

第 29 篇 密 封 件

主 编 徐 灏

编写人 徐 灏

谢里阳

第 1 版

密 封 件

主 编 徐 灏
编写人 谢里阳
邱 海
徐 灏

第 1 章 机械设备的泄漏

在日常生活及工程实际中,泄漏现象屡见不鲜。生产设备的泄漏会造成多方面的危害。设备中工作介质泄漏,会造成物料浪费,有时可能污染环境。易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质泄漏将危及人身安全,引起设备事故。环境中的气、水和粉尘等侵入设备会污染工作介质,影响产品质量或加剧零件磨损,缩短机器寿命。流体机械的内部泄漏会影响容积效率,甚至工作失效。

两方面:一是密封面上有间隙;二是密封两侧有压力差。消除或减小任一因素都可以阻止或减小泄漏。但就一般设备而言,减小或消除间隙是阻止泄漏的主要途径。密封的作用就是将结合面间的间隙封住、隔离或切断泄漏通道,增加泄漏通道中的阻力,或者在通道中加设小型作功元件,使泄漏物质产生压力,与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡,以阻止泄漏。

密封的功能是阻止泄漏。造成泄漏的原因主要有

设备泄漏的分类见表 29.1-1。治漏方法见表 29.1-2。

表 29.1-1 设备泄漏的分类

按泄漏部位	分 类	泄 漏 原 因	举 例	按密封面间是否有相对运动	分 类	泄 漏 原 因	举 例
	接触界面泄漏	1. 接触密封不严密,存在泄漏间隙,或密封摩擦副产生磨损,使泄漏间隙增大 2. 设备内外或密封两侧存在压力差	减速箱漏油,泵轴与填料接触段因磨损而泄漏		静泄漏	指无相对运动的两个零件结合面间的泄漏	箱体、法兰、螺纹、止口、刃口等结合面间泄漏
层内渗透泄漏	工作介质渗入致密性差的密封材料,产生向外或向内的泄漏	真空用致密性差的密封材料,减速机轴的毡圈密封	动泄漏	往复运动泄漏		指有相对往复运动的两个零件结合面间的泄漏 活塞杆与填料间的泄漏	
破坏性泄漏	因使用条件恶化,导致密封件急剧磨损,或高温碳化、热裂、塑性变形以及疲劳破坏等,使泄漏间隙迅速增大	磨损严重、变形大、已老化、腐蚀破坏的密封		回转运动泄漏		指有相对回转运动的两个零件结合面间的泄漏 轴与密封圈间的泄漏	

表 29.1-2 设备治漏方法

方法	内 容	举 例	方法	内 容	举 例
密 封	将结合面间的间隙封住,隔离或切断,增加泄漏通道中的阻力,在通道中加设小型作功元件,对泄漏介质造成压力,与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡,以阻止介质泄漏	如填料密封、机械密封及螺旋密封等	焊 接	将壳体上的砂眼、气孔或裂纹焊牢而止漏	如容器或管道接头上裂纹的补焊等
			修 改	将磨损、变形或其他原因损坏的密封件或其他零件进行适当修理,使之恢复原有的配合精度和原来的尺寸,或将不合理的设备结构、密封方法和润滑方法进行技术改造,做到不漏或少漏	如未经退火或时效处理的铸铁机壳,使用中发生变形,使结合面产生间隙并泄漏,应重新加工修整结合面;把泄漏点多的设备结构改为泄漏点少的结构等
堵 塞	用金属密封垫、非金属密封垫、金属-非金属组合垫、胶粘剂、液态密封胶、厌氧胶、密封胶带等堵塞泄漏通道,以阻止泄漏	如管道法兰间及容器法兰间的密封垫、减速机剖分面间涂密封胶等			
引 流	借外力造成负压,将泄漏物抽回系统,设备运行时工作介质飞溅到机壳上,在泄漏至机外前设法将其引流到机内	如减速机壳体中剖分面上开设回油槽,轴封结构下部加钻回油孔等			

1 硬金属面接触的泄漏

用非金属密封垫密封,由于非金属密封垫的变形,很容易将泄漏堵住。但是在高压密封中,需要金属与金属面相接触,例如球阀等。此时,影响密封性能的因素就很多了。

1) 密封面表面粗糙度 压平表面粗糙度才具有组成封闭环的第一个条件。因为密封面表面粗糙度是根据设计规范和为了保证达到密封副所规定要达到的密封程度(密封等级)所需最经济的工艺手段来确定的,所以是一个规定值,增大粗糙度则密封程度达不到,减少粗糙度,则制造成本增大,不经济。因此,只能以压紧力 P 来压平 R_a 值。

2) 表面波度 是介于宏观形状误差与微观表面粗糙度之间的有规律的波状,在加大压紧力后,粗糙度是塑性变形,波度是弹性变形,可以组成封闭环。

3) 密封面表面不平度 这是宏观形状误差,在表面单位压力小于 σ_s (密封副材料屈服点)时,是不能被克服的。

4) 密封面表面加工纹理 加工纹理有多种形式,但对于密封面来讲最理想的是同心圆状纹理,当为径向或任意向纹理时,必须克服表面粗糙度才能组成封闭环。

5) 密封面宽度 在能形成一个有一定基本宽度的封闭环后就能保持密封,故从某种意义上说密封的可靠性与密封面宽度无关,密封面宽只是组成封闭环的道数多了一些。

6) 密封面吻合度 吻合度本身是一个精细加工的问题,因为不经精细加工的二个面是谈不上吻合度的。

7) 密封件厚度 要求密封副的薄件厚度达到一定值,这样密封件(小值)相对于密封面表面粗糙度,波度和宏观不平度来说都可看作相对刚体,即加力后变形将发生在粗糙度、波度和宏观不平度上将其压平。

8) 密封面单位压力(简称压力) 压力是一个重要的要素,表面粗糙度、波度、密封面宽度等的改变都需相应改变压力值,否则就不能创造能形成封闭环的最低条件。例如上面列举的这些因素改变时,改变压力可以使各种因素达到新的平衡,从而保持密封副的密封性。

9) 密封面二侧压差 压差是一个原始参数,压差的改变将引起一系列因素的变化,密封面单位压力需根据压差的不同而改变,而单位压力的改变又使得表面粗糙度,波度改变。

通过上述分析可知:密封面单位压力、表面不平度和密封面二侧压差三个占主导地位的独立因素是对密封副密封性有决定性作用的主要因素。

2 微观泄漏

上述的泄漏一般属于宏观泄漏,此外,还有微观泄漏,微观泄漏有:

1) 一对摩擦-密封副因上述三大要素未达到密封要求造成吻合不良,未形成微观吻合封闭环和近似理想平面而引起的泄漏。

2) 因密封副带载滑移时,压裂表面污染膜造成新生金属粘结,未形成多层介质分子排列组成的微观吻合环,而形成泄漏通道引起的泄漏。

3) 介质是有压力的,介质分子要楔入密封面,当介质分子因撞击力(或斥力)楔入密封面污染膜,由于介质分子沿一侧全长上的薄弱点不断楔入,剪切并穿透污染膜层(从一侧穿透至另一侧)而引起泄漏。

要克服微观泄漏就必须保持接触面的吻合。但当二个理想平面接触时,实际上真实接触面积很小,因此为了保持密封性,在宏观吻合面范围内必须有一圈封闭的微观吻合环,它的形状由于表面微观不平度的影响,一般说来不可能为正圆,在吻合环上不存在间隙,沟槽和毛细通道。在某种程度上说,密封的可靠性与密封面宽度无关,只需能造成封闭环,使封闭环达到基本宽度,并由所加的单位压力产生大于介质压力的反力,或宽的近似理想平面的单位降压作用使介质分子不能穿越密封面,即可保持密封,克服微观泄漏的密封,称为微观密封。理论上讲,微观密封可保持“零泄漏”。

对于真空系统的密封,除上述介质通过密封面泄漏外,还要考虑下面两种泄漏形式:

1) 渗漏 在压差作用下,介质通过密封件材料的毛细管的泄漏。

2) 扩散 在浓度差作用下,介质通过密封间隙或密封材料的毛细管产生的物质传递。首先密封件通过吸附作用吸收气体,气体在密封件中扩散,再从密封件的另一侧析出。

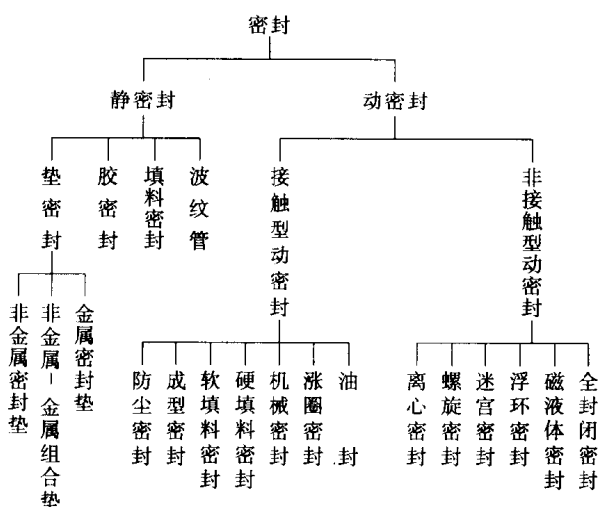
第 2 章 密封的分类

1 密封的分类

密封可分为静密封和动密封两大类。静密封主要有垫密封、密封胶密封和直接接触密封三大类。根据工作压力,静密封又可分为中低压静密封和高压静密封。中低压静密封常用材质较软宽度较宽的垫密封,高压静密封则用材质较硬接触宽度很窄的金属垫片。动密封可以分为旋转密封和往复密封两种基本类型。按密封件与其作相对运动的零部件是否接触,可分为接触式密封和非接触式密封;按密封件的接触位置又可分为圆周密封和端面密封,端面密封又称为机械密封。动密封中的离心密封和螺旋密封,是借助机器运转时给介质以动力得到密封,故有时称为动力密封。

根据密封结构的类型、密封机理、密封件形状和材料等,密封可按表 29.2-1 分类。

表 29.2-1 密封的分类



2 密封的选型

对密封的基本要求是密封性、安全可靠、寿命长,并应力求结构紧凑,系统简单,制造维修方便,成本低廉,大多数密封件是易损件,应保证互换性,实现标准化、系列化。

各种型式的密封,都有其特点和使用范围,设计密封时应先进行分析比较。表 29.2-2 列出了各种常用密封方法的特征,表 29.2-3 为动密封的种类与应用范围。

3 密封设计中的几个问题

3.1 密封用材料

密封材料应满足密封功能的要求。由于被密封的介质不同,以及设备的工作条件不同,要求密封材料具有不同的适用性。对密封材料的要求是:①材料致密性好,不易泄漏介质;②有适当的机械强度和硬度;③压缩性和回弹性好,永久性变形小;④高温下不软化、不分解,低温下不硬化、不脆裂;⑤抗腐蚀性能好,在酸、碱、油等介质中能长期工作,其体积和硬度变化小,且不粘附在金属表面上;⑥摩擦系数小,耐磨性好;⑦具有与密封面贴合的柔软性;⑧耐老化性好,经久耐用;⑨加工制造方便,价格便宜,取材容易。显然,任何一种材料要完全满足上述要求是不可能的,但具有优异密封性能的材料能够满足上述大部分要求。

橡胶是最常用的密封材料,除橡胶外,适合于做密封材料的还有石墨带、聚四氟乙烯以及各种密封胶等,表 29.2-4 列出密封材料的分类和用途。

表 29.2-2 常用密封方法的特征

密封类型	使用条件		耐压性	耐高速性	耐热性	耐寒性	耐久性	用途	备注
	往复运动	转动							
填料密封	良	良	良	良	良	可	可	泵、水轮机、阀、高压釜	可用缠绕填料、编织填料或成型填料
O形圈密封	良	可	良	可-良	可-良	可	可	活塞密封	可广泛用作静密封,此时耐久性良好
Y形圈密封	优	×	优	良	良-可	可	可	活塞密封	有时作静密封

(续)

密封类型	使用条件		耐压性	耐高速性	耐热性	耐寒性	耐久性	用途	备注
	往复运动	转动							
机械密封	×	优	优	优	优	优	优	泵、水轮机、高压釜、压气机、搅拌机	可用不同的材料组合,包括金属波纹管密封
油封	(可)	优	可	优	良-可	可	可	轴承密封	或与其他密封并用,防尘
分瓣滑环密封	可	良	优	优	优	优	优	水轮机、汽轮机	多用石墨作滑环
迷宫式密封	优	优	优	优	优	优	优	汽轮机、泵、压气机	往复用时,宜高速,低速不用
浮动环密封	可	良	优	优	优	优	优	泵、压气机	
离心密封与螺旋密封	×	优	良	良	良	良	优	泵	
磁流体密封	×	优	可	优	良	优	优	压气机	只用于气体介质

表 29.2-3 动密封的种类与应用范围

种类		真空 (绝对压力) /MPa	压力 (表压) /MPa	工作温度 /C	线速度 /m·s ⁻¹	漏泄率 /m·h ⁻¹	使用期限	应用举例		
接 触 型	压紧填料密封	1.33×10^{-3}	31.38	-240~600	20	10~1000	—	清水离心泵,柱塞泵、阀杆密封		
	成型填料	挤紧型	1.33×10^{-7}	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	6个月~1年	液压缸、水压缸	
		唇型	1.33×10^{-9}							
	橡胶油封	油封	—	0.29	-30~150	12	0.1~10	3~6个月	轴承封油与防尘	
		防尘油封								
	硬填料密封	往复	—	294.20	-45~400 ^①	—	—	3个月~1年	活塞杆密封	
		旋转						6个月~1年	航空发动机主轴密封油	
	胀圈密封	往复	1.33×10^{-3}	300	—	12	0.2%~1% 吸气容积	3~6个月	汽油机、柴油机、压缩机、液压缸、航空发动机主轴密封油	
		旋转		0.2						
	机械密封	普通型	1.33×10^{-7}	7.85	-196~400 ^①	30	0.1~150	6个月~1年	化工用、电厂用、炼油厂用的离心泵	
液膜		—	31.38	-30~150	30~100	100~5000	1年以上	大型泵、透平压缩机		
气膜			1.96	不限	不限	—		航空发动机		
非 接 触 型	迷宫密封		1.33×10^{-5}	19.61	600	不限	大	3年以上	蒸汽透平、燃气透平、迷宫活塞压缩机	
	动 力 密 封	离心密封	背叶轮	1.33×10^{-3}	0.25	0~50	30	—	1年以上	矿浆泵
			甩油环	—	0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油与防尘
		油封 防尘								
	密 封	螺旋密封	螺旋密封	1.33×10^{-3}	2.45	-30~100	30	—	取决于轴 承寿命	轴承封油、鼓风机封油
			螺旋密封 迷宫密封	—			70			锅炉给水泵辅助密封
其 他	铁磁流体密封 全封闭密封	(1.33×10^{-13})	(4.12)	(-50~90)	(70)	—	—	—		

① 凡使用橡胶件者,适用温度同成型填料。

3.2 加工工艺

良好的加工工艺和成型工艺是保证密封件尺寸精度、表面特性以及提高抗腐蚀和耐磨能力的有效手段。与密封有关的加工工艺包括模压、浸渍、喷涂、烧结、焊接、电镀和表面热处理等。同一材料,如果处理工艺不同,其特性会有很大的差别。就密封件制造中最常用的模压工艺来说,如果压出来的成品在形状、尺寸等方面误差很大,分型面上存在飞边、毛刺,对于密封都是很不利的。以橡胶O形圈为例,它是靠给定的压缩变形量来保证密封的,如果由于尺寸精度差而保证不了必要的压缩变形量,就会出现泄漏。此外,由于O形圈是以预拉伸状态安装于密封部位,当运动摩擦发热时,O形圈不是膨胀,而是收缩(拉伸状态下的橡胶受热收缩,称为焦尔效应),这也可能使工作时的压缩变形量减小而发生泄漏。因此,设计时必须严格控制尺寸精度,并应考虑到各种影响因素,例如,与密封件相接触的零件的尺寸精度、表面粗糙度及纹理方向等。

3.3 摩擦、磨损与润滑

摩擦和磨损是接触型动密封中必然存在的问题。接触型动密封的密封件与被密封件相接触,由于有相对运动而产生摩擦,导致发热和零件表面的磨损,这是引起泄漏及密封件损坏的主要原因。因此,润滑方式与润滑剂的选择就成了密封设计中必须慎重考虑的问题。一般都选择自润滑方式,例如浸渍各种润滑剂的填料、浸渍石墨以及采用摩擦系数小的聚四氟乙烯等。当介质具有润滑性时,则用介质本身润滑。

表 29.2-4 密封材料分类和用途

类别	材料	用途	
液体	高分子材料	液态密封胶、厌氧胶、热熔型密封胶	
纤维	植物纤维	棉、麻、纸、软木	垫片、软填料、防尘密封件、夹布橡胶密封件
	动物纤维	毛、毡、皮革	垫片、软填料、成型填料、油封、防尘密封件
纤维	矿物纤维	石棉	垫片、软填料
	人造纤维	有机合成纤维、玻璃纤维、碳纤维、陶瓷纤维	软填料、夹布橡胶密封件
弹性体	橡胶	合成橡胶、天然橡胶	垫片、成型填料、油封、软填料、防尘密封件、全封闭密封件
	塑料	氟塑料、尼龙、聚乙烯、酚醛塑料、氯化聚醚、聚苯硫醚	垫片、成型填料、油封、软填料、硬填料、活塞环、机械密封、防尘密封件、全封闭密封件
无机材料	密封胶	液态密封胶、厌氧胶	垫片、导管联接、螺纹密封
	柔性石墨	天然石墨	垫片、软填料、密封件
	碳石墨	焙烧碳、电化石墨	机械密封、硬填料、动力密封、间隙密封
金属	工程陶瓷	氧化铝瓷、滑石瓷、金属陶瓷、氧化硅、硼化铬	
	有色金属	铜、铝、铅、锌、锡及其合金	垫片、软填料、机械密封、迷宫密封、硬填料、间隙密封
	黑色金属	碳钢、铸铁、不锈钢、堆焊合金、喷涂粉末	垫片、硬填料、机械密封、活塞环、间隙密封、防尘密封件、全封闭密封件、成型填料
	硬质合金	钨钴硬质合金、钨钴钛硬质合金	机械密封
	贵金属	金、银、钨、钼	高真空密封、高压密封、低温密封

第 3 章 垫 密 封

垫密封广泛用于管道、压力容器以及各种壳体的接合面的静密封中。密封垫有非金属密封垫、非金属与金属组合密封垫和金属密封垫三大类。其常用材料有橡胶、皮革、石棉、软木、聚四氟乙烯、铁、钢、铝、铜和不锈钢等。

1 垫密封的泄漏

垫密封的泄漏有三种形式：界面泄漏、渗透泄漏和破坏性泄漏。其中以前二者为主。

产生界面泄漏的原因有：结合而粗糙和变形；密封垫没有压紧；压紧结合面的螺栓变形、伸长；密封垫发生塑性变形；密封垫材料老化、龟裂、变质等。界面泄漏常占总泄漏量的 80%~90%。

用棉、麻、石棉、皮革、纸等纤维素质制成的密封垫，其组织疏松，致密性差，纤维间具有微缝隙，很容易被介质浸透，在压力作用下，介质从高压侧通过这些微缝隙渗透到低压侧，形成渗透泄漏，它占总泄漏的 10%~20%。减少渗透泄漏的办法，可将密封作浸渍处理，常用的浸渍材料有油脂、橡胶及合成树脂等。橡胶也会发生渗透泄漏，其中以异丁橡胶的渗透泄漏最少，用异丁橡胶作的密封垫，可用在 1.33×10^{-6} Pa 的真空下。氯丁橡胶、丁腈橡胶可用在 1.33×10^{-1} Pa 的真空下。

2 密封垫的类型

各类机器设备尤其是各类压力容器、管道和阀门等广泛使用垫片密封结构。最简单的垫片为平垫片，整个垫片为同一材料组成，作机械设备一般接合面的静

密封，如减速箱剖分面的密封等。

理想的垫片结构应表层为塑性层，而内层为弹性体，塑性表面层保证密封面相互紧贴甚至嵌合，而内层允许补偿密封面的少许分离并在密封面上经常保持一定大小的压缩应力。许多组合垫片的出现都是基于这一思路或稍有改型，但原理是一样的。例如聚四氟乙烯 (PTFE) 具有塑性好，有优异的抗化学腐蚀性和较宽的工作温度范围 ($-190 \sim 250^\circ\text{C}$)，广泛用于静密封平垫，但由于回弹性较差以及冷流倾向，限制了单纯的使用，采用组合结构可以克服这一弊端，如表 29.3-1 所示的各种外部包封 PTFE，内部填充压缩石棉板、橡胶板 (或嵌金属薄板) 等形成的“三明治”结构垫片。这种结构一方面可以保护垫片免遭流体介质的腐蚀或者避免食品、医药工业产品接触污染，另一方面改善了单纯用 PTFE 带来的回弹差及冷流问题。

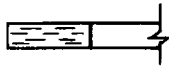

表 29.3-1 给出了常用密封垫片种类及其适用范围。

3 密封垫


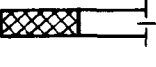




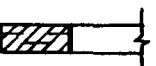
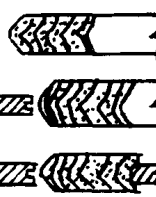
3.1 石棉橡胶密封制品

我国石棉资源丰富，石棉经机械或化学处理可使其松解，充分松解的石棉纤维，抗拉强度较高表面积较大，吸附性能良好，不能燃烧，耐热性能好，最高安全使用温度为 $500 \sim 550^\circ\text{C}$ ，这个温度范围基本能满足工业上的需要，而且石棉价廉，其缺点是石棉的粉尘对环境污染，对人体有危害，要注意环境保护。







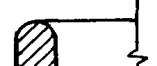
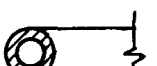
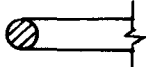
表 29.3-1 常用密封垫种类、材料及适用范围

形式	种类	材料	适用范围		
			压力/MPa	温度/°C	介质
非金属密封垫	纸垫片 	软钢纸板	<0.4	<120	燃料油，润滑油，水等
	橡胶垫片 	天然橡胶	1.33×10^{-10} ~0.6	$-60 \sim 100$	水，海水，空气，惰性气体，盐类水溶剂，稀盐酸，稀硫酸等
		普通橡胶板		$-40 \sim 60$	空气，水，制动液等

(续)

形式	种类	材料	适用范围		
			压力 /MPa	温度 /C	介质
非金属密封垫	夹布橡胶垫片 	夹布橡胶	≈0.6	-30~60	海水,淡水,空气,润滑油和燃料油等
	皮垫片 	牛皮或浸油、蜡、合成橡胶、合成树脂、牛皮		-60~100	水,油,空气等
	软聚氯乙烯垫片 	软聚氯乙烯板	≤1.6	<60	酸碱稀溶液及氨,具有氧化性的蒸汽及气体
	聚四氟乙烯垫片 	聚四氟乙烯板	≤3.0	-180~250	浓酸,碱,溶剂,油类
非金属密封垫	橡胶石棉垫片 	高压橡胶石棉板	≤6.0	≤450	空气,压缩空气,惰性气体,蒸汽,氨,变换气,焦炉气,裂解气,水,海水,液态氨,冷凝水,≤98%硫酸(质量分数),≤35%盐酸(质量分数),盐类,硝氨液,硫氨液,甲胺液,烧碱,氟里昂,氢氰酸,卡普隆生产介质,聚苯乙烯生产介质
		中压橡胶石棉板	≤4.0	≤350	
		低压橡胶石棉板	≤1.5	≤200	
		耐油橡胶石棉板	≤4.0	≤400	油品(汽、柴、煤、重油等),油类,容量(包括丙烷、丙酮、苯、酚、醛、异丙醇),(质量分数)小于30%的尿素,氢气,硫化催化剂,润滑油,碱类
	聚四氟乙烯包垫片 	聚四氟乙烯薄膜包橡胶石棉板或橡胶板	≤3.0	-180~250	浓酸、碱、溶剂、油类
组合密封垫	夹金属丝(网)石棉垫 	铜(钢或不锈钢)丝和石棉交织而成			内燃机用
	缠绕垫片 	金属带:紫铜,铝,0.8(15)钢,2Cr13,0Cr13,1Cr13,1Cr18-Ni9Ti 非金属带:石棉带,聚四氟乙烯带,陶瓷纤维等	≤6.4	≈600	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐,载体,酸、碱、盐溶液,液化气,水

(续)

形 式	种 类	材 料	适 用 范 围		
			压 力 /MPa	温 度 /C	介 质
组 合 密 封 垫	金属包平垫片 	金属:紫铜,软钢, 铝、不锈钢,合金钢 非金属:石棉板, 橡胶石棉板,聚四氟 乙烯板,陶瓷纤维	≤6.4	≈600	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、碱溶液,液化气,水
	波形金属包垫片 				
金 属 密 封 垫	金属平垫片 	紫铜,铝,铅,软 钢,不锈钢,合金钢	1.33×10^{-16} ~20	≈600	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、盐溶液,液化气,水
	金属齿形垫片 	10(08)钢,铝,合 金钢,1Cr13(0Cr13)	≥4.0	≈600	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、盐溶液,液化气,水
	金属八角垫 	10 钢, 1Cr13, 合 金钢, 不锈钢等	≥6.4	≈600	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、盐溶液,液化气,水
	金属透镜垫 				
	金属椭圆垫 				
	金属空心O形圈 	铜,铝,低碳钢,不 锈钢,合金钢	真空~高压	低温~高温	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、碱溶液,液化气,水
金属丝垫 	铜丝,无氧铜丝, 高纯铝丝,金丝,银 丝	1.33×10^{-16}	-196~450	蒸汽,氢气,压缩空气,天然气,裂 解气,变换气,油品,溶剂,渣油,蜡 油,油浆,重油,丙烯,烧碱,熔融盐 载热体,酸、碱、碱溶液,液化气,水	

石棉橡胶密封制品可分成以下3类：①垫片类——使用在管道法兰和容器法兰上的板状和片状密封制品；②垫圈类——使用在泵、阀、釜上的模压成型、密封制品；③盘根类——使用在泵、阀、釜上的绳状和绒状密封制品。石棉橡胶密封制品主要产品如表 29.3-2 所示：

表 29.3-2 石棉橡胶密封材料制品

石棉橡胶密封制品	垫片类	石棉橡胶板
		耐油石棉橡胶板
		增强石棉橡胶板
		石棉钢片
		石棉橡胶板垫片
		复合垫片
		缠绕式垫片
		石棉石墨铜丝布
		石棉橡胶铜丝布
		石棉乳胶板
		钢架石棉复合板
		汽缸密封垫片
	石棉炉门圈	
	盘根类	橡胶石棉盘根
		铅片盘根
		石棉橡胶垫圈
	垫圈类	旋塞衬套
		波形垫圈
自密封垫圈		
		缓蚀型制品

石棉橡胶板是用石棉、橡胶、配合剂经辊压而成的管法兰、高压容器法兰及各种接触面所用的密封材料。

石棉橡胶板因配料、工艺、性能及用途不同，可分 XB450、XB350 和 XB200 三个牌号，习惯上又分别称为高压石棉橡胶板（高压板）、中压石棉橡胶板（中压板）和低压石棉橡胶板（低压板）。XB450 石棉橡胶板可以用作密封高温高压（温度 450℃，压力 6.0MPa）的水、饱和蒸汽、过热蒸汽、空气、煤气以及其它惰性气体等。并可用来密封常温高压下的汽油、煤油、润滑油和酒精等；XB350 石棉橡胶板可用于温度 350℃，压力 4.0MPa 以下密封水管和蒸汽管道等；XB200 石棉橡胶板可以用来密封一般水暖设备及低压水管和蒸汽管道等。

XB450、XB350、XB200 石棉橡胶板单张成型厚度一般不超过 3mm，超过 3mm 石棉橡胶板允许贴合。厚度为 1.5 及 1.5mm 以下的 XB450、XB350、XB200 石棉橡胶板皆采用卷装，厚度为 1.5mm 以上的皆采用平摊包装。无论卷装和平装，外层都有包装物包裹，不得裸露。

主要技术条件和试验方法如下：

1) 表面颜色 XB450 为紫色；XB350 为红色；

XB200 为黑色。

2) 厚度及贴合原则 石棉橡胶板的厚度见表 29.3-3，厚度允许偏差及贴合原则见表 29.3-4。

3) 宽度和长度 各种石棉橡胶板的尺寸根据成型机设备条件来确定。国内产品的最大宽度为 2000mm；一般为 1300mm×4000mm。宽度和长度的允许偏差为±5%。

4) 机械性能 石棉橡胶板的力学性能应符合表 29.3-5 规定。

表 29.3-3 石棉橡胶板的厚度及贴合原则

规格/mm	品 种		
	XB450	XB350	XB200
0.3	+	-	-
0.4	+	-	-
0.5	+	+	+
0.6	+	+	+
0.8	+	+	+
1.0	+	+	+
1.2	+	+	+
1.5	+	+	+
2.0	+	+	+
2.5	+	+	+
3.0	+	+	+
3.5	+	+	+
4.0	+	+	+
4.5	-	+	+
5.0	-	+	+
5.5	-	+	+
6.0	-	+	+

注：- 无此规格；+ 有此规格。

表 29.3-4 厚度允许偏差和贴合原则

厚度允许偏差	0.5~1.0 为±0.10；1.5~2.0 为±0.15；2.5~3.0 为±0.20；3.0 以上为 0.25		
两点间厚度差	0.5~1.0 为±0.10；1.5~2.0 为 0.15；2.5~3.0 为 0.20；3.0 以上为 0.22		
贴合原则	2.5~4mm 的可用贴合法制作	3.0~6.0mm 的可用贴合法制作	3.5~6.0mm 的可用贴合法制作

表 29.3-5 石棉橡胶板机械性能

牌号	XB450	XB350	XB200
指标名称			
横向抗拉强度 /MPa ≥	20.0	12.5	7.0
压缩率(%)	15±5	12±5	12±5
回弹率(%) ≥	45	40	35
老化系数 ≥	0.9	0.9	0.9
烧失量(%) ≤	28	30	30
密度/g·cm ⁻³	1.6~2.0	1.6~2.0	1.6~2.0
柔软性	无裂纹	无裂纹	无裂纹
蒸汽密封性	温度为 440~450℃；压力为 11.0~12.0MPa 保持 30min	温度为 340~350℃；压力为 7.0~8.0MPa 保持 30min	温度为 195~200℃；压力为 2.5~3.0MPa 保持 30min

注：密封性能由生产厂保证，不做批量试验。

3.2 耐油石棉橡胶板

耐油石棉橡胶板是以石棉、耐油橡胶和配合剂为主要原料经辊压而成的管法兰、高压容器法兰及各种接触面所用的密封材料。耐油石棉橡胶板按标准可分为 NY300 耐油石棉橡胶板(简称 300 耐油板)和 NY400 耐油石棉橡胶板(简称 400 耐油板)两个牌号。①300 耐油板,适用于燃油、石油基润滑油及冷气系统等作密封垫片。中小型航空发动机常用 300 耐油板作密封垫片。②400 耐油板适用于 400℃、压力 4.0MPa 的油品、溶剂、碱类介质。作密封垫片;大型航空发动机和火箭常用 400 耐油板作密封垫片。

耐油石棉橡胶板的表面颜色无规定。按标准规定,300 耐油板的厚度为 0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0、2.5 和 3.0mm 等 10 种。400 耐油板为 1、2、3mm 等 3 种规格。

耐油板的最大尺寸一般为 1300mm×1300mm。

耐油石棉橡胶板的抗拉强度见表 29.3-6。

表 29.3-6 耐油石棉橡胶板的抗拉强度指标

试 样 条 件	横向抗拉强度/MPa	
	300 耐油板	400 耐油板
室温(15~30℃)	≥13.0	—
温度 150±2℃、在 20 号航空润滑油中保持 24h 后取出,在室温下放置 30min	≥11.0 ^①	≥28.0
室温(15~30℃)在喷气燃料(1 号或 2 号)或 75 号航空汽油中保持 24h	≥8.0	≥15.0

① 该试样不允许起泡。

3.3 增强石棉橡胶板

随着石油、化工、航空和国防等的发展,高温高压和超高温高压设备、管理及高速、小体积、大功率发动机的出现,一般石棉橡胶板已不能满足需要,应具有耐高温、耐高压、耐油类、不燃、弹性好、能适应温度、压力的较大波动等特征,并应具有较长的使用寿命和优良的密封性能。因此,只有增强石棉橡胶板和下述的石棉钢片,缠绕式垫片等才能满足这些要求。

增强石棉橡胶板是由石棉橡胶板和一层或多层镀锌钢丝网(或不锈钢丝网)组成的。一般分耐油增强板和高压增强板两种。钢丝网的层数与制品的厚度有关,一般地说凡制品厚度每增加 1mm 就应增加一层钢丝网,钢丝网应夹在石棉橡胶相应的二等分、三等分处,以增加拉伸强度,使之能耐高温和高压。在温度和压力高的场合宜采用薄垫片。薄垫片能起到金属垫片的作用,也可以说能起到“平面与平面”直接密封的作用,这时密封面的粗糙度和平整度应该很高。增强石棉橡胶板厚度一般不超过 3mm。

3.4 石棉橡胶板垫片

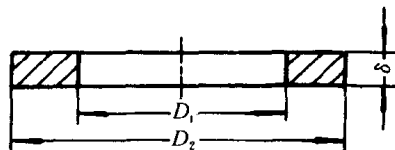
石棉橡胶板垫片是以耐油石棉橡胶板、石棉橡胶板,增强石棉橡胶板以及钢架石棉复合板经加工而成的各种成型的垫片。石棉橡胶板垫片可用于光滑面、凹凸面及榫槽面管道法兰和压力容器法兰等处作密封材料。

1) 光滑面用 光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于公称压力 $p_s=0.25、0.6、1.0、1.6$ 及 2.5MPa 的系统。垫片尺寸见表 29.3-7 规定。垫片外径、内径的允许偏差应符合表 29.3-7 规定。

2) 凹凸面用 凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于公称压力 $p_s=1.6\sim6.4$ MPa 的系统。垫片尺寸见表 29.3-9 的规定。垫片内径、外径允许偏差见表 29.3-10。

表 29.3-7 光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸

(mm)



(续)

公称通径 D_N	垫片内径 D_1	公 称 压 力 /MPa					垫片厚度 σ
		0.25	0.6	1.0	1.6	2.5	
		垫 片 外 径 D_2					
10	15	39	39	46	46	46	3
15	19	44	44	51	51	51	
20	26	54	54	61	61	61	
25	33	64	64	71	71	71	
32	39	76	76	81	81	81	
40	46	86	86	92	92	92	
50	59	96	96	107	107	107	
65	78	116	116	127	127	127	
80	91	132	132	142	142	142	
100	110	152	152	162	162	168	
125	135	182	182	192	192	195	
150	161	207	207	218	218	225	
200	222	262	262	273	273	285	
250	276	317	317	328	330	340	
300	328	373	373	378	385	400	
351	381	423	423	438	445	456	
400	430	473	473	490	495	516	
450	485	523	523	540	555	566	
500	535	578	578	595	616	623	
600	636	680	630	695	733	740	
700	724	785	785	810			
800	824	890	890	916			
900	924	990	990	1016			
1000	1024	1090	1090	1126			
1200	1224	1290	1306	1340			
1400	1424	1400	1526	1546			
1600	1624	1700	1726	1770			
1800	1824	1900	1930	1970			
2000	2024	2100	2136	2180			

表 29.3-8 光滑面管道法兰用石棉橡胶板垫片
外径、内径的允许偏差 (mm)

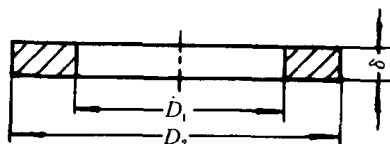
公称通径 D_N	外径 D_2	内径 D_1	偏 心 距
10~50	+0	+0	1.0
	-1.0	-1.0	
65~200	+0	+0	1.0
	-1.5	-1.5	
225~1000	+0	+0	1.6
	-2.0	-1.5	

3) 榫槽面用 榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片适用于 1.6~6.4MPa 的系统, 垫片尺寸按表 29.3-11 的规定。榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片内径、外径、允许偏差见表 29.3-12。

3.5 复合垫片

石棉橡胶板和增强石棉橡胶板等制作的垫片, 具有耐高温、高压、好的弹性、高的强度、较小的垫片系数

表 29.3-9 凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸 (mm)



(续)

公称通径 D_N	公称压力/MPa		垫片厚度 δ	公称通径 D_N	公称压力/MPa		垫片厚度 δ
	1.5~6.4				1.6~6.4		
	垫片内径 D_1	垫片外径 D_2			垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	
10	15	34	3	125	135	175	3
15	19	39		150	161	203	
20	26	50		200	222	259	
25	33	57		250	276	312	
32	39	65		300	328	363	
40	46	75		350	381	421	
50	59	87		400	430	473	
65	78	109		450	485	523	
80	91	120		500	535	575	
100	110	140					

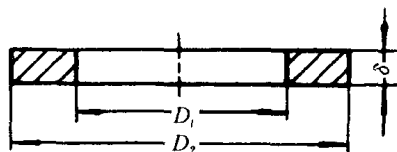
表 29.3-10 凹凸面管道法兰用石棉橡胶板垫片内径、外径允许偏差

(mm)

公称通径 D_N	外径 D_2	内径 D_1	偏 心 距
10~50	+0 -1.0	+0 -1.0	1.0
65~200	+0 -1.5	+0 -1.5	1.0
225~1000	+0 -2.0	+0 -2.0	1.6

表 29.3-11 榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片尺寸

(mm)



公称通径 D_N	公称压力/MPa		垫片厚度 δ	公称通径 D_N	公称压力/MPa		垫片厚度 δ
	1.6~6.4				1.6~6.4		
	垫片内径 D_1	垫片外径 D_2			垫片内径 D_1	垫片外径 D_2	
10	24	34	3	125	155	175	3
15	29	39		150	183	203	
20	36	50		200	239	259	
25	43	57		250	292	312	
32	51	55		300	343	363	
40	61	75		350	395	421	
50	73	87		400	447	473	
65	95	109		450	497	523	
80	106	120		500	549	575	
100	129	149					

(2.0~3.5)和较小的压力(11.0~45.0MPa)等特性。但是石棉和橡胶的耐化学腐蚀性能较差,因此用它们所制作的垫片用于化学工业等设备上受到很大的限制。聚四氟乙烯具有极为优良的耐化学腐蚀性能,但其耐热性较差,易产生“冷流”,且价格较贵。

复合垫片就是利用聚四氟乙烯和其它非金属垫片各自的优点,复合制成能在 270℃ 以下使用的较理想的管道法兰和高压容器法兰等处用的垫片。

复合垫片的制作,主要是聚四氟乙烯套的加工。在所密封的介质温度较高、压力较大,或者容器中真空度

较大时,不宜采用有三角形空间的V型结构垫片,而应采用U型结构垫片。V型复合垫片的结构如图29.3-1所示。

表 29.3-12 榫槽面管道法兰用石棉橡胶板垫片
内径、外径允许偏差 (mm)

公称通径 D_N	外径 D	内径 d	偏心距
10~50	+0 -1.0	+0 -1.0	1.0
65~200	+0 -1.5	+0 -1.5	1.0
225~1000	+0 -2.0	+0 -2.0	1.6

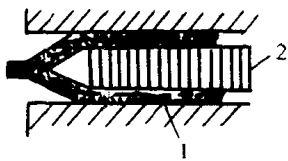


图 29.3-1 复合垫片的结构

1—聚四氟乙烯;2—石棉橡胶板、增强石棉橡胶板、炉门圈和橡胶等中任选一种

3.6 缠绕式垫片

缠绕式垫片是以槽型耐热合金钢带与非金属带条相互间隔连续缠绕而成,具有优良的密封性能,且能耐高温高压的多道密封垫片。广泛使用于各种管法兰和高压容器法兰。

用于缠绕式垫片的耐热合金钢带有 0Cr13、0Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni12Mo2Ti、00Cr18Ni10、蒙乃尔合金以及铜、铝等,一般常用铬钢或镍铬钢,亦可用镀锌软钢带(08F)来制作。

非金属带条作填充物,已由传统的绝热石棉纸、耐油石棉橡胶板而发展到使用聚四氟乙烯、膨胀聚四氟乙烯、柔性石墨、石棉乳胶纸等。

柔性石墨是近 20 年来研制成功的新密封材料,因其具有耐高温、耐腐蚀、抗老化以及柔韧性和回弹性好等特点,故以它作为填充材料的金属缠绕垫在石油化工管道和设备中得到了广泛的应用。

3.7 盘根

习惯上将绳状及绒状密封材料称作盘根,除橡胶类石棉盘根外,还有油浸棉盘根、油浸麻盘根、油浸石棉盘根、铅(铝)箔扭合石棉盘根、聚四氟乙烯石棉盘根以及石棉绒状高压盘根等等。

试验证明,盘根、垫圈和垫片都会对金属发生腐蚀现象,这种腐蚀现象一般都是以点腐蚀形式出现,不锈钢轴、杆和法兰同样会发生腐蚀现象。盘根和垫片相比,盘根对轴、杆的腐蚀影响远较垫片对法兰面的腐蚀

影响大,危害性严重。盘根的密封性能和对金属的腐蚀程度是决定盘根质量优劣的标志。

橡胶石棉盘根系用石棉布或石棉线,以橡胶为粘结剂,经折叠或编织而成的密封填料,它适用于温度为 450℃ 以下,压力为 6.0MPa 以下的阀门中作密封材料。

芳纶盘根是以芳纶为主体材料与其它材料进行复合加工而成。这种密封材料具有强度高、耐磨性好的优点,芳纶纤维是一种体轻而强度高的纤维,可作为耐高压、耐磨密封制品的材料,见表 29.3-13。

表 29.3-13 几种增强纤维的物性比较

	密度 /kg·m ⁻³	抗拉 强度 /MPa	抗拉 模量 /MPa ×10 ⁴	伸长率 (%)	比强度 ^① /MPa	比模量 ^② /MPa ×10 ⁴
芳 纤	1.45	2800	13.4	2.3	1931	9.2
硼 纤 维	2.60	3500	40.0	0.9	1346	15.4
高 强 度 碳 纤 维	1.74	3500	24.0	1.5	2011	13.8
高 模 量 碳 纤 维	1.81	2500	40.0	0.6	1381	22.1
玻 璃 纤 维	2.54	2450	7.0	3.1	965	2.8

① 比强度=强度/密度;

② 比模量=模量/密度。

以芳纶为主体制成的盘根,有优良的密封性,使用寿命长,化学稳定性及耐热性良好等优点,但价高。为了降低成本,可与碳纤维或聚四氟乙烯纤维等混合制造。

4 密封垫的特征参数

为了正确地进行密封垫的设计,必须保证表征密封垫的性能的两个重要参数满足工作要求。这两个参数是最小有效压紧力设计值 Y 和垫片系数 m 。

(1) 最小有效压紧力设计值 Y

密封垫是靠外力压紧而产生弹性或塑性变形,从而填满法兰面上微小的凸凹不平来实现密封。如果压力太小,垫片没有压紧就不能止漏。但压紧力太大往往又会使垫片产生过大的压缩变形甚至破坏。为了正确地使用垫片,必须采用能恰好保证密封的最小压紧力。

图 29.3-2 是垫片工作时的变形情况。开始压缩阶段,垫片压紧力 F 随着压缩量 δ 的增长而迅速增大,当达到 (F_0, δ_0) 点后卸载,载荷一开始接近直线下降,然后斜率逐渐减小,至较低应力时,压力和回弹量的关系是非线性的,垫片有一定的回弹能力。即外加压紧力为 F_0 , 垫片的初压缩量为 δ_0 。设垫片的受压面积为 A_g , 则垫片所受的平均预紧压应力 σ_{g0} 为

$$\sigma_{g0} = F_0 / A_g \quad (29.3-1)$$

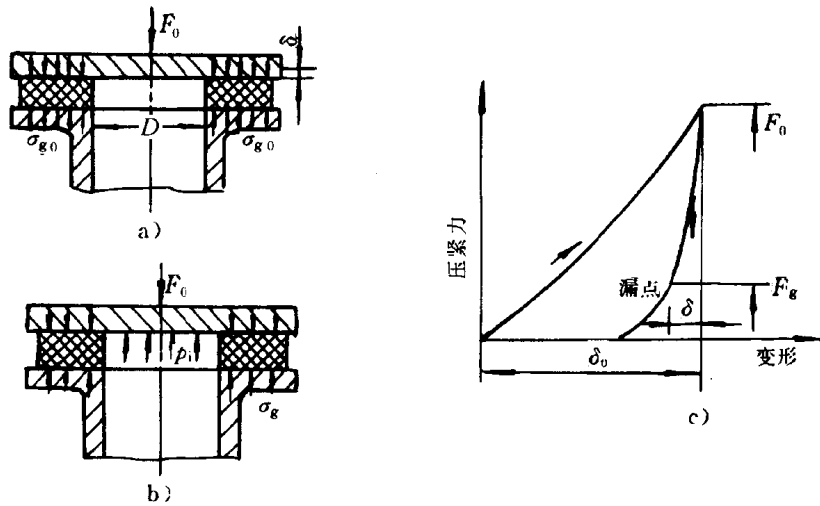


图 29.3-2 密封垫工作时变形情况

此时管内无内压(见图 29.3-2a)。

若管道内压为 p_i (见图 29.3-2b),总压力为 $\frac{\pi}{4}D^2 p_i$,方向与 F_0 相反。在此压力作用下,垫片被放松回弹,回弹量为 δ ,垫片上的压紧应力减小为

$$\sigma_g = \frac{F_0 - \frac{\pi D_c^2}{4} p_i}{A_g} \quad (29.3-2)$$

通过实验,可以得出密封垫的密封特性曲线(图 29.3-2)。压紧后的垫片放松到一定程度时即出现泄漏,在密封特性曲线上反映这一点的是 σ_c 。也就是说垫片密封所需的最小压紧应力为 σ_c 。 σ_c 对应于一定的内压 p_{ic} ,当预紧压应力小于 σ_c 时,垫片不能做到有效的密封,所以 σ_c 是垫片密封与未密封的分界点(也称为“漏点”),是压紧程度的最低极限。

在图 29.3-3 的下方是内压作用下的有效压紧应力曲线。 σ_c 对应的点就是最小有效压紧应力,它是一个

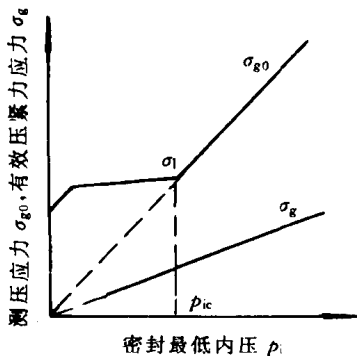


图 29.3-3 垫片的密封特性

极限值,在工程应用时应加以一定的安全系数。把加过安全系数的最小有效压紧应力,作为选用和计算密封垫时的设计值,简称 Y 值。

Y 值是密封垫的固有价值,只与密封垫本身的材料、形状有关,而与介质的种类及内压的大小无关。通常密封垫生产厂都在样本或产品说明书中给出 Y 的推荐值,或者各部门根据长期使用经验规定出标准值。

密封的最小有效压紧应力设计值 Y 并没有反映管道内介质工作压力的影响,因而作为选用密封垫的准则是不完善的,还需引用另一个重要参数——垫片系数 m 。

(2) 垫片系数

内压的影响主要表现在使压紧垫片的螺栓伸长,因而法兰面之间的间隙增大,使预紧状态下的垫片回弹,垫片的变形量减小。因此,在最小预紧压应力 σ_c 的作用下,垫片能封住一定的内压(σ_c 所对应的横坐标点),但当内压超过此值时垫片就不能做到密封。

当管道无内压时,预紧力是由螺栓压紧形成的。螺栓受拉力,设总拉力为 F_{b0} ,垫片受压力,压紧力的大小与螺栓拉力大小相等,方向相反。在数值上有 $F_{g0} = F_{b0}$ (见图 29.3-4a)。

内压作用后使法兰分离,于是对螺栓附加了一个拉力,其值为(见图 29.3-4b)

$$\frac{\pi}{4} D_c^2 p_i \quad (29.3-3)$$

式中 D_c ——垫片的有效直径

于是,在泄漏开始发生时,垫片的有效压紧应力与内压之比

$$\sigma_g / p_i = m \quad (29.3-4)$$

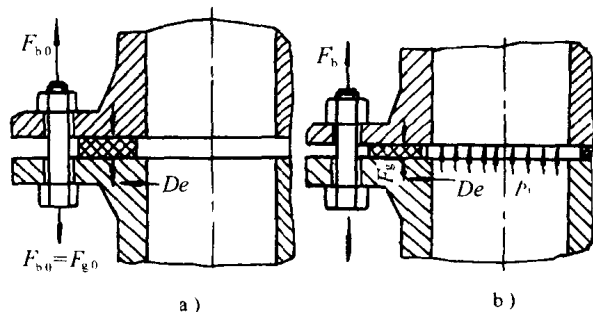


图 29.3-4 垫片的作用力

m 称为“垫片系数”。它与垫片的种类、尺寸、形状、环境温度、介质压力以及法兰密封面的表面粗糙度等因素有关。表 33.2-1 所示为几种密封垫片的试验数据。

垫片系数 m 是设计、选择密封垫的重要参数。保证密封的必要条件是：

$$\sigma_g \geq m p_i \quad (29.3-5)$$

实际上，在设计垫密封时，密封垫的最小压紧应力 Y 和垫片系数 m 必须同时满足，即应符合下面条件

$$A_g \geq A_c p_i / (Y - m p_i) \quad (29.3-6)$$

式中 A_c ——有效承压面积

这里 A_c 和 p_i 在使用条件下是给定的，而垫片系数 m 和 Y 值可以在表 29.3-14 和密封垫产品样本中查到，因此利用式(29.3-6)就能计算垫片的尺寸。

表 29.3-14 垫片系数 m 试验值(介质为水)

垫片种类	预紧压应力 σ_{g0} /MPa	泄漏开始时压力 p_i /MPa	有效压紧应力 σ_g /MPa	垫片系数 $m = \sigma_g / p_i$
橡胶密封垫 (试件尺寸： $\phi 75\text{mm} \times$ $\phi 61\text{mm} \times$ 1.6mm)	5.40	1.5	2.46	1.64
	7.18	2.5	3.27	1.63
	15.0	5.0	4.80	0.96
石棉橡胶板 (试件尺寸： $\phi 75\text{mm} \times$ $\phi 61\text{mm} \times$ 1.6mm)	2.09	0.3	1.52	5.10
	4.26	0.7	2.93	4.20
	10.0	3.3	4.97	1.65
	20.0	8.0	7.20	0.91
纸垫(试件尺寸： $\phi 75\text{mm} \times$ $\phi 61\text{mm} \times$ 1.6mm)	2.09	0.6	0.92	1.53
	2.42	0.7	1.06	1.51
	3.96	1.2	1.62	1.35
缠绕密封垫 (试件尺寸： $\phi 60\text{mm} \times$ $\phi 48\text{mm} \times$ 5mm)	10.0	0.5	9.1	18.2
	20.0	0.6	18.9	31.6
	30.0	1.1	28.0	25.5
	40.0	2.3	35.0	12.0
	50.0	6.4	38.7	6.2
	60.0	10.0	42.3	4.2

5 密封垫的选用

密封垫的选用原则是：对于要求不高的场合，可凭经验来选取，不合适时再更换。但对那些要求严格的场合，例如易爆、剧毒和可燃性气体以及强腐蚀的液体设备、反应罐和输送管道系统等，则应根据工作压力、工作温度、密封介质的腐蚀性及其结合密封面的形式来选用。

一般来讲，在常温低压时，选用非金属软密封垫；中压高温时，选用非金属与金属组合密封垫或金属密封垫；在温度、压力有较大波动时，选用弹性好的或自紧式密封垫；在低温、腐蚀性介质或真空条件下应考虑密封垫的特殊性能。这里特别需要说明的是法兰情况对垫片选择的影响。

(1) 法兰形式的影响

法兰形式不同，要求使用的垫片也不同。光滑面法兰一般只用于低压，配软质的薄密封垫；在高压下，如果法兰的强度足够，也可以用光滑面法兰，但应该用厚软质垫，或者用带内加强环或外加加强环的缠绕密封垫。在这种场合，金属垫片也不适用，因为这时要求的压紧力过大，导致螺栓较大的变形，使法兰不易封严。如果要用金属垫片，则应将光滑面缩小，使其与垫片的接触面积减小。这样，在螺栓张力相同的情况下，缩小后的窄光滑面的压紧应力就会增大。

(2) 法兰表面粗糙度的影响

法兰表面粗糙度对密封效果影响很大，特别是当采用非软质垫片时，密封表面粗糙度是造成泄漏的主要原因之一。例如，车削法兰面的刀纹是螺旋线，使用金属垫片时，如果粗糙度值较大，垫片就不能堵死刀纹所形成的这条螺旋槽，在压力作用下，介质就会顺着这条沟槽泄漏出来。软质密封垫对法兰面的光洁程度要求低得多。这是因为它容易变形，能够堵死加工刀纹，从而防止了泄漏。对软质垫片，法兰面过于光滑反而不利，因为此时发生界面泄漏的阻力变小了。所以，垫片不同，所要求的法兰面的粗糙度也不相同。表 29.3-15 列出了各种密封垫所要求的法兰表面粗糙度的经验数据。

(3) 法兰与垫片的硬度差

使用垫片的目的在于使垫片产生弹性或塑性变形以填满法兰面微小凸凹不平，阻止泄漏发生。因而应使垫片材料的硬度低于法兰材料的硬度，二者之间相差越大，实现密封就越容易。当使用金属垫片时，为了保证实现密封，应尽可能选用较软的材料，使金属垫片的硬度比法兰硬度低 40HB 以上为宜。

表 29.3-16 为石油部垫片选用标准。

表 29.3-17 为橡胶石棉板厚度及适用范围。