

密封垫片 与填料

张向钊

寿震东

编著

机械工业出版社

序 言

流体密封广泛应用于各种工业和国防部门。密封的种类很多，垫片和填料是应用最多的密封型式。随着科学技术的发展，垫片和填料的材质、结构也在不断更新，但迄今国内尚无专著加以概括总结和分析介绍，张向钊、寿震东两位长期从事流体密封研究和实践的高级工程师，根据上述情况编著了本书，填补了这方面的空白。

这是一本实用性很强的著作，它较完整地介绍了密封垫片和填料的类型、结构、材质、性能、制造工艺、适用工况及选用方法等，并提供了翔实的相关数据、图表及典型应用实例。对于近年发展起来的新型密封材料，如柔性石墨、碳素纤维、聚芳酰胺等也都作了阐述。

我相信，本书的出版对于从事流体机械设 备 设 计、制造、操作、维修和管理的人员将是十分有益的，它将有助于解决长期困扰着工业生产的跑、冒、滴、漏的问题，也将有助于广大读者扩大视野，更新技术观念。

杜兆年

于兰州，甘肃工业大学

前 言

近年来，密封技术发展很快，很有总结和介绍的必要。鉴于我国尚无关于密封垫片和填料的专著，故编写了此书。

此书的写作，由张向钊为主执笔，寿震东补充。甘肃工业大学杜兆年教授对书稿作了全面审阅，并作了修改。

美资企业沈阳阳明密封材料有限公司以及沈阳市密封填料厂、长城密封技术协会（保定市）均给予了有力的支持。在编写过程中，征求了同行的意见。对于上述同志和单位，我们表示深深的谢意。

此书力图给读者以实用性的知识，以便解决厂矿企业里的实际密封问题。能否达到目的，有待读者鉴评。

编著者

目 录

绪论	I
第一章 密封垫片概述	5
第二章 软质密封垫片	16
第一节 橡胶密封垫片	19
第二节 石棉密封垫片	21
第三节 石棉橡胶板密封垫片	26
第四节 聚四氟乙烯密封垫片	39
第五节 其它非金属密封垫片	48
第三章 金属与非金属复合密封垫片	50
第一节 金属包覆密封垫片	50
第二节 缠绕式密封垫片	60
第三节 金属贴覆密封垫片	69
第四章 金属密封垫片	72
第一节 金属波形密封垫片	75
第二节 金属平形及齿形密封垫片	76
第三节 金属中空密封环	80
第四节 金属密封环	84
第五章 密封垫片的选型与应用	97
第一节 各种垫片材质的适应温度	97
第二节 密封垫片的预紧密封比压与垫片系数	99
第三节 各种密封垫片适应的流体介质	109
第四节 法兰类型	116
第五节 法兰密封的计算	120

第六节 密封垫片的选用	123
第六章 密封填料概述	131
第七章 编织密封填料的种类	133
第一节 按组成材质分类	133
第二节 按组成结构分类	135
第八章 编织密封填料的特点	140
第一节 编织填料密封与机械密封的比较	141
第二节 编织填料的适应温度范围	141
第三节 编织密封填料的适应线速度和流体压力范围	145
第四节 编织密封填料的压缩性能	148
第九章 密封部位的设计与实例	150
第一节 填料箱尺寸、轴径与密封填料截面宽度的关系	150
第二节 填料箱的结构图例	162
第十章 编织密封填料的应用	175
第一节 选型要点	175
第二节 密封填料选型实例	177
第十一章 编织密封填料的装配与维护	189
第一节 装配前的准备	189
第二节 填料混合装配	193
第三节 装配操作	193
第四节 运转维护	196
第十二章 几种应用广泛的编织密封填料	198
第一节 耐腐蚀性密封填料	198
第二节 耐高温、高压的密封填料	212
第三节 耐高速密封填料	216
第四节 耐磨性密封填料	219
第五节 缓蚀处理的密封填料	221
第六节 柔性石墨编织密封填料	223

第十三章 密封润滑材料	228
第一节 润滑剂在密封产品中的应用	228
第二节 液体润滑剂	232
第三节 固体润滑剂	238
第四节 二硫化钼	245
第五节 石墨	250
第六节 润滑材料的选用	253
附录.....	256
参考文献	269

绪 论

流体的密封装置普遍应用于工业、农业、国防和人们的日常生活之中，可以说任何有流体存在的地方都离不开密封。

随着科学技术的发展，现代工业中具有高温、深冷、高压、高真空、易燃、易爆、剧毒、强腐蚀性、放射性等高参数流体的工况日益增多。这些系统中任何部位的泄漏都会造成严重的危害，因此，对密封提出了更加苛刻的要求。

密封分为静密封和动密封两大类。

静密封也称固定密封，它是指被密封的组件间无相对运动的情况。通常静密封是靠密封垫片来实现的。动密封也称运动密封，它是指工作状态下被密封组件间存在着相对运动的情况。密封填料是实现动密封的主要手段之一。所以，密封垫片与填料在整个密封领域里占有十分重要的地位，其作用是阻止被密封介质的泄漏。

泄漏的形式有两种：界面泄漏和渗透泄漏。

界面泄漏是指流体从密封件（如填料、垫片）与被密封件接触面间的间隙泄漏出来的情况。界面泄漏通常是由于密封面间压紧力松弛，密封件老化、变形、腐蚀、磨损或烧损以及工作状态下存在机械振动等原因造成的。

渗透泄漏是指流体通过密封件本体从其内部的隙缝中泄漏出来的情况。渗透泄漏与密封件的材质种类、制造方法、被密封介质的性质（如分子结构、粘度、浸润性等），以及

工作压力、温度等因素有关。

流体的密封通常都是靠密封面间相互紧密接触，以阻止流体通过来实现的。但是，任何制造或加工方法都不可能形成绝对光滑的理想表面，也不可能实现密封面间的完全吻合，因而在相互接触的密封面间总是存在着细微的间隙或通道，在相连接的组件间放置垫片或填料等密封件并施加压紧力，使其产生弹性或塑性变形以填补、堵塞这些隙缝，从而阻止流体的泄漏。

从理论上讲，即使采用垫片或填料也不可能实现密封面间的完全接触，使之不存在任何微观的缝隙。这些缝隙尽管极其狭小，但相对于流体介质的分子体积却仍是足够大的，因而使流体在被密封侧的边缘处被完全阻止是不可能的，总会有部分流体进入密封接触面之间，并在其中产生复杂的流体力学和热力学过程。目前，对其过程的机理尚未能透彻掌握，一般认为，流体进入密封面间极其细微而又不规则的隙缝后，在其流动过程中将产生阻力损失，以消耗其能量，同时将在这些隙缝的壁面上产生静止的边界层，从而使细小的通道变得更加狭小甚至完全闭塞，使进入密封面间的流体不能继续流动，从而实现密封。

影响垫片及填料密封的因素：

1.密封面的表面状况：密封面的形状及表面粗糙度对密封性有一定影响，表面光滑有利于密封。软质垫片由于它易于变形因而对表面状况不敏感，而对硬质垫片来说，表面状况影响极大。

2.密封面的接触宽度：密封面与垫片或填料的接触宽度越大，则流体泄漏所需通过的路径越长，流阻损失也越大，因而有利于密封。但在相同的压紧力下，接触宽度越大，则

密封比压将减小。所以，要根据密封件的材质情况寻求适宜的接触宽度。

3.流体的性质：流体的粘度对填料及垫片的密封性有很大影响。粘度大的流体由于其流动性差而易于密封。液体的粘度远大于气体，因而液体较气体易于密封。

饱和蒸汽由于它会凝析出液滴而阻塞密封面间泄漏的通道，因而比过热蒸汽易于密封。

流体的分子体积越大，越易于被狭窄的密封间隙所阻塞，从而易于密封。氢气由于其分子体积小，因而较其它气体难于密封。

液体对密封件材料的浸润性对密封也有一定影响。易于浸润的液体，由于垫片和填料内部微孔的毛细作用而易于产生渗透泄漏。

4.流体的温度：温度的高低影响流体的粘度，从而对密封性产生影响。温度升高，液体粘度下降，而气体粘度增大。另一方面，温度的变化常使密封组件产生变形而易于引起泄漏。

5.垫片及填料的材质：软质材料由于其在预紧力作用下易于产生弹性或塑性变形，从而堵塞流体泄漏的通道，因而有利于密封；但软质材料一般不能承受高压流体的作用。

密封材料的耐蚀性、耐热性、致密性、亲水性等都对密封有一定影响。

6.密封面比压：密封面间单位接触面上的法向作用力，称密封面比压。密封面比压的大小是影响垫片或填料密封性的重要因素。通常，通过施加预紧力在密封面上产生一定比压，使密封件产生变形以减小或消除密封接触面间的缝隙，阻止流体通过，达到密封的目的。应当指出，流体压力的作

用会使密封面比压产生变化。

密封面比压的增加虽有利于密封，但受到密封件材料的挤压强度的限制，对于动密封，密封面比压的增加还将引起摩擦阻力的相应增大。

7. 外部条件的影响：管道系统的振动，连接组件的变形，安装位置的偏移等原因都会对密封件产生附加作用力，从而对密封造成不利的影响。

尤其是振动，将使密封面间的压紧力产生周期性变化，使连接螺栓松弛，从而造成密封失效。引起振动的原因可能是外部的，如飞机、船舶、车辆运行中的颠簸，机械设备的运转等；也可能是由于系统内部流体流动而引起的。

要使密封可靠，必须认真考虑上述诸因素，而密封垫片和填料的制造及选用至关重要。

第一章 密封垫片概述

流体工程装置都是由很多组件构成的，为防止在相连接的组件接触面处产生泄漏，通常是在接触面间放置片状密封件，并施加一定的压紧力，利用密封件的弹性或塑性变形使之与被连接件紧密接触，从而防止流体的泄漏。这个密封件即称为密封垫片或密封环。

密封垫片按其材质、形状、应用的压力、温度、介质性质等工况条件以及密封部位的结构，而有不同的分类方法。

按材质不同，可分为非金属密封垫片，即软质密封垫片；金属密封垫片，即硬质密封垫片；金属与非金属复合垫片，其主要品种的名称、材质及适用工况，可参阅表1-1。

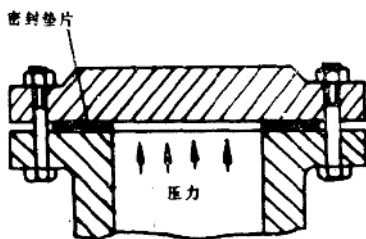
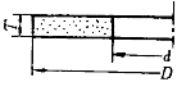
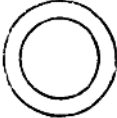
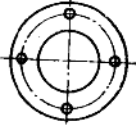
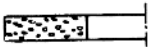
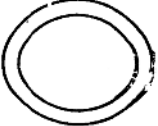
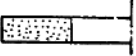


图 1-1

表1-1 密封垫片

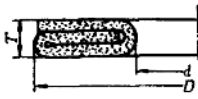
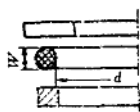
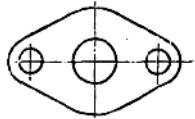
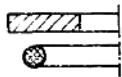
种 类	主要材料	组成材料及结构	名 称	特 点
非 金 属 密 封 垫 片	植 物 材 质	棉纤维和化学纸浆制成纸状, 有的可浸渍乳状橡胶	油 板	1. 适应100℃以下, 1MPa以下的密封部位 2. 需预紧压力小, 法兰、螺栓不要求高强度 3. 适于燃料油、润滑油密封 4. 用乳胶处理的可用于温水密封部位
		棉纤维、化学纸浆等制成纸状, 以氯化锌溶液处理, 粘接在一起	刚 纸	1. 温度、压力与上同 2. 预紧压力比油板要大 3. 在压力作用下, 尺寸变形小 4. 宜作密封垫片或隔板用
	钦 木	以适宜的钦木粒与橡胶混炼, 加热加压成型	钦木垫片	1. 适应温度、压力与油板相同 2. 压缩回弹性好 3. 法兰、螺栓不需要高强度 4. 对密封表面适应性好
	矿 物 纤 维	石棉纤维与少量的粘结剂制成纸或板状, 软质的称为石棉毡	石棉纸 石棉板	1. 石棉纸或板具有透气性, 一般不单独使用 2. 这种纸或板与金属、塑料复合应用
		石棉纤维和橡胶混合加压、加热制成板状	石棉橡胶板	1. 不同品种可适应水、油、碱、弱酸、醇、石油气等流体 2. 压力4 MPa, 温度-180~+450℃可采用 3. 密封面的表面粗糙度应适当选择

的种类及特点

断面形状	代表平面图形号	代表平面图形
	1 2 3 4	 
	5 6	
		

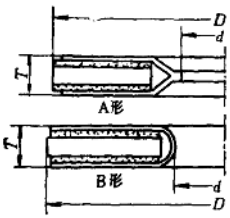
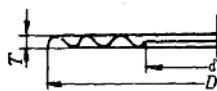
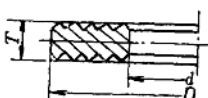
种 类	主要材料	组成材料及结构	名 称	特 点
非 金 属 密 封 垫 片	矿 物 纤 维	石棉布浸渍 PTFE, 经过加热、加压制成需要的形状。石棉布代替石棉毡用	折叠石棉布垫片 (人孔垫)	1. 柔软性好 2. 密封面精度不要求太高 3. 适用锅炉人孔和大口径的法兰、密封 4. 温度400℃以下, 压力4MPa可采用 5. 石棉布等级相差较大, 选型应注意
	橡 胶	根据用途选用不同橡胶, 经加热、加压制成。为增加其强度, 可在中间加棉布或金属网等制成橡胶板	橡胶板或橡胶密封垫片 (O形环)	1. 用于 100℃ 以下, 1MPa以下的密封部位 2. 适应于水、油或其他流体 3. 法兰经加工, 用成形的橡胶密封垫可适应 1.0 MPa
	PTFE	以PTFE板按需要制成不同形状的垫片, 或以PTFE棒、管车削加工成O形环和垫片。为防止蠕变性在PTFE 中加入石墨粉等材料	PTFE 密封垫片	1. 可适应 -150~260℃, 1MPa的各种腐蚀性流体 2. 对产生蠕变的产品, 不宜用平法兰, 可用槽形法兰 3. 应用于10MPa 的密封部位, 但需选择槽形法兰
	塑 料	以PTFE纤维浸渍 PTFE乳液, 经过模具压制成形	PTFE 纤维密封垫片	1. 适应 -150~+260℃ 各种腐蚀性流体 2. 压缩回弹性好, 蠕变性小 3. 气密性差, 不宜用于高压气体或真空部位

(续)

断 面 形 状	代表平面 图 形 号	代表平面图形
 	1 2 3 4	
	1 2 3 4 5 6	
	1 2 3 4 5 6	
	1 2 3 4 5 6	

种 类	主要材料	组成材料及结构	名 称	特 点
非金属密封垫片	橡胶塑料	PTFE 石 棉	PTFE 包覆密封 垫 片	1. 对PTFE的蠕变性能有了改进 2. 中间是弹性物质, 增加了垫片的弹性 3. 增加了密封垫片的耐腐蚀性 4. 可适应 $-150 \sim +260$ °C 2MPa 以下的压力
金属密封垫片	金 属	金属材料经过机械加工制成平形密封垫片	金属平形密封垫片	1. 预紧压力较大 2. 根据选用非金属材料, 耐高温为 $400 \sim 800$ °C
		金属薄板加工成环状, 以模具压制同心圆波形	金属波形密封垫片	比平形垫片的弹性大, 不需要大的预紧压力, 不适用于高压密封部位
		金属平形密封垫片, 两面加工成同心圆的齿状槽	齿形密封垫片	1. 接触面积小, 比平形垫片预紧压力小 2. 可用于高压密封部位
		金属经机械加工成断面为三角形的密封环	三角形密封环	1. 预紧压力与流体压力同时使密封环起到密封作用
		金属经机械加工成断面为圆形的密封环	金属O形环	1. 置于方形槽或三角槽内应用 2. 成为线接触密封

(续)

断 面 形 状	代表平面 图 形 号	代表平面图形
 A形 B形	1 2 3 4	
	1 3 4	
	1 3	
	1	
		
		