

前 言

借助于一种密封件防止两个发生摩擦和磨损的运动零件之间的液体泄漏，这是一个工程师经常反复遇到的问题，不论他是汽车工程师、工厂工程师、液压工程师、气动工程师、机械工程师还是其他别的工程师，都是如此。防止在无菌、危险或易爆环境中连续运行的机器上粘性、腐蚀性或不相容的流体在高压或高温下泄漏，可能是工程师的反复重现的噩梦。另外，现代机器的日常技术条件，要求更大的功率、更快的速度、更长的工作寿命和更高的压力，所有这一切又要求新型的密封材料，改进的密封结构和更好的密封方法。为此而编写了《密封件与密封手册》(第一版)。本书中囊括了设计师、工程师、技师或其他同类人员需要知道的静密封、动密封、机械端面密封、一般的和特殊的密封方法的基础、原理、选择和使用知识。它是目前在这个最重要、最困难的工程领域中所能得到的最详尽、最实用和资料最新的著作。

目 录

第1部分 基础和原理	1	迷宫密封	219
定义	1	正作用密封	221
密封机理	4	膜片密封	222
密封摩擦	8	活塞环	225
磨损和密封寿命	15	石墨密封	230
表面状态	17	液环密封	232
环境卫生和安全	20	液体屏障密封	233
第2A部分 静密封	26	鼓胀密封	235
垫片	26	磁流体密封	237
各类静密封	55	自粘压缩密封	240
自密封紧固件	62	第3A部分 特殊用途密封	242
液态密封胶	64	液压密封	242
第2B部分 动密封	71	气动密封	252
压缩填料	71	船舶轴管密封	258
O形圈	87	第3B部分 特殊用途密封	263
空心金属圈密封	116	高温密封	263
其他实心橡胶圈	121	大直径密封	267
挠性唇形密封	126	第4部分 材料	269
复合密封	137	橡胶的性质	269
开口环密封	147	橡胶材料	280
毛毡密封	153	塑性聚合物	287
防尘圈和刮尘圈	154	各类密封材料	288
第2C部分 油封	162	硬质合金	289
第2D部分 机械端面密封	181	密封材料的相容性	293
第2E部分 特殊密封形式	211	第5部分 资料	297
波纹管密封	211	密封选择指南	297
衬套密封	217		

第1部分 基础和原理

定 义

密封本质上是用一种装置来密闭(密封)一个缝隙或使一处接合不漏流体(气体或液体)的。密封件大体分为两类:

i) 在彼此没有相对运动的结合面间产生密封性的静密封件。

ii) 在彼此有相对运动(如一根轴相对于一个孔的回转运动、活塞杆或活塞在一个缸体中的往复运动)结合面间产生密封性的动密封件。

一个密封件和一个接合件之间能够有所区分的界线在于,前者通常用于密封一种周期性的相对运动,因此本质上属于一种动密封。一个接合件系用来在两个恒静的或相对静止的构件或结合面之间进行密封的,故属于一种静密封。这样使用的密封材料特别称之为接合件、连接件或垫片。然而,许多动密封件同样可以用作静密封件,在做这种应用时,可称其为密封件,而不称其为接合件或垫片。

对动密封的另一种称谓是填料,或压盖填料,这一名称来自对穿过孔或压盖的活塞杆、轴或活塞进行动密封的原始方法,在这种方法中采用一种弹性或半弹性材料填充孔或压盖,造成一个局部接触区域,从而阻止泄漏的发生。此种方法仍被广泛地采用着,而且在实际上仍是某些具体场合的标准方法,但目前所用的各种填充材料在种类和性能两方面都已有了极大的发展。

另外,有一些类型的密封件,与上述静密封件和动密封件的基本定义不完全符合。例如某些静密封件(依照其功能)也能用来适应被密封面的一定运动,如象管道挠性联接器的各种旋转动作。这类密封有时被称为半静密封件、挠性(静)密封件或假静密封件。但大多数情况下,只是简单地依其功能和用途加以命名。

与此类似,还有一些专为防止尘埃、灰尘和其他有害污染物侵入一个系统而设计的密封件类型。这类密封件采用了波纹管、防护罩或类似的结构型式,此类结构型式基本上属于半静密封件,但能直接适应大幅度的相对运动。另一方面,这类密封件也可以采用环形密封件的结构型式,或者是设计成提供擦拭或刮离作用的,或仅提供防尘作用,而不是密封作用的动密封件。这两种类型的密封件可以统称之为防尘密封件。

密封的分类与型式

静密封通常依型式来命名,如垫片、环形密封件等。垫片可以进一步按材料来分类,象非金属(纤维)垫片、橡胶垫片、金属垫片、半金属垫片等等;或者按其结构划分为平垫片、螺旋缠绕垫片等等。密封胶被看作是单独一类,也可分别称作液体垫片、液态联接、蠕纹密封胶等。

动密封件可以归为两大类:

(i) 在强制压力下贴压在密封面上的接触型密封件。

(ii) 借固定间隙（即没有摩擦接触）起作用的间隙密封件。

大多数通用动密封件属于前一类，惟仅由一层薄油膜隔开的（和润滑的）摩擦接触起作用。这类密封件又分为两种不同的种类，即压缩型密封件和压力赋能型密封件。

当填料箱被紧固，填料径向胀开时，压缩型密封件借加在软填料或填密环上的挤压作用产生径向密封力，如图1所示。实际的填料通常为嵌入填料箱中的具有一定圆长和适当截面的形式。在使用时构成一组切口环，这组切口环通过拧紧压紧螺母而被压紧，于是填塞了填料箱的有效长度，并在填料和其将要在上滑动的表面之间产生径向压力，这种型式的压缩密封件都是名副其实的填密件，而且可以用于动密封和静密封用作往复型和旋转型密封件。

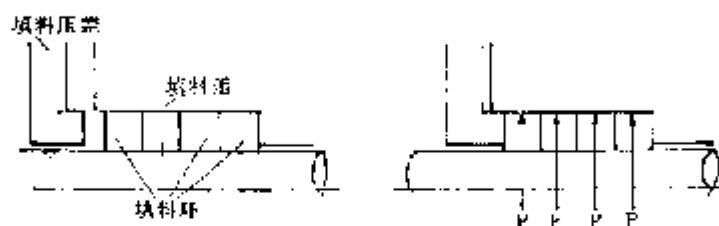


图 1

另外，此类密封件适于在（往复）运动的两个方向上进行密封，因此是一种双作用密封件。其特殊的用途是用作重载（往复式）活塞杆密封件或旋转轴密封件。另有一些采用环形刚性件类型的压缩密封件，环形刚性件靠被顶弹到位（如活塞环），或靠施加弹簧压力（如金属升环密封件）造成其接触压力。

压力赋能型动密封件分为两类。第一类由一些采用过盈配合装入沟槽中的实心橡胶环（例如O形圈、矩形圈）构成。这就产生一种挤压或预压力，于是便在静止状态下造成密封作用（此类密封件也可以单纯用作静密封件）。在流经间隙、作用在密封件一侧上的流体压力作用下，橡胶断面发生形变，于是使密封面压力增加了一个数量等于流体压力的压力。例如，如果预压力为 p ，流体压力为 P ，则工作状态下的有效密封力为 $P + p$ ，参见图2。由于这一压力大于流体的有效压力（ P ），遂使密封作用得以维持。只要密封件不挤入间隙，这种状态就能保持得很好。此种结构形式的密封件可以是双作用的，亦即能够对往复运动在两个方向上实行密封。

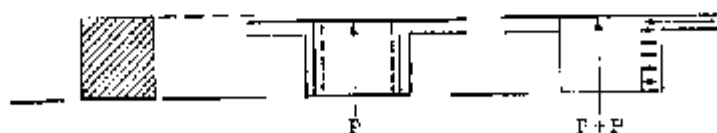


图 2

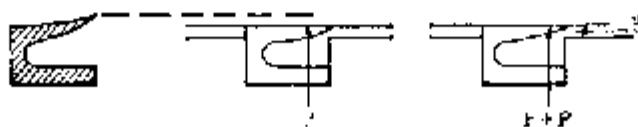


图 3

另一种压力赋能密封采用有一个（或几个）柔性唇边的凹形件，见图3。这种密封件也采用过盈配合装配，以形成一个预压力 p 。于是作用在凹形件上的流体压力 P 就进一步使密封力增加到 $P+p$ 。这一类中的典型密封件有U形圈、V形圈及其变型件，以及有一些具有单边柔性唇的凹形件，例如C形圈及其变型品种。此种结构形式的密封为单作用的，即靠压力赋能进行密封只在一个方向上是有效的。

再有一些环形密封件，把两种工作模式结合在一起，也就是说装有一个配有一种实心橡胶环的柔性唇形件。这类密封件当中有一些可以背对背地组合起来，以构成双作用密封件。

环形密封件只有一个工作面，在用作一个活塞杆密封件或活塞密封件时，即可归入这一类。从这种意义上说，它们是非对称型的。有时也分别称其为内径密封件或外径密封件，如图4所示。要尽量避免采用这些称谓，因为同样的称谓，可能用于一个密封件相对于某一特定机件的实际位置，例如用内装、外装字眼。还要注意，某些结构形式的活塞杆密封件同时能很好地用作活塞密封件，反之亦然。换句话说，在这种意义上它们是对称型的。

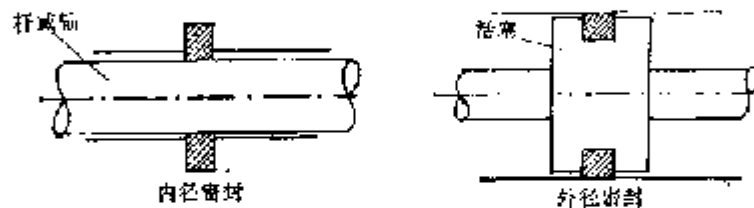


图 4

还有另一种形式的动（旋转）密封件，即因有锥紧螺旋弹簧的窄唇密封件。这种密封件亦按过盈配合装配，在这种情况下，通过弹簧的张拉而得到预压力。此种形式的密封件具有较小的摩擦（因为唇部接触面窄小）和相当有限的压力密封性（如果通过采用一个更强的锥紧弹簧来增加预压力，势必会影响窄小唇部的过分磨损）。这种密封件专门用作旋转轴的注封件，转轴油封是对它最为恰当的叫法。然而，一般常称其为径向唇形密封件，但这不是一个很明确的定义，因为有许多其他类型带唇边的环形密封件，亦可用作径向轴封件。

端面密封件

结构最简单的端面密封由一个用金属外壳或金属骨架支承的弹性膜片构成，磨合在轴的台肩或法兰之上，借一个弹簧或一组弹簧保持接触面处的压力，如图5所示。这样所得到的密封面面积显然大于一个唇形密封件的密封面面积，结果形成了一种严实的密封，而且由于密封面不会脱离接触，有助于防污，遂使密封效果很少会因存在污垢而受到影响。还有，由于利用了弹簧压力，所以密封面磨损时能自动得到补偿，同时，磨损量本身与端面加载大小成正比，而且也与所涉及的摩擦材料有关。通过选用适当的材料，例如选用一个连接膜片的耐磨密封圈与铸铁的、磷青铜的或不锈钢的摩擦面相接触，磨损就可以减少到忽略不计的程度。

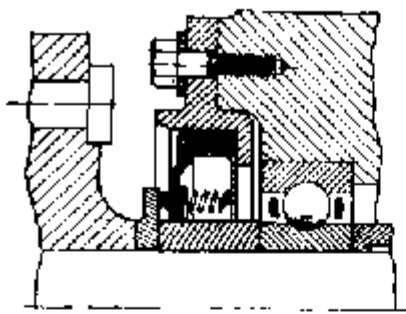


图 5

这种简单的端面密封件，可采用波纹管作为弹性元件，此时，这种密封件称作波纹管密封件。但要记住，这类密封件是动密封件，完全不同于那种作静密封件或防尘装置的波纹管。

机械端面密封

在负荷条件较为苛刻状态下使用的、结构更为复杂一些的弹簧加载端面密封，叫做机械密封件。这类密封虽说是端面密封件，但却采用了两个靠弹簧压力保持紧密接触的刚性配对环，其中一个静止的，一个是旋转的。这些环由低摩擦材料制成（或者配成一个低摩擦副），因此，必要时可以在各种高转速和各种摩擦速度条件下工作，而无太大的磨损、磨损或过热的现象。在处理高温流体介质时，如有必要，亦可注入冷却剂以冷却之。

密封机理

密封的目的在于，对一处有可能发生泄漏而要对其施以密封的地方，设置一个完善的物理壁垒。静密封件是无泄漏密封件。欲达此目的，密封件须有足够的弹性，以能够流（嵌）入和填满被密封面上的任一凹凸不平之处。同时还要保持足够的刚性，以防止在系统满载密封压力下挤入表面间的间隙之中。此两项要求长时间得到满足。弹性流动是通过压紧加载而形成的，密封件经压缩处于受力状态。于是，贮存在整个密封系统中的弹性应变就能维持了接触压力。系统中可能会产生的任何应力松弛都会使性能降低。这种情况有可能由于密封材料本身的应力松弛（这可能还伴随着蠕变滑入间隙）、不均匀热膨胀，或者在采用垫圈的情况下，由于法兰挠曲或螺栓拉伸而引起。

所有弹性环形密封件都需要密封材料在装配状态下与配合件之一有过盈配合。例如，就以诸如O形圈或矩形圈之类的实心橡胶密封圈来说，材料可以处于受正压或受正拉状态，或者处于部分受压、部分受拉状态。同样，一个柔性唇形密封件，也可以处于受压或受拉状态，视该断面是外径密封，还是内径密封而定。

因此，不管密封的结构形式如何，在密封触点与配合面之间都会产生一种载荷。这种界面载荷的大小，取决于组装密封件时的过盈量或所造成的“压缩量”以及材料的弹性模量。在唇形密封件的情况下，界面载荷会随着唇边径向厚度、柔性趾部长度以及材料的弹性模量而变化。界面载荷的分布与截面的几何形状有关，如图1所示。这种载荷曲线表明了摩擦与泄漏特性的大体情况。对于动密封件来说，为求得使密封组件运动的动力载荷，须以摩擦系数去乘密封件造成的载荷，这种动力载荷实质上是一种功率损失。

至少从理论上说，接触压力愈大，密封件所贮蓄的弹性应变能也愈大，因而，可用来抑制使用当中所产生的松弛的余地也就愈大，直至密封材料本身由于过度受压而损坏并彻底丧失工作能力为止，这基本上是符合实际情况的。虽然由于弹性材料本身是不可压缩的（即能够容许变形而不能减少体积），而只能在此极限之内被预加压力，但是这

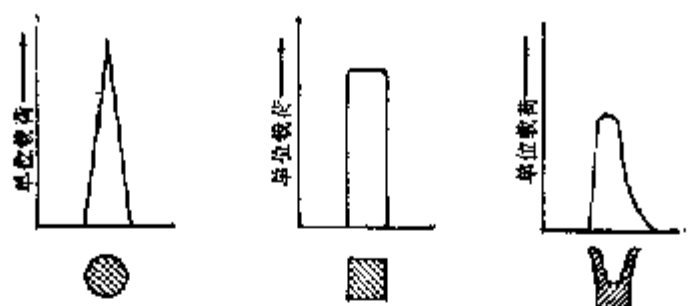


图 1

种情况在使用垫圈时比使用其他形式的静密封件更易出现。

有关一个动密封件的这些要求彼此是有抵触的，因而需要通盘考虑。以接触型密封件而论，良好的密封性需要被密封面上有足够大的接触压力（这与被密封的介质压力大小有关），同时，密封件要最大限度地减少摩擦和磨损。

在采用一个压缩型密封件的情况下，较大的预加载荷和较大的摩擦力是不可避免的。通过选用适当的填料或密封材料，可以将摩擦力减小到一定程度，在采用填料的情况下，也可以通过挤紧压盖的办法来调整摩擦力的大小，以求得到一个与许用密封性和允许泄漏量相适应的最小压缩。再者，为了补偿填料表面可能产生的磨损，压盖的压紧状况需要定期加以调整。这对大多数形式的压盖填料密封来说是一项常规要求。

对于一个压缩密封件来说，不管实际压力如何，密封摩擦相对说来总是比较高的，因此，如果是为在特高压下进行密封调节压盖，此时的压缩（从而摩擦）将比在较低压力下工作时所需要的压缩更大。静摩擦（从而启动摩擦力）亦会比动摩擦更大，尽管这种差别在采用掺合或涂覆聚四氟乙烯的填料时，可以忽略不计。用于运动场合的压缩密封的另一缺点是远不如压力赋能密封件小巧。

然而，对于不同的应用场合，各类密封件常常是各有千秋的。例如，对于旋转运动，

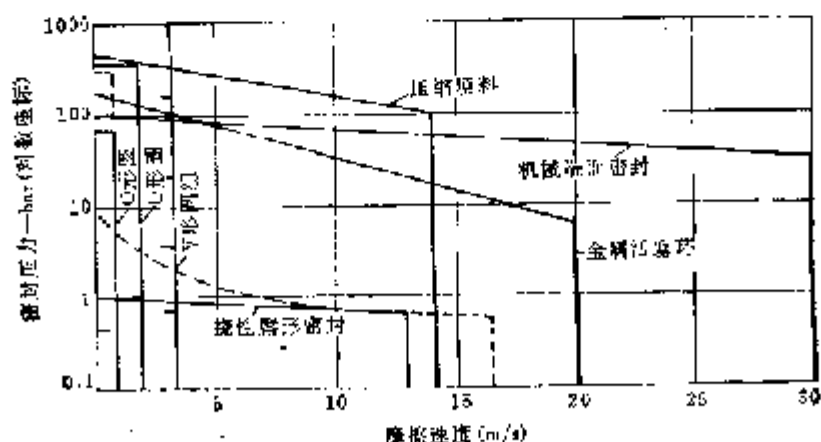


图 2

特别是处于重载状态下的旋转运动来说, 压缩填料密封一般具有较高的寿命, 而且是唯一有可能采用适宜材料来耐受高温和抵抗恶劣使用条件的密封类型。另一方面, 对于往复工作, 甚至在苛刻的工作条件下 (在所用材料的最高使用温度范围内), 挠性 (压力赋能) 密封件或密封组件有良好的工作性能, 其摩擦与磨损也相当小。不过, 所有挠性密封件, 就其在耐受压力而无挤出和过度变形方面, 都受到一定条件的制约, 同时, 由于可得到的不同设计的众多品种, 尚须就应用与组装逐一研究。图 2 表明了各种动密封件适应的标准压力和速度范围。

对于几乎所有类型的动密封件 (压缩型的或压力赋能型) 来说, 密封件的润滑在决定密封性能与寿命方面均起重要的作用。当滑动面的材料为聚四氟乙烯时, 情况也许是例外的, 因为当聚四氟乙烯在大多数他种材料的表面上滑动时具有极低的摩擦系数, 而且能在不加润滑

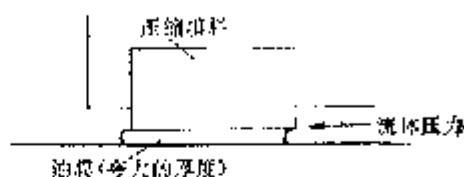


图 3

的条件下摩擦, 所产生的磨损可以忽略不计。在“湿”态应用场合, 被密封的流体本身可以提供有效的润滑。在密封干燥气体、水溶液或蒸汽时, 流体本身不是润滑剂, 此时有必要为密封面提供一个润滑剂源, 或者使密封材料掺杂一种润滑剂。甚至会要求一种专门的密封设计, 或者使挑选一种合用型密封或填料的余地大为减少。

压缩填料可以设计成在干燥的表面上工作, 在此种情况下, 润滑剂包含在填料本身之中。简单的压缩密封圈和压力赋能型密封件或密封组件通常设计成在充分润滑条件下工作。在上述两种情况下, 密封件本身均浮在润滑剂膜上, 润滑剂构成了最末一道密封屏障, 靠液膜的表面张力保持在一定的位置上, 如图 3 所示。

这层液膜的厚度是关键性的。如果太薄, 液膜就会由于表面的凹凸不平形成桥连状态, 此时将产生较大的摩擦和较快的密封磨损。如果太厚, 则液膜面将遭到破坏, 此时会造成较高的泄漏流量。实际上, 在运动条件下, 密封是不会很完善的 (亦即若无过度的预压力就不会是一个无泄漏密封), 而且其工作性能将取决于载荷、速度和流体粘度。

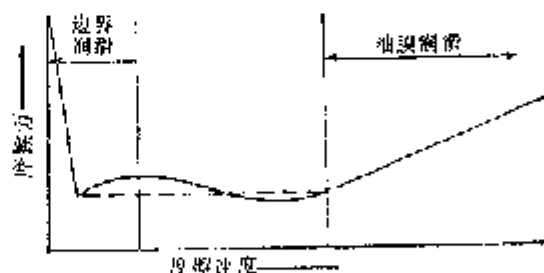


图 4

在静止状态时, 润滑液膜在预压力的作用下往往被挤压成厚度小于 $0.25\mu\text{m}$ (0.00001in), 此时由于仅存在着边界润滑, 便导致产生相当高的起动摩擦力。随着速度增加, 形成全液膜动力润滑, 并具有最小的摩擦, 见图 4。在这些条件下, 液膜厚度可在 $0.25\sim 2.5\mu\text{m}$ ($0.00001\sim 0.0001\text{in}$) 之间。随着速度的进一步增加, 摩擦可能再次加大, 这要取决于润滑剂粘度、密封形状和结构细节以及摩擦面的性状。这一题目在密封摩擦一章中将给予更加详细的讨论。

泄漏

采用多数压缩型密封件都有可能使泄漏减少到零或接近于零（与流体粘度和被密封压力有关），只要增加预（压缩）压力即可，实际上，也就是将其转变成带摩擦接触的静密封件。那么，至多只有边界润滑存在，压缩型密封件一般不适于实际出作动密封件。同样，在采用压力赋值型密封件或端面密封时（这类密封件在运动工作状况下通常是受泄漏的），虽然靠增加其接触压力的办法能减少泄漏，但另一方面却也付出了增大其摩擦、降低和缩短其可靠工作寿命的代价。因此，成功地设计（或适当地选择）的密封件，能在允许的摩擦、磨损和泄漏的限度内保证必要的压力密封性。

在往复密封的情况下，流体的输送可能会引起进一步的损失。以往复活塞杆密封为例来说，杆的外露部分会因此携带一层油膜，这未必是一种泄漏的征兆，倒不如看成是密封面已受到润滑的表现。这层油膜通常在活塞杆返回行程中又被带过密封，除非密封件有所谓的“擦拭”作用，正如采用压缩型密封件时的情况那样。

此种情况下的实际泄漏量等于由活塞杆上实际刮下来的（或在密封的“干”侧积存的）油量或液体量。就一个压缩型密封件来说，为了保证密封面有足够的和连续的润滑，需要这种连续的实际存在的泄漏，除非在为了制止泄漏而增大压缩时，填料是自润滑的。在挠性密封的情况下，实际泄漏量相当于外出油膜与内进油膜的实际积附量之差，这个差很小，可以忽略不计。如果泄漏量过大，可能是由于密封不严引起的，或者是由于在内进行程中的刮拭作用过大造成的，例如，在过紧地装配一个起防尘或刮油作用的防尘圈时，便会出现这种现象。事实上，一个与主密封圈结合在一起的防尘圈，能起到一种泵的作用，这个防尘圈将在每一次内进行程中除掉活塞杆上正常情况下外出油膜的大部分油量，不过为达到这一点，刮拭作用必须相当强（见图 5）。

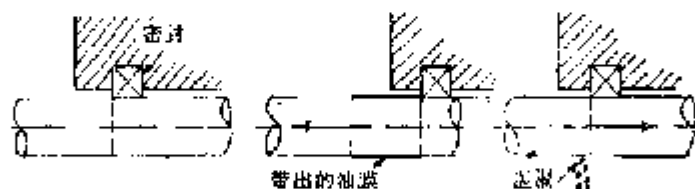


图 5

从上边可以得出几点具有实际意义的结论，即：(i) 在视在泄漏和实际泄漏之间是有差别的，特别是对于唇形密封件来说，更是如此；(ii) 在一个密封件的“干”侧表面上有油是正常的，而且是所希望的（因为表面有充分的润滑）；(iii) 完全干燥的密封工作状态很可能表明润滑不足，而且会过早出现密封件的磨损或失效。当然，如像上述(ii)中所说的情况那样，一个活塞杆的外露部分有油膜存在，乃是为什么在含有灰尘和污垢的气氛下，还需要并且希望有一个防尘装置的原因。一个防尘密封应在返进行程中除掉那些可能粘附在油膜上的各种颗粒，同时防止这些颗粒与返进油膜一起被携带回密封装置。

在典型的液压系统中，由于输送油液而引起的流体损失是很少的。在一般情况下，每平方米密封面积的输油量（与密封结构有关）应在 $0.001 \sim 0.004 \text{ cm}^3$ 之间（ 0.0011 in^3 每平方米密封面积），密封面积等于行程长度乘以密封周长（或 $\pi \times$ 密封件直径）。

这里, 应该指出, 在采用一个压力赋能型密封件, 在不加压状态工作时, 其流体输运损失, 可能比用同类密封件在加压状态下工作时多得多。另外, 双作用密封件 (例如活塞密封件) 可能比单作用密封件造成更大的油液输运损失。

密封摩擦

一个动密封件与密封面之间的摩擦力与诸如密封结构和材料、流体和流体压力、温度、摩擦速度以及表面光洁度等许多因素有关。造成的摩擦载荷在许多应用场合, 可能影响不是很大的 (希望有最小摩擦, 以得到最佳工作性能的气动缸和气动阀除外), 但就摩擦本身在其能产生热这一点来说是有害的, 这种热能招致密封材料和润滑膜的破坏或者由于降低了流体粘度而增加泄漏, 有时也会同时造成这两种后果。对密封材料和润滑膜的破坏更值得注意, 因为它可能产生一些磨料性产物, 从而进一步促进摩擦和磨损。

从这方面来说, 密封的工作性能一般是很难分析清楚的, 因为这要涉及到许多针对于密封结构的经验因素。然而, 从根本上看, 摩擦显然正比于实际接触压力的函数, 不过有关的实际摩擦系数, 除了要随材料和表面光洁度而变化外, 还要随速度、时间等的变化而变化。

在没有楔合的情况下, 密封摩擦与有效接触压力成正比, 即

$$\text{密封摩擦} = \mu \cdot P_e \times a \cdot b$$

式中 μ = 摩擦系数;

P_e = 有效接触压力;

a = 密封面接触宽度 (in);

b = 密封面接触长度 (in)

= πd (在为环形密封件时);

式中的 d 为接触直径。

摩擦系数应表征在摩擦接触中所牵涉的材料特性及润滑的存在情况。不过, 摩擦系数也随摩擦速度而变化, 因此, 一个比较完整的公式为

$$\text{密封摩擦} = \mu \cdot V \cdot P_e \times a \cdot b$$

式中 V = 摩擦速度。

这一公式的应用受到严格的限制, 特别是一般在不知道装配压力或“过盈”压力, 从而也基本上确定不出有效压力 (P_e) 时更是如此 (在压力赋能型密封件的情况下, P_e 等于“过盈”压力与流体压力之和)。下面的半经验公式可能更为有用, 不过这一公式未将摩擦速度、表面光洁度这样一些因素考虑在内。

$$\text{密封摩擦} = K \mu P_e \times D$$

式中 K 是针对按设计条件安装和工作的密封结构专用的经验系数, 而 D 为密封件直径。

对一个实用的压缩型密封件来说, 当其受压时, 断面基本上是实心的, 不大会产生楔合, 其摩擦一般基本上与内压力无关。因此, 可以把有效压力 (P_e) 取作压缩的实际压力, 不过这一压力是很难或不可能测定的。摩擦系数 (μ) 可能也是未知的, 而且是可变的, 不过在适当的精度范围内, 对其加以估测, 还是有可能做到的; 下面将要对此

加以讨论。因此,若不依据经验的方法或在那种比较数据的基础上进行估算,则很难找到有效解。为此,上述公式仅能用来针对那些结构形式和材料一样而尺寸不同的压缩型密封件,就其在性能和摩擦方面存在的差别进行研究。

摩擦系数

在光滑干燥密封面上摩擦的典型密封材料的干摩擦 $\mu = 0.4 \sim 1.0$ 。在表面润滑的情况下,这一变化范围要低很多,一般可以在 $0.02 \sim 0.1$ 之间。这种情况对合成橡胶来说,尤为适合。纤维材料和浸渍纤维也有类似的 μ 值,不过一般说来,其 μ 值的变化幅度较小,例如在润滑条件下, $\mu = 0.04 \sim 0.08$ 。润滑的皮革一般具有非常小的摩擦,但皮革密封件的 μ 值却常常比合成橡胶的 μ 值高,这是因为皮革圈通常是与较粗糙的摩擦表面配合使用。

一般地说,材料愈硬,摩擦愈大;材料愈软,则摩擦愈小,不过这种关系只是在低压情况下成立。就硬度能够变化的合成橡胶与那些摩擦系数和材料硬度不一定有关系的

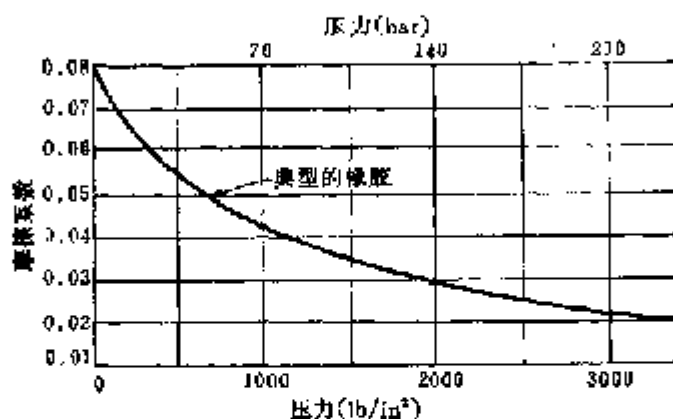


图 1

其他密封材料相比较而言,上述关系更适合于前者。

摩擦系数也是压力的函数,不过,彼此的真正关系未得确切地建立起来。大体上说,低压时,摩擦有最大值,而在达到一定的高压时,便呈现出一最小值,如图 1 所示。由于摩擦与密封件断面变形有关,故这一关系可能会因密封件断面形状的不同而有所变化。

对于缸筒和活塞密封件来说,摩擦随压力的变化与表面光洁度,特别是与加工方式也有关系。图 2 示出了三种不同缸筒的表面光洁度在摩擦方面的典型差别。由于冷锻缸筒具有较粗糙的表面和纹理,因此,随着工作压力的提高,其摩擦的增大要比磨削或滚压缸筒快得多。

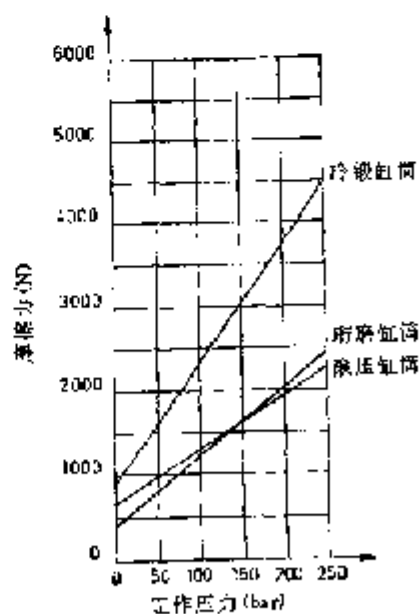


图 2

摩擦与速度

摩擦随摩擦速度的变化比较明确,而且是按照三个阶段变化,如图3所示。静摩擦一般比较高的,不过一旦开始“起动”,摩擦系数在低速阶段便下降到一个低值,随着提高速度而增大到第一个峰值。从那以后,随着速度的进一步增加,摩擦系数下降到一个最小值,然后随着速度的增加而再次升高。

上面所述是有关摩擦与速度关系的一般情况,这种关系可能由于其他条件和因密封材料和结构不同而有所变动。例如,一个O型密封圈的摩擦在低摩擦速度下是很高的,而采用聚四氟乙烯摩擦面的密封有低的“静摩擦”和一个较为恒定的摩擦系数。

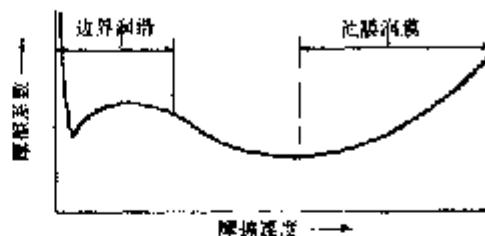


图 3

停留时间的影响

停留时间对摩擦的影响图示于图4。摩擦系数随停留时间的增加是很快的,同时对“静摩擦”产生影响。促使密封面失去润滑而干燥的各种条件都会加速这种影响,同时在这种条件下,摩擦/时间曲线逼近干摩擦系数值。干摩擦系数可以达到处于润滑条件下工作的相同密封件摩擦系数的10倍大小(摩擦面为聚四氟乙烯的情况除外)。

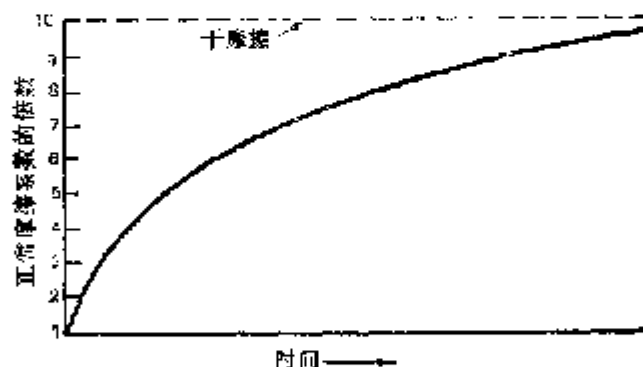


图 4

促使减少停留时间有害影响的有利因素,主要是要保证密封不会干燥(特别是在合成橡胶密封件的情况下);同时摩擦表面的光洁度高,以防止可变形的密封材料粘于粗糙金属表面的倾向。

在高工作压力下,起动摩擦可能是关键性的,例如它可能限定一个工作液压缸和汽缸的有效备用压力。因此,在这种情况下很自然地应该选用那种具有尽可能最小摩擦的密封件。

压力赋能型密封件

对于一个压力赋能型柔性密封件来说,有效压力等于预压力与流体压力之和。流体压力愈高,预压力的效用愈小,而且在许多高压估算的场合,预压力值可以忽略不计。如果在低压计算时需要考虑预压力值的话,最好是通过直接试验测定。

压力赋能型密封件在高压时易出现挤出和楔合，特别是当间隙较大时，更易出现这种现象。假如发生楔合现象，摩擦力就会大大增加，且大体上与有效压力的平方成正比。于是，基本摩擦公式则变为：

$$\text{密封摩擦} = \mu V (p + P)^2 \pi a \cdot b$$

$$\text{或} \quad = K \mu V (p + P)^2 \times D$$

式中 P = 预加过盈压力 (lb/in^2)；

P = 流体压力 (lb/in^2)；

V = 摩擦速度 (ft/min)；

K = 与密封件形式有关的常数。

至于什么时候可能发生楔合现象，则并无一定规则，因为这要取决于密封件形状及内压和工作条件。例如，表面粗糙，润滑不足和往复速度大，将会增加密封件发生楔合的倾向。一般说来，如果间隙足够小，比如说不大于 $0.055 \sim 0.127 \text{ mm}$ ($0.002 \sim 0.005 \text{ in}$)，那么，在正常工作范围工作的密封件，无论是处于何种环境中都不大会发生楔合现象。而当间隙大于 0.25 mm (0.010 in) 时，则常常有发生楔合的可能。因此，如果按照摩擦与压力成正比的关系所得出的初步计算结果偏低，且间隙又很大时，那么第二个公式可能更适用于该工作条件。

往复密封件的摩擦

往复密封件的摩擦系数主要随密封件结构以及压力而变。摩擦损失与摩擦系数和摩擦速度成正比。摩擦系数与摩擦损失两者均具有重要意义，前者对选择密封形式有影响，后者对估算工作条件下的机械性能损失有意义。在这两种情况下靠得住的数据，只能凭经验来确定。

图 5 示出了典型的 U 形圈、V 形圈组件和三种专利的密封结构的摩擦系数与压力之间的关系。当上述密封件用作液压缸活塞杆密封 (图 6a) 和活塞密封 (图 6b) 时，可以利用以理论牵引功率的百分比表示的摩擦损失来对照表明这种关系。

摩擦随工作压力的增加而变大，但是摩擦损失与液压缸理论牵引功率之比却随压力的增高而减小。这意味着摩擦系数 (μ) 是较小的，因为润滑油膜中的液体压力增加，使得密封面的凹凸不平得到有效润滑的缘故。

摩擦生热，而发热使得温度达到 $+50^\circ\text{C}$ 以上时，就会影响密封材料。在这样的温度下，有压介质 (通常是油) 能够引起密封材料膨胀或丧失其抗力或硬度。于是，摩擦增大，同时密封件发生永久性损坏的可能性也大大增加了。

油在高温下会老化。随着氧化现象的发生，降低了润滑性能，结果进一步损坏密封材料。

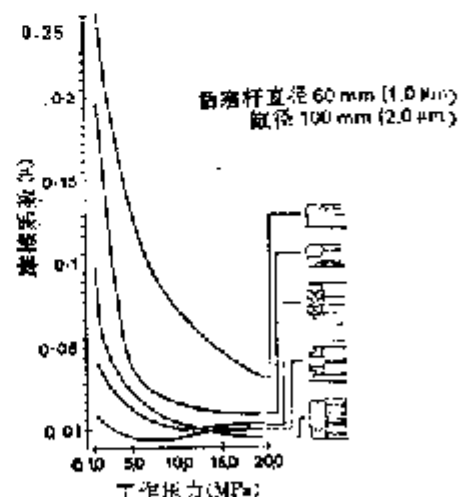
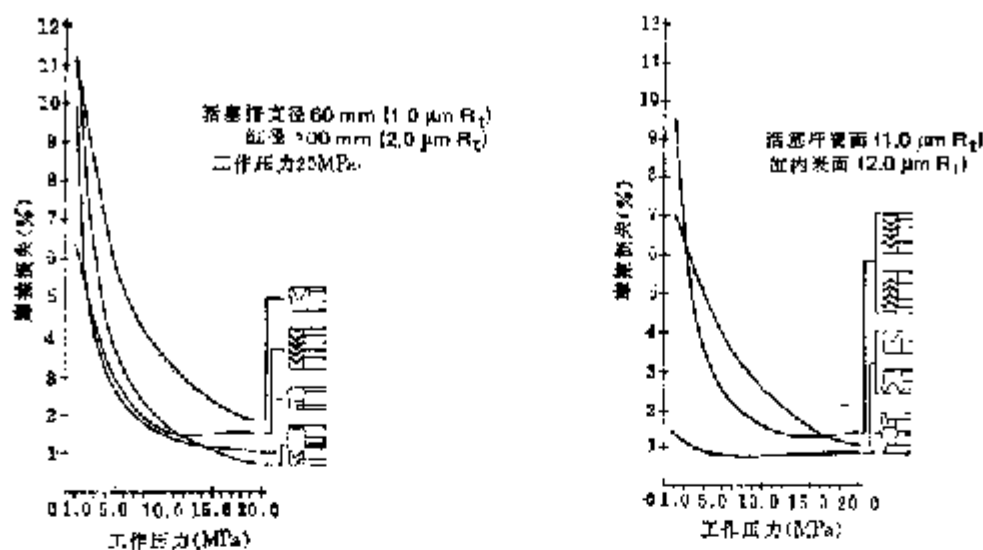


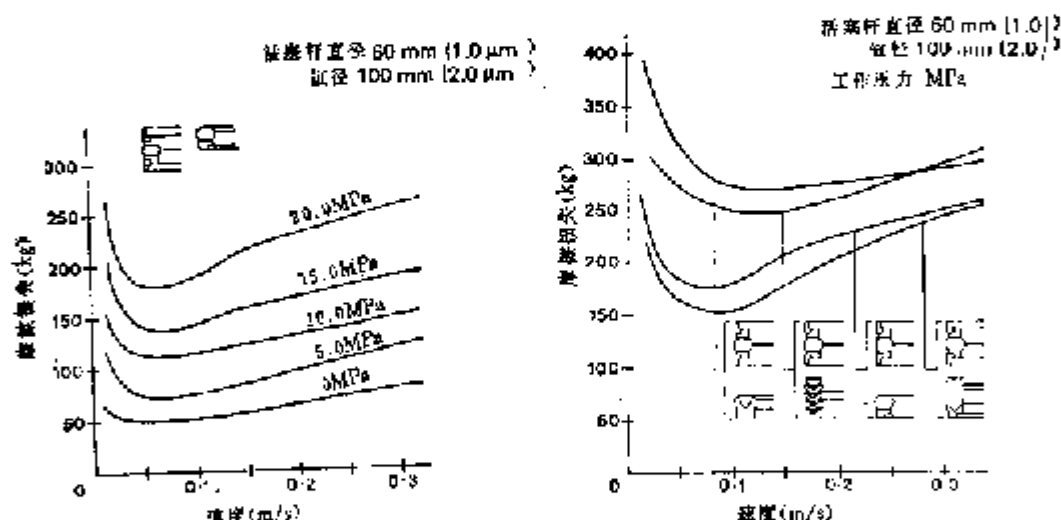
图 5 各种密封装置的摩擦系数 (μ)



(a) 以与液压缸理论牵引功率的百分比表示的活塞杆密封的摩擦损失

(b) 以与液压缸理论牵引功率的百分比表示的活塞密封的摩擦损失

图 6



(a) D11W型包里帕克·巴塞尔 (Polypac Balsela) 活塞密封和S11E型活塞杆密封在各种工作压力下的摩擦损失

(b) 采用D11W型巴塞尔 (Balsela) 活塞密封和S11E或瑟尔马斯特 (Selemaste)、维帕克 (Veepac) 和聚四氟乙烯密封的液压缸的摩擦损失

图 7

图7 a和图7 b示出了某些密封件的摩擦损失与速度之间的关系。对于所有的往复密封件来说, 当速度降低到低于0.05~0.15 m/s (10~30 ft/min) 时, 摩擦将急剧增加; 但是在高速下, 当不能形成润滑表面的油膜时, 摩擦也要增加。在密封面与干燥表面接触的情况下, 例如当一个活塞杆进入液压缸的时刻, 情况更是如此。然而, 通常只是在无载运行时, 才出现高速情况, 此时工作压力以及因此而形成的密封面压力是很低的。图 8 示出了与缸筒最终加工状况有关的典型摩擦力数值与活塞速度的关系。

估算液压密封的最大速度是困难的, 因为这与许多因素有关。最重要的一些因素是: 运动方向、靠在干燥表面上还是润滑的表面上、工作压力、有压液体的粘度以及密

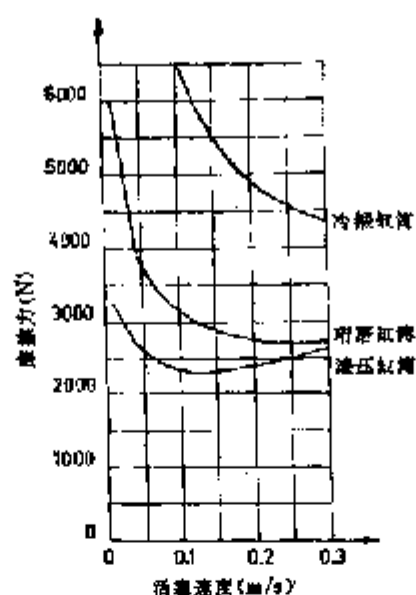


图 8 在工件压力为250bar时, 各种类型加工表面的摩擦力与活塞速度的关系

封材料的耐磨性。

通常, 液压缸工作速度的数量级为 $0.1 \sim 0.3 \text{ m/s}$ ($0.3 \sim 0.9 \text{ ft/s}$), 汽缸的工作速度一般要求比这大得多。

O形密封圈的摩擦

用作动密封的O形圈摩擦系数与可调整来控制摩擦的其他一些因素相比是无足轻重的, 见表 I。

表 I 影响O形圈摩擦的各种因素

减小摩擦	因 素	增加摩擦
减小压缩量	单位载荷 (所缩量)	增加压缩量
降低粗糙度 R_a	表面粗糙度 (金属)	提高粗糙度 R_a
降低硬度	硬度	提高硬度
提高速度	运动速度	降低速度
减小断面	O形圈断面	加大断面
降低压力	压力	提高压力
选用润滑	润滑	不施润滑
提高温度	温度	降低温度
增加宽度	沟槽宽度	减小宽度
减小直径	活塞杆直径或缸筒内径	增加直径
提高光滑度	光滑度 (O形圈)	减小光滑度
压缩O形圈	热膨胀系数	拉伸O形圈

● 用于密封密封件。

最有影响的特性之一是摩擦与时间关系曲线,尤其在采用那种压缩量大的密封件时,其影响更为明显。不管是否存在润滑,似乎都要在配合件表面的凹凸不平处形成O形圈的一定的冷塑变形。对于典型的橡胶硬度(70度)和典型的精细表面($0.02 \sim 0.25 \mu\text{m}$ ($8 \sim 10 \mu\text{in}$))来说,静止状态所引起的摩擦或起动摩擦的增加,一般可以取作动摩擦的三倍。这种起动摩擦值或多或少地随硬度和表面光洁度的不同而成正比地变化。尤其是可以通过采用较软的橡胶来减小。

计算O形圈摩擦的基本公式为:

$$\text{摩擦} = (f_c \cdot L) + (f_p \times A) \quad \text{用一致的单位}$$

式中

L = 密封件摩擦面长度 (对活塞密封件来说,为外径周长,对活塞杆密封件来说,即为内径周长);

A = 密封件的投影面积 (在用于活塞密封和活塞杆密封时均相同);

f_c = 因O形圈压缩而引起的摩擦;

f_p = 因流体压力引起的摩擦。

从图9和图10中可分别查出典型的 f_c 和 f_p 值。表I中列出了一定范围的标准O形圈的投影面积和摩擦面长度值。

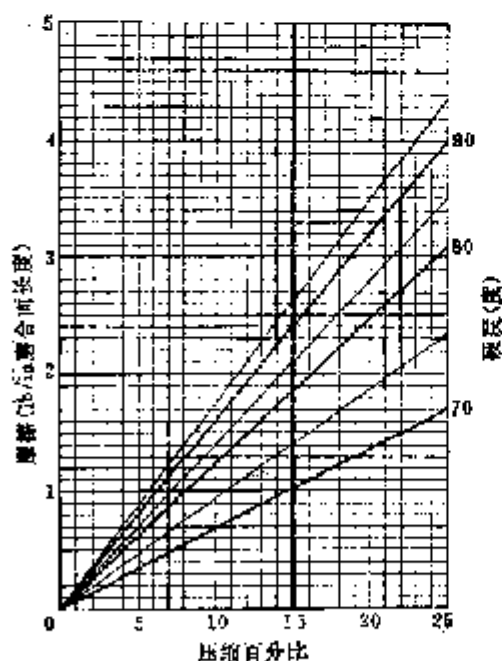


图9 因压缩引起的O形圈摩擦

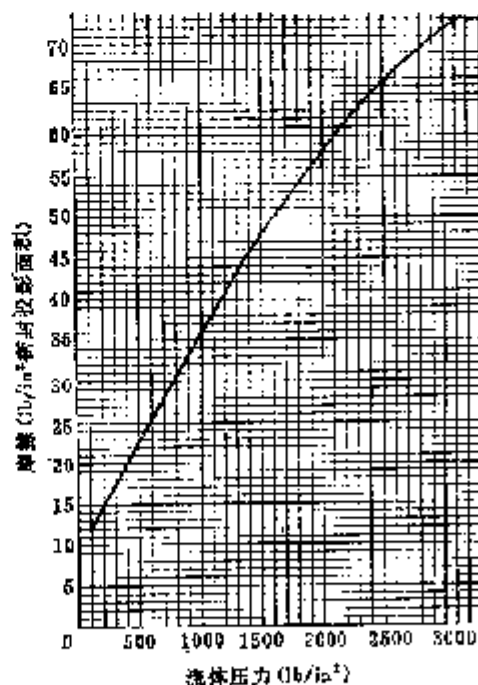


图10 因流体压力引起的O形圈摩擦

表 I 英制 O 形圈的投影面积和摩擦面长度

O 形圈尺寸 外径/截面宽度	投影面积 (in ²)	摩擦面长度 (in.)	
		活塞结构	活塞杆结构
1/4 × 1/16	0.03	0.78	0.80
3/32	0.04	0.89	0.19
5/16	0.05	0.98	0.53
11/32	0.06	1.08	0.68
3/8	0.08	1.18	0.78
7/16	0.07	1.23	0.93
1/2	0.08	1.57	1.17
9/16	0.09	1.77	1.37
5/8	0.10	1.97	1.57
11/16	0.11	2.16	1.76
3/4	0.12	2.36	1.96
13/16	0.14	2.56	2.16
7/8	0.15	2.75	2.35
15/16	0.16	2.95	2.55
1	0.17	3.14	2.75
1.1/16	0.18	3.34	2.94
1.1/8	0.19	3.54	3.14
1.3/16	0.20	3.73	3.33
1.1/4	0.21	3.93	3.53
1.5/16	0.22	4.13	3.73
1.3/8 × 1/16	0.23	4.32	3.92
1.7/16	0.26	4.53	4.12
1.1/2	0.28	4.73	4.32
1.1/2 × 3/32	0.30	4.93	4.52
1.9/16	0.42	4.91	4.32
1.5/8	0.43	5.11	4.51
1.11/16	0.45	5.30	4.71
1.3/4	0.47	5.50	4.90
1.13/16	0.49	5.70	5.10
1.7/8	0.53	5.89	5.30
1.15/16	0.52	6.09	5.49
2	0.54	6.29	5.69
2.1/16	0.58	6.48	5.89
2.1/8	0.58	6.68	6.08
2.3/16	0.59	6.88	6.28
2.1/4	0.61	7.07	6.47
2.5/16	0.63	7.27	6.67
2.3/8	0.65	7.46	6.87
2.7/16	0.66	7.66	7.07
2.1/2	0.68	7.86	7.26

磨损和密封寿命

密封系统由于结构以及制造材料不同,所以在提高工作压力时,便具有各种不同的特性曲线。

当利用一种硬性材料时,因压缩而导致的损坏危险性是减小了。但另一方面,硬性材料却没有软材料具有的那种有效的密封性能,特别是在低工作压力下更是如此。

就那种在高、低工作压力下均能有效工作的、最好的密封系统来说,密封需要由几种具有不同性能的材料制成。最理想的密封件应是一种实心密封件,构成这种密封件的几种材料硬度逐渐增高,在密封空间的有缝隙出现的后部达到最大值。然而,实际上尚

未能切实达到这一地步，不过，已根据旨在接近这种理想密封件的多级原理制出许多专利密封结构。

密封件由于密封材料的使用磨损而丧失其功能，这种磨损在起动的瞬间和在低速下最为严重，在有压流体流过密封面并冲刷磨损区时发生磨蚀，也要使密封件丧失功能。在低压状态下，会出现功能损伤的初步征兆，此时密封件因磨损而不能再与密封面保持必要的接触。在高压状态下，由于变形较大，只要能维持住压力，密封就可以持续起作用。

一个密封件的寿命难以准确地测算出来，因为它与如此多的因素有关，首先关系到工作密封的恰当选用与正确安装。再有，润滑的不良、轴高低不平、过多的摩擦热、配方太软等等，都可能加剧磨损。由于许用条件，甚至推荐的密封形式的多种多样，密封件的标准平均寿命根据不同的应用，也将有相当大的变化。例如，一个针对用途和功用而专门设计的液压缸密封件的标准寿命可认为是 4000 小时。另一方面，一个唇形油封的标准寿命可能仅有 1000 小时。

如果在一项具体应用中，一个密封件的寿命大大低于平均寿命，那么，很可能是由于当初选用的密封件不适当，以致使工作状况比选择该密封件时所期望的更为恶劣了。

故障排除——往复式密封

故 障	原 因	排 除
泄漏大	i) 装配不良 ii) 密封尺寸不当 iii) 表面光洁度差	i) 按照该密封件的推荐装配标准校验，必要时，减少过盈量或压力 ii) 校验尺寸规格 iii) 提高表面光洁度或采用一种能在粗糙表面上摩擦的密封材料
动作爬行	iv) 摩擦速度过大 v) 被密封的压力过高 vi) 密封件干摩擦 ii) 表面光洁度差 iii) 润滑脂形成不良	iv) 可能需要不同类型的密封 v) 换用不同类型的密封，或改用不同类型的密封 vi) — ii) 与上述 ii) 相同 iii) 改善工作条件，或改变密封形式（如采用聚四氟乙烯密封）
泄漏过多	i) 密封失效 ii) 预加载荷不足 iii) 密封收管 iv) 密封磨损	i) 校验一或必要时采用点作用密封 ii) 改变尺寸和预加载荷规格 iii) 校验密封材料与液体是否相容，如不相容就更换 iv) 更换密封件，如果寿命低，考虑换一种密封形式。如果密封损坏，应查明原因
密封损坏	i) 最初装配不当 ii) 橡胶件失效 (仅适用于 O 形圈) iii) 挤出刮环 iv) 摩擦 (O 形圈和 U 形圈)	i) 按照厂商的装配指南更换密封 ii) 校验几何尺寸，还要校验 O 形圈的压缩率和性能 iii) 减少密封组织的挤出间隙，或者装入挡圈 iv) 校验尺寸，必要时，减少挤入间隙

密封磨损与密封件在其上摩擦的表面精加工情况有密切的关系，面精加工情况本身又在很大程度上由制造方法所决定。图 1 表明了用三种不同方法加工的典型液压缸的密封磨损与表面粗糙度的关系。图中，以无明显磨损为 0，以出现磨坏为 10，密封的磨损分为 10 个等级。这些具体数字是在 250bar 的工作压力下，液压缸经 100000 次工作循环后取得的。

与上述有关的一个值得注意的事实是,对于滚压缸筒来说,光洁度在 $0.08\mu\text{m}\sim 0.7\mu\text{m}$ 的范围内,基本上对密封磨损无影响;但对于冷锻缸筒来说,在从 $0.4\mu\text{m}\sim 1.25\mu\text{m}$ 的范围内,光洁度对密封磨损稍有影响。

参见有关表面状态与密封摩擦的章节。

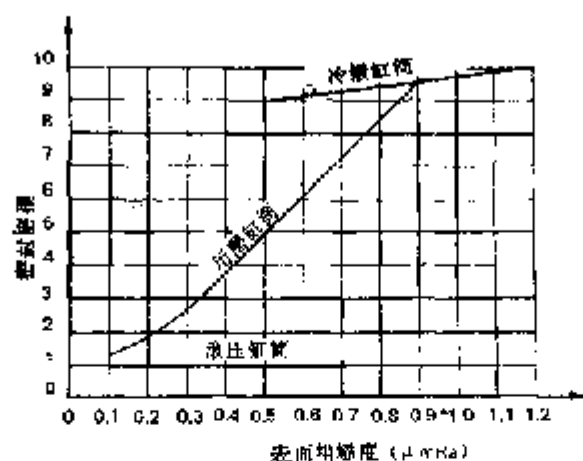


图 1

故障排除——旋转型密封件

故障	原因	措施
泄漏过多	i) 装配不良 ii) 唇边压力不足 (油封) iii) 轴粗糙或有划痕	i) 密封反应或安装不当 ii) 按图密封尺寸正确与否, 检查弹簧是否正常工作 iii) 提高轴的光洁度, 或选用较软的密封件或其他密封材料
磨损大	iv) 密封唇开裂 v) 密封唇唇面磨损 i) 润滑不良 ii) 轴加载荷过大 iii) 压力过高	iv) 全拆原因, 可能是由于轴表面粗糙, 使用的密封唇对不正造成磨蚀, 而压力太高等原因造成 v) 更换 i) 可能需改换成聚四氟乙烯复合密封 ii) —— iii) 可能需改换成不同形式的密封
密封损坏	i) 安装不当或粗心 ii) 轴粗糙 iii) 有磨粒存在 (还表现为轴磨损)	i) 利用适当的技术和工具测试密封唇 ii) 查看表面光洁度和使用技术要求 iii) 在多台环境中配用防尘密封
密封过分磨损	i) 密封形式或材料选用错误 ii) 压力过高 iii) 温度过高	i) 根据工作条件配用形式更为合适的密封 ii) 根据工作条件配用形式更为合适的密封 iii) 根据工作条件配用形式更为合适的密封

表面状态

密封件将与其摩擦的表面的状态对摩擦、磨损和密封寿命具有不可忽视的影响,本文所说的表面状态既指表面粗糙度 (或表面不平度) 又指这类不平度的纹理。前者能够取样测量, 而纹理则只能凭经验, 用诸如优势纹理的走向, 以及波纹度等术语加以描述。

测量粗糙度的标准方法是在一个基准（取样）长度范围内，求轮廓变化偏离一条中心线的平均值，参见图 1。这种方法称之为中心线平均值法（CLA），目前在英国标准中，一般被表示作 R_a ，同时也被用作 ISO 标准。在美国以 AA（算术平均值）表示，在荷兰以 R_n 表示。

大多数表面测量仪都是以 μm 或 μin 直接给出 R_a 的读数。ISO 标准采用 μm ($1 \mu m = 40 \mu in$, $1 \mu in = 0.0254 \mu m$)。

ISO R1302 规定了标准的 R_a 值与等效的粗糙度等级号的对应关系，这在有可能采用不同的单位来表示 R_a 值的场合，避免在数值上引起误会是有用的。

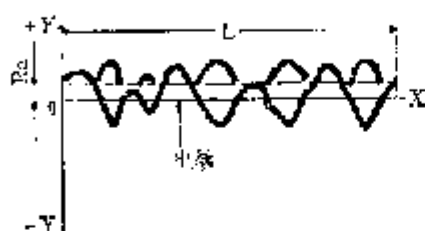


图 1 平均粗糙度值(R_a)的图解表示



图 2 粗糙度深度(R_t)的图解

标准 R_a 值

μm	μin
50	2000
25	1000
12.5	500
6.3	250
3.2	125
1.6	63
0.8	32
0.4	16
0.2	8
0.1	4
0.05	2
0.025	1

ISO 粗糙度等级号

N 12
N 11
N 10
N 9
N 8
N 7
N 6
N 5
N 4
N 3
N 2
N 1

表面粗糙度也可以以取样长度范围内的最大粗糙度、波峰与波底之间的测量深度或测量距离等来表示，如图 2 所示。最大粗糙度以 R_t 表示，并以与 R_a 同样的单位来计量。这两个值对确定为密封件所需用的最佳表面光洁度都是很有意义的。

推荐的表面光洁度

所有表面精加工的目的在于为密封提供一个引起最小磨损的表面。

在运动表面上进行密封的活塞杆密封件可能被粘附在粗糙表面上的细微磨粒所损坏。因此，活塞杆的表面粗糙度值应较小，同时具有一种类似于最优良的硬铬的表面和耐蚀能力。理想的表面粗糙度值介于 $0.16 \sim 0.40 \mu m (R_a)$ 或 $1.0 \sim 2.5 \mu m (R_t)$ 之间。

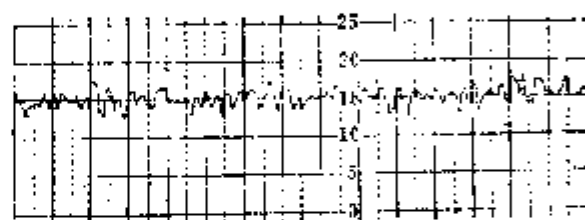
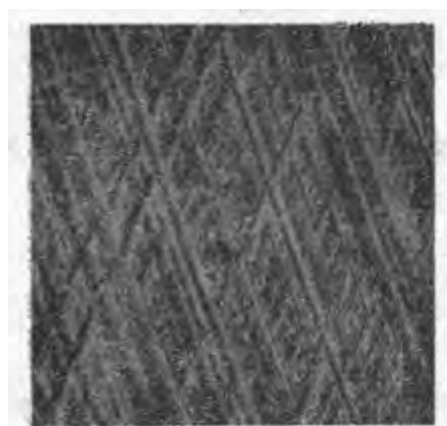
在缸筒内表面上进行密封的活塞密封件，不大受由大气进入的磨料性污垢颗粒的影

响,因此能够允许较粗糙的表面。理想的表面粗糙度值介于 $0.25 \sim 0.63 \mu\text{m}(\text{Ra})$ 或 $1.6 \sim 4.0 \mu\text{m}(\text{Rt})$ 之间。在估定表面状况时,还须对工作压力加以考虑。在较高的工作压力下,密封件与密封面之间的油膜较薄,而摩擦较大。在这样的条件下,表面粗糙度的等级,应在上述所给数据范围内选取偏低一些的数值。

静密封的密封沟槽表面,其表面等级应为 $1.6 \mu\text{m}(\text{Ra})$ 或 $10 \mu\text{m}(\text{Rt})$ 左右。

机械加工的表面状态

终加工出来的表面的粗糙度和纹理两者均可能随机械加工方法的不同而有很大变化。下面给出了一些可能是以不同加工方法而得到的典型值(但也可能随机床的质量和被加工材料而有所变化)。



经珩磨加工所特有的表面状态



与珩磨表面相比,滚压表面光滑而无划痕

加工方法

表面光洁度

	R_m	R_{10}
刨削	1.5~12.5	60~500
牛头刨削	1.5~12.5	80~500
铣削	0.9~6.25	35~250
拉削	0.9~3.00	35~120
铰削	0.9~3.00	35~120
铰削	0.5~6.25	20~250
车削	0.5~6.25	20~250
金刚镗和金刚车	0.25~0.5	10~20
磨削	0.125~1.75	5~70
珩磨	0.125~1.625	5~65
磨光、滚压	0.125~0.5	5~20
研磨	0.05~0.5	2~20
抛光	0.05~0.5	2~20
超精磨	0.025~0.25	1~10

举例来说, 对于一个液压活塞杆密封而言, 活塞杆的表面光洁度经珩磨 (或滚压) 到低于 $0.2 \mu m (R_a)$ 时 (此外还应镀铬和抛光), 则具有最佳的密封寿命。

参阅有关磨损与密封寿命一节。

环境卫生和安全

就密封件和密封作用而论, 环境卫生在两方面产生影响。环境本身对密封的选用有相当大的影响。同时, 密封的一个目的就是密封住流体, 从而使附近的环境免受污染。本文中污染的含义包括从简单地避免污染 (不过在此种情况下, 避免产品损失可能作用更大) 到用把讨厌的、有毒的或有危险性的流体封闭在系统之中的办法, 来消除它所造成的污染。

安全同样也有双重含义, 如果环境对密封件来说是不“安全”的, 则密封件的有效使用寿命就短, 同时要增添许多解决污染和产品损失的麻烦。同样地, 一个允许有毒的或危险性产品外泄的密封, 则是一个对环境卫生有害的事物。

但无论从哪方面来说, 其所涉及的基本问题却是一样的, 而且都要从为工作选配最适用的密封件着手。这就有必要考虑所有有关的环境因素, 必要时, 可能还要依据待解决的具体环境问题而受环境控制的制约。

所涉及的环境因素包括周围环境 (外界因素) 和内部因素两方面。最明显的外界环境因素是温度和压力, 不过, 除了在特别加以限定的应用场合外, 这些因素通常均无其大影响。环境温度的可能最大范围为 -50°C (极地) 至 $+50^{\circ}\text{C}$ (热带), 适用于大多数密封用合成橡胶材料的工作范围之内。在这方面, 唯有对那些牵涉到更加低的环境温度的致冷设备、液化气处理系统等以及那些牵涉到更高环境温度的高温产物运输设备、燃烧设备、火箭发动机等来说, 可能会提出一些专门性课题。

就外界压力而论, 大多数密封也还是在大气条件下工作。在这方面也有一些例外。

如那些在环境压力可能比标准（海平面）压力低很多的高空飞行器上使用的密封件，以及那些在压力可能为 2 或 3 个大气压的隧道掘进设备上或具有极高外界（流体）压力的潜水装置上使用的密封件等等。

在火气气氛具有腐蚀性、粉尘或与简单材料不相容的其他物质的场合，很可能要提出一些外界环境课题。在化工厂中，空气通常被污染到一种虽说对健康无损，但却能引起金属腐蚀的程度。对在含盐气氛中使用的设施或装置来说，情况差不多。另外，在有轻度的（如干燥粉尘）、中等程度的（如干磨粒）、严重程度的（如湿磨粒和泥浆）各种磨料存在的场合，也会污染工作环境。这种工作条件的苛刻性常常对密封结构产生影响。

含臭氧的气氛也是不利于工作的环境。在有诸如开关、电机一类电器装置存在的环境中，会产生富有臭氧的气氛——甚至中等浓度的臭氧气氛，就会使一些类型合成橡胶的工作性能严重变坏。这不仅对工作密封有影响，而且对存放着的密封件也有影响。

辐射是核工程领域或许须加考虑的另一种外界因素。辐射可能对密封用合成橡胶以及系统润滑剂两者都有影响。

内部因素

内部因素主要与密封的流体、工作参数和装设结构有关。可能需要考虑其中某些因素，或者全部因素。

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| (i) 流体压力 | } 这些因素限定了密封形式、密封材料和密封结构。 |
| (ii) 流体温度 | |
| (iii) 流体速度——能影响机械密封件的磨损。 | |
| (iv) 流体性质——气体密封件由于没有润滑可能需要格外注意。 | |
| (v) 清洁度——磨粒的存在会加速密封件的磨损。 | |
| (vi) 产品的化学活动性——对密封材料或密封形式有影响。 | |
| (vii) 毒性——可能需要特殊的密封结构。 | |
| (viii) 蒸汽压力——可能要求必要的温度控制。 | |
| (ix) 夹杂空气——可能引起机械密封端面的加速磨损。 | |

结构与工作参数

- (i) 有效工作空间——可能限制可用的密封形式（或者需要重新设计装备）。
- (ii) 往复运动或旋转运动、有影响的因素是：最大摩擦速度和（对往复密封件来说）每分钟的行程次数。如果轴长时间静止，则可能需要特殊的密封结构。
- (iii) 质量控制——设备的表面光洁度和密封的安装工艺过程两方面均需质量控制。
- (iv) 偏心率——可能对密封性能与寿命有严重影响，特别是在使用唇型密封件情况下。
- (v) 振动——对采用合成橡胶的静密封件和动密封件可能均有影响。

蒸汽逸散

对大多数类型的动密封件来说,小量的泄漏是常有的,这种液体泄漏在从密封处逃逸出来以后可能汽化,因此,可能污染周围气氛,并可能危害卫生。然而,直接的蒸汽逸散也可能来自所谓的“零泄漏”密封件或称干密封件,并且当所封闭的是毒性的或有危险的产物时,这种直接的蒸汽逸散,可能构成一种特别的危险,尤其是在蒸汽逸散肉眼看不见的情况下。

劳动条例中有关卫生与安全的最新立法强调了对有关危险性的蒸汽逸散方面的数据的需要,而于1977年发布的指导性说明书 EH15/77已把各种毒性物质的时间加权限值(TLV-TWA)和短期暴露极限列成表格。英国流体力学研究协会(BIIRA)的流体工程部(作为参加者之一)承担了有关这一课题,特别是有关合用的蒸汽检测仪方面的具体研究工作。

所承担的现场研究工作包括,与三家石油化学公司合作,一起就采用机械端面密封的运行中的泵和备用泵进行现场实验。研究结果发现,即使在未发现有液体或蒸汽泄漏的情况下,处于运行状态中的和静止备用状态下的泵上的单密封件,一般均逸散蒸汽。还有,在某些情况下,当泵停止运行时,蒸汽泄漏可能增加。具体地说,最可能引起蒸汽逸散增加的一些因素是:

- (i) 被密封的流体压力增加;
- (ii) 较高的流体挥发性;
- (iii) 泵的停-启和间歇工作。

事实上,密封处产生的蒸汽逸散是一个尚须更深入一步加以研究的课题,特别在设计危险条件下使用的密封结构时,更是如此。

环境控制

有三种基本类型的环境控制,

- (i) 温度控制;
- (ii) 粉尘控制或禁忌性环境介质控制;
- (iii) 安全控制。

密封工作温度是一个极其重要的工作参数。这一参数对密封的磨损与寿命有影响,同时也决定密封对化学侵蚀的抗力。此外,它也影响被封流体的性状。

可以采用的温度控制方案有,

- (a) 水套冷却(或加热);
- (b) 旁道冲洗;
- (c) 经静环外周冷却;
- (d) 热交换器;
- (e) 空气冷却器。

防止污物进入系统的最直接的方法,是利用防尘密封件。通常这也给出最简单的解决办法。当所采用的防污措施不能满足要求时,或许不得不采用内部或外部冲洗系统,或者采用双重密封(附有或没有中间冲洗系统)。

安全控制

使用任何一种密封的主要目的都是要把流体封闭到一个可接受的程度。从而对密封的类型和结构要加以相应地选择。再者,系统的“安全性”与密封的完善性是一致的。万一密封失效(部分或完全失效),还应进一步考虑的安全因素是泄漏对设备、工作人员或周围环境是否构成威胁?如果是的话,则必须采取控制泄漏的预防措施。

万一密封失效,有两种控制泄漏的基本方法。一种方法是利用双重密封件,即串连密封件来防止过程流体在内密封件,即第一密封件失效时能漏到大气中去(见图1)。另一种方法是用单密封件,但采取发生密封失效时抑制和收集泄漏的措施(注:对填盖密封来说,还有另外的方案可供采用——参见有关压缩燃料一章)。

对机械端面密封来说,在密封件间有一层隔离液的双重密封件可能特别有效。

如果内密封件失效,两密封之间区域中产生的压力上升在液罐中被测出,可在仪表上记录或启动报警器。在任何事故中,内密封件的失效皆被探知,同时外密封件担负起将轴密封起来的责任,直到进行修理为止。

由于串联密封的目的不要求两密封之间液体压力高于产物压力,内密封件可对高填料函压力平衡,而不要求更高的密封液体压力。如用普通的双重密封代替串联密封,则

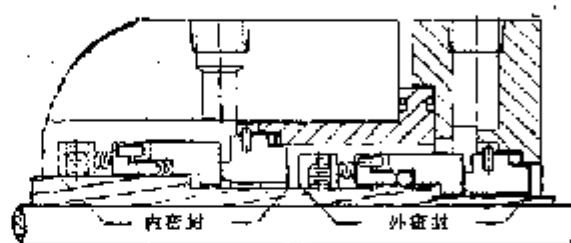


图1 双重密封

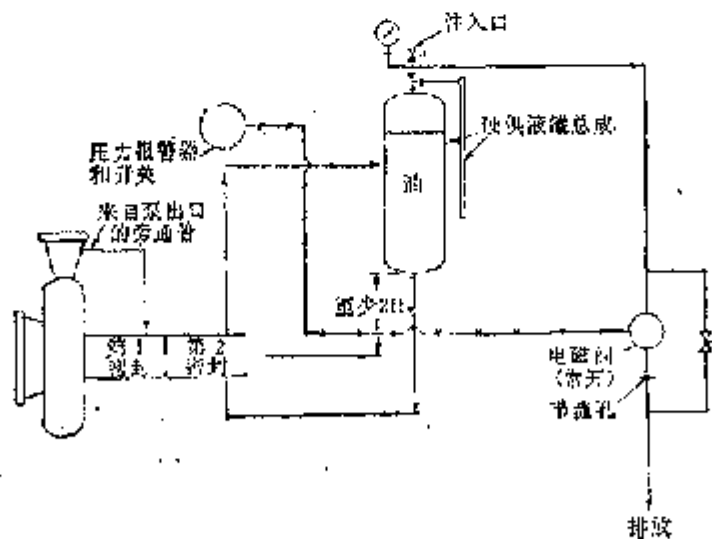


图2 双重串联密封的推荐配管图

1. 排放管中的电磁阀常开,使第一层密封泄漏经节流孔排放;
2. 如第一密封泄漏过多,则约二密封处对液面处中的压力开关启动报警并关闭排放管中的电磁阀;
3. 经过电磁阀的旁通管泄压,但用来释放系统压力。

须限制产物压力，以防液压压力把内密封端面分开。然而，串联密封可以平衡，以便承受很高的填料函压力。

为双重串联密封选择密封液系统时，不仅要考虑散掉外密封，即第二密封发热所需要的冷却量，面只要考虑正常工作中发生的第一密封渗漏。在双重串联密封中，第一密封渗漏包含在第二密封的密封液系统中。除非收集正常的第一密封渗漏被适当排放，第二密封系统中将建立起压力。

图2画出利用热对流来冷却第二密封的推荐的双重串联密封的配管方法。如果热对流不足以散掉第二密封的发热量，则可加设循环圈以引入经液腔的循环。

环的排气和放液

内机械密封的压环可能以排气和放液。排气和放液的目的照字面理解。例如，当输送液化石油气时，经密封件的任何泄漏将是高度爆炸性气体，它可以“排气”，以便安全外部处理。压环底部的放液口与排气口呈 180° ，把危险液体送到可以安全收集的地方去。

用在固定环后面加工出两个钻孔，并攻螺纹的方法，在压环中提供排气和放液，如图3所示。在压环后面装入诸如节流轴套之类的阻力来阻止泄漏沿轴进入大气。当排气口和放液口有节流轴套支持时，泄漏通过阻力最小的途径前往收集点或处理点。

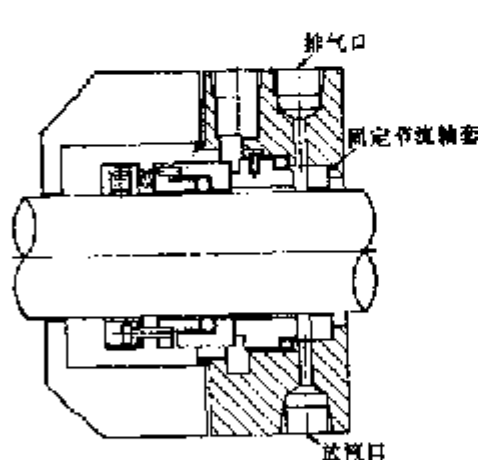


图3 带固定节流轴套的排气与放液

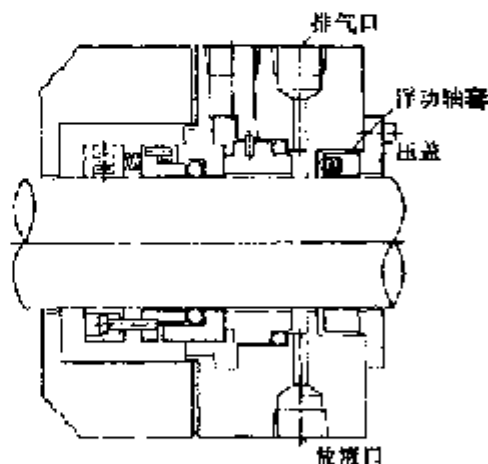


图4 带浮动节流轴套的排气与放液

(1) 节流轴套

与排气口和放液口并用的大多数节流轴套是固定式的，压入压环后面的一个孔中，顶在压环本身的脊背上。节流轴套由石墨或青铜制成，二者都是不打火花材料。

图3画出典型的固定节流轴套的应用场合。由于节流轴套不能自由浮动和绕轴心对中，在轴套内径与轴外径之间提供 $0.63\text{mm}(0.025\text{in})$ 的直径间隙。已经发现这是足以应付压环的轻微垂直偏移或轴跳动的最佳间隙。

另一种压环节流轴套是浮动方案。研究图4时可以明白，这种轴套本身可绕轴心自由对中，因而轴套与轴之间可用更紧的径向间隙 $0.05\text{mm}(0.002\text{in})$ 。浮动节流轴套所提供的附加节流效果，对于希望用节流轴套得到最大节流的应用场合特别流行。

(ii) 辅助填料函

用于机械密封后面的辅助填料函示于图 5。在这种情况下，一个辅助压盖跟随法兰把两个通用的填料环压向轴。此种方案在主要机械密封失效时，将提供几乎完全的辅助轴封。但是填料须适当地润滑和冷却，以防止轴和填料过分磨损。这要求经排气口和放液口使液体（通常是水）循环。

虽然辅助填料函为用户提供了一个紧密的后援密封，但须为填料提供润滑却并不可取。因此，人们可能宁愿使用节流轴套结构，它不要求经排气口和放液口循环液体。

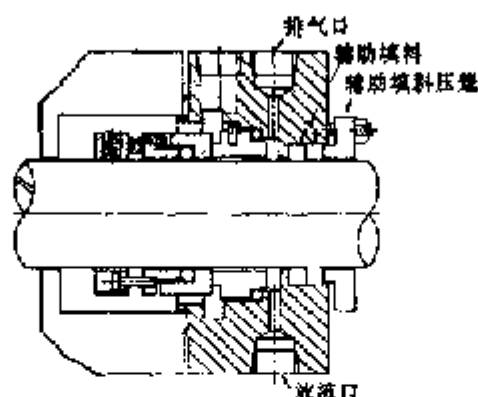


图 5 带辅助填料函的排气与放液

采用双重内密封，除了要选择适当的密封液系统以维持两密封间的压力和散热负荷外，并无其他问题。密封液在内密封失效时漏进泵送产品的可能性会遭非议。上面介绍的双重串联密封可提供解决办法，其中两密封之间的隔离液处于低压下。此密封的目的不是创造人为的环境，而是在内密封失效时提供后援密封。内密封的工作方式与普通的单个内侧密封相同。从一个封闭液罐向内外密封之间的空隙注液。液罐中的液体为外密封提供润滑。由于两密封之间的空间仅注液而不受压力，因此是产品，而不是液体来润滑内密封的端面。

第2A部分 静 密 封

垫 片

至少从理论上说,连接法兰或相配机械面的表面光洁度愈高,封紧时的密封效果也就愈好。不过,即使是经研磨的表面压紧后,也未必能够成一个完美、连续的密封。再有就是,虽然就密封本身不经受运动这点来说,它是静密封件,但其工作条件很可能要经受压力载荷、温度变化和相对物理运动。在一定条件下,用涂在表面上的密封胶,就可以较好地适应,但是此种方法有很大的局限性。例如,用密封胶密封的高光洁度表面(如经过研磨加工的表面),在使用当中很可能由于密封胶损坏和挤出而失效。一定的垫密封材料具有较为有效的密封作用和长期使用性能,同时在很大程度上减少对表面光洁度的要求,因而也降低了成本。

常常用填密片、垫料和垫片这类术语来称呼那种由可压缩的平板材料切出或制出的静密封件,而不称其为“密封件”。严格的定义是把术语“垫料”局限于描述板料,而当实际密封件切制出来时,称为填密片或垫片(同义)。不过,其最终形态加进了诸如压边、金属镶片或其他加强件等复杂结构时,则更多地称其为垫片,而不叫填密片。

基本的垫片材料包括从纸到固态金属。一般说,材料的选择要依据与有关工作介质的相容性和所要求的工作性能而定,更确切地说,除要考虑被密封流体的压力外,还要考虑其温度、压力和温度的变动以及有关的连接形式等。后者可能限制所用垫片的尺寸,也会根据螺栓或法兰的最大许用应力而限制到压缩压力的大小。

螺栓的许用载荷或有效载荷对材料厚度的选择也有影响。大体上说,材料必须具有足够的厚度,以便在有效螺栓载荷下的变形能较好地适应法兰端面的凹凸不平或不均匀性。此种载荷愈小,所需垫片厚度愈大,反之亦然,不过,这也与材料的可压缩性有关,例如,软材料显然比硬材料更易压缩,但同时在压缩压力方面更受限制。

因此,垫片厚度的选择可能多少带点随意性。对软木材料而言,标准材料厚度一般在0.8或1.6mm到76mm($1/32$ 或 $1/16$ in到3in)之间;石棉材料约在0.2~3.2mm(0.008 in~ $1/8$ in)之间。以后者为例,在具有约达700bar(10000 lb/in²)的安装载荷的用途中,1.59mm($1/16$ in)的厚度可作标准的初选厚度。当为了满足个别的有关因素时,可以根据需要上、下调整,以得到终选厚度。

垫片如何密封

一个垫片密封在连接状态下要承受因组装而产生的压缩应力。在工作条件下,此载荷可能在静压端面推力作用下而缓和,如图1所示。然而,垫片本身也受由内压力引起的胀载荷,它有将其从法兰间隙空间挤出的倾向。为了抵抗挤出作用,有效压缩压力(即减去静压端面推力的组装载荷)应该大于内压力,而且要维持这种状态。考虑到

一般不可避免的垫片压缩应力的松弛现象，通常建议有效压缩压力至少要为内压力的 3 倍。而这又与材料有关。松弛作用低的材料更为可取，因为这种材料可以较低的初始压缩压力使用，或者在同样压力下保持较高的安全系数。

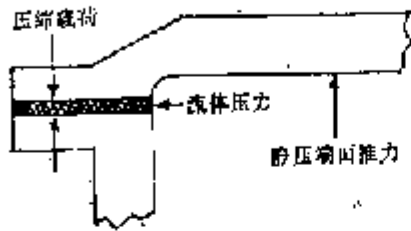


图 1

组装载荷

在密闭容器中，内压力在盖上产生推力，同样，在密闭的管道系统中，压力有使法兰分开的倾向。这种力被称做爆破推力或静压端面推力，以工作压力和垫片内孔面积的乘积来表示，与仅为了防止元件飞离而必须靠螺栓施加的载荷相等，而未计及当系统处于压力状态下，为实际维持垫片上的压缩面需要的附加螺栓载荷。

垫片残余应力是在工作状态下垫片上所保持的应力，被定作内压力和一个叫做垫片系数的系数的函数。这个垫片系数是根据有关的流体和工作条件而得来的经验数字。于是，垫片残余载荷就是产生残余应力所需要的实际载荷。

这两种载荷之和就成为组装载荷，即

$$\text{组装载荷} = \text{爆破推力} + \text{垫片残余载荷}$$

组装应力

一旦算出组装载荷，组装应力由下式求得：

$$\text{安装应力} = \frac{\text{组装载荷}}{\text{垫片面积}}$$

这种组装应力是由于螺栓在安装状态下所产生的载荷造成的，并且是下列参数的函数：

- (a) 螺栓数目。
- (b) 螺栓材料——碳钢、高强度钢等。
- (c) 螺栓直径。
- (d) 每个螺栓可负担的许用应力。

为了在由有关设备和装置的结构与尺寸所规定的范围之内得到最合适的布置，应该查阅附有螺栓性质的表格。

目的应该是使载荷沿垫片的整个面积均匀分布，不要在一些地方造成高载荷，而于

螺栓之间的中部地方减低了应力。靠使用许多较小直径螺栓，而不用少数大直径螺栓的办法，可取得比较令人满意的布置。

密封性与表面应力

即使在很低的工作压力下，垫片也须压在法兰上，并具有一个确定的最小表面压力，以保证材料填入表面的凹凸不平之处。这种变形应力与垫片材料的性质和可压缩性（或变形性）有关。

设计垫片还要考虑总的外加应力和温度对所用材料的影响。有时，压力常常会超出正常工作状态，这一点是不可忽视的。例如，在设备进行压力试验时，所用的压力可能为工作压力的两倍。同样，如果不用适当的膨胀装置加以补偿，管道的热膨胀产生的力能压坏垫片。

作为超载受力的结果，所有材料都受到不同程度的损坏。如前面所指出的那样，它们丧失了强度和在去除外加应力后恢复的能力，很重要的一点是，垫片设计人员要晓得这些限制，以便在组装时避免垫片应力过高，或在工作条件下避免应力超出其能力。

表 I 列出了优质压制石棉纤维的最大许用应力值。其他材料的性能，可以在比较的基础上加以评定（也可参见表 IV）。

表 I 优质压制石棉纤维的最大许用表面压力

厚 mm	度 in	冷 状 态		300°C	
		MPa	lb/in	MPa	lb/in
0.5	0.020	200.0	28000	140.0	20000
0.75	1/32	160.0	23000	110.0	15000
1.0	0.040	140.0	20000	95.0	13000
1.5	1/16	110.0	16500	75.0	10500
2.0		90.0	13000	60.0	8500
3.0	1/8	60.0	8500	40.0	5500

表面光洁度

表面光洁度之所以重要，仅在于它决定着厚度和可压缩性，这是垫片材料在法兰间隙中起物理屏障作用所需要的。然而，这可能支配所采用的材料类型及垫片的最终性能。例如，一种能与较粗糙表面很好密合的弹性材料，在所需的工作压力下可能被挤出，或者与有关流体或使用温度不相适应，在上述情况下，为了改用一种具有高密封压力的较硬材料，很可能不得不采用更高的光洁度。

较薄的材料比较厚的同类材料能承受更大的压缩应力，这对垫片使用的大多数材料都是适用的。再有，当采用较薄材料时，金属面要有一个更高的表面光洁度。

表 I 中列出了对各种克林格（Klinger）标准板材在不同表面应力（工作压力下）和不同表面光洁度下，推荐采用的最小垫片厚度值。

车削的法兰一般具有峰状的沟纹，这种沟纹实际上减小了垫片承受法兰载荷的面积。这增加了表面应力和垫片的压缩。在这种情况下，垫片厚度可减小到每栏右边示出的数值（假设法兰是刚性的和不变形的）。

表Ⅱ 各种表面光洁度时的最小垫片厚度

工作压力状态下表面 应力		铣削的、车削的等 $V < 160\mu\text{m}$				磨削的、车削的等 $VV(40\mu\text{m})$				磨削的/车削的 $VVV < 16\mu\text{m}$	
kg/cm^2	lb/in^2	mm		in		mm		in		mm	in
100	1400	5	2.0	1/4	1/8	1.5	1.0	1/16	0.040	0.5	0.020
200	2800	4	2.0	1/4	1/8	1.0	0.75	0.040	1/32	0.3	1/64
500	7000	3	1.5	1/8	1/6	0.75	0.75	1/32	1/32	0.3	1/64
750	10500	—	—	—	—	0.75	—	1/32	—	0.3	1/64
			1.5	—	1/16	—	0.5	—	0.020	—	—
1000	1400		1.0	—	0.040	0.5	0.5	0.020	0.020	0.3	0.008

用于各种表面应力（工作压力）和表面光洁度。对中等表面应力值来说，采用邻近较厚等级的材料。

虽然就一切情况而论，为了免除垫片补填表面凹凸不平的必要，表面光洁度较高似乎是最希望的，但这可能造成多余的浪费。表面光洁度要求应与有关的工作条件和所用的垫片材料联系起来，而不靠一般性建议。还有一点考虑就是，表面光洁度过高，并非所希望的，因为会造成夹贴不紧，特别是在使用较硬的垫片材料时，易发生挤出现象。因此，当精加工的纹路和流体作用压力方向相切时，情况比较有利，有些权威人士甚至建议法兰表面要加工出“防滑”沟纹——这可以利用一种圆头刀来切制，对于厚度为 0.50 mm (0.020 in) 以上的垫片，沟纹深度约为 0.125 mm (0.005 in)，对于较薄材料，约为上述深度的一半。

另有一点很重要的就是，法兰面必须平行，并且要在压紧状态和液压静力端载荷作用下具有抵抗变形的足够刚性。工作载荷下的变形常常被称作法兰自旋，它相当影响垫片的工作条件。许多时候也与法兰结构有关，对于螺栓来说，应根据能使法兰载荷分布均匀的原则来选择其间距，不过，这可能不得不牺牲其他方面的一些实际需要。然而，在许多情况下，这种结构因素通过采用标准法兰面被固定下来。

垫片应力

从根本上说，一个垫片的额定压力，亦即是在无挤出情况下，它所能耐受的內压力值，与材料所能耐受的压缩应力，再加上其抗蠕变和冷变形的能力有关。然而，通过提高材料硬度的方法是完全有可能阻止发生蠕变的，但另一方面，为了不必在非非常高的法兰和螺栓载荷下取得密封效果，垫片还须足够柔软。因此，一种好的垫片材料，除了其他一些所期望的性质外，还必须能够保持高残余应力。

图 2 示出了随时间变化的典型应力松弛曲线。上面一条曲线代表一种令人满意的材料，开始出现一些松弛后残余应力就保持恒定。下面一条曲线所代表的材料，则经受连续的松弛，因此，在作为垫片密封使用时，就随时间而不断地降低其额定压力。

这类曲线基本上是在特定的试验条件下，针对特定的材料得出的。松弛也会随材料厚度和温度的不同而变化。图 3 示出了一条残余应力随厚度变化的典型曲线，这条曲线着重表明，在考虑任何一种特定材料的最小松弛时，垫片总是越薄越好。例如在高压、高温的应用场合，选择 0.397 mm (1/64 in) 的垫片厚度可能是合理的，不过在实际当中，可

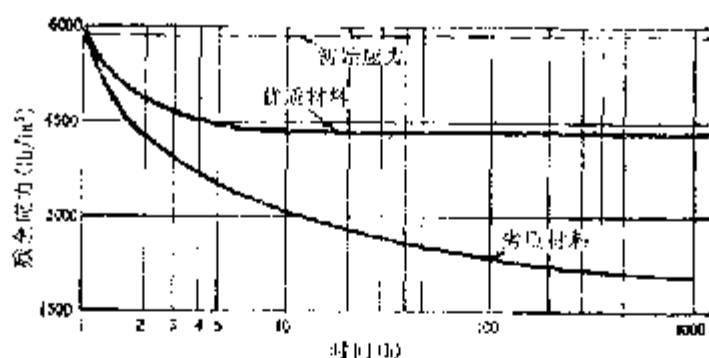


图 2

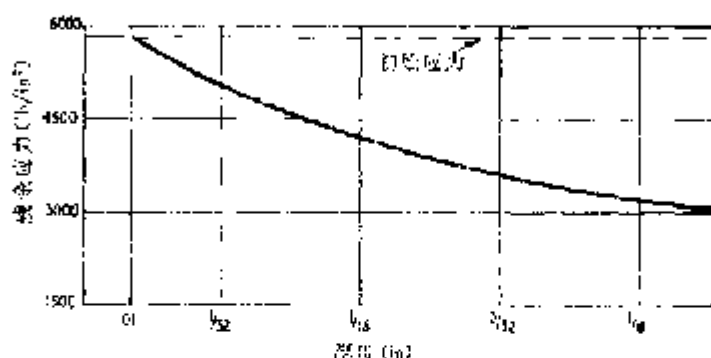


图 3

能要选择更厚一点的,以便适应法兰的状况。从另一方面来说,为了从垫片方面发挥最大限度的性能,也有必要改进法兰结构和光洁度,以求使垫片的厚度达到最小,或者采用一种加强的垫片材料。

温度影响

温度对垫片性能会有明显的影响,因为当温度增高时,一方面会降低材料的物理强度,另一方面会使垫片产生变形,以致使螺栓载荷(从而残余应力)发生变化。后一种因素在图2中的残余应力/时间曲线中没有反映出来,有关这一因素的试验,一般是基于一种简单试样进行的,并且通常是通过测定温度变形曲线单独确定的。

这类数据也得到一些特性曲线。就令人满意的垫片材料而言,相对说来,随着温度的增高,变形的增加很小,这说明螺栓载荷的变化也很少。应该指出,在引起螺栓载荷减小的压缩载荷下,变形意味着厚度减小,从而也就减少了残余应力。例如,随温度增高而有较大变形的劣质垫片材料会表现出较大的松弛,实际上在中等内压和高温下,就会发生压坏或挤出现象。

温度变形曲线还表明材料可能变软或可塑的临界温度,在出现这种变化时,曲线会有一个明确的拐点。在达到拐点之前,性能可能一直是相当令人满意的,但这个拐点规定了作为垫片材料的最高使用温度。在其他一些情况下,当接近材料的最高使用温度时,变形量的降低可能是递减的,没有明显的急剧变化,如图4所示。

压缩试验数字是很有用的,因为这些数字直接表明了由压缩产生的初始残余应力,而且如果完整的话,还可以表明回弹特性,如图5所示。一般这类数据是在不同厚度的冷试样上测定的。这类数据也可以用普通的“压缩率”数值表示,以表明为得到密封时最佳残余应力所希望或建议的压缩百分率,据此施以相应的压缩压力。严格地说,残余应力会随着压缩的增加而继续增加,压缩率数值并不一定表示材料所能允许的最大压缩量。实际上,它或者表示在给定的压缩载荷下所达到的有效压缩,在此种情况下,有效密封压力实际上可能更高一些或更低一些;或者表示一个推荐采用的最大压缩率,以限定密封载荷。例如,后者常用放橡胶板材。橡胶密封圈的有效压缩是由配合的沟槽尺寸来控制 and 限制的。

简单垫片

许多垫片用户用薄板材生产自家需用的垫片,但由具有专门技术和设备,能够非常紧的尺寸公差切出最复杂形状的专业厂家制造的预切垫片用得越来越多。

虽然形状和尺寸的变化是很大的,但是某些标准形状是大多数工业所通用的。其中主要的是按照英国或国际标准形状生产的法兰垫片。图6示出了各种常用法兰。

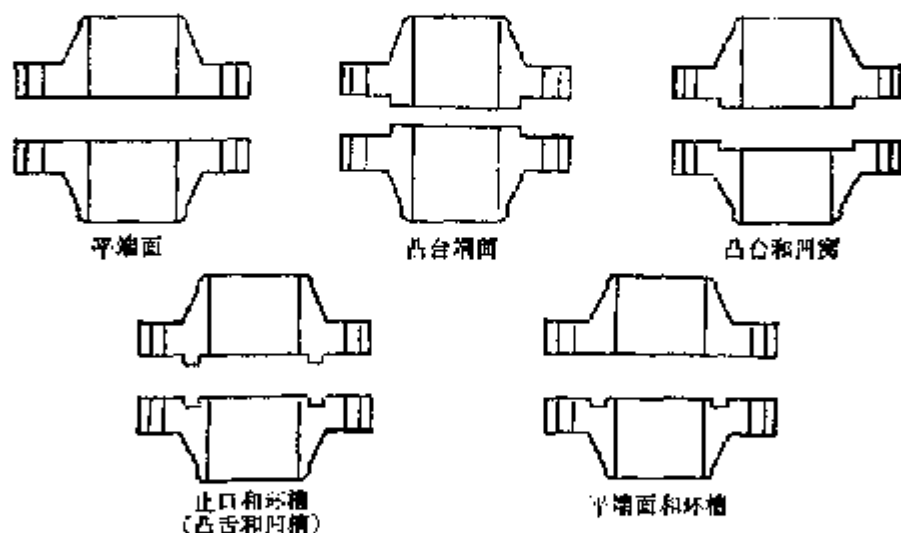


图6 常用法兰

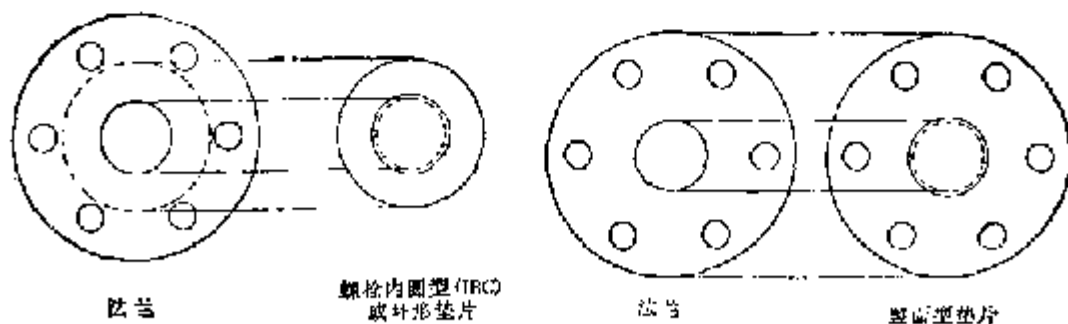


图7 常用垫片

最常用的两种垫片类型是,

(i) 螺栓内圆型或环形, 这种形式的垫片外周尺寸一般根据螺栓的布置情况来确定。

(ii) 整面型, 此种形式垫片的外径与法兰的外径相同, 同时垫片上有一组与螺栓的数目和直径相对应的孔。

图 7 表明了这两种类型的垫片。

材料

最常用的垫片材料叙述如下 (详见表 IV、V 和 VI)。

纸

包括牛皮纸和马尼拉纸在内的各种纸都属于廉价材料, 为了减少对封闭液体的吸收, 以蜡基填料处理使之稳定, 也是很可取的。属于这一类的另一种类型是浸渍过粘剂剂/丙三醇混合物的纤维板 (也称刚纸)。这类材料可以制得非常薄, 薄到 0.1 mm (0.004 in)。它们广泛用于汽车工业, 可以制成垫片或在用水、机油或汽油的场合充当填隙片。最高工作温度为 120°C, 最高工作压力为 8 bar。

软木

一种采用树脂胶结软木粒的制品, 其质量依软木粒度大小而变化。由于这种粘结方式较差, 材料易于破碎, 但这可以通过加入纤维夹层的方法加以改善。软木垫片具有良好的耐油和耐溶剂能力, 但是水对其有不良的影响。软木垫片主要用于配合面不平整或螺栓载荷不大的场合。最高工作温度为 50°C, 最高工作压力为 3.5 bar。

橡胶粘结软木

橡胶粘结软木是采用优质的细颗粒软木由合成橡胶粘结制成的, 是一种比利用树脂粘结更为耐用的材料。这种材料把软木的天然可压缩性与橡胶的弹性结合在一起, 从而造成一种机械强度高、压缩性高和永久变形小的垫料。以这种材料制成的垫片, 可以构成一个防漏填密片, 而且不太会滑移或被挤出。这是一种易于切制的材料, 同时由于具有强度和柔性, 适用作狭端面的垫片。其对化学作用的抗力在很大程度上取决于所用粘结剂 (一般为氯丁橡胶或丁腈橡胶) 的性质。在强碱或强酸环境中不宜采用软木制品, 但对润滑油、汽油、空气、煤气和热水等环境是很适应的, 同时被广泛用作电力变压器中的油封件。这种材料一般具有良好的臭氧和空气老化特性。

建议采用的最大工作温度范围是从 -30°C ~ 150°C。常用压力范围约为 3.5 bar。

橡胶

在一些较为普通的材料当中, 就通用性和应用范围来说, 橡胶是名列前茅的材料。

所有合成橡胶的共同特性, 就是在施加应力的状态下明显变形, 当应力消除时, 迅速回复其原有形状。

大多数合成橡胶还具有下列一些通性。

(i) 它们是不可压缩的。施加的应力只改变形状, 而体积保持不变。

- (ii) 加热逐渐地、不可逆地破坏其性质和完整性。
- (iii) 冷却会使其变得脆硬，但这种变化是可逆的。
- (iv) 长时间的变形会导致某种程度的压缩永久变形。

一种合成橡胶能在其范围内有效工作的物理限度，主要受其化学组成的制约，但是橡胶工艺师将越来越能扩大或改变这个范围。

对基本合成橡胶性质的考查，阐明了每种类型的不同特点，据此能为具体应用做出最佳的选择。

天然橡胶 (NR)

天然橡胶有很好的机械性能，如良好的抗拉性和耐磨性、高弹性和较好的低温挠性，但因其耐化学能力低（尤其不耐受会大大降低其强度的溶剂和油），对会引起裂纹的日照、臭氧耐受能力差，以及工作温度范围有限，故其制成垫片使用时，要受到一些限制。

丁苯橡胶 (SBR)

一种通用的合成橡胶，除了要求一定机械性能的场所，可视为天然橡胶的一般代用品。

聚氯丁烯 (CR)

最出名的 CR 是氯丁橡胶，就对臭氧和耐气候变化来说，要优于 NR 和 SBR，也有一定程度的耐汽油、矿物油和其他碳氢化合物的能力，并且可制成耐燃性的。这种材料仅有中等程度的低温挠性，并且有易于遭受压缩永久变形的缺点。

丁腈橡胶 (NBR)

这种合成橡胶特别耐矿物油、芳香烃和链烷以及酒精，但这要取决于橡胶中腈的具体含量。高温性能和低温性能均较好。以牺牲低温挠性为代价，通过适当配料，可以进一步提高其耐油性。

氯磺化聚乙烯橡胶 (CSM)

CSM 橡胶有很好的耐臭氧能力和良好的耐燃性、耐热性、耐矿物油性、耐酸性和耐风化能力，适于在户外或靠近产生火花的电气设备的场合应用。

乙丙橡胶 (EP)

EP 和二烯改良型 EPDM 具有良好的机械性能，并且耐老化、耐风化、耐臭氧、氧、蒸汽和水。它尤其耐磷酸酯基液压油，但建议不要用于石油基液压油。

丁基橡胶 (IIR)

丁基橡胶耐磷酸酯基液压油能力与 EP 类似。这种材料的气密性和防潮性很好，且对包括无机酸在内的一般化学药品有很好的耐受能力，但耐石油基液压油能力较差。

氟橡胶 (FPM)

氟橡胶对汽油、机油、含氟溶剂、液碱溶液和发烟酸有很好的耐性。耐臭氧和风化的能力甚佳，并且高温性能亦很好。这种材料的低温挠性不好，最好不用于某些酯类或酮类物质。

聚氨酯 (AU/EU)

这类聚合物对各种机油、溶剂、脂类物、润滑油、汽油、臭氧、日照和风化作用具有良好的耐受能力。其低温机械性能甚佳，但在高温时要加小心。聚氨酯橡胶特别易于水解，不应用于热水或酸类。

硅橡胶 (SI)

硅橡胶耐水、耐臭氧和耐日照，并且可以在极低或极高的温度下使用。硅橡胶无味、无味，不会滋长细菌。这种材料最好不要在高压或蒸汽条件下，或者在有油、汽油及其他碳氢化合物的场合使用。

一般说来，为了造成有效的密封，合成橡胶的应用仅限于一个适中的温度与压力范围，并且安装应力要较小。如果螺栓载荷过大或者工作中有剧烈的振动或摆动，从而造成一种高应力的工作条件，那么材料会表现出蠕变的倾向，这种蠕变对密封效果可能产生不利的影响。在某些情况下，这个问题可以通过采用一种以黄麻或聚酯衬垫的合成橡胶的办法来解决。

表ⅡA和表ⅡB列出了各种橡胶的特点，以供选择材料时参考。

表ⅡA 常用合成橡胶的性能比较

合 成 橡 胶 类 别	通用，不耐油的		通用，耐油的		
	天然	丁苯二烯	氯丁二烯	丁腈橡胶	氧化亚苯乙腈
美国材料试验学会标准代号	NR	SBK	CR	NBR	CSM
一般温度范围℃	-50~+50	-10~-70	40~+120	-40~+130	-20~+150
耐 磨 性	极好	极好	极好	好	极好
抗压缩永久变形能力	好	好	好	好	中等
耐 酸 性	差	差	好	中等	好
抗氧化能力	中等	中等	极好	中等	极好
抗硫化能力	好	好	好	中等	极好
耐臭氧性	差	中等	极好	差	极好
耐辐射能力	中等	好	中等	中等	好
耐（冷）水性	极好	极好	好	好	好
耐油性	差	差	中等	中等	好
不透水性	差	中等	中等	中等	好
电 阻	极好	极好	中等	差	好

(续)

合 成 橡 胶 类 型	中等温度耐油的		高温耐油的	耐酸的	高温不耐油的
	乙丙橡胶	丁基橡胶	氟橡胶	聚硫橡胶	硅橡胶
美国材料试验学会标准代号	RP EPTM	IR	FPM	AU EL	SI
一般使用范围℃	-40~+135	-50~+120	-50~-230	-40~+100	-100~+250
回弹性	好	好	好	很好	好
抗压缩永久变形能力	中等	中等	好	好	很好
耐燃性	差	差	很好	差	好
抗风化能力	很好	很好	很好	很好	很好
抗氧化能力	好	很好	很好	很好	很好
耐臭氧性	很好	很好	很好	很好	很好
耐辐射能力	差	差	好	好	很好
耐(冲)水性	好	很好	好	好	好
耐蒸汽性	好	中等	好	差	好
不透气的	中等	好	好	好	好
水 阻	很好	很好	好	很好	很好

表 II B 各种合成橡胶耐化学药品性

		NR	SBR	CR	NBR	CSM	EP	IR	FPM	AU	SI
酸	稀 的	D	D	D	G	E	G	E	E	P	G
	浓 的	P	P	D	D	G	G	G	G	P	P
醇	酒精等	G	G	G	E	G	E	E	G	D	E
碱	稀 的	D	G	G	G	G	E	G	G	D	D
	浓 的	D	D	D	D	D	G	D	D	P	P
含卤族物质	三氯乙烯等	P	P	P	D	P	D	P	G	D	D
烷 烃	汽油、煤油等	P	P	D	G	D	P	P	E	E	D
芳 香 烃	苯、甲苯等	P	P	P	D	P	P	P	E	D	P
液压油	硅油类	P	P	G	G	G	D	P	G	G	D
	磷酸酯	P	P	P	P	D	E	E	D	D	D
酮	丙酮等	P	P	P	P	P	G	G	P	P	D
矿物油		P	P	D	E	G	P	P	E	G	G
合成润滑油(二元酯类)		P	P	P	D	P	P	P	G	D	D

本表内的评价指标对于选用适当的垫片材料, 仅可用作一般参考。

表中E——很好, G——好——在大多数场合适用, D——适用性取决于工作条件, P——差——一般不适用。

压制石棉纤维 (CAF)

压制石棉纤维是一种别具特色的, 最为通用的垫片材料。压制石棉纤维垫料基本上是以石棉纤维为主, 由少量合成橡胶将其粘结在一起而成的。这种垫料使用方便, 而且虽然它自身能适应金属面的表面不平度, 但却不会轻易滑移或挤出, 同时, 若要在厚度上得到某种较大的变化, 则需要很高的载荷。当承受高温时, 这种材料要失去很大的柔性, 但是尽管如此, 却仍能保持一定的弹性, 从而可在高温场合应用, 并维持一种压紧密封状态。

石棉是一种通称, 按其类型可分为四种, 即: 水合硅酸镁石棉、青石棉、铁石棉、直闪石, 这些石棉在纤维组织和物理性质方面是不同的。其中只有水合硅酸镁石棉 (白石棉) 用于生产压制石棉纤维板垫料 (在美国)。

使石棉明显地适于用作垫料的一些性质如下:

(i) 耐受高温的能力。使用温度可达 550°C , 而无组织上的变化, 但在这一温度下, 开始失去其结晶水, 并最终变得十分酥脆。

(ii) 在化学方面实际上是惰性的, 只受强无机酸类的侵蚀。

(iii) 采用纤维较长的品种, 能得到拉伸强度较高、压缩性和回弹性较好和在热状态和应力状态下抗滑移性较强的材料。

石棉纤维靠其本身不能自行粘结, 所以由合成橡胶胶结起来构成板材。各种合成橡胶的选用, 与垫片的最终用途有很大关系, 其选择在一定程度上是交错重叠的, 而且往往要根据其耐液态碳氢化合物和无机酸的能力而定。

制 造

石棉先要经受分散和辟开纤维处理, 以保证在随后的整个混配料中分布均匀。与此同时, 聚合物在适当的溶剂中被调稀到一种均匀溶液的稠度。然后, 将上述两者一起放到一个混料罐中, 每一根石棉纤维被覆上一薄层聚合物, 接着, 将这种制品送入两个精密的压延辊之间, 在高压下生产出一种厚度均一的匀整板料。

由上述可以看出, 压制石棉纤维板是按照压延辊的尺寸单张制造的。还有不同样式的制造方法, 也采用石棉纤维和聚合物作基本原料, 但是以连续辊压的方式生产板料。

被称做打浆的这种方法与造纸工业所采用的方法类似, 即使呈水浆状态的物料沿着一个移动的丝网输送机传送, 在传送过程中, 大部分水分被沥出。固化的物料经由一组压辊连续通过干燥装置, 送到精整和卷取设备上去。成品板卷状态的板料长度是以能便于随后运输为原则, 按重量确定的。打浆材料可以按各种厚度和以非常严紧的尺寸公差来生产。这种材料一般比压制石棉纤维为软, 比重也较小, 同时只需较小的螺栓载荷, 即可形成有效的密封, 通常适合于汽车工业和家用设备工业中的用途。

石棉织物

石棉类中的另一种材料是防水胶布。这类胶布是通过在其表面上压上一层天然或合成橡胶的方法来上胶的。此种材料的可压缩性和贴服性均很好, 因此适于密封平整性差的接合面。通过在基层胶布上折叠的办法, 可以制成厚度不同的板料, 并可利用普通

的工具从这类板料上切制垫片。

生产厚垫片的另一种方法是利用带材和采用能把垫片叠成所要求形状和厚度的各种专门折叠技术。锅炉检修孔垫料，就是采用这种方法的例子。

材料的温度范围随其用途而变化。常用范围达 180°C ，但在一定的环境下，这一温度可以提高到 500°C 左右。当由于处于热循环和振动条件下而对机械强度另有要求时，这种垫片材料可以利用金属（例如：铜）丝来加强。

无石棉麻丝板

这是作为一种无石棉材料，但能经受同样温度（达 1000°C ）而发展的较新产品，打算直接用作石棉织品的替代物。具有高强度和良好的热性能。这是一种在两侧弄湿就能具有柔性，而干燥时即硬化成固定形状的材料，主要用来制作隔板材料，但也少量地用作垫片材料。

塑料

虽然塑料的发展为市场提供了一个广阔的材料品种范围，但却很少有几种用作扁平静密封件，这是因为能可靠使用的温度范围有限，同时其回弹性能也较差，并且在载荷作用下有时易于产生流移。

塑料中有一种很例外的材料，即聚四氟乙烯，这种材料具有引人注目的性能组合，使其在侵蚀性的和毒性流体的密封中占有独特的地位。实际上，聚四氟乙烯的化学活性很差，仅有熔融状态的碱金属和在高温、高压下的氟化物才能使其受到侵蚀。

热塑性材料的工作温度范围是很宽的，一般为 $-190^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。然而，此种材料在载荷下易产生一定程度的流移或蠕变，限制了它从基材上切削出来时作为垫片的使用。这个问题可以通过采用一种非常薄的蒙皮或包套的办法轻易得到解决，这种蒙皮或包套是与一个从一种较常见的材料，即压缩石棉纤维或橡胶冲切来的垫片的孔径相配合的，参见图 8a、8b、8c、8d 和 8e。

用于包套垫片的其他填充材料有各种毛毡或压制石棉板、软木板、打浆板、波纹金属带材和夹层结构。

这类板料保护垫片免受某些侵蚀性流体的侵蚀，否则侵蚀性流体可能使此种材料削弱或大大减低其密封能力的程度。同样地，普通材料虽然能构成一个完善的密封，却可能沾污所封闭的产物，这是为某些工业部门（如食品、药品）所不能允许的。为适合这种情况，聚四氟乙烯蒙皮垫片可用来保护产品。

生产的蒙皮有如下一些类型：

(i) 切口型或“Y”型截面，适于配 1.6mm 的厚垫片。

(ii) 机械加工型或“U”型截面，适于配 3.2mm 的厚垫片。

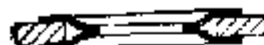
(iii) “V”型，这是一种机械加工型的包套，可能属于使用最广的类型，适配的孔径尺寸达 500mm (20in)。

当采用聚四氟乙烯材料时，其制造方法是很经济的，这可从零件价格很低这一点上得到证明。不过此种垫片确有产生紊流和构成沉积阱的缺点。

这种形式的断面还减小了有效密封面积。



“M”型 机械加工出光滑孔并敲成垫圈形状。厚径至20mm以内。

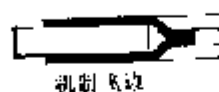


“V”型 切削成形，以便当无光滑内孔时给出价格优惠的较薄垫圈。

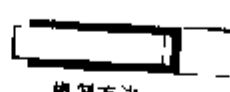


“W”型 由特殊成形和焊接的等凸且乙烯制成。用于超过18mm内径的所有垫圈。

(a) 聚四氟乙烯包套垫片



机制飞边

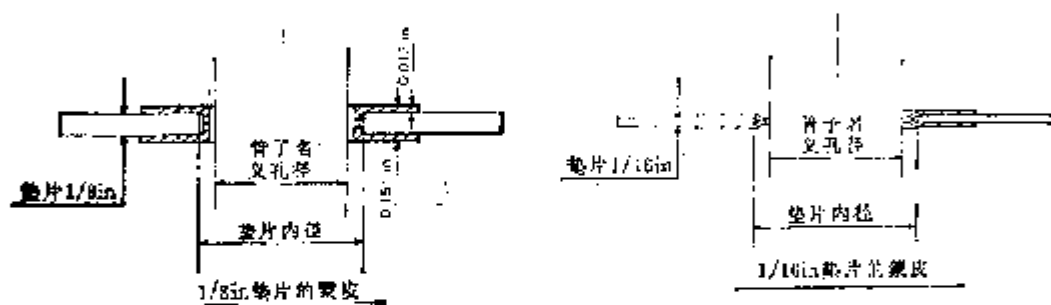


机制飞边

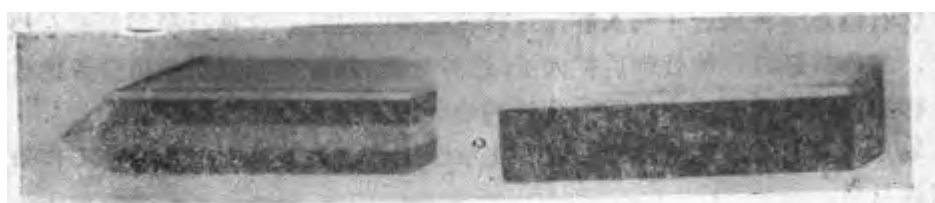


折弯器

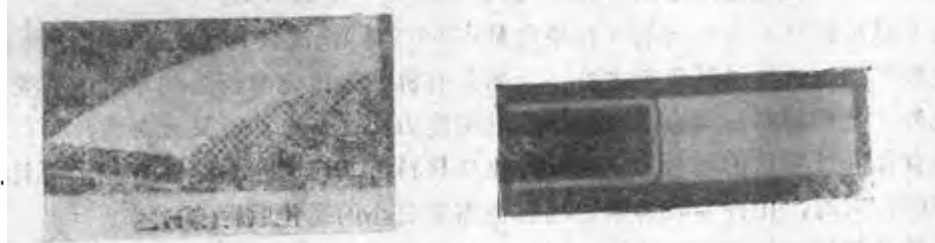
(b) 聚四氟乙烯包套垫片



(c)



(d) 切缝型(左)和沟道型(右)包套垫片



(e) 采用纯芯聚四氟乙烯包套垫片(左)和中间包有不锈钢波紋片的复合芯包套垫片

(iv) “M”型，也是一种机械加工包套垫片，适配的孔径尺寸达500mm (20in)。然而，由于制造方法方面的原因，采用很多聚四氟乙烯材料，这在零件价格上反映出来。然而，该结构能用于有光滑内孔的全法兰面密封，并且不阻碍产物流动。

(v) “W”型，由特种聚四氟乙烯带制成，这种带子被弄成所需要的形状，并被焊接起来，一般适用于尺寸不小于450mm (18in)的孔径。

(i)类和(ii)类一般按DST和ASA标准生产，其孔径的名义尺寸达150mm (6in)，但当直径较大时，蒙皮由带材叠制，并在接头处焊成。大直径的焊制蒙皮常常与橡胶、压制石棉纤维一类的合成材料一起使用，以密封采用玻璃衬里的容器盖子，这种容器的密封端面不总是平行的，需要软垫垫片。

聚四氟乙烯生料条在某些应用场合被用作平垫片的简便替代物。把生料条裁在螺栓内圈，或者盘成交叉通过各螺栓侧面。但无论采用哪一种布置方式，生料条端均要搭接，这样压紧时材料便会展平，形成一个平垫密封(图9)。



图9 聚四氟乙烯/氟氮化合物板密封

片状石墨(石墨片)

片状石墨是一种新近才列入静密封材料范围的材料。这种石墨与普通石墨的不同之处在于，其晶格经过一种处理后扩大了，这种处理过程，使石墨层保持分开的程度比由像磁极一样彼此排斥的表面小电荷所造成的分开程度更大。

石墨片具有非常出色的物理性能和化学性能，这使其特别适于用作工作条件较为苛刻的密封材料。

在氧化性气氛中，此种材料可在 $-200^{\circ}\text{C} \sim +500^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内使用，若在还原性或惰性气氛中，使用温度范围可以扩大到 $-200^{\circ}\text{C} \sim +2500^{\circ}\text{C}$ 。

由于这种材料不含粘合剂(石墨含量占99.9%)，故具有优良的耐化学药品能力，除了像浓硝酸这一类强氧化剂之外，大部分有机或无机化学药品均不会使其受到侵蚀。

此外，此种材料还具有高度耐核辐射的能力，另一方面，又无毒性，可以安全地用于接触食品和饮用水的场合。作为一种垫片材料，其应力松弛特性甚佳，而且在造成一个可靠的密封时，比许多较为常用的材料需要更小的螺栓载荷。

石墨片的应力松弛特性曲线示于图10。

泡沫材料作成垫片(如低压下防蒸汽圈和防尘用的泡沫塑料或海绵橡胶)也有一定的应用(参见自粘压缩密封一节)。

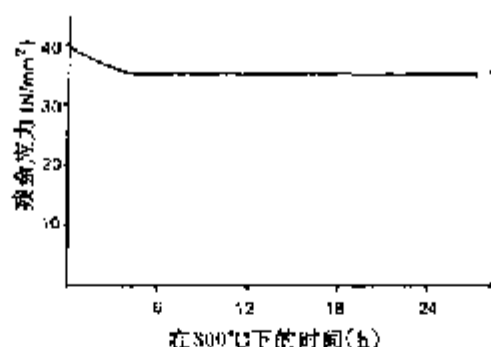


图10 石墨片的应力松弛 (10 mm 厚的试样上的初始应力为40N/mm²)

金属与复合材料

至此为止, 所研究的材料均可归类为非金属材料, 并且在紧固力的作用下, 均具有不同程度的贴服性, 并易于补偿表面不平度和外加应力的波动。实际上最终会达到这样一点, 即对此类材料来说, 工作条件过于恶劣或装配应力超出其允许限度, 这时就有必要选择一种更为坚固耐用的材料。为此, 设计者便求助于许多半金属和实心金属垫片。

应该指出, 在什么场合应该用金属材料代替非金属, 这一点上并没有确切的界限, 其抉择有时甚至完全带有任意的性质, 而且在采用非金属材料可能更为合理时, 却采用金属材料的情况也屡见不鲜。

半金属垫片具有复合结构, 其中每种成分的独特性质都得到发挥。

波纹形金属垫片

这类垫片常常采用黄铜、铜、铜镍合金、钢、蒙乃尔合金、铝等金属来制作, 并且大部分制成任何需要的形状和尺寸, 金属厚度一般为 0.25 mm 或 0.3 mm, 波纹间距为 1.6, 3.2, 6.4 mm。

密封的机制是依据波纹峰与配合法兰之间点接触的原理。点接触造成较高的局部密封应力, 产生某种变形, 从而补偿法兰面的不平度。这类垫片常常要在波纹中间填充垫料或石棉绳芯, 如图 11 所示。



图 11

此种垫片可用来密封蒸汽、水、空气、化学药品和油品, 垫片金属要根据所封闭的流体性质和工作温度来选择。



挤压型垫片，特点是在金属板上压出三角状波紋

金属包封垫片

这类垫片是由石棉麻丝板或压制石棉纤维等较软材料构成的，切成所需要的形状，外面包以黄铜、铝、软铁、铜镍合金、铜、蒙乃尔合金或不锈钢等金属。金属包封垫片常常用在密封面狭窄的场合，这时金属包封起增加机械强度的作用。

这类垫片可以制成复杂的形状，例如多道热交换器垫片的金属包封，就是由带材制造并于接头处焊接而成的。对于某些类型的结构来说，在搭接头地方金属势必要高出一块，这将引起较大的局部安装应力，对关键部位的密封效果有益。

这一特点在汽车的气缸头垫片中是很重要的，其中除了包封较软的基体材料的金属板外，其孔眼还要用金属镶边。

金属包封垫片也广泛用于石油化工工业，其中压力容器内常常要承受较高的装配应力。

橡胶贴条垫片

这类垫片具有复合结构，在这种结构中，采用网板印刷技术，把由金属、压制石棉纤维或纸切制的垫片压出合成橡胶的凸形纹路。这种压出的橡胶花纹呈带状，从一个螺栓孔到另一个螺栓孔，盘旋于整个法兰面上。在螺栓之间的居中部位，压印出的花纹常常较厚，以补偿在此点可能产生的螺栓载荷下降，特别是当螺栓间距较大时。

此种垫片的工作温度范围与橡胶的种类有关，一般从 -60°C ~ $+200^{\circ}\text{C}$ ，可用来密封各种燃油、润滑油、水和化学药品，特别是用在小型的大批量生产的元件上。

缠绕垫片

缠绕垫片具有相当高的机械强度和很好的回弹特性，因此是最为通用的半金属垫片。

这类垫片系采用“V”型断面的金属带材和非金属填料交错叠放，绕成螺旋形而成为一系列标准形状（图12）。直侧边的长度由于保持材料张紧的困难而有一定限度。填充材料不沿金属带的全长填充，因为在绕圈的开头和尾端处，有几圈金属按一定间隔焊接在一起。

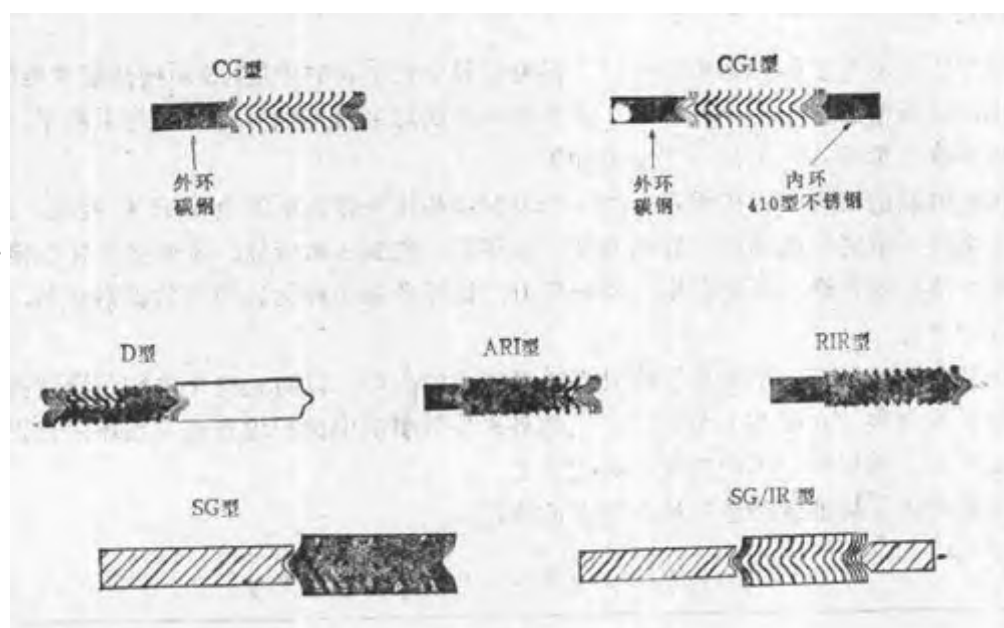
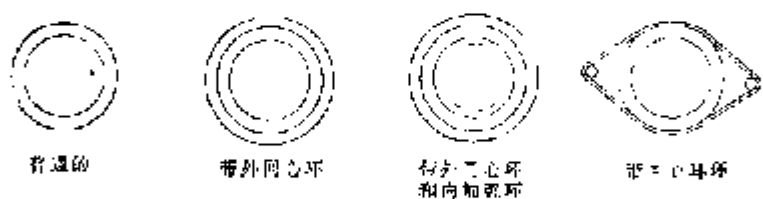


图12 螺旋垫片实例



各种类型的螺旋垫片



组合式橡胶O形环和金属或塑料挡圈

金属部分一般采用不锈钢材料，不过在工作条件值得违背标准时，也可以采用诸如蒙乃尔、镍、钛和铬镍铁合金等材料。

填充料也要根据应用情况、标准部门的规定或制造商自家的规格而变化，一般为压制石棉纤维、打浆石棉、石棉纸、聚四氟乙烯条、陶瓷纸和石墨片。

挡圈与支承环

缠绕垫片可用于各种结构的法兰，但要得到最大的密封效能，必须按预定量压缩它。在像止口和环槽那样全封闭状态下，法兰端面金属对金属接触时得到最佳压缩量。因此，止口和环槽必须按一定的尺寸和公差加工。

在无限制的结构中，压缩量系由一个与缠绕垫片外缘适配的金属环来控制。此时，垫片几乎被压缩到与此挡环一样的厚度。该环除了控制压缩量外，还使垫片在螺栓内对中并支承垫片的外缘，承受产生的径向应力。该环多采用钝化处理过的碳钢材料，以防止大气的腐蚀。

在某些应用场合，还配有一般用不锈钢制成的内环，以防止垫片内径和管道孔径之间堆积固体物质。它还在不大可能发生的垫片失效事故中保护设备免遭损坏，特别是在真空条件下，破损物有可能被吸入系统中去。

表 IV 列出了标准缠绕垫片压缩厚度的推荐值。

表 IV 标准缠绕垫片的推荐压缩厚度

名 义 厚 度		压 缩 厚 度	
mm	in	mm	in
3.2	0.125	2.4~2.6	0.095~0.105
4.5	0.176	3.2~3.4	0.125~0.135
6.4	0.250	4.6~4.8	0.180~0.190
7.3	0.285	4.7~4.9	0.186~0.196



由夹丝增强的橡胶-石棉垫片带制作的垫片示例

法兰表面光洁度

当一个缠绕垫片受压时，比金属绕圈稍高出一些的填充料，便填入法兰面中的凹凸不平处，与此同时，金属绕圈提供机械强度和回弹力。法兰表面的不平度越大，造成可靠密封所需的紧固力也越大。

对于工业中所碰到的大多数使用条件来说，那种商业性的工作表面状态是可接受的，但是当涉及极端工作条件时，对高等级的表面光洁度的要求是很重要的，表面过于光滑，则会使金属表面和密封件之间的摩擦力减小到削弱密封效能的程度。通过使加工出来的高质感表面纹理呈精细的螺旋状花纹的方法，可以适当地解决这一问题。制造商对这类精细纹理有其自家的规格，最好了解他们的建议。

缠绕垫片的用途

缠绕垫片因其独特的结构而有极宽的应用范围，可在 $-250^{\circ}\text{C} \sim +1000^{\circ}\text{C}$ 的温度范

铜和从真空到 350bar(5000lb/in)的压力范围内使用。如果精心设计法兰和排列螺栓,工作压力甚至可以提得更高。填充料的选择保证了使其能适应整个工业范围内应用的绝大多数流体(无论是液体还是气体)。

这种通用性使其在蒸汽发生与分配系统、石油化工系统、核工程系统、液压与高压气系统中获得了应用。

缠绕垫片按照英国和其他国家的一些标准制成各种规格,这些标准和规格详细列了全部工作条件范围内的尺寸和公差。

实心金属垫片

使用实心金属垫片总是要比使用其他类型的垫片需要更大的安装应力,这意味着法兰面必须平整,并且要有较高的光洁度。

实心金属的回弹力是极低的,因此结构应保证,无论工作条件如何变化,也能维持住安装应力。

虽然平坦金属垫片是一种使用频繁的垫片,但通常限于相当窄小的表面和为了帮助减小很大的装配载荷。

某些类型的金属垫片的截面设计得能使载荷集中在一个小面积上,从而造成较大的安装应力(参见图 13)。

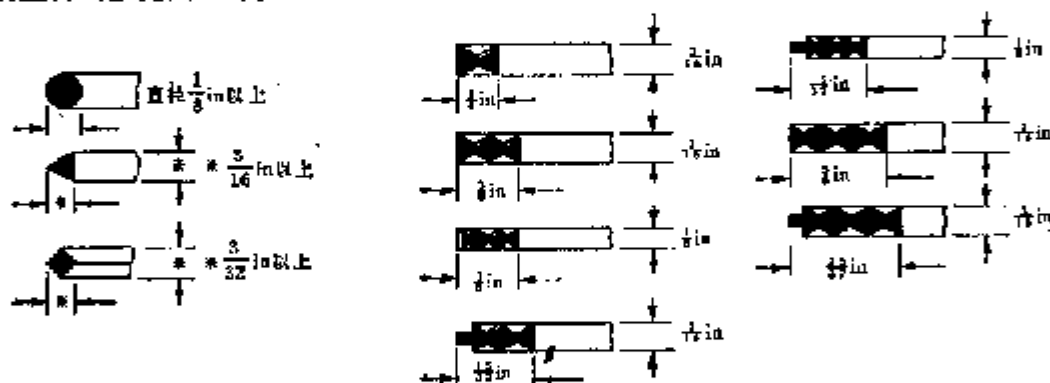


图13 实心金属垫片的标准截面示例

此类垫片的典型截面形状有圆形、椭圆形、菱形和八角形等,采用的材料为铜、软铁、铅、铝、不锈钢、镍、蒙乃尔、铬镍铁合金和钛。

此类垫片多为小尺寸的,与垫圈差不多,密封面窄小,可借助所施加的压紧载荷产生较大的应力。

尺寸较大的垫片用于压力非常高的管道系统和压力容器。此种用途时,法兰面上通常要加工出一个与垫片断面形状相适应的槽(图 14)。此垫片的一种变形结构是透镜状环(图 15),其中垫片的密封面被加工得稍有一点曲率,面与其配合的表面按一定角度加工,但不是完全平直的。

另一类实心金属垫片有锯齿形表面,齿深约为 0.8mm,每厘米 5.6 个齿(即 1/32in 深,14 齿/in)。齿顶呈平状,宽约 0.1mm,这些齿顶沿密封面造成了一系列点载荷。在制作过程中非常重要的一点是,要保证两面上的齿平面平行和齿形一致。此类锯齿形垫片有一种变形品种,在每一面上配合了一薄层压制石棉纤维或打浆石棉板。

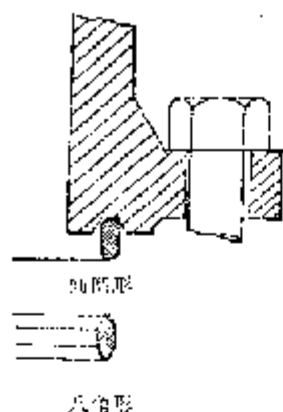


图14 台阶式实心金属环

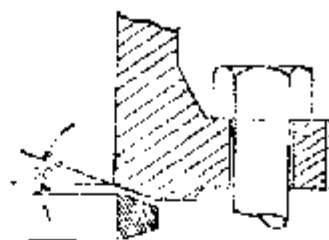


图15 波纹状环

在采用实心金属垫片的所有应用场合，元件的表面质量是个关键，为保证其具有完好的平整性和光滑无损的纹理，处处都要十分注意。

在大多数应用中的温度极限系由垫片所用金属本身决定的。如果注意了组装载荷，采用标准厚的此类垫片，工作压力可达 1000bar (约15000lb/in²)。

波状环形垫片

由美国化学工业公司 (ICI) 研制的波状环形垫片是一种具有弹性的波状环，当其被轻轻压入配合沟槽或接缝中时，便在作用于整个内表面上的系统压力下产生变形，使垫片表面与槽壁紧密地接触在一起。这种类型的金属垫片（如不锈钢制的）在高温下效果更佳，因为垫片的膨胀增强了密封能力。

印制垫片

印制垫片是解决平面密封的一种新途径，可以三种不同的形式，用于所有工业领域。

(一) 金属基高压垫片。

(ii) 涂层的。

(iii) 纯印制致密垫片。

当给定适当的厚度、回弹力和耐受环境的能力以适于所考虑的接缝时，利用此种技术，就可以用密封料准确地制作一种垫片。此外，由于有可能制作无基材垫片，或附着于一种永久性基材上的垫片，所以还能把垫片的作用扩展到一些其他功用方面。这些问题均属于“道普林特”专利的范围。

金属基或高压印制垫片 (图 16)

高压“道普林特”是在金属的、陶瓷的或合成材料的基材上，有选择地沉积一种聚氨酯或类似聚合物制成的。此种垫片用来有效地密封通常采用O形环在加工沟槽中密封的那种复杂零件系统或通道



图16 机匣被压圆腔上使用的金属基或高压印制垫片

系统。零件结构越复杂或数目越多,采用高压“道普林特”的经济效益愈显著。密封的最高有效压力可达 415bar(6000lb/in²),在从-35°C 到+100°C 的温度范围内,垫片对矿物油、液压油和各种油脂具有耐力。

纸基“道普林特”

纸基“道普林特”解决了使用大型挠性垫片所存在的操作问题。通过在一些难对付的地方有选择性地涂上一些可压缩的密封胶,可局部地增加了垫片厚度的方法,带来了一些性能上的好处。许多应用场合,已采用这种垫片代替了那种即不方便而又很贵的“就地”使用的液压密封胶。在气动与液压工程中,当需要进行微型密封时,垫片的背面可光滑地涂上一层 0.02mm 厚的密封胶,以作初级密封使用。

低压无基材纯印制垫片 (图17)

无基材纯印制垫片是一种泡沫型或非泡沫型合成橡胶材料的选择性淀积物,无须采用昂贵的工具,即可制作出来。从根本上说,材料是印附在一个临时性的可剥离载体上,然后,根据需要进行固化或发泡。



图17 印制的垫片板

所得到的这种软连接垫片呈自然拱曲的形状,当其被紧固压平时,就在逐渐扩大的面积上形成密封,从而提供比普通的平垫片更强的密封性。无基材纯印制垫片,一般与冲切的橡胶和复合材料垫片不相上下。

“道普林特”材料

根据有关印制垫片最初设计思想,在发展更为适合于丝网印刷工艺的材料方面,已做了很多技术工作。为了便于印刷,用作密封胶材料的基材的聚合物质是液态的。对基材聚合物来说,希望粘度值较小,以便能够加入适当的填充料和表面活性剂进行流变调节,以满足各种不同的加工条件。为了得到优良的印刷质量,密封胶应具有触变性或准塑性。“道普林特”密封胶一般是热固性的,以便减缓高温状态下的“流失”现象。

可用的材料

研究工作的主要精力放在发展那些能满足温度、流体和粘合需要,同时又适于采用印刷工艺的弹性材料。已找到的下述各组材料,在很大程度上包括了所需的整个垫片工作范围。

环氧树脂基密封胶

这类密封胶可在各种硬度状态下使用,既可呈泡沫状,亦可为实心状。对流体的相容性很好,适应于各种矿物油、煤油、航空汽油、水、乙二醇、煤气和天然气。连续使用时,耐受高温达 120°C。

环氧树脂被认为是通用密封胶,除了上面讨论的纯印制垫片材料形式外,还可涂于金属、塑料和纸等基材上使用。

聚氨酯基密封胶

这类密封胶由于比环氧树脂类密封胶有更高的强度和延伸率，故多用于高压系统。一般能适应 200bar (3000lb/in²) 的循环压力，但静态压力可大大超过这一数值。对大部分矿物油和液压油均适应，工作温度最高达 100℃。此类材料一般涂于金属、塑料或纸等基材上。由于材料固有的高耐磨能力，使其能在接头断面由于活动而存在微振磨损的条件下，有效地用作垫片。

硅酮密封胶

虽然硅酮的强度有限，但除了极端工作温度之外，还是可用于中等承载条件的使用场合。对大多数液压油和矿物油环境来说，其工作温度在 -60℃—200℃ 范围之间。

如上所述，目前进行的研制工作旨在提供一种泡沫硅酮材料，这种材料适于制作能满足一般范围的汽车要求的无基材纯印制垫片。

聚氢乙烯基密封胶

呈泡沫状，基本上用作一种性能要求相当低的防尘和防湿密封件。

参见液态密封胶一节。

材料选择

可使用的材料范围一旦确定，针对给定场合的材料选择，取决于某些基本指标：

- (i) 流体的性质；
- (ii) 工作温度范围；
- (iii) 压力或真空状态；
- (iv) 存在循环工作状态、冲击压力和振动等的可能性；
- (v) 安装表面的形状和尺寸；
- (vi) 安装表面的纹理；
- (vii) 可以达到的装配载荷；
- (viii) 诸如辐射、污染等其他因素。

一旦弄清楚这些细节，选择材料就很简便了。但另一方面，很可能出现几种材料同时具有同样的优点，在这种情况下，对材料的选择就集中在对如下一些问题的考虑：

- (a) 在类似（虽然不尽相同）应用场合下的通常做法；
- (b) 曾经取得过满意结果的应用经验；
- (c) 与库存量有关的标准化和经济考虑；

(d) 安全要素，采用品质优良的材料作为标准，以防止在高性能要求的应用场合应用了性能差的材料；

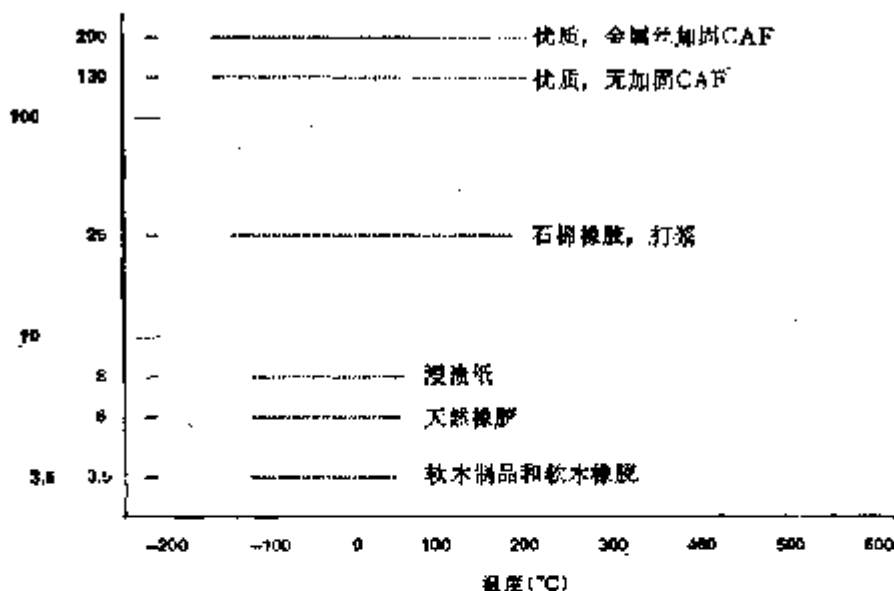
- (e) 原始费用；
- (f) 可获得性。

制造商总会提供有关特殊材料和用途的资料，并予以指导，同时，现有某些实用规范规定了常用材料的有关参数。

还有一种可资利用的更为详细的资料,是由各个标准学会和工业技术当局制定的,内容涉及了大部份密封材料和方法。

这类资料就标准设备和使用方面,为设计者提供了足够的指导,而适当考虑了所涉及的因素后,还可推广到非标准应用场合。

表V 普通垫片材料的典型工作温度与压力界限



※常用合成橡胶的典型工作温度界限:

聚氯乙稀 (聚丁烯橡胶)	-40°C ~ +120°C
丁腈橡胶	-40°C ~ +120°C
乙丙橡胶	-40°C ~ +180°C
氟橡胶 (Viton)	-20°C ~ +280°C
硅橡胶	-80°C ~ +250°C

表VI 垫片材料和结构

(根据美国机械工程师学会压力容器规范第VIII卷)

第1段, 本表规定的章节仅作参考, 并非强制性的)

美国国家标准钢管法兰和法兰接头 (ANSI B16.5-1977)

垫片序号	垫片材料	垫片系数 m	最小设计安装应力, γ		示意图
			lb/in^2	MPa	
1 a	自紧式垫片 O形环, 金属的合成橡胶及其他 自紧密封的垫片类型 无织物或含高比例石棉纤维的橡胶	0	0	0	
	<自紧程度75	0.50	0	0	
	>自紧程度75	1.00	200	1.4	
	具有针对工作条件的适当加固物	2.00	1600	11.0	
	厚3.2mm (0.12in)	2.75	3700	25.5	
	厚1.6mm (0.06in)	1.25	400	2.8	
	内衬纤维的橡胶	2.25	2200	15.2	
	3层 内衬石棉纤维, 有或无金属丝增强 的橡胶 2层 1层	2.50 2.75	2900 3700	20.0 25.5	

(续)

序号	材料	板片厚度 μ	最小设计安装应力, γ		示意图
			lb/in ²	MPa	
1 a	纤维纤维	1.75	1100	7.6	
1 b	金属与石墨或其他非金属基料纤维增强				
	碳钢、不锈钢或蒙乃尔合金波状状金属内填石墨或波状状金属夹壳内填石墨	3.00	10000	68.9	
	碳钢	2.50	2000	14.0	
	不锈钢或铜	2.75	3700	25.5	
	波状金属	3.00	4500	31.0	
	碳钢	2.75	3700	25.5	
	不锈钢或铜	3.00	4500	31.0	
	具有针对工作条件的适当添加剂的树脂				
1 c 和 1 d	厚 0.8 mm (0.03 in)	3.50	6500	44.8	
	波状状金属内填石墨或波状状金属夹壳内填石墨				
	蒙乃尔合金或 4~6% 铬钢	3.25	5500	37.9	
	不锈钢	3.50	6500	44.8	
	波状状金属				
	波状状金属	3.25	5500	37.9	
	蒙乃尔合金或 4~6% 铬钢	3.50	6500	44.8	
	不锈钢	3.75	7600	52.4	
	金属包封石棉平垫				
	碳钢	3.25	5500	37.9	
	不锈钢或铜	3.50	6500	44.8	
	碳钢或铜	3.75	7600	52.4	
	蒙乃尔合金	3.50	6000	41.4	
	4~6% 铬钢	3.75	9000	62.0	
	不锈钢	3.75	9000	62.0	
	金属包封形点				
	碳钢	3.25	5500	37.9	
	不锈钢或铜	3.50	6500	44.8	
	碳钢或铜	3.75	7600	52.4	
	蒙乃尔合金或 4~6% 铬钢	3.75	8000	55.2	
	不锈钢	4.25	10160	69.8	
1 e	实心金属平垫 软铅	4.00	5800	40.7	
	实心金属平垫				
	不锈钢或铜	4.75	10000	69.0	
	不锈钢	5.50	15000	103.4	
	蒙乃尔合金或 4~6% 铬钢	6.00	21800	150.3	
	不锈钢	6.50	26000	179.3	
	环形金属板				
	碳钢或铜	5.50	18000	127.1	
	蒙乃尔合金或 4~6% 铬钢	6.00	21800	150.3	
	不锈钢	6.50	26000	179.3	

表11 故障排除方法

故 障	原 因	排 除 方 法
设计方面: 垫片应力不足	螺栓紧固力不足	增加螺栓数目 增加螺栓直径 换成强度更高的材料 配合厚一些的垫片 减小垫片面积
垫片应力过度	垫片太厚 垫片太紧 垫片选型不当 螺栓紧固力过大	配合需要安装应力较小的垫片 减少螺栓数目 换成强度较低的材料 配合薄一点的垫片 增加垫片面积 配合需要安装应力较大的垫片
装配方面: 压缩不足	螺栓紧固不够 紧固步骤不正确 因工程温度引起的垫片弛豫 螺纹不良 螺纹长度不够	施以附加扭矩 螺栓应按顺序紧固,即按对角拧紧交替紧固,在每一个螺栓上逐渐增加负荷 建议一旦设备达到工作温度,所有垫片均具有足够应力,以恢复压缩状态 保证螺母在螺栓螺纹的全长上有良好的转动配合 保证足够的螺纹长度,以使螺母与金属面形成接触
金属件接触方面: 不平整	法兰太紧 采用了不合格的垫片 (坏形垫片) 两法兰不平行	法兰应具有足够的刚度,不致因螺栓载荷引起变形 当采用一个解法兰和一个DRC垫片时,螺栓载荷可能引起法兰弯曲或扭曲(有时称作“法兰旋转”)应重新法兰,使其贴合所片的垫片 法兰面应始终保持平行,切勿依靠螺栓载荷把法兰扳到一起。注意:螺栓垫片在一定的条件下能适应轻度不平程度
损伤	连接面端出时的机械性损伤 安装时过分的摩擦	法兰面应保持光滑,平整和无尖锐棱角(以便垫片材料后能顺利地)过接的缺陷
拆卸或受腐蚀	以前使用的密封材料经常硬化,并形成不平的表面 旧垫片未完全去除	连接面应该用适当的刷子清除旧密封的金属,旧物也应该清洗干净,使之具有更好的形状 检查出口和密封表面是否正确的正确性
泄漏原因不正确		在泄漏处下衬以密封垫圈,在采用“垫片”式片连接密封的场合,构成密封不得太紧(以便于垫片填充)
垫片材料方面: 回弹性不足,法兰面相互接触	重复使用旧垫片 金属垫片加工硬化	建议不要重复使用旧的垫片,材料将会硬化,并形成法兰面使用的印痕,不可能在完全同一位置放置一个垫片,而且,换一个在旧垫片的待机费用通常超过垫片的成本 可继续使用旧的垫片,拿钢一类金属垫片,再次使用可避免永久
材料已变质	材料与密封的介质以及工作温度不相适应	根据制造商的材料推荐书,选择能够经受所处工作条件的材料或垫片类型
垫片从连接面间挤出	安装应力太大 使用密封胶过多	参见设计指南排除方法继续按非垫片制造商专门规定,建议不要使用密封胶,密封胶具有润滑作用,减小了垫片与金属接触面之间的摩擦,从而也降低了承载能力,需要有一个非粘性而厚的场合,可制造密封在生产过程中取用
尺寸不正确	设计与制造误差	垫片应该始终有一个孔距公差或管孔直径稍大的切齿的密封分明的接边,否则垫片不应浸入到流体通道之内,垫片密封可能产生泄漏现象以及密封问题,垫片还会受流体冲刷而损坏 如果垫片被压在两个连接面上,就没有可能吸收流体密封孔应足够大,以防止在螺栓周围留有间隙

表 11 垫片对氟性能总表

材 料	比重或密度	抗拉强度 lb/in ²	压缩率%	最小密封压力 lb/in ²	bar	垫片内压力 lb/in ²	bar	最高使用温度 °F	最高使用温度 °C
天然软木制品	9.5~13*	140~170	4~6%, 在 100lb/in ² 下					250	120
组织状炭材料	20*	150	25~40, 在 100lb/in ² 下	低	低			250	120
炭质材料	20*	150	25~40, 在 100lb/in ² 下	低	低			250	120
中粒度细颗粒颗粒胶结剂	23~40*	200~400	10~30*, 在 100lb/in ² 下					250	120
硬质软木	15~20*	—	30~50, 在 100lb/in ² 下	100	7	50~100	3.5~7	250	120
软木—橡胶制品	23~30*	—	55~70, 在 500lb/in ² 下					250	120
丁基 (非型的)	0.7~0.82	200~500	20~40, 在 100lb/in ² 下	100~200	7~14	50~100	3.5~7	250	120
海棉状丁基	0.4~0.55	200~500	25~40, 在 40 lb/in ² 下	400	28	50	3.5	250~300	120~150
氟丁橡胶类 (非型的)	0.7~0.8	200~300	25~40, 在 200lb/in ² 下	200	14	50	3.5	250~300	120~150
中粒度炭 (中等密度)	0.0~1.0	200~600	70~20, 在 300lb/in ² 下	400	28	50	3.5	250~300	120~150
中粒度炭 (中等密度)	1.2~1.5	200~600	5~15, 在 500lb/in ² 下	400	28	50	3.5	250~300	120~150
均粒状炭/炭	0.5~0.6	—	25~40, 在 50 lb/in ² 下	200	14	50	3.5	250~300	120~150
丁基类	0.6~0.75	200~400	50~40, 在 200lb/in ² 下	400	28	50	3.5	250~300	120~150
氟橡胶类	0.95~1.05	300~500	10~20, 在 300lb/in ² 下	400	28	50	3.5	250~300	120~150
阿司伏丁基	0.45~0.55	—	30~40, 在 50 lb/in ² 下	200	28	50	3.5	250~300	120~150
海棉状苯乙基	0.4~0.5	—	10~25, 在 40 lb/in ² 下	200	14	50	3.5	250~300	120~150
高硬度软木—橡胶 (典型型)	—	—	15~25, 在 400lb/in ² 下	400	28	50	3.5	400~450	200~230
人造橡胶	—	—	—	—	—	—	—	—	—
丁基橡胶	—	1200~1800	最大20%, 推荐值	500	35	50	3.5	225	107
聚丁基橡胶	—	1200~1800	最大20%, 推荐值	500	35	50	3.5	300	150
聚丁基橡胶	—	1000~1500	最大20%, 推荐值	300	35	50	3.5	250	120
中可膨胀反	—	1200~1500	最大20%, 推荐值	500	35	50	3.5	250	120
氟橡胶	—	1400~1800	最大20%, 推荐值	500	35	50	3.5	250	120
石墨纤维	—	—	—	—	—	—	—	—	—
石墨型	1.9	8/12000	—	1000	70	—	—	750~800	400
金属纤维型	1.45	4/10000	—	1000~4000	70~250	—	—	1050~1100	510~600
石棉—橡胶	—	—	—	—	—	—	—	—	—
苯乙橡胶 (低密度)	—	1000	20~40, 在 500lb/in ² 下	高	低	—	—	700~800	370~430

100

丁腈	*	200	30~40, 在5000lb/in ² 下	高	低	700~900	370~460
腈类 (低密度)	*	1500~1700	30~40, 在5000lb/in ² 下	高	低	700~900	370~460
苯乙烯类 (高压状态)	*	1700	20~30, 在5000lb/in ² 下	高	低	800~900	430~470
丁腈类 (高压状态)	*	1200	20~30, 在5000lb/in ² 下	高	低	800~1000	430~510
腈类 (高压状态)	*	2000	20~30, 在5000lb/in ² 下	高	低	800~1000	430~510
纤维							
纤维素纤维、新木、							
非乙炔类	*	700	50~65, 在1000lb/in ² 下	800~2000	50~140	320	150
腈类	*	800	50~65, 在1000lb/in ² 下	800~2000	50~140	300	150
腈类 (高压状态)	*	1200	12~30, 在1000lb/in ² 下	800~2000	50~140	300	150
纤维腈纤维、合成橡胶	*	1800~2520	10~30, 在1000lb/in ² 下	2000	40	300	150
纤维腈纤维、填充、合成							
橡胶	+	2000	5~15, 在1000lb/in ² 下	2000	140	300	150

* 与成分有关。
 + 密度 - lb/in³。
 ++ 采用适当的适当结构，可以耐更高的压力，但耐冲击性能则与有关的数值。

可靠性与失效

一个密封件的可靠性既取决于现场中完善的工程实践，又取决于对最初设计的周密考虑，而被看成是基本的工程方法的任何标准，只不过是记录某些有时被忽略的重要因素。不能起作用或不能保持满意的密封的原因，可能是由一系列因素引起的。这些因素可以归纳为相互不同的四类：

- (i) 设计。
- (ii) 装配。
- (iii) 金属连接面。
- (iv) 垫片材料。

表册可用以辨明故障，找出可能的原因，同时确定补救的方法。

应该指出，这决不是说已毫无遗漏了，因为有的失效可以找出十分简单的原因，如原始装配时漏装一只垫片或是由于某种原因不明的冶金过程的影响所致；此时，当然必须采取最适于具体情况的或简或繁的补救措施。

标准

为了生产起见，一家制造商可能会遵守多种标准，一些是为了保持其本厂独特材料与设计质量的，而另一些是为了符合国家标准或工业机构所提出的规范。现行国家标准是：

(a) 材料

英国

BS1832:1972 耐油压制石棉纤维垫料规范。

BS2815:1973 压制石棉纤维垫料规范。

A类 在 64bar 和 510°C 工作条件范围内用于水、惰性气体、惰性液体或蒸汽。

B类 在 16bar 和 230°C 工作条件范围内用于水、惰性气体、惰性液体或蒸汽。

BSF 125:1973 航空航天用压制石棉纤维垫料规范。

德国

DIN3754 各种压制石棉纤维品类规范。

美国

ASTM D1170 普通汽车和航空用非金属垫片材料规范。

ASTM F104 非金属垫片材料类系。

(b) 尺寸

英国

BS3063:1965 BS10、BS1770 和 BS2035 管道法兰垫片尺寸。

BS4865 BS4505、BS4622 和 BS4772 管道法兰垫片尺寸。

第一部分：1972 压力达 64bar 的非金属垫片尺寸。

第二部分：1973 压力范围为 10~250bar 的金属缠绕垫片尺寸。

BS3381:1973 与 BS1560 法兰配用的金属缠绕垫片的结构材料与尺寸。

美国

ANSI B16.21 1978 ANSI B16.1、ANSI B16.5、ANSI B16.24、API Std605、MSS SP44 和 MSS SP51 管道法兰非金属平垫片尺寸。

API 601 管道金属垫片。

AFNOR(法国标准)

——铸铁管道

——塑料(接头连接)

——磨光的圆锥体(实验室玻璃制品)

——(接头a)

——(管道a)

——工业管路

——环形圈

——液压连接(离合器)

——高压活塞

——法兰

——合成橡胶液压

合成橡胶密封

——环形圈

——压缩空气管路

锌质盖板密封

——镜面底

——橡胶及典型塑料

——环形密封

——密封环

(……用纸)

——灭火水龙头

——管道

——橡胶底的穿孔

系列

A48-501~504

A48-802a823

A84-622, 623

B35-013

E29-531a539

E29-591a582

E29-911a956

E48-042

E48-051

F29-028

M87-615

L17-109

L46-036a033

L40-114el

L43-603

M82-245

P34-403

P78-502 及 504

系列 P85-102至515

R93-920

R99-001

R99-202

S61-825

T47-301

T54-041

P16-343

T47-302et303

各类静密封

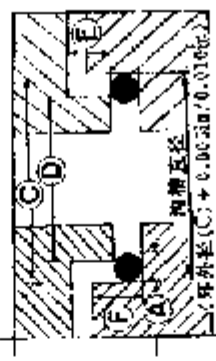
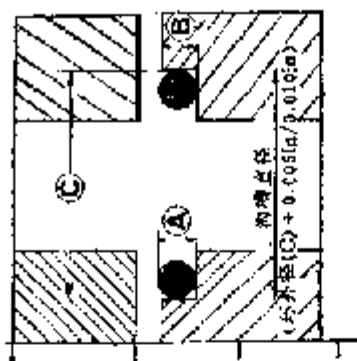
实心金属丝环形密封件在具有极端的温度、压力条件下,或在有辐射或严重腐蚀性的使用场合以及在采用高法兰载荷的应用情况下,均可用于静密封。这类密封圈的截面可以是圆形的、椭圆形的或多角形(大多为八角形)的,经实用证明,在从真空到 1750 bar(25000lb/in²) 的压力范围内能有效密封。

表1 典型的金属丝环密封件数据

供在孔中使用的金属丝环密封件通用						
金属丝直径 (in)	内槽深度 (in)	密封圈直径范围 (in)	最小密封圈直径 (lb/in ²)	压力范围 (lb/in ²)		
0.035 铝	0.023/0.027	0.750~1.500	1000	真空~4000		
0.062 铝	0.024/0.027	1.000~2.000	1400	真空~5000		
0.094 铝	0.024/0.029	1.500~4.000	1400	真空~5000		
0.125 铝	0.025/0.110	3.000~10.000	1400	真空~5000		
0.035 铜	0.025/0.029	0.750~1.500	2300	真空~10000		
0.062 铜	0.026/0.031	1.000~2.000	3200	真空~12000		
0.094 铜	0.026/0.033	1.500~4.000	3200	真空~12000		
0.125 铜	0.028/0.115	3.000~10.000	3200	真空~12000		
0.035 不锈钢	0.028/0.032	0.750~1.500	4200	0~20000		
0.062 不锈钢	0.030/0.035	1.000~2.000	6000	0~25000		
0.094 不锈钢	0.032/0.037	1.500~4.000	6000	0~25000		
0.125 不锈钢	0.033/0.118	3.000~10.000	6000	0~25000		

仅供安装在密封结构中的金属丝环密封件通用						
金属丝直径 (in)	密封圈直径 (in)	密封圈深度 (in)	密封圈直径 (in)	密封圈深度 (in)	密封圈直径 (in)	密封圈深度 (in)
0.035 金	0.023/0.017	0.041/0.043	0.500~2.000	0.500~2.000	0.500~2.000	0.500~2.000
0.062 金	0.020/0.025	0.061/0.063	1.000~3.000	1.000~3.000	1.000~3.000	1.000~3.000
0.094 金	0.027/0.032	0.082/0.084	2.000~6.000	2.000~6.000	2.000~6.000	2.000~6.000
0.125 金	0.044/0.049	0.127/0.129	3.000~20.000	3.000~20.000	3.000~20.000	3.000~20.000

① 密封圈外径公差为 +0.006/0.000。



圆形金属丝密封圈可以存放在一个扩孔中,或装设在由一个保持板形成的矩形截面槽中。当密封圈由软金属材料制成时,亦可采用棒槽组装结构。图1中表明了这类可供采用的密封结构形式。典型的沟槽深度和必要的法兰载荷列于表1。

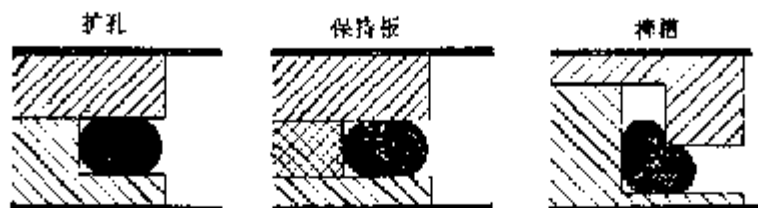


图 1

然而,形成有效密封所需要的实际法兰载荷,要随密封圈材料的不同而有所变化。金属丝密封圈也可装设在V型槽中,这时需要较大的法兰载荷。对表面光洁度并不特别苛求。通常 $8\mu\text{in } Ra$ 等级的表面光洁度就足够了,或者在V型槽的情况下为 $120\mu\text{in } Ra$ 。最重要的是密封表面应平坦和平行。

图2示出了另一些形状的实心金属密封圈。这些密封圈要与沟槽配合使用,也可以设计成压力赋能型密封圈,例如采用一种八角的或加厚的八角形截面,贯穿截面有一个垂直方向钻出的压力通道孔(图3)。据称,这种密封圈除了能提高额定压力外,还比较能耐受振动与冲击载荷。

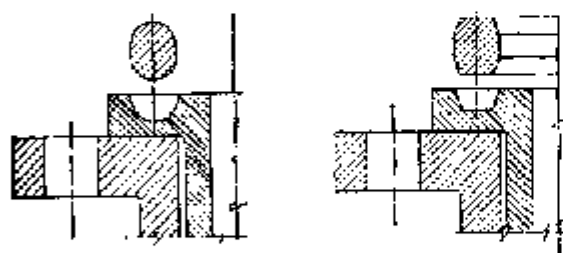


图2 实心金属环形密封件, 圆形的(左)和八角形的(右)



图3 压力赋能型密封圈

实心金属密封圈可以采用任一种可焊金属的冷拔丝制作,或者直接机械加工。常用的金属有铝、铜、金、不锈钢和蒙乃尔合金。在硬金属的密封圈上,也可加上一种软质包层,以改善柔顺性。包层材料可采用银、金、铜和聚四氟乙烯。

斜面密封圈

由于军用和民用航空系统中使用的高温静密封件在工作性能上的要求越来越高,使得合成橡胶密封件的性能已被发挥到了极限的程度。为了满足这类需要,设计了金属楔形密封件,这种密封件研制出来,作为一种代用品,用来密封 AGS3018 或美国 MS33649 挤压O形沟槽,后者目前用于 AGS3017 或 MS33648 管道与元件的连接口(凸台密封件)。

金属楔形密封件由镀锌 S96 铜或镀银 S80 不锈钢制的简单金属斜面环构成,适于各种高温流体,并具有抗电解作用的能力。

在拧紧接头时,楔形金属密封圈受压,于是在材料的弹性极限范围内,内径趋于减

小,从而形成有效的密封。如果螺纹产生了拉伸现象,内径趋于变大,但在斜角面间仍保持高的压力,从而在各种状态下都保持了有效的密封作用。在拧紧接头时,不得对配合面造成损坏,并且密封件在拆下以后必须是能够重复使用的。

全金属密封件

图4中所示的全金属密封件是在超出橡胶材料有效密封范围外的工作温度下,为了油和气体的端面密封而研制的。这种类型的密封件经试验证明,经适当地装配,能在590bar(10000lb/in²)的静压力和345bar(5000lb/in²)的脉动压力条件下,以及-65℃~+300℃的工作温度范围内,提供有效的密封。



图4 全金属密封件

金属唇靠装配时的变形赋能,此外,还靠流体压力赋能。外缘限制着唇部的挤压量,防止密封应力过大。应注意不要把这种密封件与淬硬面一起配用。

最好借助一个止口,在螺旋塞式管接头的内侧面上精确地使这种密封件定位。这样就能做到重复定位而又不会划伤密封效能。

金属接合表面应有较好的机械加工光洁度,但无须经过磨削或研磨。金属表面可能为钢的或轻合金的,只会被密封唇轻轻划出痕迹。要小心保证不要在装配前损伤唇边。

粘合密封件

如图5所示,粘合密封压力垫片的密封元件粘到经粘结剂化学处理过的金属外圆的内径上。粘合作业是通过在生产过程中对橡胶加热和加压进行的。

现有的大多数橡胶材料都能与金属粘结,不过粘结剂在某些流体中,经长时间在高温下浸泡后就会减弱性能或者失效。最好是采用另一付方法,即不用粘结剂,可行的办法是将橡胶热加工成矩形截面形状,同时又能自由地嵌入金属外圆中去。这样一来,许多能在较宽温度范围内和某些腐蚀性流体中长时间使用的橡胶材料,都能用于制作复合式静密封件。不过,由于橡胶层与金属不相粘结,同时又由于其截面较小削弱了性能,因此,装配时要格外注意。

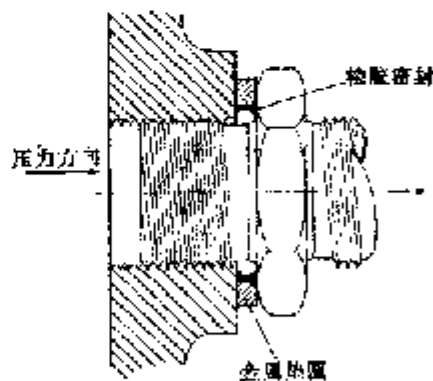


图6 粘合密封件

特殊压盖式静密封(图8)

在一些应用场合下,当矿山机械支腿上所承受的侧向载荷很重时,缸顶部周口的环口就发生局部变形,于是就有可能从O形圈处出现泄漏。为保证在最严重的机械变形下仍能维持有效的密封性,建议采用一种能防止泄漏发生的实心唇形密封件。这种密封件的形状能提供一种比采用O形圈时所能得到的更大的断面压缩量,同时又不引起可能导

致密封件损伤的装配问题。实心唇形密封件通常是以 90 IRHD 高腭橡胶材料制作的。

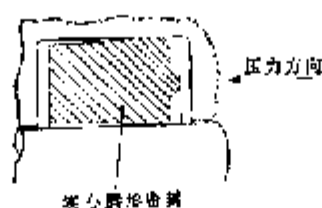


图6 特殊压立式唇密封

粘合式压力连接密封圈 (图7)

在密封压力高于 140 bar (2000 lb/in²) 的管接头、螺栓头与法兰时，利用了一种由橡胶和金属粘合成的简单密封垫圈。粘合垫圈由一个金属外圈和一个在其内径上粘结的梯形橡胶密封圈组成。粘合垫圈装在螺栓头或接头下面，最终形成的紧固力由金属外圈承受。这样，由于橡胶高出金属外圈，在紧固状态下，便受到压缩，从而形成密封。因压力作用而产生的唇边挠曲便起到了有效的密封作用，可防止水、气、油和多种流体的泄漏。

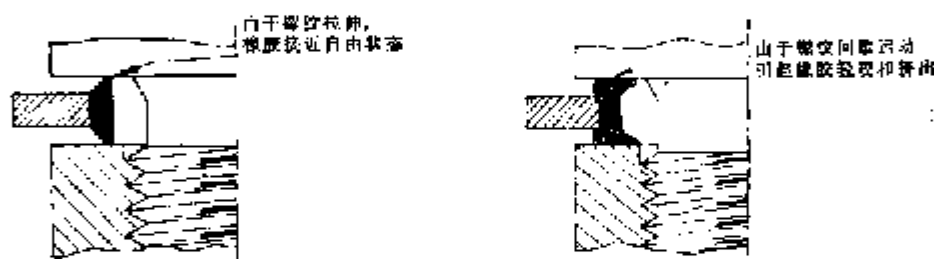
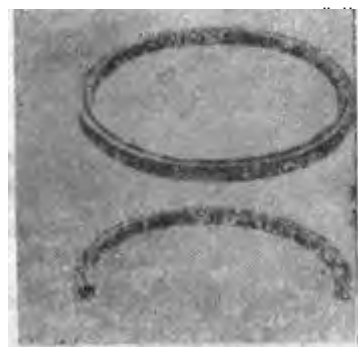


图7 螺栓密封圈

标准型的钢外圈粘合密封件的最低破坏压力为 670 bar ~ 2430 bar 之间，并与尺寸有关。金属外圈可利用低碳钢、不锈钢、轻合金或黄铜制作。这类外圈要适当注意防腐蚀，然而出于污染问题方面的考虑，用镀层的，以及更进一步用彩色钝化的钢制外圈代替镀铜型的外圈。

管道用金属环形垫密片

金属环形垫密片在美国石油学会的井源设备、石油干线管道和炼油厂的法兰连接中



用于高达 500 bar (7500 lb/in²)
压力的法兰密封

有广泛的使用。R型椭圆形和R型八角形两种结构都是依靠由螺栓产生的压缩载荷来提供必要的密封力和使密封材料压贴在配合的密封沟槽法兰上。由此而造成的法兰开缝，一般为5 mm(3/16in)左右，如图8所示。

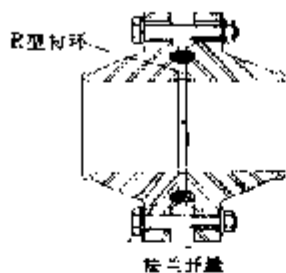


图 8

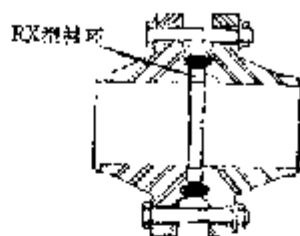


图 9

RX型垫密片配备了与R型垫密片同样的密封沟槽，不过设计成能对管线压力以及初始螺栓压紧力有反应。这要求有更大一些的法兰面开缝，可能大于2 mm(1/32in)，见图9。

采用上述两种类型的垫密片，法兰面间必要的开缝，可能引起相当程度的孔径不连续，影响流动，并可能促进磨蚀或聚积沉淀物。目前一般采用的解决办法是配合聚四氟乙烯衬环，按适当大小堵塞到法兰孔径与环形垫密片之间的空腔(见图10)。R型衬环的表面加工较粗糙。RX型衬环有一种较深的槽型断面，以便把压缩作用下的伸展控制在法兰孔径所允许的之内。上下端面开有通孔，以保证压力通向垫密片，同时亦可在突然出现系统压力事故时起泄流作用。

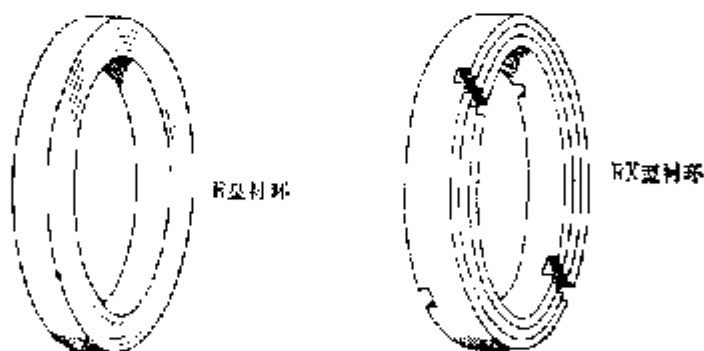


图10 聚四氟乙烯垫片衬环

聚四氟乙烯带

聚四氟乙烯带是目前广泛用于管道连接中的一种螺旋密封垫料，使用简便而迅速。



聚四氟乙烯带

随时可以立即使用,无须等待凝固的时间,并可挤入螺纹,填充螺线空隙。如若不然,被封的介质会通过这种空隙逃逸。聚四氟乙烯带适用于各种类型的管道,不会粘死,还耐腐蚀(如果有必要,即使在长期使用之后,也可以很容易地折开接头)。

含纤维聚四氟乙烯

制成带形的含纤维聚四氟乙烯(LATTYflon 3215)是一种更为通用的密封材料,既适用于动密封,也适用于静密封。除了因具有使用方便而可用于制作垫片型密封件和具有万能性之外,它还适用于含有腐蚀性化学药品的各种介质。

有可能在化工静密封中获得特殊用途的另一种形式的聚四氟乙烯 LATTYflon 3026 (专利的),它是一种在压力下用聚四氟乙烯粉末预处理的纯聚四氟乙烯纤维,然后依照一个同样材料的芯子经编织和重复浸渍而成。这种材料基本上是一种用于旋转密封的压盖填料,截面为四方形或矩形,或者采用模压圈的形式,无论在有无润滑的条件下均可使用。在无油条件下使用的、截面为矩形的填料,特别适用于处理氧或强氧化剂和其他化学药品的设备上的盖、体连接法兰的静密封。



采用聚四氟乙烯粉末预处理的纯聚四氟乙烯3026编织纤维,无论有无润滑均可使用

箱盖密封件

散装运输酒类和易挥发液体,特别是易燃、有毒或腐蚀性液体所用的箱罐,可能会在密封方面提出一些最初设计阶段考虑得不够周全的问题。这类问题又往往会因制造时密封面加工不规整或光洁度太差而恶化。

通常用于危险物品的箱盖密封材料有压制石棉、聚四氟乙烯/石棉填料、纯聚四氟乙烯编织填料、机制聚四氟乙烯以及各种合成橡胶。各种材料可能会表现出这样或那样的局限性,然而,最值得注意的,是箱盖重复开关时剪切力使纤维破断和在变形应力作用下产生蠕变。

最近研制出来的 LATTYflon 箱盖填料可以克服上述局限性,这种填料是在合成橡胶的或含纤维聚四氟乙烯的芯子上,加上一个聚四氟乙烯绳编的外壳制成的。前者的结构取决于外壳耐化学腐蚀的完善程度,准备用于箱盖紧固均衡、工作条件较好的场合。而采用含纤维聚四氟乙烯芯子的填料时,在箱盖或栏板无论处于什么样的工作状态下,甚至在填料外壳已磨损或严重损坏的情况下,都始终能维持安全的密封效能。事实上,这种填料是一种模铸的塑料填料,当与栏板连在一起时,无论栏板的工作状态如何,都不会产

生蠕变或受到剪断的危险。

LATTYfilon 籍盖填料的截面是矩形的,以适于装到开有U型截面沟槽的籍盖上去,或便于与一种焊成的U型沟槽相配合。必要时,也可用套在沟槽上的不锈钢固定夹,将其固定在槽座里。



采用不锈钢固定夹的典型装配



利用橡胶芯和聚四氟乙烯纤维织成的籍盖填料



利用芳纶纤维聚四氟乙烯芯子和聚四氟乙烯纤维织成的籍盖填料

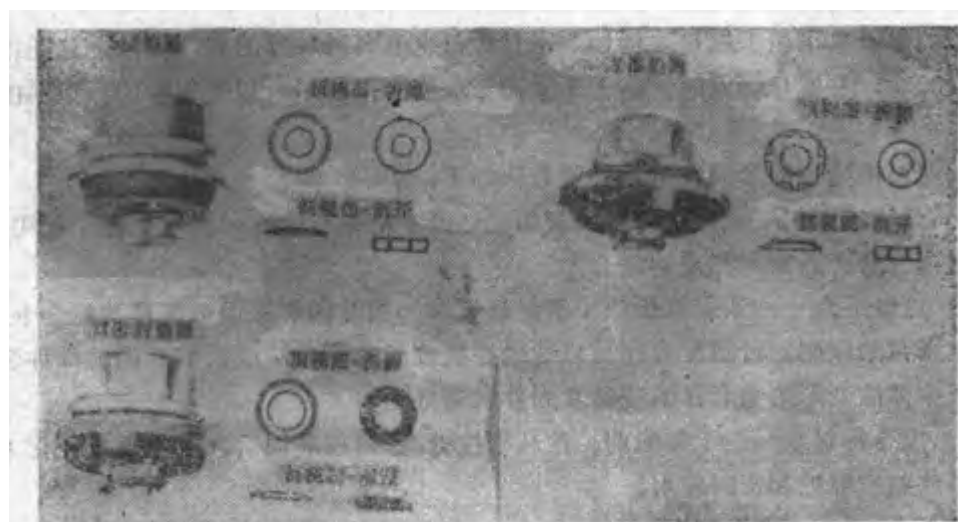
自密封紧固件

在一些特殊应用中,可能要求螺栓和螺钉一类的紧固件,除能起紧固作用外,还有密封作用。常见的方法是在螺栓头或螺母下面垫放密封垫圈,多由软钢、铅或合成橡胶这类适当的弹性材料制成。这样,当紧固件被紧固时,垫圈发挥简单的垫片型密封件的作用。

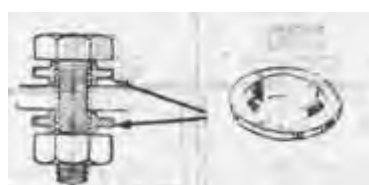
关于这一专题,花样还是很多的。对于高压、高温的工作条件,或者在要求金属对金属密封时,可以采用全金属密封圈。全金属密封圈可以有表面触点或唇边而不采用简单断面,就可减小构成密封所需的压紧力,并降低对配合面的加工要求。

为了得到更好的柔顺性,金属圈可以结合橡胶件。这样,压紧力就压缩橡胶件,直到这个密封件最终紧压到金属圈上去。另外,密封圈可以基本上是一个有内部增强弹簧的实心橡胶件。这种密封圈受压时,能有效地提供自锁作用,从而特别适合在螺栓或螺纹组配中用作密封垫圈。

自密封紧固件本身即带有密封元件,这种元件可以是橡胶的、塑料的或合成材料的,预先装在自密封螺栓头或螺钉头的底下;或者是一种模压密封件(或为橡胶的或为尼龙的),包括有特殊螺栓头的那类结构在内,有多种专利的设计,以适应某种特殊类型的可预装式和非预装式密封垫圈或密封圈。



有密封头的紧固件示例



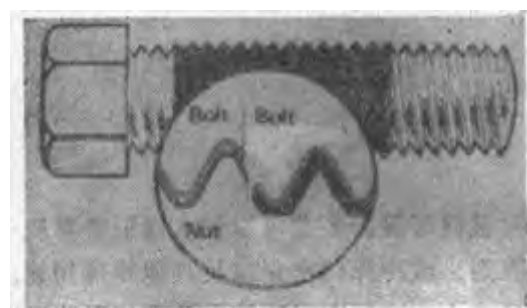
密封螺栓组合的塑料垫圈



“赛罗河” (Salc) 垫圈



微量包胶螺旋密封粘附层可以粘结于任何类型的螺纹紧固件



预涂螺纹用的多用微量包胶型螺旋防松附层，当螺纹件用人工旋拧时即起作用。



微量包胶螺旋密封粘附层可粘结于任何类型的螺纹紧固件

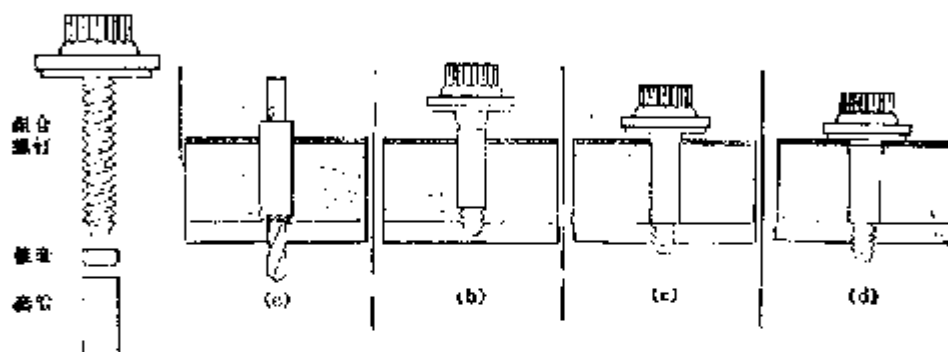
类似的原则也可用于螺母。例如，密封螺母也有各种各样的专利设计，这类结构有一个独立元件。在螺母锁紧时，由于压紧而形成密封，材料可以是橡胶的、塑料的或软金属的。

另一些可供选用的紧固件密封处置方法如下：

(i) 灌注式密封胶——这种密封胶为液态或半液态化合物，多与垫圈一起用于不适宜采用或配合普通密封垫圈的场合。

(ii) 过盈配合——依据管接头与密封螺纹和铆接时因膨胀而形成过盈配合的密封铆钉提供密封的原则。过盈配合也可以通过橡胶或尼龙套来造成，或者借助那种装有在旋紧时产生弹性变形的垫套件的特殊紧固件来造成。

(iii) 液态密封胶——于装配前，涂在螺纹处，密封胶凝固后，成半硬或硬化状态，在配合螺纹的空隙处起密封作用。



在建筑物结构中固定覆面金属板的特殊结构自密封紧固件示例

(a) 标准钻头上的特制尖刃切出穿过面板和隔热层的大直径孔；(b) 装上组合螺钉，并拉入衬套；(c) 当衬套接触板面时，衬套插入套管另一端，把它压开；(d) 套管的庞大端防止面板内陷并提供牢固的无缝连接，所有操作从面板的一侧完成。

液态密封胶

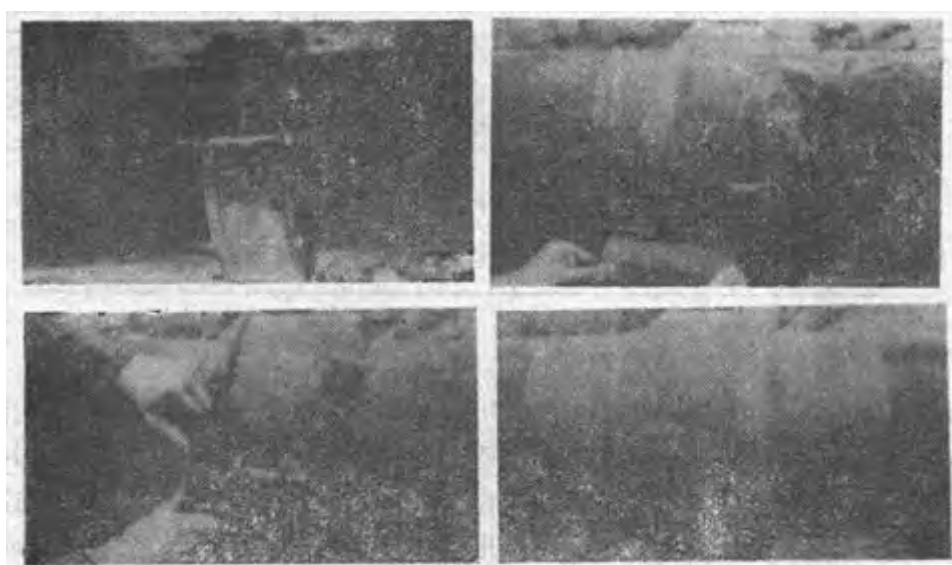
液态密封胶大体分为三类：

- (i) 胶粘剂或连接密封胶（通用密封胶）。
- (ii) 液体垫片。
- (iii) 螺纹密封胶和螺纹防松胶。

胶粘剂

胶粘剂多为建筑行业用来垫层、嵌缝、密封接缝等等，多数可以划入通用密封胶一类。现已研制出一些专用密封胶，用于船用填隙剂、或冷库门密封以及其他特殊用途。

连接密封胶最好是按化学类型来分类，参见表 I。这种密封胶的用法和使用范围在非工程领域中已很明确。按其用途，可买到管装（膏状）或带状形式的，也可以采用注入、刮抹和枪射等方式。凝固性质从全弹性的到坚硬的固体，各有不同。



采用胶黏剂，再加上胶带来保护一种维金（Viking）的铸造钢管接头



用于金属嵌接式混凝土水管接头插承件的密封胶，
这种密封胶由涂敷到基体覆盖层上的胶黏剂组成

表1 连接密封胶的类型

化学类型	基本成分	预处理	说明
树脂类	干性或半干性油、树脂和填料	需要涂底料，以便渗透到表面具有粘合力	最适合于揩抹涂，但亦可填入衬缝处，以胶泥形式使用，或利用刮刀涂抹或利用喷枪注入
橡胶类	用面有或树脂作填料的天然橡胶或合成橡胶	可带砂量为10%	冷注入（溶剂挥发）或热注入
丁基类	丁基橡胶或丁基橡胶单质使用，或与溶剂、油、补充料等一起使用	以胶泥形式、三合一形式、或十六进制形式使用（固化要的处理措施是基料蒸发）	制品范围甚宽，可从软的黏稠的膏剂到硬橡胶带材
多组分化合物类	以多组分化合物为基础的或成分或双组分化合物，双组分化合物是厚膜化学处理	在大多数多孔的和非性表面上需要涂底料	从软弹性材料到硬橡胶，使用形式范围宽，用时可调配成各种颜色，为建筑用的常用车水成分

化学类型	基本成分	要 点	说 明
硅酸盐类	单成分化学处理硅酮合成橡胶	在多数多孔的或酸性表面上需涂底漆	保持完全弹性、可在一定范围内制成彩色的使用
聚氨酯类	以聚氨酯类化合物为基础的预成分固化混合物	在大多数表面上需涂底漆, 以提供足够的粘合力	保持完全的弹性
聚硫类	聚硫类聚合物的混合物		天然弹性

液体垫片

液体垫片也是密封胶, 但经专门制配, 用来密封有压流体, 并可代替垫片或静密封件。液体垫片分为三大类, 即非硬化型、半硬化型和硬化型密封剂。非硬化型密封剂实际是胶粘剂, 粘接力有限。从其含有能不断在表面上生出的增塑剂这一点来说, 这种类型的密封剂属于软性的或“湿性”的。半硬化型或硬化型密封剂两者均为固化型或曰凝固型粘结剂。不同点在于, 其最终形成的接头分别为挠性的或刚性的。

表 I 详细列出了密封剂的分类和形式以及它们的各种用途。

表 I 密封胶的类型、用途及相对成本

	材 料	用 途	相对成本
非硬化型	硅氧类	填隙, 通用密封胶	1~4
	丁基类	金属对金属, 金属对玻璃, 填隙	5~11
	聚丙炔类	铜对金属件, 补焊裂纹, 垫片	6~10
	聚丁炔类	通用结构填隙和保护层	3~7
硬化型弹性	聚丁橡胶 (溶剂-析出)	通用密封胶, 亦可用于不同的金属	8~12
	丁基类 (溶剂-析出)	金属、玻璃、陶瓷等用密封胶	5~8
	聚丙炔类	通用结构密封胶, 填隙和上釉	6~10
	硅酮 (一种成分)	通用结构密封胶, 填隙和上釉	20~40
	硅酮 (两种成分)	耐热层等用密封胶, 油口和封装	40~100
	聚氨酯物 (一种成分)	通用密封胶, 填隙、上釉	17~25
	聚氨酯物 (两种成分)	填隙、油口和封装	12~25
	聚硫化合物/环氧树脂	耐火耐燃油油酸剂, 轮胎接头密封胶	4~6
	聚氨酯 (一种成分)	通用密封胶, 填隙、上釉	12~15
	聚氨酯 (两种成分)	填隙、油口和封装	12~15
硬化型刚性	环氧树脂 (两种成分或按的)	填隙, 油口和封装	7~12
	氟化碳氢化合物	石油、耐燃密封胶	20~120
	油树脂	填隙, 通用密封胶	1~6
硬化型刚性	环氧树脂	等强度密封胶, 油口, 电子元件的封装	7~14
	聚硫	垫片, 静密封密封胶, 油口, 成型, 封装	5~12

密封剂还可以进一步归纳为下列五种:

- (i) 普通连接剂。
- (ii) 特种垫片或静密封代用剂。
- (iii) 固定剂。
- (iv) 热塑性粘剂。
- (v) 弹性粘剂。

普通连接剂

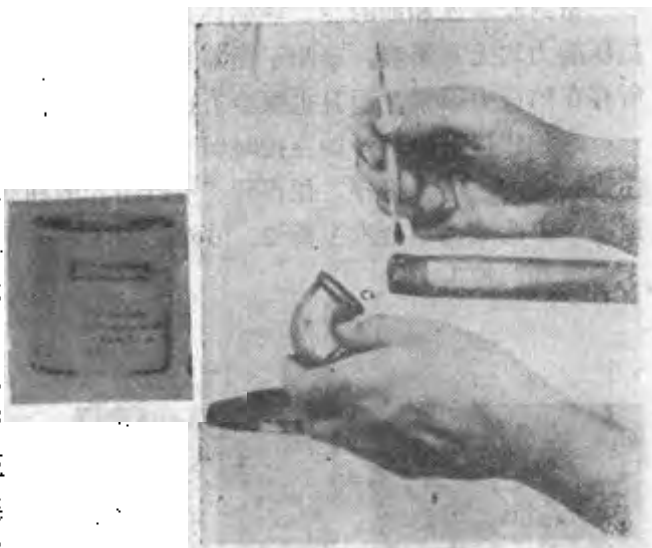
直到最近,普通连接剂主要都是以虫胶和亚麻籽油为基本材料的,这类材料目前大都为聚氨酯所代替。举例来说,这种连接剂用在液压马达和齿轮箱上的一些连接面上,机动泵装置的面对面连接或液压系统中的螺塞、螺紋接头,同时还与垫片一起用在齿轮马达上。有关这种连接剂的研究工作,主要是为解决因燃油和润滑油中含有大量双硫基添加剂所产生的问题,以便使连接剂在接合区不大的情况下,仍能在高温下工作。聚氨酯在严格控制的条件下生产,以使其具有能让过量的连接剂在紧固件紧固时流到接头边缘去的流动性质;而只留下填充表面不平处和局部间隙所需的最小量。连接剂的高粘性阻止了最小限度的留下部分的被挤出。

装配期间有塑性流动,而此后不再产生蠕变现象,这点保证了在使用过程中能维持住紧固件的紧固力。因此,当施用这种连接剂,并且会有风干问题发生时,为了确保在紧固状态下设置一个接头所需的最低限度的连接剂,对其粘性和其对金属的粘附能力,要加以充分的研究。装配之前,接合面可能放置任意长时间,虽然在大多数情况下,只需在一个面上涂密封胶,但在某些重要的地方,为保证浸透整个表面和为了避免在金属与连接剂接合处包住空气,采用两面涂胶也是很有必要的。两个涂胶表面之间所夹的空气,随着紧固时过量连接剂的流动而被排出。流量在介乎相互接近的表面中间处最大。这种连接剂具有油脂一样的稠度,产品分布良好。

聚氨酯对金属有很好的粘接力,然而,其粘结层是属于脆性的,这种粘结特性在那种螺栓于不大的拉伸状态下,就很容易断裂的应用场合大有益处,而不像在采用胶柏剂的情况下那样,把螺紋拉长到不能再使用的程度。这类材料在机械方面的抗拉强度也很低。当胶膜由于连接剂对金属的粘接力,大于其拉伸强度而发生断裂时,接头很容易分离开。消除方法也很简便,只要借助一种专利的溶剂即可完成。聚氨酯因其所具有的精度而能用于各种地方,包括垂直位置或构件的底面位置。

垫片/O形圈代用材料

专用垫片和O形圈代用剂产品主要限于硅酮材料范围之内,同时,随着最近有关单成分硅酮的研究,这类产品的使用已变得简单多了。特别是动力工业,正在把研究工作投向有关低成本垫片技术方面,与此同时,就地成形垫片和O形圈目前正在迅速受到重视。这是因为动力设备中有很多地方用硅酮密封胶,如像液压马达、气动装置和压缩机等。事实上,任何存在泄漏或排放燃油、润滑油、冷却剂或气体的装置,都会影响动力



具有固化时膨胀性质的管螺紋密封胶

装置的效率。应用方法根据生产要求而改变,从低成本的自动涂料机到一些利用小规模或小量生产的筒装或管装料的手工涂敷方法。

就地成形垫片或O形圈的制作是把一小滴硅酮密封胶放到两个待配合金属表面之中的一个面上,当零件被紧固在一起时,密封胶就被挤开,涂布在两个面上。在15分钟之内,这个薄薄的涂敷层经过初步固化后,便形成一个轻巧耐用的密封。

一个重要的特性是,在许多情况下可以取消加工操作,并且压力降和金属对金属的严格公差也无关紧要了。当两个零件在薄层固化前被紧固到一起时,构成的接合基本上是金属对金属状态,这就消除了普通垫片的那种因逐渐松弛而造成螺栓连接松动的问题。由于就地成形垫片最大限度地加强了密封效能,而所需垫片材料又最少,因而减少了材料的浪费。

密封胶经冰和油的冷、热循环试验表明对其良好的膨胀特性、小的压缩永久变形和抗压能力均无甚影响。硅酮不是靠其压缩作用造成密封,因此不会碰到利用普通垫片时所存在的应力因素,而且也很少有成为废品的可能。

这种代用剂流入开始连接时留下的空间,同时由于对两个表面均有粘结作用,于是使接头合为一体。这样,便得到了不折不扣的扭矩,同时,由于密封剂不发生进一步的运动,因此连接不会发生松弛。另外,由于密封剂有一定韧性,故能很容易地吸收连接上的振动或冲击。



用硅酮密封胶的手工成形垫片



采用透明硅酮密封胶密封并绝缘电气接头,以使色码保持清晰可见

除了汽油之外,硅酮对大多数工业流体均有耐受能力,并且不会在自重作用下流动,因此,连接应按180°制成,而不是使表面滑移到一起,从旁侧敲击或旋扭连接,很容易把它破坏。单成分硅酮被称作RTV胶粘剂,RTV的意思是在室温下硫化。

胶粘剂的主要成分是由一种硅原子和氧原子交替形成的链构成的,硅原子的自由价被甲基占据。大气中的湿气使一种触媒活化,分子链交链形成一种类似橡胶的材料。触媒在一种情况下表现出汽相减蚀剂的性质,另一种方法是释放出醋酸气体。当动力装置上的接合面窄小,连接结构复杂,紧固能力差时,就地成形硅酮胶粘剂可能是很起作用的。

固定胶粘剂

现代固定胶粘剂一般是氨基丙烯酸型厌氧胶。此种胶粘剂用在螺纹连接上,也用来

固定轴承、衬里、衬套、键和花键等，还可代替焊接、钎焊、铜焊、铆接和螺栓连接，有多种粘度，可适应一些极端工作条件，并具有耐弱酸和弱碱的能力。

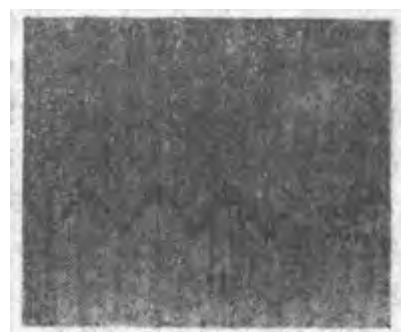
固定胶粘剂在常温下凝固，此后全都是惰性的。它很容易涂布，而且当两个粘结表面间失去空气时，便从液体状态转变成刚性结构的固体。就密封来说，它主要用来固定衬里、衬套和螺纹件，尤其是在液压和气动装配中。在由金属零件构成的装配部件中，相配表面之间总会有一些微观的凹凸不平处和空隙。两表面的实际接触只限于仅在机械表面被放大时，才能看见的一些高点或尖峰，即使最精细的过盈配合，接触部分估计也仅占表面面积的 20~25%。尖峰在使用过程中，因微小的移动面磨损，接着，零件就会松动，并相继发生微振磨损，泄漏和腐蚀。厌氧胶填充了空隙，然后，在无空气的情况下，通过化学作用硬化成一种刚性的不溶解的胶质物，从而形成完全的表面接触。这种组装部件除了能防泄、防止表面腐蚀外，还具有抗冲击和抗振的性能。

螺纹密封胶粘剂

一种螺纹密封胶粘剂应具有的最主要品性是能够造成气密或液密密封的填隙能力。与此同时，通常还根据所用胶粘剂的类型，给出不同程度的螺纹防松能力。不过，更为重要的是胶粘剂的性质应调整成使其不致在装配时被挤出或对管道形成阻塞，或者在压力下被挤坏或崩裂。另外，还须完全适应管道输送的流体类型。

普通管道密封用的螺纹密封胶一般是具有中等强度、中等粘度的胶粘剂。低强度、高粘度的胶粘剂，可用于温度较高的使用场合（例如密封内燃机的管路）。目前最受欢迎的胶粘剂类型是以聚四氟乙烯为基的触变性密封膏，这种密封膏在合适的工作条件下，在从 -240℃到 +260℃的温度范围内，有效密封压力达 700bar(5000lb/in²)。

ISO/R7 和 ISO/R65 中列出了螺纹密封管连接的具体建议。



全效螺纹密封胶

螺纹防松胶粘剂

螺纹防松胶粘剂主要要配制得具有必要的强度，以便在一个螺纹装配上具有必要的松动扭矩。其填隙性能，也就是密封性能，在很大程度上是由所用胶粘剂的粘度来控制的。

低强度胶粘剂一般用于零件有必要拆卸场合的螺钉和螺母。对于小尺寸（例如 6mm 或更小）的螺钉和螺母，用低粘度的胶粘剂来满足填隙性能，对大尺寸的，采用中等粘度的胶粘剂。由于阴（螺母）螺纹防松比同样尺寸的阳（螺钉）螺纹所需的填隙度稍大，

所以个别制造商可能为螺钉和螺母规定不同粘度的胶粘剂。双头螺栓防松需要高强度胶粘剂，为得到最佳的填隙性能，也是常采用中等的粘度。高强度胶粘剂用于永久性的螺纹（如螺母和双头螺栓）防松。

可以采用的胶粘剂类型有：

- (i) 一元自凝含溶剂型。
- (ii) 一元厌氧型。
- (iii) 通过混合触媒或催化剂凝固的双元型。
- (iv) “钝化”型预涂胶粘剂。

凝固或固化时间与连接的尺寸和特性以及温度有关。就自固化胶粘剂和厌氧胶来说，可以利用触媒来促凝，这种触媒或用作添加剂，或在使用厌氧胶之前直接加到待涂敷的表面上。



正在向钢管螺纹上涂布的管装式密封胶

大部分螺纹防松胶粘剂都是完全耐振、耐油、耐溶剂和耐热的。然而，这些胶粘剂却有一个最高使用温度，超过了这一温度，键就要降解。大多数类型的螺纹防松胶粘剂都有一定的搁置寿命，并且应该存放在温度低的地方，这样就可以存放一年以上的时间。

“钝化”型预涂胶粘剂是螺纹防松胶粘剂中的最新发展。这类胶粘剂为微型封装物品，可以施于螺钉的螺纹，这样胶粘剂就处于休眠状态，直到上紧紧固件时引起胶粘剂凝固为止。胶粘剂在室温下立即开始发挥强度，在 24 小时之内差不多达到其最大强度的 90%，通常在大约 70°C (160°F) 下，在 15 分钟之内，即可完全凝固，不过这要视组件的加热速率和具体的胶粘剂配方而定。

此种螺纹防松胶粘剂的一个特殊优点是，预涂紧固件和螺纹零件可以采用标准的方式包装和装运，并且不需任何专门的仓库。据说这种胶粘剂的搁置寿命至少为 48 个月。

第 2B 部分 动 密 封

压 缩 填 料

填料是一种传统的压盖密封，可以采用多种材料制造。用填料装填填料时，填料在结构上可以为，散状的（通常混合有润滑剂）；制成一定断面（一般为矩形，但有时也用圆形截面）；切成适当长度绕成螺旋状的或者作为切制圈，装在压盖上的成型件。无论采用哪种结构，都是靠压紧压盖，迫使填料紧压在密封表面上而取得密封作用的。

填料压盖的工作原理，如图 1 所示。由于压紧压盖所形成的压紧力产生一种造成密封效果的径向压力。径向压力沿整个填料长度按指数曲线分布。为了保持填料的“干”状态，内侧圈上的径向压力至少要等于系统的内压力。

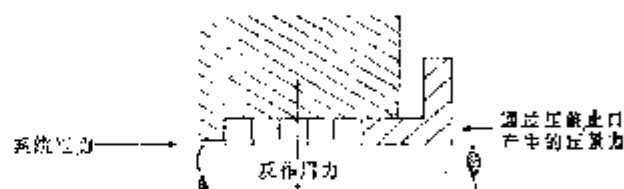


图 1

力，这就意味着外侧圈上的径向压力高得多，在大多数用途中是过高的（导致过大的摩擦，轴磨损和气动密封件失效）。因此，在大多数使用中，要将压紧力调整到允许最末一个圈填料稍有一点泄漏，也就是说这个环上的径向压力稍微低于系统的内压力。然而，这样一来，如果将压盖调整到不产生泄漏的最小压缩程度时，则大多数填料圈上就将出现一些泄漏。

使最佳压盖压紧问题变得复杂的另一个因素是，某些填料在使用状态下会产生膨胀，例如，当湿度升高时，便有可能遇到这种情况，这样在压盖上加上很小一点预紧力，可能是必要的。另外，为了补偿填料的磨损和松弛以及为了保持一个满意的密封，有必要定期地重新压紧压盖。

采用普通的填密封材料时，产生的径向压力与压紧压盖时所加的轴向压力之比约为 0.6~0.7，沿整个填料函的典型径向压力，如图 2 所示。

对许多应用来说，填料仍是主要选择，特别是对用到大型填料函和重载的场合，例如流程泵、供汽和重力水处理等，尤其如此。填料密封还有这样一种优点，即它们除了能用于往复用途外，还能用于旋转场合。对于许多往复工作来说，特别是在大型、重载的应用场合，挠性密封组件或单个密封件是可以代替填料的，除非要求泄漏达到最小的情况下，可能机械轴封更适宜。然而，值得注意的是，随着机械密封件的广泛使用，并未显示出有对压盖填料密封减少需要的迹象。

填料基本上是柔软（可变形的）断面，不过其柔软度是有很大的差异的。填料几乎总是含有润滑剂的，并且在使用过程中，随着过度受压或过热，便会损失润滑剂，填料的体积随之减小，径向压力下降，从而导致泄漏。

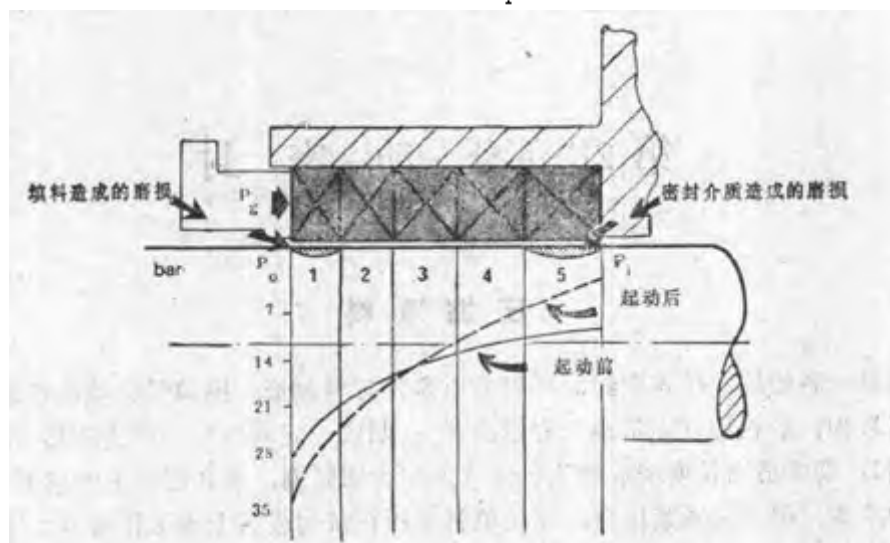


图 2

在润滑有问题的地方，或填料函需要一定程度冷却的地方，可以向填料函中央供入附加润滑剂/冷却剂，如图 3 所示。通过这种方法致冷的程度是有限的，而在温度较高时，为了保持填料函的工作温度不超出填料的使用温度极限，可能不得不对整个填料函体施行工作冷却。

由于纤维需要高压收缩或由于缺少适当的润滑都会引起较大的摩擦和过热现象，由此而会产生许多问题，这类问题可通过采用最近研制的以用聚四氟乙烯涂敷的芳族聚酰胺纤维为基的填料来解决。

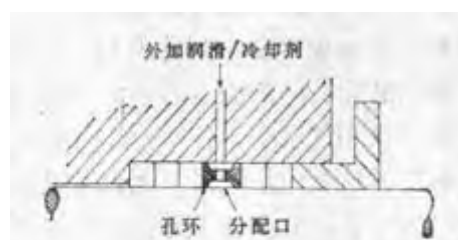


图 3

填料尺寸

压缩填料一般具有大致呈方形的断面（不过圆形编织填料，可用在往复式活塞杆和阀杆上；散状填料可用于密封阀和某些泵的填料函）。因此，大多数填料都制成 6mm (1/4in) “见方”以上的标准断面尺寸。断面尺寸在很大程度上是随意定的，但是作为一般准则，当轴径尺寸为 12mm (1/2in) 时，沟槽宽度约为轴（或杆）



图 4

径的 25%，当轴径约为 150mm (6in) 时，沟槽宽度减少到轴径尺寸的 10%。

至于填料圈数以多少为最佳也并无一定之规，不过对于一般工作来说，采用 4 圈或 5 圈方圈是典型的，如图 4 所示。

填料函结构

如图 5a 所示，处理有压力的清洁无磨粒流体的填料函结构是很简单的，具体的要求

是在填料函口处要保证有适当导锥，以利于在装配时不损坏填料，同时还要求填料函表面有相当好的表面光洁度。一般认为 $2.5\mu\text{m}$ ($64\mu\text{in}$) R_n 即满足大多数使用要求。

在被密封介质中含有磨粒的应用场合，希望尽量不要使磨粒进入填料密封区。这可以通过经填料函中央的孔环引入适当的冲洗液，如图 5 b 所示。应该指出，在这种情况下所控制的泄漏是冲洗液的漏液，由于径向压力的分布，冲洗液还会回流到介质中去。

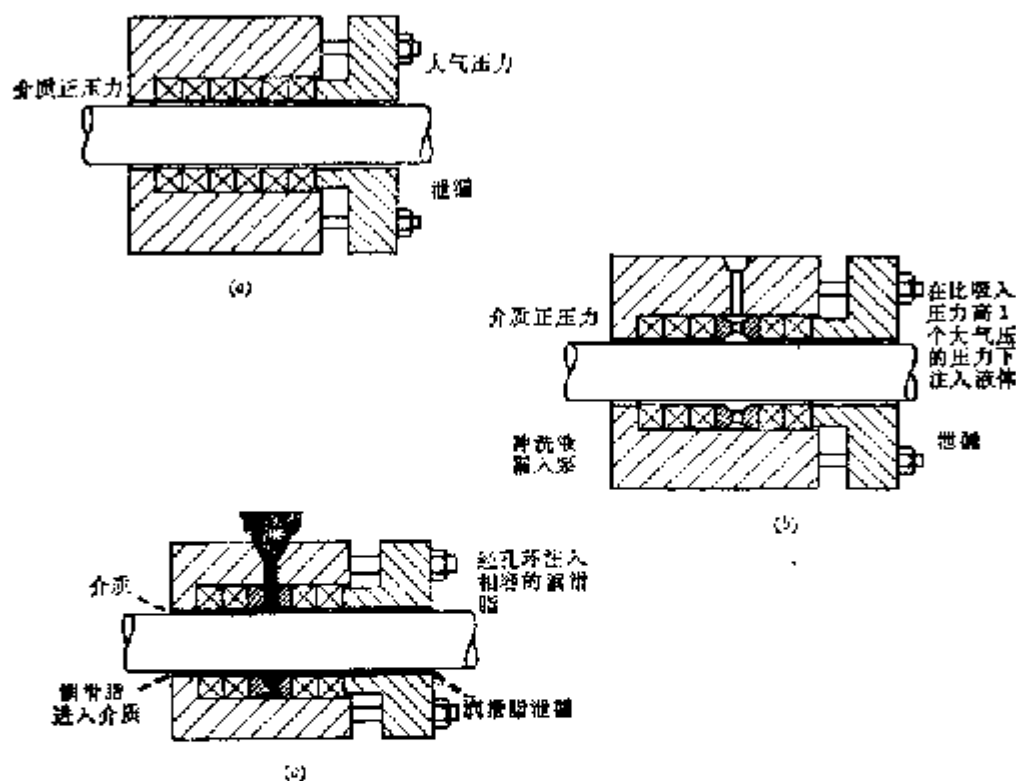


图 5

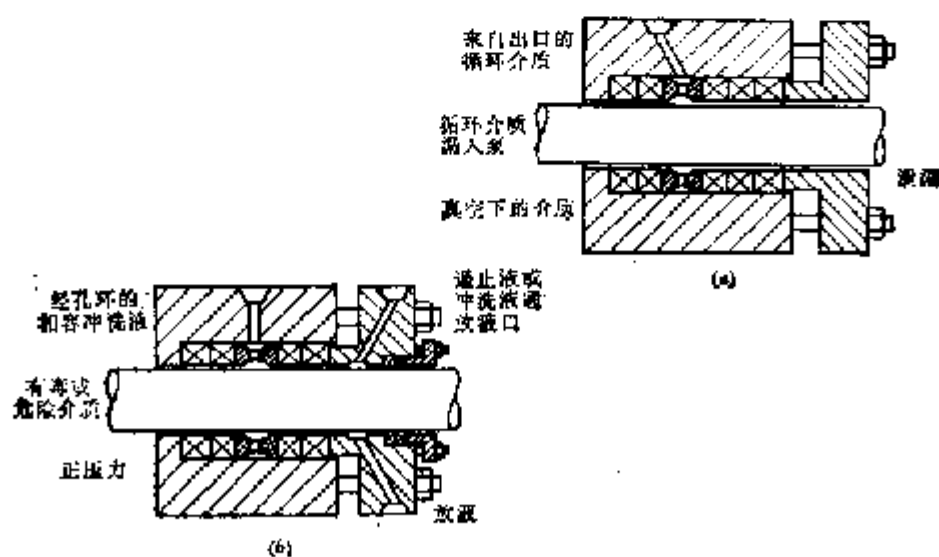


图 6

在不可能利用适当的液体进行冲洗的地方,采用润滑脂冲洗是个办法,如图6c所示。在此种情况下,润滑脂必需洁净,同时能与介质相容。

图6示出了另外两种填料函结构。在图6a中,被处理介质的压力低于大气压力,因此需要一种液体屏障来防止空气通过填料函进入介质。这种液体屏障从介质出口引来,经孔环送入填料函。在这种情况下所控制的泄漏是介质的泄漏。

图6b中被处理介质是有毒的或危险的,所以也采用一种冲洗式填料函来供给主要的屏障。这靠在填料压盖上的一个截止通路(冲洗环路)来支援,同时靠一个辅助填料函来杜绝泄漏。

传统材料

以润滑纤维绳为基的传统形式的填料仍是很常见的,并且一直被广泛使用着。这种填料所采用的材料范围相当广(参见表1A,其中仅列出了部分材料),同时又因为引入合成纤维绳来改进某些性能,进一步扩大了这一范围,不过,实践证明,人造丝和尼龙的优点是有限的(见表1B)。

植物纤维一般适用于工作温度不大于90℃,摩擦速度适中(不高于8m/s)的油、水和非腐蚀性的化学介质。棉花和亚麻是使用最广的纤维,大麻次之。苧麻、黄麻和剑麻基本上消失了。

石棉绳对温度较高的使用条件(达320℃)和较高的摩擦速度来说是传统的选用材料。当然,石棉对人体健康有害的问题确是一个令人关心的课题,而且青石棉实际上已



船尾填料函用聚四氟乙烯/重质填料

停止使用了。不过青石棉有较好的抗腐蚀性能。对白石棉(水合硅酸镁石棉)很少有人提出异议,白石棉已成为目前用于石棉类填料的最重要组材,特别是用作纤维材料。在制造填料过程中,通过浸渍处理被牢固地粘合起来,不会散放出石棉粉尘,石棉粉尘是被引证的危害健康的主要根源。

传统润滑剂

除了实际上需要干式填料的特殊使用场合外,纤维绳填料中总是掺有润滑剂的。

石墨是一种常被加入填料断面中的润滑剂,用于许多在干燥条件下工作或与非润滑性流体接触使用场合中,能提供良好的自润滑作用。因此,石墨润滑剂特别适用于供应

蒸汽、水，特别是含盐水的设备。然而，在某些情况下，有松散的石墨存在可能是有害的；或者当填料与不锈钢杆在一起相对运行时，由于电解作用，石墨可能要对钢材造成局部腐蚀。能够解决这一问题的另一种可供使用的润滑剂是云母。这些润滑剂，连同二硫化钼和聚四氟乙烯一起，迄今仍是标准的“干式”润滑剂。

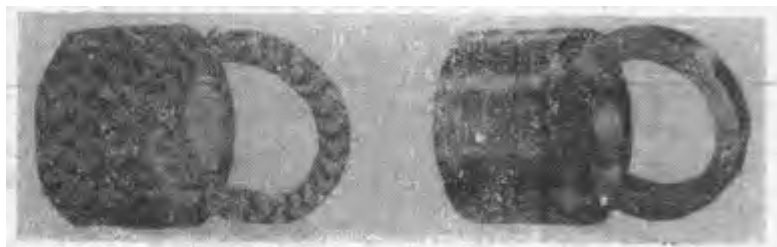
表 1A 传统填料

材料结构	最高压力 lb/in ² bar		最高工作温度 °C °F		主要用途	流 体
石棉-绳	1000~2000	70~140	340~540	550~1000	往复和旋转至750ft/min	通用
石棉-炭质	3000	210	120~200	250~500	旋转和往复	耐酸性液体
石棉-抗酸粘糊剂	2000~2000	100~210	至 315	至 600	旋转和往复	酸、腐蚀性液体等
石棉-编织套	—	—	120	250	旋转	稀酸、碱、氨
石棉-陶瓷涂层	150~2000	50~140	200	500	至1250ft/min	蒸汽、热水、水溶液、油等
石棉-绳-金属编织	1500	105	650	1250	往复和旋转	高压用
石棉-巴氏合金	700	50	260	500	往复和旋转	蒸汽
(夹心)						
石棉-陶瓷填料	700	50	260	500	旋转至2000ft/min	蒸汽、水、酸、碱
石棉布-橡胶布	1000	70	315	600	孔压	蒸汽、水
石棉-陶瓷-橡胶	700~1000	50~70	260~315	500~600	往复	蒸汽、空气、煤气、水
橡胶(润滑)	—	—	55	250	1250ft/min	其它液体，适用于有腐蚀性液体
磷砂(润滑)	—	—	55	250	至 250ft/min	水、油、水溶液、蒸汽、空气、水、制冷剂
棉 绳	—	—	65	150	往复和旋转	热水、和冷水石油产品
新帆布-橡胶	—	—	140	280	往复、旋转杆、活头	品
帆布-金属涂层	50 (蒸汽)	3.5 (蒸汽)	50	300	往复等	低浓度蒸汽、水、油、酸
	3000 (水)	210 (水)				
粗帆布包衬	—	—	120	250	往复和旋转	水、腐蚀性液体、氨
棉布-橡胶	3000	210	140	280	往复、旋转、旋转	油、溶剂、水等
亚麻-绳(润滑)	—	—	65~140	150~280	循环水泵	酸水和碱水
亚麻-帆布-橡胶	50 (蒸汽)	3.5 (蒸汽)	140	280	给水系统循环泵	酸水和碱水
包复	3000 (水)	210 (水)				
金属带-包复纤维	500~700	35~50	65~800	150~1500	高速旋转	蒸汽、水、油、氨、酸和碱
金属带包衬	500	35	190~300	340~500	高速旋转	油类、高温蒸汽
大麻(润滑)	500	35	65~95	160~200	中速旋转	水
橡胶纤维	—	—	55	150	旋转和往复、中速	酸水和碱水
平纹编织纤维	—	—	37~50	100~120	低中速往复	冷水和冷油
皮革-纤维-金属带	—	—	37~50	100~120	往复(低中压)	水、油、石灰浆等

像牛脂一类的传统“湿式”润滑剂已为矿物油、黄油、石蜡和肥皂所取代。硅酮树脂脂专门与石棉填料一起用于高温使用场合，不过目前认为是不适用于在与食品和饮水有接触的场合了。在这类使用场合所采用的润滑剂通常是一种中性的矿物油。

实际采用的润滑剂的百分比随使用情况的不同而变化。因此，准备用于高速运动，特别是高速旋转运动场合的填料一般应较为柔软的，以便长时间地保持柔性和能够含有

较大百分比的润滑剂。仅在静态使用条件下工作的填料，一般完全不必加入润滑剂。用于往复运动场合的填料，可以用耐磨金属丝来增强，而不是加入润滑剂，也许有石墨外包皮。其他种类的填料可能既利用耐磨的软金属丝增强，同时也涂润滑剂。耐磨软金属丝的数量应该是既能保证轴的连续润滑，又能帮助从工作表面导热。



聚四氟乙烯绳和石棉
绳编织的多用泵填料

多孔片状石墨制的
泵用和阀用填料



用聚四氟乙烯绳编织的并浸渍聚四氟乙
烯分散剂的填料，适用于酸碱性工作介质

编绳填料与编织填料

编绳填料是由按传统的或经改进的编绳方式编结成的多股绳构成的，绳层之间形成一个保持润滑剂的空隙。绳层可根据具体的工作条件搭配，例如用于旋转密封件时，按照轴的旋转方向编结，以使个别纤维的磨损不致严重影响填料断面的整体性能。

编织填料可以按两种不同的方法构成。连续的编织填料是由按管状编织在一起的单股纱构成的，以相似的方式一层压一层地制成所需要的新面。另一种是斜纹编织方式（作



10.

图7 各种编绳与编织型式示例

为一种空形还有网格编织方式)。两种方式都可制成较致密的填料, 这种填料表面密度较高, 但保持润滑剂的空隙较小, 因此在填料不发生剥裂情况下, 比编织纤维(像一种编织填料)具有更好的不渗透性能。图7a示出了一些“典型”结构的例子。

编织断面可以编成方形或圆形的。在后一种情况下, 通常是在编织并浸渍润滑剂以后, 使其简单地通过一个轱轮拉模而制成方形断面的。在实践当中, 制造商发展了各自特殊形式的编织或编织型填料结构, 例如交叉型编织填料(Crossley)或超级编织填料(Latty International), 旨在克服普通的或“典型”的编织填料的缺点。图7b表明了精心研制的两种断面的例子, 具有耐用、均匀和不渗透的优点, 同时还具有良好的柔性。

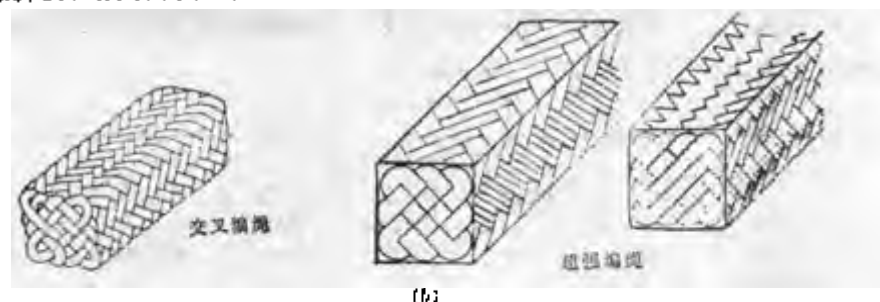


图 7

现代石墨化石棉填料

石墨化石棉填料的出现归因于在生产一种石墨和石棉的直接混合物, 而不是在制造表面涂层过程中的一些最新研究工作, 这种填料具有优良的润滑, 较冷的运行, 较低的摩擦, 良好的高温性能。图8为这种类型的一种著名专利填料和一种普通的石墨化石棉填料进行了比较。图中的试验数据是在密封水和流体的场合, 在压力为5bar, 摩擦速度为10m/s的条件下得到的。

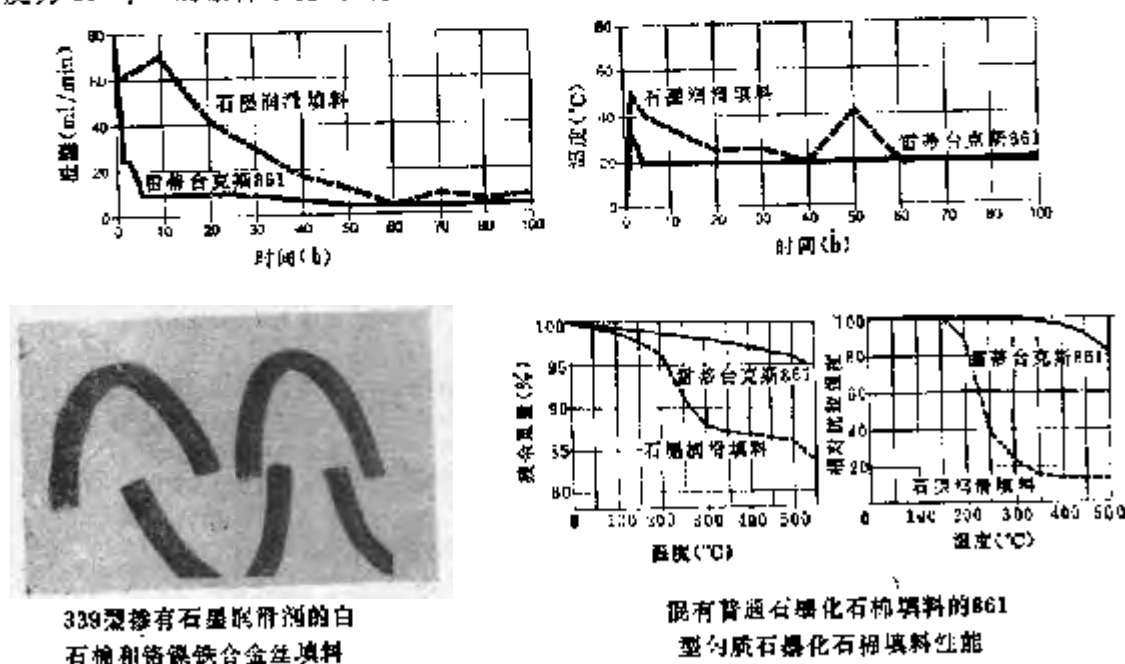


图 8

聚四氟乙烯填料

具有极好的抗化学侵蚀能力的聚四氟乙烯,作为一种低摩擦材料的杰出性质,使其成为一种用来制作填料的有吸引力的选择材料。这种材料特性的不利一面是强度低,热传导性不良以及随温度的升高而有收缩的倾向(即具有负的热膨胀系数)。当这种材料与作为润滑剂的编织填料(通常是石棉绳)结合使用时,其热收缩特性使材料的最大摩擦速度限制在大约 $8 \sim 10 \text{ m/s}$, 最高使用温度限制在大约 $250 \sim 290^\circ\text{C}$ (见表 I B)。

不过,热传导性可以通过掺入石墨来改善,利用挤压方法制成的聚四氟乙烯/石墨填料属于最吸引人,最有用的现代填料类型之列,比普通编织填料具有更好的性能,特别是在寿命和减少轴或杆的磨损方面尤为如此。

表 I B 现代填料

种类	组 成	最大允许参数①			应 用	pH值②
		摩擦速度 m/s	温 度 $^\circ\text{C}$	压 力 bar		
棉	编织的或编织的, 采用油脂、石墨、云母或粉剂	7.5	90	—	用于密封水	8~9
麻	编织的或编织的, 采用油脂或云母润滑剂	—	—	—	用于密封水	8~9
亚麻	编织的或编织的, 采用油脂, 石墨或云母润滑剂	—	70~120	—	用于旋转密封或密封及低速往复密封, 密封唇密封装置等	—
织物	利用聚四氟乙烯纤维、尼龙、人造丝、聚氨酯或编织的	—	—	—	用于水、溶液、醇、酸、油、油脂、食品等密封	—
石棉(T)	圆形成方形编织的, 或编织的白石棉	—	500	—	蒸汽盘、汽轮机密封等	—
石棉 (陶制的)	圆形成方形编织的, 或者编织的白石棉采用油脂、云母或聚四氟乙烯润滑剂	—	~16至+300	—	用于蒸汽管路、蒸发器、冷凝器、加热器、密封等	8~12
石棉(金属 丝编织的)	用钢丝或金属合金丝编织, 丝编织或编织而成, 圆形成方形断面, 覆以石墨或云母润滑剂	—	~50至+350	250~650	用于密封水、空气、蒸汽、酸、碱、烃类、醇、酸和碱液	4~14
石棉(低含 聚四氟乙烯)	编织的或编织的, 覆以石墨或聚四氟乙烯润滑剂	15	280	100	用于密封密封剂、油、烃类等(非腐蚀性液)	9~11
石棉(聚四氟 乙烯)	编织的或编织的, 覆以石墨或聚四氟乙烯润滑剂	5	200	250~350	用于腐蚀性工作条件(腐蚀性液体除外), 具有与聚四氟乙烯的化学抵抗力	9~11
青石棉	编织的石棉纤维, 添加润滑剂	15	280	60	由于对健康有害而产生, 许多国家不制作此密封剂	9~12
石棉(含铜)	用石棉纤维和铜粉制成, 含铜量取密封剂	—	—	—	—	—
聚四氟乙烯	编织或带状	—	200至 250	—	密封剂, 用于有腐蚀性的食品场合	9~14

表 I 现代填料实例

专利商标名称	结 构	性能参数范围				应 用
		摩擦速度 (m/s)	温度 °C	压力 bar	pH值	
LATTYflon 4748 ¹	预涂聚四氟乙烯的帆布 衬(聚对苯二甲酸对苯二 胺纤维) 绳状衬并覆以 滑性润滑剂和硬聚四氟 乙烯	25	-220至+300	200	1~13	作为高负载密封填料 用于密封各种液体, 无油, 无污秽, 适于各种食品, 饮料和医药处理
LATTYflon 4749	与Latty flon4748类似	20	+275	100	2~12	低成本, 一般用途的 轴封填料, 与上述应用场 合类似
LATTYflon 4748	特殊编制的填料, 其特 点是在表面有制夹拉角 和硬聚四氟乙烯纤维, 两 种纤维均经涂渍和表面处 理	20	-220至+300	1000	1~14	为了在复杂应用场合而 专门研制的, 特别适用于 高压化工泵活塞等的密封
LATTYflon 3206	用一种聚四氟乙烯分散 剂和滑性润滑剂处理的硬 聚四氟乙烯纤维	10	-200至+300	100	0~14	密封各种介质, 特别适 用于真空和气体密封
LATTY flon 3306B	无润滑剂		-200至+300	100	0~14	有氧工作场合
LATTY flon 4207	含石墨的粗制编绳聚四 氟乙烯纤维		-200至+300	100	0~14	腐蚀性化学药品和高压 泵密封
LATTY flon 3210	由纤维状的聚四氟乙烯 和石墨以及润滑剂压制而 成	10	-100至+250	50	0~14	密封除了融焊钛金属、 某些含氟化合物和氟以外 的所有介质
LATTYflon 3215	由纤维状的聚四氟乙烯 和滑性润滑剂压制而成	5	-100至+200	100	0~14	用于食品密封等, 也 用于维修工作等的一般用 途密封
LATTYfex 381	编绳的含质石棉石墨	20	+500	80	3~11	用于水、空气、蒸汽、气 体(除了氧), 烃类化学 药品的密封
LATTYgraf	绳状、带形或压模成 型的环状多孔石墨	35	-200至+600	300	0~14	用作热交换媒体、腐蚀 性介质、软化水、食品、核 反应堆等高负载密封填料

适于在往复运动条件下工作的
4748型合成纤维/聚四氟乙烯填料4749型填料, 与4748型类似,
但是以圆式组件形式制造的适于在旋转运动条件下工作的
4748型合成纤维/聚四氟乙烯填料

图 9

材料性能比较

聚四氟乙烯、涂敷聚四氟乙烯的芳族聚酰胺纤维和石墨纤维都是低摩擦材料，前两种材料的摩擦系数大约在 0.05~0.2 之间。石墨纤维的摩擦系数一般约为 0.1~1.0。相比较之下，润滑石棉的摩擦系数大约为 0.4~0.6；润滑石棉或聚四氟乙烯/石棉摩擦系数的范围，甚至比石墨更大。这是因为石棉是一种天然的摩擦材料（例如用作刹车片），因此，作为一种摩擦较低的填料工作时，在很大程度上要靠添加润滑剂。同样地，如果丧失了润滑剂，石棉填料就会增高摩擦，并且发热。

就热传导性来说，石墨是最好的材料 ($25 \times 10^{-8} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)，芳族聚酰胺纤维 ($15 \times 10^{-8} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$) 次之，而聚四氟乙烯 ($6 \times 10^{-8} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$) 又次之。石棉的热传导性最差，导热系数为 $15 \times 10^{-8} \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

石棉和芳族聚酰胺纤维的热膨胀系数实际上为零，从这一方面来说，两者都是理想的填料材料。聚四氟乙烯在体积上随着温度的升高而减小，因此，利用聚四氟乙烯制的填料有紧缩在轴上的倾向。另一方面，石墨随着温度的升高而稍有膨胀。

芳族聚酰胺纤维具有较好的回弹能力或应付压力变化的能力以及对压盖工作空间的适应能力。石墨纤维也有良好的回弹能力，但是聚四氟乙烯纤维或聚四氟乙烯/石棉填料的弹性一般都显得不足。这些对比都是通过对一些编织结构相同，但材料不同的填料进行实验得出的。

石墨填料

由石墨丝制成的石墨纤维填料的一个潜在优点是具有适应 400°C 以上工作温度的能力；同时有与聚四氟乙烯差不多的化学抗力（强氧化剂除外）。它们的摩擦也低，并具有良好的散热性能。这种填料在最初出现时之所以未能达到原来对它们的期望，很大的原因是由于安装时需要特别仔细，而且对沟槽和轴的表面光洁度也要求过高。为了满足在极高温、压力和速度条件下工作的需要，并能适应大部分侵蚀性化学介质，对这种填料做了进一步的研究改进，不过，材料的成本依然是较高的，虽说这一点未必在填料的时间费用效果中反映出来（参见密封选择指南）。

柔性的石墨箔是又一种第二代的填料材料。为了制造这种压延成箔的分层石墨，采用了一种特殊生产技术，而未另外使用粘合剂，这样一种生产工艺，保证了材料在实际使用时，既洁净而又均匀一致，没有在高温时有可能被排出的易挥发物质，和会往工作介质渗透的添加剂。分层石墨压延填料是制成填料圈使用的，或者制成皱纹带，以便于制成合乎现场使用的填料（图10）。

石墨箔填料具有片状或粉状石墨在化学、热学和摩擦方面的原有全部优点，另外还增加了柔性和弹性这种重要的性质。

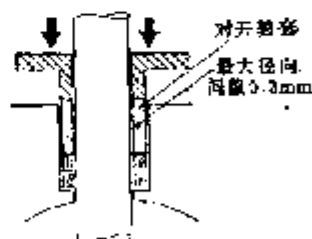


图10 装配状态下的带状石墨填料

● $1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J}$ 。

在用作旋转密封件的场合(例如泵压盖填料),为了得到合适的热学性能,石墨箔填料通常制成由适度到疏松的卷带,这是因为石墨箔填料的热学性能随其卷紧度而变化,例如:

1. 松卷带—相对于轴的最大径向导热性,随轴有最大的轴向膨胀。

2. 紧卷带—相对于轴的最大轴向导热性,对轴有最大的径向膨胀。

像采用石墨箔填料一样,采用石墨箔时也要仔细地行装配,这一点很重要,同时,轴的光洁度、最小间隙和径向跳动也都是很关键的。某些情况下,可在填料函底部采用实心(炭)制抗挤压。虽然这种材料已问世好几年了,但其应用主要限于那些其他所有方法都无法奏效的极其特殊的应用场合,这使得很难对其性能指标做出全面的评价。但是,细想一下,超过 25m/s 的速度被认为是在石墨箔填料的性能指标范围之内。



采用压板预制的石墨箔带函组件

不利的是这种填料所用的基本原材料较贵,其生产工艺似乎不会随着产量的增加,而出现生产规模的经济性。当然,较长的填料寿命,更有效的密封性和减少轴的磨损,将提供相当的节省,以补偿很高的原始费用。

带状填料

某些现代填料材料,特别是分层石墨都制成带状的,由这种带状材料,可以就地组装适合任何尺寸需要的填料函。组装方法如图 11 所示。将带子切成几段,绕轴或杆缠绕成厚度大约为填料函空隙 3/4 的垫圈。以这种方式制成适当数量的垫圈,构造长度约为填料函深度的两倍。然后,合上并拧紧压盖,以压缩成型垫圈,从而做成最终的填料。



图 11.

精确的细节根据所用材料的类型而有所变化,不过,在采用石墨带时,所需要的压缩量大约为 50% 左右。由于填料可以制成各种不同的宽度,因此,通常可以很简便地用适当数量的填料函填满几乎任何一种尺寸的填料函。对于一般应用场合,应选用五个垫圈的方案,因此,按照 50% 压缩量计算,所需要的带宽应为所需要的最终填料深度的 2/5。

玻璃纤维和陶瓷纤维

虽然玻璃纤维和陶瓷纤维有与石棉差不多,或更好的耐温度和耐化学药性质,但是作为石棉的一种可能的代用材料,其应用相对说来,还是有限的。至目前为止,它的主要缺点是,由这类纤维制成的纤维绳,不适于编制/编织填料那种传统的编制结构。另外,有些权威人士认为,玻璃纤维也具有石棉那种对健康有害的物质。

玻璃纤维在填料中的一种特殊应用,就是与白石棉结合在一起,以制成一种具有与青石棉有关的、改进了化学抗力的填料。

软填料和硬填料

大多数填料都有相当好的弹性,为适应工作的需要,其弹性从软或半塑性到适当硬度,有一个变化的范围。另有一类“硬”填料,蒙有金属包皮,主要是为了用于旋转密封场合,而且常常是在高温条件下使用。楔形填料构成了一组中间等级的填料,因为虽然这种填料对着摩擦表面有一个硬面,但是这个面却是由一个弹性体衬托着,这个弹性体在受到压缩时,就产生楔的挤压作用。另一方面,楔形圈也可以完全是硬结构的,实际上是不可压缩的。

在某些应用场合,填料函可以用复合填料填充,这样或许更为有利。因此,在要求采用一种软或半塑性填料密封低粘度液体的工作场合,就可以将这种填料与较硬的垫圈结合起来使用,以尽量减少挤出的危险,同时对软垫圈起了很好的支持作用。同样地,硬填料和软填料可以交替地使用,以增加软填料的刚度,或者赋与本质上为硬的填料以回弹性(例如以便吸收侧向载荷)。



楔形填料

金属填料

金属填料是由经特殊处理、润滑的金属管制成的,金属管缠在或者卷在一个弹性芯(例如石棉,或者有时采用亚麻)上。金属管材料以铝、铜和铅最为常用(参见表Ⅱ)。

表Ⅱ 金属管填料举例

基本类型	结 构	最高工作温度 °C °F	运动和速度	应 用
全金属	金属管	280 1000	旋转, 达 5 m/s (1000ft/min)	高压使用
	编织的铜丝	340 1200	旋转, 达 5 m/s (1000ft/min)	用于高压蒸汽密封
	铝, 采用石棉芯	280 1000	旋转, 达 5 m/s (1000ft/min)	高压/高温蒸汽密封
	铝, 致密	● ●	旋转或往复	铝, 有机化学药品和大部分水溶液(非碱性)
	铜, 采用石棉芯	340 1200	旋转, 达 3 m/s (1000ft/min)	260°C (1000°F) 以上
	铝, 编织的	340 1200	旋转或往复	有机化学药品, 无碱的, 盐水, 高压蒸汽的密封
	铝, 采用石棉芯	280 1000	旋转, 达 7.6 m/s (1500ft/min)	高速密封
	铝	230 450	旋转或往复●	水, 盐溶液, 稀酸等
	巴氏合金管, 采用石棉芯	200 400	旋转或往复●	轻度腐蚀性液体和酸溶液
	巴氏合金管, 采用棉芯、亚麻芯或大麻芯	120 250	旋转或往复●	水溶液
空心金属	巴氏合金, 石墨润滑	240 500	旋转或往复	空气, 水, 蒸汽, 酸等
	铜, 润滑石棉	340 1200	旋转或往复	空气, 水, 蒸汽, 酸等

● 取决于芯材; ● 为低摩擦填料。

金属箔螺旋缠绕填料是由金属箔带一层压一层地缠绕而成的。每一层通常都加以润滑处理。这种方法制成的是一种刚性（即没有回弹性）断面，但具有一定程度的柔性。

金属箔起褶皱填料是由螺旋缠绕的金属箔带制成的，褶皱成最终的规格。每一层也经润滑处理，最终的断面有一些贮存润滑剂用的空穴。

在采用芯式填料时，金属缠绕物可以把弹性芯完全包住，或者在一侧（即密封面）散开。

散状填料

散状填料在阀或泵的压盖密封方面有特殊的应用，并具有特别易于装配的优点。装填填料函时，只能把它轻轻地敲到底。散状填料在工作期间逐渐变得密实，而且均匀，但却保持很高的透气性。一般说来，采用散状填料时，可以同时配用实心断面端环或实心填料开口环，以便防止散状填料的挤出，但当压盖和轴颈套在工作状况良好时，这也许是多余的。

阀用填料

聚四氟乙烯绳为制作阀用填料提供了一种简单而有效的材料。在阀杆上缠几圈绳，即可充填填料空间，必要时可调节压盖随动件。图 12 所示的材料是聚四氟乙烯生料，螺旋缠绕并包覆聚四氟乙烯带。

还有用于简单阀杆密封的一些其他类型填料，例如，石棉石棉绳或涂敷聚四氟乙烯分散剂的石棉绳填料，编织带状的纯聚四氟乙烯或模制垫圈式的纯聚四氟乙烯填料，模制的石墨垫圈等。



氟乙烯制的整体或阀用填料



图12 氟乙烯的阀用填料

压盖填料的安装与维护

压盖填料或者是以成卷的连续长度型填料材料供应的，或者是以一种预成形的开口圈形式供应的，在后一种情况下，必须在订货时详细说明所需的实际规格。

建议在从长度型填料上切割填料环时，采用如下的方法：

(1) 把填料绕在轴或一个规定直径的心轴上，见图 13a（金属的和压制的填料卷的内径应与这个直径一致）。

(i) 在缠绕的填料卷上刻两条与轴的轴线平行且分开，其间的距离等于填料断面的导向线，以帮助切割填料环，见图 13 b。

(ii) 斜跨导向线，以 45° 角从填料卷切割填料环-环的两端之间不留间隙，见图 13 c。

(iv) 将金属的和压制的填料环成螺旋形地打开，以备通过将两端按轴向拉开的办法进行装配，见图 13 d。

(v) 当不损坏填料断面，填料环就不能再打开时，填料环即呈折页状切口，斜着切入填料大约三分之二处，见图 13 e。

(vi) 在按同样方法切其他环之前，检查第一个环，以确保其在填料函中装配合适。

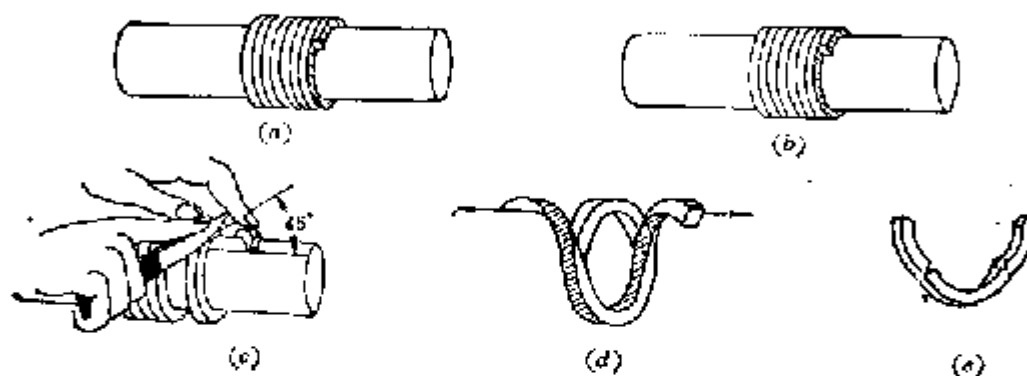


图 13

旧填料的拆除

密封的系统应在适当时减压或放空，然后松开固定压盖随动件的螺母，以使随动件能够沿轴取下和清理填料函，见图 14 a。然后应小心地将旧填料函取出。最好的取出办法是利用一对拔除工具，插在轴的相对两侧，见图 14 b。拔除旧填料函以后，要确保填料函内侧是清洁的。还要检查一下轴是否处于正常的状况，也就是说，没有划痕、点蚀、起皮或腐蚀。新填料如果在一个受损伤的或粗糙的轴上摩擦，工作寿命将是很短的。

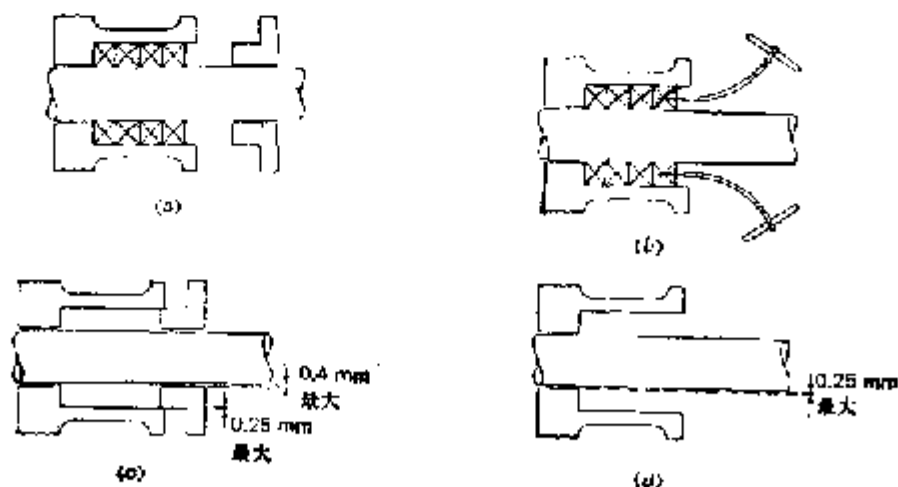


图 14

应进行如下检查:

(i) 检查轴与填料函孔径的同心度。

(ii) 检查轴, 保证跳动不超过 0.025mm (0.001in) 总读数。

(iii) 检查压盖随动件的一般状况和配合。内径最大间隙应不超过 0.4mm (0.019in), 而外径最大间隙应为 0.25mm (0.010in), 以防止出现塞栓或触轴的危险, 见图 14c。

(iv) 核查轴颈套和轴之间的间隙, 见图 14d。如果这个径向间隙大于 0.25mm (0.010in), 在填料函底部采用一个小间隙的薄垫圈, 可能有利于防止填料挤出。

所需要的填料环数显然可以根据拆除的旧填料环数确定。然而, 如果准备使用另一种填料时, 就要量出填料函的深度, 并要扣除一个压盖随动件进入的适当留量, 以得到所需填料函的总深度。

新填料的装配

检查过轴的自由旋转和与轴套的同心度之后, 就可以一个一个地把填料环装起来了, 可以使用一个装填工具, 以保证把每一个环按应放位置装得紧实和平正, 但是, 如果与压盖随动件一起使用一个开口衬套, 就更好, 见图 15(a)。在这类装配工作中有一种例外情况, 即当使用聚四氟乙烯多股丝绳或石墨制的填料环时, 就不要敲打或推到底。这类材料的填料环只要滑到适当的位置上去就行了, 否则它们或许受到永久性的损害。

一组填料环的接缝应相继按 120° 角错开, 见图 15(b)。每个环装上之后都要检查一下轴是否能够转动。

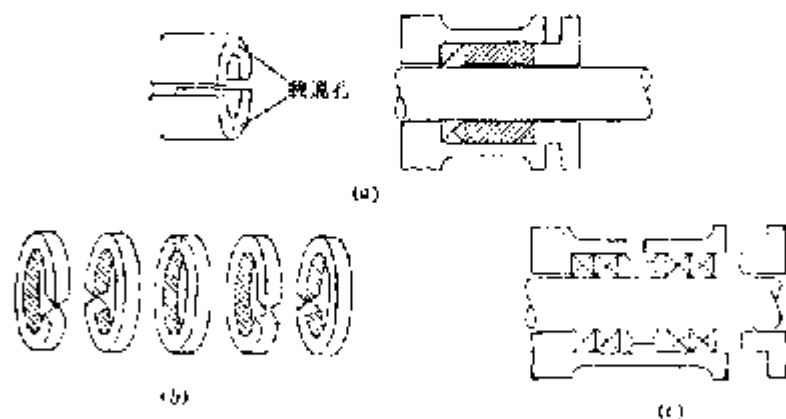


图 15

每个环安装之后的实际位置, 可以通过测量留下的自由深度来加以核查, 也就是说, 这一深度应等于填料函深度减去已装上的环的总深度。这项检查在使用装有孔环的压盖密封时特别有用, 可以保证孔环被放置在它的供液孔的下方。要记住, 孔环的最初位置要朝填料函开口端偏移一些, 如图 15(c)所示, 这样, 在拧紧压盖时, 就为底部垫圈的压缩提供了余地。

在最后一个填料环被装配好之后, 就将压盖随动件放到位置上去, 并以均匀的手劲压在螺母上拧紧。检查一下轴的自由转动情况。然后就可启动系统, 加压力, 这样就会通过压盖产生明显的稳定泄漏。在这种条件下运转, 一段时间 (例如 $5\sim 10\text{min}$) 后, 就

要用扳子，以每次大约拧六分之一扣的动作将压盖螺母上紧，直到泄漏量减小到可以容许的程度为止。

这种调整工作每隔 10~15 分钟要重复进行一次，直到泄漏减小到一滴一滴的、达到一个容许的程度。泄漏量的容许程度与实际应用场合有很大关系。例如，在小心地试运行或轻载运行情况下，实际上可以消除泄漏。而在重载条件下，则需要一种适当流量的点滴式泄漏，以保证压盖不会过热。

在试运行周期完了之后，仅在较长时间之后，才需要进行进一步调整。所有这些调整都要当系统在正常的温度和压力下运行时进行，即不要在静止条件下进行。

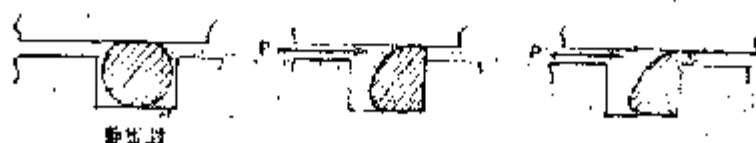
表 IV 软填料典型故障

故障	原因
填料装入间隙	间隙过大，填料断面太小，磨损——如由于填料杂质引起，轴承处适当添加润滑
填料环装入相邻环中去	环环大径，填配时留有缝隙
填料环壁不均匀	填料装配有毛病
填料环摩擦面磨损	润滑不足
轴磨损	填料环受过紧或填料失效使填料下压后磨料性杂质存在
填料环外表面划伤——随之造成泄漏通道	填料尺寸过小，随轴自由转动
压盖泄漏过大	填料装配不良，填料尺寸磨损，压盖或填料面状况不良 填料环与填料膨胀不等，填料环切缝过大；填料环或填料剂失效，轴转动过大，轴套必须过大

O 形 圈

O 形圈是最简单，也是最通用的密封类型中的一种，在静密封和动密封中均有广泛的应用。然而，其性能的好坏，与材料特性、具有严格公差的配合沟槽几何尺寸以及配合表面的表面光洁度有关。

从根本上说，一个 O 形圈密封就是一个被挟在安放它的沟槽之中的、断面为圆形的模制橡胶圈。这样的密封件在极高压条件下用作静密封件，完全可以起到防漏的作用；而且在流体压力达 350 bar (5000 lbf/in^2)、并具有特殊工作限制的动密封应用中，也具有令人满意的防漏能力。如果这种密封件设计正确，运用得当，则由于其基本部分简单而又坚固耐用，一般是极其可靠的。一般来说，除了高压动密封、摩擦速度大于 7.5 m/s (1500 ft/min) 的旋转密封和重载动密封以外，这种密封件对于大多数密封应用，作为一种简单、低成本的手段是值得考虑的。但不能因此而就断定说，由于 O 形圈适合于特殊的应用，那么它的性能就一定比别一种类型的密封强。不过，在其密封性能表现良好的应用场合，它通常要比大多数唇形密封件有较低的摩擦（用作动密封件时）。



静密封

图1表明了O形圈密封原理。O形圈在其沟槽中的装配下,受到一种初始挤压或压缩作用,这种挤压或压缩状况与密封圈、沟槽深度和径向间隙等相关尺寸有关。这种压缩作用提供了初始密封压力。后来通过间隙加到O形圈一侧上的内压力进一步使其变形,与沟槽的另一侧保持接触,将这种压力传递到被密封表面上去。因此,由于最初的过盈压力作用,密封压力实际上大于所施加的流体压力。

这样一种密封件的效果与原有的几何尺寸有很大关系。随着压力的增高,密封圈的变形也要增大,最后就势必把密封圈的一部分挤出到间隙中去。如果间隙足够大,那么在中等程度静压力下,密封件就可能因挤出而完全失效;或者换句话说,如果静压力足够高,密封件终将由任意大小的间隙被挤出而失效。在动密封应用场合,任何受挤的趋向,都将在O形圈上造成局部磨损,从而导致咬伤和过早的损坏,见图3。

应该指出,密封挤出的可能,并非只限于动密封应用场合。在静密封应用情况下,由于装配螺栓在高压下拉长,也可能打开一个挤出间隙。

内压力的限制值基本上是由间隙大小和O形圈的硬度决定的,图2给出了一些定量的数据。实际上,对于一种给定规格和应用的O形圈来说,间隙大小一般是有规定的,这样就确定了针对具体的(或普通的)O形圈硬度的压力极限。不过,这仅作为设计值给出。在实际工作条件下,有效间隙会随有关零件在温度和压力变化时的膨胀和收缩而

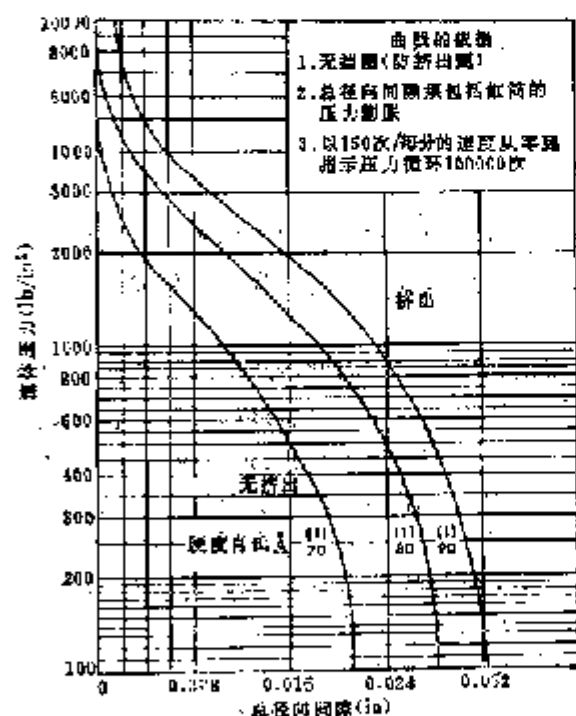


图 2

有一种压力效应可能被忽略,这就是像缸筒这类外部构件,在压力或高压冲击时,稍有膨胀,因此增大了间隙,有可能造成O形圈挤出。在极端情况下,为避免这种现象,必须提高该构件的刚度。

改变。要是忽视了这一点,就可能导致发生挤出的麻烦。因此,在低温工作时,考虑到O形圈的收缩,为了保证在收缩后仍能形成压紧状态,减小沟槽深度是很必要的。同理,在高温工作时,建议略微增加沟槽深度,以避免O形圈在工作温度下膨胀时压得过紧。由于合成橡胶的热膨胀系数明显地大于金属的热膨胀系数,因此在极端的温度条件下,这种效应就可能很明显。



图 3

挡圈（防挤出圈）

O形圈被挤出的可能性，可以通过利用挡圈加以杜绝。与此同时，这将提高密封的额定压力。挡圈是用比O形圈本身更硬的材料制成的支撑圈，但是有足够的弹性，在压力下变形以封闭间隙。挡圈设置在沟槽中O形圈受压侧的相反一侧，如果O形圈需在双向压力作用下密封，则要在O形圈的两侧设置挡圈（图4）。沟槽宽度要很据容纳的挡圈个数相应增加。

有各种制作挡圈的材料，如皮革、硬橡胶和聚四氟乙烯，后一种尤其适合于制作一些小尺寸的挡圈，同时在动密封场合使用，具有摩擦非常低的优点。

对一个挡圈的主要要求是，不会被压扁或发生蠕变，而这本身在很大程度上又取决于与适当沟槽尺寸配用的挡圈的大小。

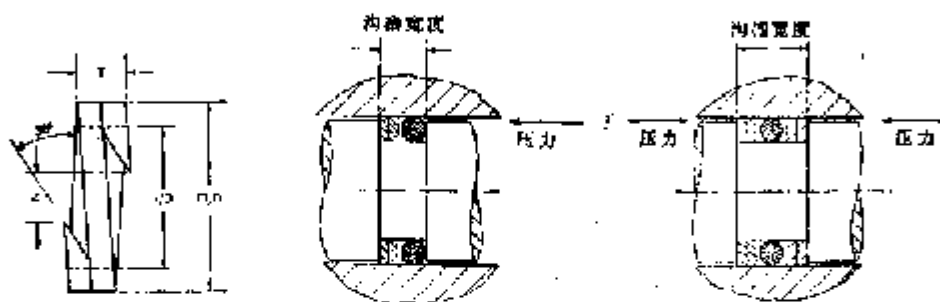


图4 与螺旋缠绕的挡圈一起使用的O形圈沟槽宽度

用于单作用缸时，标准O形圈沟槽宽度加 1%

用于双作用缸时，标准O形圈沟槽宽度加 2%

挡圈可以是单圈切下的切口式环形圈，材料为面上敷有乙缩醛的聚四氟乙烯、或者采用螺旋缠绕聚四氟乙烯、皮革或纤维增强橡胶，如图5所示。为了将挡圈装入沟槽，就要使其材料能经受住拉伸或压缩，这样挡圈在直径方向上要有必要的“弹性”。与此同时，最为理想的是，一个挡圈的切口不应有任何偏斜或产生其他制作方面的不正常形状，这些都将引起局部削弱，从而在压力作用下导致压扁，或者使O形圈有可能挤入到面中去。也可以采用连续式挡圈，其凹侧面对着O形圈，但是与光滑的平面挡圈相比，并未显出有任何特殊的优点。



图5 挡圈结构

沟槽几何尺寸

理想的沟槽形状是纯粹的矩形，不过，为了加工方便，允许有不大于 $5'$ 的锥度。为了消除尖锐棱边凹槽内圆角半径一般规定为 $0.50\sim 0.75\text{mm}$ ($0.020\sim 0.030in$)，凹槽顶缘圆角半径为 $0.12\sim 0.25\text{mm}$ ($0.005\sim 0.010in$)（图6a）。这些圆角半径要小，否则

(续)

名义断面 1/16in

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断 面 A (in)	内 径 B (in)	槽 径 (in)	底 径 (in)
004	0.070 ± 0.003	0.070 ± 0.005	5/34	13/34
005	0.070	0.101	7/34	15/34
006	0.070	0.114	1/8	1/4
007	0.070	0.145	5/32	9/32
008	0.070	0.176	3/16	5/16
009	0.070	0.208	7/32	11/32
010	0.070	0.259	1/4	3/8
011	0.070	0.301	5/16	7/16
012	0.070	0.364	3/8	1/2
013	0.070	0.426	7/16	9/16
014	0.070	0.489	1/2	5/8
015	0.070	0.551	9/16	11/16
016	0.070	0.614	5/8	3/4
017	0.070	0.676	11/16	13/16
018	0.070	0.739	3/4	7/8
019	0.070	0.801 ± 0.006	13/16	15/16
020	0.070	0.864	7/8	1
021	0.070	0.926	15/16	1.1/16
022	0.070	0.989	1	1.1/8
023	0.070	1.051	1.1/16	1.3/16
024	0.070	1.114	1.1/8	1.1/4
025	0.070	1.176	1.3/16	1.5/16
026	0.070	1.238	1.1/4	1.3/8
027	0.070	1.301	1.5/16	1.7/16
028	0.070	1.364	1.3/8	1.1/2

名义断面 3/32in

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断 面 A (in)	内 径 B (in)	槽 径 (in)	底 径 (in)
110	0.103 ± 0.003	0.362 ± 0.005	3/8	9/16
111	0.103	0.424	7/16	5/8
112	0.103	0.487	1/2	11/16
113	0.103	0.549	9/16	3/4
114	0.103	0.612	5/8	13/16
115	0.103	0.674	11/16	7/8
116	0.103	0.737	3/4	15/16
117	0.103	0.799 ± 0.006	13/16	1
118	0.103	0.862	7/8	1.1/16
119	0.103	0.924	15/16	1.1/8
120	0.103	0.987	1	1.3/16
121	0.103	1.049	1.1/16	1.1/4
122	0.103	1.112	1.1/8	1.5/16
123	0.103	1.174	1.3/16	1.3/8
124	0.103	1.237	1.1/4	1.7/16
125	0.103	1.299	1.5/16	1.1/2
126	0.103	1.362	1.3/4	1.9/16
127	0.103	1.424	1.7/16	1.5/8
128	0.103	1.487	1 1/2	1.11/16
129	0.103	1.549 ± 0.010	1 9/16	1.3/4

(续)

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断 面 <i>A</i> (in)	内 径 <i>B</i> (in)	轮 径 (in)	缸 径 (in)
130	0.103	1.813	1.3/8	1.12/18
131	0.103	1.874	1.11/16	1.1/8
132	0.103	1.789	1.3/4	1.31/18
133	0.103	1.799	1.11/16	2
134	0.103	1.862	1.7/8	2.1/16
135	0.103	1.925	1.15/16	2.1/8
136	0.103	1.987	2	2.3/16
137	0.103	2.050	2.1/16	2.1/4
138	0.103	2.112	2.1/8	2.5/16
139	0.103	2.175	2.3/16	2.3/8
140	0.103	2.237	2.1/4	2.7/16
141	0.103	2.300	2.5/16	2.1/2
142	0.103	2.362	2.3/8	2.9/16
143	0.103	2.425	2.7/16	2.5/8
144	0.103	2.487	2.1/2	2.11/16
145	0.103	2.550	2.9/16	2.3/4
146	0.103	2.612	2.5/8	2.11/16
147	0.103	2.675 ± 0.015	2.11/16	2.7/8
148	0.103	2.737	2.3/4	2.11/16
149	0.103	2.800	2.15/16	3

名义断面 1/8 in

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断 面 <i>A</i> (in)	内 径 <i>B</i> (in)	轮 径 (in)	缸 径 (in)
210	0.139 ± 0.004	0.734 ± 0.009	3/4	1
211	0.139	0.796	13/16	1.1/16
212	0.139	0.859	7/8	1.1/8
213	0.139	0.921	15/16	1.3/16
214	0.139	0.984	1	1.1/4
215	0.139	1.046	1.1/8	1.5/16
216	0.139	1.109	1.1/8	1.3/8
217	0.139	1.171	1.3/16	1.7/16
218	0.139	1.234	1.1/4	1.1/2
219	0.139	1.296	1.5/16	1.9/16
220	0.139	1.359	1.3/8	1.5/8
221	0.139	1.421	1.7/16	1.11/16
222	0.139	1.484	1.1/2	1.3/4
223	0.139	1.546 ± 0.010	1.5/8	1.7/8
224	0.139	1.609	1.3/4	2
225	0.139	1.672	1.7/8	2.3/8
226	0.139	1.734	2	2.1/4
227	0.139	1.796	2.1/8	2.3/8
228	0.139	1.859	3.1/4	2.1/2
229	0.139	1.921	2.3/8	2.5/8
230	0.139	1.984	2.1/2	2.3/4
231	0.139	2.046	2.5/8	2.7/8
232	0.139	2.109 ± 0.010	2.3/4	3
233	0.139	2.171	2.7/8	3.1/8
234	0.139	2.234	3	3.1/4
235	0.139	2.296	3.1/8	3.3/8
236	0.139	2.359	3.1/4	3.1/2
237	0.139	2.421	3.3/8	3.5/8
238	0.139	2.484	3.1/2	3.3/4
239	0.139	2.546	3.5/8	3.7/8

(续)

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名义沟槽尺寸	
	断面 A (in)	内径 B (in)	槽 径 (in)	缸 径 (in)
240	0.139	3.784	3.3/4	4
241	0.139	3.859	3.7/8	4.1/8
242	0.139	3.924	4	4.1/4
243	0.139	4.100	4.1/8	4.3/8
244	0.139 ± 0.004	4.234 ± 0.015	4.1/4	4.1/2
245	0.139	4.359	4.3/8	4.5/8
246	0.139	4.484	4.1/2	4.3/4
247	0.139	4.609	4.3/8	4.7/8
248	0.139	4.734	1.3/4	5
249	0.139	4.859	4.7/8	5.1/8
250	0.139	4.984	5	5.1/4
251	0.139	5.109 ± 0.025	5.1/8	5.3/8
252	0.139	5.234	5.1/4	5.1/2
253	0.139	5.359	5.3/8	5.5/8
254	0.139	5.484	5.1/2	5.3/4
255	0.139	5.609	5.5/8	5.7/8
256	0.139	5.734	5.3/4	6
257	0.139	5.859	5.7/8	6.1/8
258	0.139	5.984	6	6.1/4
259	0.139	6.234	6.1/4	6.1/2
260	0.139	6.484	6.1/2	6.3/4
261	0.139	6.734	6.3/4	7
262	0.139	6.984	7	7.1/4
263	0.139	7.234 ± 0.030	7.1/4	7.1/2
264	0.139	7.484	7.1/2	7.3/4
265	0.139	7.734	7.3/4	8
266	0.139	7.984	8	8.1/4
267	0.139	8.234	8.1/4	8.1/2
268	0.139	8.484	8.1/2	8.3/4
269	0.139	8.734	8.3/4	9
270	0.139	8.984	9	9.1/4
271	0.139	9.234	9.1/4	9.1/2
272	0.139	9.484	9.1/2	9.3/4
273	0.139	9.734	9.3/4	10
274	0.139	9.984	10	10.1/4

名义断面 3/16in

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名义沟槽尺寸	
	断面 A (in)	内径 B (in)	槽 径 (in)	缸 径 (in)
325	0.210 ± 0.005	1.475 ± 0.010	1.1/2	1.7/8
326	0.210	1.600	1.5/8	2
327	0.210	1.725	1.3/4	2.1/8
328	0.210	1.850	1.7/8	2.1/4
329	0.210	1.975	2	2.3/8
330	0.210	2.100	2.1/8	2.1/2
331	0.210	2.225	2.1/4	2.5/8
332	0.210	2.350	2.3/8	2.3/4
333	0.210	2.475	2.1/2	2.7/8
334	0.210	2.600	2.5/8	3
335	0.210	2.725 ± 0.015	2.3/4	3.1/8
336	0.210	2.850	2.7/8	3.1/4
337	0.210	2.975	3	3.3/8
338	0.210	3.100	3.1/8	3.7/8
339	0.210	3.225	3.1/4	3.5/2

(续)

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断面 A (in)	内 径 B (in)	抽 径 (in)	配 径 (in)
340	0.210	2.350	3.3/8	3.3/4
341	0.210	2.475	3.1/2	3.7/8
342	0.210	2.500	3.5/8	4
343	0.210	2.725	3.3/4	4.1/8
344	0.210	3.850	3 7/8	4.1/4
345	0.210	3.975	4	4.3/8
346	0.210	4.100	4.1/8	4.1/2
347	0.210	4.225	4.1/4	4.5/8
348	0.210	4.350	4.3/8	4.3/4
349	0.210	4.475	4.1/2	4.7/8

名义断面 1/4 in

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断面 A (in)	内 径 B (in)	抽 径 (in)	配 径 (in)
425	0.275 ±0.006	4.475 ±0.015	4.1/2	5
426	0.275	4.500	4.5/8	5.1/8
427	0.275	4.725	4.3/4	5.1/4
428	0.275	4.850	4.1/2	5.3/8
429	0.275	4.975	5	5.1/2
430	0.275	5.100 +0.028	5.1/8	5.5/8
431	0.275	5.225	5.1/4	5.3/4
432	0.275	5.350	5.3/8	6.7/8
433	0.275	5.475	5.1/2	6
434	0.275	5.600	5.5/8	6 1/8
435	0.275	5.725	5.3/4	6 1/4
436	0.275	5.850	5.7/8	6.2/8
437	0.275	5.975	6	6.1/2
438	0.275	6.225	5.1/4	6.3/4
439	0.275	6.475	5.1/2	7
440	0.275	6.725	5.3/4	7.1/4
441	0.275	6.975	7	7.1/2
442	0.275	7.225 ±0.020	7.1/4	7.3/4
443	0.275	7.475	7.1/2	8
444	0.275	7.725	7.3/4	8.1/4
445	0.275	7.975	8	8.1/2
445A	0.275	8.225	8.1/4	8.3/4
446	0.275	8.475	8.1/2	9
446A	0.275 +0.006	8.725	8.3/4	9.1/4
447	0.275	8.975	9	9.1/2
447A	0.275	9.225	9.1/4	9.3/4
448	0.275	9.475	9.1/2	10
448A	0.275	9.725	9.3/4	10.1/4
449	0.275	9.975	10	10.1/2
449A	0.275	10.225 ±0.030	10.1/4	10.3/4
450	0.275	10.475	10.1/2	11
450A	0.275	10.725	10.3/4	11.1/4
451	0.275	10.975	11	11.1/2
451A	0.275	11.225	11.1/4	11.3/4
452	0.275	11.475	11.1/2	12
452A	0.275	11.725	11.3/4	12.1/4
453	0.275	11.975	12	12.1/2
454	0.275	12.475	12.1/2	13
455	0.275	12.975	13	13.1/2
456	0.275	13.475	13.1/2	14

(续)

O形密封圈规格号	实 际 直 径		名 义 沟 槽 尺 寸	
	断面 A (in)	内径 B (in)	轴 径 (in)	孔 径 (in)
457	0.275	13.975	14	14.1/2
458	0.275	14.475	14.1/2	15
459	0.275	14.975	15	15.1/2
460	0.275	15.475	15.1/2	16

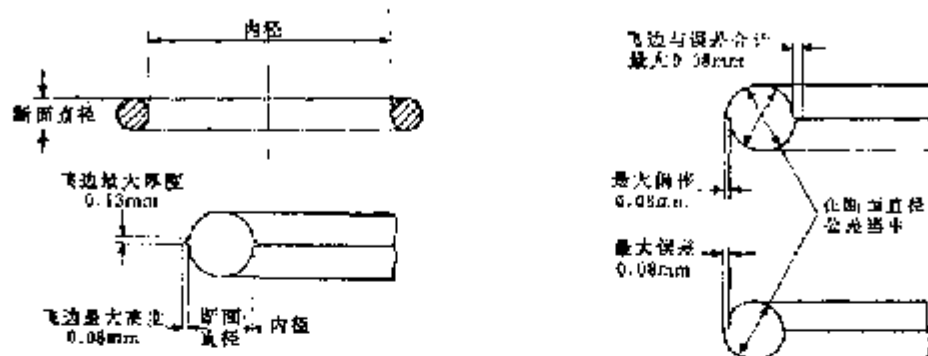
表1B 简明一览表: 英制O形圈标准规格

圆体字为英国标准 (BS1308:1982), 其他为美国标准A5568

断 面					断 面					断 面					
内径	1/16	3/32	1/8	3/16	内径	1/16	3/32	1/8	5/16	1/4	内径	3/32	1/8	3/16	1/4
1/32	001				13/16		119				107	262	365	441	
3/64	002				31/64	005	140	225	331		108	263	366	442	
1/16	003	102			25/16		141				109	264	367	443	
5/64	004				13/8	006	142	223	332		110	265	368	444	
3/32	005	103			27/16		145				8	171	268	369	445
1/8	006	104			21/2	007	144	230	333		8 1/8	172	267	370	445 A
5/32	007	105			29/16		145				8 1/2	172	268	371	446
3/16	008	106	201		25/8	008	146	231	334		8 3/4	174	269	372	446 A
7/32	009	107			31/8		147				9	175	270	373	447
1/4	010	108	202		25/4	009	148	232	335		3 1/4	176	271	374	447 A
5/16	011	109	203		215/16		149				9 1/2	177	272	375	448
3/8	012	110	204		27/4	010	150	233	336		9 3/4	178	273	376	448 A
7/16	013	111	205	309	3	041	151	234	337		10	274	377	449	
1/2	014	112	206	310	8 1/8		152	235	338		10 1/4			449 A	
9/16	015	113	207	311	3 1/2	042	153	236	339		10 1/2		378	450	
5/8	016	114	208	312	35/8		154	237	340		10 3/4			450 A	
11/16	017	115	209	313	3 1/2	043	155	238	341		11		379	451	
3/4	018	116	210	314	35/4		156	239	342		11 1/4			451 A	
13/16	019	117	211	315	35/4	044	157	240	343		11 1/2		380	452	
7/8	020	118	212		37/8		158	241	344		11 3/4			452 A	
16/16	021	119	213	317	4	045	159	242	345		12		381	453	
1	022	120	214	318	4 1/2		160	243	346		12 1/2			454	
1 1/16	023	121	215	319	4 1/4	046	161	244	347		13		382	455	
1 1/8	024	122	216	320	4 3/8		162	245	348		13 1/2			456	
1 1/4	025	123	217	321	4 1/2	047	163	246	349	425	14		383	457	
1 1/2	026	124	218	322	4 5/8		164	247	350	426	14 1/2			458	
1 5/8	027	125	219	323	4 3/4	048	165	248	351	427	15		384	459	
1 3/4	028	126	220	324	4 7/8		166	249	352	428	15 1/2			460	
1 7/8	029	127	221	325	5	049	167	250	353	429	16		385	461	
2	030	128	222	326	5 1/8		168	251	354	430	16 1/2			462	
2 1/16	031	129	223	327	5 1/4	050	169	252	355	431	17		386	463	
2 1/8	032	130	224	328	5 1/2		170	253	356	432	17 1/2			464	
2 1/4	033	131	225	329	5 3/8		171	254	357	433	18		387	465	
2 3/8	034	132	226	330	5 1/2		172	255	358	434	18 1/2			466	
2 1/2	035	133	227	331	5 3/4		173	256	359	435	19		388	467	
2 5/8	036	134	228	332	5 7/8		174	257	360	436	19 1/2			468	
2 3/4	037	135	229	333	6		175	258	361	437	20		389	469	
2 7/8	038	136	230	334	6 1/8		176	259	362	438	21		390	470	
3	039	137	231	335	6 1/4		177	260	363	439	22		391	471	
3 1/8	040	138	232	336	6 3/8		178	261	364	440	23		392	472	
											24			393	473
											25			394	474
											26			395	475

① 1/32断面; ② 3/64断面。

表 I 米制O形圈标准规格 (BS4518:1974)



所有尺寸单位均为 mm

O 形圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				名义沟槽尺寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	槽 宽	槽 深
0031-16	3.1	± 0.15	1.6	± 0.08	3.5	6
0041-16	4.1		1.6		4.5	7
0051-16	5.1		1.6		5.5	8
0061-16	6.1		1.6		6.5	9
0071-16	7.1		1.6		7.5	10
0081-16	8.1	± 0.2	1.6	± 0.08	8.5	11
0091-16	9.1		1.6		9.5	12
0101-16	10.1		1.6		10.5	13
0111-16	11.1		1.6		11.5	14
0121-16	12.1		1.6		12.5	15
0131-16	13.1	± 0.25	1.6	± 0.08	13.5	16
0141-16	14.1		1.6		14.5	17
0151-16	15.1		1.6		15.5	18
0161-16	16.1		1.6		16.5	19
0171-16	17.1		1.6		17.5	20
0181-16	18.1	± 0.3	1.6	± 0.08	18.5	21
0191-16	19.1		1.6		19.5	22
0201-16	20.1		1.6		20.5	23
0211-16	21.1		1.6		21.5	24
0221-16	22.1		1.6		22.5	25
0231-16	23.1	± 0.3	1.6	± 0.08	23.5	26
0241-16	24.1		1.6		24.5	27
0251-16	25.1		1.6		25.5	28
0261-16	26.1		1.6		26.5	29
0271-16	27.1		1.6		27.5	30
0281-16	28.1	± 0.3	1.6	± 0.08	28.5	31
0291-16	29.1		1.6		29.5	32
0301-16	30.1		1.6		30.5	33
0311-16	31.1		1.6		31.5	34
0321-16	32.1		1.6		32.5	35
0331-16	33.1	± 0.3	1.6	± 0.08	33.5	36
0341-16	34.1		1.6		34.5	37
0351-16	35.1	± 0.3	1.6	± 0.08	35.5	38
0361-16	36.1		1.6		36.5	39
0371-16	37.1		1.6		37.5	40

● 参考编号是由内径值数字和断面直径值数字略去小数点后组成的。

(续)

O 形圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				名 义 沟 槽 尺 寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轴 径	缸 径
0036—24①	3.6	± 0.15	2.4	± 0.02	4	6
0046—24①	4.6		2.4		5	9
0056—24①	5.6		2.4		6	10
0066—24①	6.6		2.4		7	11
0076—24①	7.6		2.4		8	12
0086—24①	8.6	± 0.2	2.4	± 0.03	9	13
0096—24①	9.6		2.4		10	14
0106—24①	10.6		2.4		11	15
0116—24①	11.6		2.4		12	16
0126—24①	12.6		2.4		13	17
0136—24①	13.6	± 0.25	2.4	± 0.03	14	18
0146—24①	14.6		2.4		15	19
0156—24①	15.6		2.4		16	20
0166—24①	16.6		2.4		17	21
0176—24①	17.6		2.4		18	22
0186—24	18.6	± 0.3	2.4	± 0.03	19	23
0196—24	19.6		2.4		20	24
0216—24	21.6		2.4		22	26
0246—24	24.6		2.4		25	29
0276—24	27.6		2.4		28	32
0296—24	29.6	± 0.4	2.4	± 0.03	30	34
0316—24	31.6		2.4		32	36
0346—24	34.6		2.4		35	39
0376—24	37.6		2.4		38	42
0396—24	39.6		2.4		40	44
0476—24	41.6	± 0.4	2.4	± 0.03	42	46
0446—24	44.6		2.4		45	49
0476—24	47.6		2.4		48	52
0496—24	49.6		2.4		50	54
0516—24	51.6		2.4		52	56
0546—24	54.6	± 0.5	2.4	± 0.03	55	59
0576—24	57.6		2.4		58	62
0596—24	59.6		2.4		60	64
0616—24	61.6		2.4		62	66
0646—24	64.6		2.4		65	69
0676—24	67.6	± 0.5	2.4	± 0.03	68	72
0696—24	69.6		2.4		70	74

注：对动密封建议仅采用标有①的O形圈。

所有尺寸单位均为mm

O 形圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				名 义 沟 槽 尺 寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轴 径	缸 径
0195—30①	19.5	± 0.25	3.0	± 0.1	20	25
0215—30①	21.5		3.0		22	27
0225—30①	22.5		3.0		23	28
0245—30①	24.5		3.0		25	30
0255—30①	25.5		3.0		26	31
0255—30①	26.5	± 0.3	3.0	± 0.1	27	32
0275—30①	27.5		3.0		28	33
0295—30①	29.5		3.0		30	35
0315—30①	31.5		3.0		32	37
0325—30①	32.5		3.0		33	38

(续)

O 形圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				密封沟槽尺寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轴 径	孔 径
0345—30①	34.5		3.0		25	40
0355—30①	35.5		3.0		26	41
0365—30①	36.5		3.0		27	42
0375—30①	37.5		3.0		28	43
0385—30①	38.5		3.0		40	45
0415—30①	41.5		3.0		42	47
0425—30①	42.5		3.0		43	48
0445—30①	44.5		3.0		45	50
0485—30	48.5		3.0		50	55
0545—30	54.5	± 0.4	3.0	± 0.1	55	60
0685—30	68.5		3.0		60	65
0645—30	64.5		3.0		65	70
0695—30	69.5		3.0		70	75
0745—30	74.5		3.0		75	80
0795—30	79.5		3.0		80	85
0845—30	84.5	± 0.5	3.0	± 0.1	85	90
0895—30	89.5		3.0		90	95
0945—30	94.5		3.0		95	100
0995—30	99.5		3.0		100	105
1045—30	104.5		3.0		105	110
1095—30	109.5		3.0		110	115
1145—30	114.5		3.0		115	120
1195—30	119.5		3.0		120	125
1245—30	124.5	± 0.6	3.0	± 0.1	125	130
1295—30	129.5		3.0		130	135
1345—30	134.5		3.0		135	140
1395—30	139.5		3.0		140	145
1445—30	144.5		3.0		145	150
1495—30	149.5		3.0		150	155
1545—30	154.5		3.0		155	160
1595—30	159.5		3.0		160	165
1645—30	164.5		3.0		165	170
1695—30	169.5		3.0		170	175
1745—30	174.5		3.0		175	180
1795—30	179.5		3.0		180	185
1845—30	184.5	± 0.8	3.0	± 0.10	185	190
1895—30	189.5		3.0		190	195
1945—30	194.5		3.0		195	200
1995—30	199.5		3.0		200	205
2045—30	204.5		3.0		205	210
2195—30	219.5		3.0		220	225
2245—30	224.5		3.0		225	230
2295—30	229.5		3.0		230	235
2345—30	234.5		3.0		235	240
2395—30	239.5		3.0		240	245
2445—30	244.5		3.0		245	250

注：对动密封建议仅采用标有①的O形圈。

(续)

O 形 圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				名义沟槽尺寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轮 径	缸 径
0294—41①	29.4	± 0.3	4.1	± 0.12	30	37
0314—41①	31.4		4.1		32	39
0324—41①	32.4		4.1		33	40
0344—41①	34.4		4.1		35	42
0354—41①	35.4		4.1		36	43
0364—41①	36.4		4.1		37	44
0374—41①	37.4		4.1		38	45
0384—41①	38.4		4.1		39	46
0414—41①	41.4		4.1		42	49
0424—41①	42.4		4.1		43	50
0444—41①	44.4		4.1		45	52
0454—41①	45.4		4.1		46	53
0484—41①	48.4		4.1		50	57
0524—41①	52.4	± 0.4	4.1	± 0.12	53	60
0544—41①	54.4		4.1		55	62
0554—41①	55.4		4.1		56	63
0564—41①	56.4		4.1		57	64
0584—41①	58.4		4.1		59	66
0624—41①	62.4		4.1		63	70
0634—41①	63.4		4.1		64	71
0684—41①	68.4		4.1		70	77
0724—41①	72.4		4.1		73	80
0744—41①	74.4		4.1		75	82
0794—41①	79.4		4.1		80	87
0844—41①	84.4	± 0.5	4.1	± 0.12	85	92
0894—41①	89.4		4.1		90	97
0924—41①	92.4		4.1		95	100
0934—41①	93.4		4.1		96	102
0994—41①	99.4		4.1		100	107
1014—41	101.4		4.1		105	112
1094—41	109.4		4.1		110	117
1144—41	114.4		4.1		116	122
1174—41	117.4		4.1		118	125
1194—41	119.4		4.1		120	127
1244—41	124.4	± 0.6	4.1	± 0.12	125	132
1294—41	129.4		4.1		130	137
1344—41	134.4		4.1		135	142
1394—41	139.4		4.1		140	147
1414—41	141.4		4.1		145	152
1494—41	149.4		4.1		150	157
1524—41	152.4		4.1		155	160
1544—41	154.4		4.1		158	162
1594—41	159.4		4.1		160	167
1644—41	164.4		4.1		165	172
1694—41	169.4		4.1		170	177
1744—41	174.4		4.1		175	182
1784—41	178.4		4.1		180	187
1844—41	184.4	± 0.8	4.1	± 0.12	185	192
1894—41	189.4		4.1		190	197
1924—41	192.4		4.1		195	200
1944—41	194.4		4.1		195	202
1994—41	199.4		4.1		200	207
2094—41	209.4		4.1		210	217
2134—41	213.4		4.1		215	220
2194—41	219.4		4.1		220	227
2294—41	229.4		4.1		230	237
2394—41	239.4		4.1		240	247
2424—41	242.4		4.1		245	250
2494—41	249.4		4.1		250	257
2594—41	259.4	± 1.0	4.1	± 0.12	260	267
2694—41	269.4		4.1		270	277
2724—41	272.4		4.1		275	280
2784—41	278.4		4.1		280	287
2894—41	289.4		4.1		290	297
2994—41	299.4		4.1		300	307

注：对动密封建议仅采用标有①的O形圈。

(续)

O形圈 参 考 号	O形圈 尺 寸				名义沟槽尺寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轴 径	缸 径
0443-57①	44.3	± 0.3	5.7	± 0.12	45	55
0453-57①	45.3		5.7		46	56
0463-57①	46.3		5.7		46	56
0523-57①	52.3		5.7		53	63
0543-57①	54.3	± 0.4	5.7	± 0.12	55	65
0553-57①	55.3		5.7		56	66
0593-57①	59.3		5.7		60	70
0623-57①	62.3		5.7		63	73
0643-57①	64.3	± 0.5	5.7	± 0.12	65	75
0663-57①	66.3		5.7		70	80
0713-57①	71.3		5.7		75	85
0733-57①	73.3		5.7		80	90
0843-57①	84.3	± 0.6	5.7	± 0.12	85	95
0893-57①	89.3		5.7		90	100
0943-57①	94.3		5.7		95	105
0993-57①	99.3		5.7		100	110
1043-57①	104.3	± 0.6	5.7	± 0.12	105	115
1093-57①	109.3		5.7		110	120
1143-57①	114.3		5.7		115	125
1193-57①	119.3		5.7		120	130
1243-57①	124.3	± 0.6	5.7	± 0.12	125	135
1293-57①	129.3		5.7		130	140
1343-57①	134.3		5.7		135	145
1393-57①	139.3		5.7		140	150
1443-57①	144.3	± 0.8	5.7	± 0.12	145	155
1493-57	149.3		5.7		150	160
1543-57	154.3		5.7		155	165
1593-57	159.3		5.7		160	170
1643-57	164.3	± 0.8	5.7	± 0.12	165	175
1693-57	169.3		5.7		170	180
1743-57	174.3		5.7		175	185
1793-57	179.3		5.7		180	190
1843-57	184.3	± 0.8	5.7	± 0.12	185	195
1893-57	189.3		5.7		190	200
1943-57	194.3		5.7		195	205
1993-57	199.3		5.7		200	210
2043-57	204.3	± 1.0	5.7	± 0.12	210	220
2093-57	209.3		5.7		220	230
2143-57	214.3		5.7		230	240
2193-57	219.3		5.7		240	250
2243-57	224.3	± 1.0	5.7	± 0.12	250	260
2293-57	229.3		5.7		260	270
2343-57	234.3		5.7		270	280
2393-57	239.3		5.7		280	290
2443-57	244.3	± 1.5	5.7	± 0.12	290	300
2493-57	249.3		5.7		300	310
2543-57	254.3		5.7		310	320
2593-57	259.3		5.7		320	330
2643-57	264.3	± 1.5	5.7	± 0.12	330	340
2693-57	269.3		5.7		340	350
2743-57	274.3		5.7		350	360
2793-57	279.3		5.7		360	370
2843-57	284.3	± 2.0	5.7	± 0.12	370	380
2893-57	289.3		5.7		380	390
2943-57	294.3		5.7		390	400
2993-57	299.3		5.7		400	410
3043-57	304.3	± 2.0	5.7	± 0.12	410	420
3093-57	309.3		5.7		420	430
3143-57	314.3		5.7		430	440
3193-57	319.3		5.7		440	450
3243-57	324.3	± 2.0	5.7	± 0.12	450	460
3293-57	329.3		5.7		460	470
3343-57	334.3		5.7		470	480
3393-57	339.3		5.7		480	490
3443-57	344.3	± 2.0	5.7	± 0.12	490	500
3493-57	349.3		5.7		500	510

注：对密封系统仅采用标有①的O形圈。

(续)

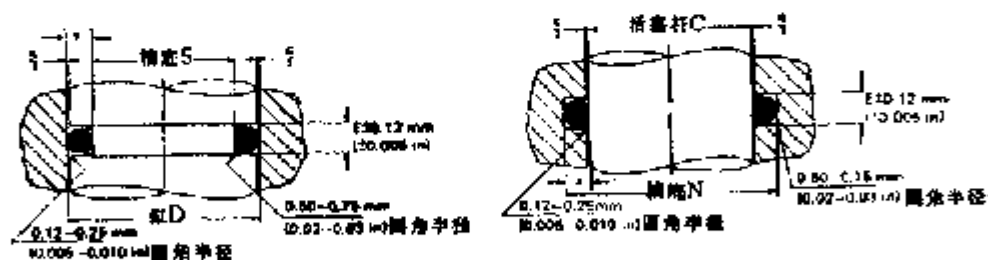
O 形 圈 参 考 号	O 形 圈 尺 寸				名义沟槽尺寸	
	内 径	内径公差	断面直径	断面直径公差	轴 径	缸 径
1241—84①	144.1	± 0.6	8.4	± 0.16	145	150
1451—84①	149.1		8.4		150	155
1641—84①	154.1		8.4		155	170
1591—84①	159.1		8.4		160	175
1641—84①	164.1		8.4		165	180
1691—84①	169.1	± 0.8	8.4	± 0.15	170	185
1741—84①	174.1		8.4		175	190
1791—84①	179.1		8.4		180	195
1841—84①	184.1		8.4		185	200
1891—84①	189.1		8.4		190	205
1941—84①	194.1	± 0.15	8.4	± 0.15	195	210
1991—84①	199.1		8.4		200	215
2041—84①	204.1		8.4		205	220
2091—84①	209.1		8.4		210	225
2191—84①	219.1		8.4		220	235
2291—84①	229.1	± 0.15	8.4	± 0.15	230	245
2341—84①	234.1		8.4		235	250
2391—84①	239.1		8.4		240	255
2491—84①	249.1		8.4		250	265

注：对密封建议仅采用标有①的 O 形圈。

归根结底，沟槽深度是个重要的因素，因为这一尺寸控制着对获得满意的密封性有重要影响的压缩或挤压，同时也牵制着对 O 形圈额定压力有影响的间隙。

标准的 O 形圈被设计成装入具有名义深度的沟槽，这就可能解决在决定沟槽直径方向上的适当加工公差的同时，仍保留足够的挤压问题。表 II 中列出了一些具体的建议。

表 II 径向密封时的 O 形圈沟槽尺寸



活塞上的沟槽

缸壁上的沟槽

O 形圈断面直径 (in)	符 号 尺 寸		O 形圈断面的最小压缩量 (in)
	最 大 (in)	最 小 (in)	
0.070	0.062	0.060	0.006
0.103	0.094	0.091	0.008
0.138	0.125	0.122	0.010
0.216	0.188	0.184	0.017
0.295	0.250	0.245	0.019

为得到一个不过 O 形圈标准规定的尺寸 G 的径向间隙。对 C 或 D 和配合沟槽直径须加上一个适当的尺寸极限。

表面光洁度

沟槽的光洁度对密封的磨损和寿命有影响,因而是很重要的因素,不过要求并不很高。建议要有 $0.75\mu\text{m}$ ($37\mu\text{in}$) 以上的光洁度。超精光洁度是不必要的,但要清除掉明显的毛刺、划痕和加工痕迹。

在动密封应用场合, O形圈在其上摩擦的表面(例如活塞杆或缸孔)必须有高等级的光洁度,最好高于 $0.4\mu\text{m}$ ($16\mu\text{in}$) R_a 。表面也要除去轴向划痕或加工痕迹以及刀具颤纹。周向痕迹可以允许存在。但在动密封应用场合,为使 O形圈具有最高的寿命,建议表面抛光或镀硬铬层。

在静密封应用场合,允许有低得多的表面光洁度等级(例如 $0.75\sim 1.25\mu\text{m}$ ($30\sim 50\mu\text{in}$) R_a),不过在高压工作时,光洁度较高还是所希望的。O形圈用作静密封的优点之一就是,从有效这一点来说, O形圈比一个垫片需要低得多的表面光洁度,因而也便宜。

与 O形圈相接触的材料对 O形圈的寿命也有影响。一般说来,像铝、黄铜和青铜这样一些软金属,虽然在低压装配中是适用的,但应避免将其用于动密封场合。不锈钢和蒙乃尔合金是另外两种通常最好避免在 O形圈动密封应用中采用的材料,不过也有一些例外。

○形圈和其他类型密封的特性比较

密封类型	○形圈	矩形圈	耐缺嘴式	U形圈	复合密封	
						
	6	11	9	60°~70° (一般)	20°~30° (一般)	10°~15° (一般)
压 缩 力	高	高	高	低	中高	中高
恢复密封能力	高	高	中	低	高	高
密封线宽度	窄	宽	很宽	变化	很窄	很窄

O形圈材料

绝大部分 O形圈都是用各种等级和硬度(如 $40^\circ\sim 90^\circ$)的橡胶制作的。一种典型的通用材料是硬度大约为 75° 的硬/中质橡胶。橡胶有良好的耐热性,可达 $100\sim 120^\circ\text{C}$,对矿物油和脂类有很好的耐受力,同时有较宽的工作液体(包括水和乙二醇)适用范围。针对一些特殊的应用,还研究了橡胶特种等级。

在某些应用场合,橡胶在性能方面表现出局限性或者与某些工作液之间缺乏相容性,可采用各种其他材料,参见表 IV、IVA、IVB、IVC 和 IVD,这类材料也包括具有最强的化学耐受力的实心聚四氟乙烯密封圈。

应该记住的一点是,在以像制作橡胶圈一样的模具制造非标准材料的 O形圈时,在尺寸公差方面可能产生一些变化,因为模具收缩量有所不同。然而,当这类密封圈装入标准沟槽中时,由于所有的 O形圈在装配状态都稍有变形,所以超出标准公差范围以外的这种变化,一般说影响并不大,因此,对这类密封圈的使用效果也无大妨碍。

实心聚四氟乙烯圈是个例外。这种密封圈虽然能装在标准沟槽内,但将其装在一个

圆形沟槽中时, 则更为有效, 见图 7。

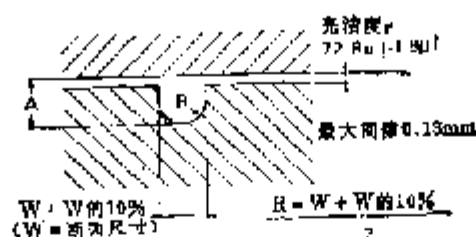


图 7 聚四氟乙烯 O 形圈的沟槽尺寸

$A = W$ 的 10~20% (用于 1.78~5.33mm 的断面)。

$A = W$ 的 10~15% (用于 5.33~7mm 的断面)。

表 IV 符合瑞典标准 SMS1587 的 O 形圈材料

性 能	类 别	试 验	试 样	备 注
硬 度	70 ± 3°RH (国际橡胶硬度)	按照 SIS 16 22 01 精密试验	O 形圈	试验时, 试样应在断面半径方向加压
抗拉强度	最小 14 N/mm ²	SIS 16 22 03	2 mm 厚板	
延 伸 率	300%, 最小			
在 373 K (100°C) 下压缩永久变形 断面 1.6 断面 2.4, 3 断面 5, 8, 12	最大 30% 最大 25% 最大 20%	SIS 16 22 04	O 形圈	试样尺寸应加以选择, 以便试样有 22~28% 的压缩量
空气中老化后硬度的增加 373 K (100°C), 72 小时 398 K (125°C), 72 小时	最大 8°RH (国际橡胶硬度) 最大 10°RH (国际橡胶硬度)	SIS 16 22 05	O 形圈	
空气中老化后抗拉强度的减少 373 K (100°C), 72 小时 398 K (125°C), 72 小时	最大 15% 最大 20%	SIS 16 22 06	2 mm 厚板	
空气中老化后延伸率的减少 373 K (100°C), 72 小时 398 K (125°C), 72 小时	最大 25% 最大 35%			
在 296 K (23°C) 时试验液体中经 71 小时后体积的变化	+30% 0%	SIS 16 22 08	O 形圈, 最小重量 0.35	
在 296 K (23°C) 时试验液体中, 经 71 小时后体积的变化	+30% 0%	SIS 16 22 09	O 形圈, 最小重量 0.38	
在 373 K (100°C) 的 1 号油中, 经 71 小时后体积的变化	+10% -5%	SIS 16 22 10	O 形圈, 最小重量 0.35	1 号油, 苯胺点 330.9 ± 1 K (125.9°C)
在 373 K (100°C) 的 3 号油中经 71 小时后体积的变化	+10% 0%	SIS 16 22 11	O 形圈, 最小重量 0.35	3 号油, 苯胺点 342.6 ± 1 K (169.6°C)

(续)

性 能	要 求	试 验	试 样	备 注
在 373K (100°C) 的 1 号砧 中经 71 小时后硬度的变化	+10%IRH - 5%IRH	SIS 16 22 06	O 形圈	
在 373K (100°C) 的 3 号 砧中经 71 小时后硬度的变化	+ 5%IRH -10%IRH			
对金属的影响 (腐蚀) (钢 SIS13 11-00)	无	SIS 16 22 13	O 形圈	
温度收缩 TR10 TR80	最大 243K (-30°C) 最大 248K (-25°C)	SIS 16 22 21	2 mm 厚板	

表 NA O形圈橡胶一般性能比较

橡 胶	机械性能		化 学 抗 力 ^①				在空气中老化的 使用温度	
	耐磨性	抗拉强度 MPa	耐氧化性 和臭氧能力	耐热水、 蒸汽和酸 碱的能力	耐强酸和 氧化性酸 的能力	耐溶剂、 机油能力	一周	一年
丁基橡胶	F—G	10~18	G	E	G	P	160°C	80°C
氯丁橡胶	G	10~25	G	E	F—G	F—G	150°C	70°C
乙丙橡胶	G	7~18	E	E	G	P	160°C	90°C
氟橡胶	G	15~20	E	E	G	R	250°C	75°C
天然橡胶	G	15~30	F	E	F	P	100°C	50°C
腈橡胶	G	10~25	F—G	G	F—G	G	150°C	70°C
硅橡胶	P	4~10	E	F	P	F—G	300°C	200°C
氟氯硅橡胶	E	20~50	E	P	P	G		

表中，P—差，F—可，G—良，E—优。

① 参见表 C。

表 NB O形圈材料使用简表

材 料	工作温度范围 (°C)	备 注
腈橡胶	-40到+100	适用于大多数应用场合
丙烯酸酯橡胶	-10到+150	比腈橡胶耐热性好或者相似
丁基橡胶	-35到+100	对合成液体有耐受能力
异戊烯橡胶	-30到+90	有较高的抗磨损磨能力
乙丙橡胶	-55到+150	对合成液体有耐受能力 (不耐矿物油)
氟橡胶	-40到+300	有很好的耐蚀性和大多数工作液体的耐受能力
硅橡胶	-40到+230	用于高温场合 (仅用于静密封)
氯丁橡胶	-40到+100	对低盐、低氧和酸有良好的耐受能力

表 VC O形圈材料选择简要指南

	天然橡胶	丁苯橡胶	丁腈橡胶	乙丙橡胶	丁基橡胶	氯丁橡胶	聚异戊二烯橡胶	聚硫橡胶	硅橡胶	氟硅橡胶	聚四氟乙烯	聚四氟乙烯橡胶
美国材料试验学会 (ASTM) 代号	NR	SBR	NBR	EP	IBR	CR	AU EU		SI	FSI	FPM	ACM
硬度 (°)	30~30	40~30	40~35	40~20	30~30	20~30	30~30	50~30	50~30	10~30	50~30	50~30
抗拉强度 lb/in ²	3000	3000	2500	2500	2000	3000	3000	1000	1400	900	3000	2000
撕裂强度	E	VG	G	G	VG	VG	E	R	N	N	G	G
耐磨性	R	E	G	G	G	G	VG	R	N	N	G	VG
耐水、油性液体能力	N	N	N	VG	VG	R	N	R	G	VG	RN	N
耐润滑油能力	N	N	G	N	N	G	VG	E	G	E	E	VG
耐液压油能力	N	N	G	N	N	R	VG	E	R	E	E	VG
耐液压油能力	N	N	E	N	N	C	VG	E	G	E	E	U
耐植物油能力	N	R	R	R	E	G	VG	R	G	E	E	U
耐动物油能力	N	R	R	R	E	G	VG	R	C	E	E	U
耐(普通)汽油能力	N	N	VG	N	N	R	VG	E	R	R	R	VG
耐(高辛烷值)汽油能力	N	N	G	N	N	N	VG	E	N	R	E	G
耐柴油能力	N	N	VG	N	N	R	VG	E	R	E	E	VG
耐芳香烃能力	N	N	R	N	N	N	G	E	N	E	R	R
耐盐溶液能力	N	N	VG	N	N	G	VG	E	R	E	E	VG
耐水性 (80°C F)	G	VG	VG	E	E	R	R-N	R	E	E	E	N
耐水性 (80°C C)	N	R	R	E	G	N	N	N	E	VG	G	N
耐油性	G	G	VG	E	E	E	R	R	E	E	E	N
耐酸性	N	N	N	G	VG	N	N	VG	G	N	N	N
耐碱性	N	N	N	R	G	N	N	N	R	G	VG	N
耐氧化性	R	R	R	G	E	C	N	R	G	VG	E	N
耐氧化降解性	G	G	R	VG	E	C	N	N	G	R	G	N
耐氧化降解性	N	N	R	N	N	N	R	VG	N	E	E	R
耐氧化和臭氧能力	R	R	R	E	E	VG	VG	VG	E	E	E	VG
连续使用最高温度	70°C	105°C	105°C	135°C	120°C	105°C	70°C	55°C	230°C	205°C	230°C	175°C
电性能	E	VG	N	E	E	VG	G	R	E	E	E	N
抗压缩永久变形能力	VG	VG	VG	G	G	VG	N	A	F	VG	R	G
着火性	No	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No	Yes	No

注: R = 好, VG = 很好, G = 好, N = 不好, U = 不合适。

表 ND O形圈橡胶标准

标准规范	范	同
MIL/P-5518	橡胶胶	
ASTM D 200	产品命名体系, 包括所有的橡胶、硬皮等	
SAE J 300		
BS 745	气量计中间接头和终端接头用橡胶件	
BS 1010	各种潜水龙头用O形圈	
BS 2334 Part 2	橡胶连接棒圈	
BS 2751	通用腈类橡胶	
BS 2752	通用氯丁橡胶等橡胶	
BS 3332	低压潜水永久密封橡胶	
BS 3515	通用丁基橡胶等橡胶	
BS3526Part 2	罐式汽缸室用O形圈	

标准规范	用 途
DTD 550	航空燃料用金属导线
DTD 518	硅橡胶导线
DTD 5509	机油、脂肪和润滑油用橡胶膜
DTD5514A	飞行舱用聚四氟乙烯
DTD 5521	通用硅橡胶
DTD5543A	氟橡胶
DTD 5502	硅橡胶类 (密封胶)
DTD 5503	氟硅橡胶类
DTD 5594	矿物油用硅橡胶类
DTD 5595	合成油用硅用橡胶类
DTD 5596	通用乙丙橡胶
DTD 5597	耐液体乙丙橡胶
DTD 5593	氟橡胶 O 形圈
DTD 5505	硅橡胶 O 形圈
DTD 5506	硅橡胶 O 形圈
DTD 5507	硅橡胶 O 形圈 耐矿物油
DTD 5508	乙丙橡胶 O 形圈

O 形圈的膨胀

O 形圈材料和与其接触的流体之间的相容性是影响选择的重要因素, 但更为重要的一点是, 即使 O 形圈的材料被认为是相容的, 当其浸在液体中时仍会发生体积的变化, 这可能影响有效压缩量。

图 8 标绘出自由状态 O 形圈和在典型装配中, 处于受约束状态的 O 形圈的体积变化与断面线性变化的关系。知道了体积变化 (可根据提供的相容性试验数据得知), 就能

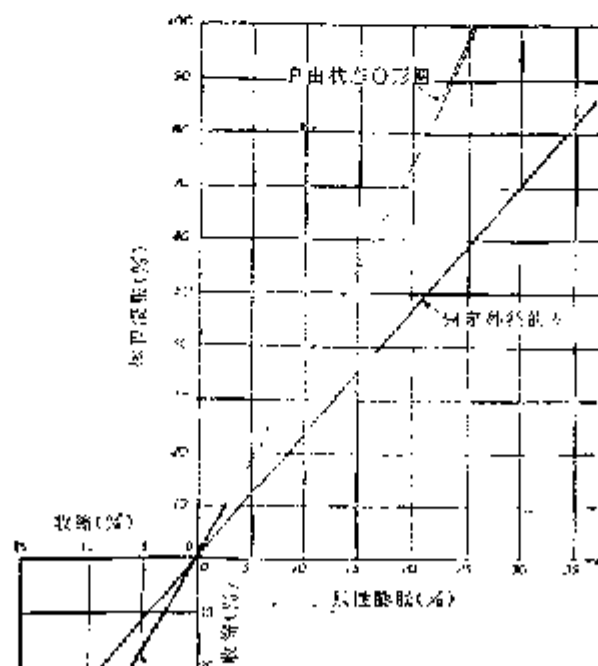


图 8

确定断面（直径）的变化。这种变化总是比体积变化小，而且在体积比较小时，正常相容性可接受的变化常常可以完全忽略不计。

润滑

润滑是又一个具有一定意义的因素。在许多动密封场合，O形圈是由与其相接触的液体来润滑的，同时也可以用最初帮助装配用的同样液体来润滑。在有关工作液缺少润滑性的另一些场合，对O形圈加一定的润滑是必要的，因为干密封件上的磨损严重。在最初装配时，也有同样的情况。在装配之前与密封件接触的所有金属零件以及O形圈本身均应施以润滑。这对静密封和动密封都适用。

在一般应用中，用高熔点油脂涂抹。形圈和沟槽，就可以达到润滑的效果了。对于特殊应用来说，要选择一种与有关的系统和工作条件相适应的润滑剂。表V中汇总了这方面的典型建议。

表V O形圈润滑剂

O形圈材料	使用场合	润滑剂
脂橡胶	燃油、油或液压系统、气动装置、 通孔高压、高压气动装置	系统工作液体或油脂
硅橡胶	真空系统	硅油、蓖麻油或纤维油膏
氟橡胶	低温密封装置 高温气动装置	纤维油脂 系统液体 硅油油脂

O形圈静密封

O形圈因其易于获得，尺寸和材料范围宽，成本低，装配容易，并且有良好的密封性能，所以在静密封应用中最为普遍。

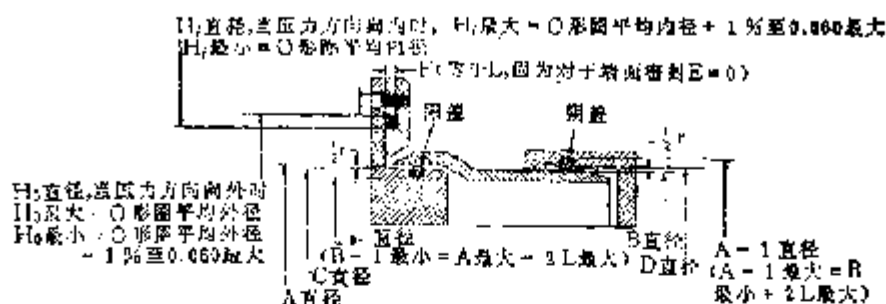
一般来说，当密封压力达100bar（1501bf/in²）时，O形圈可用于表VI所列的标准沟槽尺寸，同时能根据O形圈断面尺寸的不同，形成15~30%的有效压缩量。然而，如果有振动或压力波动存在，则应该减小间隙，或者在组装件中包含挡圈。当密封压力超过100bar时，则加大压缩量或加设挡圈是很重要的。

至少从理论上说，一个O形圈静密封的额定压力将随着间隙减小而提高。假如配合表面相当光滑，并且能被紧配到名义上金属对金属接触，则能以这种方式密封极高的压力。在不能达到紧密配合的场合，或者存在着表面漏气的可能性时，可借助挡圈来密封高压。

当密封空气或气体时，应调查所采用的橡胶的透气性。这一点对于真空系统的O形圈密封件来说是特别重要的。在这种场合，为了适应橡胶收缩和在很低压力下密封时，一些橡胶的反弹性，可能需要特殊的沟槽结构。一般要使O形圈断面填满沟槽断面，不让密封件发生移动，这种移动可能导致不希望发生的装填动作泵吸损失。

以O形圈（和其他一些实心断面橡胶密封件）用作静密封件时，要记住这样一点，即橡胶是不可压缩的，就是说它们虽有弹性变形，但其体积却保持不变。因此，如果沟槽体积小于O形圈的体积，则任何夹紧压力也无法使连接完全密合，仅能把多出的橡胶体积挤出到连接面之间。

表 VI O形圈静密封件沟槽尺寸



W 断面	L	E 总值		E 值	G 沟槽宽度			R	偏心率最大 TIR
		实际	%		无挡肩	一个挡肩	两个挡肩		
1/16	0.070 ±0.003	0.050 到 0.053	0.015 到 0.023	22 到 22	0.003 到 0.005	0.003 到 0.008	0.138 到 0.143	0.005 到 0.015	0.002
3/32	0.100 ±0.003	0.081 到 0.083	0.019 到 0.025	17 到 24	0.003 到 0.005	0.110 到 0.145	0.171 到 0.176	0.005 到 0.015	0.002
1/8	0.139 ±0.004	0.111 到 0.113	0.022 到 0.032	15 到 23	0.003 到 0.006	0.189 到 0.193	0.208 到 0.213	0.010 到 0.025	0.003
3/16	0.210 ±0.005	0.170 到 0.173	0.032 到 0.043	15 到 21	0.003 到 0.006	0.281 到 0.285	0.341 到 0.345	0.030 到 0.035	0.004
1/4	0.275 ±0.006	0.226 到 0.229	0.049 到 0.065	15 到 20	0.004 到 0.007	0.373 到 0.380	0.438 到 0.443	0.050 到 0.055	0.005

① 当采用硅橡胶 O 形圈时, 该尺寸值可减小 50%。

② 该值与相邻轴或孔间的总公差按表, 表中全部尺寸单位均为 in。

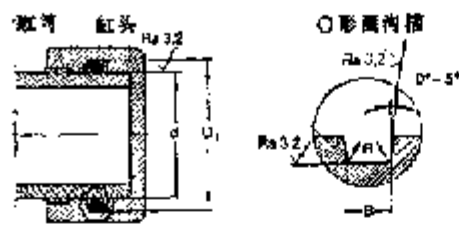
如果 O 形圈静密封件 (或者大多数其他实心橡胶断面) 的压缩量不超过 20%, 则当连接损坏, 然后重新制作时, O 形圈将是可回用的。在静密封中可以采用较大的夹紧压力 (O 形圈压缩量也较大)。此种情况下的 O 形圈不能回用。

用于法兰等的普通垫片型密封件, 不存在任何特殊问题。沟槽无论开在哪一个零件上都可以, 利用紧固螺栓产生必要的挤压作用, 同时沿着密封圈周边均匀挤压。端盖和管接头可以用类似的方式密封, 或者把 O 形圈装在阴件或阳件沟槽中, 以便在两个零件装配时沿径向产生挤压作用 (图 9)。

如果压力是从内侧施加的, 沟槽总直径基本上应该做得与密封圈总直径相等, 因为这样就消除了密封圈受压时的移动, 同时防止了磨粒磨蚀甚至泵吸作用的形成。如果现实的话, 利用系统压力封闭间隙也是一种巧妙的设计。

在需要静密封的场合, 大多数非标准 O 形圈都可用挤压条材制作, 可以买到的这类条材, 通常具有与标准的英制和米制 O 形圈相同的渐而直径。

某些类型的静密封, 如阀座密封, 需要一种变形沟槽, 以防止被吹出。这种现象在压力较低时, 就可能出现在这样的部位, 即在一定条件下或处于一定的装配位置上, 实



公 差

名义直径 (mm)		d ₁		D ₂
太平	到并包括	缸筒	缸头	缸头沟槽
(3)	120	h 8	h 9	h 11
(120)		h 7	h 8	

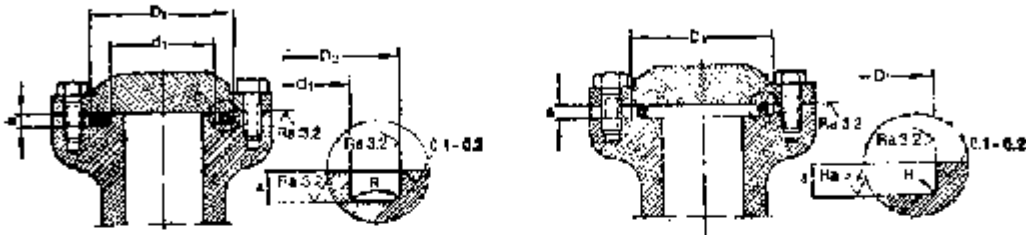


图 9 O形圈静密封-尺寸标准和公差

际压力是径向朝外的，从而将密封圈从普通沟槽中顶起（图 10）。另一种可能的原因是透过 O 形圈的气体使其在释压时瞬间膨胀或隆起，从而爆出沟槽。在这种情况下，最简单的解决办法是采用一种能机械地限制 O 形圈沿径向朝外运动的沟槽形状。再一种可供选用的办法是把沟槽通大气，以便在非如此即会引起吹出的条件下总有一个负压差加到 O 形圈的内径上去。

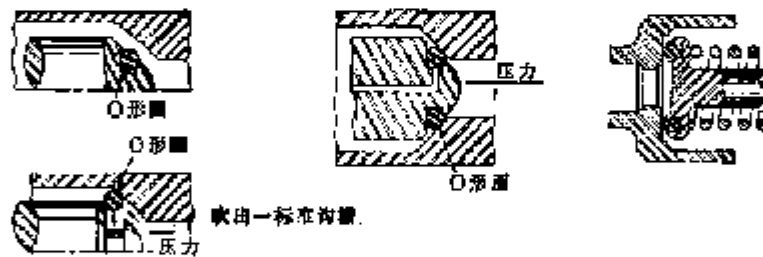
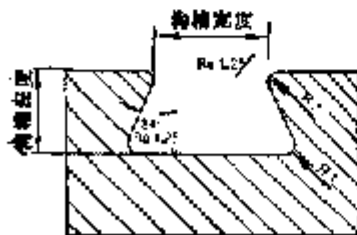


图 10

梯形沟槽也可以用来容纳一个有轴向压缩的 O 形圈。在此种情况下，建议采用表 IV 中所列出的沟槽尺寸。

表 IV 梯形沟槽尺寸数据值
凹槽尺寸

图 径 (mm)	沟槽深度 ~ 0.05	R ₁	R ₂	沟槽宽度 0 ~ 0.05
3.53	2.30	0.30	0.25	3.05
5.00	4.15	0.20	0.25	4.10
5.34	4.40	0.30	0.25	4.35
5.70	4.60	0.30	0.40	4.75
6.89	5.85	0.15	0.40	5.65
8.00	6.85	0.15	0.50	6.60
8.40	7.25	0.15	0.50	6.80
8.80	7.60	0.15	0.50	7.25
10.00	8.70	0.15	0.50	7.95



挤压密封

静密封的另一种可能办法是取消沟槽，将O形圈放在靠着法兰或合肩并合在配合件的斜边，如图11所示。这种方法通常称为挤压密封或斜面密封。

配合件的锥端直径应稍小于(约10%)所选O形圈的内径，此时，45°的锥面一般就能给出足够的填充体积。如果愿意，可以算出所需的填充体积，它估计为O形圈体积的0.9倍。O形圈一旦用作挤压密封，就呈永久变形状态。

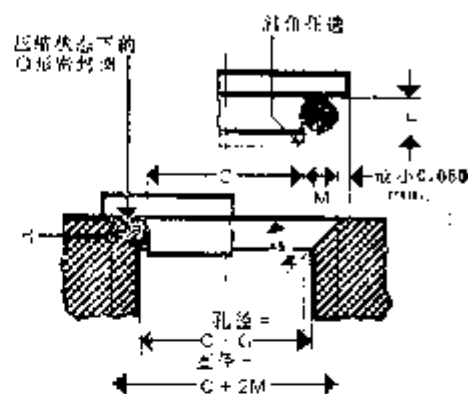


图 11

座密封

O形圈的另一种静密封用途是座密封，其中，O形圈在与另一个零件密合的一个零件表面上充作垫圈。密封作用是通过压紧力使O形圈变形，从而在表面上造成一种密封效果而形成的。变形程度受O形圈材料的硬度和压紧力的控制。

同样形式的O形圈装配，可用于吸收冲击而不用作密封，或者兼有座密封和吸震两种功用。装配是简捷而妥当的，但是沟槽或座圈的结构是O形圈必须被包封在里面不能掉出来，同时仍允许断面有足够的伸出部份，以提供为密封和吸震所必需的变形和面接触。

散热器密封

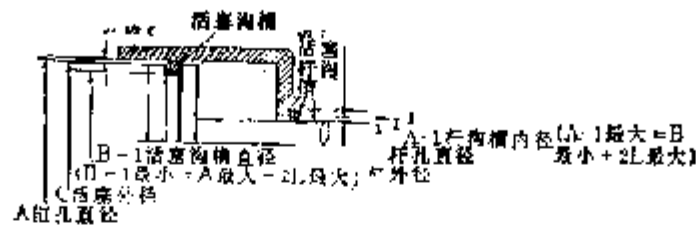
O形圈在螺旋孔、混合阀、偏流检查阀、散热器阀等的密封中，已经代替了传统形式的垫圈。然而，为了使浸胀和硬度变化能在整个使用期中减至最小，尚希望用特殊的橡胶牌号。由热水引起的浸胀与由液压引起的浸胀不同，前者是一种经久持续发生的过程，后者在大约70~100小时后，即达到最大值。对热水和蒸汽优选的橡胶是乙丙橡胶，此种橡胶抗老化性能好，浸胀小。

O形圈动密封

O形圈作为密封件在诸如液压缸和气液滑阀这样一些往复部件中有大量的应用。不过，在液压场合下，用O形圈作主要动密封件一般限于短行程和100bar(1500lb/in²)左右的中等压力。事实上，O形圈往复密封最适合小直径、短行程以及中等压力的应用场合，不过，这并不妨碍其用于其他系统。一个颇具有意义的因素是，O形圈不大适合作过宽非常低的往复密封件，这主要是因为在此种条件下的摩擦较大，从而会导致密封过早失效。在任何往复应用中，都要根据密封件的额定数据或能力来使用的，并且要装配得当，这样才能得到满意的性能。

表B-1集中列出了有关往复O形圈密封沟槽直径及其公差的一般推荐数据，从表中可以看出，压缩量是大大低于静密封的。压缩量之所以需要，基本上是为了补偿不同的膨胀和收缩，以及在极低压力或低温下保证密封性，不过，这又取决于所用的橡胶

表 11-1 往复式O形圈密封沟槽尺寸数据



W 断面	名义	实际	T 压缩量		F 沟槽深度	G 沟槽宽度			R 沟槽半径	最大沟槽半径
			槽深	实际		无侧隙	一个侧隙	两个侧隙		
1/16	0.070	0.050	到	到	0.002	0.002	0.135	0.205	0.005	0.002
	±0.003	0.057	0.018	15到25	0.005	0.005	0.145	0.210	0.015	
3/32	0.105	0.038	到	到	0.002	0.140	0.175	0.258	0.005	0.002
	±0.003	0.093	0.018	10到17	0.005	0.145	0.176	0.243	0.015	
1/8	0.139	0.121	到	到	0.003	0.187	0.208	0.275	0.010	0.002
	±0.004	0.123	0.022	9到16	0.008	0.193	0.213	0.296	0.025	
3/16	0.210	0.185	到	到	0.003	0.201	0.214	0.275	0.020	0.004
	±0.005	0.168	0.030	8到14	0.008	0.206	0.216	0.275	0.035	
1/4	0.275	0.237	到	到	0.004	0.275	0.288	0.338	0.020	0.005
	±0.005	0.215	0.034	7到13	0.007	0.285	0.295	0.343	0.035	

① 各值保持此值到一个最小的数值，此时在整个工作温度范围内保持有效的硬度。

② 沟槽与相邻轴承表面之间的总公差值。

注：不用沟槽的最高压力 3500lb/in²，全部尺寸单位为in。

种类。压缩太厉害，只会助长产生过分的摩擦和磨损，可能还促使发生螺旋失效。

出现螺旋失效的原因是由于存在有同时允许O形圈的某一部分滑动，而另一些部分滚动的条件。其结果是，在O形圈上产生过量的扭曲，最终导致其损坏，当扭曲作用除去后，这种损坏呈现为绕O形圈的紧密的螺旋状切口，不过，直到破裂点出现以前，O形圈还可以继续起着很好的密封作用。

一个O形圈如果装配得妥善，并且使用条件适当，一般不大容易在往复运动状态下产生滚动或扭曲的，因为O形圈与沟槽的接触面积大于在滑动表面上的摩擦接触面积，而且O形圈本身的抗扭能力原来就能阻止扭曲。摩擦力的分布也趋向保持O形圈在其沟槽中静止不动（因为静摩擦大于滑动摩擦，而且沟槽表面的光洁度一般不如滑动表面的光洁度）。

然而，在如下的条件下，上面所说的那种制约状态可能被破坏而出现螺旋失效，例如，由于压缩量太大或润滑不足而出现过大的滑动摩擦；沟槽形状不理想，致使O形圈能够自由滚动或者减小了接触面；温度高，加大了压缩量和摩擦；摩擦面光洁度太差或有损伤，促使摩擦磨损不均匀；偏心，存在侧弯载荷等等。当螺旋失效现象出现时，其原因往往是多因素所致，而不是单一原因造成的，不过，基本的原因是O形圈扭曲。

在一些特殊应用场合，采用挡圈可以应付高达 350bar (5000lb/in²) 的工作压力，

此时要特别注意材料选择和公差。

应该尽量这样使用密封：即让压力的方向和摩擦力的方向相反。如果两种作用同向，则O形圈挤出的趋势明显得多，而且可能大大降低有效额定压力。如果沟槽不能设置得使摩擦力方向相反，则在70~100bar (1000~1500lb/in²) 的压力下宜采用挡圈。挡圈还有助于O形圈保持良好的润滑。

冲击压力可能是极为有害的，因为瞬时压力也许要比系统的最高正常压力高许多倍，对密封有多种不同的破坏可能性。同样可以借助一个或几个挡圈来加以防护；不过，机械锁或液压溢流阀可用作另一些解决办法。

常常难以理解的是，低压有时可能也像过高压一样有破坏性，特别是伴有慢泄漏时尤为如此。就O形圈来说，这可能表现出与低速运动和高摩擦等效的结果，可能导致扭结和磨损失效。事实上，压力约为35bar时，一般即能使O形圈避免任何扭结的倾向。一般说来，短行程对O形圈来说是最为理想的应用条件，因为在这类场合，会使将导致高单位载荷的侧弯载荷及运动系统的偏心减到最小。另一方面，可以考虑在采用浮动填盖或固定金属导向面的基础上进行设计。

图12中示出一种用于活塞或活塞杆的典型浮动填盖。这种设计对克服偏心或不同心度具有一定的灵活性，是比较简单而又花费不大的解决办法，避免了金属与金属的接触，消除了导向套的高载荷。

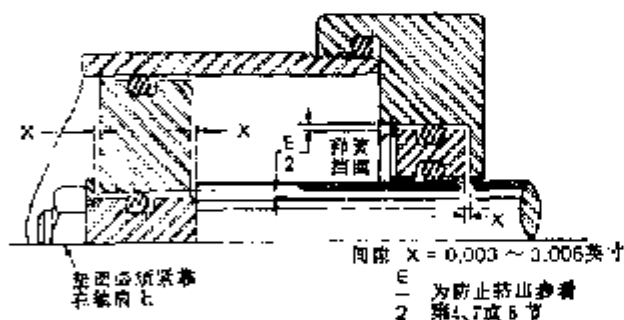


图 12

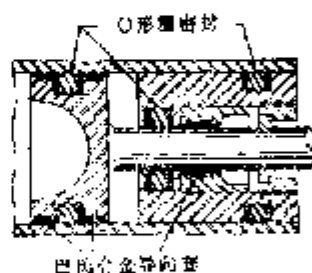


图 13

图13表明了另一种解决办法，活塞和活塞杆填盖均装以巴氏合金导向套，而O形圈则仅起密封作用。这种办法对重载应用场合或高压工作条件（在这种情况下O形圈与挡圈一起使用）下使用是特别适宜的。

低温工作对往复式O形圈密封提出了一个特殊的问题，因为O形圈在低温时的收缩可能是相当厉害的，同时为了补偿这一点而采用紧缩间隙的办法，又会引起金属对金属的摩擦接触。

选用一种收缩小的O形圈材料或者加大压缩量都是消除低温泄漏的简单解决办法，不过，利用弹簧给O形圈加载（图14）可能是一种更好的解决方案。

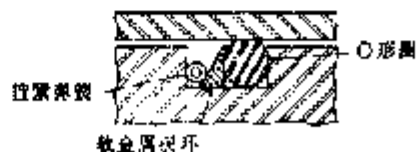


图 14

表Ⅱ中列出了采用往复式O形圈密封时其他一些常见故障及其纠正措施。然而，应该记住，当密封一种工作液体时，因采用往复式

密封而出现少量泄漏常常是所希望的,因为这表明密封未发生干运转(和随之而会来的高摩擦与磨损)。

表Ⅱ O形圈故障及原因

故障	可能的原因和检修办法
小泄漏	安装时划伤或损伤 压缩量不足——加大压缩量 沟槽尺寸不正确——检查沟槽宽度是否过大 摩擦表面光滑度差
大泄漏	侧载荷——检查偏心率或侧载荷情况 O形圈在使用中失效 摩擦表面严重划伤 O形圈因工作液的膨胀而变形损坏 O形圈的收缩过大 过大的不均匀膨胀
低温时泄漏	O形圈材料选用不当 压缩量不足——加大压缩量以补偿热力学收缩
膨胀过大	压缩量过大——检查沟槽尺寸大小 膨胀过大——检查相容性 金属与金属接触——检查是否不同种或有无过大的不均匀膨胀
早期失效	挤出——O形圈可能需要挡圈 沟槽设计不佳——检查O形圈是否过度拉伸 装配时损伤 压缩量过大——核对侧数 O形圈尺寸不正确——采用更大的规格。

摆动密封

摆动密封与旋转密封的区别在于,前者的运动部件的运动轨迹是在一个旋转方向上描绘一段圆弧以后,又在相反的旋转方向上描绘圆弧,而后者则是连续旋转运动。这种摆动可以伴随有滑动或轴向运动,也可以不伴随有这类运动,但就密封设计要求而言,这类运动一般可忽略不计。

当涉及到的表面速度在 1 m/s (200 ft/min) 以下时,沟槽尺寸要求可按与往复式密封一样对待。当速度较高时(O形圈对这种高速一般是不适用的),可能需要把O形圈看作旋转密封。当摆动是连续运动时,这些原则同样适用,不过,这些要求通常远不如对真正的旋转密封来得那么严格。

滑环密封(滑块密封)

一个滑块密封包括一个标准的O形圈和一个装在摩擦侧的抗摩擦圈。这个抗摩擦圈一般为实心聚四氟乙烯所制,可以制成各种形状,见图15。与其相配的沟槽深度要稍大于标准尺寸,因为O形圈和滑块圈两者都将由沟槽来保持。这就意味着,有必要借助一个专用工具,或采用加热膨胀的办法使滑块圈伸展到位,而冷却状态尺寸又恢复到正常。

滑环密封适用于在压力达 350 bar (5000 lb/in^2) 的液压应用场合作为挡圈的紧靠的

替代物。由于它们具有低摩擦性，因此在气动系统的活塞杆和汽缸密封上也有特殊的用途，见图 16。

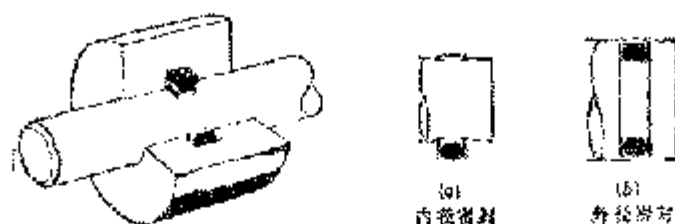


图15 滑环O形圈

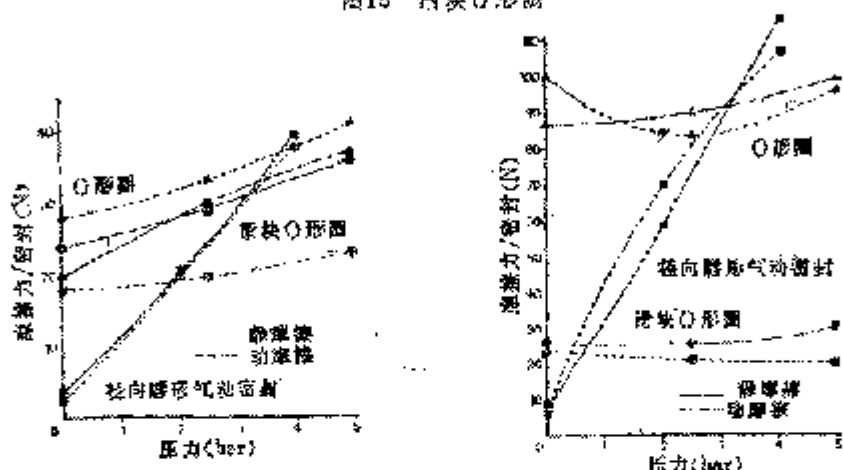


图16 静密封与气动密封的密封力比较值（左图为润滑情况，右图为干情况）

O形圈旋转密封

O形圈用作旋转（轴）密封仅有有限的应用，不过如在其限定范围内使用，并对间隙、侧向推力和端部跳动予以特别的注意，则在高达 8 m/s (1500 r/min) 的表面速度下能给出满意的性能。具体地说，O形圈需要装在旋转轴配合件的沟槽中。如果在轴上开沟槽，则当轴旋转时O形圈将膨胀，并且会因在沟槽中的滑动而造成严重的摩擦磨损。这同样也适合于其他旋转应用场合。O形圈的沟槽应布置在静止件上，见图 17。

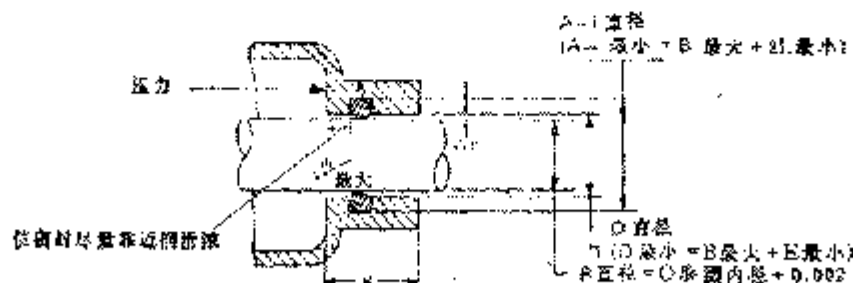


图 17

这样，这种沟槽或保持方法能产生任何拉应力状态下，使O形圈牢靠就很重要，因为如果O形圈在应力状态下受热（由于摩擦或类似的原因）将易于收缩。可能引起O

形圈抱轴现象, 不过这在表面速度低于 1 m/s (200 ft/min) 时并不常见。

为了减小密封摩擦, 并使磨损减至最小, O形圈应该仅作为密封件装用, 而轴承载荷应由另外的轴承表面来承担。这样能使O形圈以一个为保持满意性能而限定的必要压缩量而工作。另一方面, 这却提高了对轴和轴承消除偏心的公差要求。O形圈旋转轴密封能够证明, 当不同心度约大于 0.127 mm (0.005 in) 时会带来装配方面的麻烦, 或者不能安装。

表X中列出建议的配合数据。沟槽尺寸设计得要能防止密封旋转, 同时, 作为一条通则, 在对所要求的密封件直径可用的O形圈断面(直径)中, 一般尺寸最小者, 最能给出满意的密封性能, 不过, 这对于表面速度低于 1 m/s (200 ft/min) 的应用场合, 通常并不很重要。在表面速度为 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ ($200 \sim 400 \text{ ft/min}$) 时, 建议采用最大为 3.53 mm (0.139 in) 的O形圈断面(直径), 当速度更高时, 尺寸减小到 2.65 mm (0.103 in), 而当速度在 3 m/s (600 ft/min) 以上时, 尺寸或要更小一些(1.78 mm (0.070 in))。

表X 旋转密封用O形圈系列设计数据 (见图17)

W	断面	最大摩擦速度	L	G	R	最大偏心率	M	R
名义	实际	(ft/min)	槽深	沟槽宽度	径向间隙	TIR	轴最小长度	沟槽半径
1/15	0.070 ± 0.003	1500	0.065 到 0.067	0.075 到 0.078	0.012 到 0.015	0.002	0.700	0.005 到 0.015
2/32	0.103 ± 0.003	600	0.097 到 0.099	0.108 到 0.112	0.012 到 0.016	0.002	1.430	0.005 到 0.015
1/4	0.139 ± 0.004	400	0.135 到 0.136	0.144 到 0.148	0.016 到 0.020	0.003	1.330	0.010 到 0.025

● 用了最大工作压力为 $300 \sim 750 \text{ lb/in}^2$ 时, 当压力更高时, 必须减小沟深。

⊙ 沟槽外形, 均与相邻轴承表面之间应留有分表读象。

O形圈用作旋转密封时的性能如何, 几乎完全取决于其工作温度。无论选择什么材料, 它都不可能适用于大约 -30°C (-20°F) 以下或 95°C (200°F) 以上的环境温度, 而当表面速度较高时尤其是这样。事实上, 除了O形圈可能因摩擦生热外, 还须将从相邻轴承受热的情况也考虑进去, 此时, 就可能需要将轴承与O形圈尽量分离开来, 这一点若难以实现, 则可采用一个足够长的轴承, 以促使充分散热。

有时为了得到满意的密封性, 希望或者必须对旋转密封加弹性载荷。图18中示出两种可能的方法, 分别用软橡胶支撑圈和软O形圈。两种方法都比采用机械型弹簧更可取。采用斜沟槽放置O形圈也已取得某些成功, 其中预载压力保证了侧向推力。

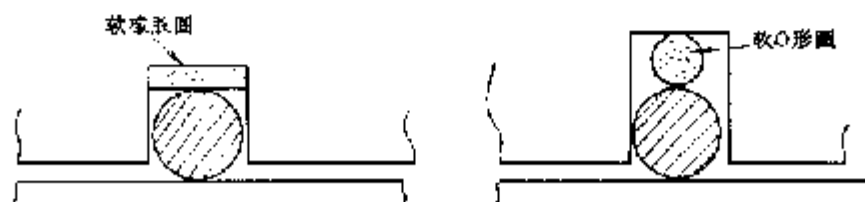


图 18

包封式O形圈

用聚四氟乙烯包覆一个橡胶O形圈有两个优点。这种O形圈既具有聚四氟乙烯的耐化学药品性，又保持了橡胶圈原有的柔性和弹性。如果橡胶与聚四氟乙烯的比值高（即聚四氟乙烯的包覆层薄），那么无论在静密封还是在动密封条件下工作，其接触面积都将随之增加，同时减小了因压缩永久变形而失效的可能性。当用作一个动密封件时，聚四氟乙烯还因材质的关系而减小了摩擦，特别是起动摩擦。

包覆聚四氟乙烯可采用多种方法，如粘接成一个开口套、搭缝套或者浇注成覆盖层。对于尺寸较大的密封圈（如直径超过400mm），包层可以采用焊接无缝聚四氟乙烯管的形式（见图19）。另一种聚四氟乙烯包封的O形圈形式示于图20。

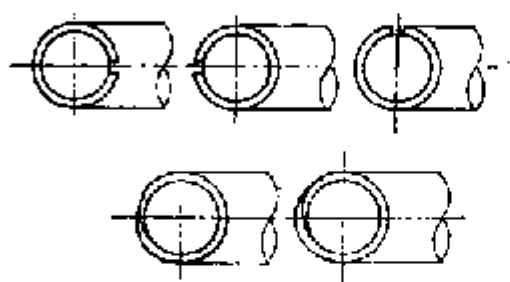


图19 典型的聚四氟乙烯包封的O形圈的断面

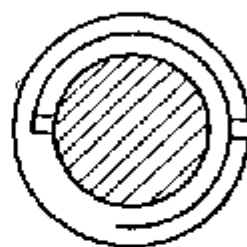
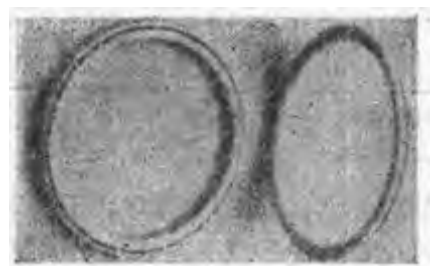


图20 用聚四氟乙烯包封的MI型O形圈



聚四氟乙烯包封的O形圈

空心金属圈密封

空心金属O形圈是由薄壁无缝管弯成圆形两端对焊面成的。它在温度高于非金属密封件或垫片所能适应的温度时，作为静密封件特别有效。它制成三种不同的形式：

(i) 普通圈，适用于沟槽接头（全封闭）或法兰接头（半封闭）。

(ii) 自赋能（或系统赋能）圈，带有孔或开口，使其内压力与该圈所密封的系统压力相同。

(iii) 充压圈，它是充有42bar（600lb/in²）左右的惰性气体（通常为氮气）的普通圈。

空心金属O形圈的密封作用是通过把圈压缩到相当于20~25%的断面压缩量的预定高度造成的。金属的回弹性对表面粗糙度或表面平行误差提供了某些补偿，但对圈应

行软质表面镀层, 可以提高密封性。这种覆盖层还可用来提供耐化学腐蚀性。

采用不同的管壁厚度可以进一步控制工作性能。例如薄壁管可用于要求法兰载荷小的圈, 但与此同时, 这将把圈的额定压力限制在 420bar (6000lb/in²) 左右, 视断面直径和实际壁厚而定。此外某些金属 (值得注意的有铝) 不适于薄壁管圈。同理, 密封较高压力时, 可以用厚壁管做圈, 代价是需要较大的法兰载荷。这可适应远高于 420bar (6000lb/in²) 的压力。然而, 通气圈通常制成用来密封 70bar (1000lb/in²) 以上压力的厚壁圈。某些典型的生产规格示于表 1。

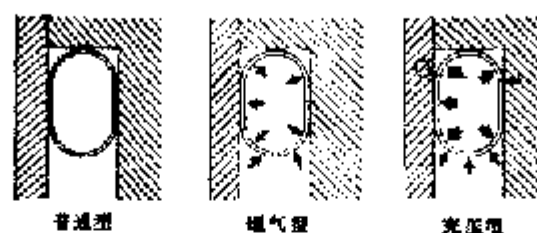


图 1 空心金属 O 形圈的基本形式

表 1 金属 O 形圈的典型生产规格

圆 断 面		厚 壁 断 面		薄 壁 断 面	
mm	(in)	mm	(in)	mm	(in)
1.58	(1/16)	0.356	(0.014)	0.254	(0.010)
2.38	(3/32)	0.457	(0.018)	0.254	(0.010)
3.18	(1/8)	0.508	(0.020)	0.254	(0.010)
3.97	(5/32)	0.635	(0.025)	0.254	(0.010)
4.76	(3/16)	0.813	(0.032)	0.254	(0.010)
6.35	(1/4)	1.028	(0.040)	0.508	(0.020)
7.94	(5/16)	1.270	(0.050)	—	—
9.53	(3/8)	1.524	(0.060)	0.508	(0.020)

所用的金属从低碳钢、铜、铝到不锈钢、镍、蒙乃尔合金、因康镍合金和钽。常用镀层有铬、铜、镍、银、金和钯。聚四氟乙烯覆盖层可用于耐腐蚀场合, 但此时圈的工作温度要降低。

电镀或覆盖的圈, 需要稍微增加沟槽尺寸, 以适应金属圈尺寸的增加。表 1 汇总了不同圈和覆盖层材料的最高工作温度。

表 1 金属 O 形圈的最高工作温度

圆			覆 盖 层		
材 料	最高温度		材 料	最高温度	
	(°C)	(°F)		(°C)	(°F)
铜	400	750	钽	180	370
低碳钢	550	1020	镍	300	580
镍铜合金	800	1500	聚四氟乙烯	300	570
蒙乃尔合金	600	1100	银	300	570
镍	700	1290	金	350	650
不锈钢	800	1470			
因康镍合金	850	1550			

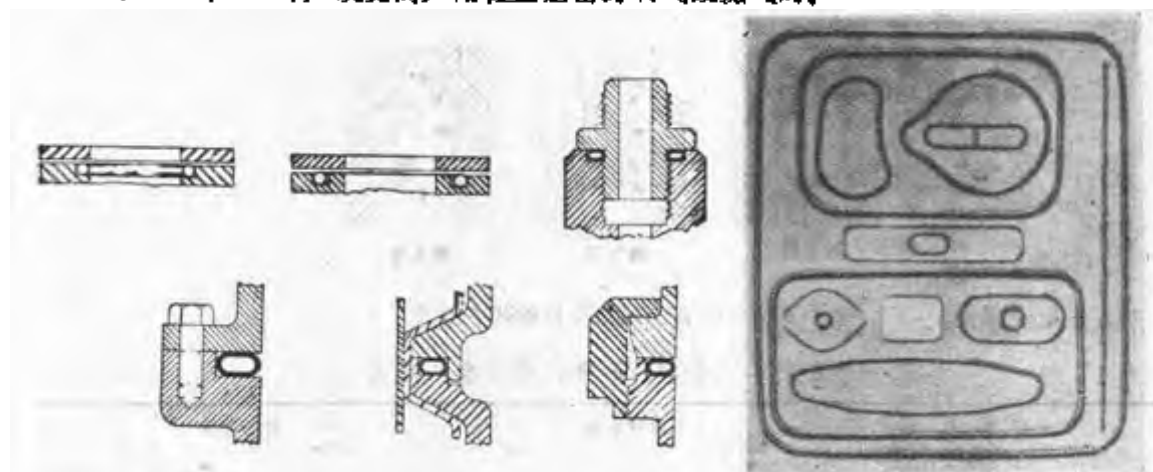
充压圈是为高压工作设计的，内压力随温度而增高，并补偿该温度下圈材料强度的下降，同时增加密封件的回弹力。自赋能(通气)圈在高压场合比其他两种形式优越。

无覆盖圈适合于大多数液体应用，但对于某些液体和大多数气体用途来说，则需要覆盖。满意的密封性能还与表面光洁度有关。对表面光洁度的典型要求是：

0.8 μm (32 μin)，用无覆盖圈密封高粘度液体时；或用覆盖圈密封中粘度液体时。

0.8~0.4 μm (32~16 μin)，用覆盖圈密封低粘度液体和气体时。

0.4 μm (16 μin)，或更高，用覆盖圈密封氧气或氮气时。



空心金属O形圈安装示例

图2 特殊空心O形圈形状

空心金属O形圈还可制成除了正圆形圈以外的各种形状，仅受圆角半径的限制。例子见图2。一般来说，这种限制从较小管径(例如0.035in)的4倍管径到管径大于0.5in时的2.5倍管径。

这种密封结构的另一个特点是，它可以制成与不在同一平面上的轮廓相配的形状。

除装在矩形沟槽内之外，金属O形圈往往装在三角形沟槽之内。当连接密合时，这可提供比在矩形沟槽内变形的空心金属O形圈更大的密封接触面积(见图3)。

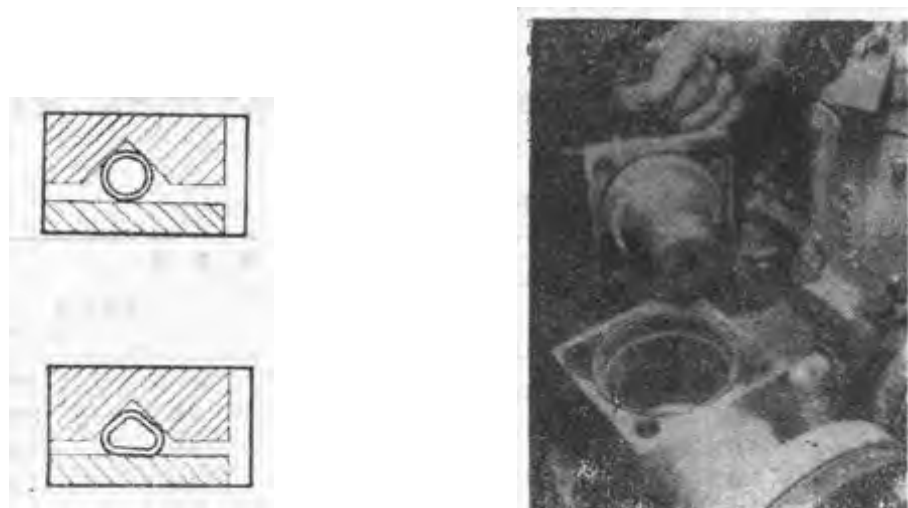


图3

在蒸汽发生器机组上的充气金属O形圈
密封高达600lb/in²的压力

其他金属圈

除了圆断面（O形圈）外，空心金属圈还用其他各种断面。它们通常是背通圈（即不是通气圈或充气圈）。

椭圆金属圈是空心金属O形圈的简单的变种，配合较深较窄的沟槽。据称最好的密封性在于沟槽本身。菱形圈和双菱形圈通常装在比O形圈更深的沟槽里，双菱形圈保证在六个接触点处的密封性。

异形金属圈

异形金属圈是具有自赋能的另一类金属垫片。它们基于小而有回弹力的断面，如C、U、V、W形和其他品种，在连接密合时断面的敞开部分朝着系统压力，例子见图4。密封接触压力随系统压力而增加，直到未在沟槽中支撑时，断面在圆周压力下屈服，或装在沟槽中时被未支撑断面的过度变形或挤出所屈服。



图 4

异形金属圈通常只需要很小的夹紧力，并能兼有橡胶O形圈的密封效果和金属垫片的高温性能。所用材料与空心金属O形圈类似，而且通常也增加覆盖层。表面光洁度不像在空心金属O形圈中那样要求高， $0.8\mu\text{m}$ ($32\mu\text{in}$) 的光洁度一般适用于无覆盖圈； $0.8\sim 2.25\mu\text{m}$ ($32\sim 90\mu\text{in}$) 的光洁度适用于覆盖圈。

金属C形圈（图5）

只要沟槽深度允许有C形圈原始自由高度的15~20%的压缩量，金属C形圈的尺寸就可选成能与同样自由高度的金属O形圈互换的。其实它是一个“全通气”O形圈，在压力下自动赋能（圈的敞开侧始终面对系统的高压侧）。

金属C形圈的一个独特的优点是良好的回弹力，能在压力循环、法兰螺栓拉伸或法兰变形等情况下，提供始终如一的高水平密封性能。

C形圈用与金属O形圈类似的材料制造，既用单一金属又带覆盖层。

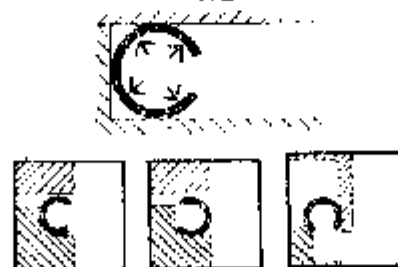


图 5

金属V形圈（见图6）

金属制V形圈断面提供能耐受很宽的温度范围和极端压力的牢固的密封。它特别适用于法兰载荷比较小的场合，但为了满意的密封性，要求配合表面有比较高的表面光

洁度。V形圈本身通常是精密加工的。一般可以买到与推荐的沟槽尺寸配合的标准结构的金属V形圈,但如有必要的话,任何标准结构都可以修改高度,以适应现有的沟槽深度。

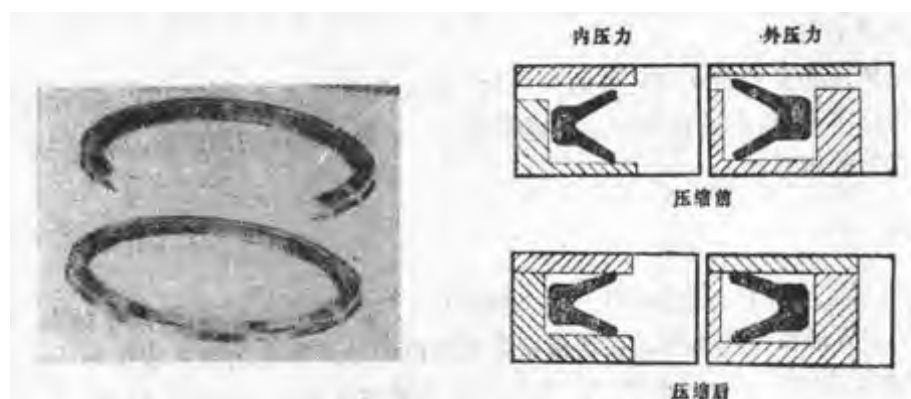


图 6

金属U形圈

一个金属圈到底是V形圈还是U形圈,其断面几何形状的区别是很微妙的。二者实际上是差不多的,有着类似的性能和用途。其实,大多数所谓金属V形圈的断面几何形状,严格说来是U形圈的形状,其特征是有加厚眼部的断面,而不是一个纯粹的V形断面。

金属V形圈和金属U形圈的主要用途是用于高温或重载密封,这些场合按理说倾向于选择金属O形圈,但希望法兰载荷比用金属O形圈得到足够的密封性能所需者更小。

“海利福莱”密封

“海利福莱”密封是带有弹性芯的挠性金属O形圈(专利品),它能在 -250°C 到 $+750^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内提供从 10^{-10} 毫的真空压力到690bar (10000lb/in^2)压力的绝对密封性。由于独特的结构,该密封的压缩和反弹性能是杰出的。

“海利福莱”密封的基本形式是由一层或两层金属衬层包在螺旋弹簧的环形断面周围组成的(见图7)。密封原理基于具有比它周围材料更大的延展性的衬层,在由密封件的密封面构成的平坦表面与簧圈互相压紧的螺旋弹簧的弹性芯之间的塑性变形。由于衬层上的压缩应力被弹簧的径向弹力所抵消,保证了密封件对密封面的永久接触,此弹簧簧圈互相压紧,在断面径向压缩时,使每个簧圈完全独立,从而沿边缘给簧圈赋能。

“海利福莱”密封制成从4mm到8000mm名义直径的规格;和1.5mm到25mm的

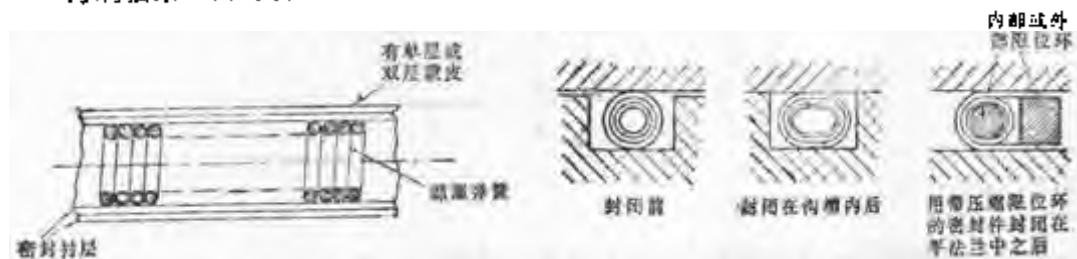


图 7

图 8

断面直径。有两种主要类型：一种装在金属对金属压紧的沟槽内，而另一种用平法兰装配，并与外部或内部限位环并用（见图8）。还可制成各种平面形状，每种仍保持圆断面（见图9）。

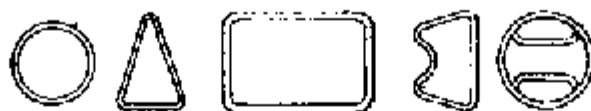


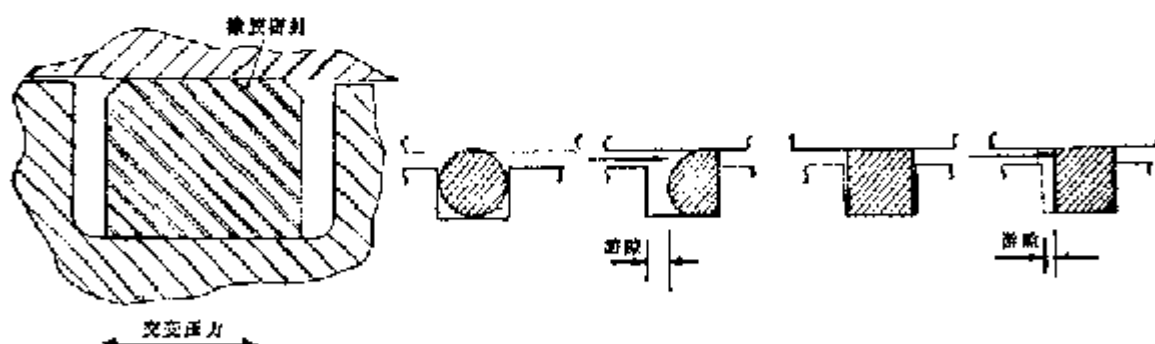
图 9

其他实心橡胶圈

矩形断面圈

矩形断面圈在所有压力状态下都是稳定的，机械游隙比压力循环下的O形圈要小（见图1(a)）。此外，它不会像O形圈那样滚动或扭曲，并能耐受比O形圈更高的压力。实际额定压力高达200bar(3000lb/in²)，在某些应用中加设挡圈后，额定压力可以提高到370bar(5400lb/in²)。不过，当压力超过100bar(1500lb/in²)时，建议静密封和动密封都用挡圈。

摩擦力大于O形圈，如果动密封被边倒角，则可以减小摩擦力（见图1(b)）。它最适于低速往复运动用。这种圈的一个实用的优点在于，它可从平板或管形胶料切割，以调节尺寸成任何规格。例如，如果一个O形圈的沟槽加工错了，可以做与该沟槽配合的矩形断面圈。



(a) 矩形断面圈有着比同样规格沟槽中的O形圈更小的游隙

(b) 矩形断面圈。如图所示，摩擦面被边倒角可以减小摩擦力

图 1

矩形断面圈没有标准规格系列，成本约为类似规格O形圈的66%。矩形断面圈的断面长宽比通常适应标准的O形圈沟槽。方断面圈（仅是一种几何变种）为得到最佳性能，可能需要稍微不同的沟槽长宽比。

矩形断面圈可用作外径密封和内径密封，例如，可用作液压缸中的活塞头和活塞杆密封。供矩形断面活塞头密封圈使用，以给出有效的双作用活塞头组件的挡圈结构，可以有几种方式（见图2）。

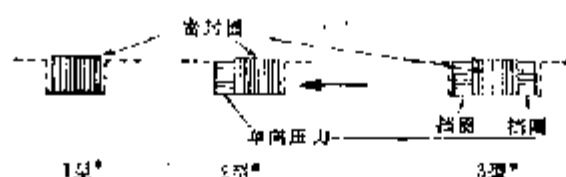
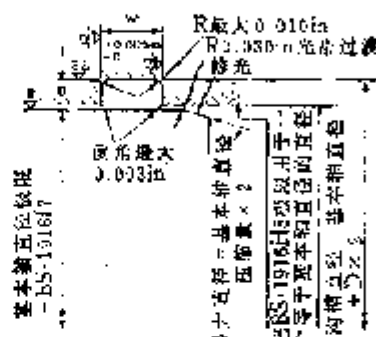
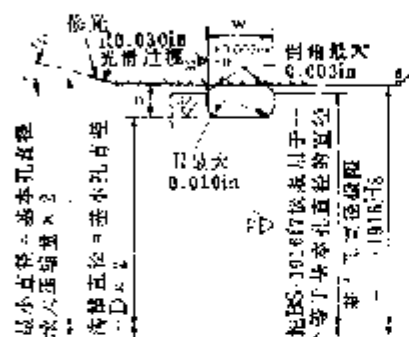


图2 用于表I用途的公称代号

带推荐的沟槽比例和表面光洁度的矩形断面圈专利性标准规格例示于表I中。表I给出用这种安装时的径向压缩尺寸。

表I 精密矩形断面密封圈—沟槽规格

表面光洁度值表达为 μin 平均高度



外 径 密 封						
	基本尺寸 范围	D × 2	沟槽直 径范围	W 装配形式		
				1	2	3
动密封	W 1.30 用内装式					
密封	0.31~ 0.60	0.158	0 0.002	0.120	0.160	0.220
	0.501~ 0.75	0.158		0.160	0.220	0.270
	0.751~ 1.00	0.288		0.220	0.270	
	1.001~ 1.50	0.316		0.220	0.270	
密封	1.501~ 3.00	0.316	+ 3 - 0.004	0.160	0.210	0.330
	3.001~ 5.00	0.316		0.240	0.310	0.400
	5.001~ 8.00	0.316		0.240	0.320	0.420
	8.001~ 1.00	0.158		0.160	0.220	0.270
密封	1.001~ 4.00	0.158	+ C - 0.004	0.160	0.220	0.270
	4.001~ 8.00	0.158		0.170	0.240	0.285

内 径 密 封						
	基本尺寸 范围	D × 2	沟槽直 径范围	W 密封形式		
				1	2	3
动密封	1.30~0.50	0.158		0.120	0.160	0.220
	0.501~0.75	0.158	+0.002 -0	0.160	0.220	0.270
	0.751~1.00	0.238		0.160	0.220	0.270
密	1.001~3.00	0.316		0.240	0.320	0.400
	3.001~5.00	0.316	+0.004 -0	0.240	0.340	0.420
	5.001~8.00	0.316		0.250	0.340	0.420
油	8.001~1.00	0.158	+0.002 -0	0.170	0.180	0.220
	1.001~4.00	0.158		0.170	0.170	0.240
	4.001~8.00	0.158	+0.004 -0	0.160	0.220	0.270
静密封	8.001~1.00	0.158		0.170	0.240	0.285

注：1 组成所需组件。

矩形（和方形）断面圈，也可以用除橡胶外的其他材料制造，例如软木或毛毡，用有垫圈或润滑圈。用这类材料时的密封性是十分有限的。

表 1 矩形断面圈的径向压缩量^①

外 径 型 封			
应 用	孔径范围	断面 (径向) 压缩量	
		最 小	最 大
静密封	0.501~0.500	0.0035	0.0080
动密封	0.501~0.750	0.0045	0.0090
动密封	0.751~1.000	0.0050	0.0100
	1.001~1.500	0.0085	0.0150
	1.501~3.000	0.0100	0.0170
	3.001~5.000	0.0130	0.0200
	5.001~8.000	0.0160	0.0230
静密封	0.751~1.000	0.0040	0.0090
	1.001~1.500	0.0100	0.0165
	1.501~3.000	0.0130	0.0195
	3.001~5.000	0.0170	0.0235

内 径 密 封			
静密封和 动密封	~0.500	0.0025	0.0070
动密封	0.501~0.750	0.0034	0.0077
	0.751~1.000	0.0042	0.0086
	1.001~3.000	0.0090	0.0145
	3.001~5.000	0.0105	0.0153
静密封	5.001~8.000	0.0134	0.0191
	0.501~0.750	0.0034	0.0077
	0.751~1.000	0.0052	0.0086
	1.001~3.000	0.0085	0.0144
	3.001~5.000	0.0134	0.0192

① 符合表 1 中的规格范围与尺寸偏差。

梯形断面圈(图 3(a))

装在梯形沟槽内的毛毡制梯形断面圈, 作为润滑圈用于旋转的场合, 毛毡圈浸油或注油。除非作为油封之外, 其密封性质是微不足道的。这种圈不允许弄干, 因为毛毡是一种吸水性材料, 它能吸收水分并引起与它接触的轴腐蚀。

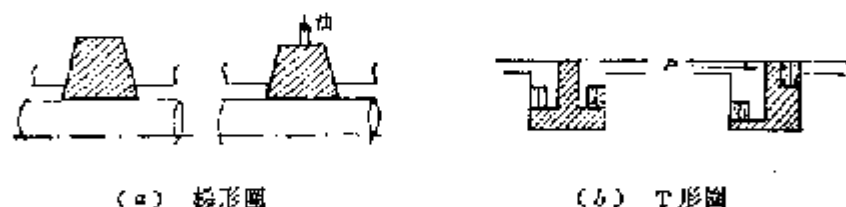


图 3

T形断面圈(图 3(b))

虽然仍承认是一种类型, 并用于一定场合, 但 T 形断面圈用得很少。普通的 T 形断面圈适用于作轻载旋转密封, 但更经常用带挡圈的 T 形圈。当受压变形时, 断面得到充分支撑, 能适应高压而不发生挤出, 同时仍有很大面积与沟槽接触, 以保持稳定。与此同时, 摩擦接触面积很小, 因此摩擦力与 O 形圈相当。

与橡胶 T 形圈合用的挡圈最好是螺旋弹簧的, 在压力变化时, 要能随 T 形断面的变形而胀大和缩小。

三角圈(图 3(c))

普通三角断面圈以很小的摩擦接触面积, 提供良好的沟槽内接触面积, 以保持稳定。

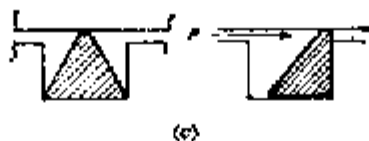


图3 三角圈

然而，在受压力而变形时，尖峰部分比较单薄，容易挤出。因此，虽然普通三角断面有很小的摩擦力，但如不与挡圈合用，其额定压力较低。尽管它比O形圈更稳定，但摩擦力较大，磨损很严重。

D形圈(图4a)

D形圈本质上是带方形基部的O形圈，提供较大的基部接触面积，因而消除了扭曲和螺旋失效的可能。摩擦力与O形圈相当，但在高压下断面变形较大，为适应高压须用挡圈。

D形圈可为往复运动(例如液压与气动用的活塞杆密封)或者O形圈不能令人满意的其他应用场合提供杰出的密封。

H形圈(图4b)

H形圈的摩擦力比O形圈小，尤其在低速往复运动时，更是如此。在中等压力下，它更耐螺旋失效，但在高压下，可能需耍挡圈支撑，以消除挤出现象。H形圈的配合沟槽尺寸，通常比O形圈配合更紧(或者H形圈装入比对应的O形圈直径更宽的O形圈沟槽)。圈本身可能受到比O形圈更大的磨损，除非表面光洁度高于10 μ mRa。

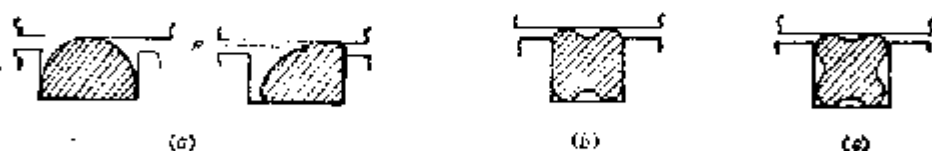


图4

(a) D形圈；(b) H形圈；(c) X形圈。

X形圈(图4c)

X形圈其实是基本H断面圈的改造型，有类似的评价。X形断面圈游隙小，在低速场合作为O形圈的代用品特别有效。H形圈、O形圈断面还有一些专利性品种，如纽里普，其中断面经“裁剪”以提高特殊性能特性。

心形圈(图5a)

心形断面圈有极小的摩擦接触面积和受到严格限制的密封能力，不过加设挡圈，可以改善性能。心形断面圈仅用作轻载转轴密封，带有一个挡圈，还可带一个楔形断面支撑圈。



(a) 心形密封; (b) 菱形圈。

菱形圈 (图 5(b))

菱形断面圈 (实际上是个用棱边密封的方形或矩形圈) 装在菱形沟槽内, 作为橡胶圈几乎没有实际应用。它有很小的摩擦接触面积, 但在中等压力下, 容易挤出, 且易螺旋失效。然而, 菱形断面用于金属环形垫片。

织物矩形密封

拉蒂台克斯 (LATTYtex) SG 密封 (见图 6) 是矩形断面密封的一个有趣的品种, 它有比普通矩形密封更大的边长比, 并且用挂胶织物制成。目的是产生一种具有可控制的膨胀和装在封闭沟槽中完全耐挤出的密封圈。单圈密封适于高达 250bar 的压力。压力更高时, 可用两圈或多圈, 安装间隔至少为密封圈长度的一半。多圈组件也可包含粉末冶金环作导向环 (或中间密封), 而两端密封圈提供主要的密封作用。

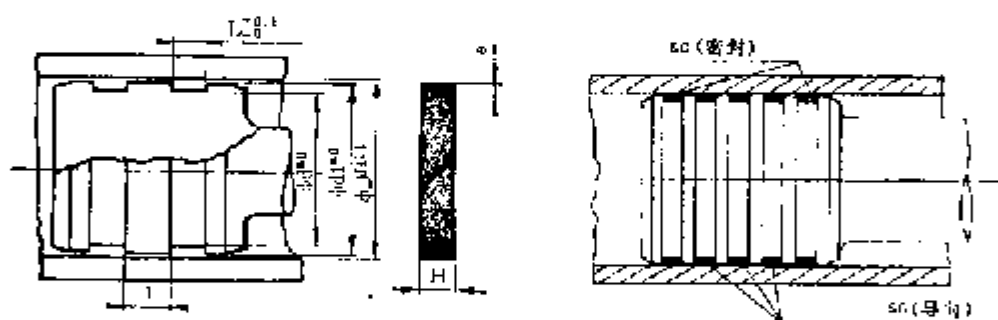


图 6 SG 密封, H/a 比: $\sim 50\text{mm}$ 直径为 2.0; $51\sim 200\text{mm}$ 为 3.2; $201\sim 300\text{mm}$ 为 2.0。

拉蒂台克斯 SG 密封通常作为切口圈供应, 以便于装配。还可以调整成较小的直径。标准直径规格从 16mm 至 30mm。

空心圈

空心圈有时被看作是 O 形圈的代用品, 并且, 通常能装进标准 O 形圈沟槽中。它实质上是带有内弹簧的敞口断面圈, 其外圈或封套通常用聚四氟乙烯制成, 以减少摩擦。



图 7 带内弹簧的聚四氟乙烯包封密封

或用氟橡胶制成，以提高耐化学药品性。这种密封通常基于方头的V形皮碗断面，由橡胶（芯）或机械弹簧赋能，例子见图7和图8。

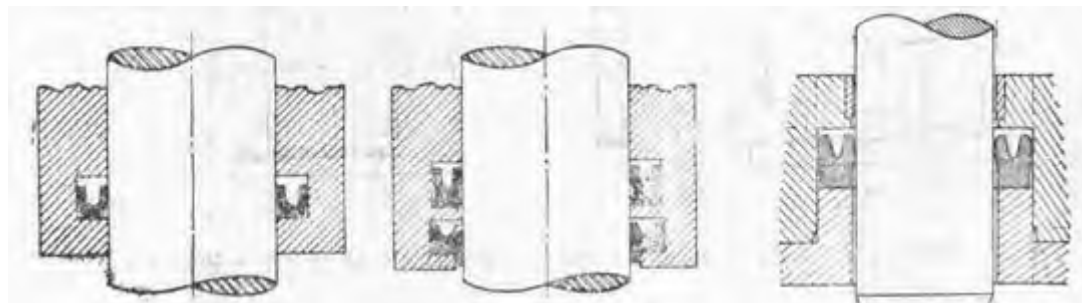


1号橡胶密封 2号橡胶密封

图8 弹簧赋能聚四氟乙烯密封

挠性唇形密封

U形圈是自紧唇形密封的最早的结构之一，主要用于要求低摩擦或希望间隙较大的动密封场合，如液压缸和气缸中的活塞头密封或压盖密封。对于低压到中压的密封，匀质橡胶U形圈特别有效。但在高压下产生较大的摩擦，并加快磨损，而且易于挤出到间隙空间里。通过改变U形圈断面，以降低局部应力，或者采用较坚韧的材料（如较硬的橡胶或橡胶浸渍织物）可以改善性能。针对175bar (2500lb/in²)以上的压力或0.65mm (0.025in) 以上的挤出间隙设计的匀质橡胶U形圈，可能包含用半挠性或刚性材料制成的防挤出踵部，或者它们与支撑环或背撑环合用。它们仅用作往复密封。



典型的U形圈密封

聚四氟乙烯U形圈的典型断面

一般来说，U形断面的选择要在摩擦、磨损或密封性能之间折衷。薄壁断面在低压工作（如气动）时，将有较低的摩擦和良好的密封性能。断面壁加厚在较高的压力下给出更好的密封性能，但以增加摩擦为代价（图1）。



图1 用于液压的典型重载U形圈断面（左）和
用于气动的典型轻载U形圈断面（右）

断面的踵部是个薄弱点，因为断面在这里承受着最大的应力，使材料比较易于磨粒性磨损和咬伤。它又是可能发生挤出现象的部位。踵部的损坏，还可能改变整个断面上

的应力分布(图2和图3),从而影响挠性唇部的正确机能。采用圆角踵部断面,可以提高抗蚕食性和耐磨性,不过某些结构,特别包括一个矩形基底,以便与背撑环合用,其油的主要变化是采用倒角的或矩形的隔离环,见图4。

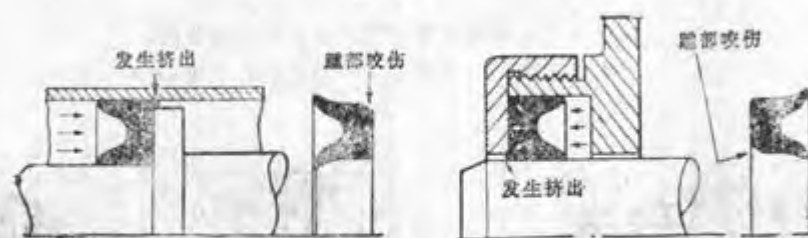


图4 U形圈断面举例

U形圈可以安装在封闭沟槽、半开放沟槽或开放沟槽里(图5)。用封闭沟槽或半开放沟槽时,重要的是在以过盈配合装配时,沟槽宽度(E)要足以容纳密封圈长度

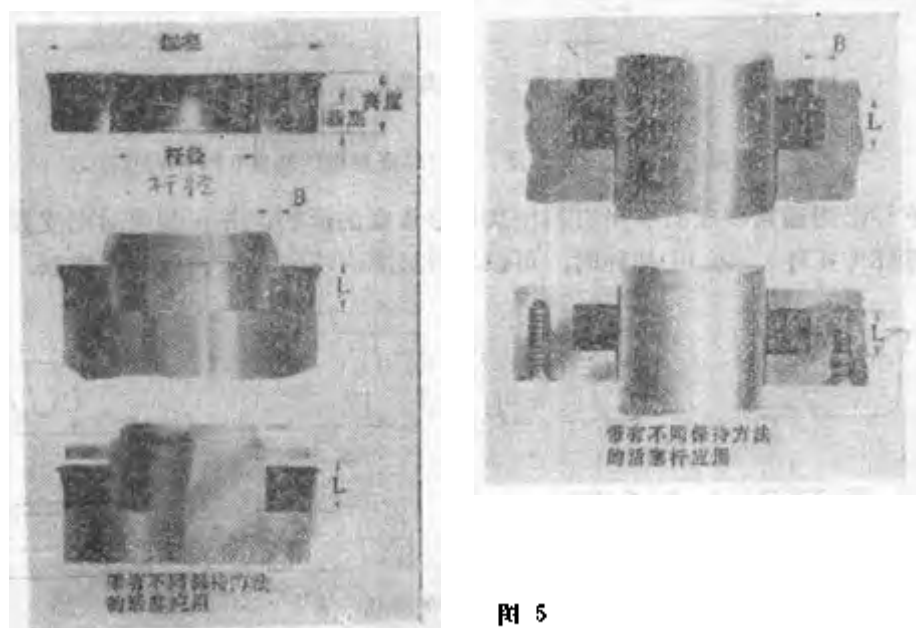


图 5

(b)，否则工作断面将变形。与此同时，沟槽宽度不得过大，否则密封圈将要浮动和“泵油”（图6）。用半开放沟槽时，还必须保证肩部直径足以在往复工作情况下，让密封圈保持在沟槽之内。

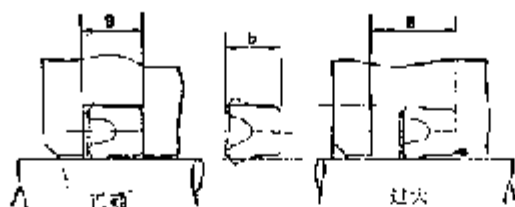


图6 U形圈沟槽结构。在装配密封件时，沟槽宽度(B)必须足以容纳密封件长度(b)



由软物U形圈和硬物压环组成的U形圈组件



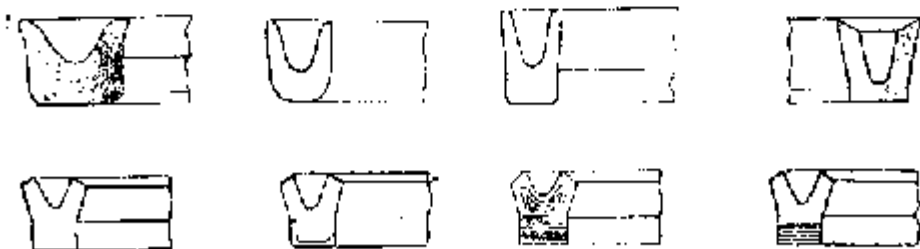
在高达700bar (10000lb/in²) 的液压压力下工作的加固U形圈

用开放沟槽（或相当的沟槽）安装时，必须包括一个保持环或套环，以保持密封圈就位（图7）。这个保持环必须是相称的，以致于装配时，密封圈的基底不受压缩，而与密封圈接触的边线是光滑并倒圆的。为保证流动畅通，在保持环上可能必须有个排放孔，以便两个密封唇部由同一个压力压紧。用带有辐板的U形圈时，无此必要。

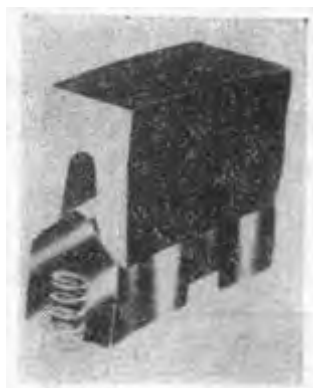


图7 带保持环安装的U形圈。装配时密封圈的基底(T)不得受压缩

皮革U形圈通常制成具有平直侧壁和圆形基底的形状，并在装配时用支撑环（背撑环及内撑环即托环）。不用托环时，可以在密封圈内填塞大麻、亚麻或橡胶，以防侧壁瘪塌。



U形圈形状的变化



适用于高达350bar (5000lb/in²) 的压力的“组合”U形圈密封

U形圈是一种单作用密封圈。对于双作用活塞的场合下,只要活塞头结构是合适的,可以背靠背使用两个密封圈。然而,许多现代的活塞头可能一头扎进单件沟槽,因为它还包括导向环,U形圈在高压双作用活塞头组件中的应用正在减少。同样,U形圈与支撑环成组使用,以提供更高的额定压力,目前也不如带防挤出踵部的单个U形圈或其他密封圈形状受欢迎。

组合U形圈

基于U形圈或类似的挠性唇形断面和一个内装背撑环的现代组合密封圈,具有两个特殊的优点。背撑环消除了踵部被挤出的可能性,并使密封圈能适应更高的工作压力。与此同时,橡胶断面能适应持续的压力压紧,而初始过盈压力较低。因此,有效的密封接触面积随压力的增加而持续扩大。

这种密封圈示于图8。在零压或低压下,仅有密封唇的端部可以密封接触。在压力升高时,流体压力使密封圈断面径向扩张,加大保持密封性的接触面积。与此同时,背撑环可能造形成这样,即它的前(压力侧)端变形,封闭任何挤出途径。最后,在高压下密封圈断面充分变形,同时背撑环也充分变形,与缸壁完全接触。与此同时,它产生了提供抗剪切能力和防止挤出的牢固基础。

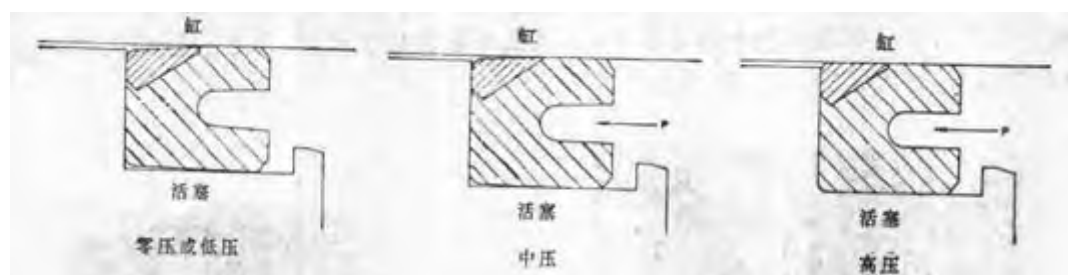


图8 最高额定压力700bar (10000lb/in²) 的高性能密封圈

其他组合密封形式能以很小的(甚至没有)初始过盈量工作。在这种情况下,接触力和接触面积完全靠流体压力本身来建立。

V形圈

V形圈也叫人字密封圈,具有比U形圈更坚固的断面,可以较好地耐受轴向和径向

载荷。通过在每组中使用两个或多个V形圈，配以支撑环和压环(见图9a和图9b)，可以提高它们的额定压力和低压密封能力。其实，这是V形圈的正常用法(即成组使用，而不是单个使用)。支撑环可以是实心的或通流体的，在某些情况下，可以用弹簧加载的支撑环来补偿磨损。

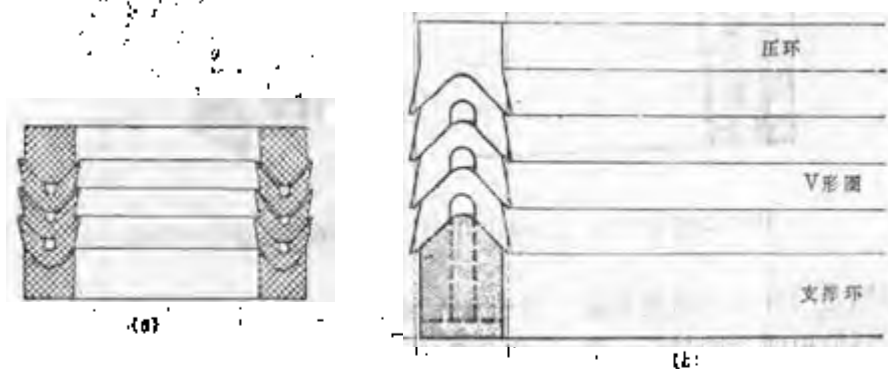


图 9

(a) V形圈即人字密封组件；(b)带通流体支撑环的典型的V形圈，即人字密封组件。

V形圈可以由皮革、匀质橡胶或橡胶浸渍织物制成。V形圈断面通常类似，与所用材料无关，不过模压橡胶O形圈的形状有某些变化(例子见图10)。支撑环通常用金属制成，但也可用橡胶浸渍织物、玻璃加料尼龙、缩醛树脂或某些硬橡胶。

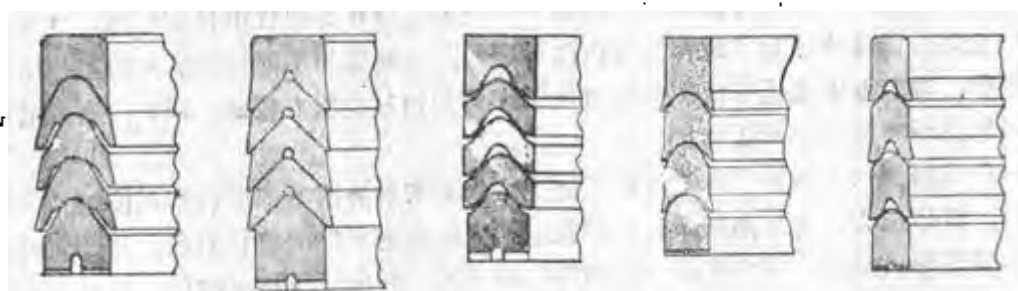
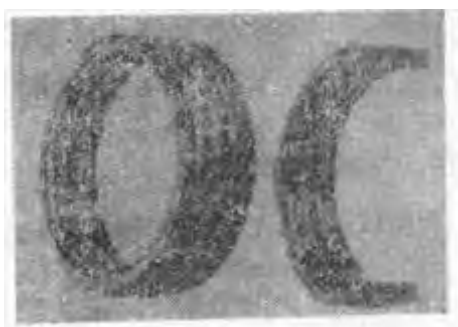


图10 V形圈断面形状的变化

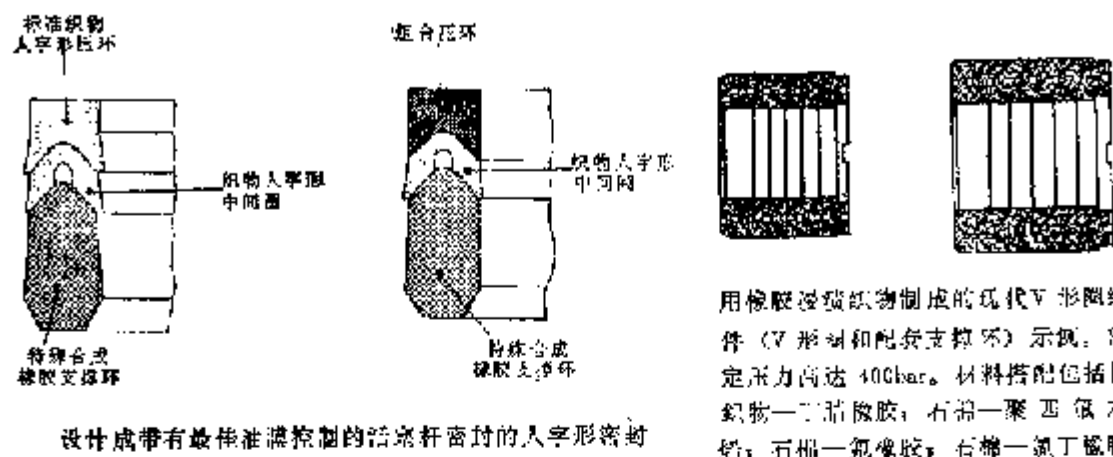
V形圈组件可能包括橡胶圈，插入一些织物圈，橡胶圈的较大的弹性，提高静态和低压下的密封性。在直径较小的密封中，橡胶圈可以换成织物圈，但在直径较大时，橡胶圈的数目通常是限定的(见图11)。

额定压力高达350 bar (5250lb/in²)

的人字形压差密封件



图11 带层状织物支撑环的，层压织物圈与橡胶圈交错的V形圈组件



成组使用的皮革和橡胶浸渍织物V形圈，可以是剖开的，以便于装配，在这种情况下接缝应该错开。模压V形圈总是单件的（没有剖开的）。一般来说，橡胶V形圈提供比较严密的密封性，不过它的最高额定压力比皮革或织物V形圈略低一些。橡胶和织物V形圈有时合用在同一组里。

V形圈（组件）属于重载活塞杆或液压缸密封。当压盖拧紧，以便把密封件压合到设计安装高度（包括支撑环）时，产生轴向夹紧力，此力造成的预载荷，保证初始密封性。必要时（例如调节静密封性或补偿磨损）可用垫片来调整安装高度。在内压下V形圈作为自紧密封工作。

根据V形圈材料及组件中间数的不同，用橡胶浸渍织物圈，可适应高达700bar（10001b/in²）的压力，用皮革或织物圈可以高达此压力的两倍。所需圈数取决于工作压力和密封圈直径。密封液压缸时，这方面的典型建议连同有关尺寸汇总于表I和表II。从表可以看到，当额定压力较高和密封件直径较大时，密封长度也增加，同时密封摩擦力也增加（不过V形圈本身的摩擦力比U形圈要小）。现代的趋势是采用比V形圈更紧凑的密封件或密封组件，不过在中载和重载场合，V形圈仍然用得很多。其实V形圈是在深度上比较紧凑的密封件，但当圈数较多时，密封长度比较大。

C形圈

C形圈是一种单侧密封圈，它带有一个精制的锥形唇部，给出比较大的与动侧的接触面积。与单侧U形圈不同，接触面积从唇部向另一侧（静止）的圆头端逐渐加大。

它可以描述成带有一个缩短或切短的情的改变了的U形圈。它只密封一个表面，即唇部一侧，因此，可以制成外密封或内密封。它在机械性能上与U形圈类似，并且象U形圈一样，可以单个使用，也可以带支撑环成组使用。它是旨在针对特定用途改善普通U形圈密封性能的许多密封件专利品的基础。

由于它们是专为成组（一个或多个密封圈连同上、下支撑环）使用而设计的，所以C形圈也被称为压盖密封圈，或者称为自紧压盖填料，以强调它们是压力自紧的，与压缩填料相反。例子示于图12和图13。

结构通常是棉布或石棉布与橡胶模压成作橡胶骨架。石墨涂面通常在初始装配时有

表 I V形圈组件的典型尺寸数据

密封件规格和密封直径 in mm	密封件 A in mm	V形圈深度 B in mm	压环深度 B in mm	压环厚度 D in mm	V形圈 圈数	密封总长度 C in mm	压力到 350bar (5000lb/in ²) V形圈 圈数	密封总深度 C in mm
密封件规格和密封直径								
1 到 25	3/16 5	3/32 2.5	3/16 5	3/8 8	3	1 1/2 12.5	4	19/32 16
1 1/2 到 37.6	1/4 8	1/8 3	1/4 8	1/4 6	3	3/4 19.0	4	7/8 22
1 1/2 到 56.7	5/16 8	5/32 4	5/16 8	9/32 7	4	1 25.4	5	15/32 39
2 3/4 到 101.6	3/8 10	3/16 5	3/8 10	5/16 8	4	1 1/4 32.3	5	17/16 35.5
4 1/2 到 127.8	1/2 12.5	1/4 6	1/2 12.5	7/16 10	4	1 3/4 41	7	2 50
7 1/4 到 184.1	5/8 16	5/16 8	5/8 16	1 12.5	4	2 50	7	2 50
17 1/4 到 445.0	3/4 19	3/8 10	3/4 19	5/8 16	5	2 1/2 75	6	3 1/4 80
25 1/2 到 647.7	3/4 19	3/8 10	3/4 19	5/8 16	6	3 1/4 85	7	3 5/8 90
> 67	1 25	1/2 12.5	1 25	3/4 20	7	4 1/4 105	8	5 1/4 130

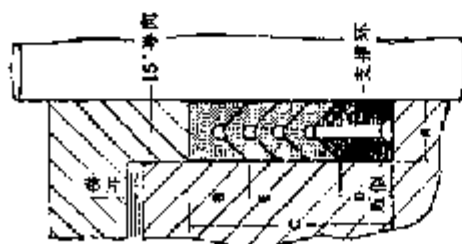


表 II V形圈组件的最大额定压力 (典型值)

V形圈数	V形圈材料			
	密封 lb/in. ² bar	橡胶密封材料		密封 lb/in. ² bar
2	500	85	1000	70
3	1000	140	1500	100
4	2000	210	2100	130
5	3000	270	2700	160
6	4000	330	3300	190



图12 通常带支撑环使用的C形圈特别适合于低压长行程液压缸密封

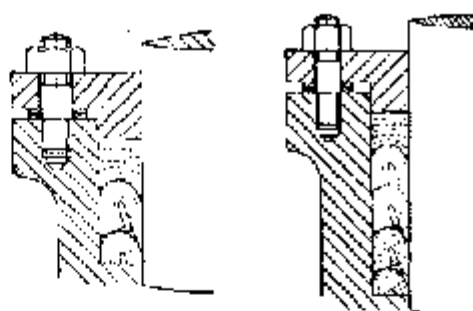


图13 C形圈组和模压支撑环专利品

利于磨合。C形圈可以是整体的，也可以是剖分的。有后一种情况下，建议至少用两圈，三圈更好，接缝错开。单个（整体）密封圈适用于低速场合，将给出最小的摩擦。两圈或三圈在有侧向运动或侧向载荷时很受欢迎。

对于 25bar (350lb/in^2) 以下的轻载，支撑环可以用油浸编结填料。对于其他载荷，支撑环可以是材料与密封圈类似的模压环，适当的机械加工环或成型金属支撑环，例子见图14。

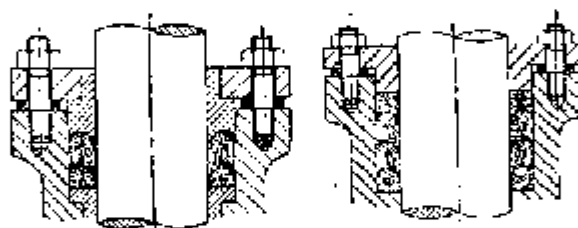


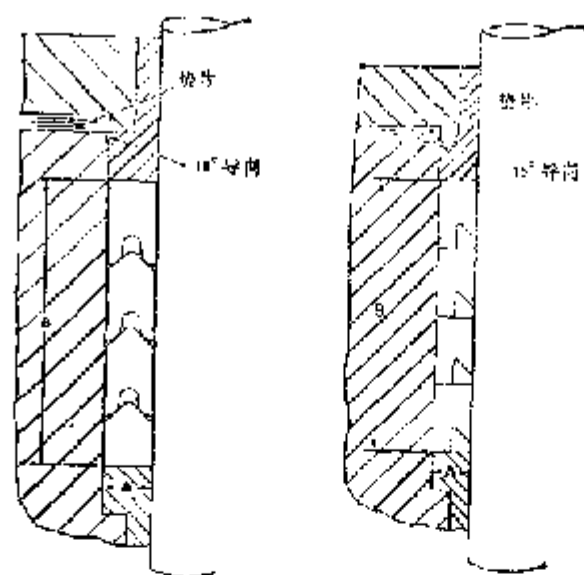
图14 带机械加工支撑环（左）和编结填料支撑环（右）的密封圈组件

这种压盖密封圈的性能，一般是优异的，以最少的摩擦损失给出最高的密封效率。不过，满意的性能取决于正确地确定尺寸、正确的配合（以避免过大的压缩压力）和采用正确的支撑环。

具体地说，匀质橡胶C形圈适用于高达 70bar (1000lb/in^2) 的压力；半加硫橡胶高达 140bar (2000lb/in^2)；橡胶浸渍织物高达 350bar (5000lb/in^2)。层压织物C形圈能适应 350bar (5000lb/in^2) 以上的压力。它们主要适用于密封往复运动，但匀质橡胶C形圈，也可用作轻载转轴密封。



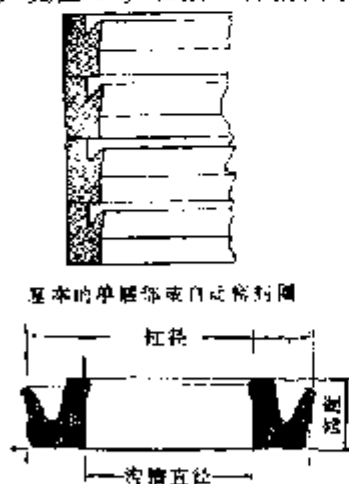
用于液压活塞密封的自紧剖分式密封圈。
最高额定压力 350bar (5000lb/in^2)



密封圈专利品的例子

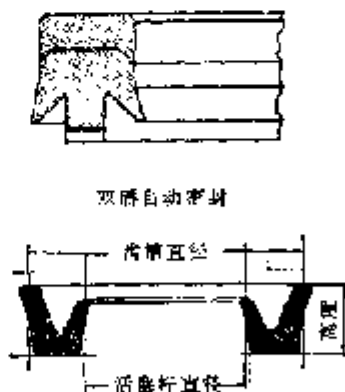
自动唇形密封

一般由基本U形圈演变来的,但具有更硬的断面和由V形槽形成的唇部的断面,有时称为自动密封。这只不过意味着它们是压力自紧的,但这是对那些不是真正的U形圈,并包括许多专利性结构的断面的方便的描述。这种密封圈可设计成单个使用的,或成组使用的。它们也可以(象U形圈那样)有两个唇部或者(象C形圈那样)仅有一个密封唇部,见图15。在后一种情况下,它们可以作为分布密封进一步分类,见图16。



外分布密封圈

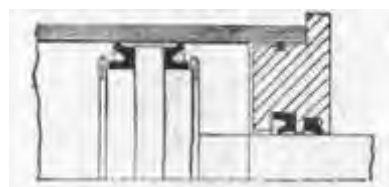
图 15



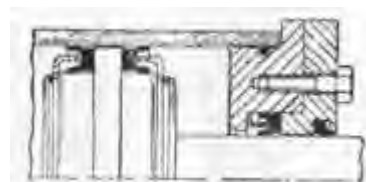
内分布密封圈

图 16

这种密封圈大多数比U形圈更坚韧,主要用于中载和重载场合,不过在轻载、中载或重载之间没有一个严格的界限,因为机器的尺寸也是个因素,和密封圈可能承受的实际载荷一样。例如,在密封圈可能承受侧向载荷(如在卧式机器中支持元件的重量)的场合,可能需要比较硬的或重载的断面。作为一般规则,对于所有挠性唇形密封来说,



典型的内、外分布密封面安装说明
结构和机械加工比较简单



典型的U形密封面安装说明结构相
机械加工复杂

分布密封面（左）比U形面（右）优越之处在于它们能提供较简单的装配

都应该尽可能避免偏心和侧向载荷，因为这些因素会干扰它的正常功能，导致泄漏和过度磨损。

对进行精确分类的任何尝试，都可能有明显的例外。例如，分布密封面可以制成带有比较薄的唇部，特别是气动用的轻作用密封面，例子见图 17。

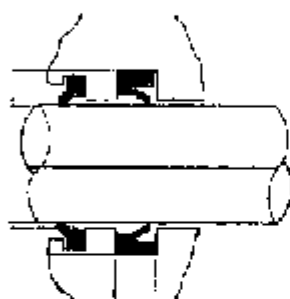
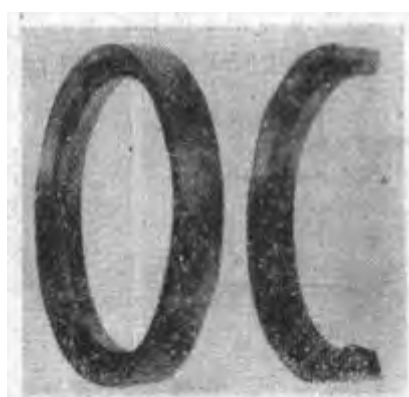


图17 K形密封



用于高达160bar (2400lb/in²)
的压力橡胶唇形密封

楔形作用密封

普通的唇形密封借助于安装时唇部的挠曲而具有预载压力。挤压型密封靠安装时断面的变形而具有预载压力。楔形作用密封具有靠弹簧压力产生的预载，见图 18。所有这三种密封都会进一步压力自紧，在压力作用下提高表面载荷。楔形作用密封的优点在于这种预载方式支撑密封唇，在载荷剧烈变化或循环速度较高时，避免唇部垮塌脱离密封面，而且在低压甚至真空条件下，提供更可靠的密封性（通过较大的预载）。



图 18

在许多密封件专利中建立了楔形作用原理。一种合乎逻辑的组合是比较硬或比较坚韧的橡胶唇形密封断面的唇部开口用软橡胶芯堵塞。这个状态象弹簧那样提供楔形作用。其实这种密封兼有V形唇的自动唇形密封性能与O形圈的挤压密封力。主断面的刚



图19 楔形作用密封专利品

性和胶芯的形状，可以适当安排，以满足特殊场合的要求，如图19的坡里密封圈结构所示。

图中标标准形密封有比较柔顺的唇部，软芯完全包容在唇部之内，这在轻微润滑条件下提供一种低摩擦密封。第二种断面中唇部形状改变，向外倾斜，以增加密封时的刮油作用，并使它适用于无润滑工作。两种加深的断面适应同样两种运动，但密封圈的较高的矩形对于在较重的载荷或较苛刻的条件下的工作，提供更大的稳定性。第五种断面的胶芯部分扩展，基体部分用硬的抗挤出材料，于是较软的橡胶部分形成密封圈的工作部分（见图20）。这种特殊形式是为极端环境条件设计的。



图20 楔形作用密封圈的密封原理

表Ⅱ列举了可以用于这种特殊密封的不同材料。

表Ⅱ 用于坡里密封圈的材料

密封型式	标准材料		替换材料	
	胶芯	基体面	胶芯	基体面
标准形、SQB形、B形和加深形	丁腈橡胶	聚氨酯	聚四氟乙烯 乙丙橡胶 氟橡胶	丁腈橡胶 聚四氟乙烯 乙丙橡胶
Z形	氟橡胶	聚酯橡胶	丁腈橡胶 氟丁橡胶 聚四氟乙烯 乙丙橡胶	聚四氟乙烯 聚四氟乙烯 聚四氟乙烯 聚四氟乙烯

单唇密封

关于专门为转轴密封设计的单唇密封圈，见油封一章。另一类为用于活塞杆面设计的单唇密封圈是防尘密封圈，见防尘圈与刮尘圈一章。

弹簧加力的密封圈

使金属C形圈引人注目的弹簧支撑特性，可通过配以带内部螺旋弹簧的圈而得到提高，见图21。这使它更适用于配合表面光洁度较差的场合。对于低温工作，通过模压一层聚

四氟乙烯、橡胶甚至聚酰胺(例如尼龙)蒙皮,可以实现更好的适形性。这样使用非金属蒙皮材料使密封圈适用于静密封和动密封。不过,对于简单C形断面中的蒙皮来说,蒙皮本身比较脆弱。因此,更常见的做法是在弹簧加力非金属密封圈中,采用与U形圈接近的较硬的断面,见图22。

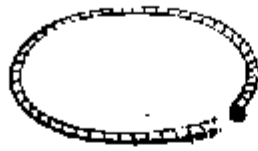


图21 弹簧加力的金属C形圈

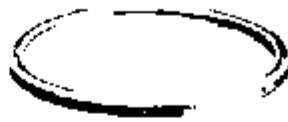
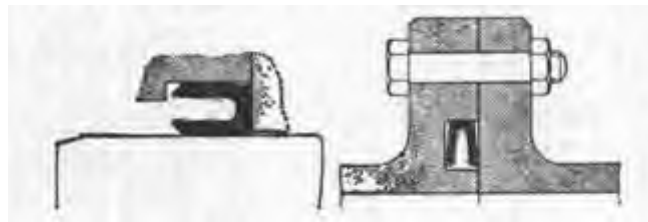


图22 弹簧加力的金属U形圈



这种密封圈包括一个聚四氟乙烯或变化聚四氟乙烯断面和一个加力弹簧。设计成可与O形圈互换又免除了O形圈的缺点

复合密封

复合密封一词是指制成一个整体的两部分或多部分密封圈。它们往往能为动密封场合提供一种有效、紧凑而且长寿的解决办法。许多具体的密封结构是按此基础制造的,完整的分类是不可能的。一种基本的分类是按复合的几何关系,即密封件部分究竟是同心的还是同线(轴向)的。后者提供了各种结构。这里一时难以区分真正的“复合”密封(即整体结构)和由(分离)部分组成的密封组件,因为两种型式都可用“复合”一词来描述。要区别可把后者称为“组合”密封。

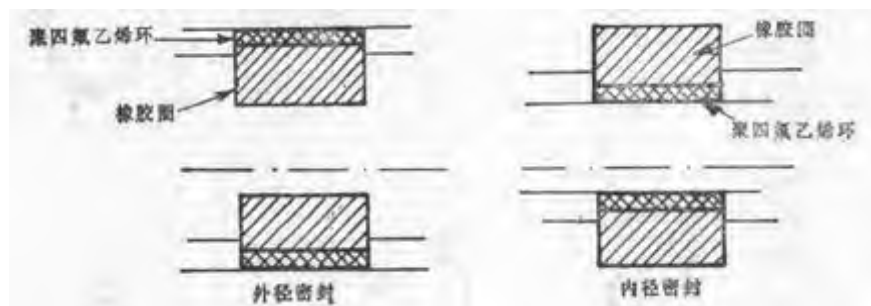


图 1

典型的简单同心密封圈示于图1。它兼有橡胶密封圈有的简单性和坚硬而低摩擦的工作面。基本部分是一个方形或矩形橡胶圈,它与一个聚四氟乙烯薄环组合而产生一个复合密封圈。聚四氟乙烯环在内径密封的场合处于内径上,在外径密封的场合处于外径上。

该密封圈以与O形圈的装配相同的方式放在一个简单的沟槽里,但沟槽尺寸是按复合圈规定的。沟槽尺寸决定挤压程度,从而决定聚四氟乙烯环上的径向压力,并使聚四氟乙烯环轴向定位。聚四氟乙烯环除了提供一个导向面外,还把橡胶部分约束在其沟槽里,消除了挤出的任何可能性,以致于甚至在 350bar(5000lb/in²)的压力下,也不需要挡圈。

广义地说,同心密封有两人类,即阶梯形和非阶梯形。阶梯形用于不允许泄漏或可能有较长的停机时间的压盖或低压场合;非阶梯式用于承受很高的交变压力的活塞头场合。例子见图 2。某些专利品型式的例子示于图 3 中。

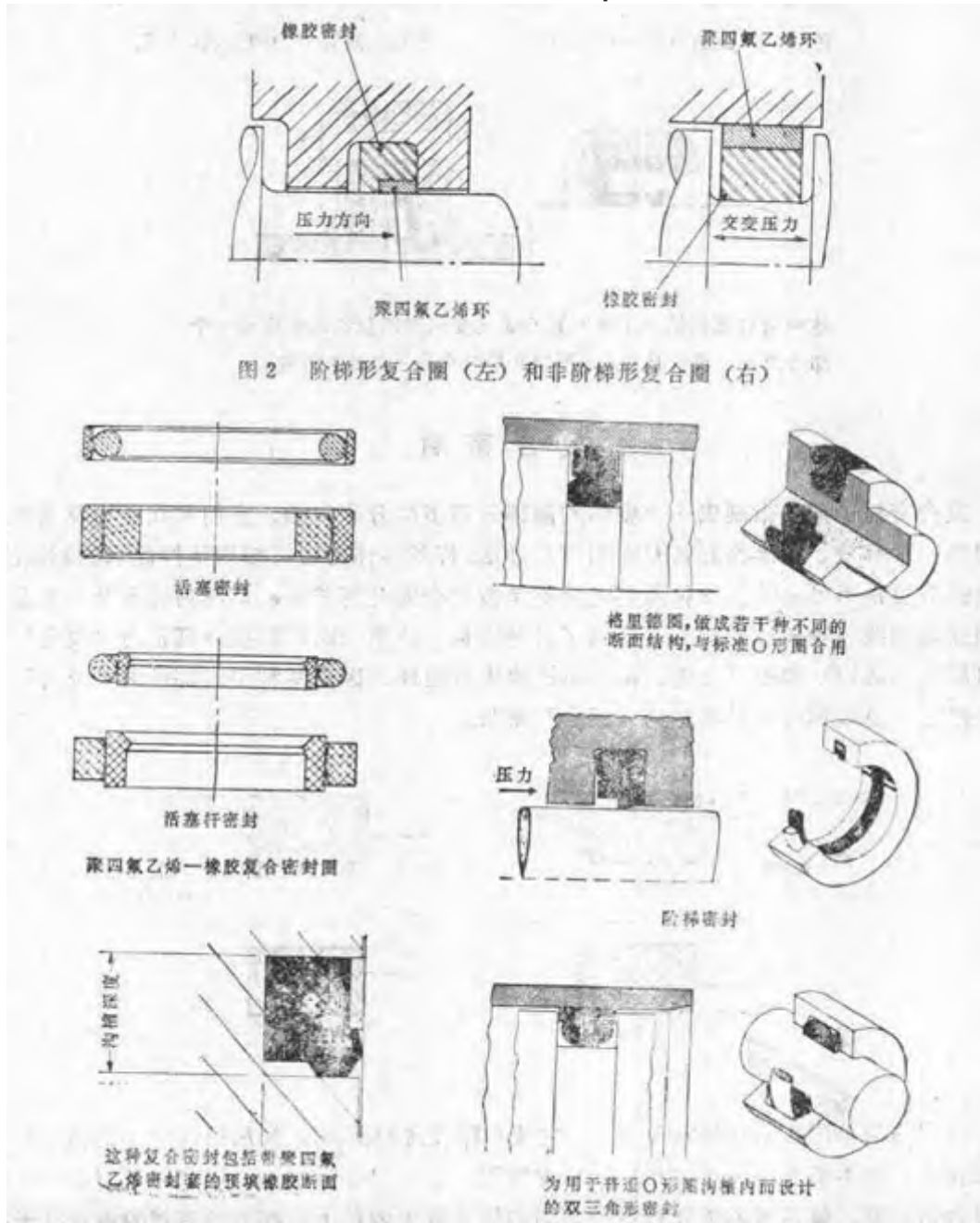
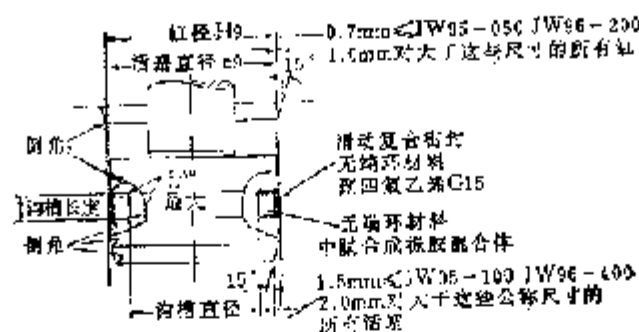


图 3



复合密封专利品——一截细节



双带密封圈

同心密封，由于它可用于高压场合，并有很小的结构，已经在伺服缸、副翼缸和飞行控制器中取代了O形圈和矩形断面密封圈。密封的橡胶部分给聚四氟乙烯套加力；所以聚四氟乙烯与活塞杆或汽缸的接触在所有工作情况下都能维持。聚四氟乙烯件还起防挤出件或挡圈的作用，并提供低摩擦特性。在70bar (1000lb/in²) 以上的压力下，如果要求低摩擦，则采用同心密封被证明是有利的。特殊低结晶度聚四氟乙烯可以用来保证在拉过活塞之后恢复原始尺寸。

聚四氟乙烯接触环的低摩擦特性允许适当放宽对配合面的表面光洁度要求，而且密封的静摩擦与动摩擦基本相等，显然不存在始动力。密封在低压下和高压下都有效，橡胶圈的硬度可以相应选择。橡胶种类根据与所涉及的液体的相容性来选择，在正常的场合，只有硬度和相容性是影响密封性能的因素。可以推荐-60°C~+250°C的工作温度范围。最高额定压力通常为430bar (6000lb/in²)，但在用较小尺寸的复合密封的特殊场合，可以更高些。该型式特别适合于活塞和活塞杆密封，单个设置。装配这种密封圈时通常的注意事项也适用，最好使用一个装配工具，以防止聚四氟乙烯接触环被过分拉伸，并在安装就位后给出足够的时间让此环恢复和收缩。

轴向复合（同线）密封的原理是利用与硬质防挤出件组合的橡胶密封件。结构可以是也可以不是整体的，而且所涉及的单个零件数可能从两件到多达七件。为介绍起见，唯一可能的是作为单个专利型式来处理，虽然许多型式可能在形状上是近似的。例子见图4和表I、表II、表III。

霍尔普伦-代尔塔密封圈（图5）已被证实对双作用液压缸来说，是一种特别成功的复合密封。公称压力0~210bar (0~3000lb/in²)，温度范围-40~+100°C。用推荐的缸孔光洁度0.4μm (16μin) Ra可以适应0.5m/s (100ft/min) 以下的表面速度，或者用0.2μm (8μin) Ra适应0.3m/s (60ft/min) 以上的速度。

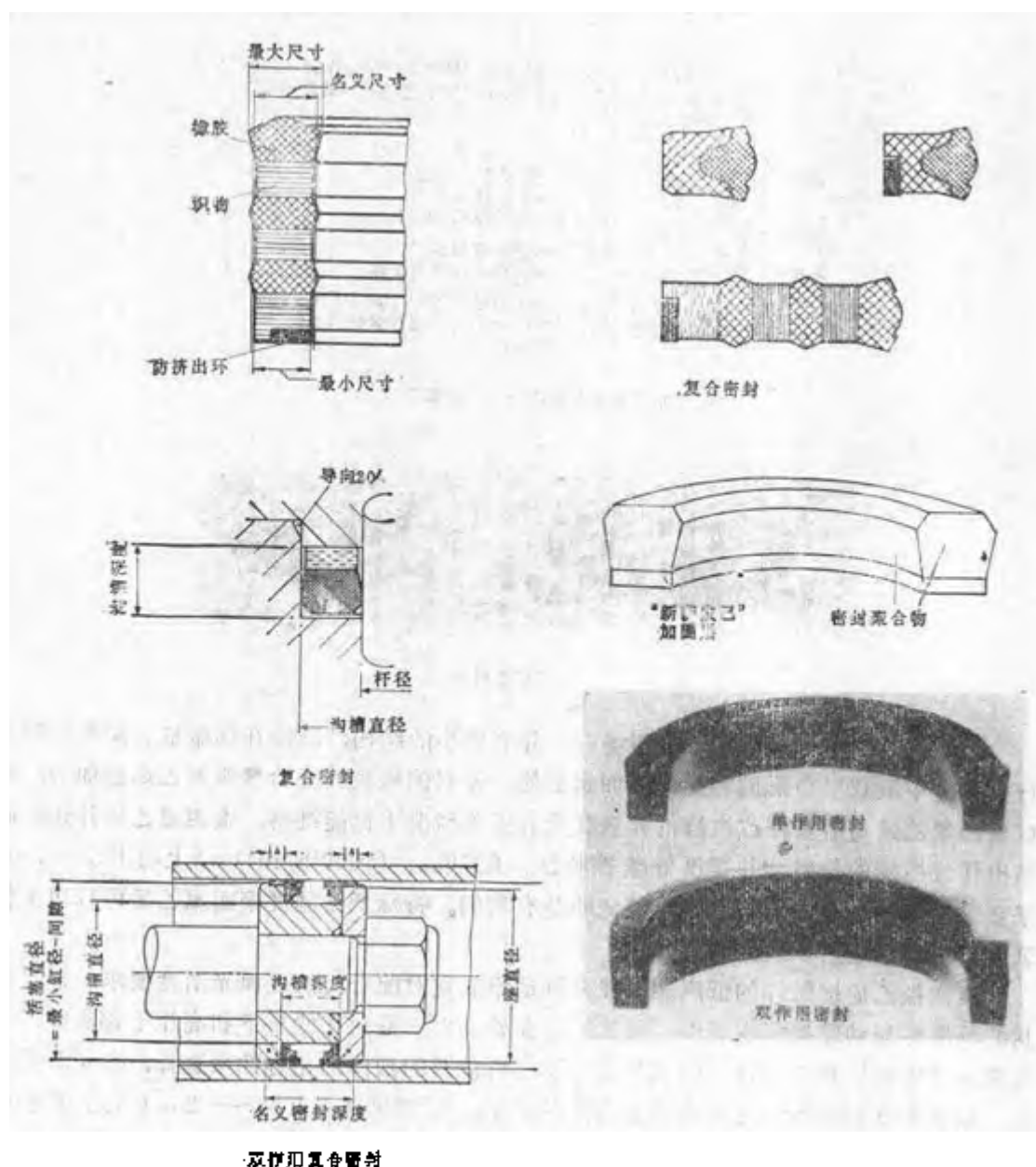


图 4

代尔塔密封圈包括两个聚醚树脂导向环和一个三角断面霍尔普伦合成橡胶密封件。在压力下，密封对导向环发挥楔形作用，减小缸孔与导向环之间的间隙，从而减少密封挤出的可能性。

装配按下述进行：

- (i) 把中央密封拉过活塞进入中央凹槽。
- (ii) 把开口导向环放到位置，倒角侧靠近中央密封。

标准材料与矿物油基液压油、水溶液及水乙二醇液相容。

特殊材料（乙丙橡胶或氟橡胶）可用于合成抗燃液体（即磷酸酯基液体）。氟橡胶密封圈要求沟槽改变。

表 1

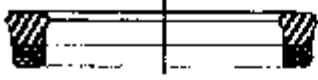
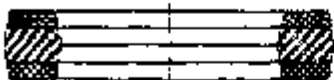
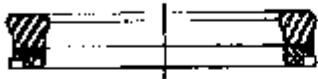
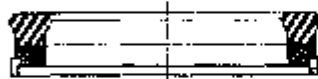
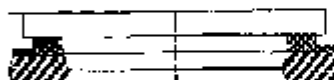
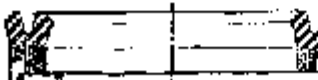
型 式	形 状	结 构	应 用
S11		单件橡胶圈, 一端承压 及物加厚层	往复运动单作用密封压力 高达 140bar (2000lb/in ²)
D11		单件橡胶圈, 两端承压区 物加厚层	往复运动双作用密封压力 高达 140bar (2000lb/in ²)
S113Q		类似 S11, 增加了弹性并 由尼龙或纤维材料制成出 环	单作用密封密封 适用于较高压力或较大 间隙工作
D11EO		类似 D11, 增加了弹性并 由尼龙或纤维材料制成出 环	双作用密封密封 适用于较高压力或较大 间隙工作
S11WO		类似 S11EO, 但带有取代 内环的 L 断面尼龙或聚脲 树脂防挤出—减磨损	要求很大间隙的单作用密 密封
D11WO		类似 D11EO, 但带有取代 内环的 L 断面尼龙或聚脲 树脂防挤出—减磨损	要求很大间隙的双作用密 密封
S11E1		类似 S11EO, 但防挤出环 在内径上	应用与不带槽密封, 但 更坚固的密封具有较小的摩 擦, 并且更能适应活塞与缸 之间的偏心
带槽 S11		类似 S11, 但承压面带槽	
带槽 S11EO		类似 S11EO, 但承压面带 槽	
带槽 S11WO		类似 S11WO, 但承压面 带槽	
带槽 S11E1		类似 S11E1, 但承压面带 槽	

表 II

名 称	形 状	最高额定压力		允许工作温度 (°C)	规 格		说 明 与 应 用
		(bar)	(lb/in ²)		英 制 (in)	公 制 (mm)	
巴马斯特 单作用		500	7000	-20至+110	20~140	0.75~6.0	活塞杆和一般缸室密封
巴马斯特 双作用		500	7000	-20至+100	40~200	1.5~3.0	适用于单作用或双作用活塞。 也有带槽部分支撑环和导向环
西尔马斯特 单作用		700	10000	-20至+110	15~500	0.15~30	密封活塞杆密封
西尔马斯特 双作用		700	10000	-20至+110	45~250	2~14	密封活塞杆密封，设计成 可与单作用西尔马斯特合用
巴西尔 单作用		400	2500	-20至+110	5~800		密封活塞杆密封，设计成 可与单作用巴西尔合用
巴西尔 双作用		800	5000	-20至+110	16~380	0.875~15	密封活塞杆密封，设计成 可与单作用巴西尔合用
O型圈		250	3500	-20至+110	50~250	2~8	单作用或双作用密封，包 括导向环

表 II 复合密封

名 称	形 状	最高额定压力		规 格		说 明 与 应 用
		(bar)	(lb/in ²)	(in)	(mm)	
单作用		350	5000	1	3	16~140 0.5~8.6 密封与活塞杆
单作用带防挤环		700	10000	1	3	15~200 0.312~3.500 密封杆
单作用带防挤环		700	10000	1	3	32~130 1~4 密封
双作用带防挤环		350	5000	1	3	20~110 密封
双作用		350	5000	1	3	0.75~3.000 密封
双作用带防挤环		700	10000	1	3	1.250~2.750 密封

(续)

名 称	形 状	最高额定压力		速 度		温 度		应 用
		(bar)	(lb/in ²)	(m/s)	(ft/s)	米制 (mm)	英制 (in)	
双作用带减磨环		350	5000	1	3	30~90	1.250~3.500	润滑
双作用带减磨环， 单件拆适用		350	5000	1	3	30~200		润滑
爱美科·德正用双 作用带减磨环		700	10000	1	3		2.00~3.000	润滑
爱美科·阿波罗单 作用		700	10000	1	3	25~150	H	接磨杆重载荷 封
爱美科·阿波罗双 作用		700	10000	1	3	65~250		低磨重载荷密封

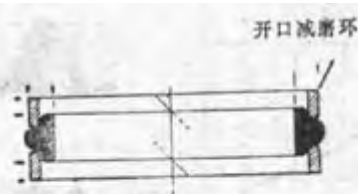
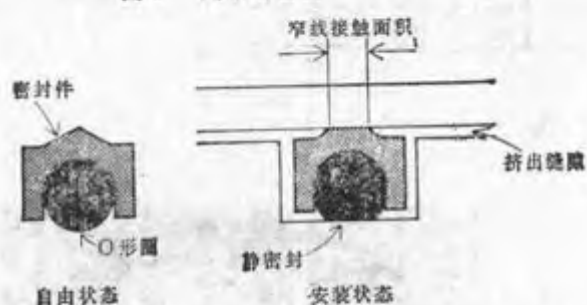


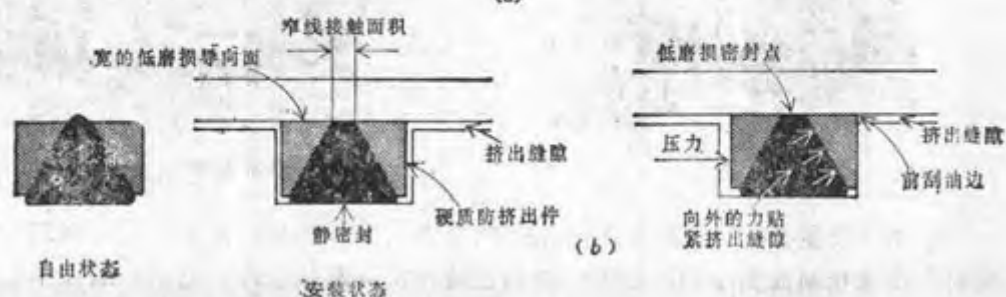
图 5 代尔塔密封



图 6 阿尔法密封



(a)



(b)

图 7

霍尔莱特—阿尔法密封圈(图6)是代尔塔密封圈的发展,最高额定压力扩展到315bar (4500lb/in²)。它有五部分——一个橡胶密封圈,两个聚醚树脂开口防挤出环,两个聚醚树脂开口导向环。

密封部分有坚韧的断面,生摩擦特性并不过分。由于防挤出环的支撑,阿尔法密封圈具有承受静态压力冲击的巨大能力。防挤出环这样设计,即密封受到内唇和外唇的保护,压力自紧时,这些唇都贴紧挤出缝隙。导向环的安装独立于密封部分,适用于很宽的应用范围。对于多数规格可得到两种导向环长度,但是如果有很大的侧载荷或者有“柴油机化”的可能性,则可以用重载导向环代替酚醛织物材料。

示于图7a的带帽密封圈是另一种简单的双作用密封,实际密封件是用聚酯橡胶或聚氨酯制成的,与普通O形圈组合。O形圈起对密封件弹簧加力的作用和静密封的作用。与此同时,密封件在O形圈受压自紧时,起防挤出件的作用。

类似的原理在坡里三角密封圈(图7b)中得到发展。密封是三角形断面橡胶圈配以硬质三角形支撑环。它们起防挤出件作用和刮油圈作用。由于防挤出件的硬度,坡里三角密封可以适应比普通密封更大的挤出缝隙,使它特别适用于采用非金属磨损环的活塞。还可以得到这种密封的一种带有包括在组件之内的导向环的方案。这种密封的工作特性示于图8中。

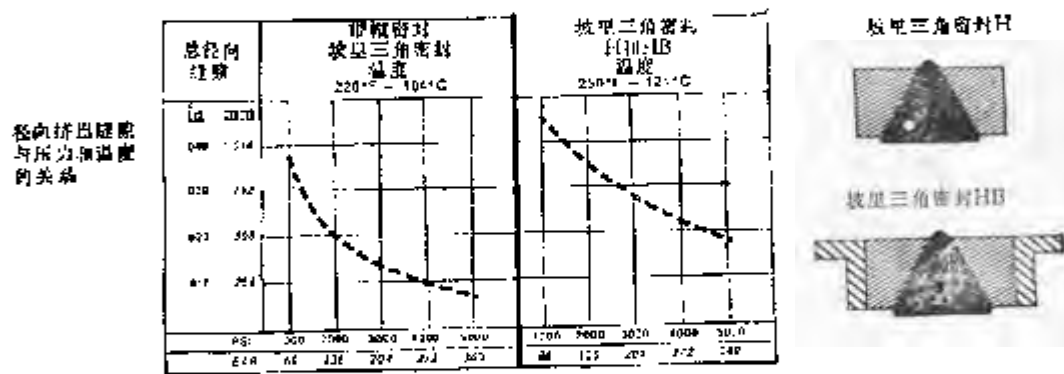
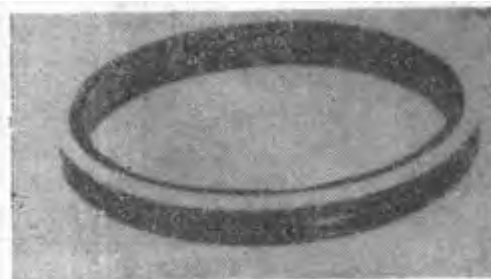


图 8



双作用密封



带聚醚醚酮加硬环的复合密封

维尔—坡里前克—巴西尔及其派生物是专门设计的复合密封系列,它以带织物加固层的模压橡胶断面为基础,根据需要加设防挤出环和减磨环。它们一般在不带防挤出件时,可适用于高达140bar (2000lb/in²)的压力,带防挤出环时,可适应更高的压力。

该系列包括许多不同的断面，见表 I 和表 II。

也是由坡里帕克发展的西尔马斯特（图 9）是一种超高载复合密封，专门用于非常高的压力和苛刻的工作条件。

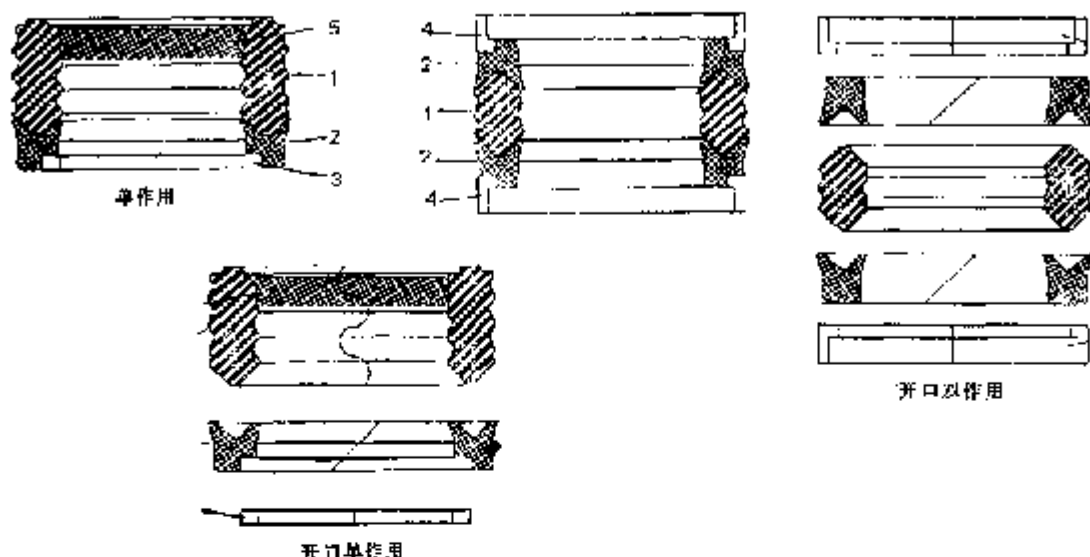


图 9 复合密封

1—橡胶密封唇；2—织物加固 V 形支撑环；3—尼龙防挤出环；4—尼龙减磨环；5—橡胶圈。

橡胶密封件设计成具有许多密封唇，内面和外面上密封唇交错，形成挠性的单体，它能在从零开始的压力下有效地密封，并能适应活塞杆与导向套之间或活塞与汽缸之间的相当大的偏心率。

挠性橡胶件由织物加固 V 形支撑环来支撑，单作用密封在一端支撑，双作用密封在两端支撑。它由一个聚脲树脂防挤出环或减磨环来加固。

另一种类似的复合密封系列是爱英科的产品，见表 III。

另一种常见的复合密封形式是以一个织物 U 形圈部分和一个橡胶部分为基础的，它可以看成是 O 形圈或 U 形圈的直接替代物，它具有比这两种基本形式都高的性能特性。把 U 形橡胶浸渍织物唇形圈与一个整体橡胶支撑环组合的原理，提供了低压下的良好密封性（即比普通 U 形圈好），在较高的压力下，由于加强了压力自紧作用，也有更好的密封性。整个密封断面比较稳定。

这也导致一组工业结构，例子见图 10，其中有些也包括防挤出件。这种密封可以是真正的复合（整体）结构，也可以是由分开的 U 形圈与 O 形圈组成的组合结构（后一种形式的进一步细节见挠性唇形密封一章）。

霍尔普伦流体密封系列是从一个橡胶 O 形圈与一个橡胶浸渍织物 U 形圈（单作用密封）或两个 U 形圈（双作用密封）的原始组合发展起来的。得到的两种结构示于图 11。陆续出现的其他霍尔普伦密封圈带有整体导向环（图 12）以减少活塞与缸孔之间粘着时的划伤。导向环的另一个优点是在密封高压时起防挤出件的作用。

霍尔普伦密封圈可在高达 700 bar (10000 lb/in²) 的压力下提供有效的密封性，但随压力的提高需要更高的表面光洁度并减小挤出缝隙。对于 70 bar (1000 lb/in²) 的压力 20

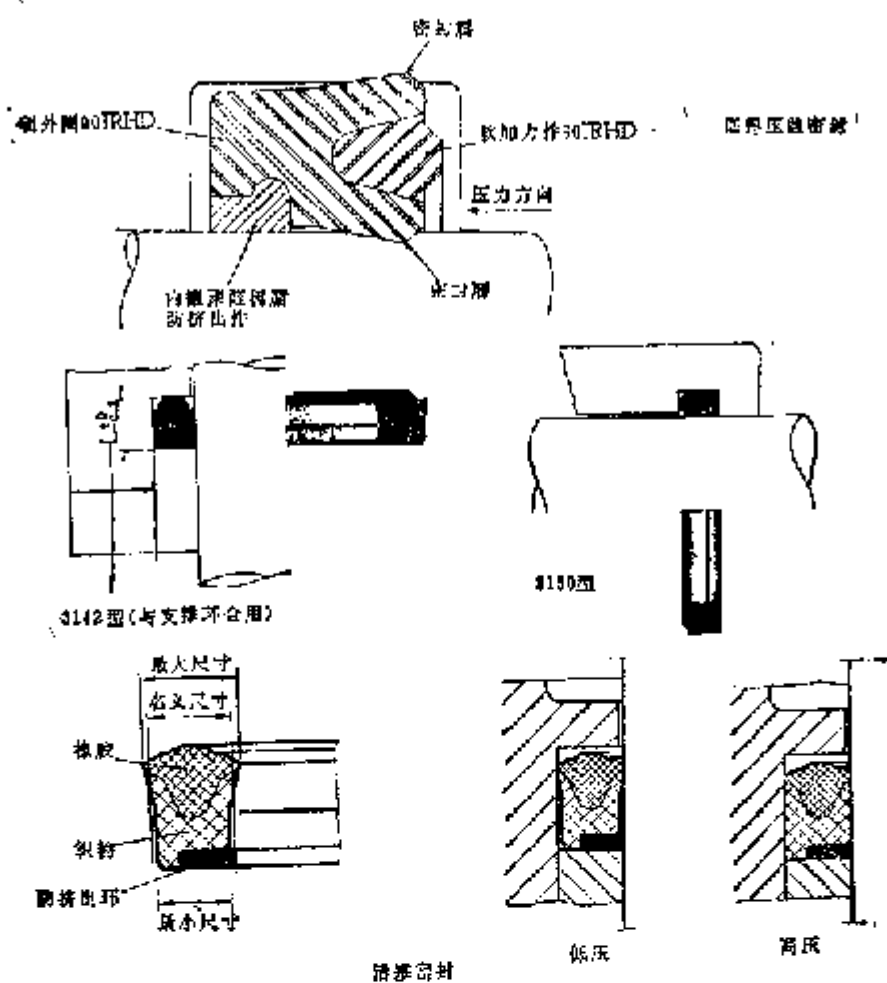


图 10

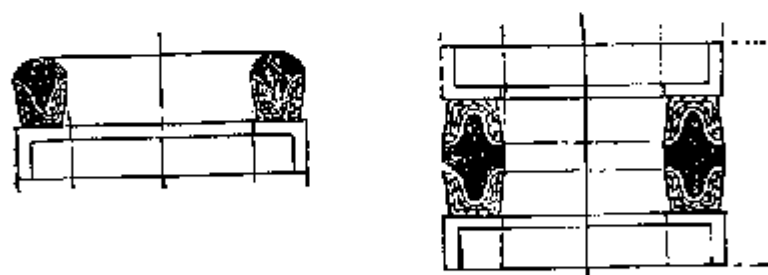


图11 单作用和双作用示意图

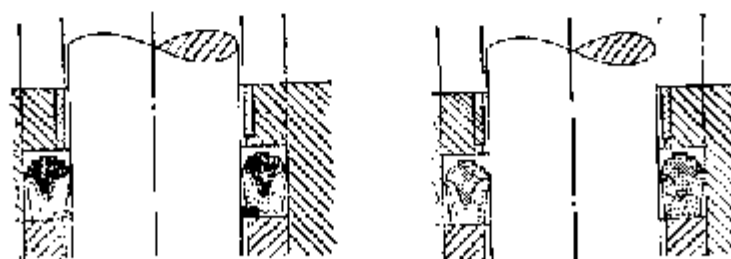


图12 带和不带支撑环的复合密封图

μinRa 的表面光洁度就可以了,但在较高的压力下为了得到良好的密封寿命将需要 $5\mu\text{inRa}$ 。

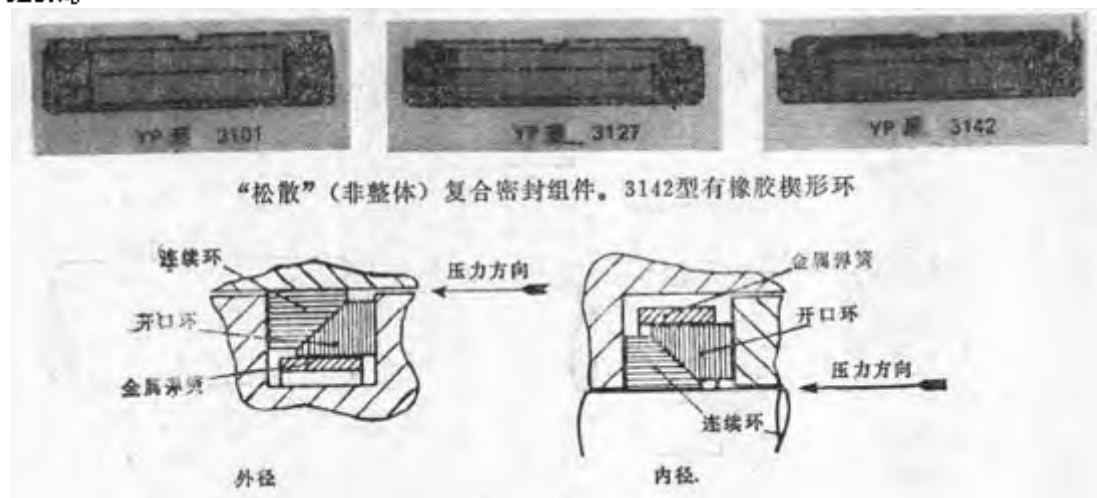


图13 H型楔形密封

何服楔形密封

何服楔形密封由两个聚四氟乙烯楔形件和一个金属弹簧组成,如图13所示。在施加足够的系统压力之前,金属弹簧对楔形件径向加力,推向轴、孔和侧壁,在不开口的楔形件上提供必要的密封力。

何服楔形密封是道蒂公司的专利性密封结构,用来代替工作在 200°C 以上的温度环境中的橡胶密封。这种密封的研制是为了在不超过约 138bar (2000lb/in^2) 的压力下,工作温度范围为 $-50^{\circ}\text{C}\sim+230^{\circ}\text{C}$ 的飞机燃油系统和发动机应用,并给出很低的滞变值。这种密封适用于压力单作用时活塞(外径)和轴(内径)静密封和动密封。

该密封组件的材料可与已知的所有燃油、润滑油及发动机润滑剂合用。

开口环密封

开口环密封基本上模仿制动的活塞环,它适于在比橡胶密封的可能温度高得多的温度下工作。它大多是金属环(而且又称为金属环密封),但对于无润滑场合及磨损摩擦最小时,由聚四氟乙烯或增强聚四氟乙烯制成的开口环引起越来越大的兴趣。它可作为往复密封,也可作为旋转密封使用。

开口环可以设计成外胀的(即向外弹力的),或者内胀的(即向内弹力的)。与单唇密封不同,二者都可用作内径密封或外径密封,形状不变。基本形状的三种主要方案画在图1上。

图1a是作为活塞密封(往复外径密封)工作的向外弹力密封。

该密封可以是单作用的或双作用的(如图所示)。

图1b是作为活塞杆密封(往复外径密封)的向内弹力密封。

图1c是作为转轴密封(旋转外径密封)的向外弹力密封。

还可以用在孔里而不是装在轴里的向内弹力密封作转轴密封(图1d)。但在这种

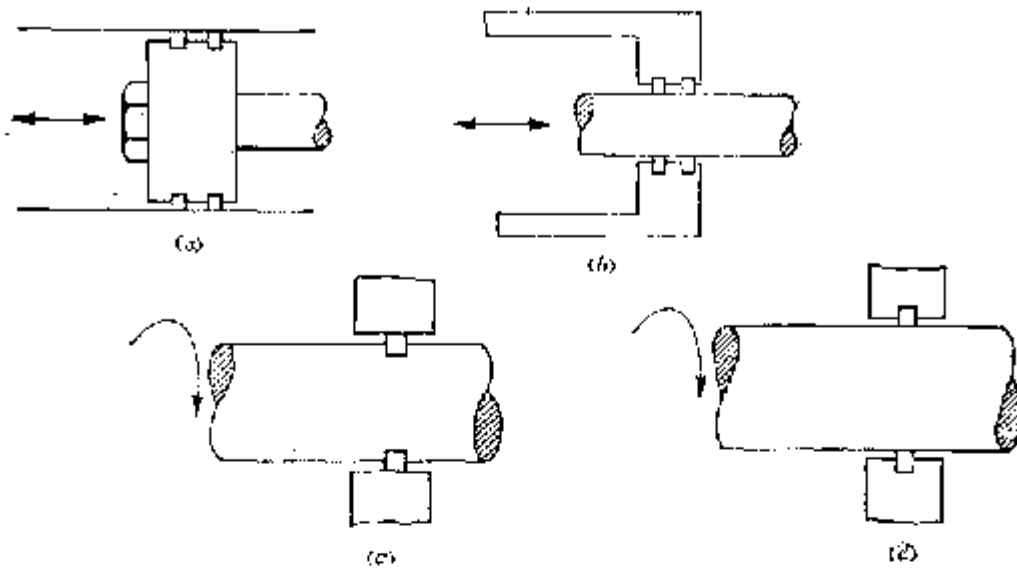


图 1

(a) 向外弹力的径向密封；(b) 向内弹力的径向密封；(c) 向外弹力的旋转密封；
(d) 向内弹力的旋转密封（通常不用）。

方案中，在高转速下离心力将把密封抬起来。

密封性能

一个环密封两个面，圆周面受固有弹簧压力（向外弹力或向内弹力）的预载，而一个侧面支承在保持沟槽上（图2）。后者可由流体压力或来自单独的弹簧或类似的机械手段的压力来保证密封性。应该强调指出，没有足够的侧压力，有可能泄漏，因为在其工作位置上环与沟槽底之间总有间隙。

通过单环圆周面间隙的泄漏，也是不可避免的，这取决于间隙的大小和形状。间隙大小要相称，使它装配后适应膨胀所需要的最小间隙。制造时间隙可正可负（即过盈），视环究竟是向外弹力，还是向内弹力而定。在向外弹力密封的场合，此间隙必须造成使装配应力和装配后应力平衡，通常要求环径向厚度3~4倍的自由间隙。在嵌于孔中的向内弹力密封的场合，正常间隙或过盈取决于所要求的收缩密封力。

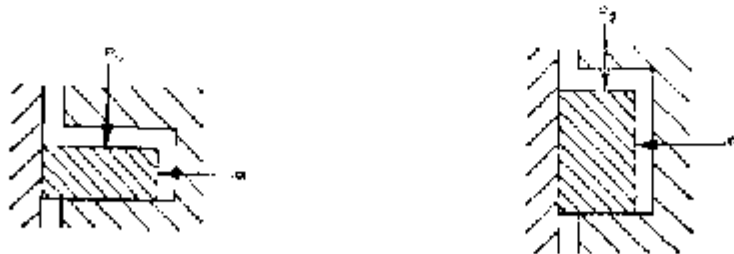
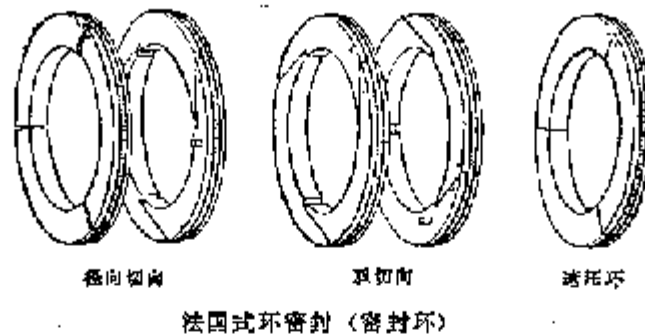


图 2

合缝间隙是个关键尺寸，因为它决定着泄漏途径的大小。对于液压应用，通常它为环直径的1/1000左右（例如每in直径为0.001in），但不得超过0.01in（0.25mm）。实际泄漏又仅取决于实际间隙，而且取决于被密封液体的粘度。在向外弹力密封的场



法国式环密封 (密封环)

合, 环或相配的磨台表面的磨损倾向于仅稍微加大间隙 (和泄漏)。在内向弹力密封中, 环内径的磨损将倾向于闭合间隙。如果此倾向继续下去直到间隙成为零, 将磨台面和密封在内径上形成泄漏。

向外弹力环在固有张力下密封外径, 固有张力是在装配后直径被压缩时注入环材料的。这种密封施加的面压强为

$$P = \frac{EG}{7.07 D \left(\frac{D}{t} - 1 \right)^2} \quad \text{lb/in}^2$$

式中 P —— 压强 (lb/in),
 E —— 弹性模量 (lb/in²),
 G —— 自由间隙 (in),
 D —— 装配后直径 (in),
 t —— 最小径向厚度 (in),

如果已知闭合密封所需要的切向载荷 (T) (图 3) 则

$$P = \frac{2T}{Db} \quad \text{lb/in}^2$$

式中 b —— 环与缸壁接触宽度 (in)。

如果已知闭合密封所需要的直径载荷 (Q) (图 4), 则

$$P = \frac{0.26Q}{Db} \quad \text{lb/in}^2$$

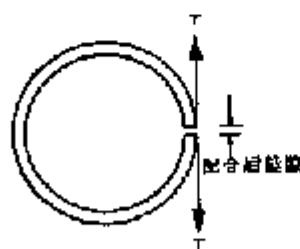


图 3

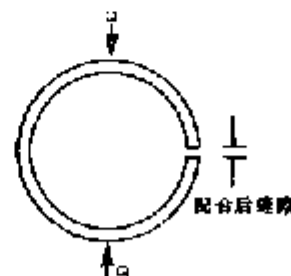


图 4

材料应力

环材料可能以两种方式受应力——一次是在装配时, 然后在装配后由于直径变化而受应力。应力大小由以下两个公式确定:

$$\text{最大装配时应力} = \frac{4(G-g)E}{3\pi D^2} \quad (\text{lb/in}^2)$$

式中 g ——先把环装到位而扩大的自由间隙增加量。

$$\text{最大装配后应力} = \frac{4GE}{3\pi D^2} \quad (\text{lb/in}^2)$$

环的选择

径向厚度 t 对环所产生的面压强有很大影响。用普通材料时, 该厚度在 $D/32$ 与 $D/22$ 之间, 以便使环越过本身的外径弹跳到位。较厚的环可能需要组合式活塞组件, 但将给出较高的密封压强。小于 $D/32$ 的厚度, 密封效果急剧下降。应该指出, 径向厚度和槽的深度还决定着密封环侧面的密封面积。

环的轴向尺寸在确定密封的工作载荷、磨合摩擦以及密封的贴合性方面是很重要的。如有必要可以用弹簧圈, 例如螺旋弹簧、片弹簧或蛇形弹簧来改善贴合性。螺旋弹簧撑胀圈是圆筒上限制的, 装在密封环背后的机械加工沟槽里。片弹簧撑胀圈装在沟槽底部。蛇形撑胀圈装在密封环背后的机械加工环形槽里。

环的接缝

最简单的环接缝形式是直口和斜口 (图 5)。实际上对于相同尺寸的环, 二者通常有类似的泄漏途径。它们用于允许有些泄漏的活塞密封, 但很少用于活塞杆密封。

阶梯接缝 (图 6) 在磨损可能比较高, 及可能大大降低汽缸的磨损时, 比较受欢迎。简单的矩形搭接阶梯的泄漏量与直口接缝差不多, 但斜口阶梯接缝的泄漏量小得多。不过, 在这种情况下, 环密封仅在一个方向上有效, 因此方向必须装对。而且制造费用较高。对于双作用密封工作情况, 必须在分开的沟槽中背靠背地装两个斜口阶梯环。

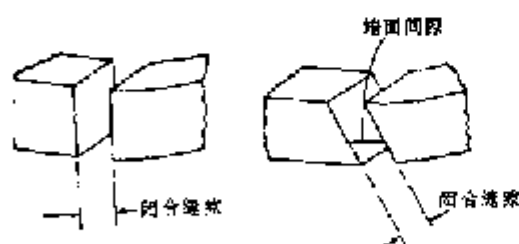


图 5

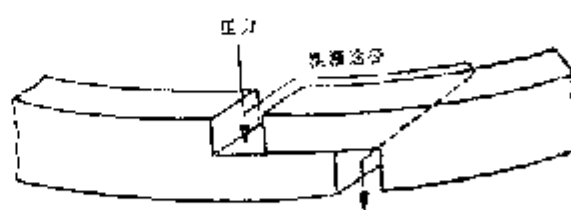


图 6

其他接缝可以用于特殊目的, 例如过盈接缝提供最小的泄漏途径, 但同时两个方向上密封同样有效。这种环生产费用比较高, 但如果环或汽缸在使用中磨损, 也可以设计成自动补偿的。

搭扣接缝 (图 7a) 用于要求限制自由状态的直径的环, 例如, 便于装配, 或限制膨胀, 以便于拆卸。它们最好用作单向密封。控制密封环的自由直径的其他方法是在组合组件中用 T 形断面或用保持环 (图 7b)。



图 7

两件密封

两件密封通常用于需要使泄漏保持最少的场合。典型的例子是用一个带有阶梯接缝的环和第二个带有直口接缝的同心环。两个接缝直径上相对。常用的方案是直口接缝用于向内弹力密封的外环（图8a）和向外弹力密封的内环（图8b）。

这种密封在两个方向上将密封得同样好。制造精度和表面光洁度对性能的好坏很重要。

两平口环密封的缝隙泄漏途径，可以通过在环的侧面包括一个阶梯接缝来改善。重要的是阶梯接缝的表面要精密配合，以保证有效的密封性。当密封倾向于对被密封的孔的中心线成一角度时（由于对中不良），两个环的组合外缘可弄成球面（图9）。



图 8



图 9

三件密封

三件环通常是一个整宽环和两个半宽环的组件，图10a表示一个向外弹力环，它由两个开口外密封环A、B和一个开口内环C组成。内环宽度等于两个外环的总宽度，它密封离压力最远的外环的接缝泄漏通道。当外环接缝错开时，没有轴向泄漏通道，而成角度的接缝防止它们对齐。

这种密封的一个缺点在于制造困难，为了防止外环径向尺寸的差异，让内环C的全部压力仅由一个外环来承受，因此，在另一个外环的背后留一个泄漏通道D。通过把外环的径向尺寸公差减小到0.002in，可以把这种泄漏减到最小。

三件密封是小直径密封的理想组件，可以制成尺寸小于25mm (1in)直径。

这种密封中的支承环可以是分段的，以便于更换磨损零件。这种方案是往复式活塞杆理想的收缩型密封。

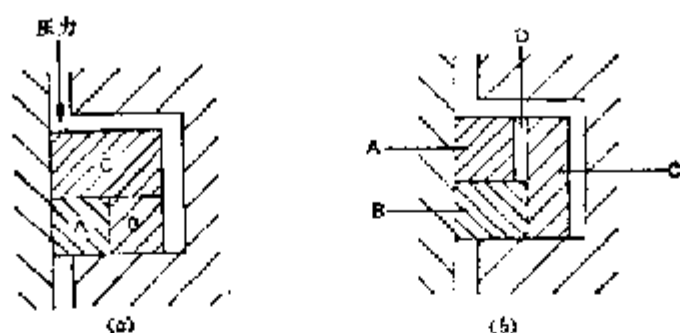


图 10

其他三件密封

为了克服标准三件密封在改变径向厚度时可能造成泄漏通道的缺点, 可以用带侧密封件的两件密封。它由一个带直口或斜口接缝的外环 *A* 和提供径向密封的背撑内环 *B* 组成。为了封闭轴向泄漏通道, 有一个侧密封件 *C*, 其径向厚度为内环与外环的总尺寸 (图 10 *b*)。

为了使整个密封仅在一个方向上有效, 必须把 *A* 件和 *B* 件同时研磨, 以保证其轴向宽度相等。

表 I 开口环密封的材料

金 属	抗拉强度极限		弹 性 模 量		说 明
	l/in^2	N/mm^2	$\times 10^{11} \text{lb/in}^2$	$\times 10^5 \text{N/cm}^2$	
灰 口 铁	16	250	15.5	109	一定程度的自润滑性和耐磨性
低合金铸钢	29	460	20.0	140	耐磨性
奥氏体铸钢 (耐腐蚀镍铬铁)	16	250	14.0	100	非腐蚀性
高合金铸钢	35	550	28.0	200	良好的耐热性
铸 铝 铜	33	470	30.0	216	高强度非金属材料
316 钢	35	550	15.0	105	在边界条件下良好的轴承性质
镍合金 (耐腐蚀铁 80)	45	700	32.0	229	耐腐蚀和耐腐蚀
镍基合金	50	800	30.0	210	耐腐蚀和耐腐蚀

材料

普通活塞环材料是开口环密封最常见的选择, 并且适用于工作在约 275°C 以下。对于更高的表面温度或者象耐腐蚀性等特殊要求, 可以用其他材料, 见表 I。为了提高性能也可以采用各种表面覆盖, 例如:

电镀: 为了耐腐蚀或者为了密封的研配。所用镀层包括镉、铜、铬、银和锡。

磷化处理: 为了耐腐蚀。

金属喷镀: 为改善耐热金属的防擦伤特性。

防摩擦覆盖: 聚四氟乙烯或石墨。

聚四氟乙烯开口环密封

聚四氟乙烯可以代替金属，给出极低的摩擦（甚至在干磨时），极好的耐化学腐蚀性，和 $-100^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$ 的工作温度范围。它的主要局限性是强度比较低和模量比金属大，不过这些性质可以通过填充玻璃、青铜、石墨等来改善。在设计聚四氟乙烯开口环密封（特别是与金属环组合）时应特别注意的一点是，聚四氟乙烯的膨胀系数约为铸铁或钢的 10 倍。

聚四氟乙烯的极限 PV 值（相当于 1000 小时内磨损 0.125mm (0.005in)) 为：

	$(\text{lb}/\text{in}^2) \times (\text{ft}/\text{min})$	$(\text{N}/\text{cm}^2) \times (\text{m}/\text{s})$
纯聚四氟乙烯	最大 1000	3.5
填充 15% 玻璃	3000	10.5
填充 40% 玻璃	8000	28
填充 60% 青铜	9000	31.5
填充 25% 石墨	4500	15.75

（填充百分比按重量计）

参见活塞环一章。

毛毡密封

毛毡是由纯羊毛纤维或与动物、植物及合成纤维混合联锁组成的一种织物。这种材料用作密封的历史很长，因为它有许多优良的特性，如它的沾油和吸油性，作为精细滤油器的有效性，以及回弹性。后者使毛毡密封在恶劣的条件下或磨损时，能够保持恒定的密封压强。另外，在磨损时毛毡密封的表面保持不变，就是说它不象许多其他材料那样磨光。

毛毡密封主要作为油或黄油密封，用在轴上以保持润滑剂，同时防止灰尘进入被密封系统。它们由毛毡板切成各种环形，以安装在沟槽或压盖里，或者装在壳体里，以便整体装配。也生产碗形或法兰形毛毡密封。球轴承密封切成适应机械加工沟槽。

毛毡密封通常预先浸饱粘度比轴承中所用者稍高一点的润滑剂。纯毛毡密封提供可靠的轴承保护，并提供一个储存润滑剂的手段，使它按需要利用。如果干运转，它们能保护并抛光而不是划伤轴，并且很少因为老化、脆化或分解而损坏。在正常的轴承温度和工作条件下，毛毡密封是很经济的，仅在机器大修时才需要更换。应该强调指出，这种密封不适于与粘度较低的油一起使用，或者保持有压润滑剂。

正确切割和正确安装的毛毡密封，在各种工作条件下和很宽的速度范围内都是有效的。通常最高磨合速度为 10m/s ($2000\text{ft}/\text{min}$)，但当轴硬而光滑，而且密封中有丰富的润滑剂时，可高达 20m/s ($4000\text{ft}/\text{min}$)。由于它的回弹性，毛毡密封保证密封与轴表面之间紧密接触而没有过分的压强。事实上必须避免过分压强，因为毛毡的结构会因压缩而改变或破坏。同样，如果过分拉伸，则毛毡结构也破坏，要求装配时小心。

毛毡密封通常在机器大修时更换，不管条件如何。如果大修比较频繁，密封沟槽设计者应该使更换容易。大修期较长时，可以要求按较短的间隔更换毛毡密封。

适用于毛毡密封的设计和安装的特殊事项为：

- (i) 安装时避免过分拉伸。
- (ii) 毛毡密封不得与轴配合过紧，保持件不得对毛毡施加过大压缩。
- (iii) 在通常的安装中，毛毡圈的高度应大于其宽度。这种比例减小密封变形，并使它可以把毛毡牢固地夹持在它的沟槽里。
- (iv) 当由于结构或尺寸的原因，环形毛毡密封不实用时，带状毛毡密封如果正确安装的话，可能是经济而有效的。不过，采用带状密封时接缝应为 30° 角的斜口，以便毛毡在沟槽中的压缩填满任何缝隙。

毛毡密封的温度范围通常为 $-50 \sim +120^\circ\text{C}$ ($-60 \sim +250^\circ\text{F}$)，不过合成纤维毛毡可能有 200°C ($+400^\circ\text{F}$) 的最高工作温度。毛毡的摩擦系数很低，对于在钢上磨合的干毛毡平均约为 0.22，当毛毡预先浸饱润滑剂时下降到 0.15。毛毡密封通常在安装之前浸饱润滑剂，它能吸收其体积 80% 的油。毛毡的毛细作用，也有助于该材料很好地保存润滑剂，所以经过较长的停机时间，毛毡密封也不会干掉。如果毛毡密封的确在干运转，它也不过是对轴有抛光作用，而不会把轴划伤。

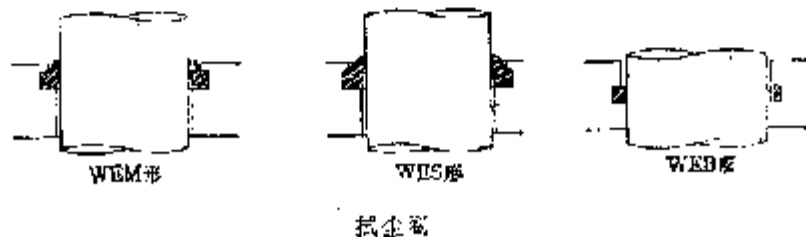
作为滤油器，毛毡密封能截留尺寸小到 $0.7\mu\text{m}$ 的颗粒。为了满足特殊要求，毛毡可以用若干种材料之一浸渍。链烷烃化合物、矿物或胶态石墨提高基本毛毡的耐磨性和耐泥浆性，提高它的耐高压润滑剂性，并降低它的摩擦系数。

拭尘圈和刮尘圈

拭尘圈和刮尘圈属于与滑动或往复运动合用的防护密封（或防护装置）。这两个词往往同义使用，但拭尘圈作用是和缓的，如象挠性材料的薄层所提供的作。刮尘圈作用比较强烈，如象挠性金属带那样的较硬的半刚性边缘所给出的作用。另一个差别在于，拭尘圈往往还起密封作用，而一个真正的刮尘圈很少甚至没有这种密封作用，虽然它的形状在清除表面污垢时可能产生密封效果。

最为人们所知的应用可能是活塞杆拭尘圈，它在内缩行程里保护气缸活塞杆，防止外界物质带入气缸内，拭尘圈在这种场合是包围活塞杆的环形结构。在这种情况下，它纯粹用作防护装置，而活塞任何必要的密封将由另一个压盖密封或活塞杆密封来实现。在其他应用中，拭尘圈可能用于沿直线或曲线表面运动，分别采用平直或异形拭尘片，也是为了清除表面的污迹。涉及到同样的工作原理，不过所用的拭尘圈断面和拭尘圈结构形式可能明显不同。

因此，究竟用拭尘圈还是用刮尘圈作活塞杆清洁装置，取决于它们的结构或作用，有的可能兼有强力拭尘和密封两种作用。此外，它们还可以称为拭尘圈密封或刮尘圈密封，



不过目的是防护装置,而不是密封装置。本质通常在于拭尘圈(或刮尘圈)的形状防止颗粒在拭尘圈附近或圈下堆积。这种装置并不试图形成防护和活塞杆密封的双重功能。为了后一目的,总是用一个单独的密封件。

矩形断面试尘圈

一个简单的矩形断面的毛毡、硬橡胶或任何半弹性材料,以预载安装,使它起简单的压缩密封的作用,在与它磨合的任何比较平坦的表面上将有拭尘作用(图1)。按表面前后移过拭尘圈面的正常运动考虑,拭尘作用在两个方向上将类似的。拭尘圈所提供的防止表面颗粒穿过的防护度,在很大程度上将取决于预载压力和拭尘面性质。后者可能吸收并保留颗粒,颗粒倾向于在拭尘圈边缘下滚动(例如油浸毛毡拭尘圈)或变形到一定程度,使拭尘圈可以完全压制住这些颗粒。预载压力增加,可以改善所提供的保护,但要以增加摩擦为代价。没有一种情况下的保护是令人满意的,而且就最终的表面划伤来说,磨料颗粒被断而截留往往比它们通过更糟。然而,这种形式的毛毡或其他拭尘圈确有其应用,不过对良好的拭尘圈断面而言,比较成熟的断面更受欢迎。

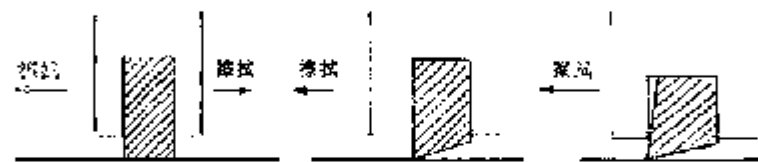


图 1

带斜角断面提供更为有效的拭尘作用。这将在一个方向上(正斜角)提高拭尘效率,在另一个方向上降低拭尘效率的影响。因而,从本质上说一个斜面使拭尘圈变成单向的,而且它作为拭尘圈的效率与所涉及的斜角直接有关(图2)。具体地说,试验表明斜角从零增加到 3° 左右时,拭尘效率急剧提高,斜角增加到 10° 左右时,效率稍有进一步提高。进一步加大斜角没有效果,相反,如果角度太大,则底部断面可能失去刚度,在拭尘作用下会变形或瘪塌。因此,为了从简单的拭尘圈断面得到最好性能, $4^\circ \sim 10^\circ$ 的斜角完全够了。

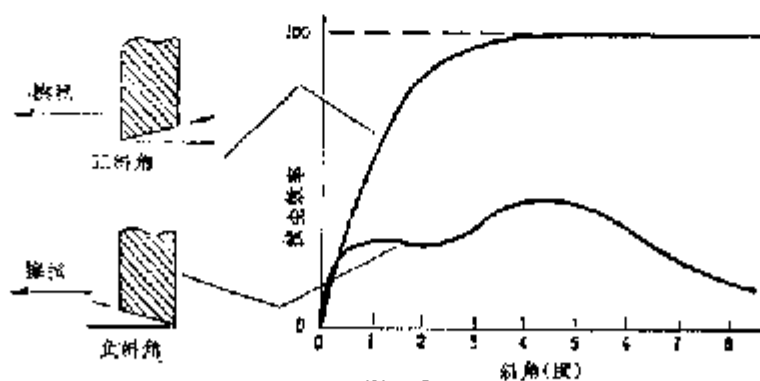


图 2

从这种形式的简单拭尘圈得到的满意性能,取决于为断面建立最佳预载和所涉及的材料。在纯矩形断面中,预载的增加通常将产生拭尘效率成比例的增加,但这可能还伴

随着很高的磨损。在斜角拭尘圈中，预载超过最佳值后再增加，可能表现出拭尘效率的下降和磨损增加。

在所有情况下，拭尘圈作用是在它所配合的表面上刮尘，不过实际上两个表面可能由一层具有显微厚度的油膜隔开。拭尘圈边缘越接近于真正的刀刃，则可以指望的刮尘作用越有效，然而，这样一个薄断面会受到严重磨损，除非这一点在设计中有所考虑。与此同时，唇式密封边缘必须有足够的弹性，以免破坏活塞杆上的油膜。

唇形密封拭尘圈

带槽或特殊形状断面（图3）的情况也是一样。这种断面形式表现出简单斜角拭尘圈的正斜角特性，但有意地追求更柔韧的足部，能在适中的预载下提供很高的拭尘效率。这避免了过份的摩擦，更重要的是避免了高预载可能引起的过份磨损。带有挠性合适的足部时，保持拭尘圈与表面接触所需要的预载可能仅有1~1.5lb/in拭尘唇长度（2N/cm）。然而，作为拭尘圈的实际性能，可能低于具有高得多的预载的简单斜角断面的性能，特别在低速下更是如此，不过再说一遍，在很大程度上取决于拭尘圈的材料。高预载下的高磨损率，可能使初始断面很快变形和改变，以致于其效率迅速下降。

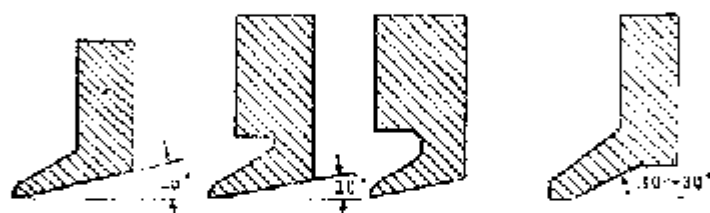


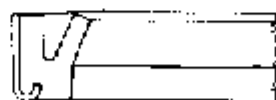
图 3

从设计和运转两个角度来看，一个挠性足断面通常比较受欢迎，因为它在最小的预载下是有效的。然而，为了防止运动或预载引起任何抬起作用，也为了保证接触面均匀磨损，需要比较强的引导缘。这可能要求用金属骨架或铝装加固基本模压断面，视拭尘圈的大小及其具体应用场合而定。

小环拭尘圈可能要求很小的甚至不需要加固，大的平直拭尘圈可能需要明显的加固，并要求刚性安装断面。在所有这些形式的挠性断面中，实际形状是支配性能的主要因素。



复合拭尘圈（左）和铝装拭尘圈（右）



金属包背拭尘圈

大多数缸杆用拭尘圈是带有半挠性足部和适度斜角的合成模压断面（图4）。这些只不过装在相配的沟槽里，而且基本上是单向拭尘圈。另外，如果需要的话，断面可以是双边的，以便在两个方向上都提供拭尘作用。铝装圈可用来装入敞端沟槽。

拭尘圈可以分成三类，即轻载、中载和重载（图5）。

轻载拭尘圈通常装于在户内工作的装置上，因此仅用来防止灰尘、尘埃和正常的工

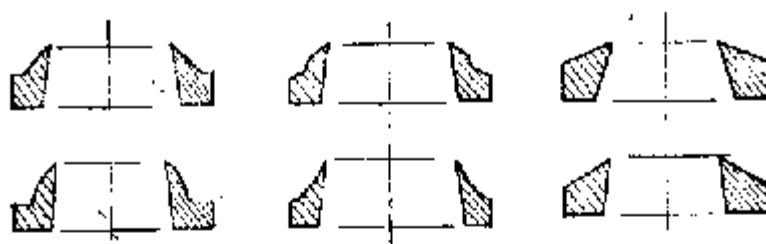


图 4

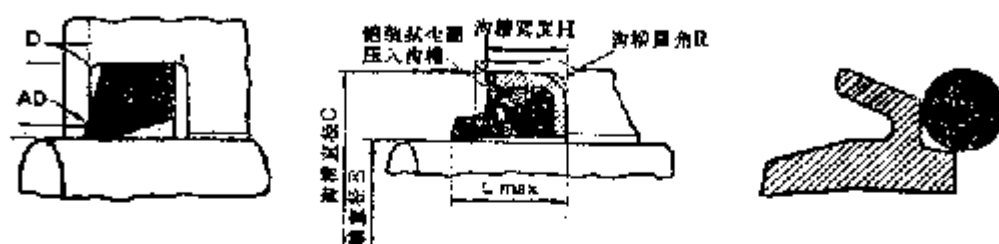


图 5 轻载(左)、中载(中)和重载(右)拭尘圈的例子



拭尘圈密封

厂环境中所遇到的污垢对密封和轴承的侵害。

中载拭尘圈由铝装硬橡胶或聚氨酯构成。其结构包括一个尖锐的拭尘唇，它将清除(除冰以外的)大部分污垢，并可压入敞口沟槽中。这种形式的拭尘圈最为流行，并且很有效。

在遇到侵入性更大的污垢，如冰和粘泥浆时，需要重载拭尘刮尘圈，如在土方机械上。一种重载拭尘刮尘圈包括一个硬质聚氨酯刮尘件，它与活塞杆轻微过盈配合，由普通O形圈支撑，以便绕刮尘圈外径和背面提供灰尘和蒸气密封。刮尘圈外径在其沟槽中有间隙，使组件在工作时可以浮动。这是为了适应活塞杆的任何偏心或不对中。因此，必须调查市场上的拭尘圈密封的形式，选择能给设备在正常工作环境中以较高的性能和可靠性的形式。

刮尘圈

大多数刮尘圈取(两个)锥形金属环与一个橡胶安装环装在一起的形式，见图6。环的锥度既有效地刮活塞杆表面，又把任何外界物质甩离活塞杆与环。通过在环上开槽，造成弹簧效应，并允许温度不同时膨胀收缩，保证可靠的接触。两个环槽口错开装在活塞杆上，同时由橡胶环的安装压缩来施加预载。此橡胶环还提供缓冲，并使整个组件有自调对中能力。具体的固定方法示于图7。

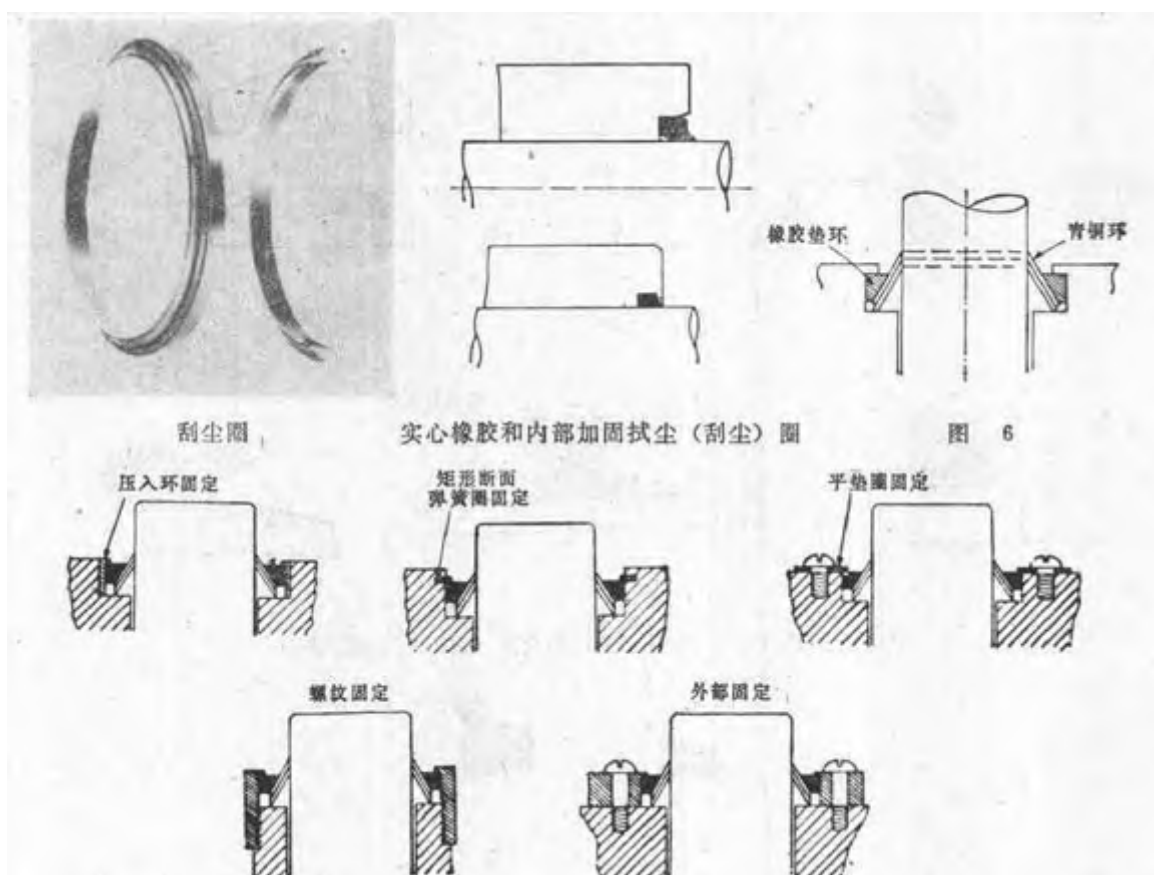


图 6

实心橡胶和内部加固拭尘(刮尘)圈

刮尘圈



图 7

刮尘圈密封

刮尘圈密封一词指简单形式的刮尘圈,其结构允许刮尘边有效浮动,以便在活塞杆有侧向运动或挠曲时保持与活塞杆接触。最后,唇部形状必须使环的导边所清除的物质落掉,而不能聚积在环或固定点周围,符合原始定义,密封圈是由比金属软的材料制成的。

一种现代刮尘圈密封的结构,示于图 8,是用聚醚树脂制成的,并设计成卡口固定于简单沟槽。有许多其他形式,往往称为刮尘拭尘圈或拭尘刮尘圈,基于比较主要的橡

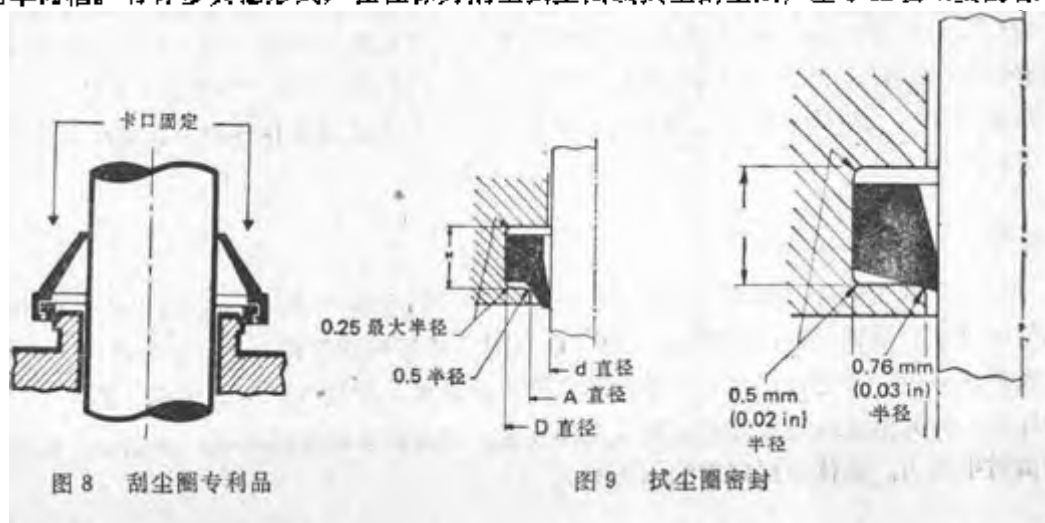


图 8 刮尘圈专利品

图 9 拭尘圈密封

胶断面, 例子见图 9。这些基本上是唇形密封, 有足以保持可靠的活塞杆接触的弹性, 同时有足以用刮尘作用清除较重的沉积物的韧性。它们通常设计成能在孔中加工的简单沟槽里弹跳就位。

材料

拭尘圈通常由硬度 80 度左右的耐油橡胶(如腈橡胶)模压。对于较重载荷, 硬度为 80~90 度的聚氨酯橡胶, 基本上是标准材料(特别是对刮尘拭尘环来说)。对于特别恶劣的工作情况, 也可以用填充玻璃的方法提高聚氨酯的机械性质。

毛毡拭尘圈用得比较有限, 特别当存在较多的磨料污染时更是如此。不过, 毛毡拭尘圈在这种条件下使用有较高的磨损率。

装配和预载

实现必要的预载, 通常不过是通过选择适当的拭尘圈尺寸(该尺寸是在活塞杆拭尘圈场合, 针对给定的活塞杆直径规定的), 并安装在一个具有适当比例的机械加工沟槽或孔里, 见表 I 和 I。这些尺寸的公差通常比密封中的公差要宽, 但通常连同专门的装配指导一起由拭尘圈制造商规定。当装入敞端孔时, 可以用一个铅装圈, 它可以简单地压到位。

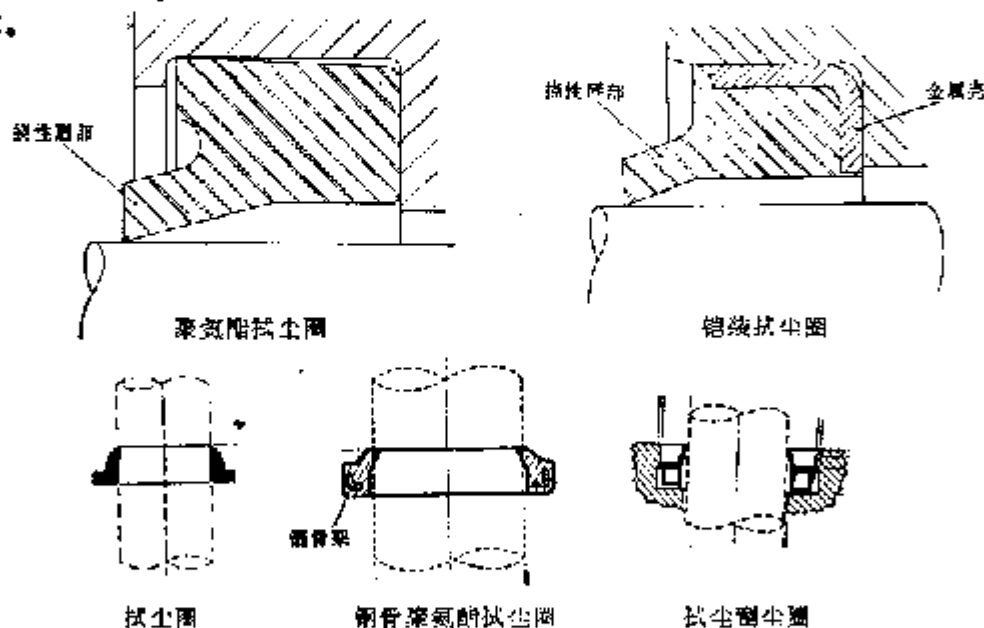
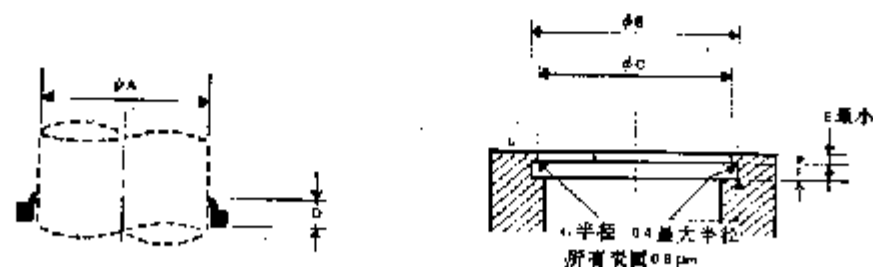


表 I CETOP[●] 缸杆尺寸 12~200mm 的典型拭尘圈及安装几何尺寸



● CETOP是欧洲液压气动委员会法文名称的缩写。

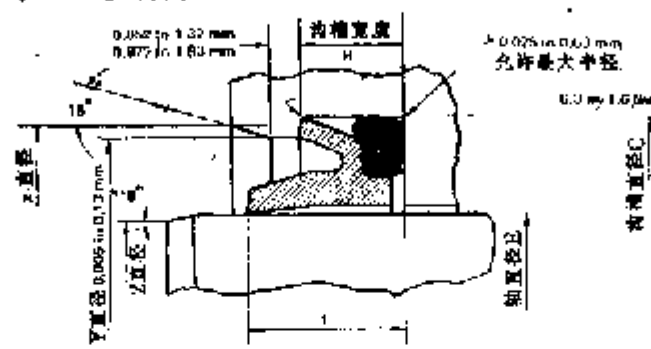
A	B 直径		C 直径		D	E	F		G
	最大	最小	最大	最小					
12	20.13	20.00	16.11	16.00	6	2	4.0	-0.0	0.50
14	22.13	22.00	18.11	18.00	6	2	4.0		0.50
16	23.53	23.00	19.13	19.00	6	2	4.0		0.50
18	24.13	24.00	20.13	20.00	6	2	4.0		0.50
20	26.13	26.00	22.13	22.00	8	2	4.0		0.50
20	28.13	28.00	24.13	24.00	6	2	4.0		0.50
22	26.73	26.60	23.53	23.00	7	2	5.3		0.50
22	30.13	30.00	26.13	26.00	8	2	4.0		0.50
22	30.76	30.60	26.13	26.00	7	2	5.3		0.50
25	33.16	33.00	29.13	29.00	6	2	4.0		0.50
25	33.76	33.60	28.13	28.00	7	2	5.3		0.50
28	36.16	36.00	32.16	32.00	6	2	4.0	+0.1	0.50
28	36.76	36.60	31.16	31.00	7	2	5.3		0.50
30	38.76	38.60	33.16	33.00	7	2	5.3		0.50
30	42.16	42.00	36.16	36.00	9	3	6.0		1.00
32	40.76	40.60	35.16	35.00	7	2	5.3		0.50
32	44.16	44.00	38.16	38.00	9	3	6.0		1.00
35	43.76	43.60	38.16	38.00	7	2	5.3		0.50
35	47.16	47.00	41.16	41.00	9	3	6.0		1.00
36	44.76	44.60	39.16	39.00	7	2	5.3		0.50
36	48.16	48.00	42.16	42.00	9	3	6.0		1.00
40	48.76	48.60	43.16	43.00	7	2	5.3	-0.0	0.50
40	52.16	52.00	46.16	46.00	9	3	6.0		1.00
42	50.76	50.60	45.16	45.00	7	2	5.3		0.50
42	54.16	54.00	48.16	48.00	9	3	6.0		1.00
45	56.76	56.60	48.16	48.00	7	2	5.3		0.50
45	57.16	57.00	51.16	51.00	9	3	6.0		1.00
48	60.16	60.00	54.16	54.00	9	3	6.0		1.00
50	60.76	60.60	53.16	53.00	7	2	5.3		0.50
60	62.16	62.00	55.16	55.00	9	3	6.0		1.00
55	65.76	65.60	58.16	58.00	7	2	5.3	+0.1	0.50
55	67.16	67.00	61.16	61.00	9	3	6.0		1.00
56	68.76	68.60	60.16	60.00	7	2	5.3		0.50
56	68.16	68.00	62.16	62.00	9	3	6.0		1.00
60	70.76	70.60	63.16	63.00	7	2	5.3		0.50
60	72.16	72.00	65.16	65.00	9	3	6.0		1.00
63	73.76	73.60	66.16	66.00	7	2	5.3		0.50
63	75.16	75.00	69.16	69.00	9	3	6.0		1.00
65	75.76	75.60	68.16	68.00	7	2	5.3		0.50
65	77.16	77.00	71.16	71.00	9	3	6.0		1.00
70	80.02	80.00	73.16	73.00	7	2	5.3	-0.0	0.50
70	82.02	82.00	76.16	76.00	9	3	6.0		1.00
75	87.22	87.00	81.22	81.00	9	3	6.0		1.00
75	87.42	87.20	81.22	81.00	12	5	7.1		1.25
80	92.42	92.20	86.22	86.00	12	5	7.1		1.25
80	98.22	98.00	92.22	92.00	12	4	8.0		1.25
85	97.42	97.20	91.22	91.00	12	5	7.1		1.25
85	101.22	101.00	93.22	93.00	12	4	8.0		1.25
90	102.42	102.20	96.22	96.00	12	5	7.1		1.25
90	106.22	106.00	98.22	98.00	12	4	8.0		1.25
100	112.42	112.20	106.22	106.00	12	5	7.1	+0.1	1.25
100	116.22	116.00	108.22	108.00	12	4	8.0		1.25
105	121.26	121.00	113.22	113.00	12	4	8.0		1.25
110	122.45	122.20	116.22	116.00	12	5	7.1		1.25
110	126.26	126.00	118.22	118.00	12	4	8.0		1.25
115	127.46	127.20	121.25	121.00	12	5	7.1		1.25
115	131.26	131.00	123.25	123.00	12	4	8.0		1.25
125	140.26	140.00	132.26	132.00	16	6	10.1		1.25
125	141.26	141.00	133.26	133.00	12	4	8.0		1.25
135	151.26	151.00	143.26	143.00	12	4	8.0		1.25
140	155.26	155.00	147.26	147.00	16	6	10.1	+0.1	1.25
140	156.26	156.00	148.26	148.00	12	4	8.0		1.25
150	165.26	165.00	157.26	157.00	16	6	10.1		1.25
150	166.26	166.00	158.26	158.00	12	4	8.0		1.25
160	175.26	175.00	167.26	167.00	16	6	10.1		1.25

(续)

A	B 直径		C 直径		D	E	F	G
	最大	最小	最大	最小				
160	176.25	175.00	162.25	160.00	12	4	6.0	1.25
170	186.25	185.00	172.25	170.00	12	4	6.0	1.25
180	200.25	200.00	190.25	190.00	16	8	10.2	1.50
180	200.25	200.00	190.25	190.00	16	8	10.0	1.50
190	210.25	210.00	200.25	200.00	15	5	10.0	1.50
200	220.25	220.00	210.25	210.00	16	8	10.2	1.50
200	220.25	220.00	210.25	210.00	16	5	10.0	1.50

所有尺寸单位是mm

表1 重或拭尘刮尘圈的典型拭尘圈及安装几何尺寸

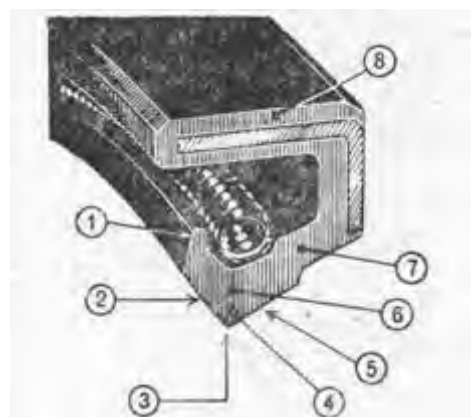


轴直径E		沟槽直径C		沟槽宽度		轴直径	轴直径	轴直径
Max mm (in)	Min mm (in)	Max mm (in)	Min mm (in)	1	H	Max mm (in)	Min mm (in)	Y mm (in)
12.70 (0.506)	10.52 (0.405)	22.51 (0.885)	22.90 (0.901)	5.61 ± 0.25 mm 0.221 ± 0.010 in	5.10 ± 0.2 mm 0.200 ± 0.008 in 0.200 ± 0.008 in	17.88 (0.704)	22.55 (0.887)	20.70 (0.815)
15.87 (0.625)	13.47 (0.531)	25.78 (1.015)	26.01 (1.026)			14.86 (0.585)	25.40 (1.000)	20.75 (0.813)
18.55 (0.730)	16.92 (0.666)	28.96 (1.140)	29.21 (1.150)			18.03 (0.710)	28.70 (1.130)	27.05 (1.065)
22.22 (0.875)	20.19 (0.795)	32.13 (1.265)	32.38 (1.275)			21.21 (0.835)	31.75 (1.250)	30.10 (1.185)
25.40 (1.000)	23.11 (0.910)	35.45 (1.395)	35.10 (1.380)	10.02 ± 0.25 mm 0.394 ± 0.010 in	9.43 ± 0.2 mm 0.371 ± 0.008 in 9.25 ± 0.10 mm 0.364 in	24.40 (0.961)	33.69 (1.326)	35.09 (1.381)
28.57 (1.128)	26.27 (1.035)	41.02 (1.615)	41.27 (1.625)			27.18 (1.070)	40.64 (1.600)	38.73 (1.525)
31.75 (1.250)	29.50 (1.161)	44.20 (1.740)	44.45 (1.750)			30.25 (1.191)	43.94 (1.730)	42.14 (1.659)
34.92 (1.375)	32.67 (1.286)	47.37 (1.865)	47.62 (1.875)			33.53 (1.320)	46.99 (1.850)	45.03 (1.775)
38.10 (1.500)	35.85 (1.410)	50.55 (1.990)	50.80 (2.000)			36.70 (1.440)	50.29 (1.980)	48.39 (1.905)
41.25 (1.640)	39.00 (1.535)	53.70 (2.115)	53.95 (2.125)			40.05 (1.575)	53.59 (2.110)	51.74 (2.035)
44.40 (1.750)	42.15 (1.659)	56.85 (2.239)	57.10 (2.249)			43.40 (1.709)	56.89 (2.239)	55.14 (2.171)
47.55 (1.875)	45.30 (1.783)	60.00 (2.362)	60.25 (2.375)			46.75 (1.837)	60.19 (2.375)	58.44 (2.301)
50.70 (2.000)	48.45 (1.907)	63.15 (2.485)	63.40 (2.500)	10.00 ± 0.25 mm 0.394 ± 0.010 in	9.43 ± 0.2 mm 0.371 ± 0.008 in 9.25 ± 0.10 mm 0.364 in	50.00 (1.969)	63.39 (2.500)	61.74 (2.431)
53.85 (2.120)	51.60 (2.031)	66.30 (2.606)	66.55 (2.619)			53.15 (2.092)	66.59 (2.619)	64.99 (2.559)
57.00 (2.244)	54.75 (2.156)	69.45 (2.729)	69.70 (2.744)			56.30 (2.217)	69.79 (2.744)	68.24 (2.687)
60.15 (2.368)	57.90 (2.280)	72.60 (2.854)	72.85 (2.869)			59.45 (2.341)	72.99 (2.873)	71.49 (2.811)
63.30 (2.490)	61.05 (2.398)	75.75 (2.980)	76.00 (2.992)	10.00 ± 0.25 mm 0.394 ± 0.010 in	9.43 ± 0.2 mm 0.371 ± 0.008 in 9.25 ± 0.10 mm 0.364 in	62.60 (2.465)	76.19 (2.992)	74.74 (2.942)
66.45 (2.614)	64.20 (2.528)	78.90 (3.106)	79.15 (3.117)			65.75 (2.588)	79.39 (3.129)	77.99 (3.071)
69.60 (2.736)	67.35 (2.650)	82.05 (3.229)	82.30 (3.240)			68.90 (2.713)	82.59 (3.251)	81.24 (3.198)
72.75 (2.858)	70.50 (2.774)	85.20 (3.354)	85.45 (3.368)			72.05 (2.837)	85.79 (3.377)	84.49 (3.331)

第 2C 部分 油 封

人们为轴用油封发展了一种几乎是标准形式的唇形密封件，用来密封 0.3bar (5lb/in²) 左右的低压。进一步发展的形式可用来密封高压，而某些类型，也可以用于活塞杆上的往复密封或行程很短的运动。

弹性体油封的基本形式示于图 1，它在密封部位提供很窄的接触面积。密封性能在很大程度上取决于在密封件与轴的分界处保持适当的单位载荷。用装配时的预加载荷（即密封件的自由内径是一种“过盈配合”），或者更常见的用一定程度的预加载荷和由一个箍紧弹簧施加的机械压力一起，即可做到这一点。整个断面通常还带有一个金属加强件，此加强件或者呈金属壳的形式，弹性件装在壳里面（或以它为骨架），或者组成一个金属埋入件，与弹性圈模压成一体，见表 1。



- 1—尖深的边缘可以很好地保持润滑；
- 2—较大的迎面角使密封唇口正好处于弹簧之下；
- 3—在密封部位唇口接触；
- 4—密封部位用较大的包角加厚以抵抗局部变形；
- 5—密封唇口唇口边缘的间隙；
- 6—这样加厚，以防止在负载下变形；
- 7—弹性体；
- 8—加制表皮使得在孔中的配合，不漏液体。

图 1 油封的类型形式及技术器

对断面形状的要求被比较好地标准化了，结果使单唇口油封的形式普遍类似。实际接触部位，即唇部近似于一个刀口，或者可能真是个刀口。在断面的敞开侧，通常采用较大的迎面角，以使密封唇口正好处于弹簧之下，密封唇口的另一侧有稍小一些的角度，以提供足够的间隙。这两个面之间的较大的包角是希望的，以便加厚断面，抵抗载荷下的局部变形。而前底断面一般则是松弛的，以赋予挠性。

密封是靠密封唇与轴之间的流体动力油膜的表面张力实现的（图 2）。最佳油膜厚度为 25μm (0.001in) 左右。任何较大的油膜厚度倾向于促进泄漏。任何较小的油膜厚度，则增加摩擦和磨损。因此，为了给密封件提供润滑，最重要的是一个一致的油膜的连续存在。同样重要的是，当保持油膜的弯月面未被破坏时，必须保持油膜的一致厚度，以保持它作为密封的有效性。

实际上意味着在极小的接触带处轴的表面光洁度必须很高。划痕及其他表面缺陷能造成油膜局部加厚及破坏的结果，从而使密封泄漏。表面粗糙可能使尖峰穿过极薄油膜的表面而造成与密封唇口本身的干接触，从而产生很大的磨损。另一方面，表面加工过于光滑，可能妨碍油膜在轴上的润湿和保存。一般建议轴表面光洁度为 0.25~0.5μm (10~

表1 旋转轴油封的典型种类

种 类	典型结构	备 注
不带金属骨架的唇形密封		靠橡胶材料弹性力。多用于较粗（即直径75mm（3in）以上）的轴
带埋入金属骨架的唇形密封		供一般用途的几乎是标准的形式
带金属笼的唇形密封		这类带无结构用在密封沟槽与密封件宜为金属对金属接触的情况
重载唇形密封		这类结构适用于苛刻的工作条件。某些设计可能包括附加的防尘唇口
动压唇形密封		各种结构带有正压密封作用（即“面液”密封作用）。比平唇密封优越，因为高速并应旋转和偏心
抽气防尘密封		带有起防尘密封作用的副唇的正作用密封

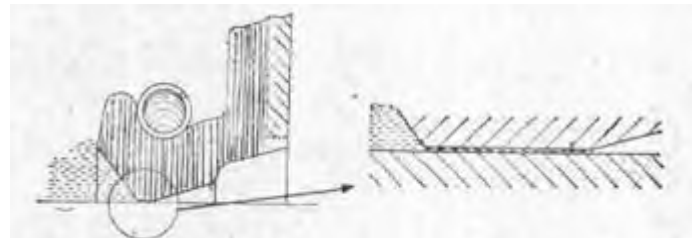


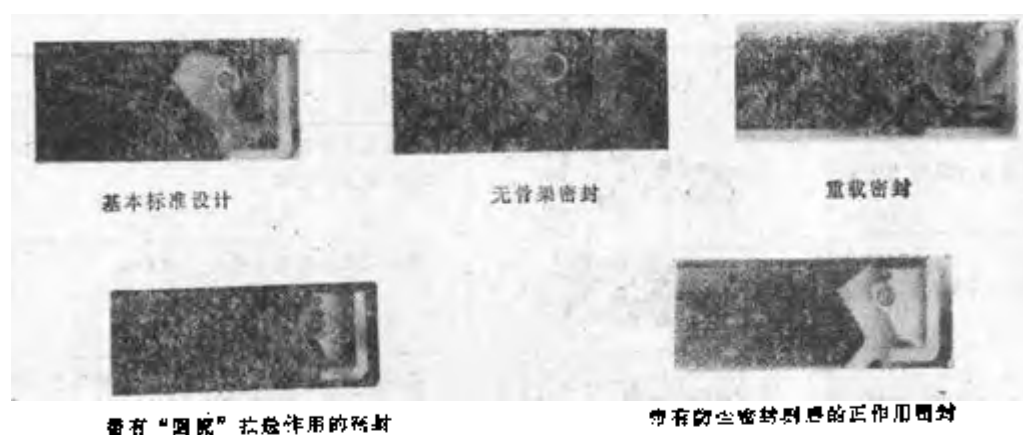
图 2

20 μ m)左右,具有促进油液保存的表面痕迹(见后面磨损一节)。

金属屑、灰尘或油液中含有的(或在一定环境下由外界侵入的)其他磨粒物质的存在,可能造成类似的效应。因此,从根本上说,简单唇形密封的理想性能(即可以忽略的磨损和可靠的密封)有赖于清洁的油液。根据环境的不同,可以通过过滤或经常换油做到这一点。

用清洁油液时,也能出现同类的故障,颗粒产生于油液本身的变质。当密封摩擦过大,引起油膜过热,油膜随碳化颗粒的形成而破坏时,就可能发生这种情况;系统中油液过热有同样的效果。在后一种情况下,重要的是要注意到,可能在油封处引起故障的破坏颗粒一般很小,普通的纸芯或毡芯滤油器,不能把它们滤掉。

几乎所有这类密封件都靠适当的箍紧弹簧的压力在密封唇口处提供足够的径向载荷。通常所用的弹簧是一个简单的闭圈拉伸弹簧,它特别匀称,当拉伸到它的正常工作长度(即它在密封件装配后的实际长度)时,它提供所需的或设计的载荷。弹簧设计和



油封几何形状因不同用途而变异的例子

制造可能是个关键因素，因为弹簧刚度与（簧丝直径）⁵成正比而与（螺圈直径）⁶成反比，以致于这两个尺寸中任何一个的微小变化都能引起弹簧刚度显著变化。此外，特性不同的螺旋弹簧，也提供了一种改变唇口开口压力和径向载荷的方法。

油封的正常安装方法是敞开的一侧即露出弹簧的一侧面向被密封容积，虽然有些例外情况。当以一定的直径过盈量进行原始安装时，密封唇口将与轴紧密接触，而如果是一个真正的刀口，还可能稍有变形。因此，轴的最初旋转将引起一段时间的磨损，直到密封唇口下陷成一定的接触带为止。与此同时，在唇口下面将形成油膜，把唇口浮起。唇口下陷通常是在短时间内形成的，其间摩擦力一般从较高的原始值很快地下降到较低的恒定值，一般来说，为普通密封的原始值的50%左右，见图3。

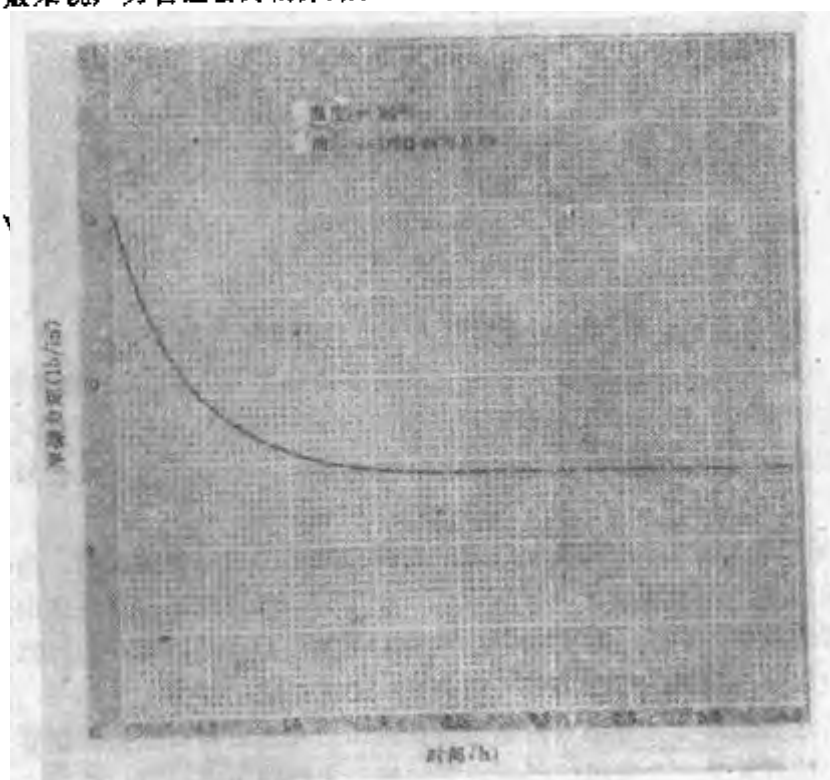


图3 直径75mm的轴用的材料等级SE70的典型标准油封在1600r/min下的摩擦力矩

摩擦力和速度

摩擦力明显地取决于摩擦速度。对于大直径油封来说, 摩擦力随速度提高而加大的趋势要比小直径更明显(见图4)。

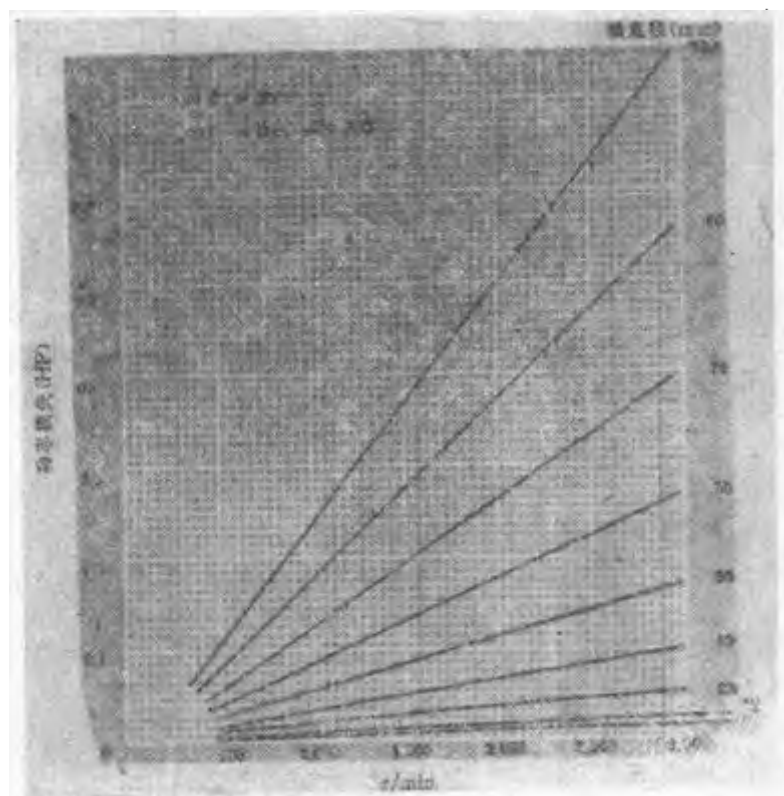
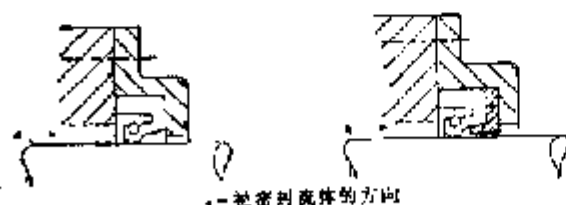


图4 轴转速对材料等级B70的标准M2油封的摩擦功率损失的影响

通常针对具体形式的油封或油封系列的圆周速度加以限制, 并且认为低于这个限制的任何摩擦速度都是允许的。一般来说, 这个限制为18m/s (3500ft/min) 左右。在这方面应该估计到, 当轴的尺寸较小时, 实际转速应与圆周速度一起考虑, 而且对于标准油封, 通常不希望超过下列转速值:

直径小于30mm (1 1/8 in) 的轴	7000~8000r/min
直径60~75mm (2 1/8~3 in) 的轴	3000~4000r/min



针对额定压力而安装的油封(左图)和针对0.21MPa以上压力的带支撑环的油封(右图)

对于轴直径中间值的额定限制, 可用内插法来估算。对直径大于75mm (3in) 的轴, 转速限制完全可以根据圆周速度来估算。图5给出各种轴直径和转速下摩擦速度的快速解法。

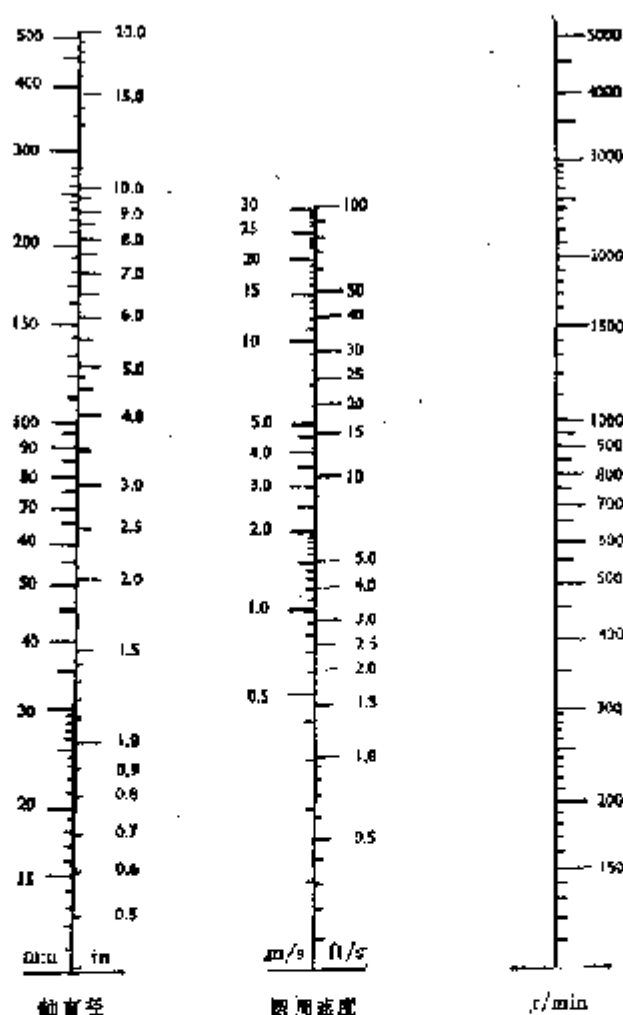


图6 圆周速度选择图

对于低速和中速应用场合，宜用带有较宽唇口的形状稍有变化的油封。这种油封的许用最高圆周速度较低。类似的较低速度限制通常也适用于为承受高于（普通油封的额定特性） $0.3 \sim 0.75 \text{ bar}$ ($5 \sim 10 \text{ lb/in}^2$) 的内压而设计的唇形密封。

应该指出，虽然表面精加工和圆周速度二者都是影响密封圈磨损和寿命的关键因素，但是二者之间没有直接的关系。就是说，抗磨损性取决于对光滑表面精加工的特殊要求，而与圆周速度无关。降低圆周速度并不能抵销表面粗糙度的影响，而对于橡胶圈来说，如果表面精加工粗于 $0.5 \mu\text{m}$ ($20 \mu\text{in}$)，则在任何速度下都无法避免磨损。适应这个数量级的表面粗糙度的唯一方法，是采用象皮革之类的比普通橡胶更耐磨的材料。

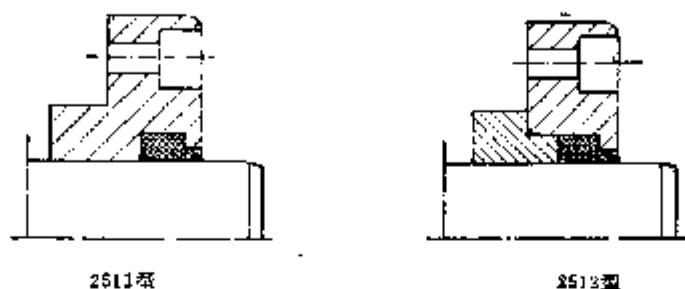
当油封用于往复运动面不是旋转运动时，通常需要带有较薄唇口的形状稍有变化的油封。在这种场合，油封制造商通常规定表面速度限制，其典型数值为 0.2 m/s (40 ft/min)。

双唇口密封

某些油封的断面设计成带有各种形状的双唇口。这类油封包括把第二唇口用作辅助

防尘密封的，和在轴向两个方向提供相等的密封效果的背靠背断面或复式油封。用于此任务的复式单个油封的优点是，它可以做得比背靠背安装的两个单唇口油封更紧凑。

替代的方案包括采用与普通油封断面结合或包括在其中的防尘罩、防尘圈、弹性垫圈和类似装置。其中最有效的大概是抛物圈，它装在轴上，因此随着轴转动。于是，离心力倾向于把到达抛物圈的任何脏物向外甩掉，使之不能接近油封本身。把抛物圈外缘在油封安装沟槽以外向后翻，还可以提供进一步的保护。



防尘圈



弹簧加载的唇形密封。(a) 合成橡胶部分；它以夹布橡胶 (b) 为骨架；(c) 不锈钢弹簧。

在某些情况下，当涉及到很大的油液流量时，邻近油封内侧装在轴上的抛物圈能进一步利用。它用来把大部分油液流动改变方向，使之离开油封唇口，从而减轻油封适应过多油液的负担。在这种情况下，油封仍得到充分润滑，因为润滑有液动力油膜来维持，并被截油和油雾所加强。只是在油封确实在这段时间里得不到润滑（比如在起动时或在油液循环形成之前）的场合，才可能需要通过黄油杯或单独供油提供辅助润滑，但也不总是如此，因为停车时保存的残留润滑剂，也许足以在重新起动而尚未恢复正常的油液循环之前提供润滑。



带“前送”作用的径向唇形密封（油封）

对于在苛刻条件下的工作，可以用靠箍紧弹簧径向加载的帽形皮革圈代替普通的模压橡胶圈。皮革密封件的独特优点是，它能比橡胶件更好地承受表面粗糙度，甚至磨料性颗粒的影响。此外，唇口不容易在装配时被花键或键槽损伤，因此可以比较粗心处理。

皮革密封唇口具有极好的柔性, 并能在粗糙度大至 $1\mu\text{m}$ ($40\sim 45\mu\text{in}$) 的表面精加工状态下, 以最小的磨损提供良好的密封。主要的局限性在于, 允许的最高圆周速度为 7.5m/s (1500ft/min), 最高工作温度为 80°C 左右。此外, 摩擦力显著大于普通的唇形密封。不过, 它可在磨料性条件下使用, 并可与普通过封中联作为防尘圈使用。在工作于粉尘条件下的其他设计中, 皮革圈可以装进与普通橡胶注封相同的沟槽内。

高压油封

当普通油封承受较高压力时, 油封截面会变形而显著地改变它作为密封件的性能。主要变形发生在唇部, 导致较大的接触面积, 从而导致较大的摩擦。其密封性也会受到不利影响。

一种加强形的基本油封, 可以用于高达 7bar (100lb/in^2) 的压力。用一个形状合适的刚性支撑环 (图6) 或把油封断面主体装进一个刚性金属壳, 即可提供加强。对于压力更高的工作, 通常采用结构完全不同的密封 (例如面密封)。

当密封件的工作压力高于正常压力时, 常规的压配合可能不足以防止密封被挤出沟槽。必须采取某种方法, 在低压侧保护密封件, 除非密封件被装在高压侧带肩端的沟槽中或在高压侧由肩环支撑。



图6 带支撑环的油封

“正向作用”油封

新结构的油封不断出现, 旨在进一步提高性能。这些油封很难归为一类, 因为它们大多数结构独特, 但包含某种“正向作用”即自动补偿对普通油封性能产生不利影响的状况。许多这类油封是以动液抽送效应为基础的。

例如, 大家知道, 在一定的条件下, 处于密封区内的轴表面上的哪怕是最小的划痕或损伤痕迹, 也能造成动态泄漏。一个斜向划痕或螺旋形磨削痕迹, 可能形成抽送泄漏或抽送密封状态, 视轴的旋转方向而定。图7说明在遇到一个划痕之类的障碍时, 泊液质点在轴的旋转摩擦的作用下的轨迹。大家还知道, 如果轴承中存在较大的端面游隙, 允许表面相对于密封唇口往复摆动, 则用横向送给磨削形成的表面很容易产生这种动态泄漏。因此, 应该有意识地设计这种动液抽送效应, 并制在旋转唇形密封中, 以造成向内抽送的状态, 从而延长油封的使用寿命, 提高其可靠性。

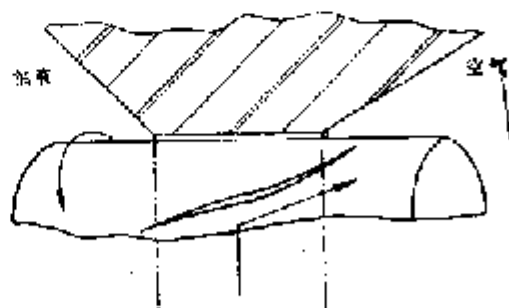


图7 轴表面上的划痕造成的油液质点的方向

生产了多种结构, 包括带凸起的螺旋线条的油封, 螺旋线条压制在唇口背面即空气侧, 使螺旋线条的末端伸入静密封线, 例如见图8。

潜在泄漏由轴的旋转摩擦所携带, 并被线条的迎面壁引导穿过静密封线回到其发源

腔。这种油封用于单向旋转轴，可以买到基于相同原理的用于双向旋转轴的油封。这些主要由压制在唇口空气侧的一个凸起的之字形棱条或一系列三角块所组成（图9）。漏过密封唇的油液被棱条的迎面壁引导或被轴旋转摩擦压回其发源腔。

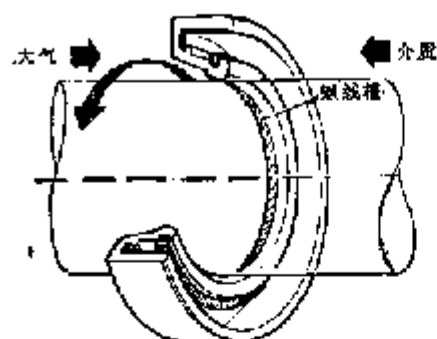


图8 螺旋线油封

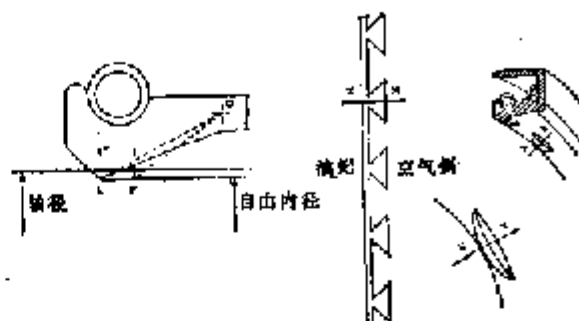


图9 动解油封



边界T形油封

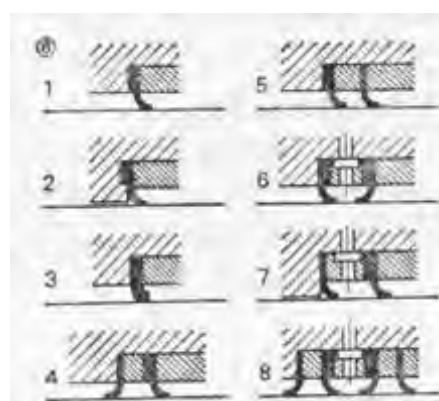
带衬圈2型

带衬圈1型

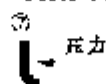
“T”形油封

高压油封

带聚四氟乙烯衬圈的转轴油封例



- 1—压力低于 5bar;
- 2—高压用，压力达25bar;
- 3—甚低压力，橡胶垫片装在压力侧，全靠簧那移把唇封唇口压向轴表面；
- 4—压力和真空用的双唇油封；
- 5—磨料场合用的双唇油封；
- 6—可兼行冲洗、加热、冷却、润滑和浸渍的方案；
- 7—可兼行冲洗、加热、冷却、润滑和浸渍的供压力和真空用的方案。



带改选聚四氟乙烯的唇形油封

引入动压抽送作用，实际上有两大好处：

(i) 由于改善了润滑状况而造成较低的工作温度和较小的摩擦，延长了寿命，并提高了性能。

(ii) 由于制造和控制的一致性，即完全模压的唇口消除了普通旋转唇形油封常有的修边误差和许多制造质量缺陷，提高了可靠性。

某些这种新型油封的简要细节汇总于表 I。

表 II 正作用唇形油封

名称	结构	备注	所有机举列		备 注
			名称	结构	
HELIIX 油封	密封唇口后面提供多根弹簧提供反向抽送作用	密封唇口唇侧的对称线条将形成双向油封	Angus SPIRO 油封 SG	螺旋槽	专为曲轴主油封研制的
			Angus SPIRO 油封 DP	成对的倾斜同心螺旋	由SG油封发展成双向密封
HYDRO 油封	密封唇口后面的斜线螺旋提供反向抽送作用	也适用于轴上带螺旋槽的系统。也可制成双向油封	Angus SPIRO 油封 TG	带相切的槽的倾斜同心螺旋	为简化生产而由DP油封发展出来的
波浪形 油封	将密封唇口结构提供正弦波形状接触而得到反向抽送作用	与Helix油封和Hydro油封相比,受粉尘侵入的影响较小	DOWTY DR	带三角形成楔形“压力块”抽送区的普通油封唇口	是密封部分带有附加的支承块的特点

防尘油封

普通油封提供防尘保护的能力十分有限,特别需要这种保护的场合,最好用端面密封。但在一定的环境里,简单的油封也能提供令人满意的保护。例如,当用来密封黄油时,只要外部环境条件比较干燥,则密封唇口下的黄油膜可以提供防止灰尘侵入的有效屏障。如果环境潮湿,则只有采用背靠背安装的两个油封,并在它们之间的空隙处充满黄油,才能提供类似的保护。应采取措施,以便定期注入黄油,最好装个油嘴。

一对背靠背的油封可以保证黄油向外渗漏,补充黄油即可排出任何灰尘或其他有害颗粒,这些颗粒可能在外油封下与被挤出的旧黄油混合。因此,重要的是调整黄油枪的使用频率,以免造成使黄油腔总也不被过份污染的条件。密封装置的工作温度也很重要,因为要想效果最好,黄油必须适当地自由流动,既不太稠,也不太稀,而且粘度选得合适。

用单个油封密封黄油时,不论油封装配方向如何,密封性能基本相同。当密封油液时,如果油封安装方向不正确,通常要使密封效果降低和产生漏油,但在一定环境中,漏油也可能是个优点,它能把油封外的灰尘洗掉。

无金属油封

无金属油封通常包括挠性的橡胶部分和夹层织物加强圈,模压成一个整体。所涉及的唯一金属件是绷紧弹簧。这种油封特别适合于重载和大尺寸的场合,但也广泛用于密封故障可能引起严重后果的场合。配合通常比金属铠装油封简单,而且粗糙处置和不经心安装不易使油封损坏。另一个优点是这种密封可以剪开,以便于安装,只要沟槽合适就不会影响性能。

聚四氟乙烯油封

聚四氟乙烯是非常吸引人的一种密封材料,因为它的摩擦力很小(而且有出色的化

学安定性)。尤其值得注意的是它对钢的“干”摩擦很小。不过用作唇形油封材料时,它的主要缺点是挠性差,在轴有振动和偏心时,密封性能下降。

采用宽接触面的聚四氟乙烯油封,可以克服这个缺点。与此同时,该接触面还可制成带反向抽送效应的正向作用油封,以保持较高的密封效率。这种油封的事例见图10。聚四氟乙烯密封件夹在衬圈和金属外壳之间,密封部分本身有正向作用结构。这种油封也制成带第二(防尘)唇口的。

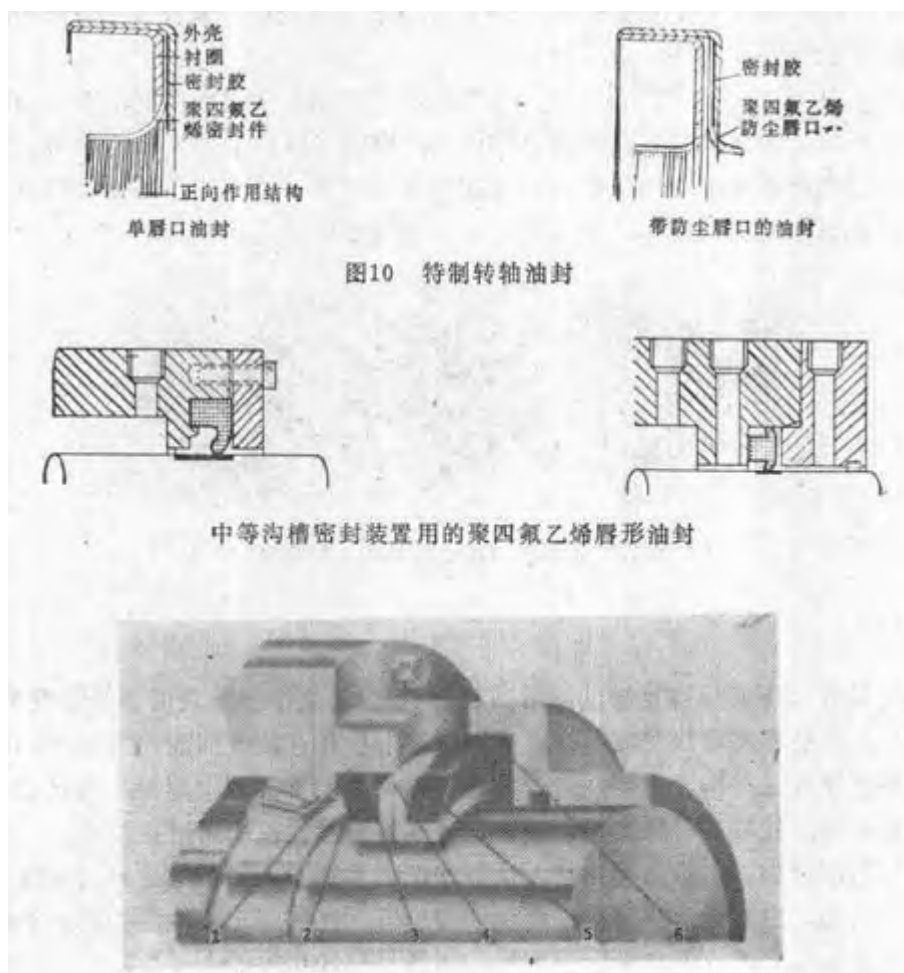


图10 特制转轴油封

- 1—易于初次顺利地装入孔内; 2—专利结构包括沿面均匀面荷载的胶圈;
3—专利保持环唇在装配时把密封保持孔内; 4—为便于单件安装而用;
5—滑配安装不需要工具; 6—孔内没有特殊形状。

极重载油封的例子见图11。其工作原理与机械密封类似,它包括两个相同的合金钢密封环,抛光并拼合在一起;还包括用特殊合成材料制成的两个对置的贝尔维环(Belleville)垫圈,一个垫圈带有(属于专利的)护圈唇口。对置的垫圈起密封环的加载弹簧的作用,保证内外直径处都有可靠的密封性。与此同时,它还给出沿密封整个区周的均匀载荷。这种油封低速下的额定压力高达3.5bar(501d/in²),在低压下的额定速度高达2m/s(400ft/min)。

拼合油封

在整体密封圈无法安装到位的场合, 为了便于装配, 可采用拼合油封。虽然这种油封在断面和结构等方面与普通油封相同, 但它是作为拼合油封专门制造的, 只能按制造商的规定处理。例如, 有的拼合油封制成带有分成两半的金属壳, 装配时可靠铰链运动打开。另一些拼合油封要靠扭转运动打开, 把两切口面沿轴向移动, 才能形成间隙, 以便套在轴上。油封到位后装紧弹簧。弹簧可能带勾孔联接, 以便装配成弹簧圈, 或者需要扭动两端, 把它们拧在一起。

适当处理和正确安装的拼合油封, 应具有与整体油封相同的性能, 但油封接缝不得对着护圈的开口。通常油封装在沟槽里的位置, 应使开口尽量处于轴的最高点。然后, 油封应该用适当的盖板或护圈支护, 并使切口互相错开 (图 12)。盖板必须具有足够的刚度, 以防止紧固时凹陷变形, 紧固螺钉应尽量靠近沟槽孔。



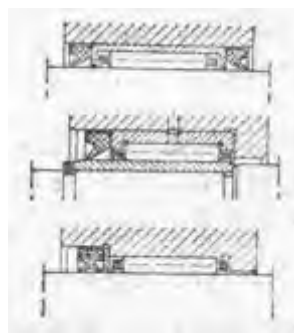
图12 带盖板的拼合油封的装配顺序

磨损

只要油封唇口下能保持足够的润滑油膜, 而油封与之摩擦的表面的光洁度为 $0.375 \mu\text{m}$ ($15\mu\text{in}$) 左右, 则磨损将可以忽略不计。表面微观形状在存油方面能起重要作用, 而轴的材料与轴的硬度是另两个重要因素。硬化不锈钢是最好的轴用材料, 有腐蚀性液体时, 也用镀铬轴。较软的材料如铅、黄铜、青铜等可能促使油封磨损较快。

最好用磨削精加工, 纵向磨比切入磨好些, 但差别不大。精加工表面应该完全没有纵向纹路或划痕, 也不能有螺旋形划痕和切削痕迹。还应很小心地保护精加工轴, 防止在装配前的搬运中损坏 (例如套上塑料套, 以备储存和运输)。

轴最好淬火, 即使从强度观点来说, 没有必要时也应淬火。粗略地说, 只要没有微



滚针轴承的剖视图

运或装配把轴碰坏划伤的危险, HRC 13 ~ 24 的不淬火钢轴, 对正常的工作条件是完全适用的。作为防止表面意外损坏的一种保护措施, 或是用于润滑较差的条件下或可能存在磨粒物质的场合, 为了减少轴的磨损, 轴的硬度最好不低于 HRC 40。有时采取的一种替代的解决办法是给轴镀铬, 但为了得到令人满意的性能, 必须镀得牢靠。镀得过硬或镀铬质量太差都会起皮, 很快就把油封唇口弄坏。对于用钢以外的材料制成的轴或轴套, 建议就适用性和密封材料的选择问题询问油封制造商。

油封圈所用橡胶种类也有影响。有的材料比别材料更富有弹性, 从而也更柔软。这意味着它允许轴的轮廓不规则的公差较大。这可能使某些橡胶更适合于密封略有偏心或不圆度的轴。柔性好的橡胶在密封任何轴时所需的径向载荷也较小, 从而摩擦力较小, 产生的摩擦热也较少。

公差

油封尺寸取决于具体的轴尺寸 (英制或米制), 并有与该轴尺寸对应的结构过盈量和预紧弹力。

与针对直径列出的油封尺寸有关的轴直径名义公差, 通常约为下列数值:

轴直径小于 1.999 in ± 0.002 in

轴直径 2 ~ 3.999 in ± 0.004 in

轴直径 4 ~ 7.999 in ± 0.006 in

轴直径 8 ~ 15.999 in ± 0.008 in

轴直径大于 16 in ± 0.010 in

针对米制尺寸轴的更具体的公差推荐值在表Ⅱ中给出。

表Ⅱ 用于橡胶油封的轴推荐精度 (尺寸单位, mm)

轴直径	公差 h11	轴直径	公差 h11
5 ~ 10	+ 0 - 0.09	80 ~ 120	+ 0 - 0.22
10 ~ 18	+ 0 - 0.11	130 ~ 150	+ 0 - 0.25
18 ~ 30	+ 0 - 0.13	180 ~ 250	+ 0 - 0.29
30 ~ 50	+ 0 - 0.26	250 ~ 315	+ 0 - 0.32
50 ~ 80	+ 0 - 0.29	315 ~ 400	+ 0 - 0.36

沟槽

每种特定轴尺寸油封都有对应的孔径和宽度, 符合令人满意的配合所要求的沟槽几何尺寸, 并含有必要的过盈量, 以保证连接不漏油。

加工沟槽的孔径允许公差对于 100 ~ 177 mm (4 ~ 7 in) 的孔径约为 ± 0.025 mm (± 0.001 in), 对于大于 177 mm (7 in) 的孔径约为 ± 0.051 mm (± 0.002 in)。不过要注意, 对于某些带有刚性金属外壳或摩擦件的油封, 沟槽可能要磨到比规定的油封孔径小的尺

为防止装配时损坏密封，最长导向倒角见下表。

沟槽直径	倒角长度及最大	
小于 100.0 mm (4 in)	0.70~1.00 0.75	
大于 100.0 mm (4 in)	1.20~1.50 1.00	

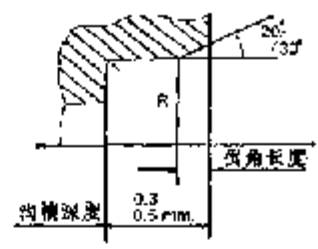


图13 推荐的沟槽导向倒角

寸，以便提供所希望的压配合过盈量。重要的是孔要磨光，不得有提供泄漏途径的纵向划痕；而且在沟槽的进口边要有一个较大的导向倒角，以便于油封装配而不损坏(图 13)。

为了保证油封位置正确，应提供一个法兰或台肩，使油封可以压紧在它上面。也可以把油封压紧在一个精加工表面上。加工沟槽的推荐公差在表 IV 中给出。

表 IV 加工沟槽的推荐公差

mm — HB				in	
沟槽	公差	沟槽	公差	沟槽孔径	±
6~10	+0.022	50~80	+0.048	0~4 (含 4)	0.001
10~18	+0.027	80~120	+0.054	4~7 (含 7)	0.0015
18~30	+0.033	120~160	+0.060	大于 7	0.002
30~50	+0.039	160~250	+0.072		

沟槽孔表面光洁度应不低于 3.2 μm 平均高度。

油封通常是固定的，装在沟槽里并包围一个旋转轴。不过也可能要求油封装在一个绕同定轴旋转的构件上，这时可以采用标准油封，也可以把油封结构反过来，提供外径式油封(图 14)。两者一般都要要求把弹簧结构作某些修改。

在油封旋转の場合，所达到的实际径向载荷受离心力的影响而变化，在转速超过 1000 r/min 时，尤其是当油封较大时，为了保持唇口对轴有足够的压力，可能需要增加弹簧压力。虽然这是一种显而易见的解决办法，但它有个缺点，即在低速下增加接触压力，从而增加低速下的摩擦发热量。在很高的转速下，情况不同，而难以确定工作转速下的“最优”弹簧压力这个问题，可能妨碍唇形油封在油封必须旋转时的采用。

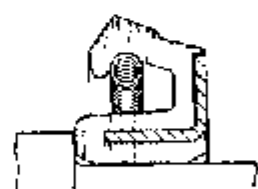


图14 外径油封

外径油封最优弹簧压力的确定，同样也是个关键。还有个制造问题，油封唇口与之摩擦的表面必须精加工，才能避免较高的油封磨损速度。

偏心量

简单唇形油封的性能会受到轴或沟槽偏心量的不良影响。前者产生动态不平衡，这只有靠油封的退让来抵消，牵涉到断面的柔性和材料的柔性。实际上这可表达为给定油封结构和油封材料所允许的最大偏心量，在该范围内油封的退让将是令人满意的。当然，这也与轴转速有关，因为循环位移速度越高，则油封所能容忍的偏心量越小。不过要注

意,具体断面的性能可能被下列因素所左右:(i)增加箍紧弹簧压力和(ii)采用更柔软的橡胶,以适应较大的偏心率;在极端情况下,可能必须重新设计断面,以提供更大的柔性。

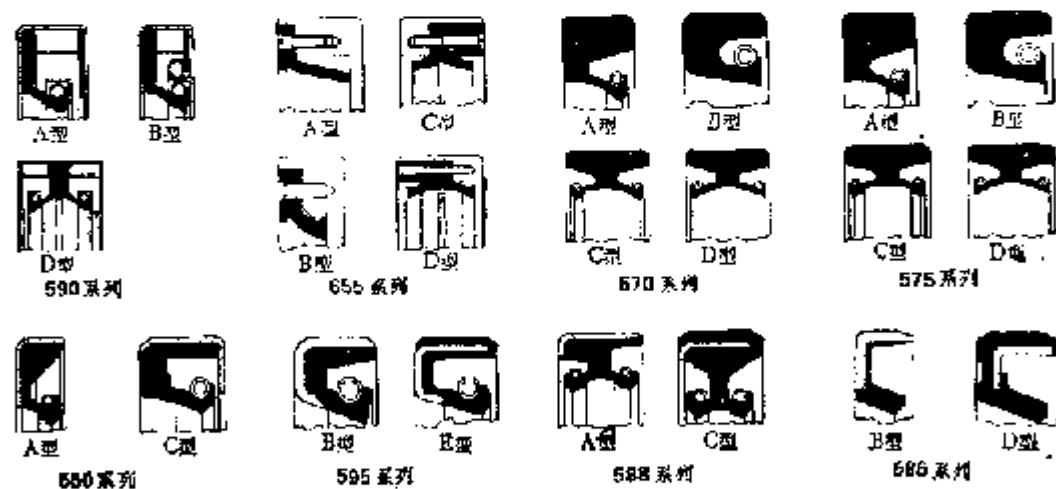
沟槽的偏心率没有那么重要,因为它只不过造成油封径向静态变形而已,而静态变形如果不太严重的话,可以被正常的过盈量所容纳。如有必要,油封上可以提供额外的唇口过盈量,以适应过大的沟槽偏心率或可能出现的沟槽实际变形。

虽然随若油封结构和所用橡胶而有所变化,表V给出最常见的油封所允许的总(静态和动态)偏心率的一般推荐最大值。

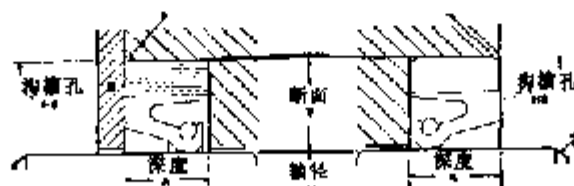
表V 油封性能可接受时的最大偏心率^①

轴径 mm	转速 r/min	最大偏心率	
		mm	in
0.5	100	0.886	0.035
1.0	200	0.508	0.020
2.5	600	0.457	0.018
5.0	1000	0.457	0.018
7.5	1500	0.380	0.015
10.0	2000	0.254	0.010
12.5	2500	0.229	0.009
15.0	3000	0.203	0.008
20.0	4000	0.178	0.007

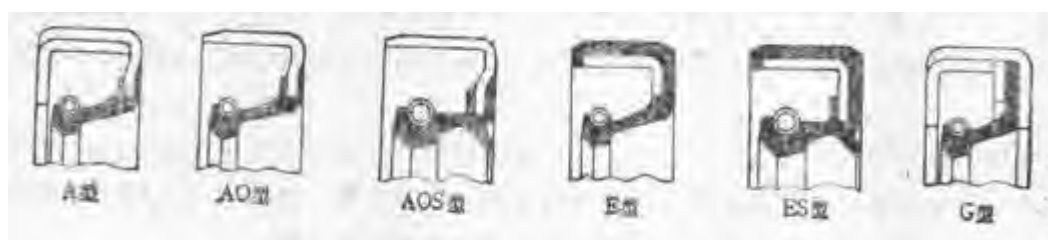
① 平均值,可能随油封结构而变化很大。



有专利权的油封示例



带护板的油封(左)和自撑油封(右)的安装



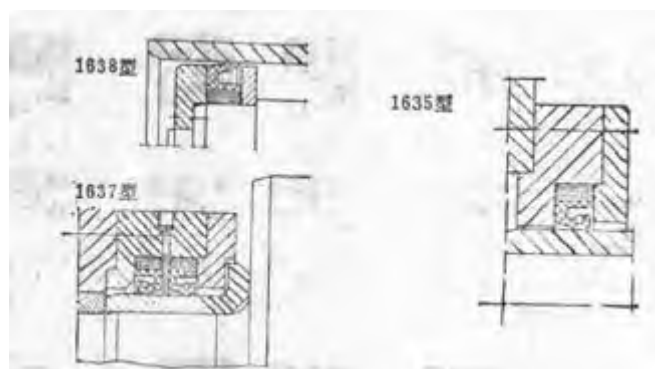
德国油封断面示例

密封的选择

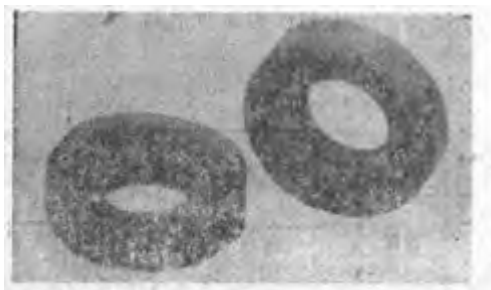
对于适用普通单唇油封的大多数应用场合来说,油封的选择根据七个要点,即轴径、沟槽孔径、沟槽宽度、轴速、工作温度、液体压降和使用条件。

作为一般规则,标准唇形油封能在高达 0.7bar (10 lb/in^2)甚至 1bar (15 lb/in^2)的压差下,提供令人满意的性能。为了密封更高的液体压力,将需要—个唇口断面较厚的或带支撑环的改进型油封。这种油封能在高达 7bar (100 lb/in^2)的压差下提供足够的性能。如果压差更大,则应采用其他种类的密封,如端面密封。

使用条件造成降低油封性能的因素,并能改变所需油封型式的选择。如果使用条件苛刻,或者标准油封会早期损坏,则应就此问题询问油封专业制造商。或者根据以往的说明,也许能确定性能不满意的可能原因。



转轴油封。1638型是不常见的,它的外唇口密封着沟槽内孔。



聚氨酯旋转密封

橡胶的选择

丁腈橡胶是最常采用的橡胶，它与许多润滑剂都相容。可以买到给出高达 130°C 的工作温度的特制丁腈橡胶件。

对于丁腈橡胶容易变硬变脆的应用场合，可以选择聚丙烯橡胶，但它有严重的局限性，例如耐磨性差，低温特性差，与水、酸碱溶液及大多数溶剂都不相容。

为了最耐磨损可以选择聚氟橡胶，但它在油封中用得并不普遍。主要的特殊用途橡胶有硅橡胶和碳氟化合物橡胶，详见表 VI。

表 VI 唇形油封材料

材 料	使用温度范围 (°C)	性 质	备 注
中丁腈橡胶	-40 ~ +100	密封良好，且摩擦与摩擦系数小，能耐汽油和黄油	廉价材料，生产没问题
高丁腈橡胶	-20 ~ +100	耐油性和耐合成润滑油性能提高	硬度有些局限
特制丁腈橡胶	-40 ~ +125/135	耐高温性能提高	大多数密封制造商都发展了他们自己的高性能丁腈橡胶牌号
氟丁橡胶	-10 ~ +100		用得不多
聚丙烯橡胶	-20 ~ +150	密封良好，且摩擦小，在湿性能良好。耐油和黄油，但通常不如丁腈橡胶耐用	最便宜的高温材料，但低温性能差，且强度有限。还可能产生问题
碳氟化合物橡胶	-20 ~ +250	对大多数润滑油和黄油有优异的通用性，为高温场合选用	硬度最高，耐磨性最好，但昂贵。由于价格太高，可能需更换多个密封件
聚氟橡胶	-50 ~ +200	对摩擦磨损和磨粒磨损的耐性优异，但与某些液体的相容性有限	用得不多
聚四氟乙烯		摩擦系数非常小，对所有液体的耐性优异。要求不同的密封结构	用于不同的密封结构
硅橡胶	-70 ~ +250	工作温度极宽，耐热性优异。常用于密封油封。与较新设计的密封剂的相容性有限	贵。耐磨性可能有问题
皮 革	低于 150	经长期磨损，且性能良好，组织最结实。在较粗糙的轴上或在多尘的环境下性能很好且工作	

油封的装配

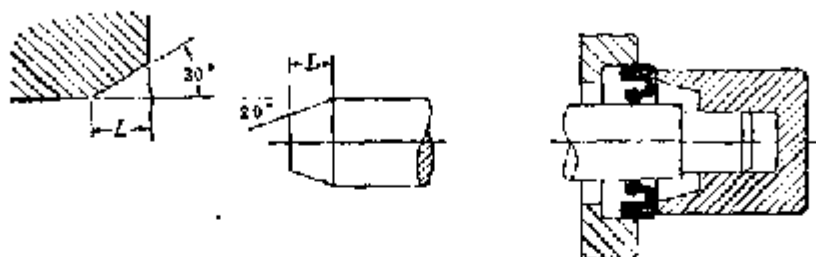
油封故障的最常见原因是在搬运、储藏过程中，更多地是在装配过程中，把油封弄坏。油封始终应该十分小心地搬运，这一点怎么强调都不过份。油封应保存在清洁干燥的环境里（最好放在气密性容器里），决不能杂乱堆放，那样会把油封唇口弄坏的。

装配前油封要逐个彻底检验，要保证唇口未被划伤碰伤，绷紧弹簧位置正确，油封清洁无垢。然后在唇口上涂以清洁黄油，再进行装配。具体的装配方法取决于到底是先把

油封套在轴上再压入沟槽，还是先把油封压入沟槽再穿轴进来。应尽量用前一种方法。

往轴上装油封时，建议使用锥形安装套，如果油封越过花键轴端或键槽时，实际上是很重要的（图 15）。轻微转动有助于油封前进。

往沟槽里压油封时，使用直径比油封直径略小的套杯，平稳均匀地施加压力，最好用手扳压力机加压。油封外缘可以涂点黄油，以便进入，并辅以沟槽导向倒角。然后，保持平直地把油封压到底，装配过程完成时，把轴连续转动一周，油封不得承受异常负



沟槽和轴倒角

$$L \text{ (最小) (沟槽)} = 0.047 \text{ in, 当直径} < 5 \text{ in} \\ = 0.062 \text{ in, 当直径} > 5 \text{ in}$$

$L \text{ (最小) (轴)}$

直径 $< 1 \text{ in}$	0.188
直径 $1 \sim 2 \text{ in}$	0.216
直径 $2 \sim 4 \text{ in}$	0.250
直径 $4 \sim 6 \text{ in}$	0.313

往沟槽里装油封时使用套杯

图 15

载或应力。正确对正通常由套杯的自导向作用来保证，当油封进入沟槽时，套杯中心在轴上或在轴孔中定位。此外，套杯导向边的形状必须与被装配的油封型式相适应。当油封背朝外装配时，套杯不接触弹簧，油封可以带着弹簧装配。否则可能要把弹簧拿下来，以便把油封压到位，在油封就位后，再重装弹簧。

作为一般规则，如果出于某种理由（例如在拆卸时）取下油封，则应把它扔掉，并装一个新的。如果原来的油封在拆卸和重装时损坏（极易损坏），则费用与麻烦及再次拆卸的需要相比是微不足道的。

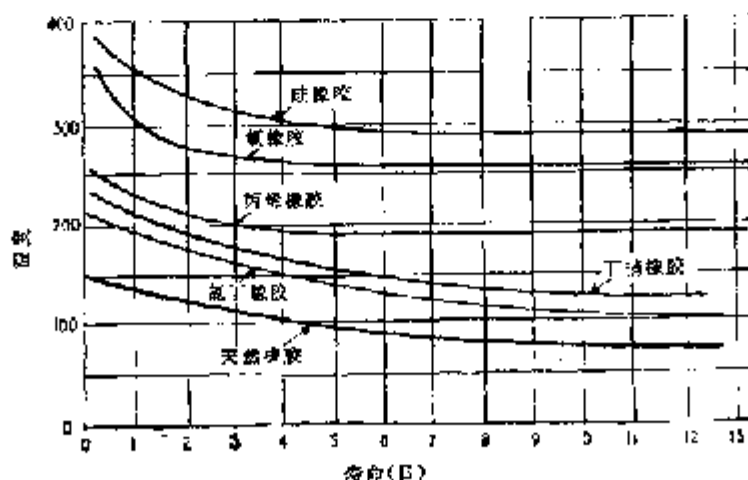


图 16

油封的寿命

在不存在可能导致很高的磨损率的条件时，油封寿命在很大程度上取决于密封唇口的工作温度。当由纯机械因素支配的密封摩擦直接引起密封唇口处局部温升时，密封材料必须首先按所涉及的液体工作温度来选择。

橡胶受热时会变硬变脆，受热时间越长或温度越高，则老化越严重。最后材料会变脆到这样的程度，即在振动下会开裂，或者完全丧失柔性，而不再能有效地密封。有趣的是当油封原地不动时，可能不发生脆性开裂，除非受到振动之类的机械冲击；而且已硬化变质的油封，可能仅在取下来，并机械弯曲时才开裂。因而当怀疑老化时用肉眼就地观察油封是靠不住的。

一般来说，对于任何橡胶，密封唇口的工作温度越低，则其寿命越长。当液体温度较低时，密封温度过高，一般是由于径向载荷过大造成的，这可能是由于油封设计不合理、簧紧弹簧没弄好或油封配合尺寸不对而产生过大的预载荷。再说一遍，按理应采用符合满意的密封性能的最小径向载荷，虽然设计时通常允许密封侧有一定公差。径向载荷过大并不能密封得更好，但过多的摩擦热和可能出现的其他问题却导致油封性能下降。

一些橡胶的温度-寿命特性示于图 16。寿命曲线表明，在较高的温度下迅速老化（寿命短），最后在某个较低的温度下曲线拉平。此拉平值代表材料的最高连续使用温度，它应高于油封的可能使用温度。注意，这个临界温度是油封唇口的工作温度，它可能比液体温度要高。

对于较高温度下的工作来说，除了橡胶的选择外，还牵涉到其他一些因素。例如当温度超过 120°C 时，通常选用不锈钢制造簧紧弹簧。另外在这样的温度下，还希望或必须把金属加强件，从骨架形式改成铠装形式（见图 17）。这将保证装配时油封外径有更一致的配合。



图17 带加强件的油封

一般来说，对于温度很高的油封，硅橡胶是合乎逻辑的选择，它给出 $200\sim 260^{\circ}\text{C}$ （视牌号不同而定）左右的最高使用温度。硅橡胶还有出色的柔性，使它特别适用于高速轴密封和高温应用场合。另外，聚四氟乙烯橡胶柔性较差，因此，虽然作为高温材料很吸引人，但在油封上用得不多。

比较现实地说，一个油封的性能可以用它的泄漏流量来评定。表Ⅱ强调，即使很小的恒定泄漏流量日积月累也达到相当多的油液损失。表Ⅱ汇总了引起过多泄漏和其他油封故障的常见原因。

表Ⅳ 泄露造成的油液体积损失

泄漏流量	每天的损失		每周的损失		每月的损失
	L	gal	L	gal	
每10秒1滴	9.43	0.09	3.00	0.66	0.06
每5秒1滴	9.88	0.10	8.00	1.82	0.125
每秒1滴	4.75	1.05	33.25	7.32	0.7
每秒3滴	14.30	3.15	100	22	2.00
滴漏成流	91.20	20.00	630	140	13.34

① 1加仑 205 L = 45gal.

表Ⅴ 油封故障诊断表

现象	原因	处 置
泄漏大	过紧力太小	检查弹簧位置是否正确。 检查油封尺寸与轴的相互关系。 检查轴的偏心运动。 唇口也许不能跟轴的运转或机械误差。 增加弹簧弹力
	唇口超载	降低被密封的压力。 用适当形状的环支撑油封唇口
	油封装反方向不对	按正确方向装一个新油封
	保持方向不对	许多动压唇形油封只能单向工作
	表面粗糙	检查是否有螺旋形加工痕迹
	橡胶不适应低温(冷处)	提高温度。 更换密封材料
	磨损	增加冷却。 更换密封材料
	油封唇口损坏	检查装配步骤。 检查密封材料与被密封液体的相容性
油封损坏	其他泄漏途径	检查给油封指定边的泄漏。 检查可能从这些零件中的泄漏, 是否存在着其他泄漏途径
	过份磨损或密封唇部改变	降低被密封的压力, 降低温度。 降低转速, 增加润滑。 减小过盈力。 采用更光滑的轴在表面。 减小偏心量。 减少液体中的颗粒。 如果液体的大气泡存在着更重, 则安装合适的防尘圈
摩擦大	配合	检查轴径与油封尺寸的相互关系。
	润滑油膜不完整	检查轴表面光洁度。 减小过盈力。 添加润滑。 更换密封材料。 如果必须降低温度

第2D部分 机械端面密封

机械端面密封一般称为机械密封，它由处于“磨合”接触的旋转件和固定件组成，二者形成泄漏通道最小的密封面，符合图1所示的基本原理。它基本上是旋转轴密封，它能成功工作取决于在密封面处建立起正确的条件，密封面本身由被密封液体的一层很薄的膜（一般厚为 $0.0006\sim 0.006\mu\text{m}$ ($0.025\sim 0.25\mu\text{in}$))来润滑。虽然基本工作原理保持相同，但机械密封的设计与结构细节变化很大，以满足正常的工作条件，如轴尺寸、速度、压力和被密封液体。

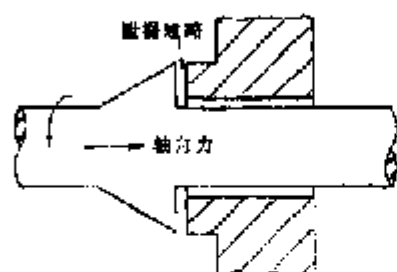


图1 简单的端面密封

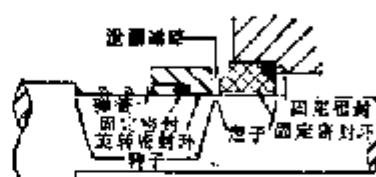


图2 简单的机械密封

机械密封主要用作泵轴密封。

其他重要应用包括混料容器（约占全部机械密封的10~15%）和航船螺旋桨密封。

端面密封的一个独特的优点是，它既能提供可靠的密封，又不会使轴本身磨损。所有的磨损都集中在密封面上，而密封面通常能自动补偿磨损（如靠弹簧加载）；而在没有磨粒性污垢存在时，它们的连续磨合作用保持抛光和十分紧密的贴合。结构中也可引入一定的柔性，以适应可能存在的少量轴向与径向对中误差。

满足这些要求的一个简单的机械密封的例子示于图2，图中为了一般描述而把旋转件称为转子，把固定件称为定子。

旋转密封环（包括动环面）通过动环静密封装在轴上。虽然此密封环随轴转动，但它有足够的柔性来补偿轴的对中误差，并保持它本身与定子平面接触。同理，固定密封环（包括静环面）以足够的柔性装在压盖上，以补偿压盖的角误差。通过动环静密封给旋转密封环加力的弹簧，在没有液体压力时保持两个密封环紧密接触。典型结构示于图3。

穿过两密封面间隙的泄漏通道是任何机械密封的核心。密封面的适当润滑对减少磨损和提供合理寿命来说是很重要的。这种润滑通常靠在密封面间形成液膜来实现。因此，密封腔中的液体要能提供足够的润滑，这是绝对必要的。如果所处理的液体不能提供润滑，则必须在密封腔中提供一个人造的环境。

为了限制可能穿过密封面间隙的泄漏量，必须控制密封面之间的距离。虽然可能出现的泄漏量取决于很多因素，如液体的密度和粘度、密封面材料、压差、尺寸、速度等，但是经验表明，把密封面平面度保持在氦灯光谱带（ $0.87\mu\text{m}$ ($34.8\mu\text{in}$))之内将提供可

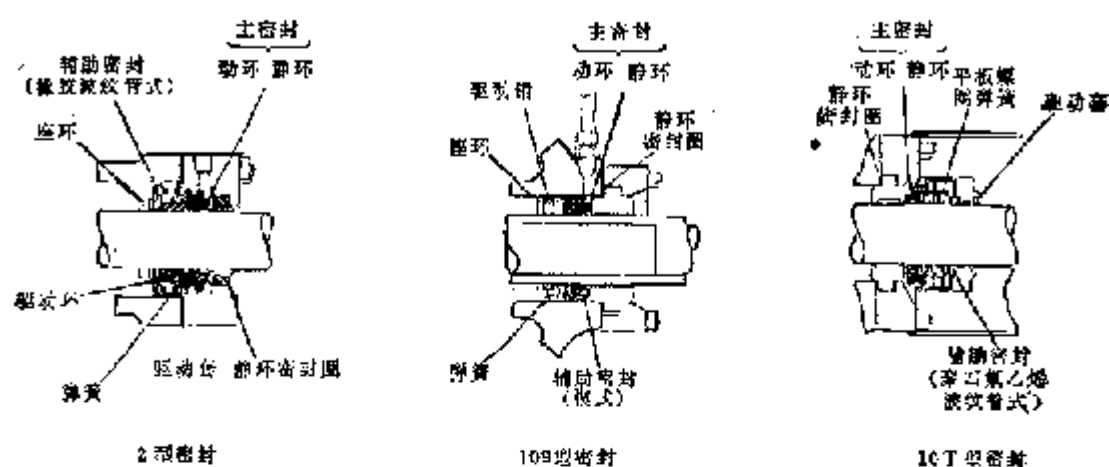


图3 一个专利品系列中的密封形式

靠的密封而又没有可觉察到的液体泄漏。

因此,一般来说,任何机械密封都包括下列零件:

- (i) 一个固定密封环。
- (ii) 此环的辅助密封。
- (iii) 一个旋转密封环。
- (iv) 此环的辅助密封。
- (v) 通过一个轴向挠性件(如弹簧或波纹管)把两环表面压在一起的手段。
- (vi) 驱动旋转密封环(如用机械方法或靠其辅助密封的摩擦力)的手段。

材料

标准密封系列,一般以不同的结构材料供应。主要零件(密封环体、弹簧座、弹簧等)的材料包括比较常见的不锈钢、青铜等和具有特殊耐腐蚀性的材料,如耐蚀耐热镍合金C甚至钛等。偶而也选用铜合金作密封环体材料,因为它导热性好,能实现密封面的

表1 PV值范围

密封面材料 动环/静环	密封面材料的PV值范围 (bar·m/s)①			
	水和溶液液		其他液体	
	不平衡密封	平衡密封	不平衡密封	平衡密封
不锈钢/石墨	5.5	—	30	—
钛合金/石墨	35	—	30	—
镍合金/石墨	40	80	52	520
氧化铝/石墨	70	440	—	—
氧化铝/石墨	30	250	32	430
碳化硅/碳化硅	44	500	71	430
碳化硅/石墨	70	700	88	1225

① 1 bar·m/s = 28.35(lb/in²)·(ft/min).

表 I 辅助密封温度范围

密封材料	温度 (°C)	
	最 低	最 高
聚丁腈橡胶	-30	120
乙丙橡胶	-50	150
氟橡胶	-80	200
聚四氟乙烯	-100	250
高氯橡胶	-100	300
聚氟乙烯	-100	400
聚四氟乙烯	-200	500①

① 在氧化性介质中最高温度为 500°C。

有效散热。

密封面材料包括普通不锈钢、铝青铜、耐腐蚀合金等,还有碳化钨、碳化硅等比较奇特的材料。在大多数情况下,配合面材料为石墨浸渍金属或石墨浸渍树脂。密封面材料根据工作寿命和价格来选择。

辅助密封材料根据与被密封液体的化学相容性及温度来选择。比较常用的密封面材料和密封材料的实际工作范围,示于表 I 和表 I。

大多数密封用石墨做一个“接触”面,石墨的抗变形机械强度较低。它的主要优点是在启动条件下自润滑性优良,并且传热性很好,便于密封面散热。一般人认为最好用旋转石墨面,因为旋转面的热辐射比静止面大(静止面与周围的金属件之间通常被橡胶密封隔开)。而且往压盖里装静止石墨面,往往把这个比较脆弱的石墨件弄破。由于静环和动环都用石墨的密封在类似条件下给出相同的寿命,所以这个论点似乎比较脱离实际,但石墨结构脆弱是无疑的。

在美国,只有约翰·克莱因(John Crane)1型密封的石墨环是旋转的。大多数其他制造商都让金属面旋转而把石墨静环压入密封压盖。

机械密封标准

欧洲国家标准的制订产生了德国 DIN24960 和 ISO3069 密封装置标准,在英国还产生了 BS5257:1975 泵标准,它有效地体现了 ISO3069。其他一些国家标准,一般要求密封符合 DIN24960 中规定的尺寸。但是,此标准中给出的命名和材料代号,不一定为所有制造商所遵循。

带旋转密封头的单个内部机械密封的德国 VDMA 命名如下(见表 II):

GLRD (表示机械密封) VDMA

三个代号(表示型式和尺寸)五个字母代号(表示材料)在第一组代号中:

第一个字母—C=不平衡或B=平衡

第二个数字给出名义直径(mm)

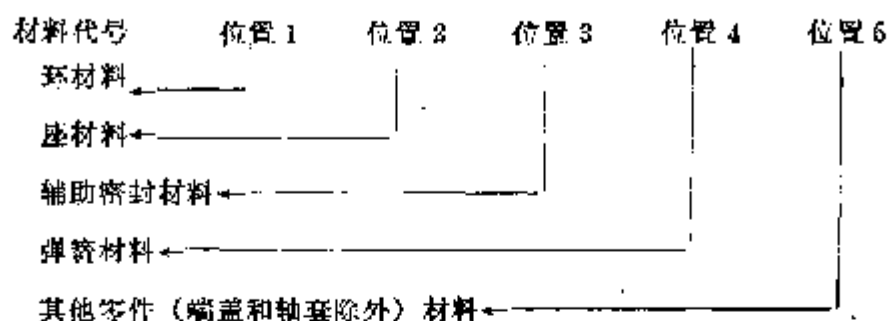
第三个字母给出旋转方向或弹簧绕制方向,即

R——右旋,单弹簧

L——左旋,单弹簧

S 旋转与单弹簧无关

A — 方向与多弹簧无关



表Ⅱ 材料代号

位置 1、2	位置 3	位置 4、6
环或座的材料	辅助密封的材料	弹簧和其他金属零件（端盖和轴套除外）的材料
机用石墨 A = 浸渍硬石墨 B = 树脂浸渍硬石墨 C = 其他石墨 金属 D = 钛 E = 铝 F = 铜 G = 镍 H = 铁基合金 K = 镍基合金 L = 钴基合金 M = 不锈钢 N = 钛 P = 钨 R = 合金钢 S = 铸钢 T = 其他金属 金属化合物 U = 金属氧化物 金属化合物（瓷） V = 氧化铝 W = 氮化硅 X = 其他金属氧化物 塑料 Y = 聚四氟乙烯 Z = 其他塑料	橡胶 P = 丁腈橡胶 N = 氯丁橡胶 B = 丁基橡胶 E = 聚氨酯橡胶 S = 硅橡胶 V = 氟橡胶 M = 聚四氟乙烯 X = 其他橡胶 非橡胶 T = 聚四氟乙烯 A = 浸渍石墨 F = FTM Y = 其他非橡胶 特殊情况 U = 辅助密封材料不同	D = 钛 E = 铝 F = 铜 G = 镍 H = 铁基合金 K = 镍基合金 L = 钴基合金 M = 不锈钢 N = 钛 P = 钨 R = 合金钢 S = 铸钢 T = 其他金属

单弹簧与多弹簧

单弹簧有两大优点：

(i) 允许的配合长度轴向公差可以较大，因为对于给定的变化来说，直径较大的弹簧，需要较大的轴向运动。

(ii) 单弹簧的簧丝断面比多弹簧粗得多，因而，如果弹簧接触腐蚀性环境或者易被固体颗粒或涂料堵塞时，单弹簧成功的机会更大些。把多弹簧置于被处理液体之外，可以克服堵塞（“焦化”状态除外），但腐蚀可能依然存在。

另一方面，单弹簧的压力分布较差，因为无论单弹簧制造得多么好，也难以得到沿整个密封圆周的均匀面载荷，而多弹簧结构可以做到这一点（见图4）。还可能存在着长度问题，因为单弹簧结构的长度必然比多弹簧大得多。而多弹簧结构在使用中可能有腐蚀问题，因为所用簧丝的直径小，参见表IV。

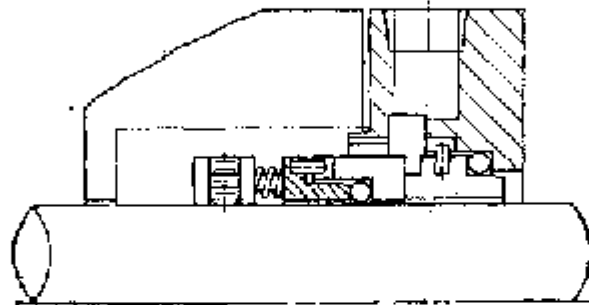


图4 带多弹簧的机械密封

表IV 弹簧类型的优缺点

弹簧类型	优 点	缺 点
多弹簧	密封线小 面载荷均匀 转速较高	应力值高 腐蚀裕量小 易被堵塞
单弹簧	应力值低 腐蚀裕量大 易除聚四氟乙烯	载荷不均匀 密封线大较长 速度有限
多片簧 波片簧 碟形簧 螺旋簧	省空间	刚度大

辅助密封

辅助密封除了提供必要的固定密封外，通常还给动环和静环提供挠性。通常采用标准的压力加力型密封，如O形圈、V形圈或U形圈等，或者采用楔形密封（图5），但某些情况下，静环可能没有密封。

然而为了使推环密封能够“轴向”滑动，轴本身必须保持良好状态，不能带有妨碍密



图5 动环辅助密封的基本类型

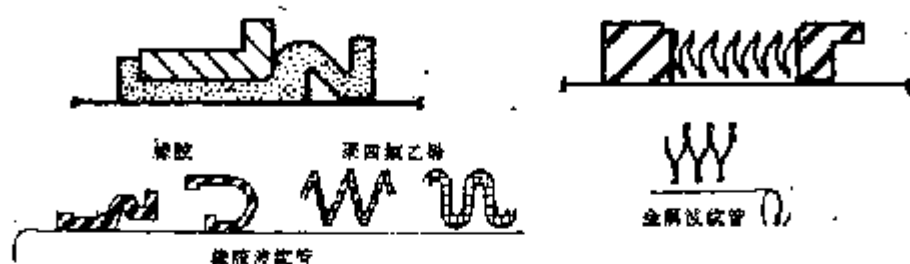


图6 辅助固定密封

封滑动的锈蚀或锈斑；同理也不能有固体堆积物。用准固定密封代替推环密封，可以消除这方面的所有问题，准固定密封的形式为橡胶或金属波纹管（图6）。

工作参数、液体、压力、温度等通常决定了辅助密封件的材料，而在很多情况下，材料又决定了辅助密封的结构。例如，为防腐蚀而采用聚四氟乙烯时，要求辅助密封取V形圈或楔形密封的形式。进而要求转子密封用机械方法加载而定子密封要包括一个防转销，因为聚四氟乙烯定子座有低摩擦特性。

分类

机械密封可按以下几种方法分类，即：

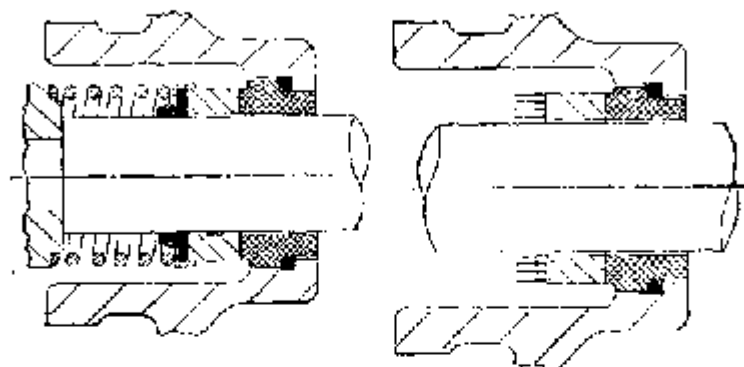
- (i) 内侧密封与外侧密封（图7）；
- (ii) 不平衡密封与平衡密封；
- (iii) 单个密封与双密封。

如果所维持的液体压力沿“闭合”方向作用，此时任何泄漏都来自密封的外径，则称机械密封为内侧式。在外侧式机械密封中，液体压力沿“开启”方向作用，任何泄漏都来自密封的内径。密封在轴上的具体安装位置（即外部和内部）并不决定密封到底是外式和内式。

内密封是更稳定的形式，因为外密封在突然的压力冲击下容易丧失面“接触”，而且经常发现不可能重新实现正常的面“接触”。这时将出现过大的泄漏，通常只要把设备停下来再重新启动，即可排除此故障。用内密封时不大会出现这种现象。其次，内密封的冷却通常也比外密封好，与被泵送液体有较好的接触，便于带走热量。即使用喷液冷却时，带走热量的喷液位置在内密封装置中，通常也比较容易布置在最佳位置。这个冷却问题在外密封中，使热变形（从而泄漏故障）成为一个较大的问题。外密封的一个大缺点是，被密封液体中的固体颗粒很容易被离心力积聚在密封面处，靠磨切边缘引起物理损坏，然后进入两密封面之间而加速此损坏过程。

压力平衡

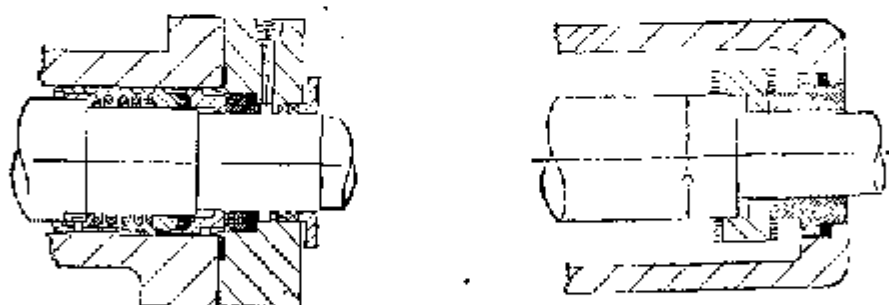
压力平衡是指被密封液体的压力与密封面间接触压力的关系。在不平衡密封的场合，液体压力未被密封面的几何形状所减轻，以致于表面接触压力等于或大于液体压力（图 8）。在平衡密封中，设计成使径向分布面积相结合，以致于有效接触压力始终小于液体压力（图 9）。实际上，通常选用能给出有效密封性的最小表面压力。



典型的不平衡密封

作用在不平衡密封面上的压力

图 8



平衡密封

作用在平衡面上的压力

图 9

平衡密封的直接优点是密封面的摩擦减小（因为表面接触压力较小），从而发热较少，并降低了粘着磨损。这种密封还能适应比不平衡密封更高的压力。缺点是该结构较复杂，且费用较高。因此不平衡密封比较普遍地用于 10bar (150lb/in²) 以下的压力，而平衡密封把机械密封的应用范围扩大到高达 85bar (1250lb/in²) 的压力。API610 规范要求压力超过 751b/in² 即用平衡密封，而对于连续工作，只能用特殊平衡密封。

密封平衡的变化画在表示密封面不同布置的图 10、11 和 12 上。

图中密封套合肩直径“S”代表有效密封直径，也可以叫做压力直径或滑动直径，因为所有推力载荷都按此表面计算。“A”代表滑动密封环的压力活塞面积，而“B”代表密封面接触面积。在三种情况下都不考虑弹簧力。

在图 10 中，整个接触面积“B”都处于有效密封直径“S”以外，而压力活塞面积“A”

等于接触面积“B”。因此该图代表 100% 不平衡的状态，它还表明平均接触面压力刚好等于被密封液体压力的 100%。

在图 11 中，整个接触面积“B”处于有效密封直径“S”之外，而压力活塞面积“A”大于接触面积“B”，载荷将以同样的百分比大于被密封液体压力。这是大多数“不平衡”密封中所存在的状态。

图 12 表示大多数“平衡”密封的关系。图中接触面积“B”的一部分(标着“B₁”)处于

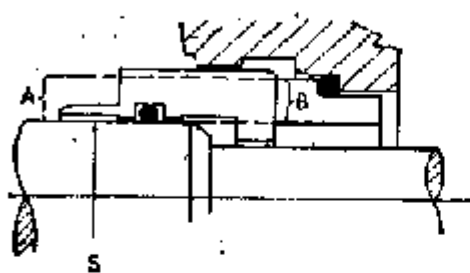


图 10

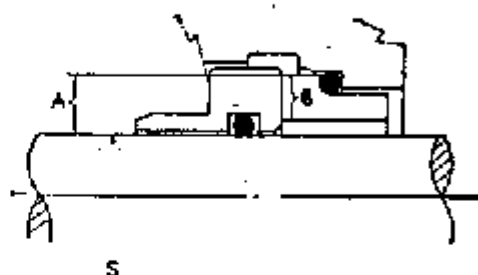


图 11

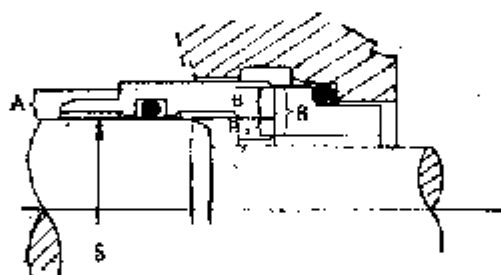


图 12

有效密封直径“S”之外。因此面积 B₁ 等于压力活塞面积“A”。因为其余的密封面积“B₂”位于有效密封直径“S”以内，总密封面积“B”将等于 B₁+B₂ 之和而单位面积载荷将按两面积之比小于被密封压力，即

$$\frac{B_1}{B_1+B_2} = \frac{A}{B}$$

用百分比表示的这个值，指出密封的不平衡程度。

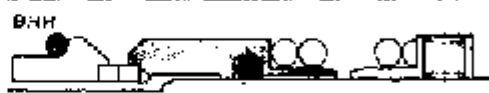
单密封和双密封

单密封有一组密封面，一般适合于密封能在密封面提供足够润滑的液体。它也可以用于无润滑性液体，此时要向密封腔注入另外的冲洗液来冷却和润滑密封面。问题是要控制成分的稀释。如果这是不允许的，则用双密封。双密封其实是背靠背的两个机械密封，在两个密封的辅助密封所隔出的腔里注入冲洗润滑液。密封本身也可以是不平衡的或平衡的，见图 13。

UR型单密封



BR型单密封



双密封



机械密封专利品系列示意图

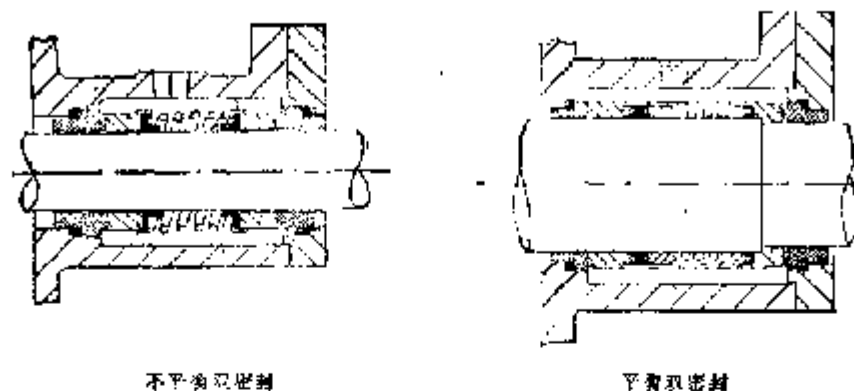


图18 双密封的例子

轴尺寸与PV值

压力×速度值(PV值)主要决定密封面材料组合的适用性,特别是密封面处的发热量。而对于给定的转速来说,轴直径的增加意味着PV值的增加,因为

$$PV = \text{压力} \times \pi \times \text{密封直径} \times \text{转速}$$

常用单位是

$$\text{bar} \cdot \text{m}/\text{m} = \text{bar} \times \pi \times \text{m} \times \text{r}/\text{s}$$

不同面材料组合的典型PV容量值为(见表1),

	PV(bar·m/s)
石墨对硬面不锈钢	190
石墨对陶瓷	190
石墨对铅青铜	350
石墨对镍钢	400
石墨对碳化钨	900

应该指出,对于给定尺寸的密封,降低工作PV值的一种方法是采用平衡密封来降低有效压力值。

机械密封专利品系列的例子标准系列机械密封

B1100型 使用条件 直径: 10~20mm 压力: 25bar 温度: -20~+180℃ 速度: 20m/s 主要应用 水泵, 炼油与化工用泵。 腐蚀性、轻级磨蚀性产品。		变种: 型式
		B1110 (带帽) B1120 B1122

B1102型**使用条件**

直径: 10~80mm

压力: 40bar

温度: -20~+180°C

速度: 20m/s

主要应用

热水和化工用泵。

酒精、非磨粒性液体

变种:
型式

B1102(带销)

B1102

B1202型**使用条件**

直径: 10~80mm

压力: 25bar

温度: -20~+120°C

速度: 10m/s

主要应用化工和炼油泵。纸浆泵和挤奶泵。磨粒性、
轻微腐蚀性液体变种:
型式

B1202(带销)



B1202



B1202

B2100型**使用条件**

直径: 80~200mm

压力: 25bar

温度: -20~+180°C

速度: 20m/s

主要应用

水泵。炼油和化工用泵。

腐蚀性 和 粉粒磨粒性产品

变种:
型式

B2100(带销)



B2100

B2102型**使用条件**

直径: 80~200mm

压力: 50bar

温度: -20~+180°C

速度: 20m/s

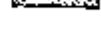
主要应用

热水泵, 化工用泵。

酒精、非磨粒性液体

变种:
型式

B2102



B2102

B2202型**使用条件**

直径: 80~200mm

压力: 25bar

温度: -20~+180°C

速度: 20m/s

主要应用化工泵、炼油泵、纸浆泵和挤奶泵。磨粒性、
轻微腐蚀性液体变种:
型式

B2202(带销)

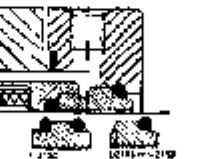


B2202



B2202

(续)

U1100型 使用条件 直径: 10~30mm 压力: 10bar 温度: -20~+180°C 速度: 20m/s 主要应用 炼油和化工通用泵, 耐腐蚀性和轻磨蚀性产品。 对于启动和偶而运转, 配硬质铸铁衬套时 称 (K)		变种, 型式  U1110(带销)  U1102或 U1112  U1122(带销)
U1200型 使用条件 直径: 10~30mm 压力: 10bar 温度: -20~+120°C 速度: 10m/s 主要应用 炼油、化工和造纸工业用泵, 高耐腐蚀性和磨蚀性产品		变种, 型式  U1200或 U1210  U1220  U1222
U1300型 使用条件 直径: 10~30mm 压力: 10bar 温度: -20~+120°C 速度: 10m/s 主要应用 潜水泵, 要求泵。 高耐腐蚀性和磨蚀性产品		变种, 型式  U1300或 U1310  U1320  U1323
U2100型 使用条件 直径: 20~200mm 压力: 10bar 温度: -20~+180°C 速度: 20m/s 主要应用 通用泵, 炼油和化工用泵, 耐腐蚀性和轻磨蚀性产品		变种, 型式  U2110(带销)  U2102或 U2112  U2123(带销)
U2102型 使用条件 直径: 20~200mm 压力: 15bar 温度: -20~+180°C 速度: 20m/s 主要应用 通用和化工用泵, 特微腐蚀性性和轻磨蚀性产品		变种, 型式  U2112(带销)  U2122

U2202型

使用条件

直径: 20~200 mm

压力: 10 bar

温度: $-20 \sim +120^{\circ}\text{C}$

速度: 10 m/s

主要应用

通用石油化工用泵, 腐蚀性和高磨蚀性产品

品种:

型式



U2212



U2220



U2232

U3000



尺寸20~200 mm; 压力10 bar; 速度15 m/s;
温度范围 $-50 \sim +220^{\circ}\text{C}$; 不平衡密封;
与旋转方向无关。

U4000



搅拌器用不平衡密封 PV值 300。

B4000

搅拌器用平衡密封 PV值 600。

B3000

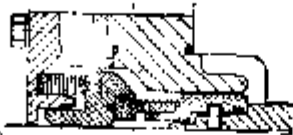
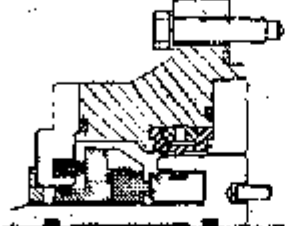


尺寸20~200 mm; 压力10 bar; 速度10 m/s;
温度范围 $-50 \sim +220^{\circ}\text{C}$; 平衡密封; 与旋转
方向无关。

特殊系列机械密封

型 式	结 构	PV值	备 注
U5000		50	尺寸20~100 mm; 压力10 bar; 速度15 m/s; 温度范围 $-20 \sim +370^{\circ}\text{C}$; 不平衡; 与旋转方向无关。
U6000		50	尺寸20~150 mm; 压力2~10 bar; 速度20 m/s; 温度范围 $-50 \sim +180^{\circ}\text{C}$; 不平衡; 与旋转方向无关。
B7000		500	尺寸20~100 mm; 压力35 bar; 速度20 m/s; 温度范围 $-20 \sim +180^{\circ}\text{C}$; 平衡密封; 与旋转方向无关。
B9000		500	尺寸38~200 mm; 压力35 bar; 速度10 m/s; 温度范围 $-20 \sim +220^{\circ}\text{C}$; 平衡密封; 机械式; 与旋转方向无关。
U10000		50	不平衡密封; 压力15 bar; 速度15 m/s。

(续)

型 式	结 构	PV值	备 注
B11000		4500	平衡密封; 压力50bar; 速度60m/s
U12000		50	不平衡; 航轮螺旋桨轴密封; 压力15-bar; 速度15m/s

密封面温度

为了保持密封面之间有足够润滑膜, 必须把结合面的温度限制得低于使液膜蒸发或沸腾的温度。

发热量取决于密封面接触压力, 此压力与填料函压力有关。图 14 表示典型密封在不同压力下的发热量。

密封面处的发热量经密封环传给填料函中的液体。因此产品的温度 (严格说是密封面处温度与填料函中液体温度之差) 影响着密封的稳定性。同理, 密封环材料的热性能起着重要的作用。

作为这种散热的结果, 填料函中温度将升高, 必须提供某种降温手段, 例如采用填料函水套冷却, 或者更一般地使温度较低的产品经由从出流喷嘴到密封面的小孔循环。

让密封在各种速度和压力下工作, 并提高温度直到密封变得不稳定, 可以确定密封的稳定范围。图 15 表示用这种方法得到的稳定范围。曲线代表为使液膜保持稳定所允许

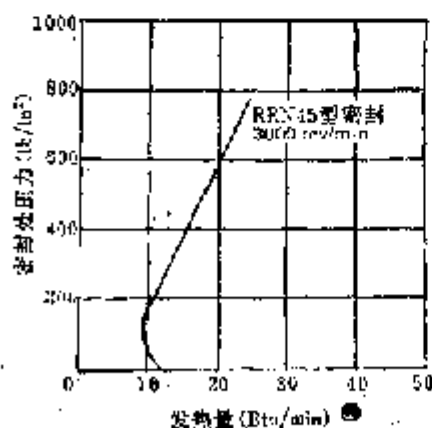


图14 水中密封的发热量

① $1 \text{ Btu/min} = 17.397 \text{ W}$

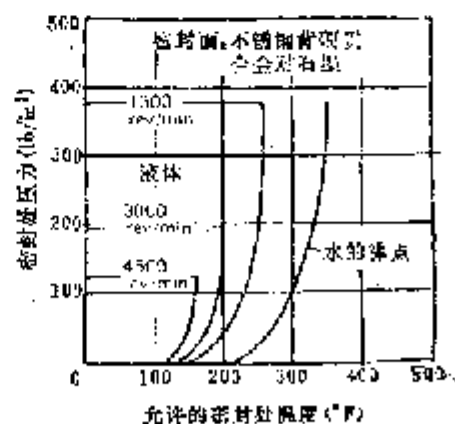


图15 水中RRN45型密封在不同速度

下的压力温度范围

的最高温度。

密封过早故障的最常见原因在于密封面之间液膜的液体成分的丧失。即将出现这种情况时，密封每隔几秒钟就冒出一股蒸气，液膜发生局部沸腾。这使得新的液体进入密封面之间，产生暂时的冷却作用。当密封处摩擦发热积累到足以气化新的液体时，就冒出另一股蒸气，并重复这一过程。这时密封度受的不良影响仅是旋转密封环倾斜所引起的石墨密封面边缘被凿切。

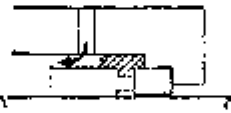
如果密封周围的产品温度略微升高，则冒出蒸气的速度也增加，直到产生严重的液体泄漏。这是因为，当渗透到材料表面以下的液体突然气化时，使石墨剥落形成小坑。从小坑剥落的石墨屑在密封面之间被碾碎，在石墨面上留下“替尾”形痕迹。

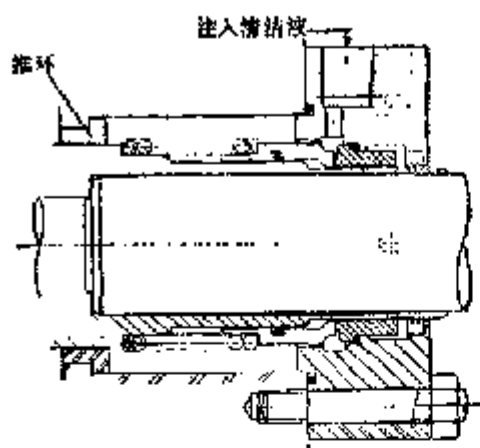
这是密封面向液体成分完全丧失的前奏，而“干运转”的后果是密封面出现严重磨损。这时石墨面和金属密封环面都被磨出有点象留声机唱片的纹道。

冷却

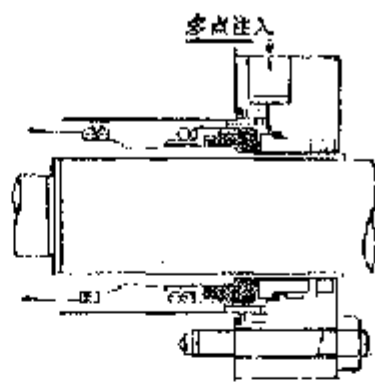
如果想要密封以最小的泄漏和磨损来工作，机械密封摩擦面发热必须散掉。同理，要想最有效，冷却液应指向散热效果最好的一点。不论冷却是由被泵送产品的循环来实现，还是利用外界冷却液源，也不论冷却液是否与摩擦面直接接触，这条原则都适用。内部连接布置的好坏做法示例，汇总于表V。

表V 内部连接做法

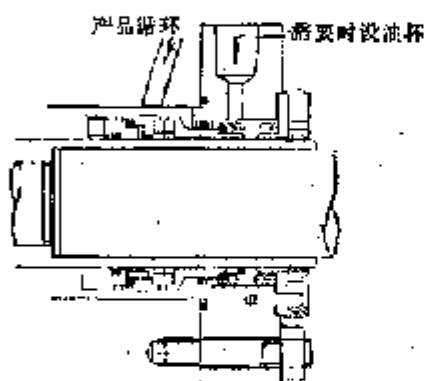
理想做法	有毛病的设计
 打破气化环，冷却效果最好	 避免此空腔，因为会发生过热
	 密封面间隙过大，密封妨碍液体流动。
	 避免在体阻孔处，进入密封腔的流量变化可能引起气化
	 避免进口远离密封面时的轴侧流动，摩擦面附近可能出现气化



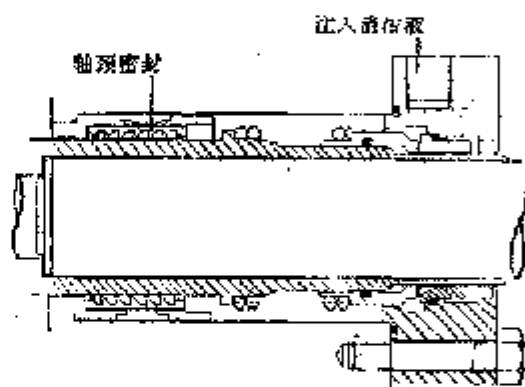
带推环的磨粒性工作密封



液化石油气密封



磨粒性工作密封

带轴颈密封的磨粒性工作密封
特殊工作密封的例子

泄漏

由于机械密封设计成靠基础面之间的润滑油膜来工作，所以始终存在着发生某些（哪怕很小）泄漏的可能性。例如，实际上所有的机械密封都会泄漏，虽然泄漏可能小到这种程度，以致于漏出的液体蒸发或气化而看不出液体泄漏，或者偶而才看到一滴。然而，更大的泄漏可能是密封面、轴承、减磨环等被磨损的一个迹象（见图16）。

对所经历的泄漏有主要影响的因素是：

- (i) 配合和安装精度。
- (ii) 设备操作失误和设备损坏。
- (iii) 辅助密封的完整性。
- (iv) 被密封液体的特性。
- (v) 冷却的充分程度。
- (vi) 密封和材料的正确选择。
- (vii) 设备的振动和稳定性。

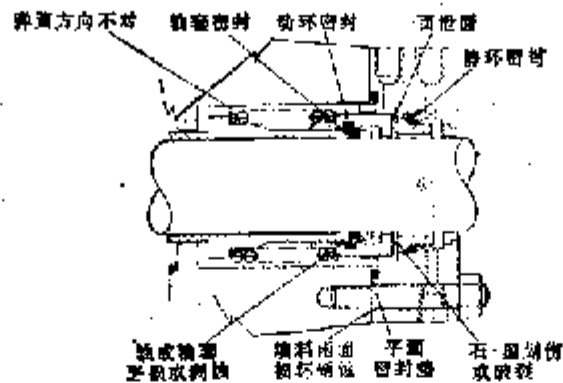


图16 从标准平衡密封泄漏的可能途径

磨损

制造商通过用若干种产品，对不同面材料组合进行试验来确定磨损率，直到确定令人满意的磨损率，据此可规定密封的平均寿命。图17是这种数据的例子，它表达为不平衡密封和平衡密封专利品系列的工作范围，包括产品、温度、压力、轴尺寸和速度。还表示出符号 ΔT ，即用来指出密封处产品温度与气化点或沸点之间的温度差的一个参数。图中曲线表示不同体材料和面材料的该尺寸密封的最大稳定条件。因此，带有不锈钢体和碳化钨面的尺寸45mm的密封，在超过此曲线时，就不能给出令人满意的寿命。编进制造商的密封选择指南里的是一个最小的 ΔT ，以便针对在不同条件下工作的密封指出这个曲线。图中画出的条件可以是一个锅炉给水工作状态（150lb/in²、170°C），落在“A”点，即不稳定区内。“A”点左边最靠近的曲线选出一个带铜合金动环和陶瓷面的密封，这是能在这种条件下工作的唯一单密封。即使这样，还要对密封区进行冷却，以便把温度降到与曲线相交的160°C左右。

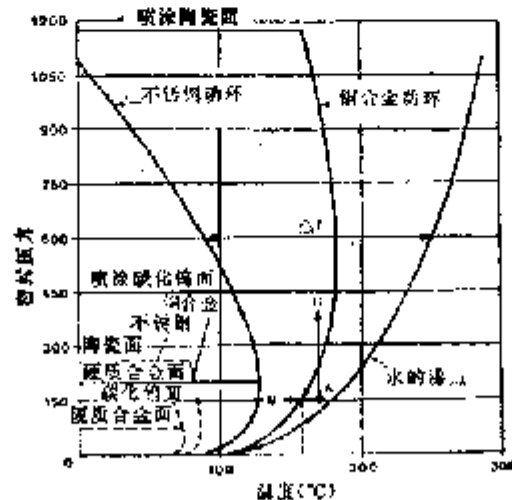
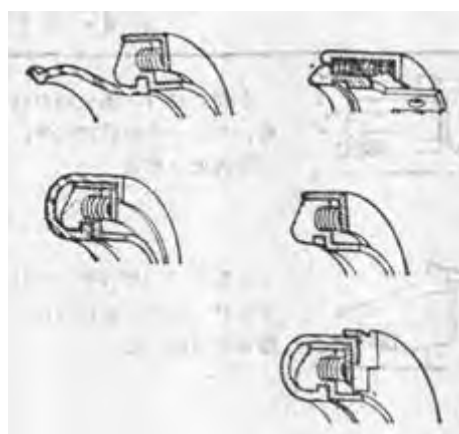


图17 直径45mm、转速3000r/min、用水工作的不平衡密封和平衡密封的工作范围

-----不平衡密封范围 ——平衡密封范围



机芯式机械密封，设计成能直接更换填料组件



各种轴封的例子



化学药品和酸类用特殊密封



DIN标准密封的例子

用于磨粒性用途的密封

被密封液体中的磨粒性成分的最常见来源是，作为温度变化或化学反应的结果而发生的产物结晶或凝固，或者正常存在着呈悬浮状的磨粒性固体。前者可以根据情况对密封加热或冷却来克服，或者利用一种冷却剂重新溶解或带走所产生的任何固体。含有呈悬浮状磨粒性固体的液体，可能更难对付，特别是由于固体的尺寸、密度和浓度可能变化很大。而且它们还造成磨损，包括密封面的冲刷磨损和磨粒性磨损。

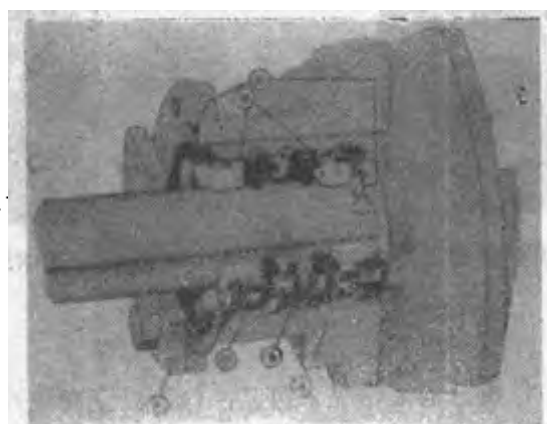
安排适当的流动图形，以便把磨粒从密封面带走，可以减小与冲刷磨损有关的问题。例如，带有钟形罩的离心泵，可能有装在钟形罩里的除涡器，以防止固体被流动图形吸到密封面，并保留在那里。应该消除可能积聚固体的节流孔，面所装的循环管应该有足够大的直径，并直接把液体通入固体不会积聚的区域。在更为严重的场合，增设旋流分离器，将清除许多大颗粒，并减小小密封机构冲刷磨损和堵塞的可能性。

然而，仍然存在着另一种可能性，即较细的颗粒穿过密封面之间的液体膜，引起磨粒性磨损。通常靠适当选择材料来适应这个情况，例如，选用硬表面或者至少有一个面制成拱形，以便用最少的维护达到较长的密封寿命。

对用来密封含有磨粒的液体的密封形式和安装的某些特殊建议汇总于表Ⅵ。

表 VI. 用于磨粒性液体的密封

	3型单密封，炭化密封炭化环，产品从叶轮后面循环，密封腔内无节流孔		2型或 299型（组合密封面）炭密封，炭密封炭化环压，密封腔内设有节流环，带有外部油止液
	2型或 299型（组合密封面）炭密封，炭密封炭化环压，密封腔内设有节流环		包压加压密封剂的双密封，炭密封炭化环压，密封腔内设有节流环，外部材料外密封
	2型单密封，炭化密封炭化环，产品从叶轮后面循环，密封腔内无节流孔，但在循环管内设有节流分离孔		立式泵，2型单密封，产品循环，密封腔内设有节流孔，带外部唇形密封和一个油杯

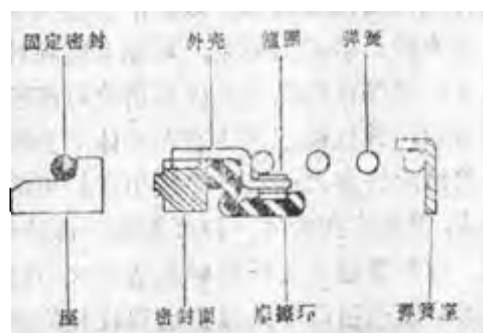


平面机械密封

A—泵轴，B—泵壳，C—静环，D—动环，无辅助密封，E—固定连接垫片，F—压环。



小断面机械面密封



辅助系统

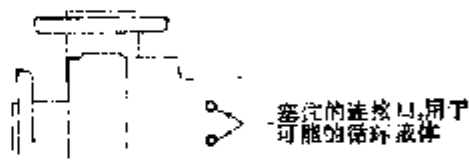
有利于机械面密封工作的条件是液体清洁，始终能流到密封处（润滑和冷却），有远低于蒸汽压力的凝液“条件”，起动前无须加热，以降低粘度，有足够的换热，以散掉发热量，无须因大量或有毒蒸气而采用冷却加盖，无须因闪点过低，而在密封处额外加压。

不符合上述要求的机械密封装置，要求特殊设计辅助系统，以保证足够的性能。实际上，多年来，密封和泵制造商已很好地发展了这种系统，API610发表了一系列图，使用户、泵制造商和密封制造商，可以单独或联合引用参考图，以代表按照他们的经验所采用的辅助系统，例子见图 18。

这些方案表示常用的系统并对系统选择给出广泛的指导。个别的泵制造商可能规定其他的变种或系统。辅助系统中可能含有的其他元件包括旋流分离器、过滤器和泄漏指示器。



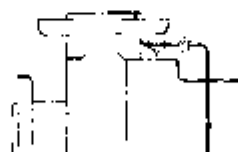
方案01 整体式（内部）
从泵出口到密封处循环



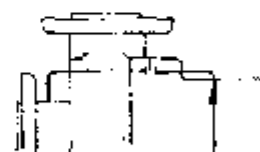
方案02 不带清洁液体循环的末端密封。除非另有规定，需要水冷面套和入口套



方案11 从泵壳经节流孔向密封处循环



方案12 从泵壳经粗滤器和节流孔向密封处循环



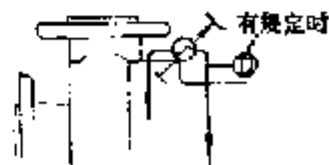
方案13 从密封腔经节流孔向泵吸入口循环



方案21 从泵壳经节流孔和冷却器向密封处循环

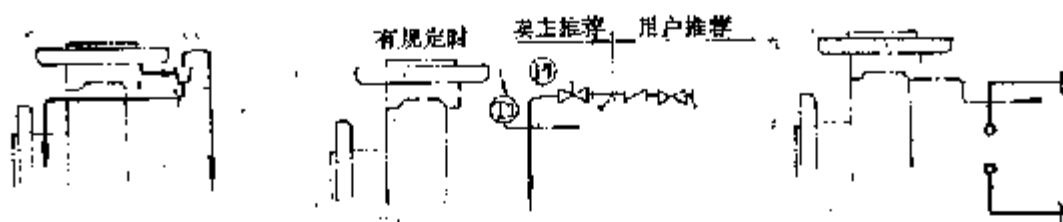


方案22 从泵壳经粗滤器、节流孔和冷却器向密封处循环



方案23 从带泵送环的密封经冷却器再返回密封处循环

泵的或特殊的输送

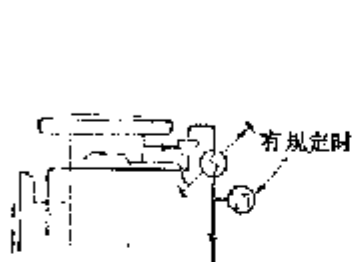


方案31 从泵壳经旋流分离器
溢出清洁液体向密封处循环，
含固体的液体返回泵吸入口

方案32 从外部清洁冷液源向
密封处注入〔见注（b）〕

方案33 从外部循环系统向双密
封循环清洁液体〔见注（b）〕

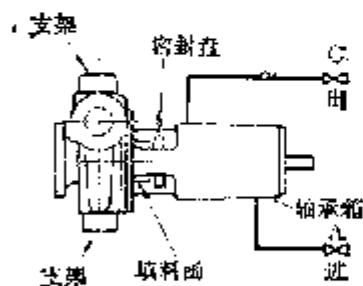
图例



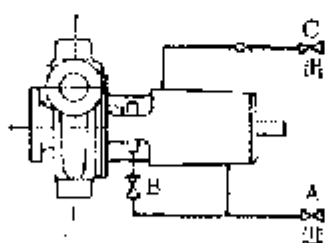
- 冷却器
- 压力表, 带截止阀
- 温度计, 有规定时
- 压力继电器, 有规定时
时包括截止阀
- 旋流分离器

- Y型粗滤器
- 球阀
- 截止阀
- 单向阀
- 节流阀

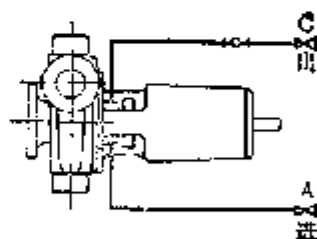
方案41 从泵壳经旋风分离器溢出清
洁液体经冷却器向密封处循环，含固
体的液体返回泵吸入口



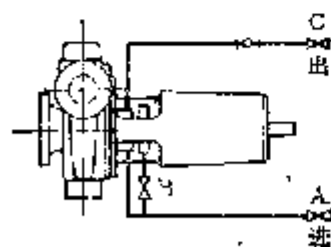
轴承箱冷却



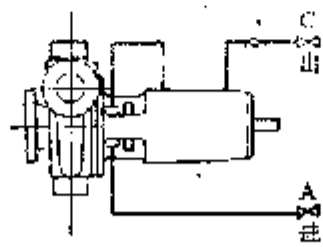
带密封盘并联的轴承箱冷却



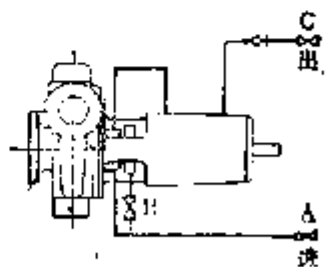
填料函套冷却

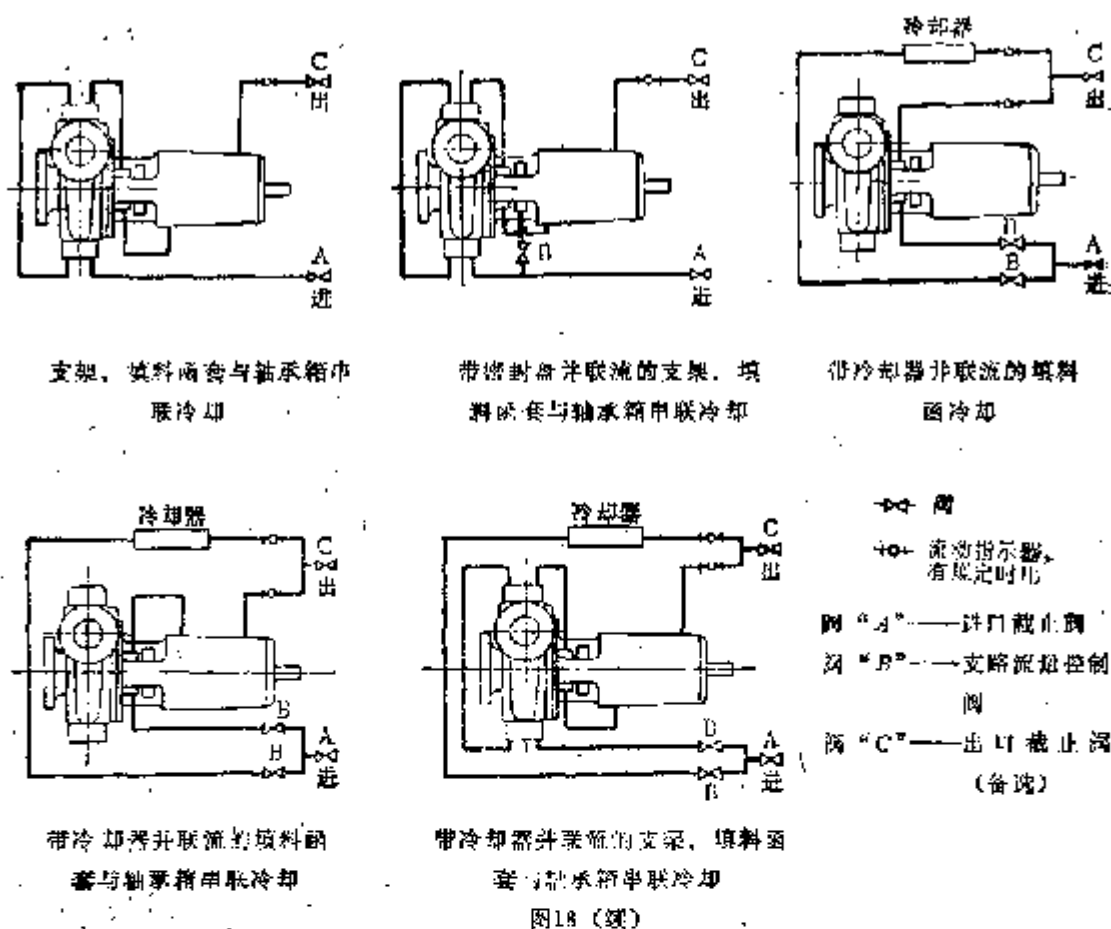


带密封盘并联的填料函套冷却

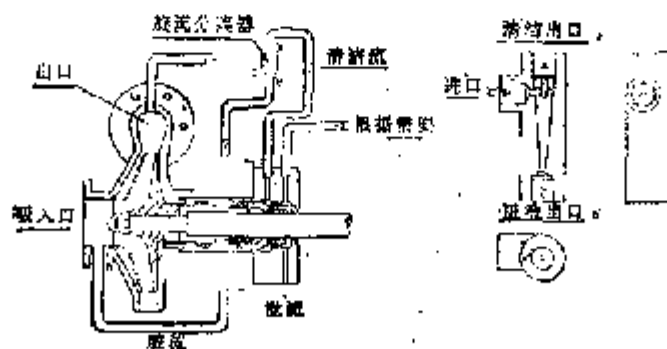


填料函套与轴承箱串联冷却

带密封盘并联的填料函套与
轴承箱串联冷却



当被密封液体较脏时, 采用旋流分离器; 其功能是净化为了润滑和冷却而供给机械密封的液体, 从而提高密封寿命, 并减少维修停机时间。旋流分离器的工作原理如下: 脏液体从泵的出口经管子进入旋流分离器, 并沿切向进入锥形腔的侧顶, 此切向流产生一个漩涡, 以致于液体在锥形腔中旋流, 从而形成一个“粗糙的”离心机。旋流的离心力把固体颗粒甩向锥面壁, 然后杂物逐渐下落到锥面尖顶 (底部) 的出口, 并在低压点返回主液流。清洁液体从旋流分离器的上部取出, 并且引向机械密封面。



为使分离器能成功地工作，一般必须遵守以下条件。

(i) 固体颗粒不得过大，一般要小于 1mm (对于较大的颗粒，也可以制造很大的旋流分离器，但流量可能不经济)。最小尺寸取决于固体比重和液体粘度，但约为 $5\mu\text{m}$ 。

(ii) 固体重量不得超过 10%，但正常的最大值为 3~7%。

(iii) 由于靠离心力来工作，所以固体颗粒的比重必须比液体大。

(iv) 如果液体很粘，则离心作用会受到很大阻碍，以致于在工业上是无效的。因此，最大粘度通常不得超过 $20\text{cst}^{\bullet}$ ($20\text{mm}^2/\text{s}$)。

(v) 旋流分离器进口与出口之间必须有压差，以达到分离所需要的速度。

过滤器

当固体成分的比重接近于甚至小于液体介质 (否则最好选择旋流分离器) 时；或者在一个封闭回路 (例如经过热交换器) 中机械密封被轴套与脏液体的主体隔开时，采用过滤器。过滤器的最大问题是它很快就堵塞，因而需要经常照料。

泄漏指示器

泄漏指示器通常仅用于被密封液体很危险 (易爆或有毒) 的场合。只要被密封液体不凝固，则指示器的工作原理是比较简单的。

典型的泄漏指示器示于图 20。工作原理很简单，阀 A 常开，阀 B 常闭，所以任何泄漏都积聚在腔中，并触发流量报警器。一般仅带动一个报警器，但是，如果认为有必要，也可用此信号使设备停机。

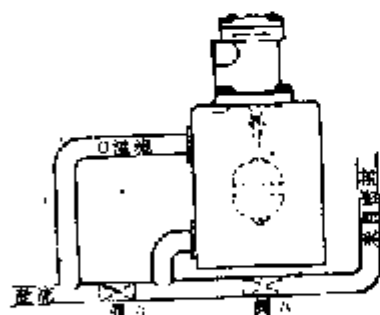
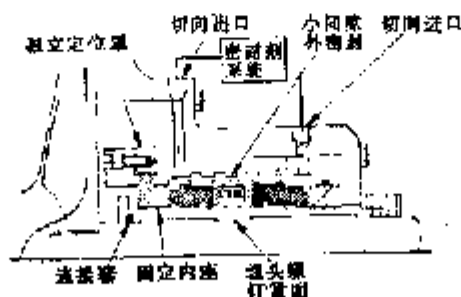


图20 泄漏指示器 (不凝固)



密封剂系统的例子



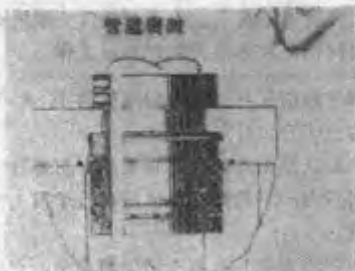
带密封剂系统的背靠背双密封的例子

● $1\text{cst} = 1\text{mm}^2/\text{s}$ 。

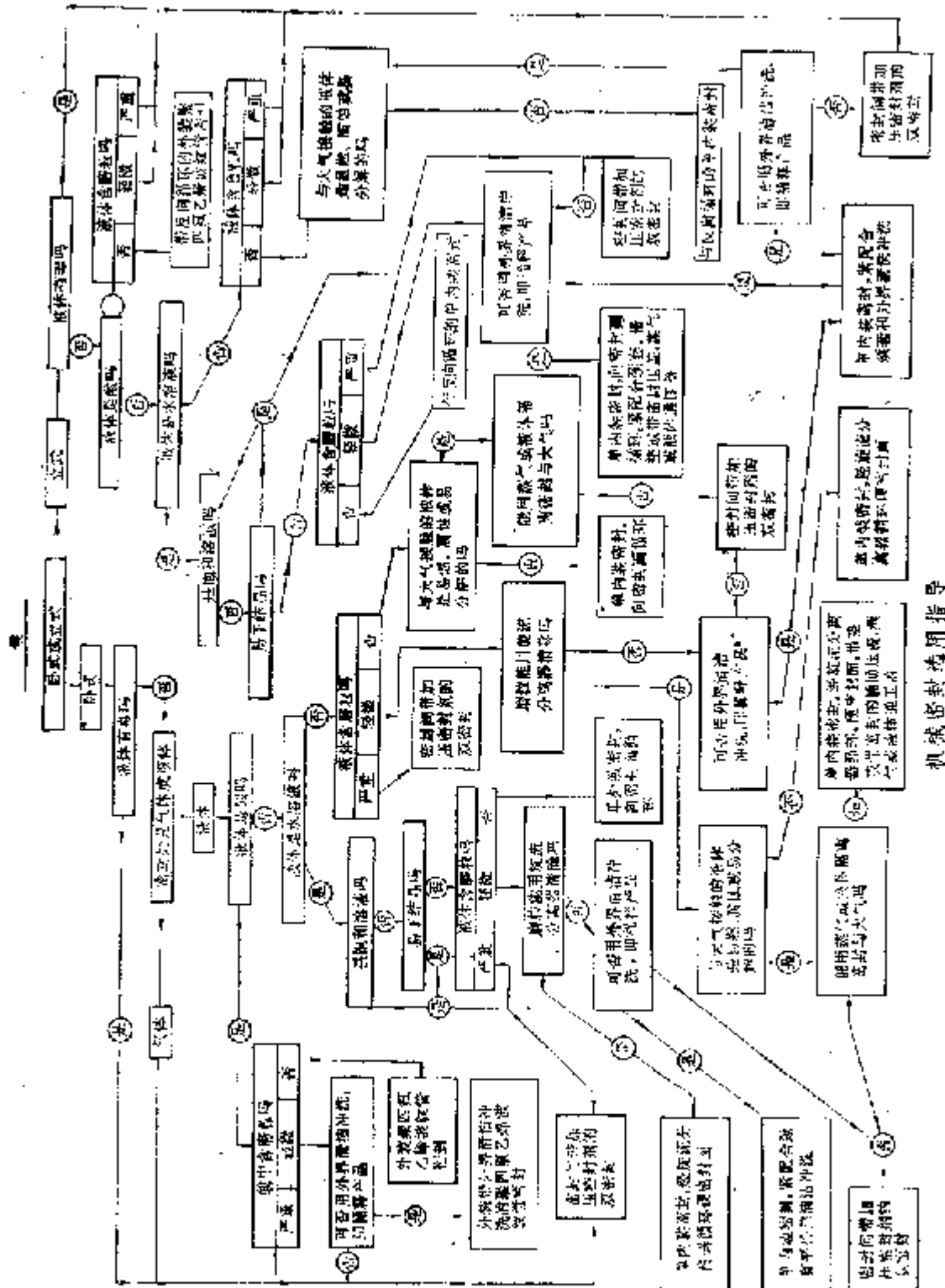
机械面密封故障的形态、原因和纠正措施

故障形态	原因	纠正措施
主密封面 全部腐蚀 局部腐蚀	材料不当 材料不当 处理不当	改正材料 改正材料 改正处理, 如焊接和热处理
应力腐蚀裂纹	材料不当 处理不当	改正材料 改正处理, 如消除应力
密封面变形 (凹度、凸度、硬度或 不均匀接触)	材料不当 材料不当 密封上液体压力过高 受压辅助密封膨胀过大 密封安装不当——夹紧或螺钉应力 过大或不均匀, 或者在辅助密封上 吸入应力或不对正 内应力 精加工不当 面间进入异物 密封工作PV值过大 设备运转不善导致不净的密封环境 (例如密封脂量不充分)	改正材料 改正材料 降低液体压力、改正材料、改正结构 改变辅助密封材料或结构 改正安装 消除应力并重新精加工 重新精加工 清除异物 降低PV值或改正结构或材料 改正环境, 如液体冷却流量或正材料或 结构
磨损	磨损不当 安装不当(卡住) 应力腐蚀裂纹 由下列原因所致热应力过大, 密封材料不充分之处的运转不当 PV值过大 密封上液体压力过高 辅助密封膨胀过大 密封上液体压力过高 轴跳动过大 轴变形过大 轴弯曲过大 密封面不垂直 密封面损坏 PV值过大	零件小心检查 改正安装 见上面应力腐蚀裂纹条目 改造成各运转环境, 改正结构或材料 降低PV值 降低液体压力或改正结构或材料 改正材料, 正液体或降低温度 降低液体压力或改正材料或材料 减小跳动或改正密封结构 减小变形或改正密封结构 减小弯曲或改正密封结构 使面与轴垂直 把液体温度降低到低于其点28°C 降低PV值, 改正材料, 改正密封平衡 或调整
功失效	溶解的固体析出 安装不正确(卡住) 密封材料中含有杂质 轴跳动过大(卡住) 轴弯曲过大 环境不良, 如密封脂量不充分或没有冷却	把液体温度降低到低于其点28°C 减少溶解的固体 改正材料 改正安装 从液体中清除杂质 改正材料 改正泵壳或泵的轴内清油 改正轴跳动 改正轴的运转 改正密封材料或结构

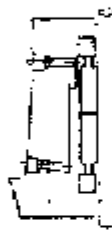
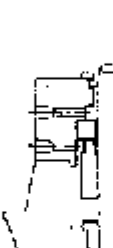
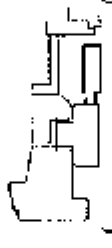
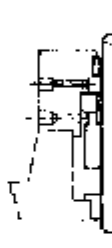
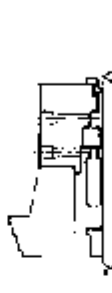
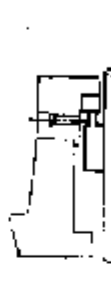
● PV值是代表摩擦副磨损程度的指标。

密封或辅助装置	说 明
	轴系之间的正离,使轴有较大的轴向运动时,也能有效液密封。在这种密封形式中,两个石墨环之间的空间充满液体的相移液体,其压力至少比腔合器中的压力高 1bar,而且,可以很轻松地能应密封系统。 这种密封形式,在制氧工业中用得最多,但在食品工业和机械工业中也有应用。它很易于安装,清洗也很简单。
 管道密封	在中东地区,石油是通过管道从深井运到炼油厂的,因此,需要很多泵站或增压站来维持必要的压力。因而用于此项工作的泵是高压泵,需要能对付这种高压的密封。 所示的密封就是专为和工作状况设计的,可在超过 $2 \frac{1}{2}$ in (英制单位) 的 PV 值下工作。
 食品工业	食品工业中所用的许多泵是螺杆泵,每套泵里有一个,四个甚至四个密封。这些泵可能是简单单螺杆泵,也可能是双螺杆泵,或者是气动或液压驱动的单头螺杆泵驱动的泵,也可能是双头螺杆泵驱动的泵。但在任何情况下,机械密封必须结构简单,没有积存产品产品的相对付的间隙,必须能简单地清洗而不损坏密封件。 目前使用日益广泛的密封形式是 O 型,它的结构简单,基本上是不锈钢制成的,而且足够小,必要时可作为双密封使用。

当一个密封制造商被要求作出密封选择时,必须知道被密封的产品、吸入量,有时还得知蒸汽压力、温度、转速、轴径、填料函孔径和深度、pH 值,而对于某些产品还要知道制造泵的材料。如果密封材料选错了,则可能造成电解作用,腐蚀密封件。考虑所有工作条件的总的指导在下图中给出,并见表 VII。



表丁 为不同危险等级和危险程度在表中的排列形式

极危险——易燃易爆	危险等级		 
极危险 毒害3级			 
危险 毒害2级			 
危险 毒害1级			 
危险——所以特性变化的物质因原料			 
不危险——希望知道泄漏	危险程度——>>>		 
不危险			 

第2E部分 特殊密封形式

波纹管密封

波纹管本来就是隔离零件,通常能适应轴向和径向运动。它可以用作专为把灰尘、尘埃与机器隔离的防护套;用作机械端面密封中的辅助密封件;在搅拌机、泵、压缩机、混料机或机器中代替填料函用作主密封件。在后一种类型里,它是机械端面密封的一种简单形式。

波纹管可以用橡胶或尼龙材料,或者用金属制成。用于推环式(端面)密封的橡胶波纹管,通常还带有一个或多个金属弹簧,以补偿疲劳。金属波纹管本来就有弹簧作用,并且,可以是锻压构成的(用管材液压成形)或焊接构成的。(其他构成方法有液压成形和电解沉淀)。焊接波纹管是最昂贵的构成,但比较牢固,能给出比较准确地控制的工作特性。并具有最高的工作温度范围。采用多层焊接构成代替单层(焊接)构成,可以进一步提高性能,以适应高压工作。

金属焊接波纹管由一系列通常厚 $0.1018\sim 0.1737\text{ mm}$ ($0.004\sim 0.007\text{ in}$)的不锈钢或耐腐蚀合金同心环波纹片组成,见图1。这种方案的波纹管有较长的行程能力,而又不使材料应力过大。另一种方案见图2。单弯用于波纹方案的空间受到限制,并要求良好的耐压能力的场合。螺旋管用于极端压力和恒定有效面积。平片主要用于无压力的检测用途,而不用于密封。



橡胶波纹管密封示例



图1 金属片焊接的波纹管



同心环波纹



单弯



螺旋管



平片

图2

波纹管的外皮尺寸,可由结构或波纹管的有效直径来确定。节距是相邻波褶之间的距离,它随着波纹管的伸缩而变化。最大节距不得超过行程加压并长度(三倍材料厚度

乘以波褶数)。压差变形和可能的循环寿命之间的关系,在图3中给出。每个波褶的最高压力值和最大变形都受材料性能的支配,即

$$\text{最高压力值} = K \times \frac{\text{片厚}}{\text{波纹管内径}}$$

式中K是取决于材料的常数(例如AM350马氏体不锈钢为 $150 \times 10^3 \text{ in}$, 压力单位为 lb/in^2)。

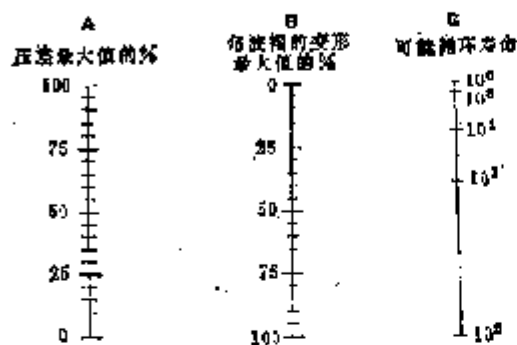


图 3



金属波纹管密封

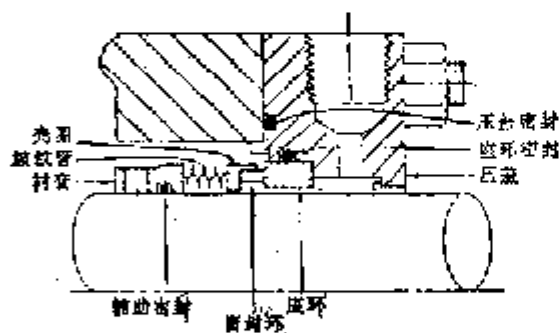


图 4 典型波纹管密封的一般方案



橡胶波纹管密封

典型波纹管(端面)密封的一般方案示于图4。波纹管本身起弹簧作用,以保持端面贴紧,提供动密封,并从轴向密封环传递力矩。波纹管的一端焊在衬套上,衬套通常用紧定螺钉固定在轴或轴套上,并容纳辅助静密封。波纹管的另一端焊在壳圈上,壳圈夹持着密封环,壳圈及密封环都不与轴接触。

当产品被保持在密封外径处时,离心力把任何颗粒都甩离波纹管,以此防止粘附,所以这种密封结构是自洁的。由于波纹管没有滑动弹性体,所以在轴未对正(这可能是端面密封泄漏的最大原因)时,轴上没有使端面分离的阻力或障碍。这个特点——它还消除了轴或轴套的磨损(端面密封的另一常见故障)——是使波纹管密封迅速推广的主要因素。这种密封结构可以直接装在轴上,装在勾头轴套上,或者在难于接近或难以布置的场合,装在预装套上。预装套方案可以先把密封装配固定,然后,再装到机器上,这是个很有价值的优点。

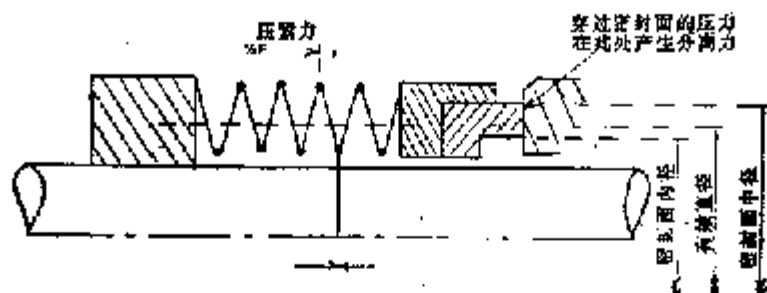


图5 波纹管密封的压力平衡

片上施加压力，每个方向产生一个轴向力。该力的大小取决于片的面积和施加于片上的压力。例如，如果压力为7bar (100lb/in²)而片面积为2in²，则总力将为200lb。这200lb力分解，并被片的两端分担，每端作用着100lb力。在波纹管的内径处，该力相等地作用于褶皱两侧，但方向相反，所以互相抵消。而在外径处200lb力作为压紧力作用于密封面。这意味着有效面积为1in²，有效直径位于波纹管中径。

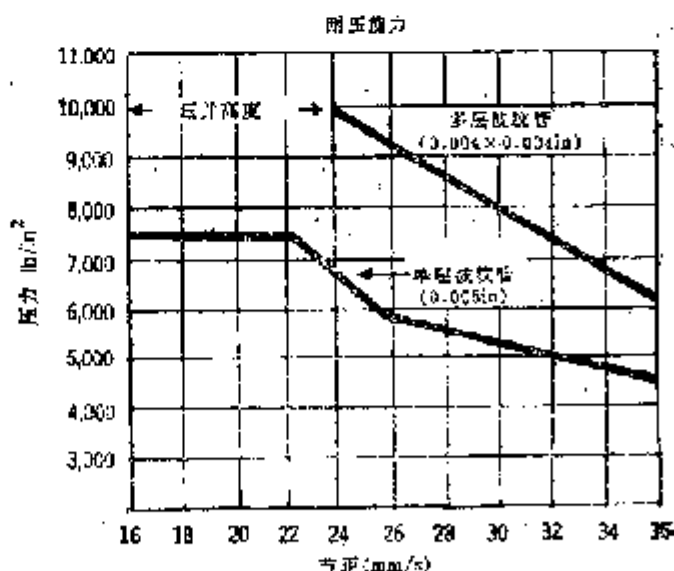
为了得到“平衡用力”，设计的密封，要安排密封面相对于有效直径的位置，并把压紧力设计成稍大于分离力，以便在所有工作状况下，保持密封面贴紧而又不产生过多的摩擦热。

高压介质

单层金属焊接波纹管，根据节距的不同，可以设计成适应高达500bar (7500lb/in²)的内（爆破）压力。采用图6所示的多层波纹管，还可以进一步提高额定压力，把最高额定压力提高到700bar (10000lb/in²)而保持同样的嵌套能力和较低的弹簧刚度。



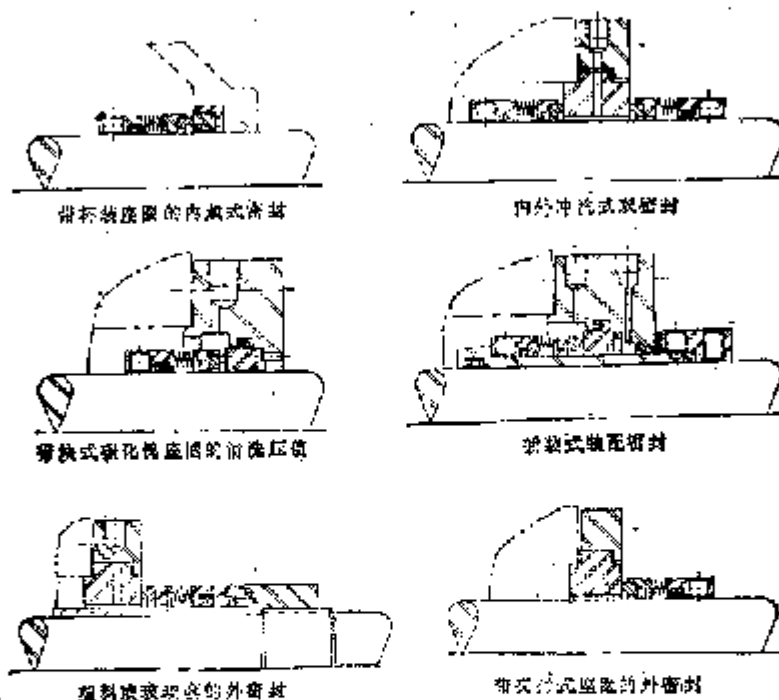
图6 多层波纹管截面的20×显微镜照片。注意褶皱和焊接方案提供的长压缩行程和几乎完全的嵌套能力



爆破压力与波纹管节距的关系波纹管数据
外径—1.5in 内径—1.0in 材料—AISI-10 加工—公制

处理腐蚀性介质

当密封磨粒性液体时, 夹带的固体被封闭在填料与轴之间 (采用软质填料压盖时) 或橡胶件与轴之间 (用端面机械密封时)。这引起轴及橡胶件严重磨损, 使产品漏出, 并需要很高的更换费用。用波纹管密封结构, 可以消除这个问题, 因为没有滑动橡胶件等在轴上滑动。当液体夹带着较多的固体时, 波纹管可以内装, 以便介质只接触波纹管外侧。任何颗粒将被离心作用甩离波纹管波褶, 从而防止阻塞 (这是在端面密封中采用小弹簧时的常见故障)。波纹管本身通常用耐酸合金 C 之类的耐腐蚀材料制造。采用波纹管密封的一个优点在于, 通常不再需要昂贵的过滤器或旋流分离器。



波纹管密封应用图

用聚四氟乙烯制成的外装式波纹管, 可以适应象酸那样的高度腐蚀性液体。波纹管、衬套、壳圈可以由聚四氟乙烯浇铸和机械加工成一体, 以便密封中没有任何零件与介质接触。



特聚四氟乙烯波纹管的端面密封专利品的外观

表 I 金属波纹管材料

材 料	温度 °C	备 注
AM350	-40 +450	马氏体不锈钢。强度高。最常用材料。热处理后，强度高。不能经干燥后状态。耐腐蚀性在热处理前，相当于 303 (系列 10/8 标准值)，热处理后，相当于 400 系列
300 系列 (AISI 3471)	-250 -650	奥氏体不锈钢。不进行热处理。可用于低温，但在高温下变形。易产生永久变形，所以不宜用于要求严密固体的场合。用作腐蚀条件下的波纹管件
镍铬合金 X750	-250 -760	在高温和低温下强度都好。耐腐蚀性比不锈钢好。GT 在含硫环境中迅速腐蚀。焊接困难。原料贵，热处理昂贵
耐蚀合金 C	-250	耐腐蚀性很好。不进行热处理。耐应力开裂。电导良好。原料比镍铬合金还贵

表 II 端面组合 PV 值范围

密 封 面	材 料	最大 PV 值	
		lb/in ² ft/min	bar/m/s
石墨	标准钢	150 000	50
	铬镍合金	700 000	240
	镍氧化铬	460 000	150
	镍氧化钨	800 000	280
	碳化钨	1 000 000	340
	西莱德合金	5 000 000	1 750
	陶瓷	500 000	170
	铜青铜	700 000	245
	耐蚀合金	880 000	300
	碳化钨	150 000	50
碳化钨	西莱德合金	500 000	170
西莱德合金	西莱德合金	250 000	90
西莱德合金	西莱德合金	400 000	140

表 III 高压波纹管密封材料选择指导

介 质	介质类型	密封面	其他材料	压 差 等
低温	—	石墨	陶质或陶瓷	循环。用石墨或陶瓷的多级密封
热交换液	非常粘性 无粘性	石墨 碳化钨	标准	循环。排放和回流。背压节流阀
酸、碱、盐和石油化工产品	中度腐蚀性 腐蚀性 腐蚀性和磨蚀性	石墨 碳化钨 碳化钨	镍铬合金 标准 镍铬合金	循环。排放和回流。背压节流阀
	精馏厂真空 真空炉底 氯化剂循环液	石墨 陶质密封件 制造商	标准	循环。排放和回流。 背压节流阀。 采用冲伐。高压时可用蒸汽截止

(续)

介 质	介质类型	密封面	其他材料	注 释
密 剂	腐蚀性 磨蚀性 密封性 腐蚀性 和 磨蚀性	石墨 碳化钨	标准 钴基合金 标准 钴基合金	标准, 密封面光滑, 有铜管密封
	低酸			循环, 停止, 密封材料
密封液体	除火剂或凝固剂	碳化物		排放和回收, 有液体密封, 蒸汽通过 金属密封

上述 PV 值是只用机械力算出的。对于用较高压力（泵类应用中常见）的值，上述数字可能增加到高达 2 倍。

材料

装配式金属波纹管，可以用任何现成的可焊接金属制造。马氏体不锈钢大概是用得最广的，但要求在焊接以后热处理。对于较高的耐腐蚀性和较高温度的应用场合，通常选用高镍合金，见表 I。

橡胶波纹管

橡胶波纹管可以模压或焊接成形。模压波纹管通常更受欢迎。对于低压最好是深而窄的波褶，对于较高压力，最好是圆而宽的波褶。高压时，需要加大厚度或采用多层结构，这使波纹管变硬。

衬套密封

衬套密封的工作原理是一个具有较小间隙的长环形缝隙提供节流作用。因为衬套密封的有效性直接与流体粘度有关，所以它仅适用于密封液体，而且，尤其适用于可以允许某些泄漏的应用场合。衬套密封的优点是简单而便宜，容易安装和不需要维护。

在固定衬套密封中，造成环形缝隙的衬套固定于机壳（图 1）。为使泄漏量保持在合理范围内，同时仍然保持可接受的衬套与轴间隙，需要比较长的衬套。这可能强调对中问题，此问题被旋转轴系统中的任何偏心量进一步加重。设计通常考虑到可能出现某些磨合接触，这使人们喜欢用软质低摩擦金属做衬套，或用填充了石墨、聚四氟乙烯或二硫化钼的复合材料。巴氏合金通常用于低温密封；铝合金、青铜或石墨用于高温用途。

理论上穿过同心环形缝隙的流量，由下式给出

$$Q = \frac{\pi D b^3 \Delta P g}{\nu P L}$$

式中 D ——缝隙平均直径；
 b ——半径间隙；
 ΔP ——压差；
 ν ——液体粘度；
 P ——液体密度；



图 1

L 缝隙长度。

由此可以意识到, 间隙要比缝隙长度重要得多, 就是说泄漏流量与 L^3 成比例, 但仅与 L 的一次方成反比。这个基本关系式仅适用于穿过同心缝隙的流动。在实际的衬套密封中, 一定程度的偏心, 几乎是不可避免的, 它对泄漏流量有不利影响。因此, 除非有实验数据为基础, 实际上不可能预测固定衬套密封的性能, 如果已知存在的偏心量, 则可以计算其可能的性能。

在偏心缝隙的场合, 对应的流量公式为

$$\text{穿过缝隙的流量} = \frac{\pi D b^3 \Delta P}{12 \mu L} \left(1 + \frac{3e^2}{2} \right)$$

式中 e ——轴相对于孔的偏心率。

浮动衬套密封克服了这个缺点, 允许衬套跟随轴的径向运动。密封本身设计成使衬套能径向运动, 但却被弹簧约束在正常静止位置 (图 2)。这意味着间隙可以减小。与此同时, 必须限制衬套转动 (例如用销钉), 并把其外端面磨光, 以便能沿其压板的接触面平滑的上下运动。压板端面也必须磨光。



图 2

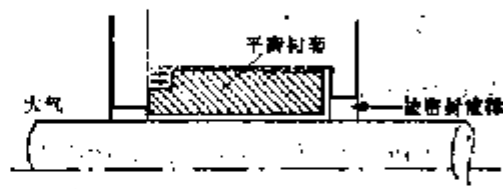


图 3

对于低压下的密封, 靠弹簧使衬套与压板端面接触。在中等压力下, 液体压力可以提供所需的力而可以省掉弹簧 (虽然设计中仍可能含有弹簧)。在更高的压力下, 可能需要在密封的相反端面制出阶梯形, 以减轻液体压力所产生的轴向密封力。这是必要的, 因为过大的轴向力将使衬套黏附在压板端面上, 而不能自由浮动以跟随轴的运动。

某些浮动衬套密封具有平衡结构, 它是靠把密封或轴制成阶梯形, 以便提供作用在预定的端面积上的背压而实现的 (图 3)。用这种方法可以实现任何所需程度的液压平衡, 以便使衬套自由浮动。

浮动环密封通过把长衬套分割成若干个能单独运动的环而克服了这个特殊问题 (图 4)。于是每个环可以在它自己的长度上, 根据轴的运动自动调整。因为每个环只承担总压差的一部分, 所以仍能运动自如。

分段环浮动衬套密封又有所不同, 它利用一个 (单个的) 浮动环, 配以装在同一沟槽中的一个保持环和一个握紧弹簧 (图 5)。握紧弹簧保证对轴表面的密封性接触。当密

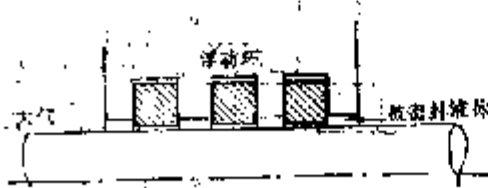


图 4

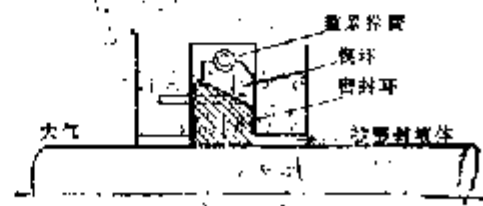


图 5

封环随轴的径向运动浮动时, 密封环和它的保持环之间的斜面保证对沟槽壁面的径向密封。这种环既可密封气体, 又可密封液体。

因为这种形式是接触密封, 所以密封环通常用巴氏合金或青铜制造, 或者在密封非润滑剂 (例如水) 或气体时, 用低摩擦复合材料制造。

浮动环密封有许多方案, 其中包括接触环 (分段环) 上带磨损补偿的, 压力平衡的和缓冲的。整个密封中所用的环数也会随不同的应用场合而变化。

聚四氟乙烯轴承带

一种廉价制造简单衬套密封的方法是用加固聚四氟乙烯 (例如玻璃填充聚四氟乙烯材料) 来制造。它装配到一个机械加工的窄槽里, 如图 6 所示。

参看关于迷宫密封和磁流体密封的章节。



金属衬套密封 (左) 和聚四氟乙烯衬套密封 (右)。
后者通常配有防转动销钉。



图 6

迷宫密封

迷宫密封是靠间隙来工作的, 它借助于长而曲折的间隙来保证密封性。于是, 密封性取决于迷宫的形式、迷宫的实际间隙和泄漏途径。迷宫的基本形式可由环 (轴上) 和槽 (孔中) 来提供 (图 1), 但更有效的形式是交错的齿或交错的锯齿形突起 (图 2)。一般认为在给定的间隙与密封长度下, 尖“齿”在减小泄漏量方面更为有效, 密封气体时尤其是这样。

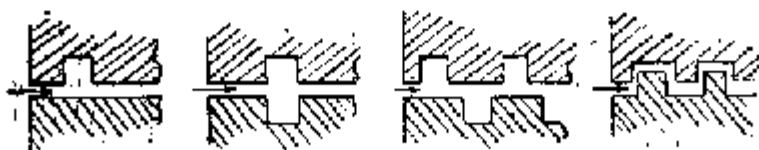


图 1

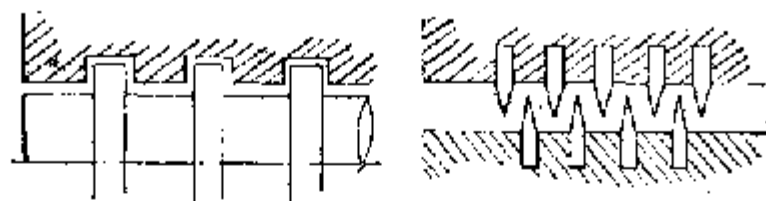


图 2

迷宫密封的效果与间隙大小成反比地提高, 所以间隙越小越好, 只要在运转条件下能避免密封内部的接触就可以了。间隙必须大于支承着轴的滚动轴承的轴向或径向间隙, 或者大于滑动轴承中可能出现的弹性变形。滑动轴承的典型配合为孔: ISO K7、M7 和 N7, 轴: ISO h 6、j 6 或 k 6。确定适当的间隙时, 必须考虑到在工作温度下, 热膨胀使间隙减小的效应。

另一方面, 密封内部有发生接触的明显可能性时, 齿可以用升华材料而不用熔化材料制造, 以便在发生接触时, 避免配合件咬住或擦伤。另一种解决办法是在偶而出现的磨合接触的后果最小时, 一组“齿”用石墨制造 (较长时间的磨合接触, 将使石墨表面磨合成一种轻“轴承”配合)。

迷宫密封专利品的典型形式示于图 3。二者都包括外环和内环, 由配合齿型面形成, 以便带间隙工作。第二种密封还带有一切圆周切槽, 穿过密封的任何液滴在离心力的作用下, 穿过一个带有外环泄流孔的环形槽再经过这些切槽喷出。

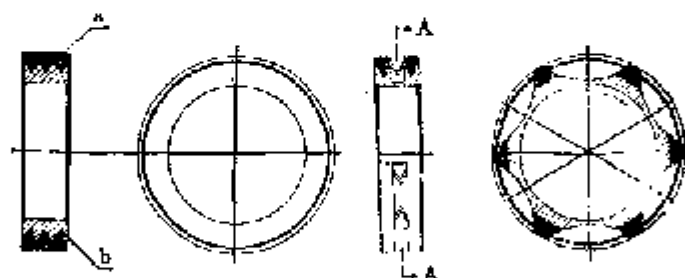


图 3

a—外环; b—内环; A—外环泄流孔。

迷宫密封的另一种形式示于图 4。其中间隙呈之字形, 密封件要布置成迷宫大直径朝向被密封流体。一旦流体进入间隙, “齿”形所产生的离心力, 在收敛的密封途径中造成封闭作用。当流体是气体时特别有效。当被密封流体是液体时, 增加一个出流孔可以提高性能, 出流孔开在内环或外环上, 以降低穿过间隙时建立的压力 (图 5)。此出

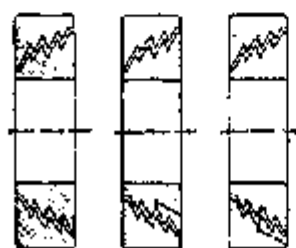


图 4

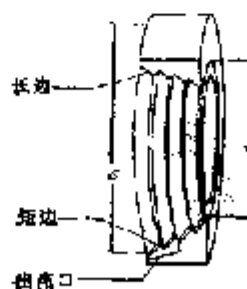
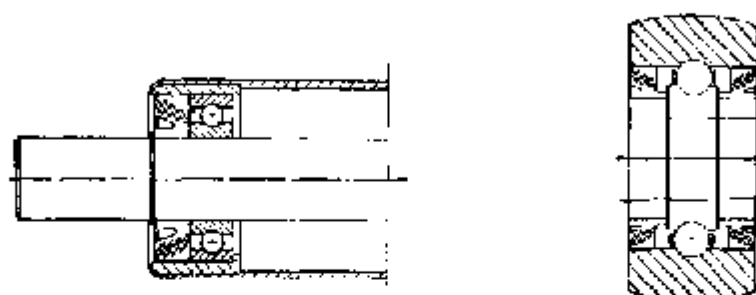


图 5

梳孔必须始终处于环的底部。

简单迷宫密封上的其他种包括采用带角度的齿组，或者转动件和固定件上带有不同的半锥角，以便产生反向泵送作用（例如密封给出逆风作用或作为一个正作用动液密封来工作）。

在重型工业设备和允许较大泄漏，并要求密封简单的其他应用中，迷宫密封广泛地用作滚动轴承的密封和用来密封轴及主轴。迷宫密封是非接触密封，不产生摩擦和热量，适当地选择间隙时，可以用于高温用途。



黄油润滑球轴承用简单、双迷宫密封

按纯迷宫原理工作的另一种密封形式是带轻微磨合接触的金属蜂窝环。在这种场合下，迷宫途径是由蜂窝状结构提供的。采用不锈钢或类似蜂窝的这种密封形式，足以承受转子顶部密封这类应用场合中在压力下的磨蚀和剥蚀。

参看关于石墨密封的章节。

正作用密封

这个词适用于这样一种径向密封结构，其特点是产生某种形式的加压反向泵送或背压以阻止穿过间隙的流动。它们也被称为粘性密封、螺旋密封、逆风密封等。它们可以被设计成间隙密封或接触密封。在后一种情况下正作特性可能是原来的普通挠性唇形密封的辅助特点。然而，几乎所有单独形式的正作用密封都是带间隙工作的硬质密封。

最简单也是最古老的形式是螺旋形密封，其中在轴上或孔内加工出细牙方断面螺旋（图1）。当轴旋转时，被穿过间隙反向泵送的流体的粘性提供密封作用。这种密封用来密封液体时可能十分有效，背压与轴转数（及液体粘度）成比例。不过，只有当轴转数达到一个特定的转速时它才密封，因此对于灌注系统将要辅以静密封。当然，它也是单向密封。然而可以把两个这样的密封做成背靠背形状以保证双向密封。

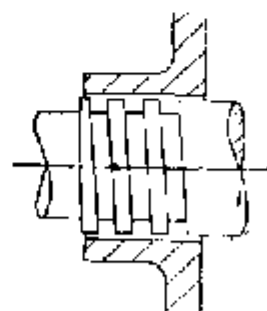


图1 “逆风”型密封

虽然这种密封可以直接用来密封液体，但用来密封气体时效果较差。不过，一个充液螺旋密封可用于气体，因为密封件本身在间隙中保持一个有压液体屏障。所以必须设

置适当的供液、回收和循环系统。这里可以指出，让螺旋长度比密封孔全长短有助于在孔长内保存液体。

其他结构变种旨在把间隙减小到绝对最小值，办法通常是在弹性支承的浮动衬套或类似的孔内引入螺旋形。于是这类似于浮动衬套密封，但带有内部“逆风”特点。其他浮动的弹簧加载的螺旋密封工作时带轻微磨合接触。



图2 带双向作用特点的逆风密封

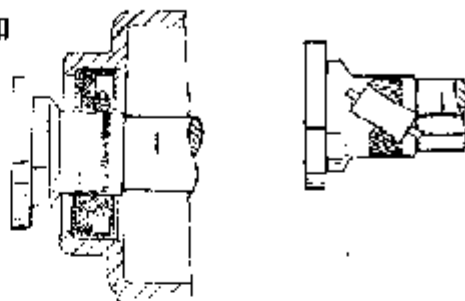


图3 与唇形密封合用的轴上加工出螺旋槽

其实，最成功的螺旋形密封是在普通的唇形密封上引入“逆风”或泵送作用。这种密封易模压（不用机加工）并且尺寸方面不像螺旋衬套密封或类似方案那么严格，而且通常表现出提高了的性能。此外这类现代密封不一定起“泵送”密封的作用。主要密封作用是由密封唇口下外侧即低压侧的液体弯月面提供的。唇口部分形状中引入的正作用效应可能主要保证这个密封区足够供液，以便在流体动力润滑条件下保持足够的密封性。这种密封大多数是单向的。也发展了双向密封，不论旋转方向如何它都能给出所需的“泵送”作用，例子见图2。

另一种方法利用普通的唇形密封，其泵送效应是由轴本身上轻微加工出的细牙螺旋形状提供的，例子见图3。虽然这似乎加剧密封唇口的磨损，但为促成这种作用仅需要在轴上非常轻微地加工。参见关于衬套密封、油封和迷宫密封的章节。

膜片密封

膜片是个挠性或弹性件，其圆周固定，能沿与固定面大体上成直角的方向运动。因此，膜片作为密封件的应用限于往复运动。虽然实际应用是比较有限和比较特殊的，但



图4 膜片密封

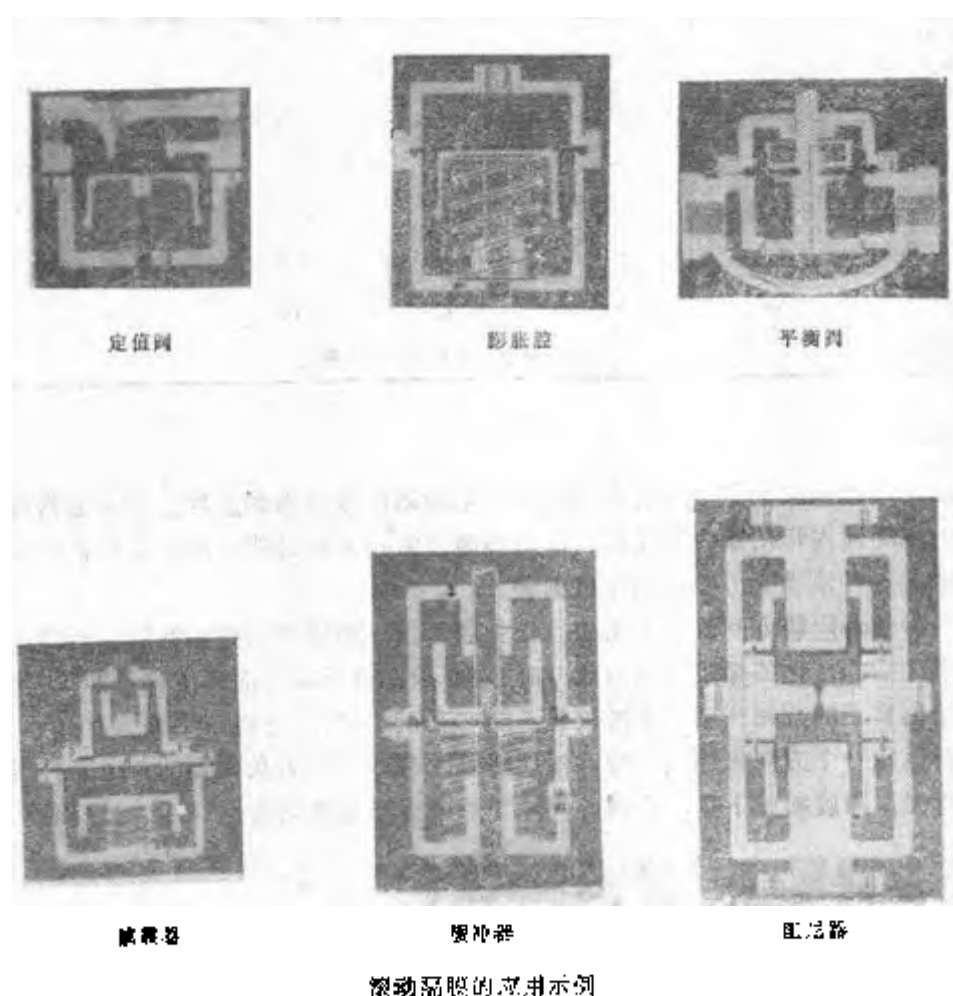
膜片是无泄漏密封件。

膜片密封件通常由橡胶或夹布橡胶制造，有些用途可用金属膜片。有各种不同的方案，以改变膜片的行程和膜片材料的受力方式。

平膜片是最简单、最便宜的，但行程有限，材料也直接受拉力。行程通常要用机械挡块来限制，以防止过度拉伸，比较早的疲劳损坏容易出现在固定线附近。

波纹膜片或碟形膜片可以有更大的行程（前者大于波纹高度的二倍，后者接近碟高的二倍）。两种形状都有优点，即材料受弯而不受拉，所以将有明显较长的使用寿命。

松弛膜片有大得多的行程能力，虽然可利用的实际行程受不发生材料皱褶时所能容纳的松弛量的限制。用于长行程场合的最常见的形式是滚动隔膜。



膜片材料

平膜片和波纹膜片的大多数用途需要夹布橡胶材料，以防止过度变形或“膨胀”。棉纤维和粘胶纤维是常用的帘子布纤维，涂上丁腈橡胶。典型膜片材料的性能示于表1。这种材料用来制造单个模压的波纹膜片，也用来生产橡胶板（模压或压延），用橡胶板切割制成平膜片和波纹膜片。

表 I 典型膜片材料的性能

骨架材料	埃及帝	高强粘胶	高强粘胶	埃及帝	高强粘胶	高强粘胶
重量 (g/m^2)	75	133	240	75	133	240
橡胶涂层	丁腈橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶	丁腈橡胶
成膜厚度 (mm)	0.275 ± 0.02	0.375 ± 0.05 -0.02	0.5 ± 0.05	0.275 ± 0.02	0.375 ± 0.05 -0.02	0.5 ± 0.05
(in)	0.011 ± 0.001	0.015 ± 0.002 -0.001	0.020 ± 0.002	0.011 ± 0.001	0.015 ± 0.002 -0.001	0.020 ± 0.002
重量 (g/m^2)	320 ± 20	450 ± 30	630 ± 40	320 ± 20	450 ± 30	640 ± 40
拉伸强度 (bar)	7	14	23	7	14	23
1.4bar 下的 孔隙率	零	零	零	零	零	零
表面情况	灰色, 粗糙	灰色, 粗糙	灰色, 粗糙	黑色, 光滑	黑色, 光滑	黑色, 光滑
耐腐蚀性 (D3D 2472/B/O)						
24 h 150°C, 重量%	- 6	- 4	- 5	- 6	- 8	- 7
耐腐蚀性 (5%ATP)						
48 h 40°C, 重量%	+ 6	+ 8	+ 7	+ 8	+ 7	+ 6
防水, 重量%	- 6	- 10	- 10	- 8	- 9	- 8
最高工作温度 °C	100	100	100	100	100	100
特殊特性	胶性和配粘材料具有中等强度					

滚动隔膜

滚动隔膜基本上是放在缸内的能随活塞运动的很松驰的膜片。运动通常仅在单方向产生力, 而回程运动靠弹簧作用。滚动隔膜通常作为密封件使用, 而不作为压力敏感元件使用。一种滚动套方案被用作气弹簧。

一种滚动隔膜专利品示于图 1。松弛膜片用一种通常用高强粘胶、聚四氟乙烯或玻璃纤维加固的合适的橡胶模压而成。加固层必须允许圆周方向自由伸长而没有轴向伸长, 以便给出真正的滚动作用。平橡胶囊不能“真正滚动”, 并将产生摩擦。

只当沿一个方向施加压力时, 滚动隔膜才有效。压力负载大部分由悬挂着隔膜的活动架承受, 隔膜松弛下垂, 在同心间隙中形成 U 形截面的叠褶 (图 2)。隔膜上的压力

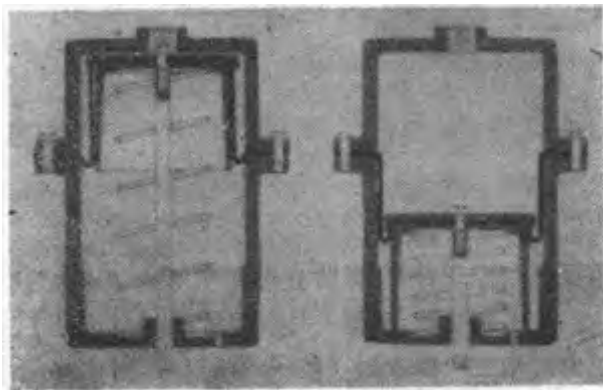


图 1 滚动隔膜



图 2

保持它与活塞及缸孔的紧密接触。活塞的运动引起叠褶沿轴向间隙上下滚动，行程仅受可以利用的松弛量的限制。于是这种隔膜可以有很大的行程，此行程取决于原始袋形的深度。隔膜运动是平滑和连续的，并且没有摩擦（因为运动是滚动）和迟滞效应（因为隔膜不受拉伸）。

滚动隔膜用作无摩擦无泄漏的密封件，用来密封有压流体（例如某些气动执行器）。用现成的骨架材料可以适应高达 35bar(500lb/in²) 的工作压力，因为骨架应力是比较低的。此应力可直接按下式计算

$$S = \frac{P \times C}{2} \quad (\text{用一致的单位})$$

式中 P ——施加的压力；

C ——径向间隙或叠褶的宽度。

滚动隔膜是一种特殊情况，通常被看成是整个部件结构的组成部分。大概唯一的机械要求是避免活塞上和隔膜夹固处的尖锐棱角，以及保证叠褶总也不被拉直的附加松弛量。

单个隔膜通常夹在法兰面之间，用卡箍、螺钉、卷边收口或通常用得较少的铆钉来夹固。密封面可以进一步成形或处理，以便提供足够的夹固表面。

带螺钉法兰通常最受欢迎，因为它比卡箍便宜，而且只要螺钉均匀拧紧，在整个密封面上造成均匀的压紧力，就能提供足够而一致的密封性。带螺钉法兰还容易拆卸，以更换隔膜。

卷边收口是一种低费用的生产方法，特别适合于轻型装配，它涉及到把一个法兰沿其他法兰滚压和收口。不过，所施加的实际收口压力可能是决定性的。过大的收口压力会使隔膜材料产生皱纹、割破或其他损坏。收口压力不足，会产生连接处泄漏。无论哪一种情况下，毛病都无法纠正，因为卷边收口装配是永久性连接，不能拆卸和重新制造。

滚动隔膜一般适于密封约 0.15bar(21lb/in²) 到 25bar(350lb/in²) 的压力；和从 -65℃到 +175℃范围的工作温度。然而，热降解可能限制连续工作时的温度上限。

活 塞 环

为了密封工作温度高于橡胶、织物和合成材料所能承受的温度的汽缸，类似内燃机中所用的金属活塞环就变成了合逻辑的选择。其实，金属活塞环有两大类，一类是普通（外弹式）活塞环，即带整体结构的压缩环；另一类是金属密封，它可以是外弹式或内弹式，可以由开口环或成组的两个以上的单环组成。后者另有章节介绍。此外，还有一些改变了的环形状，作为单独的密封结构来介绍更为恰当，但因为它们的工作原理与压缩环相同，所以也包括在本章中。

汽车型压缩环已发展成许多成熟的形式，例子见图 1。针对内燃机还有其他形式的活塞环，如润滑油控制环和压力加载环（例如戴克斯环）。

用于高速发动机时，两个压缩环就足够了，因为使用环数较多时，势必增加摩擦力和所需活塞长度。普通形状是矩形断面环，虽然为了迅速下降和更好的润滑油控制，下环可以是外缘带锥形的或内缘阶梯形的。更多的断面方案用作润滑油控制环，其中包括

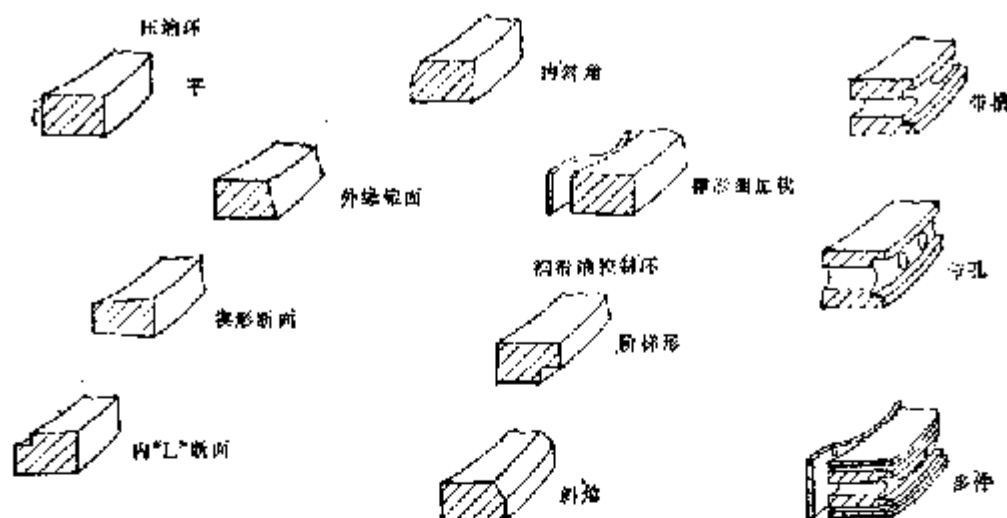


图1 活塞环的形式 (BS3627)

阶梯形、带槽的或阶梯带斜角断面。环槽也可略微向上倾斜，以防止扭结。

内燃机用的大多数活塞环被设计成符合BS3627，该标准规定压缩环和润滑油控制环的正常直径、最大理想厚度、宽度、合缝尺寸和最低缸壁压强。活塞环的名词术语在BS3656中另外规定。

对活塞环来说，满意的性能在很大程度上取决于内孔和环的磨合表面的高光洁度，以及环槽对环的足够支承。为了装配，环必须是开口的，虽然这个开口通常闭合，但这提供一个附加的泄漏通道。通过采用阶梯形、斜口或过盈间隙代替直口环，可以把泄漏量减至最小。

磨合摩擦比较小的合适的汽车型环组在有足够润滑剂时，可以提供良好的瞬时密封性，但保压能力有限。性能还随内孔表面的恶化或同心度的丧失而迅速下降。用特别形状的活塞环，可以在已磨损的内孔上达到较好的密封性。

单件活塞环的典型形状及其应用汇总于表1，并示于图2。平衡式活塞环最适用于

表1 单件活塞环的形式 (见图2和图3)

名称	说 明
不开口	需用可拉伸材料制造，如聚四氟乙烯或加聚四氟乙烯
直口	用得最广的形式
斜口	泄漏与直口相同，用得也很广
阶梯口	消除直接的泄漏通道，泄漏量减小
密封连接	制造比较困难，但可设计成实际上给以可靠密封性
带螺旋圈槽斜口	泄漏通道与直口或斜口环相同，但螺旋圈可以改变密封性能
带螺旋圈直口	泄漏通道与斜口环相同，但螺旋圈可以改善密封性能
平衡式(单作用)	借助于圆周槽和轴向槽口，给一个方向压力平衡
平衡式(双作用)	轴向不平衡最小，以消除侧面磨擦和压力卡紧

环磨损可能过大的场合。在涉及到由于负载(例如高压强)而引起环过份磨损的许多应用中，这种环是受欢迎的。这种平衡式环大大降低环的磨损(图3)。

根据应用的不同，环的平衡可能只涉及到环端面或者同时涉及到环端面的一个侧面。

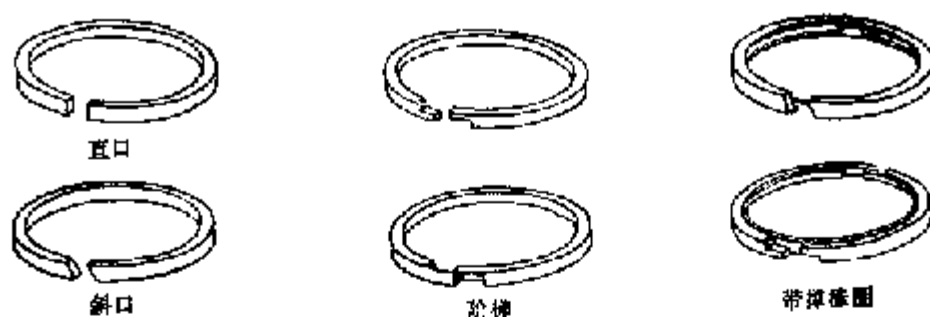


图 2



图 3 平衡式环：单作用（左）和双作用（右）

仅沿一个方向（单作用）的压力平衡是由一个槽和环端面周围的几个轴向槽口实现的。沿两个方向的压力平衡（双作用）则在槽内径向钻孔。在发生侧面磨损和压力卡紧的场合，采用双平衡槽，可以改善活塞环的性能，这些槽把轴向不平衡减至最小，以有效地减少泄漏和端面磨损。

也可以用组合环，例如双环或多环（图 4），或者分段活塞环（图 5）。除了简化装配外，壁厚对直径比小的活塞环上的磨损，通常在环分段时分布得更均匀。

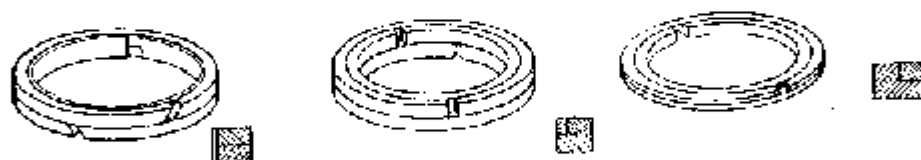


图 4



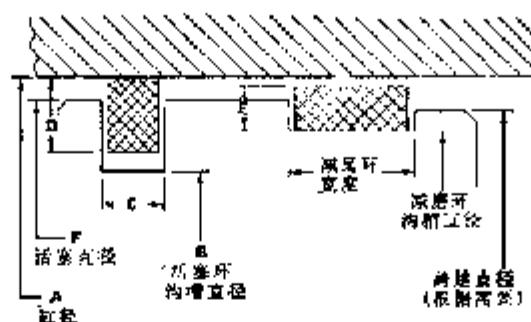
图 5 分段环

在整个组件中，活塞环可以配以减磨环，即浮动环。这种环特别用于无润滑场合，以承受活塞重量和防止活塞与缸接触。减磨环通常有侧面卸载槽和端面卸载槽，以防止压力升高。典型形状示于图 6。典型尺寸数据见表 I。



图 6 减磨环示例

表 II 活塞环与减磨环数据



缸径 A	活塞环			减磨环		总长 N mm
	B 内径最大直径	C 沟槽宽度	D 沟槽直径	整体壁厚	开口宽度	
3/4~1 1/4	A-0.312	0.125	0.156	0.086	0.125	A-0.078
1 1/4~2 1/2	A-0.500	0.188	0.218	0.094	0.168	A-0.094
2 1/2~5	A-0.625	0.250	0.281	0.125	0.250	A-0.125
5~8	A-0.838	0.350	0.312	0.188	0.312	A-0.156
8~12	A-0.938	0.375	0.437	0.250	0.375	A-0.188
12~16	A-1.312	0.500	0.625	0.312	0.438	A-0.219
16~21	A-1.625	0.625	0.750	0.375	0.500	A-0.250
21~26	A-2.062	0.750	0.937	0.438	0.562	A-0.266
26~31	A-2.062	0.750	0.937	0.500	0.625	A-0.281
31~37	A-2.688	1.000	1.250	0.562	0.625	A-0.287
37以上	A-2.688	1.000	1.250	0.625	0.625	A-0.312

① 所示活塞与缸的间隙对无侧滑场合。在侧滑场合改用聚四氟乙烯减磨环的最少侧滑面，此间隙可以减小，所有尺寸的单位为in。

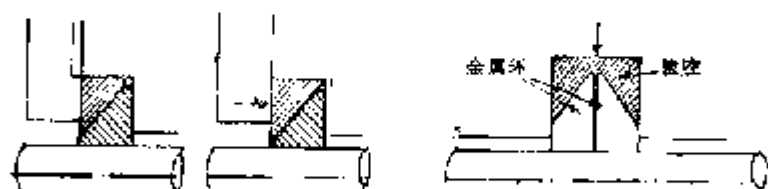


图 7

专用于液压缸的一种汽车型活塞环的变形示于图7。在此例中采用一对楔形环，装在弹性垫环里，并靠垫环支撑。这种垫环提供原始径向压缩，在流体压力作用下变形时，还给金属环提供“背撑”压力，靠金属环的造型防止垫环被挤出。因此，该密封是部分压力加载的，其优点是接触压力在低压时很低，使摩擦最小，随着压力的升高，接触压力自动加大。

这种橡胶背撑活塞环通常成组使用，如图8所示。同样原理也可用于结构相反的杆密封。不过在这种形式里，通常用一个或几个橡胶材料制成的“隔离”环，把金属环组隔开（图9）。这有时称为接装式杆密封。这种密封的一个优点是它既能密封又起导向作用。

同样的结构（刚性楔形开口环装在橡胶垫环里），也可用层压塑料或其他硬质材料代

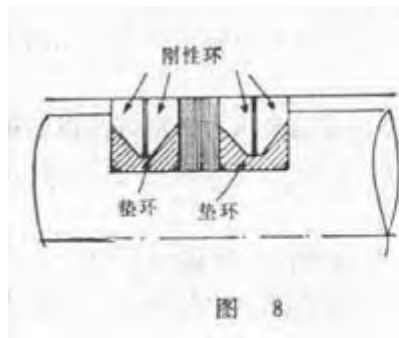


图 8

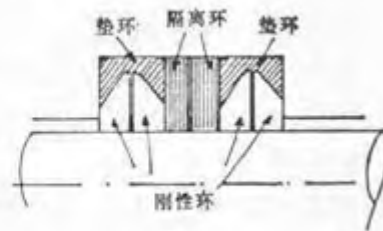


图 9

替金属磨合环，取决于使用条件、工作温度、工作压力及相容性要求。

材料

活塞环常用材料有铸铁、合金铸铁、钢和合金钢，镍合金和钴合金。材料的选择主要取决于所要求的化学相容性和耐热性。前者也可以通过环的电镀或覆盖来改善。

铸铁活塞环在保证充分润滑的场合，能在很宽的温度范围内提供良好的密封性。对环施行防咬合覆盖，可以消除任何咬合倾向。

青铜环在润滑勉强够格的高压和高温场合很受欢迎。它也比铸铁活塞环耐磨。采用从高铅青铜到锡青铜的各种牌号的青铜，其选择主要取决于所要求的耐腐蚀性和工作温度。

石墨制造的非金属环也适用于高温场合。石墨胶木活塞环还特别适用于碳氢化合物气体和蒸气用途，不受酸性气体或湿气体的影响。石墨胶木环适用于高达 135°C (275°F) 的工作温度；而石棉石墨胶木环可用到 177°C (350°F)。

塑料环的使用温度较低，但当它能胜任时它提供特殊的优点。例如，它们很容易制造，特别是聚四氟乙烯环具有非常好的减磨性。这使它特别适合于工作时润滑最少的活塞密封（例如在无油压缩机里）。

单用聚四氟乙烯缺乏作为活塞环材料应有的机械强度和耐磨性。通过加料可以提高这些性质。最初，用石墨或玻璃加料的聚四氟乙烯保证了必要的性能，在无油压缩机（和类似机器）中大量地取代传统的润滑油金属活塞环和减磨环。现在用后来出现的特殊牌号的加料聚四氟乙烯，可得到更好的机械性能。



增强聚四氟乙烯制活塞环

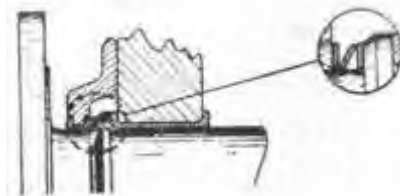


图10 用作轴封的软环

软环

在分片软环（图 10）中密封件由一系列环形薄片组成，其中一片以上做成杯形或

碟形。装成图示形状时，杯形片施加的侧张力足以维持与任何轴向约束（如轴上车出的环槽侧面或轴承座端盖）的轻微接触。

软片这样设计，即径向压力超过中间杯形片施加的侧向压力，刚好足以保证使密封件与环槽侧面接触。因此密封将不在曲轴孔中旋转，而在槽与密封件之间可能出现磨损的部位施加非常轻微的压力。

当软片以端面缝隙相互交错成 180° 装配成典型形状时，形成一个迷宫，所以把缝隙泄漏减至最少。此外，几个软片（这里是 5 个）可以互相独立地运动，使得在孔中可以实现满意的密封，而又不需要比平常要求更高的光洁度。

这种应用在孔是剖分式的场合很有潜力，因为密封件必须制成两部分。密封件中的软片是足够柔软的，把它们套过曲轴颈或主轴承装进槽里时，不用担心损坏或变形，装密封外面的孔也毫无困难。

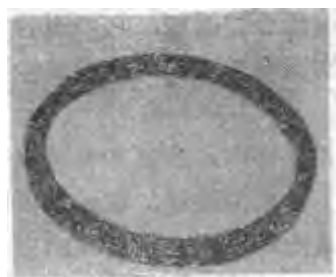
此密封的特点是，由于其结构和所用的材料，密封环本身及轴或孔的磨损极小。

对于具体的应用场合，可以采用不锈钢之类的特殊材料或喷镀硬铬、磷化处理、镀软金属等特殊表面处理。

参见关于金属环密封和石墨密封的章节。

石 墨 密 封

人造石墨作为旋转和往复运动用的密封件有广泛的应用，特别是在涉及到腐蚀性介质的场合，或热应力不允许润滑的场合。它是一种自动磨合材料，这意味着它能“磨合”以紧密地适合于配合表面；但在原始磨合之后，它也是一种很硬的材料，极其耐磨。



飞机喷气发动机的复杂的石墨环密封

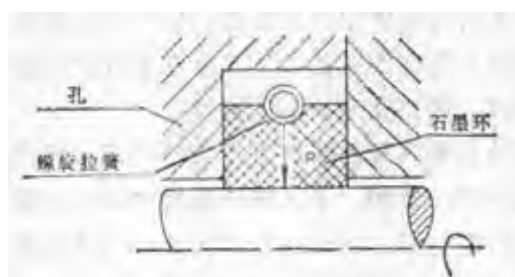


图 1

石墨环本身用作简单的密封，也用作机械端面密封中的密封件。前者既包括接触密封，又包括非接触密封。

接触密封环可以是平的（例如杆端压盖之类的简单滑环密封）；或者是分段的（在径向密封场合）。前者对于往复和旋转运动，可以起轴承和密封作用，装配间隙与石墨轴承相同。把密封环分段，配以外部箍紧弹簧，就产生一个真正的接触密封（图 1）。分段结构提供的径向运动和螺旋拉簧要布置得使施加在轴上的接触压强（ P ）不超过 $0.10 \sim 0.15 \text{ bar}$ ($1.5 \sim 2.2 \text{ lb/in}^2$)，具体数值视所用的石墨牌号而定。这种结构通常也是自调式的，能补偿密封内径处的任何磨损。

轴向接触密封是模压平环，并且可能有研磨到很精细公差的面。它象端面接触密封那样工作。接触压强由一个压簧来维持（图 2a）。作为轴向/径向组合密封，也可以

用分瓣环, 此时断面通常这样造型, 即一个螺旋拉簧同时提供径向和轴向接触压强 (图25)。

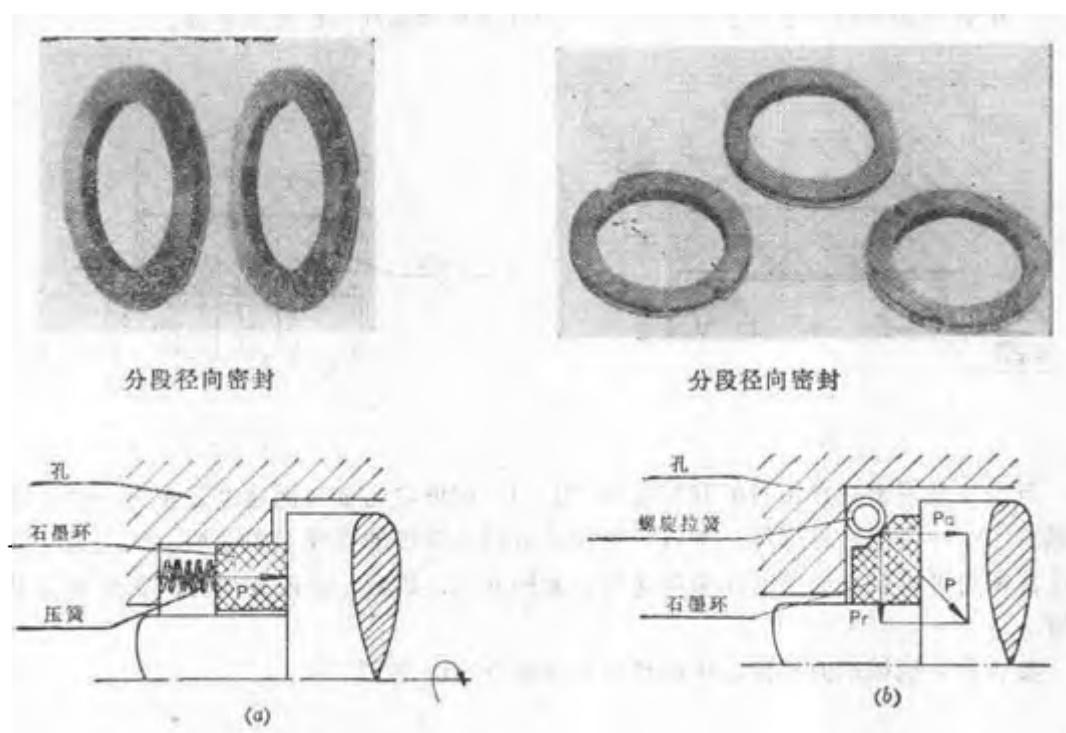
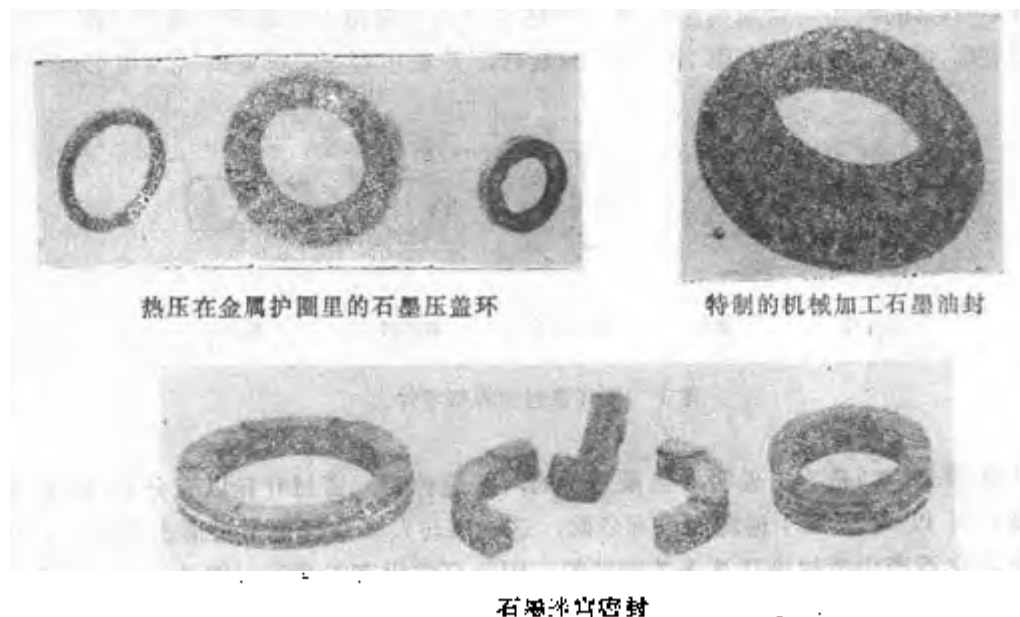


图 2

作为一般准则, 石墨接触密封最好沿一个硬配合面滑动, 如铸铁、淬火钢、铰铬钢等; 密封高腐蚀性介质时也用陶瓷或石墨。还可以用各种石墨牌号来“调整”密封材料以适应具体的应用场合。这包括从中低压油封用的多孔石墨牌号 (石墨中截留的油有助于密封面的润滑) 到无润滑用途、极端耐腐蚀或高度耐氧化、或高温用的特殊牌号。



石墨衬套和压盖环是非接触石墨密封的例子(图3)。为了得到足够紧密的间隙,以便使密封有效,需要较严的公差尺寸和精密的装配。出于同样的理由,还希望密封长度较长。配合还必须考虑在密封工作温度下,石墨和金属孔热膨胀的差异。

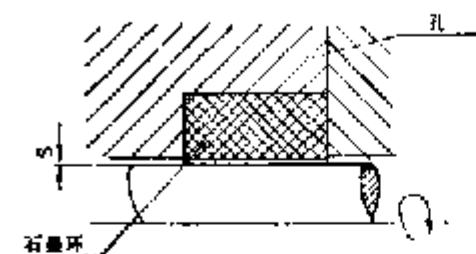


图 3

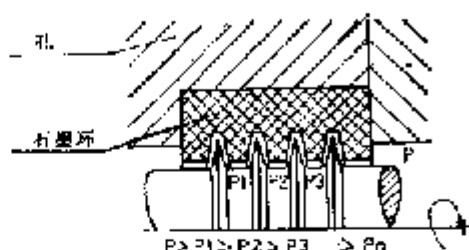


图 4

石墨还是用于迷宫密封的有用材料(图4)。这里它比金属优越之处在于,轴与密封接触时,不一定把密封损坏,所以密封和轴材料热膨胀的差异无关紧要。这还意味着石墨迷宫密封可以设计成具有比金属迷宫更紧的间隙,以致于性能相同时,密封长度可以缩短。

参看有关机械端面密封、压缩填料及硬质合金的章节。

液 环 密 封

液环密封基本上是泵所特有的,因为它本身就是泵,而且往往作为机械密封或其他轴封的替身被用在高速泵结构中。工作原理是:在一个狭窄腔室内旋转的一个叶轮产生一个液腔室四周的液环,其压力等于泵吸入孔处产生的压力。于是该系统处于平衡状态,提供一个“固定的”液体密封,并且只要泵工作就一直保持平衡。

用于一个泵的液环密封的典型零件示于图1。图2画出工作原理。起动时图2(a)泵是静止的,并充有液体。在图2(b)时泵旋转,并在包容密封叶轮的腔室里形成一个

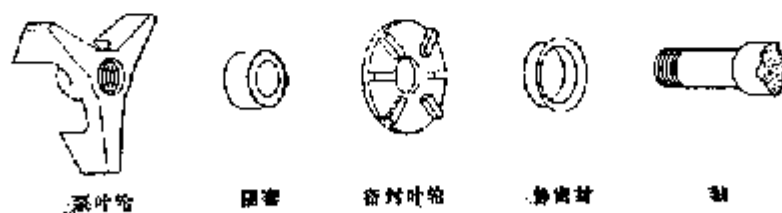


图 1 液环密封的典型零件

液环。附加图2(c)是为了说明,当泵是干的,并旋转时,密封叶轮以充分的间隙旋转,因此,可以无限期干运转而没有危险,这一点与大多数其他密封形式不同。在这种状态下,它不产生密封液环是无关紧要的,因为泵中没有需要密封的液体。一旦泵停下来,即使是淹没的泵,也没有密封作用。因此,用于工作时淹没进口的泵的液环密封,

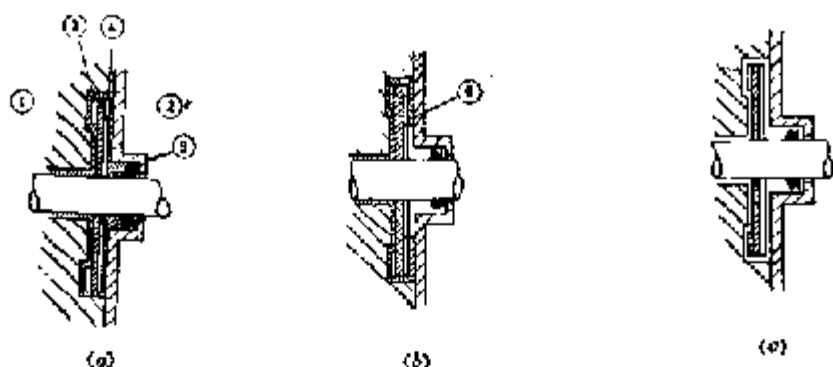


图 2

(a) 静止的泵充有液体；(b) 旋转的泵充有液体；(c) 旋转的泵是空的。

1—泵壳；2—大气侧；3—板叶片；4—尖叶片；5—唇密封；6—旋转时的液体。

必须配以辅助密封，以保证静止状态下的密封性。

理想上所用的静密封应是简单的，并且一旦泵起动，并形成液环密封，即能脱开的。所采取的一种解决办法是用特殊断面橡胶密封圈，一旦泵运转，则离心力使它与轴脱离。另一方面，可以用简单的唇形密封。还有另一种解决办法是用一个截止阀在泵停止后，立即把泵的这一侧与液体自动隔离。也可以用可吹胀密封作静密封，虽然这要求一个单独的有压空气或液体源，当然，这种静密封问题仅出现于淹没进口的场合。

一个更为普遍的问题是液环密封的压力限制。进口压力越高，则所需密封叶轮直径越大，消耗功率越多、液体发热量越大。紊流也可能成问题，它影响密封的有效性；但更大的问题可能是，当泵于起动而静密封脱开时，空气被吸入泵中。被泵送液体挥发性很大时，可能引起其他问题。

由于液环密封被设计和制造成泵的零件，这些问题仅用于具体应用场合的泵的整体设计的一部分。一旦针对特定的应用，解决了这些问题，就可为其他场合很好地提供了解决办法。液环密封已被证实是有效的领域，是化工产品和医药产品的输送泵，避免了可能限制普通的压盖密封，甚至机械密封使用寿命的腐蚀和结晶问题。在尺寸较小的高速水泵上，它也表现突出。其实，它们的主要优越性似乎是作为高速液泵密封。

液体屏障密封

为了密封气体而发展了各种形式的液体屏障密封。一个基本的例子是在普通的填料函里使用孔环(图1)。水或任何其他合适的液体在压力下注入填料函的中央，在那里被孔环分配。对被密封的气体来说，这造成一个具有零泄漏特性的流体密封套。不过，密封液可能会向内，并穿过压盖向外泄漏，可能要采取措施收集，并排放向外的泄漏。

压缩空气(或气体)和油液二者都可以这样使用，虽然精密控制的需要往往限制这种密封在高度专门化的机器(如氢气冷却发电机之类的大型输气

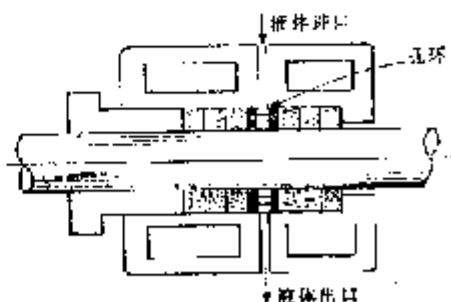


图 1

或充气机器)上的应用。在这种情况下,可以用端面密封或轴式密封,注入压力油,使整个油环以高于被密封气体的压力保持在密封接合面。所得到的密封对于被密封气体来说,具有零泄漏特性,虽然通常有油沿两个方向漏过密封。漏油可以靠正密封两侧的挡环密封来抑制,每侧带有把油排掉的措施。不过在特殊的场合,可能需要对油进行真空处理,以免降低被密封气体的纯度。但有些特殊的这类密封,漏进气体侧的油量很少,不需要真空处理。

按同样原理工作的压缩气体或压缩空气密封不大常用,虽然它们呈现出某些内在优点。主要的缺点是压缩机和控制机构的复杂性,虽然对于较简单的要求,这些可以进行一定程度的简化。

另一种形状的供油密封示于图2。密封件是个在壳体沟槽里自由浮动的双环。油液以稍高于被密封气体的压力注入环的背后,迫使环与轴接触,但在接合面仍保持油膜,并有向内和向外的流动。这两个方向的流量与各自的压强成正比。采用橡胶或弹性环材料,环背后的压力对轴摆动和轴向浮动提供自动调整。

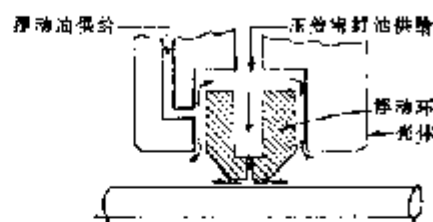


图 2

这种形式的单环供油密封也已制出,有带单向流动的和带双向流动的。随着压力升高,单环似乎变得更为有效,因为降低了环变形的可能性。

离心屏障密封

供油轴封的一种更简单的形式是离心液体屏障密封(图3),包括一个装在轴上的光滑的转子,它以一定的间隙在一个U形腔室内旋转。轴旋转时,存在于两表面之间的密封液,在离心力的作用下被甩向外,提供一个取决于离心力、轴速、轴径和腔室实际长度的

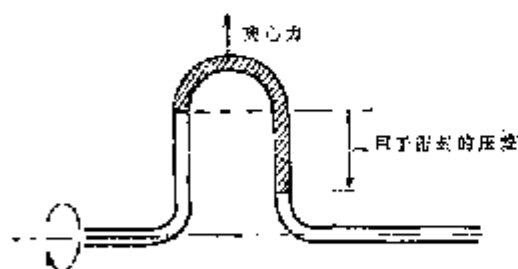


图 3

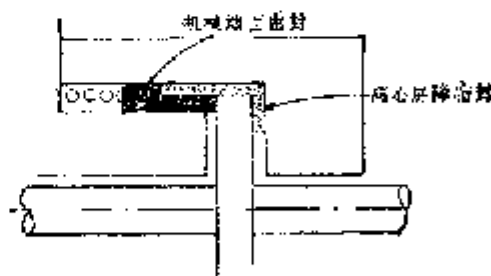


图 4

密封压差。这种密封摩擦很小,适用于很高的转速和很大的直径。由于仅当轴旋转时才有密封作用,所以可能需要一个或多个辅助密封,以便在静止状态保持流体。辅助密封可以用吹胀密封。

同样的原理可以包含在机械密封的结构中(图4)。这里当静止或低速旋转时,机械端面密封提供密封性。在高转速下,由于液体离心力增加,液体压力把机械端面密封推离转子,而密封性靠得自液体屏障的压差来维持。

靠离心力工作的另一种形式是离心叶轮密封(图5)。这里一个一侧带叶片,另一侧光滑的叶轮,以较小的径向和轴向间隙,在一个腔室内旋转。被密封液体作用在叶轮的

光滑侧,而腔室的另一侧供入有压气体。液体将淹没叶轮的光滑侧,然后,要沿着叶片顶部间隙流动,并被该处的气体压力所平衡。可以调节气体压力,以便在适当位置建立气液分界面,从而提供一个实际上零泄漏的密封(虽然有气体从辅助轴封漏出)。这种形式的设计,可以采用单个或多个叶轮,或者多级叶片的单个叶轮,配以相吻合的壳体断面。后一种形式更为有效,因为它同时提供迷宫途径和离心密封。

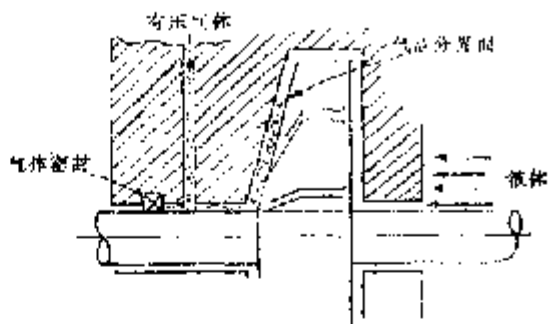


图 5

这种特定的密封形式是用来密封液体的,用有压气体作密封源。在这一点上它不同于(别处介绍的)液环密封,后者是利用叶轮产生屏障(液环)的另一种离心液体屏障密封,但用被密封液体来工作。

参见关于液环密封的章节。

鼓胀密封

鼓胀密封是高度特殊化结构的垫片,它靠一个空心的折叠式或“六角手风琴式”密封断面的膨胀来封闭缝隙,通过施加空气或流体压力把密封鼓胀。空气(或流体)的引入使密封膨胀成部分圆形断面,填满缝隙并向被密封面施加正压力。密封断面形状也可制成提供很高的一致性,从而提供对不平整表面的良好密封性。断面也可以特制成能封闭比较大的缝隙,例如大到 75mm(3in),虽然大缝隙密封通常需要较高的鼓胀压力,它可能降低垫片的寿命。鼓胀压力范围为约 0.35bar(5lb/in²)到 7bar(100lb/in²)。

典型的用途有洁净室门、飞机座舱盖和筒孔、密封舱门、航船舱门和筒孔、压力容器、真空腔、处理设备、特殊门及核子设备的密封。这种密封通常由织物加固橡胶管制成,模压成密封面处于收缩位置,例子见图 1。低压鼓胀给出迅速的膨胀以封闭缝隙,最佳缝隙尺寸约为完全鼓胀的密封的自由高度的 80%。当压力释放时,密封迅速恢复收缩形状。

这种形式的密封通常针对特定的工业应用来设计,设计时考虑下列因素:

- (i) 被密封缝隙。
- (ii) 周长或密封长度。
- (iii) 环境。
- (iv) 压力——密封两侧和密封内部。
- (v) 温度。
- (vi) 机加工沟槽或夹持圈形式。
- (vii) 鼓胀介质——气体或液体。
- (viii) 接触表面。
- (ix) 进口形式和方案。

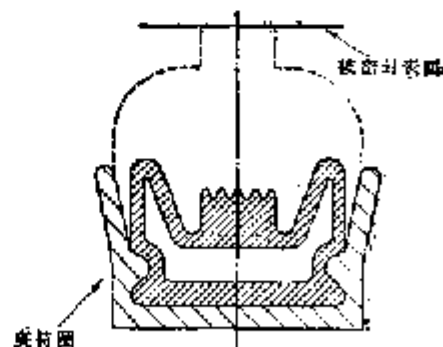


图 1 典型的膨胀密封

(x) 最小拐角半径。

(xi) 安装面。

(xii) 循环频度。

假如沟槽可以在机座上加工，则密封设计成嵌合或粘接在此夹持沟槽里。否则密封设计成装配在适当的夹持圈断面里，安装时能牢固地固定。而密封本身用高强度织物加固橡胶模压成连续环，以便与机械加工沟槽或夹持圈配合。密封安装时先穿入阀嘴，再通过嵌合到位或粘合于沟槽内来嵌入密封的凸边。

通过鼓胀到设计压力，使密封产生与被密封面的正压接触，即可实现密封作用。密封设计成从瘪缩到鼓胀及鼓胀介质释放时，再恢复原状都是平滑的滚动。这个特点补偿了在密封范围内的变化。虽然鼓胀介质可以是任何气体或液体，但压缩空气是最现成的，因而也是常用的。有些用途希望用液体，比如熔炉和脱气设备，因为液体有冷却作用。使用液体时或要求很快地瘪缩时，应使用抽吸器。而且，一个真空泵就是最有效的。

鼓胀密封可以在非常低的压力下工作，例如用作隔离光、热、冷、噪声、尘埃、水等的屏障。在压力容器、水闸和真空腔里遇到较高的压力。

鼓胀密封（专利品）的另一种形式示于图2。这是为装在航船螺旋桨轴普通船尾密封外部而设计的。其目的是在轴静止时提供静密封，以便不用把船头调低使尾端露出水面，即可进行主密封的维修和检漏。它也可以装在泵上，使得无需把系统放空即可维修主密封。

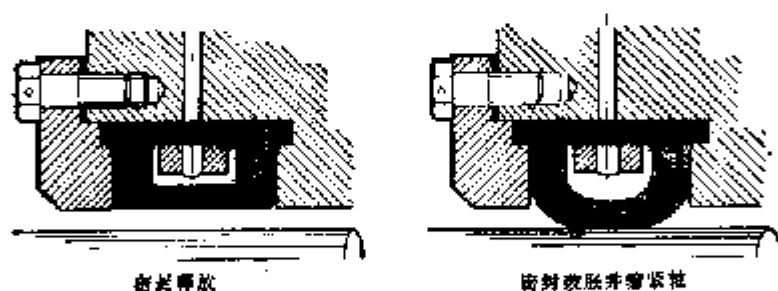


图2 航船螺旋桨轴用鼓胀密封

这种密封可以作为整环买到。为了装在不可拆的轴上，它也可以是开口的，装配时再粘合成整环。应该指出，它们专门设计成鼓胀状态下是静密封，需要轴旋转时密封必须释放。

材料选择是决定鼓胀密封寿命的关键因素。考虑温度和大气条件、槽口要求和运动操作，选用尼龙、涤纶或锦纶织物与各种橡胶搭配，可以满足每种具体要求。

鼓胀密封将适应多种轮廓。模压成环后，它们可以沿三个面安装：径向向内鼓胀、向外鼓胀，或轴向鼓胀。许多应用中，要在一个以上平面内弯曲，侧面密封还必须扭曲。

有时鼓胀密封还可在用普通的固体方法无法实现的场合，用来施加力，被称为挠性压力容器，例如在下列场合：

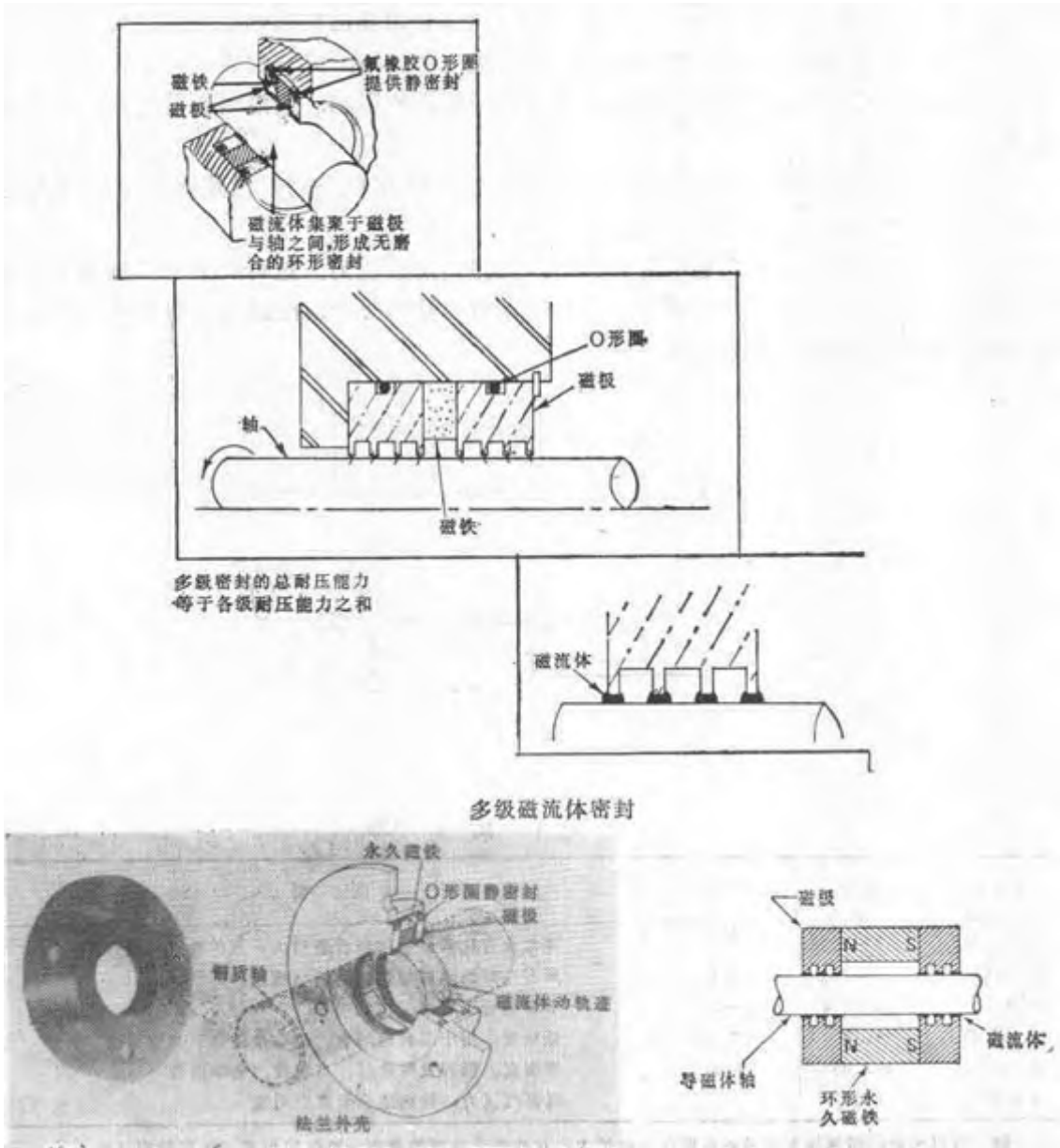
(i) 执行器；

(ii) 施力器；

- (iii) 夹紧装置;
- (iv) 特殊塞堵;
- (v) 重物举升装置。

磁流体密封

磁流体，顾名思义，是由磁性氧化铁或铁氧体的微细颗粒，在各种液体中的悬胶液组成的。虽然其特性象任何匀质液体，但它受磁场的影响。磁流体密封的设计中就利用这个性质。



简单的磁流体密封的典型结构

图 1

最简单的磁流体密封包括两个磁极,中间隔着一个沿轴向磁化的磁铁和一些磁流体(图1)。在闭合磁路中形成的磁力线,把磁流体聚集到缝隙中,造成实际上没有可测出的泄漏、仅有很小的粘性阻力而没有接触磨损的密封。粘性阻力与轴密封压力无关,不产生“静摩擦”,而旋转阻力小,意味着该密封能成功地工作在高轴速下。不过,在很高的转速下,可能需要冷却,以防止被体粘性剪切发热使液体降解。

磁流体密封的结构可以设计成满足特殊的压差要求。控制参数有(i)磁铁的尺寸和能量;(ii)缝隙尺寸;(iii)所用磁流体的磁饱和,(iv)轴和磁极的磁饱和。

所用磁铁从低能量的陶瓷磁铁到高能量的钕铁钴或类似的永磁合金。这里的选择主要是在性能与费用之间折衷。

缝隙的选择取决于几个因素。磁流体密封的耐压能力与缝隙尺寸有关,倾向于采用最小的缝隙。但是磁流体本身不是承载轴承,所以轴需要由普通轴承支承。为了防止在任何工作状况下磁极与轴的磨合接触,必须有足够的间隙。另一方面,过大的缝隙,不仅降低密封就其尺寸而言的耐压能力,而且由于漏磁的影响,还限制所能达到的最大磁场强度。

实际上典型的缝隙值为 $0.05\sim 0.125\text{mm}(0.002\sim 0.005\text{in})$,虽然此值可以加大到 $0.25\text{mm}(0.010\text{in})$ 以适应偏心轴运动。

可以用一个多级密封代替单缝隙密封,以提高耐压能力。这可以采取在磁极下的轴上或在磁极本身上的齿状凸出的形式(图2)。效果是在每个齿附近聚集磁流体,因此,总耐压能力等于各级耐压能力之和。

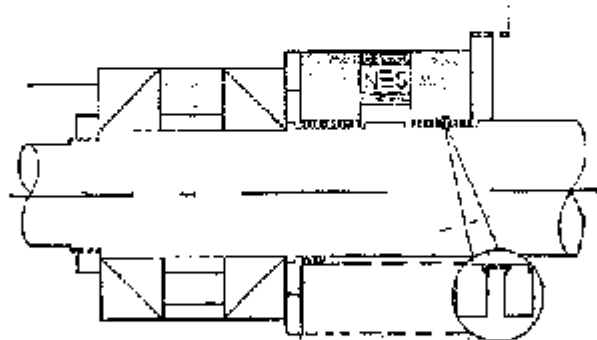


图 2

表 I 磁流体^①

液体载体	比重	粘度 (cSt)	说 明
水或水基	1.10~1.30	7~100	通常含有比其他液体所含稍大一点的铁氧化物颗粒
硅油	1.25~2.05	3~8	具有良好的水解稳定性的低粘度液体
酯类	1.15~1.40	12~35	非常适合于低温工作状况
二元胺酯基	1.10	75(典型)	低粘度,用于高转速场合;也非常适合于真空用途
氯化烷基	约2.05	2500	高粘度,低挥发液体,高粘度,化学惰性
多胺类	2.05	—	低蒸气压,特别适合于真空用途

① 可以买到的磁流体专利品的范围在继续扩大,这些仅是典型的而不是特殊的形式,还可以设计出其他特殊形式的磁流体。

磁流体本身也表现出不同的磁饱和值, 取决于悬浮在液体载体中的磁性固体的实际体积。在未饱和时, 流体磁感应强度多少与所施磁场成正比, 斜率与饱和磁感应强度成比例。市场上出售的磁流体大多数在 2500Oe 左右的磁场强度下, 达到其饱和值。饱和后液体的磁感应强度保持恒定, 而与所施磁场强度无关。液体载体的选择通常根据使用要求, 见表 I。

提高磁流体耐压能力的另一种方法是用高导磁材料做磁极和轴。这里应该指出, 在很高的磁感应强度值下, 一种“软”磁材料接近饱和时, 其导磁率相对于空气导磁率有所下降。因此, 必须在远低于饱和值下使用软磁材料。

当然, 如果轴是非磁性材料的, 则要配一个磁性材料的轴套, 以便闭合磁路。同样, 如果密封壳体是磁性材料的, 则壳体与密封之间必须配一个非磁性衬套, 以防止磁短路。

目前, 磁流体密封可以设计成密封高达 35bar (500lb/in²) 的气体压力; 通过加大密封长度或采用多级密封, 还可以更高。

旋转阻力

磁感应强度不影响磁流体的性质, 因此在磁流体密封中不存在起动摩擦或静摩擦。在转速下, 唯一存在的旋转阻力是由粘性剪切引起的。这可以通过选择液体粘度来控制。

粘性剪切损失将以液体的温升表现出来。这又将降低液体粘度, 所以即使在很高的转速下, 旋转阻力仍然很小。磁流体密封在 100000r/min 以上的转速下成功工作, 并非罕见。不过必须避免过份温升, 以防止液体降解。

维持比较低的液体温度的另一项要求是减少密封液体的蒸发损失。

降低液体工作温度的方法有:

- i) 采用具有较低的初始粘度的液体;
- ii) 加大缝隙 (以牺牲耐压能力为代价);
- iii) 对密封进行冷却。

对磁流体密封进行冷却的例子示于图 3。

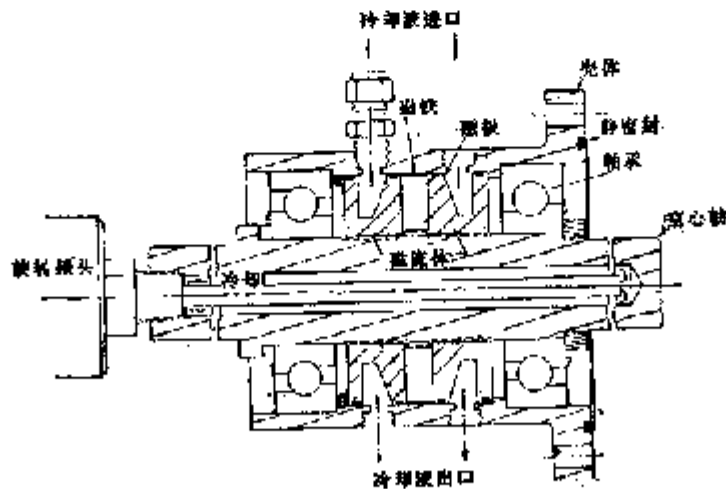


图3 经磁极或轴循环冷却液, 带走磁流体密封的粘性剪切产生的热量



重载真空磁流体密封剖切照片

液体的选择

所用的液体载体有水和水基液体、硅、合成液体和甘油。必须根据与被密封流体的相容性来选择。二元醇液大概是最常用的液体载体，它有很低的蒸气压力和良好的耐热性。二元醇液耐空气和大多数气体，也耐水蒸气。要密封比较活泼的气体时，通常选用氟化硅液(见表 I)。

应用

磁流体密封为气体提供了一种简单而有效的、实际上零泄漏的轴封。它没有摩擦，并可用于任何轴尺寸。它能在高达 35bar(500lb/in²)或更高的压力下提供密封性，并且也适合于在真空状态下的密封。

适当的结构还将作为磨粒条件下的隔离密封来工作。磨料颗粒能完全被截留在磁流体表面，而又不影响磁流体的密封作用。除了固体颗粒外，磁流体密封还能隔离水、水蒸气、雾和类似的污染物。

自粘压缩密封

涂有高粘性长效粘胶的泡沫塑料条广泛地用作轻载通用密封，主要作为通风和防尘密封。它的独特优点在于它很便宜，易于安装，并能适用于永久性、半永久性和可拆连接。由于用料的弹性，它还能有效地减少振动和噪声的传播。

这种密封多用塑化聚氯乙烯制成，单面(有时双面)涂以压敏粘胶。它主要用作防尘密封或通风密封，用软质泡沫提供良好的适应性。典型性质示于表 I。聚氯乙烯泡沫对紫外光、气候、氧化、盐水、弱酸和弱碱有优异的耐受力。它对某些溶剂的耐受力较差。

同样的方法也可以以板状或切割形状用于垫片。25~50%的压缩量通常即能提供足够的密封性(压缩量取决于具体的产品)。在可拆连接密封の場合，所用的夹紧系统应该提供此压缩量。针对可拆连接的一项产品改进是引入聚脲衬层，以保护泡沫防止表面损伤，并起屏障作用防止塑料迁移，保证清洁的可拆连接。

自粘泡沫水封可用氯丁橡胶泡沫或配制成具有类似特性的聚氯乙烯泡沫制成。主要要求是高度密集微孔量、良好的压缩后恢复性和较小的密封力。水封可以制成不同的密度，一般低中密度或中等密度最适合于棘手的形状或轮廓；高密度低压缩率泡沫具有承载性能，用于重载场合。极端情况下可用高粘性橡胶树脂代替泡沫材料。自粘聚氯乙烯泡沫压缩水封的某些专利品示例在表 II 中给出。

表 I 典型自粘聚氯乙炔泡沫压缩防尘密封的性质

性 质	数 值
密度 (g/cm^3)	0.11~0.16
颜色	通常白色或黑色
密封所需压缩量	25~50% (通常30%)
密封所需力 (g/cm^2)	90~250
肖氏硬度 "00" 级	5~25
工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-40~+60
压缩24h后恢复率	95~98%
与钢的粘着力	大于 500 g/25mm

表 II 典型自粘聚四氯乙烯泡沫压缩水封的性质

特 质	5360	5360	5375	5370
颜色	黑	灰	灰	白
防水密封所需压缩量	30%	50%	25%	35%
实现密封所需力 (g/cm^2)	400	1050	700	200
密度 (g/cm^3)	0.18~0.24	0.20~0.26	0.22~0.28	0.24~0.30
肖氏硬度 "00" 级	20~40	40~50	50~60 40~50①	55~65
应用温度		5~45 $^{\circ}\text{C}$, 但最好是室温		
工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-40~+60	-40~+70	-20~+70	-20~+70
与钢的粘着力		>500 g/25mm		
压缩24h后恢复率	97%	97.5%	97%	98%
厚度 (公差 $\pm 10\%$) (mm)	1.5, 3, 5, 6, 7.5, 10, 12	1, 1.5, 2.5, 3, 5	1.5, 2.5, 3, 3, 6, 10, 12	仅 4
宽度 (公差 $\pm 1\text{mm}$)		6~900mm, 间隔 10mm		
对气候、氧化、盐水、醇类、 弱碱、紫外光的忍耐力	优异			

①(10, 12mm)

注: 5370型是一种阻燃抗燃聚氯乙炔泡沫, 它不 维持燃烧, 按 JIS2782第5部分 (1965) 方法 500A试验时
属于自灭火材料。

第3A部分 特殊用途密封

液 压 密 封

现代高效往复运动密封,在很大程度上,是由于液压缸(在较小程度上是由于气缸)的活塞和活塞杆密封发展的结果,它能在很高的系统压力下,把泄漏保持在最小值。活塞用的基本密封形式,即U形圈和V形圈以及U形圈活塞杆密封的许多专利性结构,在性能方面已大为提高。

紧凑的密封结构取代了密封组件,或者可以作为替代品用于重载场合。许多双作用密封结构,可用来代替背靠背活塞密封方案。而摩擦小成了许多专利性结构的压力加载密封的特征,这种密封往往配以减磨环,以延长密封寿命。

工业液压系统可能工作在100bar(1500lb/in²)到140bar(2000lb/in²),甚至更高的压力下。飞机液压系统可能在210bar(3000lb/in²),甚至高达350bar(5000lb/in²)的压力下工作。在重型液压机械(如压力机)中可能使用更高的压力,高达700bar(10000lb/in²)。液压密封的基本要求是它必须是高压型的。与此同时,它不得有过大的摩擦,虽然有一个有利因素,即被密封液体通常是润滑剂(即液压油)。

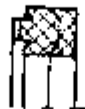
运动用高压密封的选择取决于元件的尺寸和所涉及的应用场合,特别是密封将工作和持续工作于其中的使用条件。例如,装在精密液压缸里的一个比较简单的密封,在高达350bar(5000lb/in²)的压力下能提供足够的性能,但在工作条件可能有变化和不利的环境下,用于低得多的压力下,就可能失败或很不适应。此外,磨合速度、表面光洁度(和足够的表面光洁度的保持)、工作温度及相容性也可能构成限制。每种具体场合可能需要单独考虑。

一般来说,对于高压动密封,一个压力加载密封提供最好的性能与效率,压力越高,则要求密封的柔性越小。同样,压力越高,则密封断面当然要“越硬”,以阻止过大的变形甚至挤出。

这必然也大大影响结构材料。例如,一个匀质橡胶密封有确定的极限压力,即它不发生过大变形或挤出时所能承受的压力,此压力取决于断面、间隙,以及(影响较小的)材料硬度。用更硬的或完全刚性的材料制成的背撑断面来加固,或者用内部加固来硬化材料本身,可以提高额定压力。在前一种情况下,背撑断面可以纯粹是个防挤出的挡圈,它也可以构成密封的工作面,即用橡胶断面提供压力加载“垫”,并通过过盈配合提供初始“压缩”压力。至于“硬化”材料,可以在混合胶料中引入加固材料,从而得到部分加固(半加固密封)。另一种办法是密封断面的基部用加固材料(如帘子布),然后再挂胶。后一种办法是构成高压挠性密封的常用材料,虽然匀质橡胶密封配以刚体或半刚体背撑圈,也能用于极高的额定压力。

对于重型应用,尤其是机器尺寸大或可采用很大间隙的场合,密封环组比单环密封更受欢迎。此外,为了提供更耐用的密封或压盖,可以允许明显较大的间隙,如有必要还可通过增加组作中的密封圈数来提高压盖的额定压力。采用特殊断面的支承环和压环(它们通常是密封组件的必要补充)可以提供另一种控制。不过,填料密封需要的空间毕

活塞密封专利品示例

应 用	断 面	应 用	断 面
土方机械 压管机 注浆机 (到 400bar)		叉车 汽车吊 农业机械 (到 315bar)	
土方机械 叉车 压管机 压桩机 (到 400bar)		机床 气动 农业机械 (到 400bar)	
农业机械 船舶液压 (到 250bar)		气动 (到 10bar)	

竟比单环密封大得多,因此在较小的紧凑机器设备上,人们喜欢用后者。二者的主要应用领域是很不相同的,但也有两种形式都能用的情况。在这种情况下,时髦的倾向是选用比较紧凑的解决办法,由于推出许多适于高压工作的密封圈专利品,实现了这一点。

密封圈组(或填料密封)已经大规模地取代了用于高压填料密封的传统的U形和V形圈,因为这些特殊的断面提供了优良的性能。不过,所有的形式都仍在使用,而在传统断面中,人字形即V形圈对于较高压力通常比U形圈更受欢迎。

摩擦与磨损

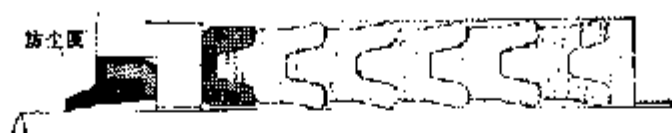
压力对所有高压动密封的一般影响是增加接触面压强,从而增加挠性唇口或密封接触面的磨合磨损,以及增加原始断面的总变形量和向任何间隙里挤出的趋势。保证接触面得到充分润滑,可以把摩擦和磨损保持为最小。正确的配合和对断面的支撑(这方面的建议是专门针对所涉及的密封形状的)可以避免可能会引起“咬伤”、裂纹和断面挤出的过份变形。

对于水平安装的活塞杆的支承问题,可能需要给予特别的注意,以防止径向位移。因为它能加大在密封一侧的间隙,导致密封性的丧失或密封挤出或“咬伤”。另一方面,可能需要采用能够容忍可能要遇到的径向位移的密封形式或密封组件,具有编织结构的密封圈组(或压缩密封)在这方面是最能耐受的。

表面光洁度

表面光洁度也是个重要因素,并可能反过来支配着适用密封材料的选择。匀质橡胶密封通常要求磨合面有很高的表面光洁度(16 μ inRa或更好),而大多数夹布橡胶密封却能长时间耐受高达32 μ in的表面粗糙度。对于更粗糙的孔光洁度或者孔表面可能受腐蚀的场合,可选择用皮革填料密封,以便给出在高压长寿命工作的基础上的优良性能。在任何情况下,表面光洁度对磨损的影响,在高压下都将加大,这种工作状态下的密封

寿命，将与所涉及的表面光洁度有很大关系。在这方面密封组件提供优越性，因为所有单个密封圈的唇口不一定被整个流体压力加载，即使是通气的圈，沿圈的宽度也有压降。当组件中的圈足够多时，一个圈部分失效仍可被其他圈适应而不丧失密封性。



活塞杆用自动开口式密封组件

活塞皮碗

活塞皮碗有时也叫皮斗，最初是用皮革制造的，用于水力工业。皮革碗仍在 使用，特别是用于较粗糙的孔表面。然而，夹布橡胶皮碗保证更大的强度和刚度。这种皮碗最初是挂天然橡胶的，用于水压系统，后来挂合成橡胶，用于油压系统。挂合成橡胶现在已成为标准作法，这样的皮碗可以制成适合水、蒸气、油和许多化学工作状态。

另一种材料组合是用纤维加固合成橡胶而不是夹布橡胶。这造成了更大的柔性和更光滑的表面，特别适合于气动系统，但也用于低压液压系统。这种皮碗一般称为“半加固的”。此外，匀质橡胶皮碗（没有任何加固）也可用于特殊的低压工作，特别是较小的尺寸。

皮碗基本上是压力加载密封，虽然它的较薄的断面和良好的柔性，使它能以很大的预压缩量来装配，以便在很低的压力下维持密封性。它是单方向密封，不过需要时两个皮碗可以背靠背安装，以便在两个方向都保证密封性而又无须使两密封之间的空间通大气。然而，满意的性能取决于皮碗的正确安装与支承。

安装通常是夹紧在两个活塞板之间，但直径较大的规格还辅以穿通螺钉。特别重要的是，这些板要提供正确的支承以及要控制夹紧力，以免皮碗基部过份变形。与此同时，皮碗需夹紧得足够牢固，以防止可能导致密封过早失效的侧向移动。在夹板上开槽（图 1 中的 D）往往可以提高此方向的夹紧力。在此图中还注意到，支承板的轮廓适应于皮碗拐角处的圆弧，但留有足够的间隙（C），以便在装配时防止皮碗变形，并允许皮碗对压力作出反应。另一个夹板是带窝的，以便控制皮碗基部的压缩量。

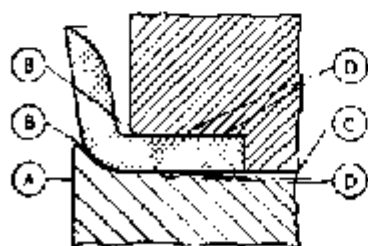


图 1

A—夹板；B—圆角；C—可控制的配合深度，以防止皮碗变形。
D—夹板上开槽。



图 2 现代皮碗断面：夹布橡胶皮碗（左）和橡胶皮碗（右）

皮碗的优点是, 与其他形式的夹布橡胶密封相比, 它比较便宜, 而且可在用其他形式密封会导致早期失效的缸孔内, 令人满意地使用, 例如水平工作, 或活塞与缸之间有过大的间隙, 或缸筒内径有很大的公差。最初活塞皮碗制成各种断面轮廓, 以适应特殊的压力范围与工作条件, 但现代的夹布橡胶结构中, 唇部轮廓已变得更标准化了。

两种主要形状是圆拐角皮碗和方拐角皮碗 (或方底皮碗), 见图 2。二者具有类似的应用和性能, 不过前者比较常用。方拐角皮碗的特长在于它可以与平支承板并用, 从而简化了支承板的机械加工。

双作用密封皮碗安装示例示于图 3。A 和 B 是用于小型一般负载和低中压场合的例子, 分别用圆拐角和方拐角。C 表示轻压强安装的另一种形式, 而 D 和 E 表示为重载应用推荐的安装方式。注意, 在 D 中连接垫圈, 防止沿活塞杆的泄漏; 而在 E 中沿螺钉的泄漏, 靠螺钉头和螺母下面的铜垫圈或靠采用自锁螺母来防止。这种情况下的另一个方法是不用穿通螺钉, 而在组件每侧采用端部旋入盲孔的单独的夹紧螺钉。

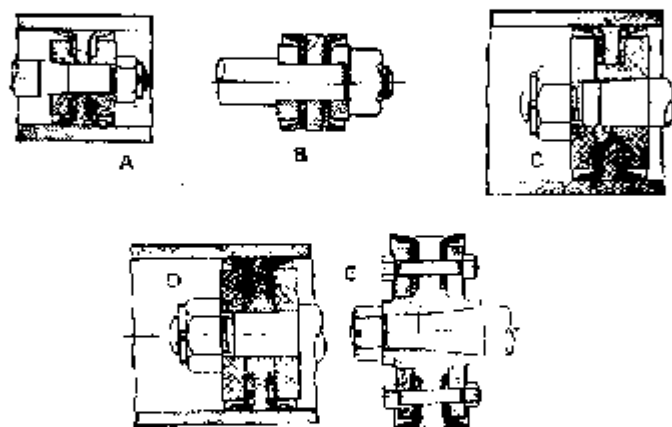


图 3 活塞皮碗组件示例

在确定安装方法时, 一个重要的考虑因素是中心孔尺寸。一般来说, 皮碗的标准生产规格规定最小尺寸的孔, 如果需要可改成更大的尺寸, 可以留出满意的夹紧边缘面积。这种改尺寸应该始终由皮碗制造商来进行, 皮碗应按所需直径大小和中心孔直径订货, 如果夹紧边缘面积有什么不合适, 可在此阶段提出。同理, 虽然皮碗规格通常仅给出中心孔最小尺寸, 但这不能看成是推荐使用的尺寸。

除了足够的夹紧和支承外, 在机器设计中必须采取措施, 以便为活塞组件的装配提供一个导向锥面。通常推荐 10° 左右的锥面角, 进口直径要大于未压缩状态下密封的最大唇边直径。

象所有形式的密封一样, 缸孔有良好的表面光洁度, 将得到最长的密封寿命, 不过在这方面, 皮碗比其他形式的夹布橡胶密封更能耐受。例如, 夹布橡胶皮碗在缸孔表面光洁度为 $32\mu\text{inRa}$ 时, 通常是令人满意的, 而皮革碗在更粗糙的表面上也将有满意的性能。在匀质橡胶或“半加固”皮碗的情况下, 要求起码的表面光洁度为 $16\mu\text{inRa}$ 。

帽形密封

帽形密封，也叫领圈密封或法兰形密封，是专用的活塞杆密封。它可看成是（相对）低压密封。它通常可用于小直径活塞杆或芯轴，其中它可以简单地支承，并且占用最小的空间。不过在这种用途中，它已经被现代密封大量取代，现在领圈密封的常见应用是作为防尘圈。

所用的断面在基部和唇部的锥面延长部的相对厚度方面明显变化。其实，在某些情况下，唇部是修整的方形而不是锥面，并可能紧靠着领圈密封装配沟槽座。这是为了在密封材料很柔软时（如用皮革或无加固橡胶时），防止密封在摩擦力作用下拉长。为了密封的压力加载，通常需要一个斜角唇部，它与沟槽座之间有一定的间隙，并有比较刚性的结构（如夹布橡胶领圈）。领圈断面的常用形状见图4。



图4 领圈断面。夹布（左）和纯橡胶（右）

U形圈

U形圈和它的许多适用的断面形状变种，既可用作活塞杆密封，又可用作活塞密封。虽然是一种装在沟槽内的密封，但也可以用简单的装配来夹持，例子见图5。匀质橡胶圈可以用于高达210bar (3000lb/in²)的压力，在某些适当的结构中，还可以更高些。夹布橡胶U形圈的正常压力极限是350bar (5000lb/in²)；面层压圈或皮革U形圈为700bar (10000lb/in²)。不过，最高额定压力可能受系统工作温度的影响，橡胶圈的情况尤其是这样。



图5 活塞上（左）和活塞杆上（右）的简单U形圈装配

U形圈活塞密封的一个有利的特点在于，由于唇部过盈量较大，在公差较大的缸筒中将能满意地密封，因而节省生产费用。

U形圈是单作用密封，在双作用缸中需要背靠背安装。它也可带压环成组使用。简单的U形圈通常用定位环（孔环）来支承和定位，尤其是直径较大时。

参见关于挠性唇形密封的章节。

V形圈

V形圈总是带压环成组使用的。通常最少三个圈，适用于35bar (500lb/in²)以下的压力。增加圈数或采用夹布橡胶或层压圈结构，可以适应高得多的压力，高达700bar (10000lb/in²)。“硬的”和“软的”V形圈也可以在整個组件中交替使用。

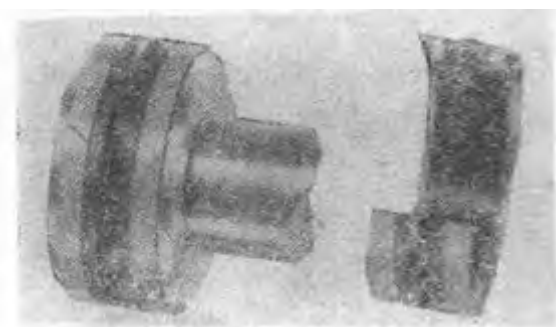
V形圈的摩擦比同样数量的U形圈要小,但增加圈数,将要增加摩擦和磨损。要想避免摩擦过大,必须仔细调整压盖。

V形圈组件广泛用于中载和重载用大尺寸液压缸。它既可用于活塞杆密封,又可用于活塞密封。参见关于挠性唇形密封的章节。

现代液压密封

除了许多重载密封新面和密封组件专利品外,针对液压活塞密封专门研制了各种单个的复合圈。许多设计还为了在单件活塞头上简单装配,目前比在组合式活塞头上安装密封的传统方法更受欢迎,因为它比较牢固,成本效率也比较高。

一个例子是重载多层活塞头密封,它是双作用的,并设计成装入单件活塞头(图6)。



单件活塞头密封,带有布橡胶密封件

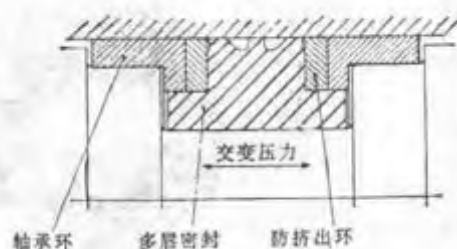


图6 重载多层活塞头密封

这种结构曾经广泛地用于最需要的工作条件下的液压矿山设备中。

整个结构包括一个双作用橡胶多层密封,两侧由简单而有效的斜口防挤出环支撑,还有聚醚材料制的L形开口轴承环。密封缘的结构是每个级都是对缸壁的轮廓分明的密封边,并保证唇部柔性,以适应包括缸筒膨胀在内的缸的运动。这种形式的活塞头密封的工作压力为552bar(8000lb/in²),工作温度范围为-40°C到+100°C。

当沟槽空间有限,可利用空间放不下多层活塞头密封时,可考虑用T断面密封(见图7)。这种密封的基本结构与重载密封相同,但断面及轴向长度小得多。

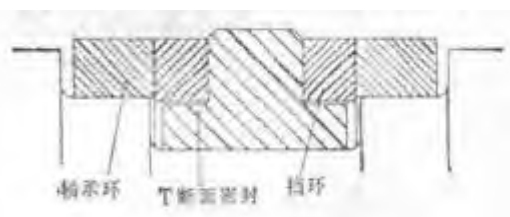


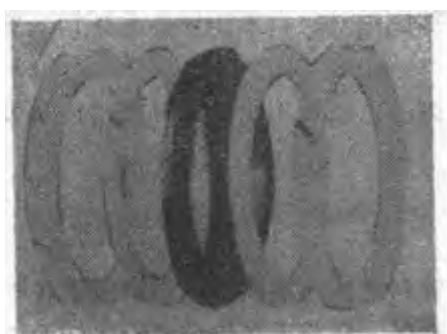
图7 中载用T断面密封

整个结构包括一个双作用T断面橡胶密封,两侧由简单而有效的斜口防挤出环支撑,还有开口的L形或矩形轴承环,视沟槽宽度而定。

主橡胶密封上带斜角,以给出与缸表面的最佳密封接触。

与多层活塞头密封一样,T断面设计成装入单件活塞的的沟槽。这种形式的活塞头密封的工作压力为345bar(5000lb/in²),工作温度范围为-40°C到+100°C。

一种非常紧凑的高压液压密封示于图8。本质上是一个橡胶充填的夹布V形圈,它能密封高达700bar(10000lb/in²)的压力,并制成单作用式和双作用式。它作为活塞杆密封或活塞密封都同样有效,增加塑料(德林林)减磨环,还可以进一步改善总的性能。



单件活塞头密封，带橡胶密封件和特殊防挤环

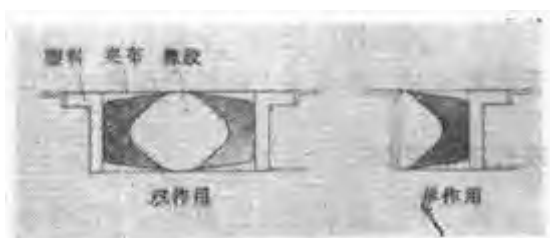


图 8 带环唇环使用的紧凑的高压密封

某些其他单件复合圈的示例，在图 9 中给出(参见有关压缩密封的章节)。

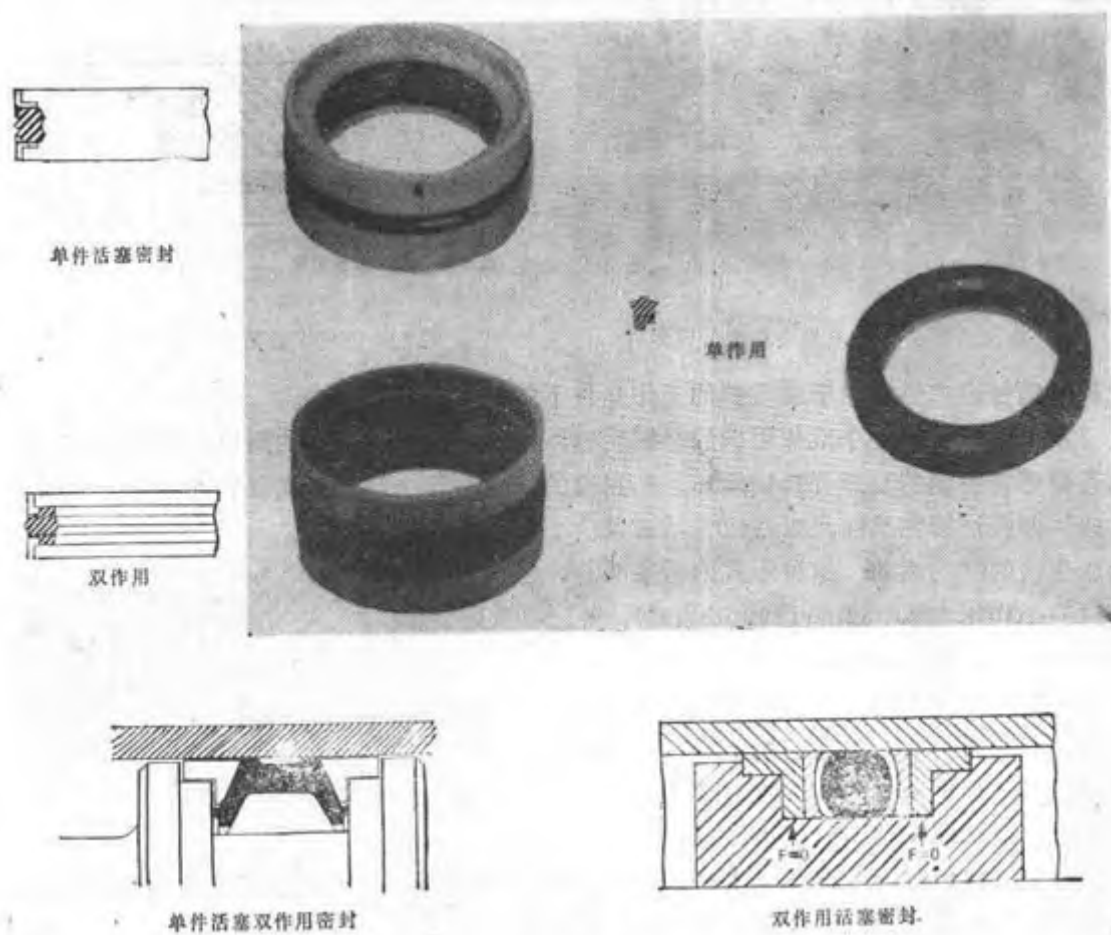


图 9

另一种形式的紧凑的活塞密封示于图 10，是专为易于在单件活塞上装配而设计的。它由一个橡胶环、一个夹布环和两个塑料直角衬套组成。夹布环是与缸表面接触的密封面。沟槽底部的橡胶环，即用作活塞静密封又赋予密封以预压缩量和弹性。塑料环既是挡圈又是活塞导向套。最高额定压力为 315bar (4500lb/in²)。

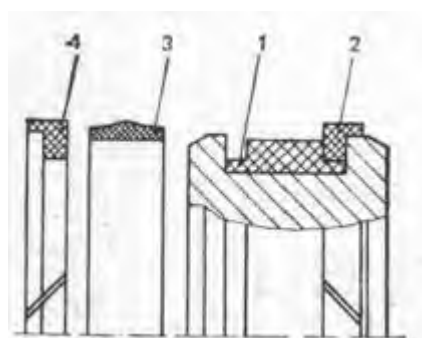


图10 紧接的活塞密封的现代专利局结构

1—橡胶环；2—开口塑料环；3—夹力环；4—塑料套。

活塞杆密封

活塞杆密封往往又称为压盖密封，它有许多不同的形式。U形圈是用于较小的液压缸的最简单的形式；U形圈用于较大的液压缸或较重载的应用场合。事实上，U形圈已被证实是最成功的压盖密封之一（而且适用于活塞密封），被广泛地采用。不过，压盖密封用U形圈的最佳形状在细节上可能与U形圈密封有所不同。而且研制了各个不同结构，它可能呈现出特殊的优点。

多层压盖密封（图11）是一种简单的紧凑的活塞杆密封，它包括一个内径多层的矩形密封，带有聚醚防挤出环。密封的橡胶部分由高耐磨丁腈胶料制成，适应于多种液压油。压盖组件可以弹入单件沟槽，但对于小尺寸来说防挤出环可以开斜口，以便于装配。多层压盖密封的发展是因为从多层活塞头密封试验中得到了优良的密封特性。多层压盖的工作压力为276bar（4000lb/in²），温度范围为-40℃到+100℃。

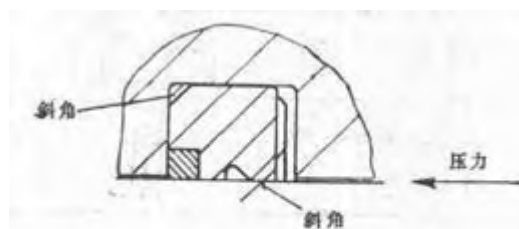


图 11

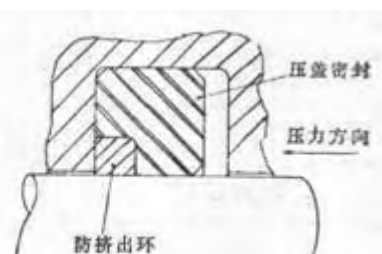
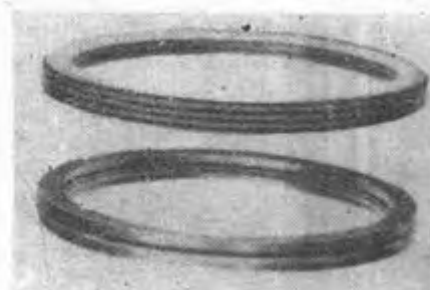


图12 带内镶挡圈的矩形断面密封



为在高压下承受旋转运动而设计的两种专用密封。一种适于在200bar下工作，而带有低摩擦夹布橡胶动力面和防挤出环的密封，适于工作到高达400bar。最高连续旋转速度分别限于0.1m/s和0.2m/s

活塞杆密封专利品系列示例

应 用	新 品	应 用	新 品
重载荷应用 (到 630bar)		矿山机械 千斤顶 农业机械 控制设备: 到 810bar)	
取便液压缸 (到 630bar)		取便液压缸 (到 260bar)	
质要求 (到 400bar)		质要求 (到 250bar)	
压力机: 专用于不可调 壳体的开口环 (到 630bar)		控制阀 (到 260bar)	
压力机: 柱套密封 (到 630bar)		气动用液压缸 (到 100bar)	
固定和行走设备用液压 缸 (到 400bar)		气动用, 无润滑的空 气: 研磨和杆 (到 30bar)	
固定和行走设备用液压 缸 (到 250bar)		低摩擦的液压缸 气能 (到 400bar)	
土方机械 矿山机械 叉车用伸缩缸 (到 280bar)		气动用, 杆密封, 气 阀 (到 10bar)	
矿山机械 农业机械 叉车 (到 250bar)			



图 13

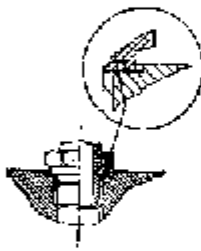
另一种经载用简单形式的压盖密封示于图 12。它包括一个矩形断面密封, 带有内镶挡圈(参见关于 O 形圈的章节)。

弹性芯压盖密封(图 13)广泛用于矿山工业的机控液压支柱上, 以便长时间无故障工作。弹性芯压盖密封以道蒂 U 形圈方案为基础, 包括高级耐磨外圈和将其加载的弹性软橡胶芯。一个内镶的塑料防挤出环镶在密封拐角处的槽里。于是压盖密封的内侧唇口与活塞杆的可靠接触在任何工作条件下都能保持。密封在压力侧有环形突起, 使液体流过密封端面, 保证液体压力始终作用于整个密封端面上。弹性芯压盖密封的工作压力高达 207 bar (3000 lb/in²), 温度范围为 -40°C 到 +100°C。

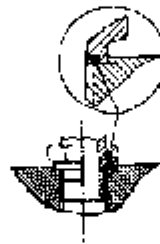
参见有关 O 形圈和密封选择指南的章节。

液压管接头

压缩式管接头广泛用于液压用途, 它靠金属对金属的接触面不需要橡胶密封件。不过, 许多欧洲厂商生产包含 O 形圈或成形橡胶密封圈的管接头, 见图 14。大多数现代的飞机液压系统也用带 O 形圈的管接头。



带 O 形圈端面密封的管接头



带成形橡胶圈的管接头

图 14

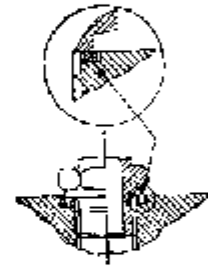


图 15 带组合垫圈的管接头

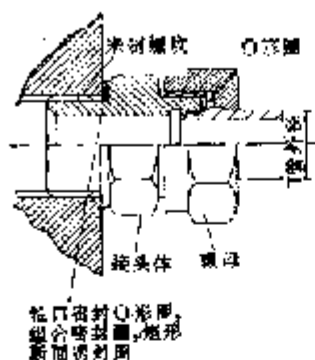
液压系统中用得最广的密封之一是组合垫圈(图 15)。最初是为取代铜垫圈而设计的, 被工作在 206~300 bar (3000~4500 lb/in²) 左右压力下的现代系统所广泛采纳。大多数组合垫圈适用于石油基液压油, 密封件是 80IRHD[●] 的丁脂橡胶, 金属外圈是碳钢。乙丙橡胶制的橡胶-金属组合垫圈, 用于磷酸酯液压油, 但此时不带骨架, 因为磷酸酯会损伤骨架。乙丙橡胶现在是用于磷酸酯液压油的密封橡胶的标准选择。

包含 O 形圈密封的液压管接头的两个例子示于图 16。一个是后焊接接管的管接头(图 16 a), 另一个是压缩式管接头(图 16 b)。二者都是符合英国制钢公司标准 CES25 (1978) 的推荐形式。

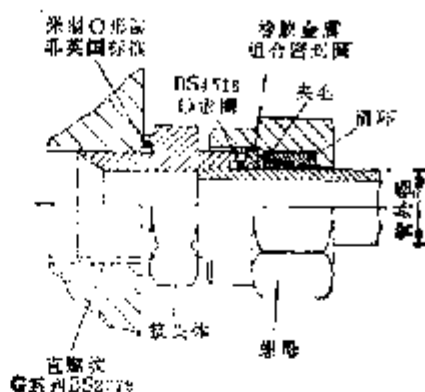
软管接头通常设计成靠锥面来保证密封性。不过某些形式包含 O 形圈, 带或不带防挤出环。至少一种回转接头既含 O 形圈, 又含 U 形圈(图 17)。在重工业中, 还广泛采用带 O 形圈、V 形圈、金属密封或金属填料的法兰接头。

参见密封选择指南。

● IRHD 是国际橡胶硬度标准。——译者

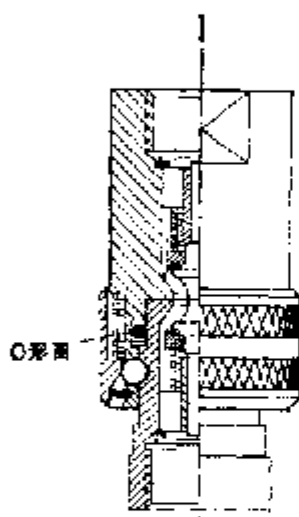


(a) 带焊接接管的管接头

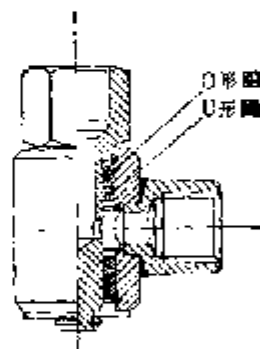


(b) 托筒式管接头

图 16



用O形圈的高压软管快速接头



用O形圈和U形圈的高压回转接头

图 17

气动密封

气缸和气阀用的密封要承受比液压密封低得多的压力，通常不超过10bar (150lb/in²)。与此同时，操作力也小得多，工作速度高得多，要求低摩擦密封。这有助于O形圈（或V断面之类的单圈密封）在阀中的应用，而当尺寸可能比较大时，则把“软质”压力加载密封用于活塞和活塞杆。其他选择类似液压用密封。同样的考虑，也适用于活塞杆防尘圈，它用来在含有任何形式磨粒的环境中工作时，从缸中排斥尘埃和粉尘。它应该有低摩擦工作的形状。也可以装活塞杆防尘套，这是没有摩擦的。

要求密封有很高的适应性，因为空气比液体更难密封。另外密封材料的透气性也是重要的，特别在温度升高时更是如此。气动系统往往用在比液体密封更高的温度下。这

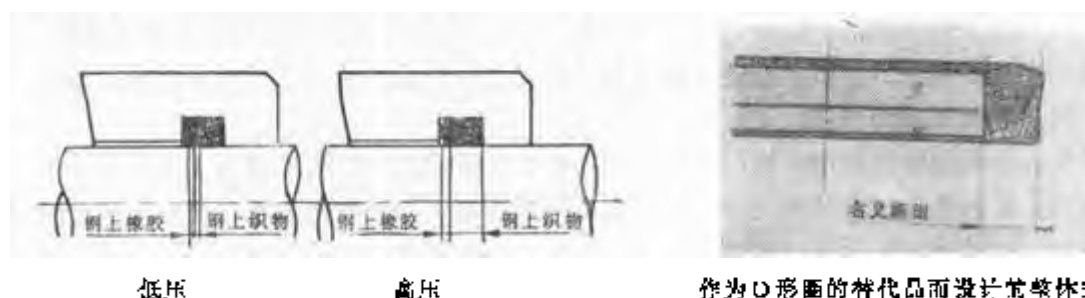
可能影响橡胶的选择。在正常的环境温度下,大多数橡胶的透气性比较低,而且都差不多,硅橡胶除外。然而在温度升高后有明显的区别,见表 I。所有橡胶的使用温度还有明确的极限,超过此极限时橡胶就变硬变脆。

表 I 橡胶的透气性 (透气系数 $Q \times 10^9 \text{cm}^3/(\text{s} \cdot \text{bar})$)

橡 胶	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)							
	40	60	80	100	120	140	160	180
丙基橡胶橡胶	5	10	30	38	46	60	76	93
丁基橡胶	0.5	1.8	4.5	10	16	22	40	60
氯丁橡胶 (Cr)	2	4.5	10	17	26	38	52	71
腈橡胶	2	4.5	8	15	22	31	48	83
丁苯橡胶	3.5	9	18	30	45	70	100	115
天然橡胶	9.5	20	4.5	66	90	100	110	120
硅橡胶	230	380	475	580	660	755	900	1000
氟橡胶	1	8	9	20	36	60	90	150
聚氨酯橡胶	2	4.5	10	19	31	40	52	70

气动密封可能还要在“干的”而不是“湿的”(润滑的)条件下工作。大多数橡胶(硅橡胶除外)对“干”热的耐受力明显地低于对“湿”热的耐受力。

缺乏润滑还会使得难以保持气动密封有足够润滑,因为缺乏油雾之类的单独注油。其他不利因素有一般空气对密封材料的氧化变质效应,以及气缸类元件通常会有的高工作速度。



低压

高压

作为 O 形面的替代品而设计的整体式密封的优点是,在编织网状组织中储存润滑油,从而防止干运转,并适于 200bar 以下的高压工作

当密封干运转或基本上干运转时,橡胶密封的表现永久变形可能大得多(一般是同一密封用作油密封时的两倍以上)。这可能要求装配密封时有更大的初始过盈量,从而在遭受永久变形的运转初期会有更大的摩擦。选择适当的过盈量是比较困难的,选择错误既可能引起密封持续咬合和造成很大的摩擦和磨损,也可能磨合成很松的配合而产生泄漏。

一个长久咬合的密封比一个“很松的”密封更容易出现,尤其如果密封件按“干式”配料而后来又得到油雾润滑,则更是如此。一部分润滑油将被密封所吸收,使其膨胀。例如,在油雾润滑下工作的各种形式的密封件的一个常见的故障是,无法提供密封件在

其“修整”期中所经受的膨胀量。此修整期在某些情况下，可能延续几个工作周。

在液体中浸泡一段时间，也可能浸出密封件中的一部分增塑剂。如果此后又让密封件干燥，它将收缩。因此，对于干密封来说，材料可能必须针对很小的永久变形量进行专门选择，以便在使用中过盈量不减少得太多。因此，可以调节的密封组件和填料，在某些场合能呈现出很实际的优越性。但是要求性能的一致性时，填料压力的调节未必是令人满意的答案。它可以提供一种调节密封性的手段，但是由于密封压力和摩擦系数的变化，摩擦力也将改变。

不过，当密封选择适当时，气缸等中的摩擦损失将不超过 5 % 左右。虽然高于液压缸的损失，但基本上是不可避免的，因为涉及到较大的密封问题，例如流体粘度较低，给柔性密封加载的压力较低，以及比较不利的密封工作条件。

静密封

气动系统中所用的静密封包括阀、储气罐、气罐等的盖垫片，缸的端盖密封及管路辅件的垫片密封。所有的要求通常可由简单的密封或垫片来满足。

垫片材料仍然广泛适用于有合适的法兰面积可供利用的场合。不过，平橡胶板作为垫片材料有个明显的局限性，因为受压缩时，它容易展览，并具有高压压缩变形。为使性能令人满意，应把它嵌在沟槽里。在这种情况下，一个 O 形圈通常提供更好的密封，很少甚至不增加费用。其实，当装配中可以容纳一个机械加工沟槽时，O 形圈通常提供最简单、最有效的静密封方法，附带的优点是它能在最小尺寸的法兰或槽缝上提供密封件。另一个优点是，当表面光洁度比垫片所要求者粗糙得多（因而也便宜得多）时，它也有效。标准沟槽表面在 103bar (1500lb/in²) 以下，将给出可靠的密封性。如果把连接上紧，只要表面精加工足够光洁，以给出紧密的贴合，消除“喘气”和可能的 O 形圈挤出现象，则可密封高得多的压力。O 形圈还可用作静压密封，把 O 形圈放在法兰或台肩处，靠配合件上的斜角施加压力挤压。

在某些形式的静密封中，例如阀座密封，可能需要采取专门的措施防止密封副被咬出或沟槽。有时在比较低的压力下，即可出现这种情况，例如气压力在密封面上径向向外作用时。这种情况下的其他方法有，使 O 形圈沟槽通大气，以防止建立径向压力；用特殊形状的沟槽或护圈对 O 形圈机械夹持。

所有这种形式的静密封（闭合压力使 O 形圈变形，以提供密封）都必须保证对 O 形圈可靠支持，同时把所施加的挤压程度，限制到小于可能使 O 形圈永久损坏的程度。还将看到，由于密封圈材料的弹性，这种形式的静密封在提供密封性的同时，还能吸收冲击。

气管管接头和总成

在气动管接头的场合下，密封要求是比较适中的，许多低压系统中面对液接触，即提供了足够的密封性。塑料管接头用于 3 bar (45lb/in²) 的工作压力；锥螺纹管接头用于最高压力高达 20bar (300lb/in²) 的系统。工作压力更高时，通常选用带 O 形圈的 SAE 接头（图 1）。

硬度为 60~70IRHD 的硅橡胶，适用于 -20~+70℃ 的温度范围内的 O 形圈，并

且与油、气体及干、湿压缩空气完全相容。腈橡胶在更高的温度下变硬变脆,这时必须用氟橡胶。其实大多数欧洲用户,倾向于在大多数应用场合中都采用氟橡胶O形圈,而不顾其费用较高的问题。

动密封用O形圈要求较硬的橡胶,往复运动和旋转运动密封的典型选择是50IRHD。在现代气动系统中,高达1.4m/s的线速度是现实的,旋转速度高达0.05rad/s。

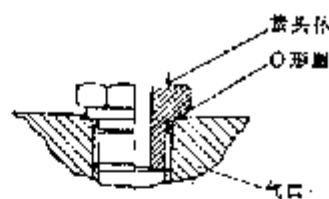
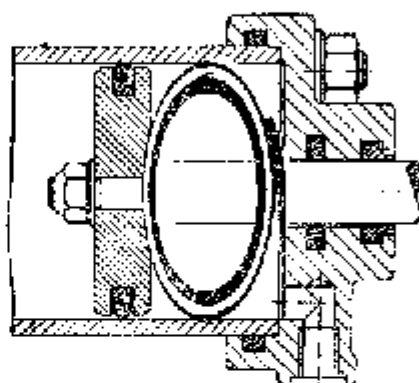


图1 SAR接头

动密封

动密封包括气缸的活塞与活塞杆密封,阀芯和阀杆的密封,以及旋转部件的旋转密封,例如气马达的轴封和回转缸配流轴的密封。

现代趋势是朝着密封结构与装回的简化,几乎完全用成品密封圈(匀质橡胶密封或橡胶-纤维混合模压密封)取代传统形式的填料。可以用各种断面,但大多数是基于或来源于具有被证实的性能的基本断面。O形圈是个例外,它是很独特的一种多用途密封。这也曾引起变化,但在要求用于各种工作的最简单的密封装配的场合,O形圈仍然是一种受欢迎的选择,虽然它有自己的局限性。



摩擦特别小的缸活塞头或活塞杆密封

O形圈

作为一般准则,O形圈最适合于在较小的尺寸和较轻的载荷下作往复密封,但这并不意味着普遍的建议。O形圈已被成功地用在比较大的气缸尺寸下,作活塞杆密封和活塞密封。主要的要求是O形圈要在其额定能力内使用,并安装在正确匹配的沟槽之内。

对O形圈往复密封最有利的条件是短行程、充分的润滑和适中的磨合速度。对O形圈往复密封不利的条件是,引起运动系统偏心的侧向载荷和弯曲载荷及较高的单位载荷,很低的往复速度;伴随着轻微泄漏的很低的压力。后两种条件易于产生很大的摩擦力,可能把O形圈损坏。

正确安装和充分润滑时,O形圈在往复运动下通常不易滚动或扭曲,因为与沟槽的接触面积远大于与滑动面的接触面积,圈本身的拉力即阻止扭曲。沟槽的摩擦是静摩擦,因此,在任何情况下都大于磨合摩擦,更倾向于把O形圈保持在其沟槽里。然而,改变这些条件的任何东西能使O形圈的某部分滑动,而同时其他部分滚动,结果使圈过度扭曲。最终要导致圈的损坏,此种损坏表现为O形圈周围的螺旋状裂纹,称为螺旋状损坏。

从O形圈发展出来的某些其他断面的抗扭刚度较大,不太容易产生螺旋状损坏。当需要简单密封圈而螺旋状损坏的可能性较大时,它们可以用来在标准的O形圈沟槽中取

代O形圈。然而,对于作为简单的双作用往复密封的场合,O形圈的应用远远超过其他断面的简单密封圈。当所涉及的是O形圈已被证实不能令人满意(或被认为不满意)的工作时,通常选择更厚的圈断面。

U形圈

适当配料并以比较软的橡胶制成的U形圈能提供特别好的密封性,而且在低压下摩擦力小。希望的特点是唇部薄,以响应压力加载,长度大,以便有良好的柔性,唇部本身设计成有较小的唇部负载,以便摩擦力小,与此同时,有足够的接触面积和预载荷,以便密封良好。方拐角断面也受欢迎,可以减少拐角磨损和“咬伤”(图2)。

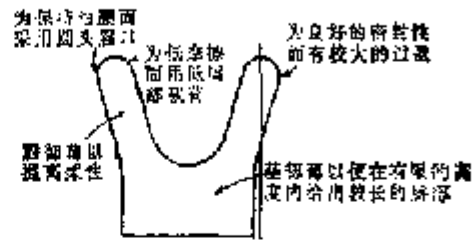


图2 对U形圈气动密封的基本要求

因此,专为气动用而发展起来的U形圈密封及各种改进形状(例如活塞杆和活塞密封)在断面形状上与液压用的同类密封有所不同。

特殊断面

改进的U形圈形状、C形圈和改进的C形圈,以及其他特殊断面,也可用于气缸活塞与活塞杆密封。其中有些是专为气动用而发展的。一个被称为分规形密封的例子示于图3。这种密封可以直接取代O形圈,装在相同的沟槽里。它有与O形圈相同的动摩擦,但起动摩擦力小得多,因为有很小的断面压缩量和较大的柔性。密封内径处的小缺口允许空气进入密封,并把反唇口推向沟槽的斜面。于是该密封在静止和运动条件下都是完全压力加载的,并将在两个方向上都密封。

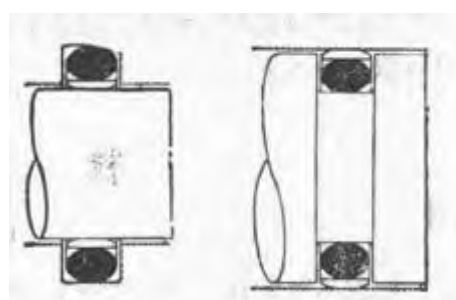


图3 分规形密封

组合密封

组合“硬”圈也可用于特定场合或具体的设计师喜欢用的场合。这种圈由一个硬圈断面(它提供摩擦和密封表面)与一个柔韧的缓冲圈组成。“硬”断面可以是金属的或某些其他低摩擦材料的(例如聚四氟乙烯)。它本质上是压缩密封,弹性由缓冲圈给出。这种圈的可能的优点是它能起轴承和密封作用,能适应侧向载荷,并提供自动“定心”作用。

这里一个具体的例子是O形圈与刚性聚四氟乙烯圈的组合。后者提供低摩擦密封表面,不论是否有润滑。这种密封可以是内密封或外密封(图4)。不同厂家生产的这种密封名称也不同(聚四氟乙烯圈的形状也不同)。在英国最有名的是(安古斯)滑移O形圈。这种组合圈与传统O形圈的性能对比,见图5与图6。有趣的是,虽然运动条件



(a) 内密封 (b) 外密封

图 4



低摩擦同轴密封带有用于两个加载轴承环之间的聚四氟乙烯承载圈（例如由青铜加载的聚四氟乙烯）。这种密封目前工作压力可达400bar

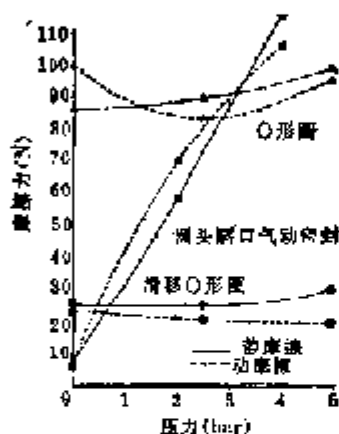


图 5 在干状态下典型密封的摩擦力与压力的关系

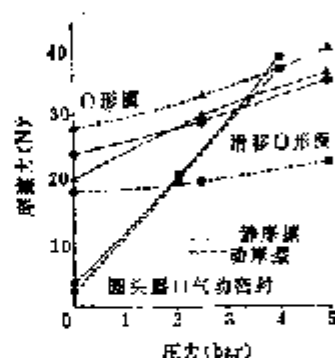


图 5 在润滑状态下典型密封的摩擦力与压力的关系

下它的性能优异，但是静摩擦与O形圈接近。还值得指出，在很低的压力下，唇形密封表现出最低的摩擦（图5），然而在这种情况下，压力升高则唇部接触面积加大，从而摩擦力加大。

缸用密封

主要是由于杆径与缸径之间的显著差异，在气缸的杆与活塞上可以用不同形式的密封。某些制造商还为给定的缸结构提供代用形式的密封。甚至填料压盖或类似的压缩填料在活塞杆密封中的应用，也没有从现代实践中完全排除，虽然其摩擦力比压力加载密封大得多。有些应用场合中，活塞杆上的摩擦力比较大，可能是个优点，例如在垂直气缸举升重物时，可以增加运动刚度。

通常在活塞杆密封外面还用一辅助密封。这是防尘密封，其任务是刮拭内缩的活塞杆表面，清除可能堆积在活塞杆上的灰尘，防止它们被带进活塞杆主密封，并留在那里引起磨损。防尘密封可以有各种形式，如简单的单唇密封、金属骨架橡胶断面防尘圈、

提供支承和刚性的金属背撑薄橡胶断面,甚至简单的压缩密封(如毛毡圈)。聚氨酯橡胶防尘圈越来越受欢迎,因为它有良好的耐磨性。当气缸在特别脏的条件下使用时,为了可靠的保护,可以加设一个防尘套,防尘套也可以取代防尘圈。

参见有关液压密封和密封摩擦的章节。

航船轴管密封

航船轴管(螺旋桨轴)密封代表一种特殊要求,即在外围零件与腐蚀性介质(海水)接触时,要以低摩擦提供足够的密封性。可能还要求该密封具有自动对中能力。

一种适用于高转速小船的简单而十分有效的轴管密封形式,示于图1。一个简单的挤压衬套压盖以很大的间隙与轴配合,容纳若干个填料环。它安装在一根橡胶软管上,与轴管不接触。一个套管压盖螺母被旋紧,以便把填料环压向轴,所以整个密封都在填料环上浮动。

适当地选择填料,这种压盖密封环提供很长的使用寿命,除了定期旋紧压盖螺母,以维持最小泄漏外无须照料。原始调节是保证轻微的泄漏,在研配期过后再次调节,以后根据需每隔较长时间再调节。这种压盖不得调节成干运转,因为这将增加摩擦和发热,引起预润滑的填料环损坏,并可能把轴擦伤。

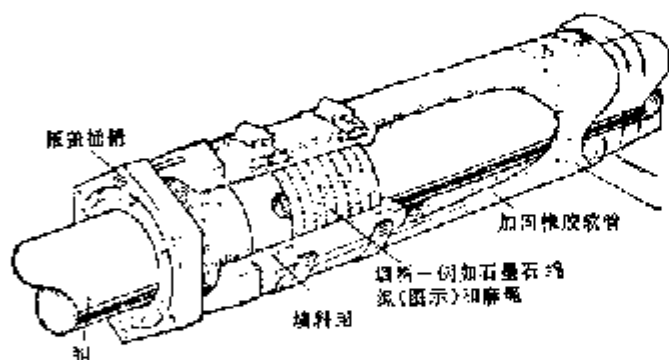
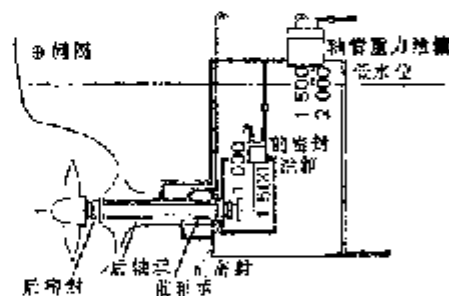


图1 小船用典型轴管压盖



尾油压盖密封的轴管系统

常用的密封材料是石墨石棉绳和消浸麻绳。这种密封如果定期地正确调节,其寿命可达300~400h。现代填料(如聚四氟乙烯-阿拉米德纤维填料)是一种很吸引人的代用品,将会有更长的寿命,并且产生更低的摩擦和运转温度。

属于这一类的其他简单密封可能有刚性结构,带背撑环或O形圈,主要靠充足的润滑剂(防水黄油)的存在。通常由黄油杯供给,隔段时间就旋紧 $\frac{1}{4}$ 圈之类,使压盖端部刚好流出新黄油。类似形式也可用作浮动密封(即象图1那样装在橡胶软管的端部)。某些形式还是水冷的,连接发动机冷却系统,以便向水套供水。

也用机械端面密封,一个例子示于图2。固定在螺旋桨桨毂上的一个保护套(ST.6)通过驱动环(ST.5)带动旋转杯(ST.3)。杯(ST.3)借助于合成橡胶弹性填料环(ST.3a)在保护套上密封,并在防腐耐磨簧(ST.5a)对推力板(ST.7)的作用下被推向环面接头(ST.7),推力板装在轴管衬套后端。

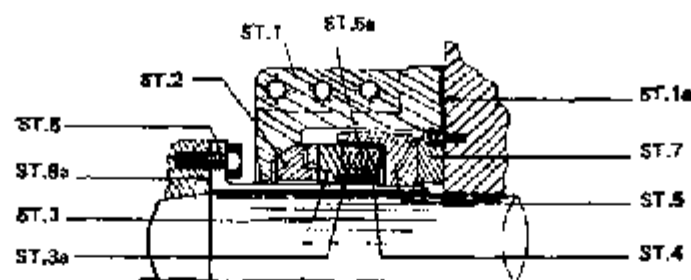


图 2

球面接头 (ST-2) 定位于坚固的壳体 (ST-1) 上的机械加工球座里, 壳体可靠地固定于轴管螺母, 保护内部密封免遭损坏。

减磨端面由来自轴管的油来润滑, 因而保证长寿命。

杯 (ST-3) 的弹性和球面接头 (ST-2) 的自由度, 将适应具有合理振幅和频率的振动或轴的轴向窜动, 而不引起密封泄漏。

在较大的船上, 传统的压盖密封仍是主要选择。基于聚四氟乙烯浸渍阿拉米德纤维的现代填料的出现, 已经提高了它的性能, 具有很低的摩擦和比大多数其他填料都显著延长的寿命。然而, 对于新的设备, 现代结构的轴管密封装置往往更受欢迎, 因为装配与维修更简单。

图 3 是为了把带水润滑轴管的现有船只改成机械端面密封而专门设计的密封的例子 (也适用于初次装配)。其特点是:

(i) 它可装入现有的填料函内, 代替现有的压盖, 并使用轴上尚未磨坏的零件。

(ii) 它使用现有的压盖螺栓。

(iii) 它是完全剖分式的, 可以不打扰轴面装配。橡胶密封件就地粘接成整圆。

(iv) 鼓胀密封使得可以在海上维修, 而运转备用密封的采用, 使得可以迅速恢复工作。

(v) 消除了轴的进一步磨损, 而且密封将适应径向和轴向振动。

此密封还提供轴的径向和轴向运动的自由, 见图 4。在运动量较大时, 恒紧弹簧允许轴穿过密封环轴向滑动, 同时保持足够的恒紧力, 以提供对环的可靠驱动。

这种密封组件的一种特殊结构是在密封腔外部装鼓胀密封 (图 5)。它靠空气压力鼓胀, 以便把轴锁紧, 并对静止的轴提供密封注, 使得不用把船坞或调低船头, 即可在海上维修主密封。

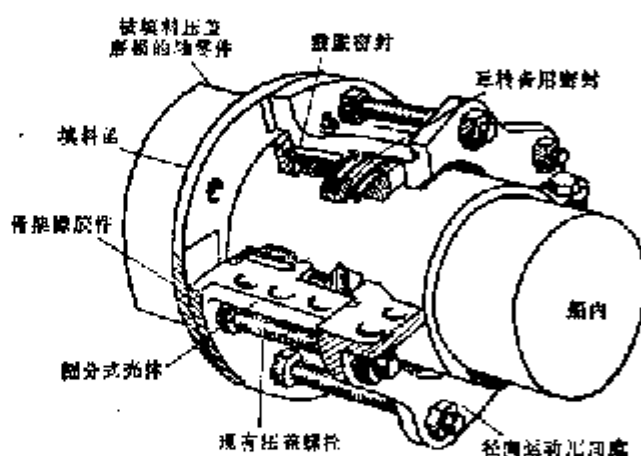
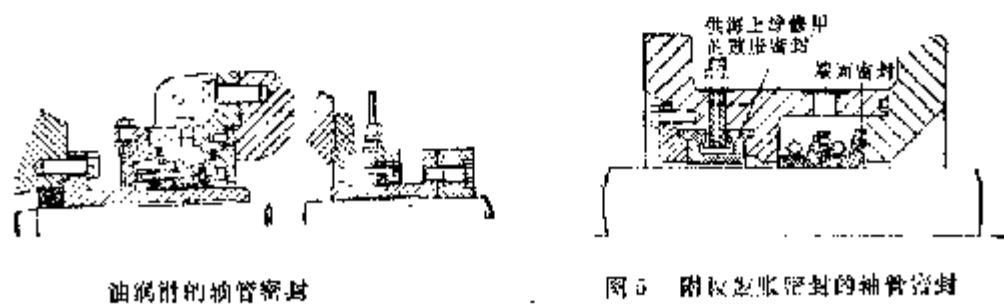
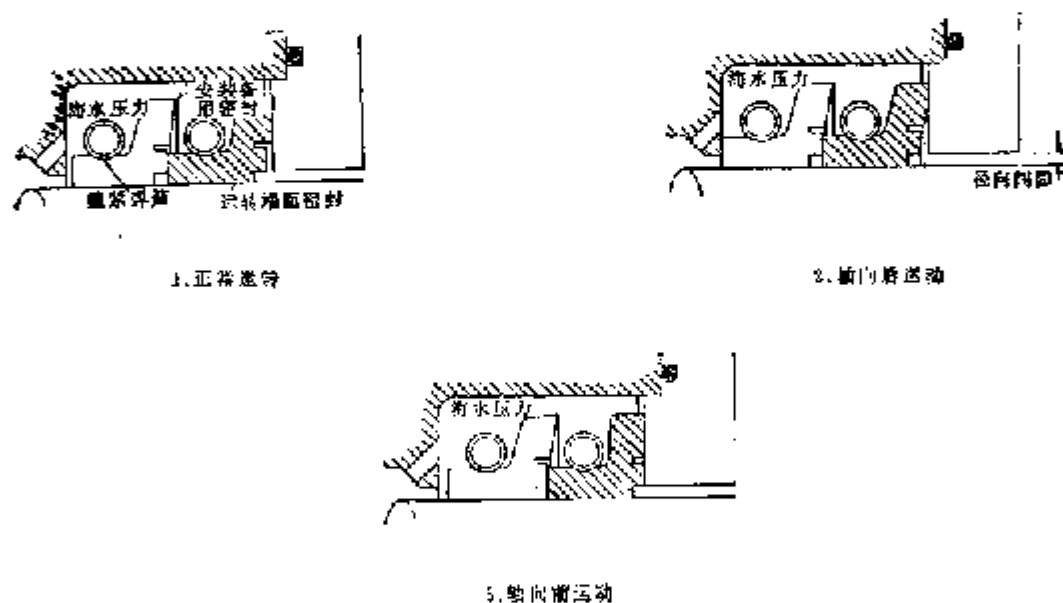
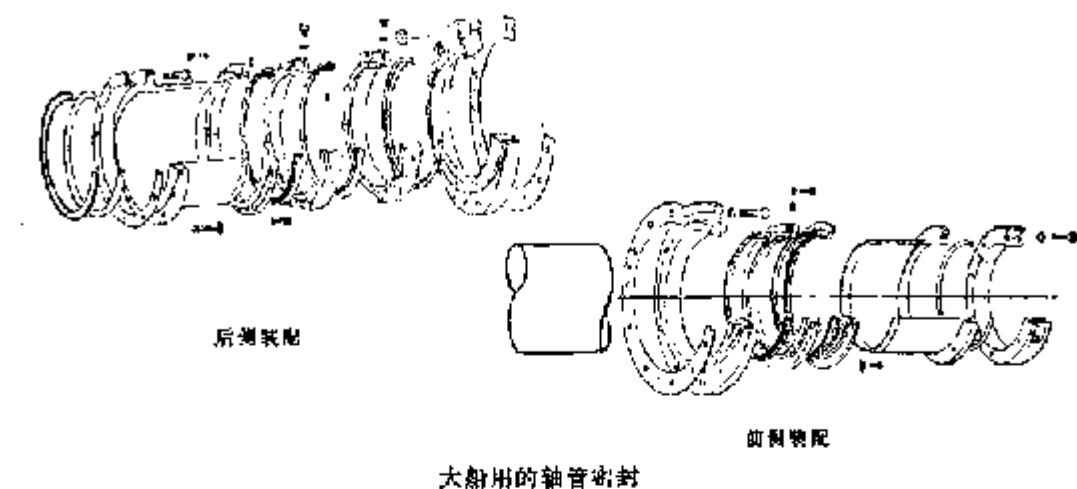


图 3 水润滑的轴管所用的密封



由机械端面密封和鼓胀密封组成的轴管密封组件的另一个例子，示于图6。给端面密封提供了一个壳体，给鼓胀密封提供了一个壳体，密封组件的所有零件都是剖分式的，以便于绕轴安装。采取了冲流端面密封旋转零件的措施，并保证通过基环到轴管轴承有足够的水流量。密封壳体上有放气阀口，以便把密封腔排空。

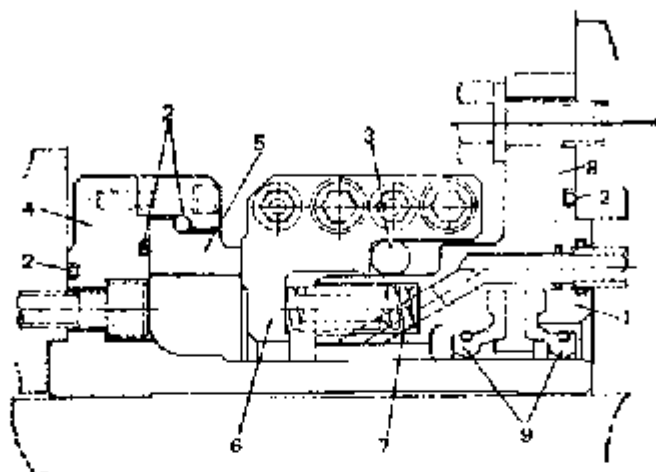


图6 轴管机械密封

1—夹持环；2—O形圈；3—O形圈；4—轴套；5—座环；
6—密封环；7—弹簧；8—基环；9—唇形密封。

润滑油管用泰汤 (Tyton) 密封 (图7) 设计成不需要压力油系统，并保证很容易监视海水侧的端面密封和油侧的唇形密封的性能与工作情况。后 (船外) 密封由一个端面式海水密封和一对唇形密封组成。船内密封由一个单唇口 (油) 密封组成。密封的主要零件有剖分结构，可以不拆卸轴即更换磨损零件。

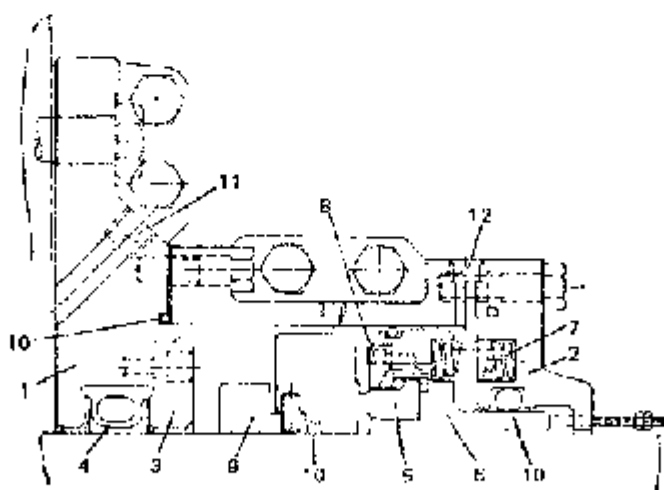


图7 润滑油管用的泰汤密封

1—基环 (剖分式)；2—盖环 (剖分式)；3—夹持环 (剖分)；4—鼓胀密封；5—密封环 (剖分)；6—压环 (剖分)；7—唇形密封；8—卡环 (剖分)；9—唇形密封 (剖分)；10—O形圈；11—鼓胀密封；12—唇形密封。

舵柱密封

舵柱密封在防止海水泄漏的同时,还要适应各种工况下的舵柱变形和动态轴承载荷。按照理想,它还应能在不拆掉舵、横梁、舵柄或舵柱的情况下进行更换。对于较小的船只,通常用填料压盖,就能最经济地满足这些要求。在较大的船只上,通常使用特殊的密封结构。

现代舵柱密封的一个例子示于图8。这包括一个防止海水进入轴承腔的下轴承密封和一个防止海水进入船体的船体密封。密封环由托环和盖稳住,并装入剖分式基环中。密封环区灌入黄油。不需要其他润滑。

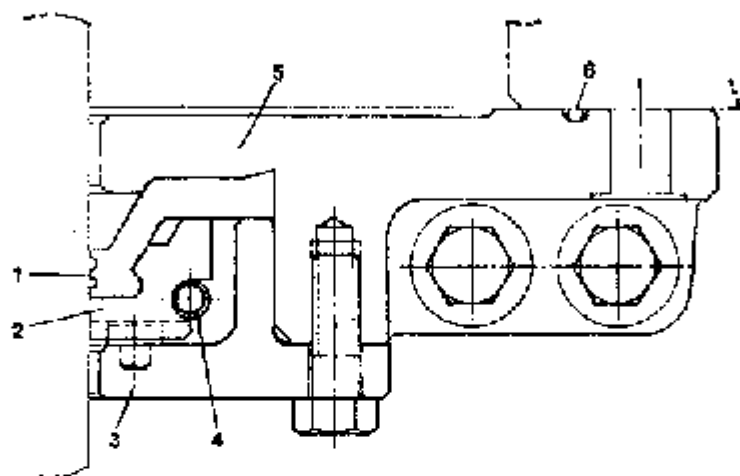


图8 舵柱密封

1—密封环; 2—托环; 3—基环; 4—盖环; 5—壳体; 6—O形圈。

第3B部分 特殊用途密封

高温密封

使用橡胶件的密封，本来就限于 125°C 以下的低中温使用，但有某些例外（例如硅橡胶和氟橡胶用到 250°C）。然而，在具体的应用场合下，标准密封结构的性能范围可以提高，办法是或者冷却被密封液体，把它保持在适当的工作温度，或者冷却压盖或密封，把该部分保持在可接受的温度。特别适合于机械轴封，其中结构往往允许采用代用材料，以便进一步提高工作温度范围（见表 I）。

表 I 温度-材料选择表

密封材料	温 度 (°C)							
	50	75	100	150	200	250	300	300以上
天然橡胶	S	S	LS					
丁基橡胶	S	S	S	YLS				
腈橡胶	S	S	S	LS				
氟丁橡胶	S	S	S	LS				
丙烯酸酯橡胶	S	S	S	S	VLS			
氟橡胶	S	S	S	S	S	LS		
聚四氟乙烯	S	S	LS	VLS				
硅橡胶	S	S	S	S	S	S	LS	
石棉	S	S	S	S	S	S	S	S
金属						S	S	S

注：涉及到高温使用时，为了把液体工作温度保持在可以采用普通廉价橡胶的水平，往往值得考虑把液体冷却的可能性。

代号：S——适用；

LS——适用性有限（例如短期适用）；

VLS——适用性很小（例如短期适用）。

这些解决办法究竟是否现实或适用，在很大程度上取决于应用场合。例如在一个液压系统中，对油液冷却可能是最吸引人的解决办法，因为它把系统设计和元件选择简化到“当前技术水平”的条件。唯一的附加要求是要有足够的热交换，以便把油液温度维持在要求的水平上。另一方面，在一个泵系统中，可能必须在特定的温度下输送液体，压盖冷却可能确实是最简单、最满意的解决办法。在另一种情况下，被输送液体可能既是高温的、又是毒品或危险品，不得以任何方式污染，因此只有特殊形式的密封能适应此任务。这严重限制着选择，甚至可能需要专门研制。还有特别高的温度要求，只有非金属密封有希望无破坏地有效工作。

在高温密封中热膨胀可能是个重要因素，尤其在它可能影响间隙时，更是如此。在具体的应用中，密封可能被要求在很宽的温度范围内（例如穿过“预热段”），从而在间隙由于元件膨胀不同而变化的情况下能密封（见表 I）。

表 I 密封弹簧材料工作温度值

材 料	密封的典型最高工作温度 (°C)
弹簧钢	90
铜青铜	107
铍青铜	130
铌青铜	150
镍磷青铜	150
合金弹簧钢	205
不锈钢 18-8	250
蒙乃尔合金	270
K-蒙乃尔合金	280
因康镍合金	400
X-因康镍合金	450
哈氏合金	510

至于说到高温密封,只要最初选择的密封具有适用的形式和材料,则环境因素的组舍而不单是温度,更容易引起故障。在密封可能同时工作在腐蚀性环境和很高的环境温度中的场合,尤其是这样。这时,一般化的数据,可能没有什么意义。另一方面,现代形式的机械轴封已经发展到这样高的水平,即只要最初选择适用的形式,就能在最苛刻的条件下长时间维持满意的工作。除了结构外,主要是因为在这种密封中,可以采用高温材料而不降低密封的机械性能。

全金属密封对于高温来说是一种显而易见的选择,但与挠性密封相比,作为动密封却具有显然有吸的性能,虽然在某些应用中可以采用,并且的确是一种标准的选择。典型的例子是工作时带间隙的密封,如迷宫密封,虽然泵中的密封环代表标准做法,但意识到磨损率比较高,需要把这种环制成便于更换的。金属环对于高温活塞杆和活塞密封也是一种显而易见的选择,具有能提供可靠的轴承支承的优点。另一方面,金属O形圈虽然适用于高温,但却不适用于动密封。

限制着用于动密封的金属唇形密封的发展的一个大问题是,磨损特性在高温下易于突然变化。例如,虽然传统的(和满意的)轴承特性可以保持到 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ ($400\sim 500^{\circ}\text{F}$),但在更高的温度下,相互接触的同种金属就可能出现严重的擦伤和磨损。一旦温度升高到润滑油膜破坏,活塞环很大程度上也是如此。

一个简单的金属簧片密封示于图1。这是一种压力加载密封,其理论性能可用“梁”的公式来分析。用这种方法能得到簧片最佳倾角,倾角越大,则作用在簧片上的弯矩越小。在擦伤或划伤极限内,这种形式的密封似乎对旋转比对往复运动更适用,但两种运



图 1

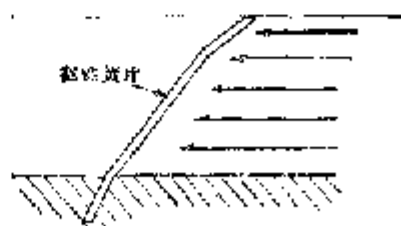


图 3

动形式都用。

一种更成功的形式是截锥簧片，断面示于图 2。其实也是一种簧片密封，其唇部允许实际密封边以较好的角度出现，有好一些的磨合质量。在简单的挠性金属密封大量使用之前，许多人仍在研制这种密封和其他密封，虽然体现了在高压下密封液体的最合理的最直接的方法。

在可能既需要静密封，又需要动密封的场合，可以考虑带可调密封件的金属密封。这将允许密封单位载荷变化，以满足静止和运动要求，泄漏特性类似图 3 所示者。总的平均泄漏可以减少到很低的值，密封件不受过大应力，也不对系统施加过大的始动力，主要的困难是提供必要的控制机构。

图 4 说明给出静-动密封的这种控制所实现的始动力的不同。

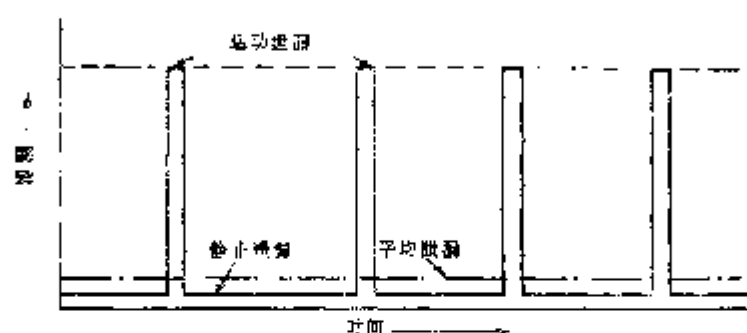


图 3

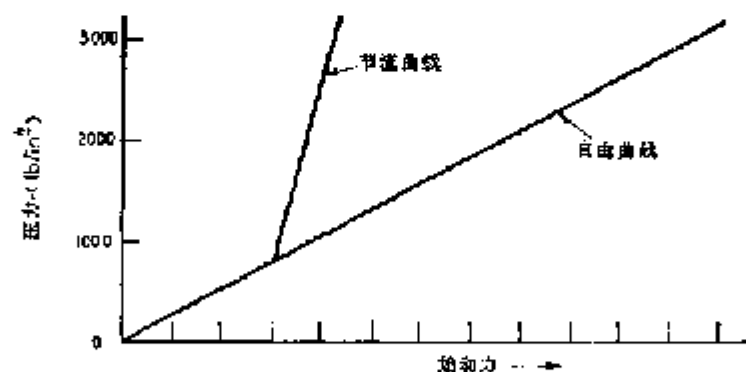


图 4

在设计金属密封时所考虑的主要问题是

(1) 始动力是密封边宽度的函数，宜采用窄的钝头刀口密封。

(2) 窄密封边可以制成比宽边更精确的形状并给出更好的表面光洁度，仍然宜用薄断面密封件。

对于纯粹静密封的场合，一种简单形状的全属簧片密封，示于图 5。该密封其实是一个简单的环，带有在闭合压强下进一步弯曲的曲线断面。用一个刚性框限制密封带的实际变形，可以很方便地控制弯曲程度。变形所产生的很大的单位载荷提供了一个可靠的零泄漏密封，而作用在弓形件上的液体压力，还进一步提高压强和密封性。其实对于

高温填料

比较熟悉密封圈和机械端面密封的潜在用户，可能易于忽视填料压盖作为高温密封的可能性。石棉填料的最高工作压力可达 500°C 以上；而纯膨胀石墨密封高达 2500°C。后者是自润滑的，还有较低的摩擦系数。基于芳族聚酰胺凯夫拉尔的现代填料，可能也适用于高达 300°C 的温度，并且是另一种低摩擦填料。

陶瓷纤维填料，例如因康镍合金加固的铝纤维绳，已针对甚高温（高达 1260°C）和压力高达 100bar 的用途研制出来。这种填料的化学耐力很强（pH0~9），还有很好的隔热性。

询问制造商

从经济角度来说，如果可能的话，应尽量根据“技术现状”来选择密封。然而，许多潜在的用户忽视这样的事实，即关于满意的密封选择的大量资料，掌握在各家密封制造商手中。换句话说，所涉及的使用条件越苛刻，就越有必要在密封的选择及其使用方法方面与密封制造商紧密合作。这仍然工作在“技术现状”之内，但是可以吸收制造商的宝贵的实践经验。

参见关于压缩填料、O 形圈（金属 O 形圈）、杂类静密封和机械端面密封的章节。

大直径密封

理论上任何形式动密封的直径尺寸都是没有极限的。实际上，有许多限制因素影响密封形式的选择。其中有：

(i) 费用。某些形式的密封（例如唇形密封和压缩填料）在大直径时被认为是比较经济的。另一些形式，如果专门制成所需尺寸（例如机械端面密封）则不可避免地比较贵。由于同样的原因，压缩填料可能比非标准生产尺寸的密封圈便宜。

(ii) 磨合速度。这在旋转密封中比在往复密封中更容易成为一个重要因素，因为在转速相同时磨合速度的增加与轴径成正比。具有磨合接触的所有密封形式都有最高速度极限，视密封形式和材料而定。带间歇工作的密封没有这种极限，但对具体的应用场合来说，未必就是满意的替代方案。

(iii) 摩擦。这直接关系到磨合速度、密封材料、润滑情况和密封接触表面的光洁度。其实，决定若可接受的磨合速度极限的正是摩擦的热效应。因为摩擦还与接触的密封面积成正比，所以在直径密封中，为了减少功率损失，特别希望低摩擦密封。

(iv) 密封稳定性。对于大直径唇形密封或压缩填料来说，所用密封断面并不随着直径尺寸成比例加大。结果在往复（活塞）密封中，可能出现一个特殊问题，即大直径缸在压力作用下，直径有比较大的增加，不成比例地加大间隙，并导致密封挤出。

图 1 是考虑到这个特殊问题而设计的重载 V 形圈密封的例了。当缸孔“胀大”时所出现的挤出间隙被“塑料”缸圈堵住，此圈由橡胶异形圈沿径向向外加载。

对于专用压机中的大直径单作用压头来说，装设自调式填料是并不少见的。图 2 画出典型的大直径密封组件，其中含有内装式橡胶弹簧，以便对密封施加恒定的轴向载荷。



图1 大直径重载V形圈密封

重载密封——适用于图2所示的组件

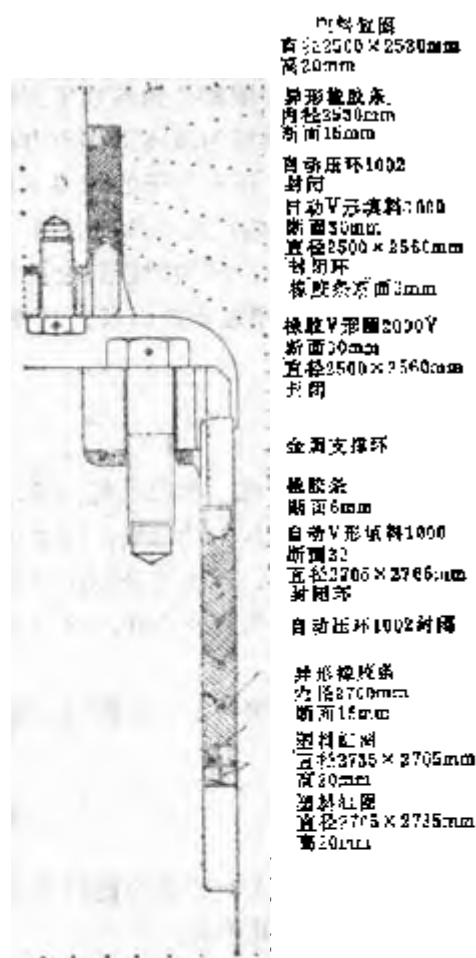


图2 主压头密封的细节

从而实现低压密封性。这种密封形式可以制成1.8m直径，并且特别适用于多压头压机维修费用极高甚至不能维修的场合。从照片上看出，密封圈是开口的，以致于当密封发生不可避免的变化时不拆下压头，即可更换。

现代编织压缩填料（例如开福拉氟塑料）作为大直径活塞密封极为有效，可工作到1000bar的压力。

参见有关正作用密封和金属环密封的章节。

第4部分 材 料

橡胶的性质

所有橡胶混合物在高温下,尤其是在空气中,经过一段时间之后都要变质,它们变脆或树脂化,并丧失其弹性。此效应与时间有关,不可逆转的,而且不同的混合物之间变化很大。

在低于 0℃ 的温度下,随着温度的降低,橡胶混合物逐渐硬化,并失去弹性,直到最后发生脆化,如果弯折橡胶,则出现裂纹。在使用中,对弹性和压缩永久变形的这些不利影响,可能严重损害橡胶件的动态性能。当温度回升时,这种脆化和硬化可以恢复。可以买现成的特殊低温材料(加硅橡胶),也可以在一组橡胶(例如腈橡胶)中,用特殊的配料技术,使材料具有较大的抗低温硬化性。然而,这样做时耐油性或耐燃料性可能下降。

根据工作温度范围做出决定时,必须考虑到工作环境。大家知道,在某些液体中浸泡的橡胶混合物,对高温的耐受力要比在热空气中工作时的耐受力低得多。因此,在橡胶材料一章中的具体橡胶条目下给出的工作温度范围的数值,可能被实际工作条件所改变。

老化包括密封材料随时间渐进的永久性变质。这是固有的材料特性,通过配料可以在某种程度上加以控制,但它也受密封件从制造时开始的全部历程的控制。例如,特别易于氧化的材料,如果暴露于热大气、阳光或其他不利环境中,则在实际使用之前的储存阶段,即能迅速老化。另一方面,在有利条件下储存和使用的密封能多年保持不受老化影响。

加速老化试验可以指出具体橡胶的一般老化特性,但这种数据仅是相对的。使用经验是这方面的最可靠资料,虽然老化试验可以指出一种有希望的代用材料。一个密封件的实用使用寿命取决于许多因素,以致于无法按简单的数据进行估计,尤其是因为主要指标通常是密封如何储存和在装配时如何处置,以及使用中的实际工作条件。

一般来说,老化对抗张强度、硬度有影响,并降低伸长率(增加脆性),如图 1 所示。然而,不同的橡胶发生变化的时间有极大不同。这可以表达为在特定温度下的热老化指数或脆裂时间。不同橡胶的对比特性列于表 1 中。

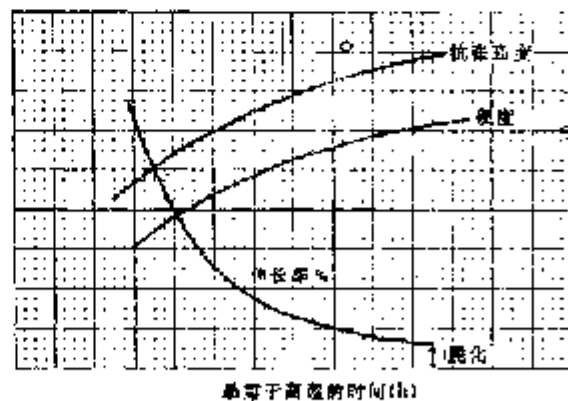


图 1

表 I 热老化指数——脆裂时间

	125°C	150°C	200°C
氯橡胶	>1000	>1000	>1000
氟硅橡胶	>1000	>1000	>1000
硅橡胶	>1000	>1000	>1000
丙烯酸酯橡胶	>1000	>1000	60
氟醚橡胶	>1000	650	—
乙丙橡胶	>1000	400	—
氯磺化聚乙烯橡胶	850	70	—
氯丁橡胶	500	100	—
I 类橡胶	500	45	—
聚丁二烯橡胶	350	30	—
聚硫橡胶	60	3	—

相容性

与一种液体接触或浸泡在液体中的橡胶通常会吸收一定数量的该液体，材料将膨胀，即体积增加。这将改变橡胶的性能，值得注意的有硬度、强度、弹性和耐磨性，这些变化大体上与膨胀量，即体积增加率成正比。只要保持必要的密封性，没有物理或化学变化，则这种状态就是可以接受的（通常也是不可避免的）。然而，膨胀过大，可能表明相容性差（例如性质改变过大）及产生过大的尺寸变化。一般来说，膨胀越小，则相容性越好，测定膨胀是相容性的一项基本试验，例子见图2。另一方面，膨胀过大，可能伴随着一定的化学变化，例如材料的某些化学组分的溶解或相互作用，或者导致裂纹的表面脆化。在这种情况下，液体和材料是不相容的。

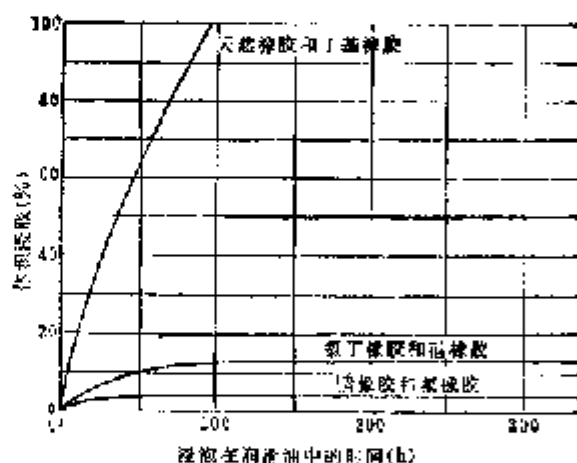


图 2

虽然对膨胀没有明确的限制（只要所有其他特点是相容的），但对于垫片式密封来说，高达100%的体积增加是可以接受的；对于静密封（例如O形圈）是50%；对于动密封最大约15~25%。实际体积变化可能比单纯膨胀所显示的更小得多，例如所涉及到的线性尺寸（约为体积变化的三分之一）可能被压缩永久变形抵消一部分。

如果持续浸泡在液体中，则膨胀将随着浸泡时间而增加，直到某一点，液体不再被吸收，而体积膨胀保持一个恒定值。这也与温度有关，例子见图3。温度越高，作为一般准则，给定材料吸收的液体量也越大，就是说吸收该液体越快，最终（恒定）体积膨胀越大。

如果所涉及的液体不是挥发性的，则膨胀将永久保持。如果液体是挥发性的，浸泡

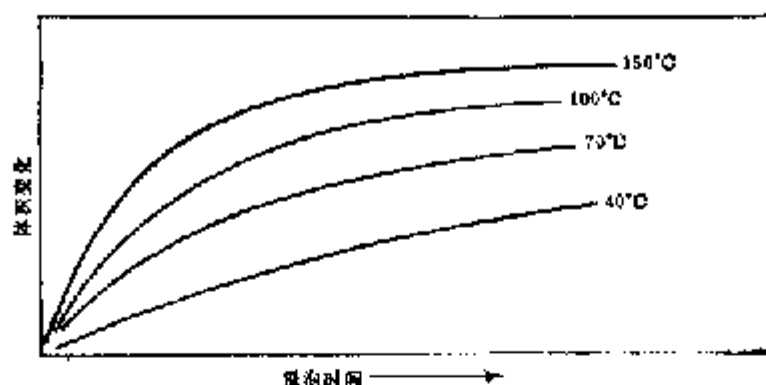


图3 浸胀随温度的变化

不是持续的或仅有一部分与液体接触, 则所吸收的液体量, 从而浸胀量可能变化, 例如密封可能浸胀和收缩。如果取出或使它干燥, 则也将收缩, 它可能或可能不严重。这个密封在重新浸胀时可能不完全复原, 它也可能很满意地适应浸胀循环。不过, 使用中的任何收缩都非常容易导致泄漏, 如果在动密封的情况下, 超过 3~4% 就会泄漏。

常见的收缩原因是干燥, 密封与液体连续接触时很少出现这种情况。然而, 在某些情况下, 液体可能溶出橡胶中的一部分增塑剂, 可能改变成分, 甚至使密封在工作条件下, 不但不膨胀, 反而收缩。可能引起密封松脱和泄漏。

径胀 (由于液体吸收) 一般有与加增塑剂相同的效果, 使密封更柔顺, 硬度降低。收缩通常使硬度增加, 柔顺性降低。在这两种情况下的变化, 可以根据体积的变化来估计。浸胀还倾向于降低橡胶的抗张强度, 见图 4。不过, 重要的是与处于工作条件下的密封有关的实际条件。以材料在液体里的浸泡为基础的简单试验是唯一的指南。浸胀还可能随几何形状而变化。例如图 5 表示浸胀随密封材料厚度的典型变化。

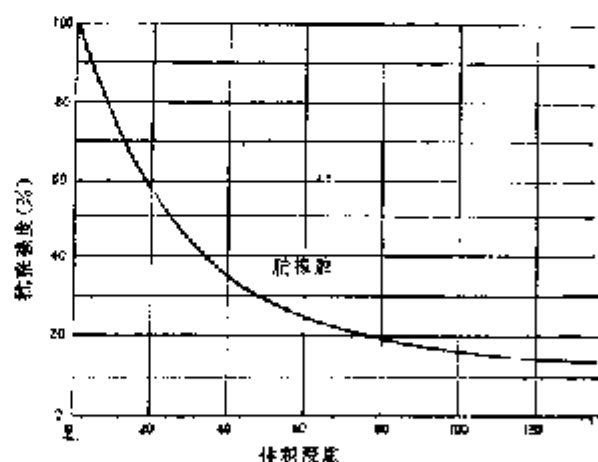


图4

浸胀试验如果不持续相当长的时间, 以保证达到稳定条件, 则可能没有实际意义。为了逼真, 最好用典型的密封件而不用材料试片进行, 因为断面面积可能影响浸胀速度, 不过, 如果试验是浸泡足够长的时间, 以保证完全稳定, 则并不影响膨胀量。容易遇到的主要实际变化是液体量, 当然考虑到浸泡把整个表面都暴露于液体。在实际密封装置中, 密封具有一侧似乎连续接触液体, 甚至这一侧接触液体也可能是不连续的。

就液体来说, 可以根据油的苯胺点和密封材料, 就标准试验液体而言的已知性能来选择材料。苯胺点基本上是燃料芳族含量的度量, 它是影响油与橡胶的相容性的一个重要因素。图 6 说明不同橡胶组中的这种影响。

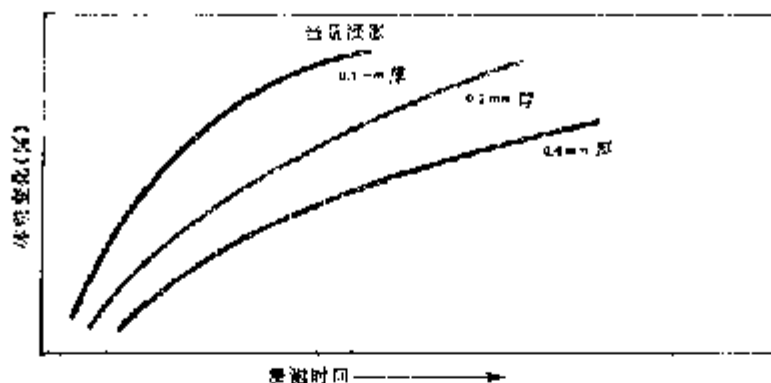


图 5 浸胀随厚度的变化

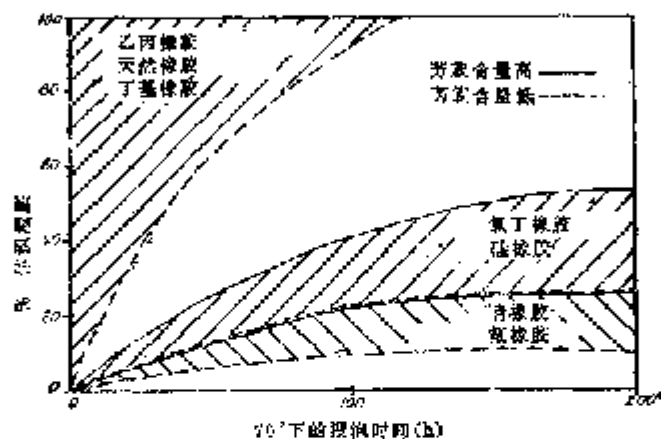


图 6

具有相同苯胺点的油，通常对橡胶有类似的影响，芳族含量越高，则产生浸胀的倾向越大。因此，可以根据具有已知的不同芳族含量的若干种试验液体，来估计橡胶与油的相容性。具有同样芳族含量（相同的或规定的苯胺点）的任何其他油品的特性，与对应的试验液体相同。这样做的独特优点在于，油的苯胺点可以容易而迅速地确定。

回弹力

回弹力或弹性是橡胶在压缩载荷去除后恢复原始形状的能力的度量。理想上密封件应该有良好的弹性，它可以通过配料来加以控制。然而，许多橡胶的特色是弹性又能随着温度发生很大变化，具有严格确定的最小值，它通常出现于 $-20 \sim +20^{\circ}\text{C}$ 的范围之内。某些橡胶，如硅橡胶，在很宽的温度范围内，基本上保持恒定的弹性（图 7）。

对于回弹力很重要的动密封，希望低等级，这可以表达为压缩永久变形或拉伸永久变形，二者分别是在压缩或拉伸载荷下被压缩或拉伸后原始尺寸的永久性变化的度量。

压缩永久变形的意义在于，由于大多数密封受压缩载荷，将发生某些永久性的尺寸减少或收缩，按该材料的永久变形特性的数量。然而，这可能被诸如与液体接触的密封的浸胀等其他因素所抵消；或者可能是密封结构所允许的。压缩永久变形的数值不一定

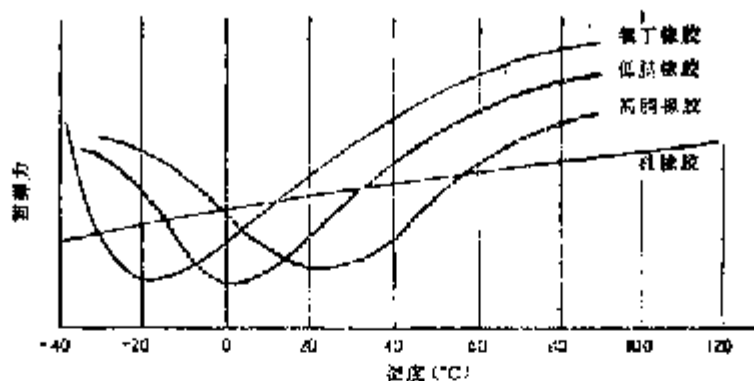


图7 典型橡胶的弹性

特别重要。

过大的拉伸永久变形，可能在密封圈被拉伸越过活塞杆安装到位后造成密封圈松配合，因为密封圈不能恢复其原始内径，而沟槽是与原始内径匹配的。这大概会被完整装配时的压缩永久变形所抵消，因此拉伸永久变形通常被忽略不计。后者在塑料中可能是重要的，塑料的伸长率比较小，恢复比较慢，尤其在过度拉伸时更是如此。不过，橡胶和塑料二者如果受拉或有残余拉应力时，随着温度升高将要收缩。

弹性模量

伸长率是橡胶刚性的一个倒数指标。它定义为长度增加量，用原始长度的百分数表示，在极限情况下，它是发生裂纹时的伸长率。伸长率也用来给橡胶下定义，即一种能伸长100%的材料。允许伸长率（即在不发生永久性损坏或永久变形的前提下，可以施加的“拉伸”百分数）决定着密封圈安装到位时可以拉伸的量。

模量一词也与伸长率有关，而且一般指（拉伸）模量，即在预定的伸长率（例如100%的伸长率）下材料产生的应力。可用作质量控制的尺度。模量还可以表示规定的剪切和压缩变形下的应力（分别称为剪切模量和压缩模量）。材料模量的变化表明材料特性变化，例如模量减小表明产品分解。

作为一般的安全准则，O形圈和类似的橡胶密封不应被永久拉伸超过5%，否则产生的残余应力可能引起早期变质，而且温度升高还会加速变质。这一点特别适用于一般比较常用的橡胶，如腈橡胶、丁苯橡胶和天然橡胶。某些橡胶（如乙丙橡胶）能适应比较大的永久拉伸而没有不良后果。

柔顺性

初始柔顺性主要取决于所用的基本橡胶和硬度。在使用中，挠曲性能可能被密封的工作温度、与密封接触的液体的存在及其他因素大大改变。因此，实际挠曲性能只能凭经验或在实际使用条件下的测定来估计。这一点也适用于挠曲裂纹损坏，但此时工作温度对具体的密封来说，可能是主要因素，并导致低温下的结晶和高温下的脆裂。

一般来说，当温度下降到低于 -15°C 至 -50°C 时，橡胶特性首先从“橡胶型”变成“皮革型”，而在更低的温度下丧失所有柔顺性，并变脆（图8），发生柔顺性明显丧失

的临界低温,随橡胶种类和配方的不同而有很大变化,例子见图9。

橡胶与织物的混合物在制造密封时广泛采用,以保证强度和刚度。这很象混凝土中的钢筋。它们限制橡胶的拉伸,但基本的柔顺性并不丧失。通过仔细选择纱线和织法,可以在织物中建立可控的伸长率,以便赋予橡胶织物混合物以规定的伸长度。挂胶织物广泛地用于密封,以改善模量和刚度,并提高强度、耐磨性和撕裂强度。根据温度和使用条件的不同而采用各种织物。在100℃以下,无论天然纤维,还是合成纤维都没有明显的降解。虽然许多纤维可能受暴露于氧气或水的影响,但它们埋在橡胶混合物里的事实却保护它们免遭分解之害。不过,超过100℃时,必须更精心地选择所用的橡胶混合物和纤维,因为二者(除玻璃纤维和石棉纤维外)都因温度升高而受到更大的影响。

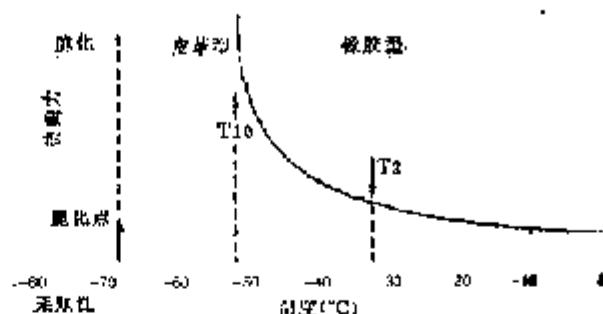


图8 橡胶的低温特性

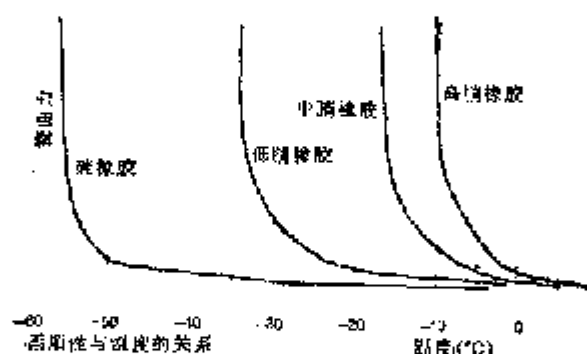


图9 橡胶的低温柔顺性

硬度

一般来说,硬度低的橡胶(即较软的材料)是比较柔顺的,因此密封件比较适应较粗糙的表面,并具有较好的顺应性,但它们对磨损和挤出比较敏感。

硬度降低还可减小对密封的起动摩擦力,但是运动摩擦力却随硬度的提高而减小(只要通过减小压缩量来降低单位表面载荷)。因此,基本上较高的硬度值,将在任何动密封中给出较小的运动摩擦力,虽然特别取决于为补偿而对压缩量所作的调整。保持相同的压缩量而提高橡胶的硬度,可能同时加大起动摩擦力和运动摩擦力。

任何基础橡胶形式的硬度,可以通过配料来改变。用于密封材料的硬度值,可能从软至40~50度到具有90~95度硬度的非常硬的混合物,见表I。因此,硬度在用于特定场合的橡胶配方中是个控制因素。对于大多数应用来说,70~80度的硬度值是正常选择的。

表 I 橡胶的硬度范围和使用温度

橡 胶	硬度范围 ^① 度	使用温度范围			
		最 低		最 高 ^②	
		°C	°F	°C	°F
天然橡胶	30~90	-50	-58	70	160
丁基橡胶	45~85	-40	-40	80	175
氯丁橡胶	40~90	-40	-40	80	175
腈橡胶 (低/中)	40~90	-60	-70	135	275
硅橡胶 (中/高)	50~95	-40	-40	120	250
聚氨酯橡胶	50~85	-40	-40	100	212
氟橡胶	55~90	-50	-4	250	480
氟硅橡胶	50~85	-60	-78	200	392
硅橡胶	40~80	-20	-94	250	480
乙丙橡胶	45~85	-50	-58	150	300

① 玻璃的硬度相当于100°。

② 连续暴露的保守温度。

橡胶硬度的度量标准有 IRHD (国际橡胶硬度标准), BS^③ 度, 及肖氏硬度 A。前两种是一样的。不过, 肖氏硬度 (肖氏 A) 可以按立即读数或按30秒读数度量。在第一种情况下所得到的值约比 IRHD 高 5°。立即读数肖氏 A 硬度值在许多美国规范中使用。肖氏硬度计硬度 (目前已经废弃的一种度量) 除了对比 30 度还软的橡胶之外, 实际上是一样的。英国标准硬度 BD903 第 A7 部分, 1957 已被采纳为 ISO^④ 标准, 并且与美国 ASTM^⑤ /D/1415-56T 和德国 DIN^⑥ 53519 标准一致。

实践中硬度值可以测到 $\pm 1^\circ$, 但标注硬度值时往往按最接近的 5°。肖氏硬度计硬度测量通常允许 $\pm 5^\circ$ 的公差, 因此, 肖氏硬度值通常标注要最接近的 10°。所以, 对这些尺度的任何一种来说, 硬度差几度实际上无关紧要。

只有硬度值不是一个可靠的, 甚至不是一个准确的指标, 这主要是因为很难准确地测量一个密封件试样的实际硬度。

硬度 (从而摩擦) 也受浸胀的影响。浸胀倾向于降低硬度, 与此同时, 将增加压缩量。同理, 硬度受温度影响, 随着温度的升高而降低, 反之亦然。与此同时, 压缩量被密封的膨胀或收缩所改变 (记住, 这种膨胀或收缩将大于周围的金属)。

抗张强度和直线抗力

抗张强度是材料机械强度的度量, 在橡胶的情况下, 可作为对应力下变质 (即磨损和裂纹) 的抗力的一般指标。其他因素, 如密封与之磨合的表面的光洁度及工作温度, 在实践中可能更重要。

橡胶的抗张强度一般为低等到中等, 聚氨酯橡胶是个例外, 见图10。抗张强度还随

③ 英国标准。

④ 国际标准化组织。

⑤ 美国材料试验学会。

⑥ 德国工业标准 (西德)。

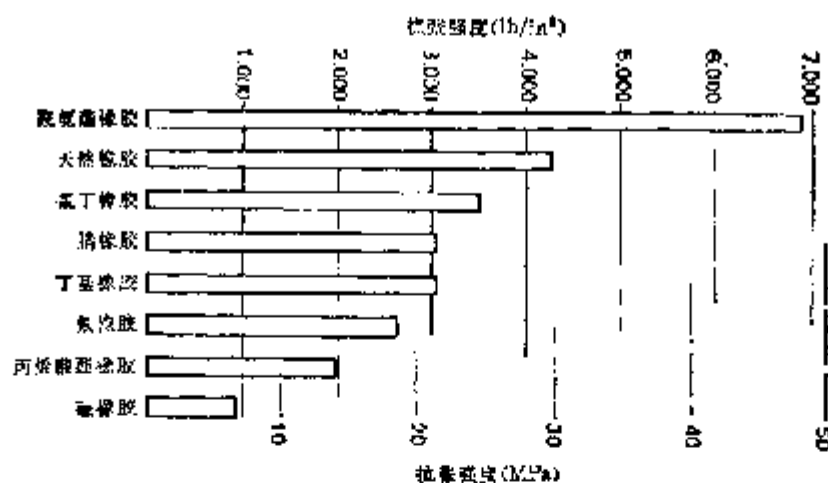


图10 橡胶在20°C下的抗张强度

着温度升高而退化。抗张强度的实际值在密封中通常并不特别重要，只是抗张强度低于7MPa (1000lb/in²) 的材料，可能不适用于动密封。

耐磨性

对于动密封来说，耐磨性是个重要的参数，但除了用纯经验主义的方法而外很难确定。经验表明，某些材料（如天然橡胶、聚氨酯橡胶和皮革）具有杰出的耐磨性，而其他材料（如硅橡胶）在这方面可能有很差的特性。一般对于橡胶来说，耐磨性通常随具体的基础橡胶的硬度的提高而改善，还可以通过配料进一步提高。良好的耐磨性往往还与高的抗张强度有关，反之亦然。参见表Ⅱ。

表Ⅱ 橡胶的机械与电学性质

	硅橡胶	丁基橡胶	丁二烯橡胶	丁基橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶	氯丁橡胶
不渗透性	G	F	F	R	G	G	F	G	F	F	E	F	P	G
耐磨性	G	G	G	G	FG	FG	GE	F	G	F	G	G	E	E
撕裂强度	F	F	GE	G	C	C	GE	FC	GE	GE	FC	P	GE	P
压缩性	G	G	E	FG	G	C	GE	G	E	E	G	F	E	E
永久变形性	GE	G	G	FC	F	F	GE	GE	G	G	F	F	GE	P
动态性能	GE	G	F	F	F	F	GE	GF	F	F	F	F	P	P
抗张强度	GE	GE	F	G	G	F	GE	GE	F	F	F	F	P	-
电学性质	F	E	E	G	F	F	G	F	E	E	F	F	G	E
耐油性	P	P	P	P	G	C	F	F	P	P	P	P	F	G

代号: P—劣 F—中 G—良 E—优

撕裂强度

一般来说, 橡胶的撕裂强度倾向于中值至低值, 夹布材料或皮革倾向于高值。撕裂强度越高, 则密封在偶而被擦伤或划伤 (象在装配时可能发生的那样) 时失效的可能性越小, 撕裂强度低的密封材料, 在搬运和装配时要格外小心, 以避免产生这种损坏的一切可能性。

渗透性

渗透性在液体密封中通常不是一个重要因素, 但当密封气体时可能是重要的, 而对于真空用途, 则是关键性的。渗透性随橡胶的不同 (表 IV A 和 IV B)、个别橡胶的硬度的不同、以及温度的不同而显著变化。

在真空应用场合, 在低压下吸附或吸收的气体的析出, 橡胶的易挥发成分的气化或升华, 还可能引起其他故障。这个问题要求在设备设计的早期阶段, 即与密封件制造商密切合作。

表 IV A 橡胶的空气渗透性

橡 胶	$\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2/\text{cm} \times 10^{-8}$			
	24°C (75°F)	80°C (175°F)	120°C (250°F)	175°C (350°F)
丁基橡胶	0.2	3.2	13	—
低硫橡胶	1.3	3.0	22	—
高硫橡胶	可忽略不计	4.1	15	—
丁苯橡胶	2.5	29	47	—
天然橡胶	4.9	44	71	—
氯丁橡胶	1.0	9.8	26	—
丙烯酸酯橡胶	1.9	16	48	94
聚硫橡胶	0.6	9.7	31	—
氟硅橡胶	—	128	—	—
硅橡胶	115	359	—	690
氯橡胶 A	—	8.8	36	146

表 IV B 橡胶的气体渗透性

橡 胶	$\text{cm}^3/\text{s}/\text{cm}^2/\text{cm} \times 10^{-8}$				
	氧 气	氮 气	二氧化碳	氢 气	甲 烷
丁基橡胶	0.3~1.0	0.1~3.35	0.03~0.10	0.03~0.10	0.01~0.38
丁苯橡胶	13.0~34.5	4.8~14.5	91.9~185.0	39.5~74.0	16.9~43.0
氯丁橡胶	3.0~10.0	0.9~3.55	19.3~55.5	10.9~28.5	2.5~9.8
聚橡胶	2.2~10.5	0.9~3.7	23.9~66.0	14.6~31.5	2.4~10.1
天然橡胶	18.0~29.5	6.8~22.5	132.0~220.0	39.0~97.0	22.0~64.0

注: 数据分别指25°C和80°C F的渗透性。

工作温度

密封的工作温度是个重要因素，因为此温度和正常环境温度之间的任何明显差别，通常都改变材料的特性。尤其对橡胶来说，更是如此。在低温下出现的变化与在高温下产生的变化是大不相同的。

随着温度的降低，任何橡胶都倾向于逐渐变硬，同时丧失柔顺性，变形恢复减慢。硬度-温度曲线本身，并不提供任何特别有用的情报，因为硬度可能达到名义值或实际最大值，而材料却仍保持良好的柔顺性。柔顺性或扭转刚度的直接测定更有意义，如果针对时间画成曲线，则将表示出一个带特征转折的曲线，例如图8中的T₂点往前。由此可以确定柔顺性开始明显丧失的凝固点，超过凝固点后，随着温度的进一步降低，刚度非常快地增加，直到达到脆化点，即材料变脆，一弯即断。

出于设计目的，凝固点可确定为初始（或20°C）刚度加倍时的温度（乘2凝固点）。相当于初始刚度增加到10倍的凝固点（乘10凝固点）也可以给出，作为材料变得完全不能使用，并迅速接近脆化条件的温度的就近的指标。乘2凝固点代表工作中的最低安全极限温度。

对于某些橡胶，温度降低除了引起通常的刚性加大外，还引起明显的结晶作用。这可能很缓慢，甚至是局部的，在密封上形成一个“平斑”。在这种情况下，材料可能仍然很好用，因为脆化点还很远。在这种情况下，如果找不到现成的或经济的代用橡胶，则可由弹簧加载来提供必要的回弹力。

对于任何基础橡胶来说，通过配料可以在一定程度上改变低温特性，例如，硬度的提高通常会降低脆化点，但一般使材料柔顺性变小，而化学稳定性的提高往往会提高脆化点。

还应强调指出，仅在低温下对材料进行实验室试验，不一定能代表作为密封使用时的材料性能。这主要是由于与密封接触的液体可能影响增塑度，例如液体可能被吸收而提高有效增塑度，也可能把原始增塑剂溶出一部分。控制这种效应基本上是靠配料，但与液体的相容性可能是前提要求，在这种情况下，可能必须损失某些低温性能。

在温度升高时，所有的橡胶都失去强度，从而倾向于变得更软和更柔顺。在温度降低时，通常能完全恢复，但如果温度足够高，则某些变化可能是永久性的。另外，老化特性被热量加速，通常表现为随着弹性的丧失，硬度和模量逐渐加大。

当密封的工作温度与正常室温相差很大时，可能必须考虑的另一重要效应是，

表 Y 橡胶的膨胀系数

橡 胶	膨胀系数 $\text{cm/cm}/^{\circ}\text{C}$	膨胀系数（随配料不同稍有变化） $\text{in/in}/^{\circ}\text{F}$
天然橡胶	$24.4 \sim 25.8 \times 10^{-7}$	$80 \sim 93 \times 10^{-6}$
丁基橡胶	15.0×10^{-7}	48×10^{-6}
氯丁橡胶	13.7×10^{-7}	76×10^{-6}
丙烯酸酯	12.2×10^{-7}	62×10^{-6}
氟橡胶	16.2×10^{-7}	90×10^{-6}
硅橡胶	18.5×10^{-7}	103×10^{-6}

① 为便于对比 铜 8.7×10^{-6} 不锈钢 9.6×10^{-6} 铝 13×10^{-6}

密封件与其周围零件的相对热膨胀或收缩, 热膨胀系数比金属高得多 (约为钢的10倍), 见表7。

这在高温下通常最有意义, 这时密封件的热膨胀明显大于周围零件的热膨胀, 而且实际的体积膨胀, 还可能由于接触液体的浸胀而进一步增加。

压缩量

许多简单密封件 (例如O形圈) 特别依赖于压缩量来实现密封, 压缩量是靠沟槽深度与间隙的尺寸匹配来保证的。应该避免压缩量过大, 因为这会使材料应力过高, 造成早期老化, 并在动密封的场合, 导致不必要的高摩擦。然而, 在静密封中, 为了提高额定压力, 可能故意采用大压缩量。

橡胶性质汇总表

	对氧化剂 和溶剂的 抵抗力	对热 和氧化 介质的 抵抗力	热 性质	低 温 性 质	压 缩 回 弹 性	机 械 强 度	耐 磨 力	耐 老 化 性	耐 腐 蚀 性	成 本 (元/吨)
氯丁橡胶	E	P	E	M	R	C	M	VG	VG	3547
聚硫橡胶	E	G	M	G	P	P	G	E	E	380
高顺橡胶	E	P	G	M	C	G	M	M	VG	110
氯醇橡胶	E	P	G	C	VG	G	VG	E	C	360
氯醚橡胶	VG	P	E	E	R	P	G	E	P	3000
中顺橡胶	VG	P	G	G	C	G	G	M	G	100
丙烯酸酯橡胶	VG	P	VG	M	G	G	M	VG	M	360
氟硅橡胶	G	P	G	VG	VG	G	G	M	M	90
聚醚醚橡胶	G	P	P	VG	M	E	VG	VG	VG	230
硅橡胶	G	C	E	E	E	M	VG	E	P	690
氟丁橡胶	M	V	G	G	G	G	VG	VG	G	130
氯磺化聚乙烯橡胶	M	VG	VG	G	M	G	M	E	VG	120
聚丁二烯橡胶	P	VG	G	VG	G	VG	E	M	G	40
丁苯橡胶	P	VG	G	VG	G	G	G	M	N	40
丁基橡胶	P	E	G	VG	G	G	P	VG	E	60
乙丙橡胶	P	E	VG	VG	VG	G	G	E	G	60

代号: E—优 G—良 VG—甚良 M—中等 P—差

不引起密封性质恶化所能引起的最大压缩量, 在很大程度上取决于所用的橡胶。在腈橡胶的情况下, 一般推荐30%的压缩量。对于硅橡胶、氟橡胶和乙丙橡胶等, 可能更大些。

模压收缩

用作密封的所有橡胶在模压时都发生一定数量的收缩。这通常影响不大, 因为在生产标准尺寸密封圈 (如O形圈) 时, 模具尺寸通常已作了调整以补偿这种收缩。同样的模具用于其他橡胶时, 模压收缩可能超出模具的余量。例如, 用同样的模具时, 硅橡胶的收缩量比腈橡胶和丁基橡胶的收缩量大得可以测出。在这种情况下, 为了保持严格的公差, 可能需要使用若干个模具。

ASTM D 2000 宽行编号

ASTM D 2000宽行编号是按下列代号规定橡胶混合物的主要材料和工程参数的一种方法:

7 表示性质要求复杂程度的级号。

B 工作温度规格。

G 可接受的体积浸胀的规格。

以 10 为单位的肖氏 A 硬度 (例如 9 指 90 度)

以 100lb/in^2 为单位的抗张强度 (例如 15 指 1500lb/in^2)

A 耐热性

压缩永久变形 (100°C 下 22 h, 按 ASTM D 395)。

耐油性 (ASTM 3 号油, 100°C 下 70 h, 按 ASTM D 471)。

耐水性 (100°C 下 70 h, 按 ASTM C 471)

耐低温性 (按 ASTM D 2137)。

作为例子, 一个完整的宽行编号为:

7BG 915 A14 B14 E14 F84 J.14 F16。

参见密封选择指南。

橡胶材料

大多数密封件用合成橡胶混合物制造, 采用橡胶的主要原因是橡胶的分子形状所造成的固有的弹性。此外, 橡胶混合物还通过配料的不同, 提供极其多样的各种性质, 供人选择。于是密封件制造商, 可以为适应具体的应用场合, 专门设计橡胶混合物, 而密封件中所用的大多数塑料混合物, 通常是从很大的化工产品制造商提供的标准材料系列中选出的。

橡胶混合物以聚合物生料为基础, 其中含有各种填充剂和化学药剂, 提供加工、硫化 and 所需要的物理性质。这导致发展专用于密封件的通用橡胶种类 (例如硅橡胶就是用氧制造密封件的最流行的合成橡胶); 以及用于特殊用途的专用橡胶。因此, 大多数有声誉的橡胶密封件制造商, 发展了久经考验的混合物标准系列, 满足大多数橡胶用途, 此

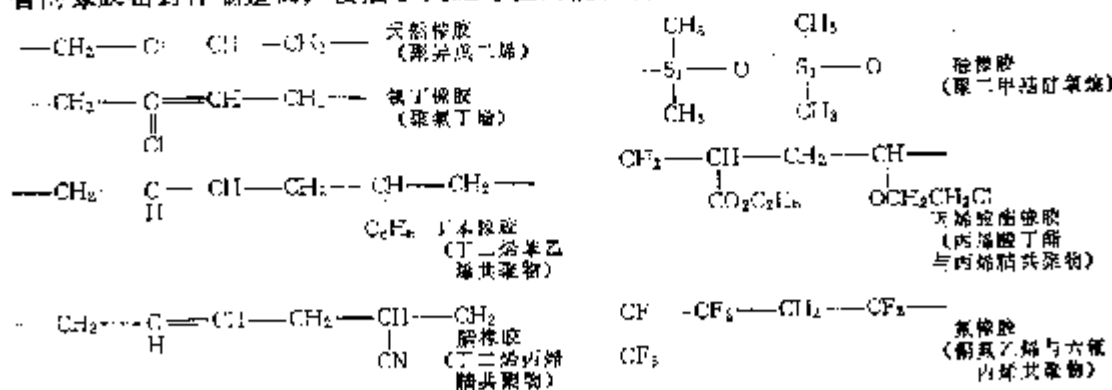


图 1 不同橡胶的分子结构

外,也生产为满足特殊条件设计的专用混合物。不同橡胶的分子链结构的例子示于图1。

天然橡胶

缩写: NR

工作温度范围: $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$

物理特性:

强度: 高 2500~3500 [lb·ft/in²]

回弹力: 高 60~80%

耐磨性: 良 80mm³

耐老化耐气候性: 差~中

耐化学介质性:

耐非矿物油类汽车刹车液

不耐矿物油、脂或烃类燃料

天然橡胶的基本化学式为 C_5H_8 。

未硫化的橡胶在工业和商业用途中用得有限,因为它受环境条件的不良影响:例如在热天变软变粘,在冷天变硬(图2)。

橡胶的硫化是在橡胶中加入硫并加热的过程,其效果是在许多双键点($\text{C}=\text{C}$)把聚合物分子链连接起来(图3)。

硫化橡胶(图4)可以很容易地拉伸(象未硫化的橡胶一样),但当拉力去除后,它将恢复,几乎恢复到其原始形状。

典型的橡胶配合如下:

橡胶	100
硫	2
促进剂	1.5
氧化锌	5
硬脂酸	1.5
炭黑	50
增塑剂	10
防氧化剂	1
硫化 $10 \sim 150^{\circ}\text{C}$	

天然橡胶在密封中的应用受到它的耐矿物油性较差的限制。天然橡胶一般有很好的低温特性,最初正是这个因素,促使在必须低温工作的系统中使用蓖麻油基液压油,当



图2 未硫化的橡胶



图3 说明硫化环的二维图形,其中橡胶分子链被硫桥(S)“焊接”起来



图4 硫化橡胶

时天然橡胶密封可以用，但是现在某些合成橡胶提供了类似的低温性能。天然橡胶的成本也是有利的，明显地低于除丁基橡胶和丁苯橡胶以外的所有合成橡胶。

天然橡胶可以配料成满足各种条件，同时具有较高的回弹力和强度，一般在不涉及矿物油介质的场合是很值得考虑的。柔顺性一直保持到 -55°C ，在这方面可以与它相比的只有贵得多也弱得多的硅橡胶。

丁苯橡胶

俗名：Buna S

缩写：SBR（以前是 GRS）

工作温度范围： $-50^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$

物理特性：

强度：中 $1500 \sim 2500 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力：中 $40 \sim 60\%$

耐磨性：中 110 mm^3

耐老化耐天候性：中

耐化学介质性：

耐非矿物油类汽车刹车油

不耐矿物油、脂或烃类燃料

丁苯橡胶是在第二次世界大战期间作为天然橡胶的代用品而制造的，一般来说性质较差，虽然其耐磨性还可以。它可以看成是天然橡胶的一种直接代用品，例如在蓖麻油基液压油中使用，而这大概是它作为密封的唯一应用。

丁二烯橡胶

聚丁二烯或丁二烯橡胶一般叫 BR，它也是天然橡胶的直接代用品，具有类似的性质，但一般具有较差的性质。低温性能比丁苯橡胶稍好些，但在密封中的应用十分有限。

丁二烯丙烯腈橡胶

俗名：腈橡胶，Buna N（美国）

缩写：NBR

工作温度范围： $-40^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$ （典型配方）

$-60^{\circ}\text{C} \sim +135^{\circ}\text{C}$ （特殊配方橡胶）

物理特性：

强度：中 $1500 \sim 2500 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力：中 $40 \sim 60\%$

耐磨性：中

耐老化耐天候性：中

耐化学介质性：

耐矿物油、油脂、水和许多化学药剂，烃类燃料

不耐非矿物油类汽车刹车液

注：提高丙烯腈含量，可以改善耐矿物油性，但对耐低温性有不利影响。

低腈 = 18~24% 丙烯腈

中腈 = 28~33% 丙烯腈

高腈 = 38~40% 丙烯腈

腈橡胶构成一般密封用的最重要的橡胶组。化学上腈橡胶是丁二烯与丙烯腈的共聚物，丙烯腈含量一般在18%到48%之间变化。名义上称为“低”腈、“中”腈和“高”腈。对石油基油和烃类的耐受性随腈含量的提高而提高，与此同时，低温柔顺性却随着腈含量的提高而下降。为了用腈橡胶得到良好的低温特性，通常要损失某些高温耐燃料性和耐油性。

腈橡胶有良好的物理特性和比大多数橡胶都好些的低温流动性、撕裂强度和耐磨性。它特别不耐臭氧、气候和阳光，但这方面的性质可以通过配料来改善。由于它易受臭氧的侵蚀，所以腈橡胶密封件不得保存在任何可能的臭氧源附近，例如电机或电气设备附近，或直接日照中。

丁基橡胶

丁基橡胶是异丁烯和异戊二烯的共聚物，产生一组特别耐水（比氯丁橡胶和腈橡胶好）和其他介质的橡胶。另一个有利特性是丁基橡胶很耐气体渗透，使它在真空系统的密封中很吸引人。

丁基橡胶还耐植物油，但不适用于矿物油和芳族溶剂。一直到不久前它都是用于磷酸酯类液压油的首先选择的密封材料，但现在它已受到竞争，并在这种应用中被乙丙橡胶大量取代。

接基丁腈橡胶

缩写：XNBR

工作温度范围：-30°C~+120°C

物理特性：

强度：高 2500~2800 lb·ft/in²

回弹力：中 40~60%

耐磨性：高 90 mm³

耐老化耐天候性：中

耐化学介质性：

耐矿物油、脂、水和许多化学药剂

不耐非矿物油类汽车刹车液

氯磺化聚乙烯橡胶

也叫 CSM（氯磺化单体），这种橡胶的机械性质对密封应用来说偏低。不过，该材料有良好的耐酸性和耐热性，并可用于这种场合。它还是完全耐臭氧的。

乙丙橡胶

缩写: EP, EPM, EPDM^①

工作温度范围: $-50^{\circ}\text{C} \sim +150^{\circ}\text{C}$

物理特性:

强度: 中 $1500 \sim 2500 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力: 中 40~60%

耐磨性: 110mm³

耐老化耐气候性: 良

耐化学介质性:

耐非矿物油类汽车刹车液

耐“斯凯居罗尔”型磷酸酯液

耐水、水蒸汽和许多化学药剂

不耐矿物油、脂和烃类燃料

聚氯丁烯

俗名: 氯丁橡胶

缩写: CR

工作温度范围: $-40^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$

物理特性:

强度: 中 $1500 \sim 2500 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力: 中 40~60%

耐磨性: 中 110mm³

耐老化耐气候性: 甚良

耐化学介质性:

耐矿物油脂性中等

不耐非矿物油类汽车刹车液

氯丁橡胶是最好的通用合成橡胶,但是目前在密封中的应用比较有限。其主要优点是它的耐气候老化性良好。它的高温性能也比天然橡胶好,但在低温下易于硬化和刚性化,而且如果有应力,则在低温下还会结晶。对于与致冷剂接触的用途它是良好的,它也可以用于酰胺。然而,它作为密封材料,却用得不广泛,但对于防尘圈,它可能是有利的。

丙烯酸酯橡胶

丙烯酸酯橡胶 (ACM) 是丙烯酸酯的聚合产物,实际上它形成性能介于腈橡胶和氟橡胶之间的一组橡胶。从密封观点来看,最吸引人的特点是,它在高达 175°C 的温度下,对矿物油、齿轮油和脂仍有良好的耐受性。良好的耐老化性和耐挠曲性也促使它用于转

① 普通级为EP橡胶,在美国也叫EPM。EPDM是用了一定场合的性能更高的另一种聚合物。

轴密封。低温特性不突出，机械强度和耐水性一般较差。

聚硫橡胶

这种橡胶有优秀的耐燃料和溶剂、耐氧、耐臭氧和老化性。不过其机械性质和耐热性比较差，所以这种橡胶作为橡胶材料用得并不广泛，除非找不到提供耐化学药剂性的适当代用品。

聚氨基甲酸酯

缩写：PV

工作温度范围：-40°C ~ +100°C

物理特性：

强度：甚高 超过 3500lb·ft/in²

回弹力：良 60~80%

耐磨性：甚高 40mm³

耐老化耐天候性：中

耐化学介质性：

耐矿物油、脂

不耐非矿物油类汽车刹车液、水和酸

聚氨酯是较新发展的橡胶之一，它有良好的强度、撕裂强度和耐磨性（比其他所有橡胶都好），并在低温下保持良好的柔顺性。对石油制品、烃类、臭氧和气候的耐受性良好。与酸性或碱性水溶液、氯化烃、酯类、热水、水蒸气或乙二醇接触时性能一般不能令人满意。压缩和永久变形特性，也倾向于随着温度的升高而迅速下降。

因此聚氨酯橡胶的引人之处在于其机械强度，而不在于“化学”或“温度”性质。如果相容，它可以有利地用于磨粒性环境，并且特别适合做防尘圈。

氟橡胶

俗名：Viton，碳氟化合物，Fluorobon，Technoflon，Fluorel

缩写：FKM

工作温度范围：-20°C ~ +250°C

物理特性：

强度：中 1500~2500lb·ft/in²

回弹力：劣 20~40%

耐磨性：劣 150mm³

耐老化耐天候性：优

耐化学介质性：

极耐矿物油和烃类燃料

耐许多化学药剂，除酯类、醇类和酸类外

硅橡胶

缩写: Si

工作温度范围: $-70^{\circ}\text{C} \sim +250^{\circ}\text{C}$

物理特性:

强度: 劣 $500 \sim 1000 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力: 中 $40 \sim 60\%$

耐磨性: 劣 $\pm 200 \text{ mm}^3$

耐老化耐气候性: 优

耐化学介质性:

耐矿物油、脂

不耐水、酸类和非矿物油类汽车刹车液

硅橡胶基本上有较差的强度、撕裂强度和耐磨性, 虽然机械性能可通过特殊配料来提高。对碱类的忍耐力, 一般来说是良好的; 化学性质还可以通过配料来提高, 以便提供更好的耐油性和耐燃料性。然而, 一般来说, 硅橡胶不宜用于烃类, 如汽油和煤油, 较轻的矿物油, 或压力超过 $50 \text{ lb}/\text{in}^2$ 的水蒸气, 否则可能产生明显的膨胀和软化。

这种橡胶的主要优点在于, 它在极低的温度下能保持其柔顺性, 并可承受高温下连续加热而不硬化, 使它既适用于高温, 又适用于低温密封, 所跨温度范围比其他橡胶都宽。另一种用途是用于旋转密封, 其中由于摩擦发热使工作温度高于普通橡胶所能允许的温度, 这而又是硅橡胶可能提供一种解决办法。不过, 硅橡胶的成本比大多数其他橡胶高得多。

氟硅橡胶

缩写: FSi

工作温度范围: $-60^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$

物理特性:

强度: 劣 $500 \sim 700 \text{ lb} \cdot \text{ft}/\text{in}^2$

回弹力: 中 $40 \sim 60\%$

耐磨性: 劣 $\pm 200 \text{ mm}^3$

耐老化耐气候性: 优

典型工作值取决于混合物配方

耐化学介质性:

良好的耐矿物油、脂性和耐烃类燃料性

氟硅橡胶的工作特性一般与普通硅橡胶类似, 但工作温度范围稍窄。所提供的主要优点在于, 氟硅橡胶可以有相当于或接近于天然橡胶的耐油性。因此, 它可以用于超过天然橡胶的温度范围, 而普通硅橡胶又没有必要的油品相容性的场合。

参见密封选择指南。

塑性聚合物

非弹性聚合物材料可以用作橡胶密封的支撑件，但有时它本身也用作密封件。聚四氟乙烯是个突出的例子，它几乎完全耐化学侵蚀，有很宽的工作温度范围，在金属上磨合时的摩擦系数与冰对冰的摩擦系数差不多。不过它的机械强度在没有填充剂或加强时是较低的。

只要所涉及的基本局限性能够克服，这些性质对许多密封应用来说是接近理想的。因此，聚四氟乙烯可以用作制好的密封件或填料断面的低摩擦浸渍剂，制好的断面本身提供必要的机械强度。在另一些应用场合里，它可能是唯一的材料或者最为适用的材料，因为它能耐住所输送液体的腐蚀。在这种情况下，可以用该材料模压出标准形状的密封圈，结构上可能有某些改动，以适用较差的“弹性”，或基础材料本身可以稍加改动，以造成可接受的弹性。后者是很有限的，模压聚四氟乙烯环通常可以指望的最大“伸长率”为10%左右。这在装配中可能成问题，例如把环足够拉伸，以便在其沟槽中定位。伸长后恢复得也比较慢，装配好的圈可能要放置一段时间，才能恢复原始尺寸，但这个恢复过程可通过温和加热而加快。正因如此，聚四氟乙烯圈通常制成开口的。

除了复合密封结构（和锁环）外，聚四氟乙烯在成形密封方面最广泛的应用是O形圈，制成各种标准尺寸。聚四氟乙烯通常配料或配给原始内径的10%以上伸长率的形式，这在直径较小的规格里，可能要求开口装配。

聚四氟乙烯O形圈通常可以装入与橡胶O形圈相同的沟槽尺寸中，不过在特殊应用场合里，可能希望或必须稍微减少点压缩量，就是说，稍微加大沟槽深度。成本比橡胶O形圈高，但当涉及到几种不同用途时，可以提供一个独特的优点，即储存聚四氟乙烯O形圈，可以适应所有应用场合，而不用储存不同橡胶的各种圈。在更一般的情况下，聚四氟乙烯O形圈仅根据相容性来选择。例如，在没有能提供必要的耐化学介质性的橡胶O形圈时，或者要求O形圈有极低的摩擦特性和没有“静摩擦”时。

聚四氟乙烯在其他标准密封断面的模压圈中的应用比较有限，无论在范围方面，还是在适合用这种材料模压的形状方面，都是如此。

然而，聚四氟乙烯在密封中的一种很有用的扩展，在于复合圈结构，其中机械加工的或模压的聚四氟乙烯断面，可以用作由橡胶断面支撑的低摩擦减磨表面，或者作为O形圈的挡圈等。

在挡圈的情况下，聚四氟乙烯的有限伸长率在安装中带来问题，这种材料的圈通常是开口的或螺旋形的，以便于安装。虽然有这个缺点，即在压力下支承O形圈的是个不连续的表面，但所带来的其他优点大大抵消了这个缺点。

两种与聚四氟乙烯类似的塑料是聚三氟氯乙烯和全氟乙烯丙烯。聚三氟氯乙烯不那么好，它的工作温度稍窄些。它的主要优点在于比聚四氟乙烯更适合于模压，如果需要的话，还可以注射成形。一般性质类似聚四氟乙烯，但最高使用温度降低到200°C。

可用作挡环的其他材料有皮革、挂橡胶织物、热固层压材料，如突夫诺尔（Tufnol）和尼龙。这些材料中，除了皮革和挂橡胶织物外，没有一种通常能象这样用作密封件。

各类密封材料

皮革

皮革由互相联锁的高强度纤维组成，给出固有的柔顺性、粗糙性和耐磨性。它本身还是比较软的材料，所以，它对与它磨合接触的其他材料的磨损作用是很小的。它也有局限性，主要是它可受模压的程度（这限制着皮革密封可能的断面形状）和刚度及强度较差。不过，现代的加工和处理方法已显著提高皮革所能提供的机械性质。

对于密封用途来说，皮革的两个主要优点在于，它能对比较粗糙的表面磨合密封，以及它能吸收并保留润滑剂。前一个优点意味着皮革密封可以用于这样的表面，它粗得无法用橡胶有效地密封（或者用橡胶密封时将产生过火的磨损和摩擦）。皮革密封还可作为替换的密封，用于磨损了的轴或孔上，否则轴或孔要重新加工，才能满意地适应橡胶密封。它的保留润滑剂的性质，意味着当润滑受限制时，或者仅有初始润滑就要求密封持续工作时，皮革密封可以提供比橡胶密封更好的解决办法。

大多数现代的工业皮革是铬鞣型皮革，其抗张强度超过 6000lb/in^2 。最高使用温度可高达 $150\sim 160^\circ\text{C}$ ，这取决于处理，在某种程度上还取决于所涉及的介质。通过对材料的包复或浸渍，机械强度还可进一步提高或改变。例如，硅橡胶浸渍可用来保持柔顺性到很低的温度（ $-50^\circ\sim -90^\circ\text{C}$ ），虽然这将明显提高材料的成本。甘油三酸酯和甘油硬脂酸酯加脂处理，提高了耐水性，并产生用于水密封和填料的一种柔顺的脂性皮革，但是，在这种情况下，浸渍剂是可溶于油的。石蜡浸渍产生较硬的皮革，它特别耐水，也是用于水密封和填料。乙烯乳化处理产生一种坚韧的、很柔顺的粗糙面，它是耐油的，但是透水。聚氨酯浸渍产生良好的耐油性和耐水性，同时有良好的柔顺性。

选择很广泛，因为皮革特性可以用与橡胶相同的方法来改变，虽然达不到相同的程度。主要的变量，即生皮的质量只是选择和生产质量控制问题。牛皮通常是切割密封件的最好皮革。

皮革的有限的模压成形性，一般把皮革的应用限制于碗形、法兰形和阴形断面，U形填料和V形填料。法兰形断面还广泛地用于油封。

皮革的适应性与橡胶系列相比是相当有限的。一般来说，皮革密封适用于所有油类，但与水溶液的相容性有限，不推荐用于酸和碱类、气体和有机药剂。工作温度范围是 $-40^\circ\text{C}\sim +90^\circ\text{C}$ 。

毛毡

毛毡是一种有回弹性和吸收性的材料，在某些轻载密封应用中，它提供可观的可能性，因为毛毡需要很小的接触压强，即能有效工作。它有毛细性质，能吸收并保留其体积50%的液体，并可留住磨粒性颗粒，对密封工作时的磨合表面无伤害。一个有润滑的毛毡密封，不管是“清洁”的还是“脏”的，都有抛光作用。

羊毛毡的工作温度约 $-50^\circ\text{C}\sim +110^\circ\text{C}$ ，但用合成纤维毛毡，可得到更高的工作温度。高达 10m/s (2000in/min) 的磨合速度是有润滑的密封所允许的，而如果特别注

意连续润滑的话，此数值还可加倍。

未经处理的羊毛毡耐油、耐气体和大多数溶剂。它对弱酸的忍耐性有限，受碱的侵蚀。也可以得到耐强酸和强碱的合成纤维毛毡。

平毛毡密封圈从标准牌号的毛毡上切割。对于特殊用途，可以用石蜡、石油或胶态石墨浸渍。所有毛毡圈在安装之前，通常都用比系统润滑剂粘度稍高的油或脂浸饱。

分层毛毡密封是由一层或多层毛毡和橡胶层复合制成的。出于特殊目的（例如过滤和截留），不同层可以用不同牌号的毛毡。由于有不透的橡胶层而阻止任何液体穿过密封泄漏。

织物

密封系统往往含有织物骨架以增加机械强度。棉、尼龙、石棉和涤纶都用于适当的场合，浸渍或包复未硫化的橡胶，然后，按与橡胶密封相同的方法制造和模压。

棉是最常用的织物，由各种棉花去掉棉籽，纺成纱，织成布而得到。典型的棉织物每平方米重 8ounce^①，厚 0.02in，断裂强度超过每 in 宽 60lb。

要求特别高的强度时，可选用尼龙或涤纶织物。它们都是长链聚合物，在很多方面很象它们所加强的橡胶聚合物。

“尼龙”是指一族材料——具有类酯化学结构的聚酰胺。酰胺是含有碳、氧、氮和氢的有机化合物。尼龙具有比棉更大的弹性，强度更高，有更好的耐化学性。

涤纶（聚对苯二甲酸乙二醇酯）是强度高、耐磨和耐热的，并有较长的使用寿命和良好的耐化学性。它也用于泵隔膜和类似的苛刻工作场合。

石棉是从主要由硅酸镁($3\text{MgSiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)组成的矿石中得到的。它有优秀的耐热性，甚至耐火性。它用于密封和模压件需要耐高于棉、尼龙和涤纶所能适应的范围的高温的场合。

硬质合金

硬质合金是一组粉末冶金复合材料，其中均匀的微观组织由一种或数种硬质相，通常是碳化钨(WC)来支配，而其余部分是金属粘合剂相。在大多数情况下，粘合剂以钴(Co)为主，在液态烧结过程中，它对 WC 晶粒具有很高的润湿性，但也可用铁磁组的其他金属（例如镍(Ni)）。

某些牌号的硬质合金含有其他类型的硬质要素，如碳化钛(TiC)、碳化铌(NbC)和碳化钽(TaC)。这些牌号特别用于车削和铣削刀具，即刀具承受极高的表面温度的工序中。机械密封的表面没有那么高的温度，因此，在这种场合最常用纯 WC-Co 牌号。这种牌号的特点是耐磨性高，导热率高，以及不常见的高强度与高韧性的组合。结果它还表现出很高的耐机械和热应力疲



图1 用于密封环的典型地 WC-Co 牌号的微观组织

① Ounce—盎司。

劣性，这对在或多或少运转期间保持密封机能来说是重要的。用于密封环的典型的纯 WC-Co 牌号的微观组织，示于图 1。

设计

在压制和预烧结之后，材料可用普通方法机械加工。最终烧结后，它是完全致密的，只能用诸如磨削、研削、珩磨、抛光和电火花加工等方法来加工。硬质合金密封环通常研磨到表面平面度为 2 个干涉条纹（单色纳光）和表面光洁度约为 $0.1\mu\text{mRa}$ 。

可以制成一件的最大环的直径约为 450mm。然而，对于更大的环，可考虑用剖分环结构。在象吸泥泵这样的应用中，这种结构工作得很满意。

硬质合金密封环可以制成整块硬质合金的，也可以制成在背撑环上镶硬质合金环的。在后一种情况下，可以采用钎焊、胶结、热粘和机械固定等方法。

性质

工业用纯 WC-Co 牌号包括很宽的成分范围，金属粘合剂体积含量约为 5~40%。此外，WC 晶粒尺寸也可以变化，通常为 $1\sim 5\mu\text{m}$ 。作为这些变化的可能性的结果，可以生产出具有各种性质的材料。

耐磨性

Co 含量和 WC 晶粒尺寸对耐磨粒磨损的影响示于图 2。曲线是根据按 DIN50330 作的试验所得到的结果画出来的，该试验中一个销轴的平端而被压到一个旋转的干燥刚玉砂纸上。相对耐磨性值与试验过程中的体积损失的倒数成比例。

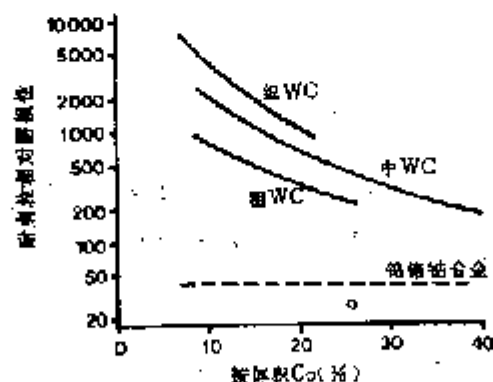


图 2 - Co 含量及 WC 晶粒尺寸对耐磨粒磨损性的影响

在其他耐磨粒磨损试验中，如当接触面有水时，得到类似的结果。

硬度

硬度受 Co 含量及 WC 晶粒尺寸影响的方式与耐磨粒磨损性相同。范围从最硬的工具钢开始，并达到高达 2000HV_{0.05} 左右。

● HV 是维氏硬度。——译者

密度

由于 WC 密度大 (15.7g/cm^3)，所以纯 WC-Co 牌号的密度范围为 $12.5\sim 15.2\text{g/cm}^3$ 。对于 TiC 牌号来说，密度值就低得多，因为 TiC 的密度是 4.9g/cm^3 。

机械强度

硬质合金的抗压强度非常高。它随着 Co 含量的下降和 WC 晶粒尺寸的减小而提高。极端牌号的抗压强度约为 7000N/mm^2 。

作为 Co 含量和 WC 晶粒尺寸的函数的横向断裂强度示于图 3。数值得自三点弯曲试验，用磨制棱形试件架在两个圆柱支点上试验。

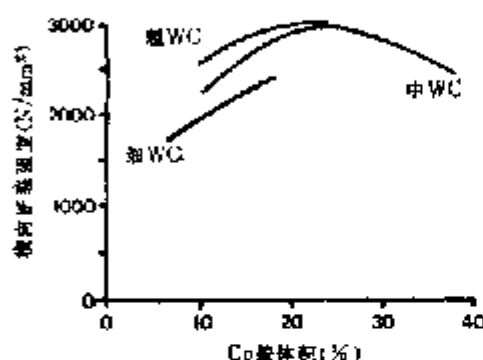


图3 Co含量和WC晶粒尺寸对横向断裂强度的影响

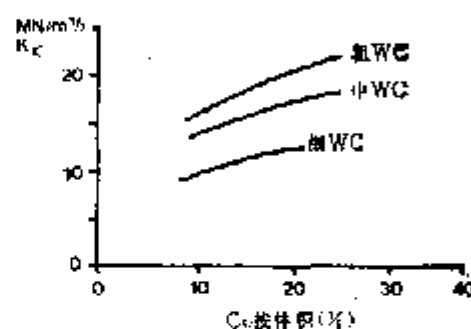


图4 Co含量和WC晶粒尺寸对临界拉伸应力强度系数的影响

抗拉强度可以根据横向断裂强度运用卡伯原理求出。由于横向断裂强度试件的几何形状，它等于横向断裂强度值的60%，相应的抗拉强度范围是 $1000\sim 1800\text{N/mm}^2$ 。这已在传统的同轴拉伸试验中得到证实。

弹性模量（杨氏模量）是很高的，约为钢的两倍到三倍。对于 WC-6%Co（按重量），E 为 630000N/mm^2 ，它随着 Co 含量的增加而下降，WC-11%Co（按重量）有 575000N/mm^2 的 E 值。

表达为临界拉伸应力强度系数 (K_{IC}) 的断裂韧性，随着 Co 含量和 WC 晶粒尺寸的加大而提高。示于图 4。韧性最高的牌号的值约为 $25\text{MN/m}^{3/2}$ ，处于高速钢的范围之内。

热力学性质

纯 WC-Co 硬质合金的导热率约为非合金钢的两倍和铜的三分之一。Co 含量的影响示于图 5。WC 晶粒尺寸的影响不大，但立方晶碳化物 (TiC、NbC 和 TaC) 的存在大大降低导热率。耐热疲劳性很高，因为有利机械性质和很高的导热率。在同样的热循环条件下，热疲劳裂纹的传播速度随 Co 含量和 WC 晶粒尺寸的加大而下降。

在室温下纯 WC-Co 牌号的比热约为 $200\text{J/(kg}\cdot\text{K)}$ ，接近非合金钢的一半。

由于 WC 有很小的线胀系数，纯 WC-Co 牌号的线胀系数约为奥氏体钢的三分之一。 α 值随 Co 含量的增加而加大（图 6）。

实际上 WC 基硬质合金在空气中耐氧化到高达 $550\sim 700^\circ\text{C}$ 。受影响的成分是 WC。

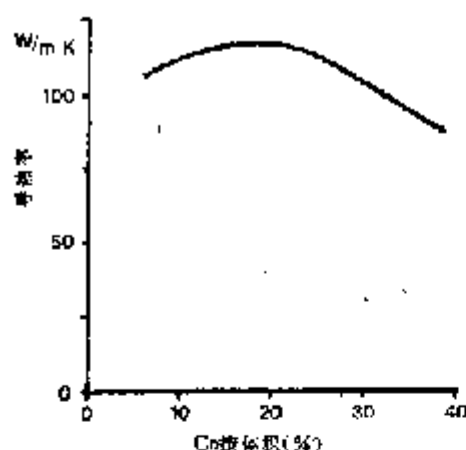


图5 作为Co含量的函数的导热率

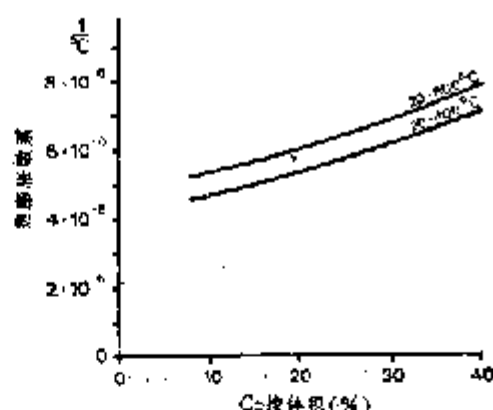


图6 作为Co含量的函数的膨胀系数

它将变成 WO_3 。TiC 更耐氧化, 在空气中 TiC 基硬质合金在达到大约 900°C 时, 才开始迅速氧化。

“拉菲尔”碳化硅和其他材料的性能对比

材料	密度 g/cm^3	硬度 kg/mm^2	断裂强度 σ	抗氏强度 E	泊松比	热膨胀系数 α $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ $0 \sim 1000^\circ\text{C}$	导热率 K $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$		热膨胀系数 $\alpha_0/E, \alpha$ 在 100°C 下 ($\text{Cal/cm}\cdot^\circ\text{C}$)
			MN/m^2 ($\times 10^8$ lb/in^2)	GN/m^2 ($\times 10^5$ lb/in^2)			在 100°C	在 1000°C	
拉菲尔 (REFEL) 碳化硅	3.10	2500~3500	525 (76)	313 (45)	0.24	4.3	62.6 (0.2)	35.9 (0.009)	58
粉末氧化硅	3.20	2500~3500	589 (100)	310 (43)	0.27	3.3	17.5 (0.042)	14 (0.033)	29
热压烧结 氮化硅	2.60	900~1000	241 (35)	220 (32)	0.27	3.3	15 (0.036)	14.2 (0.034)	13
热压氧化 锆	6.05	—	207 (30)	100 (14)	0.34	8.5	62.7 (0.15)	16.7 (0.04)	9
热压氧化 铝	3.90	2500	180 (26)	305 (43)	0.27	9.0	8.4 (0.02)	5.0 (0.012)	3
氧化铈 (6%Co)	15.0	1500	1412 (205)	606 (83)	0.26	4.9	86 (0.2)	—	—
镍基合金 105	8.0	350~400	—	220 (32)	—	18.8	—	—	—

① $1 \text{ Cal} = 4.184 \text{ J}$ 。

摩擦

在有润滑和无润滑滑动时, 动摩擦系数与陶瓷相当。稳态无润滑滑动的动摩擦系数随 Co 含量的增加而下降。

耐腐蚀性

腐蚀在硬质合金中, 一般导致粘合剂相的表面损耗。纯 WC-Co 牌号通常能耐低至

pH7^② 的溶液中的腐蚀。对于含有 TiC、NbC 和 TaC 的 WC-Co 牌号也是如此。合金 TiC-Ni 牌号耐低至 pH1 的腐蚀，但与纯 WC-Co 牌号相比，它很脆，而且导热性也差。它还有难于磨削和钎焊的缺点。

在大多数腐蚀-磨损环境中，最佳选择是特殊合金 WC-Ni 牌号，作为一般极限它耐低至 pH2~3 的腐蚀。不过它也被证明能耐某些 pH 值低于 2 的溶液中的腐蚀。由于保留了 WC 作为硬质要素，而 Ni 与 Co 就主要方面而言是类似的金属，其机械性质和热力学性质与纯 WC-Co 牌号相当。

pH 极限仅作为一般性指南给出，因为介质的腐蚀性还受其他因素的影响，如温度、离子浓度和电池效应等。

密封材料的相容性

密封材料的相容性可用以下方法确定，即把密封件（或密封材料试样）长时间浸泡在有关液体里，然后，测量体积变化。这将表明浸胀是否处于可接受的范围之内。对试样挠曲将进一步指明表面是否脆化（即挠曲裂纹）。

在油液的情况下，油的苯胺点往往作为相容性的指针。具有同样的苯胺点的油，通常对橡胶有类似的影响，芳族含量越高（即苯胺点越高），则产生橡胶浸胀的倾向越大。如果已知橡胶针对一些试验液体的性能，则可以预测具有相同苯胺点的任何其他油液，将有与相应的试验液体类似的特性。

密封相容性指数

确定橡胶与液体相容性的定量方法在 BS4892:1972 中给出。特别涉及到采用标准溶胀试验圈来确定浸泡在不同油液中时的浸胀量，即它用来确定液体的，而不是橡胶的相容性，以密封相容性指数 (SCI) 来确定。不过，同样原理可以推广，以得出不同橡胶的 SCI 值。

该试验涉及到在 100°C F，把试验圈在液体中浸泡 24 小时，在浸泡前和浸泡（并冷却）后测量圈的内径。根据这些测量，百分直径浸胀 (SD) 可计算如下

$$SD = 100 \frac{D_2 - D_1}{D_1}$$

式中 D_1 ——浸泡前的直径；

D_2 ——浸泡后的直径。

密封相容性指数 (SCI) 取为体积浸胀 (SV)，表示到最接近的整数。

百分体积浸胀 (SV) 也可类似计算如下

$$SV = 100 \left[\left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 - 1 \right]$$

也可以利用表 I 把直径浸胀 (SD) 直接转换成体积浸胀 (SV)。

一般相容性数据在表 I 和表 II 中给出。

② pH 值，氢离子浓度指数，表示溶液酸碱性的标准。——译者

表1 直径浸胀向体积浸胀的转换

SD %	SV %	SD %	SV %	SD %	SV %	SD %	SV %	SD %	SV %	SD %	SV %
0.1	0.30	2.0	8.00	5.1	16.00	7.6	24.58	10.1	33.46	12.6	42.76
0.2	0.60	2.2	8.32	5.2	16.43	7.7	24.92	10.2	33.83	12.7	43.14
0.3	0.90	2.3	8.64	5.3	16.76	7.8	25.27	10.3	34.19	12.8	43.52
0.4	1.20	2.4	8.96	5.4	17.09	7.9	25.62	10.4	34.56	12.9	43.91
0.5	1.51	2.5	9.27	5.5	17.42	8.0	25.97	10.5	34.92	13.0	44.29
0.6	1.81	2.6	9.59	5.6	17.76	8.1	26.32	10.6	35.29	13.1	44.67
0.7	2.11	2.7	9.91	5.7	18.09	8.2	26.67	10.7	35.65	13.2	45.06
0.8	2.42	2.8	10.23	5.8	18.43	8.3	27.02	10.8	36.03	13.3	45.44
0.9	2.72	2.9	10.55	5.9	18.76	8.4	27.38	10.9	36.39	13.4	45.83
1.0	3.03	3.0	10.87	6.0	19.10	8.5	27.73	11.0	36.76	13.5	46.21
1.1	3.34	3.1	11.19	6.1	19.44	8.6	28.08	11.1	37.13	13.6	46.60
1.2	3.64	3.2	11.52	6.2	19.78	8.7	28.44	11.2	37.50	13.7	46.99
1.3	3.96	3.3	11.84	6.3	20.12	8.8	28.79	11.3	37.87	13.8	47.38
1.4	4.26	3.4	12.16	6.4	20.46	8.9	29.15	11.4	38.25	13.9	47.78
1.5	4.57	3.5	12.49	6.5	20.79	9.0	29.50	11.5	38.62	14.0	48.15
1.6	4.88	3.6	12.81	6.6	21.14	9.1	29.86	11.6	38.99	14.1	48.54
1.7	5.19	3.7	13.14	6.7	21.48	9.2	30.22	11.7	39.37	14.2	48.94
1.8	5.49	3.8	13.46	6.8	21.82	9.3	30.58	11.8	39.74	14.3	49.33
1.9	5.81	3.9	13.79	6.9	22.16	9.4	30.93	11.9	40.12	14.4	49.72
2.0	6.12	4.0	14.12	7.0	22.51	9.5	31.29	12.0	40.49	14.5	50.11
2.1	6.43	4.1	14.46	7.1	22.85	9.6	31.65	12.1	40.87	14.6	50.51
2.2	6.75	4.2	14.77	7.2	23.18	9.7	32.01	12.2	41.25	14.7	50.90
2.3	7.06	4.3	15.10	7.3	23.54	9.8	32.38	12.3	41.62	14.8	51.30
2.4	7.37	4.4	15.43	7.4	23.88	9.9	32.74	12.4	42.00	14.9	51.69
2.5	7.69	4.5	15.78	7.5	24.23	10.0	33.10	12.5	42.38	15.0	52.08

注: 密封相容性指数 (SCI) 是表示到最接近的整数的SV。

表1 皮革的相容性

(未列出的液体, 或者是皮革不相容, 或者是缺乏数据。在这种情况下, 特殊资料, 请向皮革密封或填料制造商)

液 体	相 容 性		
	良 好	尚 可	有 限
丙酮	x		
乙酸正酯		x	
戊醇			x
苯胺			x
沥青			x
甜菜糖汁			x
粗苯			x
纯苯			x
乙酸丁酯		x	
丁醇			x
蔗糖汁			x
草麻油	x		
氯化溶剂			x
鱼肝油	x		
玉米油	x		

(续)

物 体	相 容 性		
	良 好	尚 可	有 限
桐油	x		
杂酚			x
柴油燃料	x		
乙酸乙酯		x	
乙醇		x	
乙二醇	x		
燃料油	x		
明胶	x		
胶	x		
甘油	x		
各种食用油	x		
各种液压油	x		
煤油		x	
尿	x		
挥发性漆		x	
乳酸			x
亚麻子油	x		
桐油	x		
水银			x
乙醇		x	
矿物油	x		
汽油			x
硝基漆			x
煤油		x	
汽油			x
原油	x		
桐油			x
大豆油	x		
蒸汽			x
石油			x
甲苯			x
三氯乙烷			x
桐油	x		
桐油		x	

表 I 橡胶相容性一般指南 (参见密封选择指南)

	天然橡胶和 丁基橡胶	氢丁橡胶	顺丁橡胶	氯丁橡胶	聚异戊二烯橡胶	乙丙橡胶	丁腈橡胶	聚硅橡胶	硅橡胶	聚醚橡胶	聚酰胺橡胶	聚酰亚胺橡胶
气体和蒸气	A	SH (60°C)	SH (100°C)	V (100°C)	SH (60°C)	C (100°C)	C (200°C)	-70°C~ 270°C	SH (20°C)	C (-60°C~-150°C) ~200°C	C (-150°C~-250°C)	C (-150°C)
液体	E	E	E	E	LS	A	C	LS	—	—	C	C
其他液体和 干燥蒸汽	A	SH (60°C)	SH (80°C)	V (100°C)	SH (60°C)	LS (100°C)	C (200°C)	C (150°C)	A (蒸汽)	C (150°C)	C	C
水和中浓 水溶液	C	C	C	C (70°C)	C (80°C)	C	C	C	A (大量)	C	C	C
酸性水溶液	C	C	C	C (70°C)	C (80°C)	C	C	SA	A (大量)	SA	C	C
碱性水溶液	C	C	C	C (70°C)	C (80°C)	C	C	A	A (大量)	SA	C	C
强氧化剂	A	A	A	A	A	C	C	A	VA	VA	C	C
强还原剂	VA	A	A	A	A	A	C	VA	VA	VA	C	C
强氧化剂	VA	VA	VA	SA	A	LS	C	VA	VA	VA	C	C
强还原剂	VA	VA	VA	SA	A	LS	LS	VA	VA	VA	C	C
0.880 氯 苯溶液	A	LS	C	C	SA	C	A	C	VA	SA	C	C
0.880 氯 苯溶液	A	LS	C	C	C	C	E	SA	—	SA	C	C
0.880 氯 苯溶液	VA	VA	VA	SA	LS	E	LS	LS	—	—	C	C
冰醋酸	LS	A	C	C	A	LS	A	SA	VA	—	C	C
醇类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳香族溶剂	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	MS	SS	C	C
脂肪族溶剂	SS	MS	SS	SS	MS	SS	MS	MS	MS	MS	C	C
醚类	MS	MS	MS	MS	MS	MS	SS	MS	MS	LS	C	C
酮类	C	C	C	C	C	C	C	SS	SS	C	C	C
酯类	MS	MS	SS	SS	MS	C	MS	MS	MS	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS	C	C
芳烃	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
原油	MS	MS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
矿物油类	MS	SS	C	C	MS	MS	C	MS	C	SS	C	C
烃类 (烷烃)	MS	MS	SS	SS	MS	MS	C	MS	SS	SS		

注: 温度值代号与字母代号一起给出, 例如 SH (80°C) = 80°C 以上发生硬化。

代号: VA—高度硬化

A—硬化

SA—轻度硬化

SH—中度硬化

V—挥发

C—完全相容

E—膨胀

LS—有裂纹

SS—轻微到中等膨胀

MS—明显膨胀

第5部分 资 料

密封选择指南

需要机械密封或黄油压盖的气体或有毒介质

乙醚蒸汽	氟化氢气
氨气	氟气
二氧化碳气	天然气
一氧化碳气	氦气
氯气	氢气
煤气	氧气
磷气	水蒸气
氟气	二氧化硫气
氢氟酸	氖气
氢气	

易于在机械密封端面凝固的产品

沥青	酚醛混合物
双酚	增塑剂
巧克力饮料	酞酐
杂酚	聚乙烯醇乳化液
乙醇氧	树脂
食物产品	芒硝
甲醛	污水
猪油	肥皂溶液
胶乳	硫磺
三聚氰胺甲醛树脂	脂油
马来酞	焦油
糖蜜	脲醛树脂
油漆	石蜡
酚	

聚四氟乙烯或氟化烃塑料是适用于它们的挠性密封材料^①的产品

热乙酸	二氯异丙醚
丙烯腈	二环己基胺

① 某些情况下有性能限制。

铝合胺	乙醚
戊醚 161 或 181	二硝基甲苯
溴 113	醚
三氟化溴	乙基醚
五氟化溴	呋喃
丙烯酸丁酯	热氢氟酸
正丁胺	漆
丁基醚	漆用溶剂
三氟化氮	甲基乙基过氧化氢
1-氯-1-硝基乙烷	甲基异丁基甲酮
氯磺酸	异丁烯酸甲酯
康维莱克斯 10	硝基甲烷
二丁胺	苯乙基醚
二丁醚	

真空密封

在真空系统中用作密封的聚合材料，可能含有残留挥发性分子组分。特别是象聚乙烯这样的平均分子量^①超过 20000amu^② 的碳氢化合物，在常温下可能释放出甲烷或类似气体，而如果加热，则释放出游离氢和分子碎片。这可能限制这种材料在真空密封中的应用。

高分子量的脂和蜡也可用于密封目的。特别是在超高真空范围内密封具有蒸汽压力的残留蒸馏产物。不过，这些材料也能释放出蒸汽分子及降解产物。然而，更重要的特性是，脂和蜡可能裹挟气体，后者以后释放出来。

橡胶选择：浸渍、温度和成本

使用温度上限	渗透率	橡胶	成本比
110°C	小	标准橡胶	1
130°C	中	硅酮橡胶	1.3
175°C	小	丙烯酸酯橡胶	3
200°C	中	硅橡胶	7
200°C	甚小	氟橡胶	18

① g/mole, mass unit 原子质量单位，原文误作amu。——译者

(续)

		丁腈橡胶	氯丁橡胶	丙烯酸酯橡胶	聚硫橡胶	丁基橡胶	硅橡胶	氟橡胶	乙丙橡胶
		NBR	CR	ACM	—	SBR	SE	FKM	EP
乙二醇		R	R	R	R	R	R	R	R
汽油		R	R	R	S	R	R	R	R
醇	辛烷	R	R	D	D	S	S	R	S
	苯	S	S	S	S	S	S	D	S
酮	丙酮	S	S	D	S	R	D	S	?
有机化合物	硝基苯	S	S	S	S	S	S	S	S
酸	酚	S	S	D	S	S	R	R	D
气体:									
氧 (液)		C	C	C	S	D	C	S	D
二氧化碳		D	R	S	R	S	S	R	D
一氧化碳		R	R	R	R	R	R	R	D
氮气		D	R	D	R	D	D	R	D
氢气		R	R	R	R	R	R	R	R
天然气		R	R	R	D	R	R	R	S
氨气		R	R	R	R	R	R	R	R
氯气		R	R	R	R	R	R	R	R
无机物:									
酸	硝酸	C	C	C	S	R	C	D	C
	盐酸	R	R	R	S	R	D	R	C
	硫酸	C	C	C	C	D	C	C	C
	磷酸	D	D	R	D	R	D	R	D
	醋酸	C	C	R	C	R	R	C	S
碱	苛性碱	R	R	R	S	R	R	R	D
	氨	R	R	R	D	R	R	R	C
二硫化碳		S	D	S	S	S	S	R	S
过氧化物		S	S	D	S	R	D	R	C
3.5bar (50lb/in ²) 以下的蒸汽		D	D	D	C	S	D	D	C
水		R	R	R	S	R	R	D	R
制冷剂:									
氨		R	R	R	S	R	R	C	R
乙二醇		R	R	R	S	R	R	R	R
氟里昂11 (阿克扬11)		S	R	S	S	R	S	D	S
氟里昂12 (阿克扬12)		R	R	R	D	S	S	D	D
氟里昂22 (阿克扬22)		S	S	D	S	D	S	S	D
二氧化硫		S	S	D	S	R	D	R	R
润滑油:									
矿物油	蓖麻油	S	S	D	S	D	R	D	R
润滑油		S	S	D	S	D	S	S	D
液压油	矿物油	R	R	D	R	D	S	R	S
	耐基DTD 825	D	R	S	D	S	D	R	S

(续)

		中脞橡胶	新脞橡胶	丁腈橡胶	丙烯酸酯橡胶	氟化聚乙稀橡胶	丁基橡胶	硅橡胶	聚硫橡胶	乙脞橡胶
		NBR	NBR	CR	ACM	—	SEB	Si	PKM	EP
液压油	水基EELG	R	R	R	S	R	R	R	R	D
	矿物油基DTDB85	R	R	D	R	S	S	S	R	S
	油基(斯凯居罗尔 500)	S	S	S	S	S	S	R	S	R
润滑油	矿物油基DED2472	R	R	R	R	D	S	R	R	S
	齿轮油	R	R	D	R	S	S	R	R	S
	润滑脂DED2487	D	R	S	D	S	S	D	R	S
链条油		D	R	D	R	S	S	S	R	S
燃油		R	R	R	R	R	R	S	R	R
传动油		R	R	D	R	S	S	D	R	S
润滑油		R	R	R	R	D	D	R	R	R
燃料										
燃料		D	R	S	R	S	S	D	R	S
燃料		D	R	S	R	S	S	S	R	S
燃料		D	R	S	R	S	S	S	R	S
汽油		D	R	S	R	S	S	S	R	S
燃料石蜡油		S	S	S	S	S	S	S	R	S

• 材料规格符号

R——相容橡胶。

D——有些橡胶，其性能取决于条件。

S——过分膨胀，不相容。

C——表面侵蚀，不相容。

旋转轴密封

形 式	油 物	最高压力 lb/in ² bar	最高速度 ft/min. m/s	说 明
油封	勾质橡胶或皮革带脚密封	5~10 0.5	500 2.5	仅低压
油封 (唇板式)	勾质橡胶或皮革，带唇板，并带脚密封	10~30 0.75~2	500~2000 5.0~10	还有唇板式(例如本表密封)
密封圈	(I) 全金属 (II) 层压热固塑料 (III) 勾质非金属材料	取决于长度和厚度	高	主要用于泵
O形圈	勾质橡胶	—	—	伸张率应用受限制
组合圈	带橡胶唇板的勾质橡胶	—	—	各种形式，但一般应用有限
密封组件	带或不带橡胶唇板的层压圈	—	—	各种形式，但一般应用有限
机械密封	(I) 普通的	高	高	通过改变压力可调节性能
	(II) 精密比重的	高	高	各种形式，从此压缩材料到压缩环
机械密封 (端面密封)	各种结构	150 (典型值)	2000 (典型值)	各种形式

(续)

形 式	结 构	最高压力 lb/in ² bar	最高速度 ft/min m/s	说 明
唇瓣式密封	各种结构	—	—	为唇瓣密封兼轴密封发展而来 专用填料压盖密封
迷宫密封 (收拢式)	环、槽或齿	中	甚高	带间隙工作, 因此摩擦很低
迷宫密封	环、槽或齿	低	甚高	特别适用于大直径气体密封
螺旋密封	环、槽或齿	低	甚高	按密封原理工作, 轻型, 特别适用于旋盖密封
孔环 ^①	流体密封压盖	高	高	两个方向都有泄漏
压力环 ^②	气体密封压盖	高	甚高	总漏控制困难
压力环 ^③	流体密封压盖	高	甚高	可与机械辅助密封合用
离心液体屏障	轴环液体通廊	高, 但取决于速度	甚高	可有各种形式和结构
离心叶轮	转子形向轴压供气	高	甚高	若低的摩擦, 适用于甚高的轴速, 可与机械密封合用
冻结密封	“冷焊”断面	—	—	运转时在气液分离面建立密封
微流密封	腔隙体环	500 35	无限制	用来密封液体 (如熔融金属), 液体在低到中压力下冻结固化
专利形式	各种	—	—	仅密封气体

① 特别适用于大直径密封。

② 某些形式让复密封可能适用于旋转用途, 具体性能有所限制。

基础橡胶的选择

所需要的性质	基础橡胶
耐油性	丁二烯橡胶, 丙烯酸酯橡胶, 硅橡胶
最高的耐磨性	高耐磨橡胶
耐酸耐碱液	乙丙橡胶
高度耐磨性和低摩擦系数或力矩	腈橡胶
低温柔韧性	天然橡胶, 硅橡胶, 聚硫橡胶
高温性能	氟橡胶或硅橡胶
最大温度范围	硅橡胶
最高速度	天然橡胶或聚亚胺酯橡胶
最高耐化学性	氟橡胶或聚四氟乙烯
最高耐老化性	聚硫橡胶
最高耐臭氧性	丙烯酸酯橡胶

典型橡胶的最低使用温度

橡 胶	温 度	
	°C	°F
高消橡胶	-15	5
氟橡胶	-15	5
氯化聚乙烯橡胶	-20	-4
丁基橡胶	-30	-22
乙丙橡胶	-40	-40
氯丁橡胶	-40	-40
低稠橡胶	-45	-50
丁腈橡胶	-50	-58
聚硅橡胶	-50	-76
天然橡胶	-60	-76
硅橡胶	-90	-130

橡胶的体积膨胀系数

橡 胶	每°C × 10 ⁻⁴
天然橡胶	5.25~6.6
丁基橡胶	4.41
氯丁橡胶	4.11~5.46
腈橡胶	3.33~5.25
乙丙橡胶	4.86
氟橡胶	3.69~5.58
硅橡胶	5.31~9.3

一般建议——表面光洁度范围 (μmRa)

密封形式	配合表面光洁度		壳体或压盖光洁度
	正常寿命	限制寿命或轻载	
O形圈	16●	16	32
其他橡胶圈	16●	16	32
皮碗——橡胶	16●	16	32
皮碗——半加筋	16●	16	32
皮碗——橡胶浸渍织物	16	32	32~48
皮碗——皮革	32	48	48
U、V和C形圈——橡胶	16	16	32
半加筋	16	16	32
橡胶浸渍织物	16	32	32
皮革	32	48	48~80
活塞环	16	16~32	32~48
压缩填料	15~32	32	32~48

● 或者更好。

特殊用途的动密封形式

举 例	图 示	减小阻力
冲液杯置	衬套密封	衬套密封
双密封	迷宫密封	迷宫密封
通风密封	离心屏障	离心屏障
液体屏障密封	回流体密封①	回流体密封①
回流体密封①		
离心屏障①		
低 压	真 空	高 压
橡胶唇密封	橡胶唇密封	橡胶唇密封
机械端面密封	机械端面密封	机械端面密封
	弹簧加载密封唇	机械填料
		结构密封

① 仅用于气体

密封形式 - 最高温度范围一般指南

应用场合	密封形式	最高使用温度	
		°C	°F
静密封	O形圈	取决于橡胶	
	石棉垫片	400~540	750~1000
	纤维密封带	120~150	250~300
	软木混合物	120~150	250~300
	高耐热木橡胶	200~230	400~450
旋转密封	金属环	400~540	750~1000
	勾紧橡胶	取决于橡胶及配合精度	
	半加温	取决于橡胶及配合精度	
	石墨密封物	120~150	250~300
	机械密封	120 以上	250 以上, 取决于结构
往复密封 (低压)	勾紧橡胶	取决于橡胶	
往复密封 (高压)	半加温	取决于橡胶	
	橡胶密封物	取决于橡胶	
	石墨密封物	120~150	250~300
	皮革	52~150	125~300
	组合密封	取决于材料	
	金属环	400~540	750~1000

注: 选择具体的密封形式或材料时, 应遵循制造商关于密封工作温度的建议, 在特定温度下的使用性能, 还将受与有关介质的相容性影响。

V形圈密封条件典型额定压力

圈数	橡 胶		橡胶及浸渍织物		皮 革	
	lb/in ²	bar	lb/in ²	bar	lb/in ²	bar
2	500	35	1000	70	—	—
3	1000	70	1500	105	600	35
4	2000	140	3000	210	1000	105
5	3000	210	5000	350	6000	420
6	5000	350	10000	700	20000	1400

关于密封的一般建议 (高压密封)

密封形式		作 用			旋 转	
		静密封	中 介	取 压	经 压	重 压
O形圈		×	×		×	
方形圈		×	×			
X形圈		×	×		×	
组合圈		×	×	×		
U形圈	橡胶	×	×		×	
	橡胶浸渍织物		×	×		
	皮革		×	×		
V形圈	橡胶		×			
	橡胶浸渍织物		×	×		
	皮革		×	×		
C形圈	橡胶	×	×		×	
	橡胶浸渍织物		×	×		
压力环	橡胶浸渍织物	×	×		× ②	
	石棉织物	×	×	×	× ②	
自动密封	橡胶	×	×		× ①	
	橡胶浸渍织物		×	×		
带缓冲的环			×	×	× ②	× ③
金属活塞环		×	×	×		
帽形或柱形	橡胶	×			×	
	橡胶浸渍织物	×	×		×	
	皮革		×	×	×	

① 取决于形式和结构。

与材料有关的额定压力 (压力单位为lb/in²和bar)

	劣质橡胶 lb/in ² (bar)	普通 lb/in ² (bar)	橡胶浸渍织物 lb/in ² (bar)	层压织物 lb/in ² (bar)
O形圈、方形圈等	1000~1500 (70~100)	3000 (210)		
U形圈	500~1000 (35~70)	1000 (70)	1000~3000 (70~210)	到5000 (到 350)
V形圈	500~1000 (35~70)	1000~2000 (70~140)	2000~5000 (140~350)	5000~10000 (350~700)
C形圈	500~1000 (35~70)	1000~3000 (70~140)	2000~5000 (140~350)	5000 (350)
压力环	50~150 (3.5~10)	250~500 (18~35)	1000~5000 (70~350)	2000~5000 (140~350)
组合密封		到3000 (到 210)	到 10000 (到 700)	

③ 带防堵出环。

活塞密封——高压工作

密封形式	结构	最高压力		最高速度		最大表面粗糙度 μinRa	说 明
		lb/in ²	bar	ft/min	m/s		
回油密封		5000— 10000	350~700	200	1	尽量小	一般仅适用于与活塞研磨配合的很小的孔
活塞环	实心金属	10000	700	100~150	0.5~0.75	16	如果相容的话适用铸铁
分线环	铝合金	10000	700	100	0.5	32	与磨削的孔保持适当密封性
带缓冲的环	金属或非金属 实心环带橡胶垫	5000	350	100	0.5	30~40	对较大的孔可与过渡平环成组合件
U形圈	压缩橡胶或皮革	10000	700	100	0.5	32	各种专利形式
U形圈	橡胶浸渍织物	5000	350	100	0.5	16	各种专利形式
V形圈	层压织物或皮革	到 20000 到 1400	100	0.5	32		额定压力取决于圈数
V形圈	橡胶浸渍织物	到 10000 到 700	200	0.5	16		额定压力取决于圈数
C形圈	橡胶浸渍织物	到 5000 到 350	100	0.5	16		各种专利形式和变型。也可用于密封组合件
自动密封	橡胶浸渍织物	到 5000 到 350	100	0.5	10		各种专利结构。也可用于密封组合件
组合件	聚四氟乙烯-橡胶 组合件及类似件	到 10000 到 700	—	—	—	—	各种专利结构和形式
活塞环	各种	2000以上	140以上	—	—	32	各种专利形式。特别适用于重载和特殊场合

注：作为替代方案，可以利用许多专利品密封结构。关于性能特征和应用场合，请向制造商索取数据。

活塞密封——低压到中压工作

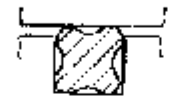
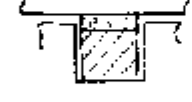
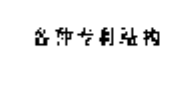
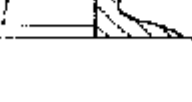
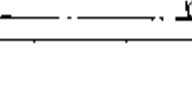
密封形式	结构	最高压力		最高速度		最大表面粗糙度 μinRa	说 明
		lb/in ²	bar	ft/min	bar		
O形圈	匀质橡胶	1000~1500	70~100	40	0.2	16	当油压高达3000lb/in ²
方形圈	匀质橡胶	1000~1500	70~100	40	0.2	16	对橡胶密封性能较好
X形圈	匀质橡胶	1000~1500	70~100	35~40	0.2	16	对橡胶密封性能良好
片式	匀质橡胶	1000~1200	70~85	70	0.3	16	单作用或背压密封作用
皮革	半加强	500	35	60	0.3	16	单作用或背压密封作用
U形圈	匀质密封	500~1000	35~70	60	0.3	10	单作用或背压密封作用
U形圈	皮革	1000~1500	70~100	50	0.25	32	单作用或背压密封作用
C形圈	匀质橡胶	500~1000	35~70	50~60	0.25~0.3	16	除比U形圈或V形圈小
V形圈	匀质橡胶	1000~1500	70~100	50~60	0.25~0.3	16	2或3圈
V形圈	皮革	1000~1500	70~100	50~60	0.25~0.3	32~48	2或3圈
活塞环	半加强	500	35	60	0.3	16	对于重载应用和大直径有优点
压缩填料	各种	500~1000	35~70	40~60	0.2~0.3	16~48	除非工作条件要求特殊高温材料通常不用。但适用于活塞密封

注：高压式密封也可用于低压工作，尤其在匀质橡胶和半加固密封物中更是如此。在这种情况下，同高压密封时，即使压力再低，只要磨合速度不过高，则允许比取载工作的规定更为粗糙些的表面光洁度。

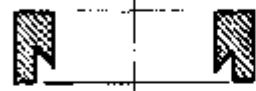
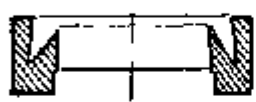
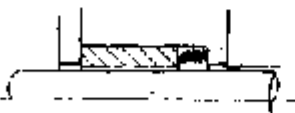
密封选择指南

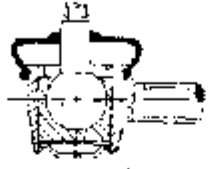
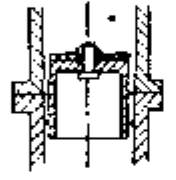
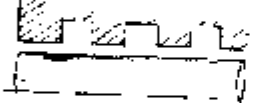
密封形式	典型应用	说 明	相对费用
O形圈	法兰连接	也用作挤压密封	1
方形圈	代替O形圈用于法兰连接	内圈配合一可用板料制成任何尺寸	1或更低
简单平面片	法兰连接	基本材料:	
		(i) 纸	1
		(ii) 软木	2~3
		(iii) 橡胶带和软木	2~3
		(iv) 橡胶	2~10
		(v) 压制石棉纤维	3~5
金属包层垫片	法兰连接, 缸头垫片, 热交换器, 石油化工压力容器	专用于密封面狭窄处	4~5
轧纹金属垫片	不燃蒸汽, 水, 空气, 化学药剂, 油的法兰连接	金属垫片	
螺旋缠绕垫片	用于要求高机械强度和良好密封的连接的垫片	形式有:	
印刷垫片	密封平面密封	(i) 金属基 (高压)	
		(ii) 纸基	
		(iii) 纯印刷 (软连接)	
包封垫片	化工用垫片		
实心金属	具有良好表面光洁度和高密封能力的法兰连接	通常用于比较窄的端面	
金属包环 (圆或方)	内圈配合法兰密封	具有高固合压力的真面密封	
全金属 (圆或方)	高温下油和气的端面密封		
金属O形圈	高温法兰密封	空心断面:	
		(i) 普通型	
		(ii) 通孔的	
		(iii) 充气的	
弹性金属环	高温法兰密封	含和“开槽”断面变形提供固合压力下的密封性	
锯齿环	高温密封 (例如飞机系统)	使用非用密封	
填料	大法兰连接, 压力容器, 锅炉等		
密封胶	法兰连接, 螺纹连接	形式包括:	
		(i) 橡胶密封胶	
		(ii) 聚氨酯	
		(iii) 热固胶	
		(iv) 塑料	
密封外套	在螺纹管接头处螺帽或螺母下密封	橡胶的, 组合的或全金属的	1~3
长纸密封	在螺钉头下密封	橡胶密封带, 可作架以作密封	

动密封选择指南

密封形式	几何形状	工作条件	应用	相对费用
O形圈		往复 旋转	液压缸和气缸中活塞和活塞杆密封, 气密封, 许多其他应用	1
方形圈		往复 旋转	“防水”中轴密封, 作为旋轴密封应用比较有限	1
X形圈		往复 旋转	在O形圈有缺陷性时代替O形圈, 例如振动下或倾向于使O形圈失效的条件下, 几何形状比O形圈更复杂	1以下 1~2
T形圈		往复	高压应用, 带背环使用	1~2 1~2
心形密封		旋转	适用于橡胶密封, 通常带背环使用	1~2
三角形、U形圈、心形圈等		往复 旋转 (某些)	代替O形圈, 密封应用中有些优点, 例如U形圈用于活塞杆	1~3
组合圈 (封油)		往复 旋转	聚四氟乙烯-橡胶密封组合的专利结构, 用于活塞与活塞杆, 许多具有高额定压力	1~3
组合圈 (封油)		往复 旋转	某些形式应用	1~3
组合圈 (封油)		往复 旋转	液压缸和气缸用装填的活塞和活塞杆密封, 单作用和双作用式	1~3
唇形密封		旋转	某些形式应用	1~3
唇形密封		旋转	低压抽油, 许多专利结构现在包含“逆风”作用	10~15
U形圈		往复	可被聚四氟乙烯用于液压缸, 更复杂的U形圈用于气缸	10
U形圈变型		往复	改进的U形圈结构, 带或不带侧唇, 用于与普通U形圈类似的应用中, 具有较高性能, 各种专利结构	10~15

(续)

密封形式	几何形状	工作条件	应 用	相对使用
Y形圈		往复	常用于密封中, 作为高压液压缸密封; 泵压盖密封; 螺旋泵轴封等	50~100
C形圈		往复	气缸用活塞杆密封; 可带压环使用	10~25
自动密封		往复	常成组使用, 用于高压液压缸, 泵压盖等	50~100
分布密封		往复	类似于自动密封的应用	50~100
楔形唇形圈形圈		往复	代替O形圈和U形圈, 兼有二者之优点。各种专利结构	
弹簧加载U形圈		往复	代替U形圈, 在一个组合结构中, 包含弹簧加载的楔形。各种专利结构	
塑料U形圈		往复 旋转	橡胶密封件密封, 包含一个聚四氟乙烯壳和内弹簧	
楔形压盖		往复 旋转	重载荷或杆密封; 也是泵等的轴密封的主要选择	
封条密封		旋转	可以允许磨损时的橡胶条密封	
唇形衬套		旋转	带有自动对中性质以补偿偏心原等的轴封	
机械滑面密封		旋转	泵、加工设备等的重要密封	50~5000
防尘圈		旋转	活塞杆或轴的防尘密封	10

密封形式	几何形状	工作条件	应 用	相对费用
刮土圈		旋转	刮土圈的密封形式, 能排除和防止磨粒侵入	10~15
防尘罩		往复 旋转	活塞杆的防护密封 万向接头等的防护密封	10
金属密封管		旋转	用于密封或低漏的密封轴封、密封腐蚀性液体等	100~1000
膜片		往复或往复	燃料泵	2
橡胶密封		往复或往复	计里泵, 何塞泵油器等	20~50
涂布		旋转	油脂密封轴承	

密封的实际费用

估计密封的实际费用效果时, 除了密封的原始费用外, 还必须考虑若干参数。这是个显而易见的事实, 但在对比可代用密封的价格时往往被忽略。更具体地说, 并非所涉及的所有参数都能被考虑到。例如, U形圈的相对费用可能是O形圈的十倍。但这并不意味着在具体的应用场合, 这两种密封形式将有同样的费用效果, 比如说U形圈比O形圈耐用十倍之类。许多用户仍然可能总想在这样的基础上去对比代用的密封形式。

在实际费用效果中涉及到的参数有:

- (i) 密封的原始费用。
- (ii) 密封的效果。
- (iii) 必须的密封更换周期。
- (iv) 更换密封的实际费用 (密封费用加上工作时间, 加上任何“隐藏的”费用)。
- (v) 更换密封期间的设备停机费用。
- (vi) 影响维护费用的可靠性因素。

第(i)、(iii)、(iv)和(v)项是互相关连的, 其本身不能作为实际可比参数使用, 不过第(ii)项本身可以看成是费用效果参数, 用比较有效的密封可以减少产品损失 (和能量消耗)。从泵压盖连续滴漏能产生4~5L/h的产品损失, 或全年计算超过40000L。同样, 密封泄漏能明显降低液压缸和气缸的效率 (并增加能量损失)。密封效果

作为一个环境参数,也可能是重要的(它将影响密封形式的选择)。

简单的费用效果研究

作为一个简单的例子,与装有传统填料(石棉、棉、麻)和现代合成纤维填料的典型的填料压盖有关的参数介绍如下:

(i) 原始费用:传统填料1,现代填料4(购置价格比为1:4)。

(ii) 效果:忽略不计,因为假设两种形式给出类似结果,但实际上现代合成纤维填料,可望更为有效,例如表现出较小的泄漏流量。

(iii) 更换费用:工作时间相同。但可能有“隐蔽的”费用。例如,用传统填料用轴,可能需定期整修。用现代合成填料时,可能完全无此必要。还可能涉及其他“隐蔽”费用,例如调节传统压盖填料所用的时间是逐日或逐周计的,而用合成填料时,调节时间可能很短。

(iv) 所需停机时间的费用:假定同样的停机时间和生产损失。不过,用传统填料时每年停机四次,而用现代合成填料时每年仅停机一次。

(v) 可靠性因素:在同样的寿命因素比下,对现代合成填料有利。

总之,在这个具体的例子中,传统填料仅在第一次装填料时表现出较低的总费用。三个月后现代合成纤维填料就能表现出总费用的纯节省;此后节省更多。因此,在这个例子中最次要的参数是(i)填料的原始费用。

下表中从空压盖开始以典型数字说明这些参数。

	传统填料		现代合成纤维填料	
	阶段费用(英镑)①	累计费用(英镑)	阶段费用(英镑)	累计费用(英镑)
填料费用	2.50		10.00	
工作量和时间	6.00	18.50	6.00	18.00
三个月重装填料				
填料费用	2.50			
工作量和时间	12.00		无	
停机费用(生产损失)	A	25.00 + A		18.00
六个月重装填料				
填料费用	2.50			
工作量和时间	12.00		无	
停机费用	A	39.50 + 2A		18.00
九个月重装填料				
填料费用	2.50			
工作量和时间	12.00		无	
停机费用	A	54.00 + 3A		18.00
十二个月重装填料				
填料费用	2.50		8.00	
工作量和时间	12.00		12.00	
修轴费用	50.00		无必要	
停机费用	A	118.50 + 4A	A	40.00 + A

一年之后现代合成纤维填料节省 78.50 + 3A 英镑

① 本书原版1981年出版,成稿当在这以前。当时1英镑合人民币5.4774元(1980年年平均汇价)。——译注