

LIUTIDONGMIFENG

顾永泉 著

下 册

流体动
密封

中国石化出版社

36
-2

流 体 动 密 封

下 册

顾永泉 著

中 国 石 化 出 版 社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书对流体动密封作了全面介绍,分上、下两册。下册比较系统地叙述了各种接触式密封、非接触式密封、组合式密封和封闭式密封的工作原理、典型结构、主要参数、设计计算、材料选用、使用中应注意的问题和故障分析。书中除了讨论基本型式的密封外,还对一些新发展的密封也作了介绍。本书还提供了八个附录,汇集了一些常用密封制品的标准系列及规格尺寸、以及有关计算图表,查阅方便。

本书可供石油、化工、石油化工及其它工业部门从事密封工作的工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业师生参考。

流 体 动 密 封

下 册

顾永泉 著

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 16³/₈印张 412千字 印1—5000

1992年8月北京第1版 1992年8月北京第1次印刷

ISBN7-80043-244-0/TH·035 定价:8.50元

序 言

流体密封包括流体动密封和流体静密封，这是流体机械和动力机械所不可缺少的零部件。虽然它在整台机器设备中不是很大的工作元件，但其作用对整台机器设备、整套装置，甚至对整个工厂的影响都很大，特别是在石油化工企业中，对安全生产、节省能耗和物料消耗，防止产品和大气污染和发展新技术、新设备，保证设备运转可靠、效率高、装置连续正常生产具有重大的意义。在石油化工企业中，所处理的流体大多数具有腐蚀性、可燃性、易爆性及毒性，一旦密封失效、介质外漏，不仅污染环境、影响人体健康和产品质量，而且往往会导致火灾、爆炸和人身伤亡等重大事故。

在日常的机器设备使用和维修中，对于机泵几乎40~50%的工作量是轴封。因此，为了使机器设备能在高效率下安全可靠地连续运转，必须重视发展密封技术和培养掌握流体密封技术的工程技术人员专门从事这方面工作，解决生产上出现的有关流体密封问题。

密封技术随着石油化工、动力、轻工、原子能等工业和宇航技术的发展，变得愈来愈重要。特别是近年来，密封技术与摩擦学这两门相互关联的新兴学科正在迅速发展。因此，有必要将大量的试验研究工作、发表的论文和报告、生产经验，结合理论，编写成书，供流体密封方面工程技术人员阅读和参考，更好地为祖国的建设服务。

本书分上、下两册，介绍流体动密封的基本原理、密封理论、设计方法和使用知识。上册主要介绍目前工业中应用较广的机械端面密封的结构、原理、密封理论、摩擦、磨损、润滑的知识，并着重介绍机械端面密封不同摩擦状态和相态下工作特性及主要工作参数，密封的工作稳定性和工作可靠性、故障分析和环境控制。下册介绍常用几种其它型式的动密封内容。

本书是在中国石化总公司石油化工设备密封技术培训班讲义《流体动密封的基本原理及知识——机械端面密封》基础上改写的，增添了机械密封的工作稳定性、工作可靠性、国内外新材料和结构等内容。由于水平有限，难免有些缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

目 录

第一篇 径向接触式密封	1
第一章 填塞型软填料密封	1
第一节 软填料密封的基本结构及工作原理.....	1
第二节 软填料密封的典型结构及要求.....	3
第三节 软填料密封的主要参数及计算.....	9
第四节 软填料的种类及选择.....	12
第五节 软填料的合理填装与使用.....	16
第二章 挤压型弹性体密封	19
第一节 O形环的基本结构及工作原理.....	19
第二节 挤压型弹性体密封的结构型式及特点.....	23
第三节 O形环参数的计算和选取.....	27
第四节 O形环使用中应注意的问题.....	32
第三章 挠曲型弹性体密封	35
第一节 油封.....	35
第二节 唇状密封.....	47
第四章 分割型弹性环密封	58
第一节 开口环.....	58
第二节 分瓣环.....	67
第三节 无油润滑活塞环、支承环及填料.....	72
第四节 活塞环及填料的材料.....	76
第二篇 径向非接触式密封	80
第五章 间隙密封	80
第一节 间隙密封的结构型式.....	80
第二节 间隙密封的主要参数.....	81
第六章 迷宫密封	85
第一节 迷宫密封的基本结构及工作原理.....	85
第二节 迷宫密封的结构型式及应用.....	86
第三节 迷宫密封的主要参数.....	87
第四节 迷宫密封片数目、间隙和材料.....	93
第七章 螺旋密封	96
第一节 螺旋密封的基本结构及工作原理.....	96
第二节 螺旋密封的主要参数.....	97
第三节 气吞和密封破坏现象.....	103
第八章 迷宫螺旋密封	105
第一节 迷宫螺旋密封的基本结构及工作原理.....	105
第二节 迷宫螺旋密封的主要参数.....	105

第三节	迷宫螺旋密封计算方法	109
第九章	离心密封	113
第一节	叶轮密封	113
第二节	轮盘密封	120
第三篇	非接触式轴向端面机械密封	124
第十章	可控间隙机械端面密封	124
第一节	可控间隙机械端面密封的共同特点和计算式	124
第二节	流体静压机械端面密封及其计算	128
第三节	流体动压机械端面密封及其计算	139
第四节	脉冲式密封	154
第四篇	组合式密封	156
第十一章	混合密封——浮环密封	156
第一节	浮环密封的基本结构及工作原理	157
第二节	浮环密封的静力计算	158
第三节	浮环密封的动力计算	165
第四节	浮环密封的结构型式及结构措施	167
第五节	封油系统	174
第十二章	阻塞密封	176
第一节	铁磁流体密封	176
第二节	其它阻塞流体密封	188
第十三章	多级密封	192
第一节	接触式——接触式组合的多级密封	192
第二节	非接触式——非接触式组合的多级密封	193
第三节	接触式——非接触式组合的多级密封	194
第五篇	封闭式密封	195
第十四章	无轴封的密封	195
第一节	密闭式机泵	195
第二节	密闭传动	196
第三节	隔膜传动	199
第四节	磁力轴承	199
附录一	O形环密封的系列尺寸 (GB1235-76)	204
附录二	橡胶油封	212
附录三	V形环夹织物橡胶密封圈 (HG4-337-66)	215
附录四	U形环密封的系列尺寸 (HG4-334-66 及 HG4-336-66)	223
附录五	Y形环密封的系列尺寸 (HG4-335-66 Q/ZB248-77)	226
附录六	L形环橡胶密封圈 (HG4-331-66)	236
附录七	J形环橡胶密封圈 (HG4-332-66)	238
附录八	分瓣环的主要尺寸及加工精度	241
附录九	螺旋密封计算用图表	244
参考文献		247

第一篇 径向接触式密封

在径向接触式密封中有五种作用原理不同的密封，即：填塞型软填料密封；挤压型弹性体密封圈密封；挠曲型弹性体唇状密封；分割型弹性环密封和薄膜型弹性膜片密封。

第一章 填塞型软填料密封

软填料密封是一种压紧式填料密封，俗称盘根。它是利用柔软材料做成压缩填料来填塞运动体间隙的动密封装置。虽然这是最古老的一种密封装置，但由于结构简单，至今仍是应用较普遍的密封装置。特别是近年来开发了一些新结构和新材料，软填料密封又有了新的进展。

软填料密封通常用作旋转或往复运动的元件与轴封箱之间环形空间的密封，如离心泵、转子泵、往复泵、搅拌机及反应釜的轴封，还有阀门的阀杆密封，管线膨胀节、换热器浮头及其它设备的密封。它能适应各种旋转运动、往复运动和螺旋运动的元件密封。

软填料密封主要用于石油工业，石油化学工业、化学工业、造纸工业、食品工业及其它工业。密封的流体有水、水蒸气、酸、碱、溶剂、气体、原油、油品及其它化学药品。

软填料密封适用范围广泛：介质压力由真空 1.3kPa 到 35MPa ，工作温度 $-50\sim 600^\circ\text{C}$ ，密封面线速达 20m/s 。

第一节 软填料密封的基本结构及工作原理

图1-1所示为一典型结构的软填料密封。软填料依靠压盖轴向压紧，产生径向变形，填塞间隙而密封。软填料变形时，依靠合适的径向力紧贴转轴和填料箱内壁表面，保证可靠的密封。

在软填料密封中，内部流体可能通过下列途径泄漏：

- (1) 流体穿过软填料本身的缝隙而出现渗漏现象（如图1-1中A所示）；
- (2) 流体通过软填料与转轴（或往复杆）之间的缝隙而泄漏（如图1-1中B所示）；
- (3) 流体通过软填料与箱壁之间的缝隙而泄漏（如图1-1中C所示）。

填料本身的缝隙可以通过压实软填料、采用软金属箔包、塑料垫混装和不同编织填料等方法来消除，防止泄漏。箱壁内表面与填料之间的泄漏，因为无相对运动或填料被压实而达

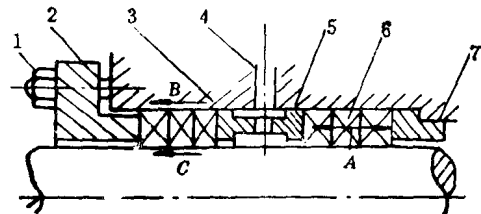


图 1-1 软填料密封

- 1—压盖螺栓；2—压盖；3—轴封箱；4—封液入口；
5—封液环；6—软填料；7—底(衬)套
A—软填料穿漏；B—靠轴侧泄漏；
C—靠箱壁侧泄漏

到止漏目的。只有软填料与轴(或杆)之间,因有相对运动,难免存在微小间隙而造成泄漏。

为了使沿轴方向径向力分布均匀,采用中间封液环将软填料密封分成两段;为了使软填料具有足够的润滑和冷却,往封液环中间注入润滑液体(封液)。为了防止软填料被挤出,采用具有一定间隙的衬套7。

图1-2所示为软填料密封在工作过程中被压缩。首先是新装的软填料(a),填料内充满

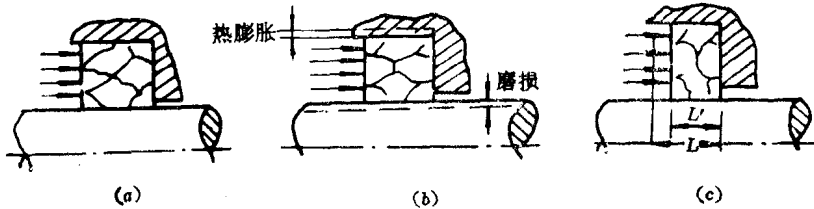


图 1-2 软填料的耗损

(a) 一新装填料; (b) 一填料变化; (c) 一经多次调节而被压实

浸渍的油脂和石墨,质地柔软,保证有一定的弹性来达到密封。但在工作过程中,轴封箱因受摩擦热而膨胀,轴(或轴套)因磨损而变细(b)。填料既要压紧,又要保持弹性接触,需要补紧。压紧时将浸渍剂挤出,填料又有了耗损。最后填料被压实变扁发硬,会使轴或轴套磨损加剧(c)。因此,为了达到良好的密封,必须保持软填料具有柔软的弹性。

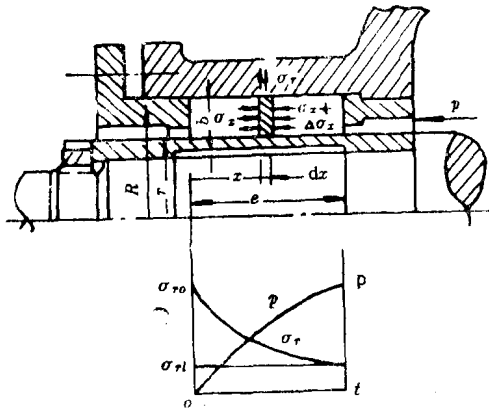


图 1-3 软填料密封作用力图

如图1-3所示,压盖以 σ_x 压紧软料,使填料发生变形,依靠侧压力(径向压力) σ_r 紧密地与轴(或杆)和箱壁贴紧达到密封,它们之间存在着下列关系:

$$\sigma_r = k\sigma_x \quad (1-1)$$

式中 k ——侧压系数,它是径向压力 σ_r 与轴向压力 σ_x 之比。

对于软填料,侧压系数 $k \leq 1$,因为径向压力不可能大于轴向压力。

现在分析一厚度为 dx ,内、外半径分别为 r 及 R 的微元体的受力情况。它距离压盖有 x 的距离。于是通过轴向力平衡,可以写出下列方程:

$$\pi\sigma_x(R^2 - r^2) - \pi(\sigma_x + d\sigma_x)(R^2 - r^2) - dF_R - dF_r = 0 \quad (1-2)$$

式中 $dF_R = 2\pi R \cdot f_R \cdot dx \cdot \sigma_r$ ——填料微元体对外壁的摩擦力;

$dF_r = 2\pi r \cdot f_r \cdot dx \cdot \sigma_r$ ——填料微元体对轴(或杆)表面的摩擦力。

以 $\sigma_r = k\sigma_x$ 代入上式,即得

$$-\pi(R^2 - r^2)d\sigma_x = 2\pi k(Rf_R + rf_r)\sigma_x dx \quad (1-2a)$$

再由 σ_x 至介质压力和由 x 至轴封箱深度 l 将上式积分

$$\int_{\sigma_x}^p \frac{d\sigma_x}{\sigma_x} = -2k \frac{Rf_R + rf_r}{R^2 - r^2} \int_x^l dx$$

积分后

$$\ln \frac{\sigma_x}{p} = -2k \left(\frac{Rf_R + rf_r}{R^2 - r^2} \right) (l - x)$$

于是将平均半径 $R_m = \frac{R+r}{2}$ 和填料径向宽度 $b = R-r$ 代入上式，即得轴向压紧压力 σ_x 与填料密封箱深度 x 的关系式

$$\sigma_x = p e^{-k \left(\frac{Rf_R + rf_r}{R_m b} \right) (e-x)} \quad (1-3)$$

及径向压力 σ_r 与填料密封箱深度 x 的关系式

$$\sigma_r = k p e^{-k \left(\frac{Rf_R + rf_r}{R_m b} \right) (e-x)} \quad (1-4)$$

从公式 (1-3) 及 (1-4) 中不难得出， σ_x 及 σ_r 是随着 x 的增长而降低，并在 $x=e$ 时为最低值 $\sigma_{r,e} = kp$ ，及 $x=0$ 时为最高值 $\sigma_{r,o} = kp e^{2kf \frac{l}{b}}$ (若 $f_R = f_r$)。这一关系可由图 1-3 下方曲线表示。

因此，不仅在填料箱两端，而且在其中各点都必须遵守下一关系式

$$\sigma_x \geq p \quad (1-5)$$

才能保证软填料密封应有的密封性。

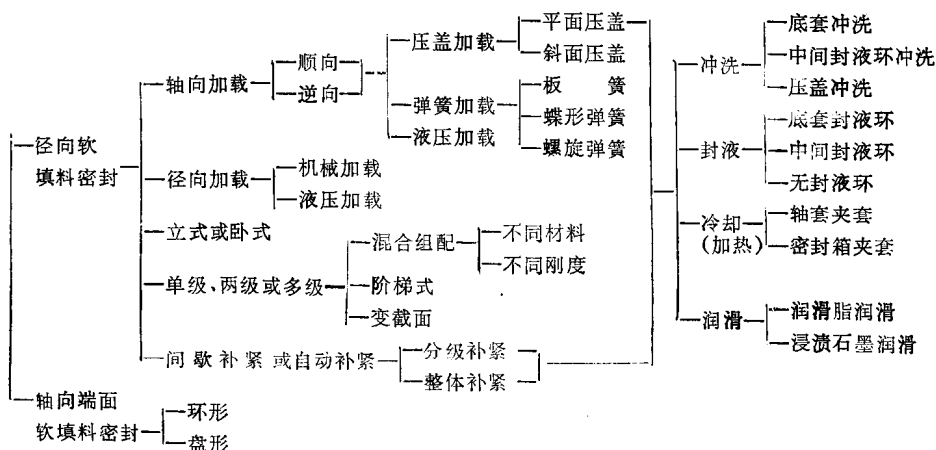
由此可见，径向抱紧力 σ_r 或轴向压紧力 σ_x 都是按指数规律沿密封箱长度变化的。可是泄漏流体压力分布是根据介质种类和压力的大小呈抛物线或对数曲线规律沿密封箱长度变化 (图 1-3)。这与介质压力逆向加载不协调。

因此，软填料密封必须解决下述问题。

- (1) 如何尽量使径向压紧力均匀且与泄漏压降规律一致，使轴套承压面的压力均匀，轴套磨损小而且均匀；
- (2) 如何使填料密封结构具有补紧能力和填料材料具有足够的润滑性和弹性；
- (3) 填料的摩擦系数对箱壁和轴不一样，前者是静摩擦后者是动摩擦；
- (4) 普通结构的填料密封的填料沿轴向的径向抱紧力分布不均匀问题。有时前后的径向抱紧力甚至差一倍。例如， $k=0.5$ ， $f=f_R=f_r=0.1$ ，圈数 $i=6$ ，压盖处的径向抱紧力 $\sigma_{r,o}$ 约等于底套处径向抱紧力 $\sigma_{r,e}$ 的 1.82 倍，即 $\sigma_{r,o} = 1.82\sigma_{r,e}$ 。

第二节 软填料密封的典型结构及要求

软填料密封在结构上可做成下列几种型式。



这些软填料密封主要围绕着下列要求发展。

(1) 密封体应满足介质和介质压力的要求，使径向抱紧力沿轴向均匀分布，以保证填料的密闭性和耐久性；

(2) 根据介质的压力、温度和轴（或杆）的转速大小，考虑冷却和润滑条件，以散除摩擦产生的热量来保证填料密封具有良好的工作条件；

(3) 应保证填料磨损能及时补紧，应尽可能考虑采取自动补紧措施；

(4) 应保证填料拆装方便，以便及时更换填料，减少更换时间，确保设备长时间运转；

(5) 填料密封的轴套应考虑敷涂耐磨层，以延长使用寿命，提高整个密封的耐久性和可靠性；

(6) 填料密封的结构（压盖、封液环或底套）中注入封液（自身或外来封液），以防空气漏入或产品外漏，提高密闭性；此外，还需考虑介质的腐蚀性和含颗粒介质的磨削性，采取相应的措施。

在实际中，许多典型结构采用下列措施，达到径向抱紧力沿轴向分布均匀、填料补紧和润滑冷却的目的。

1. 采用各种锥度的压盖和/或底套(图1-4)来改变径向抱紧力沿轴向的分布

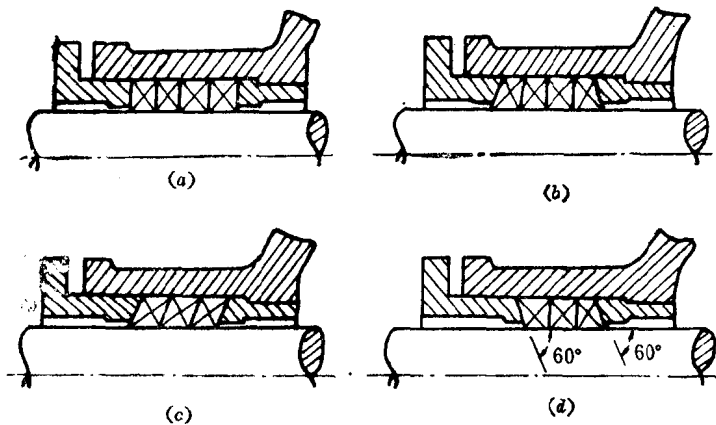


图 1-4 各种锥度的压盖和底套

图1-4 (a) 所示为普通填料密封的压盖和底套。图1-4 (b) 所示为压盖和底套具有相反锥度的填料密封，这种结构增大两端软填料与轴（或杆）的径向抱紧力。图1-4 (c) 及 (d) 所示为压盖和底套具有相同方向锥角的结构。前者可以增大压盖处填料对轴的径向抱紧力和底套处填料对箱壁的压紧力；后者则相反，增大压盖处填料对箱壁的压紧力和底套处填料对轴的径向抱紧力。

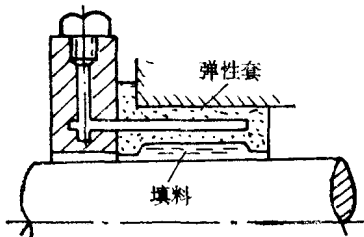


图 1-5 径向加载软填料密封^[1~1]

2. 采用径向加载填料(图1-5)使径向抱紧力沿轴方向均匀分布

如图1-5所示为一径向加载软填料密封，通过加油嘴将润滑脂挤入弹性套，从填料外围均匀加压，使填料沿轴方向的径向抱紧力均匀分布。

3. 中间加金属环或弹簧使径向抱紧力沿轴向分布趋于均匀和使填料被润滑冷却，同时

将填料密封做成多级密封(图1-6)

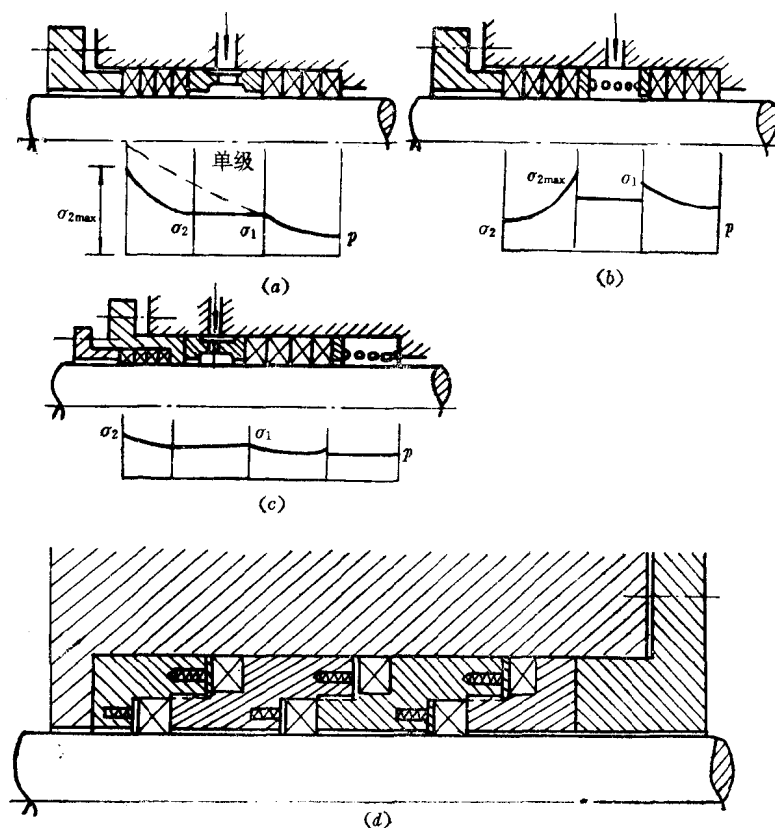


图 1-6 分级填料密封

(a) 一中间加封液环的两级密封；(b) 一中间加弹簧的两级密封；(c) 一底部加弹簧和中间加封液环的双压盖两级密封；(d) 一多级密封

图1-6 (a) 所示为中间加封液环的两级软填料密封。加入中间封液环起到分级、润滑、冷却和使径向抱紧力沿轴向比普通软填料密封趋于均匀的作用。实际上依靠压盖处的 σ_{2max} 要比一级密封时低。

图1-6 (b) 所示为中间加弹簧和垫环,它的作用不仅是分成两级,更重要的是具有自动补偿作用。此外,弹簧两侧压紧使两侧的径向抱紧力沿轴向正反方向分布,使之趋于均匀,并且压盖处的径向抱紧力和压紧力都进一步降低。

图1-6 (c) 所示为底部加弹簧和中间加封液环与双压盖两级密封。这种装置具有副密封手动补紧和主密封弹簧自动补紧。此外,封液环还起润滑和冷却作用。

图1-6 (d) 所示为一多级密封。每级都有内、外填料环各1个,用隔离环分级,同时依靠螺纹连接事先选定合适的扭矩和垫圈高度,以获得合适的接触应力。垫圈压在弹簧上有稳定接触应力的补偿作用。这样三级密封的径向抱紧力趋于更加均匀。

图1-7所示为一变截面填料的四级密封。从压盖起到底环处截面逐渐变小,压盖作用逐渐减小,而所产生的接触应力却逐渐增高。

图1-8所示为用碟形弹簧间插,填料成梯形,以不同刚度碟形弹簧压紧的软填料密封。弹簧的刚度是由压盖到底套逐渐增加的。这种填料密封综合了梯形填料环和弹簧加载的优点。

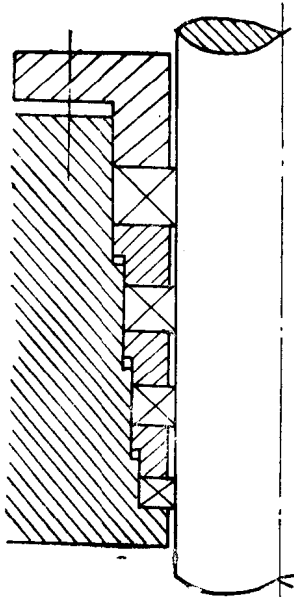


图 1-7 变截面软填料密封^[1~2]

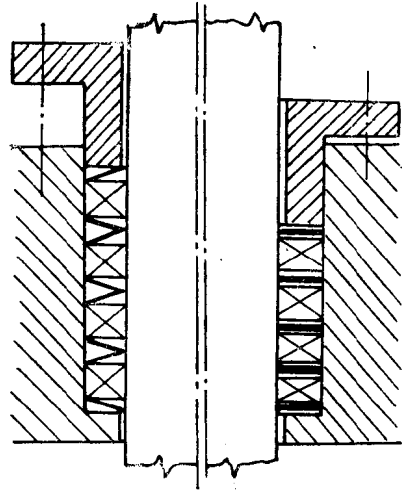


图 1-8 变刚度碟形弹簧加载填料密封^[1~2]

4. 与介质压力同向(顺向)加载的软填料密封 (图1-9)

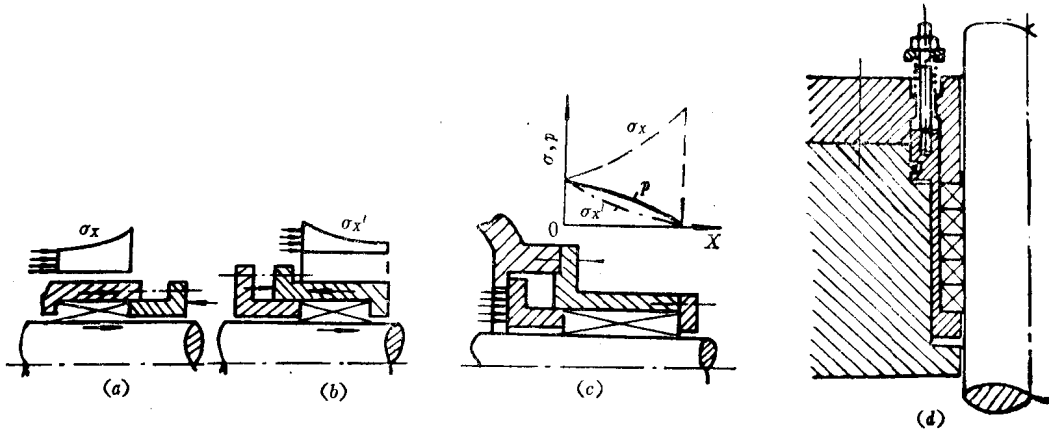


图 1-9 与介质同向轴向加载的软填料密封^[1~3]

图1-9 (a) 所示为普通与介质递向轴向加载的软填料密封, 其径向抱紧力沿轴向分布正好与介质压力分布方向相反, 这样就需要很大的压紧力才能使软填料密封达到密封性。

图1-9 (b) 所示为与介质同向轴向加载的软填料密封。虽然径向抱紧力沿轴向按指数分布, 而介质压力沿轴向按对数规律或抛物线规律分布, 两者分布规律不同, 但是在数值上两者比较接近, 从而改善了沿轴向径向压力分布。同时最大压紧力也就随之而下降。因为此时

$$\sigma'_z = p_1 \exp - \frac{k(Rf_R - rf_r)}{R_m \cdot b} (l-x) \quad (1-3a)$$

及

$$\sigma'_r = kp_1 \exp - \frac{k(Rf_R - rf_r)}{R_m \cdot b} (l-x) \quad (1-4a)$$

图1-9 (c) 所示为与介质同向液压加载的软填料密封。它与机械加载的不同之处在于液

压补紧力自动地随介质压力而变化，但因液压加载装置处于介质中而存在腐蚀问题。

图1-9(d)所示为与介质同向弹簧加载和液压加载的填料密封。填料集装在可移动的套筒内，靠螺栓轴向加载使填料的预压缩得到调节。由于介质压力作用在套筒上，又进一步使填料压紧。弹簧可以自动地补紧加载。

5. 考虑润滑冷却等措施的软填料密封 (图1-10)

(1) 考虑封液的填料密封：在下列情况下使用封液：①填料箱内压力低于大气压（即负压操作）、不允许介质外漏（即介质有毒性、易燃等）和有固体颗粒；②泄漏介质易凝固、

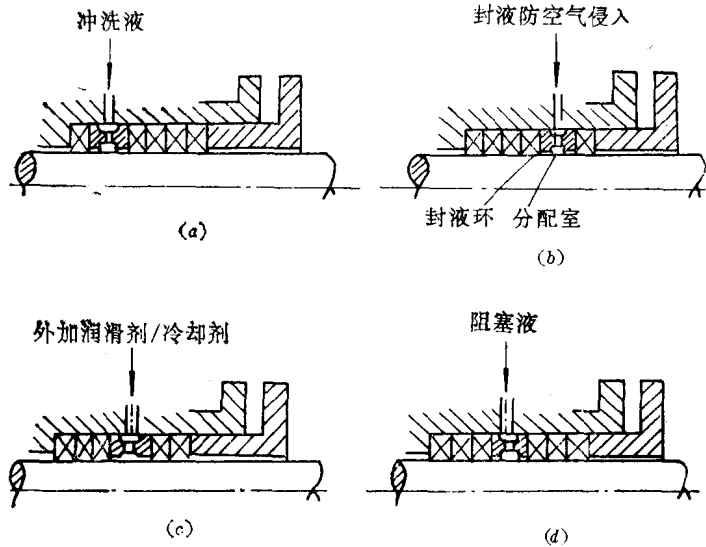


图 1-10 考虑润滑、冷却等措施的软填料密封

不允许漏入大气和有毒性等危险。封液的部位有底套、封液[图1-10(c)]和中间加封液[图1-10(a)、(b)及(d)]等型式。

封液的条件是：①封液与被密封介质有相容性，可以少量漏入泵内，有润滑性且有压力源；②封液压力应比填料箱压力高些（至少大 $1 \sim 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）；③封液量因轴径的大小而异，约在 $2 \sim 10 \text{ epm}$ 范围内。

填料箱内压力可以确定如下：

对于有平衡孔、两侧有口环的闭式叶轮泵，
填料箱压力

$$p_B = p_s (\text{吸入压力}) + 0.2H$$

对于半开式叶轮泵 (图1-11)，填料箱压力

$$p_B = K_p \cdot p_2$$

式中 K_p ——系数，可查阅图1-11，在一般情况下可取 $K_p = 0.7$ 。

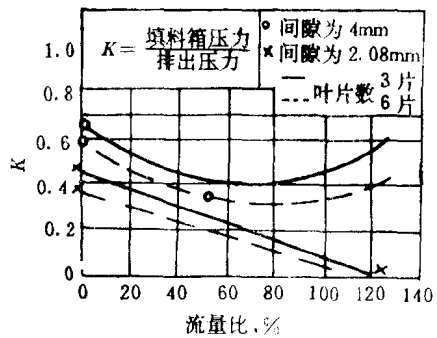


图 1-11 半开式叶轮泵的填料箱压力

(2) 考虑冷却的填料密封：冷却的方式有：

①夹套冷却——冷却液与介质不能混用时采用（压盖或轴套上的夹套）。由于纤维填料的孔隙率大，轴套冷却效果好。

②背冷——与泄漏介质接触，使之与轴承（传热）隔绝，并起防火和防止泄漏液体凝固

的作用，效果较好。

各种冷却方式的工作条件如下：

冷却方式	$t < 80^\circ\text{C}$	$t = 80 \sim 120^\circ\text{C}$	$t = 120 \sim 140^\circ\text{C}$	$t > 140^\circ\text{C}$
$p > 1.0\text{MPa}$ $V > 20\text{m/s}$	压盖背冷	压盖背冷	压盖背冷与水套冷却	压盖背冷 水套冷却 注水冷却
$p < 1.0\text{MPa}$ $V < 20\text{m/s}$	不用冷却	压盖背冷 或水套冷却		

冷却水量可大致按下表取用：

(适用于 $\phi 30 \sim 110\text{mm}$ 轴径，冷却水温 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ ，根据运转条件可增减 $20 \sim 30\%$)

轴封箱温度， $^\circ\text{C}$	30~50	50~70	70~90	90~110	110~140	140~170	170~200	200~250
封液环冷却	0.2	0.7	1.4	2.2	4.4	5.6	8	12.4
水套冷却	0.5	1.3	2.0	3.2	5.2	7.6	10	15.6

6. 端面填料密封 (图1-12)

轴向压紧、径向变形要求较大的压紧力，结果在填料与轴之间产生较大的摩擦力和摩擦热，从而增大摩擦功耗。因此，改用轴向压紧、轴向变形的端面填料密封减少摩擦，从而减小摩擦功耗。

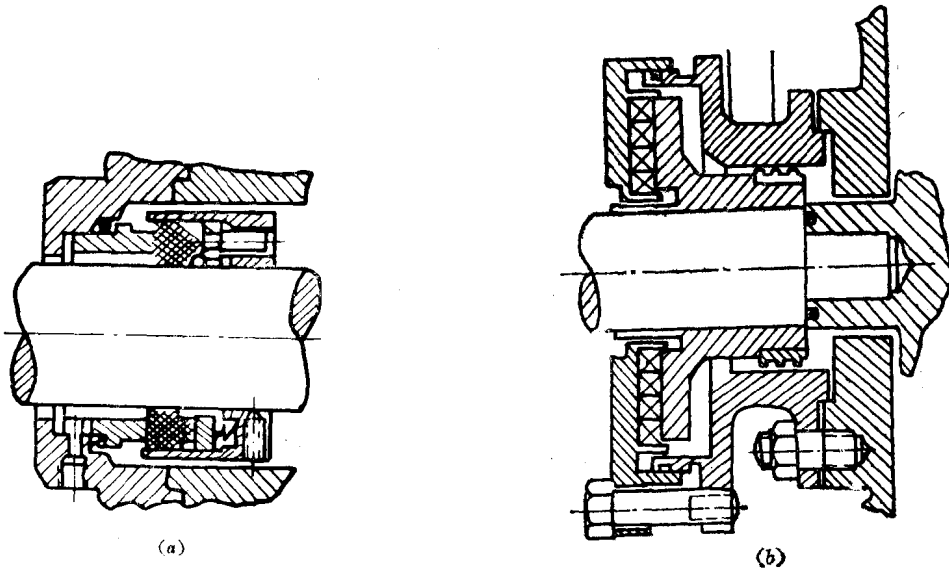


图 1-12 端面填料密封 [1-4, 8]

图1-12 (a) 所示为一种用软填料密封环代替石墨环的端面软填料密封。将软填料密封改成端面填料密封，可以节省摩擦功耗和避免轴套的磨损，同时与机械端面密封相比，则可以省掉动环的辅助密封。

图1-2 (b) 所示为一种盘状端面软填料密封。填料事先呈螺旋状盘缠在压盖上，与装在轴上的摩擦盘接触，依靠螺栓压紧力产生密封所需的接触应力。这种轴向端面填料密封的泄

漏方向与离心力相反，泄漏量少，结构简单，更换填料方便，但必须注意软填料的缠绕方向要与轴的旋方向相反。

第三节 软填料密封的主要参数及计算

一、软填料密封的主要参数

1. 上紧力和螺栓载荷

考虑公式 (1-1)，取摩擦系数 $f=f_R=f_r$ ，则将公式 (1-2) 改写并积分后，就可得到压盖对填料的压紧压力

$$\sigma_{x_0} = \frac{p}{k} \exp 2kf l/b \quad (1-6)$$

知道压盖对填料的压紧压力 σ_{x_0} 以后，就可以确定螺栓的总上紧力

$$F = \sigma_{x_0} \pi (D^2 - d^2) / 4 \quad (1-7)$$

若知道侧压系数 k ，便可以根据公式 (1-6) 计算填料压紧的压力，从而以螺栓上紧力除以螺栓根数得出每根螺栓的载荷。若侧压系数 k 为未知数，则可用 $\sigma_{x_0} = 4.0 \text{MPa}$ (对于石棉类填料) 或 2.5MPa (对于天然纤维类填料) 来计算螺栓载荷或查用下列图表。

表 1-1 某些软填料的侧压系数 k_1 值^[1-6]

填料型式	介质压力 p , MPa							备注
	0.5	1	5	10	30	50	100	
干石棉软绳	0.37	0.37	0.37	—	—	—	—	绳直径为16mm
四氟塑料石墨填料	0.44	0.44	0.44	—	—	—	—	断面尺寸为 16×16mm 及19×19mm
四氟塑料屑制填料	0.55	0.60	0.65	0.65	—	—	—	
片状填料	0.60	0.60	0.65	0.70	—	—	—	
石墨石棉组合填料	0.50	0.50	0.45	0.40	—	—	—	
干棉纱填料	0.92	0.92	0.91	0.90	0.87	0.83	0.76	
调节阀填料	—	—	0.33	0.45	0.60	0.65	0.72	断面尺寸为 6×6mm

表1-1所列为苏联某些填料的侧压系数 k_1 与介质压力 p 的关系数据，在使用时应注意：

对于 $b = 16 \sim 19 \text{mm}$ 填料，侧压系数 $k = k_1$

对于 $b < 16 \text{mm}$ $k = (0.7 \sim 0.75)k_1$

对于 $b > 19 \text{mm}$ $k = \min\{1; (1.25 \sim 1.30)k_1\}$

对于所有浸渍填料 $k = k_1 = 1$ 。

2. 摩擦功耗

由于填料对箱壁是静摩擦，而且填料环的外表面面积大于内表面面积，故此摩擦力大于填料对轴（或杆）的动摩擦力。因此下面只考虑填料对轴（或杆）的滑动摩擦功耗。

软填料和轴（或杆）之间的摩擦力为

$$F_f = [\pi d f_a \cdot p b / (2k f_{st})] (e^{2kf_{st} l/b} - 1) \quad (1-8)$$

式中 f_{st}, f_a 及 p —— 静、动摩擦系数（其值见图1-13及图1-14）及介质压力。

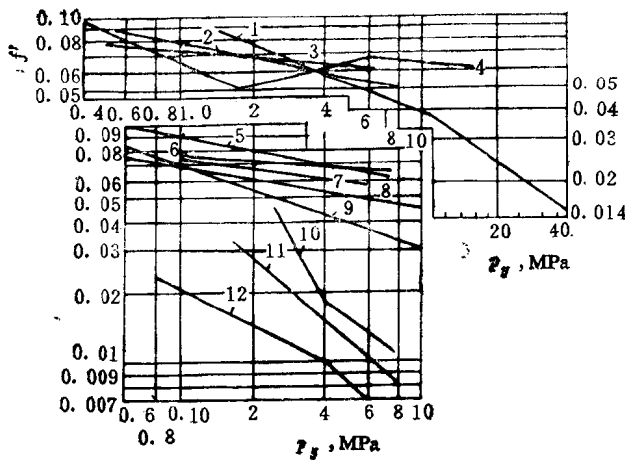


图 1-13 摩擦系数 f' 与轴向压力 p_f 的关系^[1-6]

- 1—调节阀填料和干石棉填料；2—无润滑四氟填料；3—石墨石棉填料；4—干棉纱填料；
 5—石棉绳；6—浸渍麻填料；7—浸油棉纱填料；8—四氟石墨组合填料；
 9—有润滑四氟填料；10—石棉线填料；11—浸油石棉填料；12—片状填料

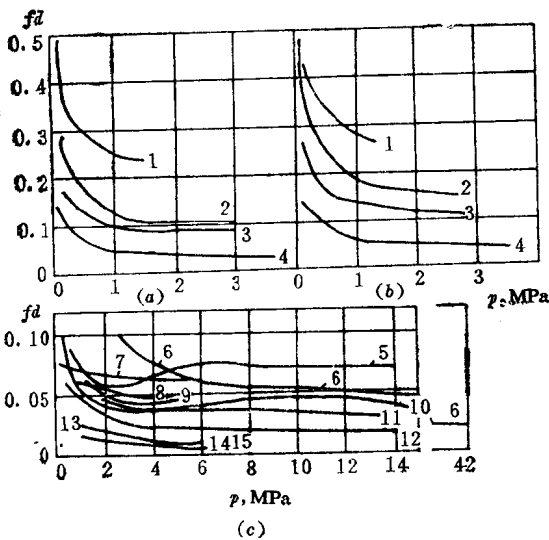


图 1-14 软填料的动摩擦系数 f_d 与压力 p 关系^[1-6]

- 1—石棉绳；2—无润滑 $4F$ 填料；3—四氟乙烯石墨组合填料；4—有润滑四氟乙烯填料；5—干棉纱填料；
 6—调节阀填料和干石棉填料；7—石墨石棉组合填料；
 8, 10—浸渍麻填料；9, 11—浸油棉纱填料；12, 13—浸油石棉填料；14—石棉线填料；15—片状填料
 (a)— $V=0.05\text{m/s}$, $p \leq 4\text{MPa}$ ；(b)— $V=0.35\text{m/s}$, $p \leq 4\text{MPa}$ ；(c)— $V=0.01\text{m/s}$ (曲线 5, 6, 7, 10, 11, 12, 15) 及 $V=2.76\text{m/s}$ (曲线 8, 9, 13, 16) $p \leq 15\text{MPa}$

对于液体密封，泄漏量为

$$Q = \frac{\pi d_2}{12 \mu l} \Delta p h^3 (1 + 1.5 \epsilon^2) \quad (1-11)$$

使用图 1-13, 用 f' 求静摩擦系数时应注意:

对于轴或箱壁表面粗糙度为 $R_a=0.32 \sim 0.63 \mu\text{m} (\nabla 8)$ 时 $f_{st} = f'/k_1$

对于轴或箱壁表面粗糙度为 $R_a=1.25 \sim 2.5 \mu\text{m} (\nabla 6)$ 时 $f = \xi f'/k_1$

对于含石棉的填料 $\xi=1.25$ ；对于含四氟乙 烯的填料 $\xi=1.55$ ；对于棉纱填料 $\xi=1.7$ ；对于浸抗磨剂的填料 $\xi=1.30$ 。

图 1-14 列出软填料的动摩擦系数 f_d 与压力 p 的关系。当轴或杆的线速度不是图 1-14 中所指出的速度时，可以利用直线关系（在 v 与 f_d 之间）用插入法来确定。填料断面尺寸大于 $10 \times 10\text{mm}$ 的干石棉填料型填料可采用石棉型石棉绳的 f_d 值；断面尺寸小于 $10 \times 10\text{mm}$ 时可取用调节阀填料。

根据公式 (1-8) 得到的摩擦力，可以确定摩擦力矩 M_f 和摩擦功耗 N_f ，其中

$$M_f = F_f \cdot r \quad (1-9)$$

$$N_f = M_f \cdot \omega \quad (1-10)$$

3. 泄漏量

软填料密封的泄漏量可以按环形轴向缝隙流的公式计算：

式中 $\Delta p = p_2 - p_1$ —— 填料箱内、外侧压力差；

d_2, l 及 h —— 轴(或杆)径, 填料箱长度及间隙；

μ —— 粘度；

$\varepsilon = e/h$ —— 偏心距 e 与间隙 h 之比。无偏心时 $e=0, \varepsilon=0$, 完全偏心 $1+1.5\varepsilon^2=2.5$, 泄漏量为前者的 2.5 倍。

对于气体密封,

$$\dot{Q} = \pi d h \sqrt{2\rho \Delta p} \quad (1-12)$$

式中 ρ —— 气体密度。

二、软填料密封主要尺寸的确定

1. 填料厚度 b

对于机器 $b = (1.5 \sim 2.5) \sqrt{d}$ (1-13)

对于阀门 $b = (1.4 \sim 2.0) \sqrt{d}$ (1-13a)

2. 填料高度(或长度) h

在未上紧前, 对于机器 $h_0 = (6 \sim 8)b$ (1-14)

对于阀门 $h_0 = (5 \sim 8)b$ (1-14a)

在工作状态下, 填料高度 $h = K_c h_0$ (1-15)

式中 K_c —— 填料压缩系数, 可按图 1-15 查得的系数 K_1 来确定。

对于 $b = 16 \sim 19 \text{mm}$ $K_c = K_1$

对于 $b < 16 \text{mm}$ $K_c = \min\{1; (1.1 \sim 1.2) K_1\}$

对于 $b > 19 \text{mm}$ $K_c = (0.8 \sim 0.9) K_1$

图 1-15 中的 K_1 值应根据估计的压盖压紧压力 $p_H = (2 \sim 2.5)p$ 来选择。

3. 填料箱总高度 H

填料箱总高度为

$$H = h_0 + 2b + h_e \quad (1-16)$$

式中 $h_e = (1.5 \sim 2)b$ —— 封液环(或填料环)的高度。

4. 压盖及底套尺寸

压盖圆筒形部分高度为

$$h_g = (0.4 \sim 0.5) h_0 \quad (1-17)$$

压盖的格兰厚度为

$$h_f = 1.25 d_0 \quad (1-18)$$

底套深度为

对于往复杆 $h_n = \max\{25d/(\sqrt{d} + 10) \text{mm}; 20 \text{mm}\}$ (1-19)

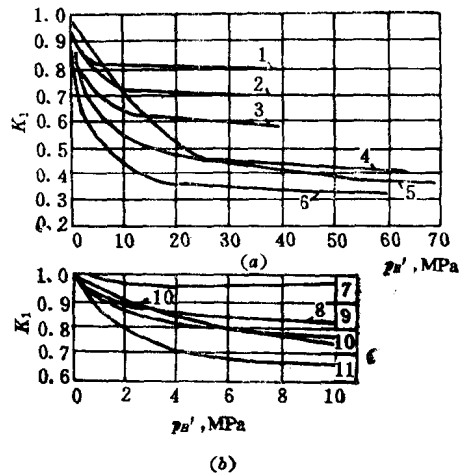


图 1-15 填料压缩系数与压盖压力 p'_H 的关系
 1—AΠ浸渍石棉及AΠP石棉线填料；2—XBΠ浸渍棉纱填料；3—ΠΠ浸渍麻填料；4—XBC干棉纱填料；
 5—AΠPΠC调节阀填料；6—AC干石棉填料；
 7—ΠH片状填料；8—Φ4无润滑四氟乙烯填料；
 9—ΦΓ四氟乙烯石墨组合填料；10—AΓ石墨石棉组合填料；11—AΠΠ石棉绳