

高等学校教材

化工设备密封技术

吕瑞典 编



石油工业出版社

高等学校教材

化工设备密封技术

吕瑞典 编

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工设备密封技术/吕瑞典编.

北京:石油工业出版社,2006.7

高等学校教材

ISBN 7-5021-5581-3

I. 化…

II. 吕…

III. 石油化工—化工设备—密封—高等学校—教材

IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 067259 号

化工设备密封技术

吕瑞典 编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:12.75

字数:323 千字 印数:1—1800 册

定价:19.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

为适应过程装备与控制工程专业和机械工程及自动化专业教学的需要,作者在总结多年教学和科研工作经验基础上,编写了本书。

本书以石油化工设备常用密封为对象,较为系统地介绍了设备密封的结构特点、工作原理和设计方法。其中第1、2、3、4章介绍了静密封,第5、6、7章介绍了动密封,并结合了目前炼化厂存在的实际问题,第8、9、10章分别介绍了不停车堵漏技术、在线泄漏检测技术和密封评价管理系统。书中还介绍了作者在石油化工设备密封技术方面的研究成果。

本书由吕瑞典编写,由周锡容、李君裕教授主审。杨启明教授在教学组织和教材试用方面做了大量的工作。西南石油大学硕士研究生尤文卿参与了第9、10章的资料整理和编写工作,并负责了全书文字处理和插图的绘制。

在本书的编写过程中,得到了魏建才等研究生的帮助,他们在资料收集、插图及文字处理、课件制作等方面付出了辛勤劳动,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 泄漏与密封	1
1.1 泄漏	1
1.2 密封的分类	1
1.3 化工生产与密封	2
1.4 密封的选型	4
第 2 章 垫片密封	6
2.1 垫片密封的结构	6
2.2 垫片的种类及性能	7
第 3 章 法兰密封	22
3.1 法兰密封面	22
3.2 法兰垫片的回弹性与特性参数	24
3.3 法兰密封计算	28
3.4 影响法兰密封的因素与垫片的选用	32
3.5 高温法兰防漏措施	34
3.6 法兰密封应用实例	36
第 4 章 高压密封	39
4.1 平垫密封	39
4.2 卡扎里密封	40
4.3 楔形密封	40
4.4 伍德密封	41
4.5 双锥密封	42
4.6 C 形环密封	43
4.7 空心金属 O 形环密封	44
4.8 B 形环密封	46
4.9 八角垫密封和椭圆垫密封	47
4.10 三角垫密封	48
4.11 平垫自紧密封	49
第 5 章 填料函密封	51
5.1 密封结构及原理	51
5.2 力的分布与计算	52
5.3 填料函结构的改进——反压自调平衡式填料函结构	55
5.4 填料对材料的要求及其形式	57
5.5 填料函的结构形式	63
5.6 填料函的结构设计	65

5.7	填料密封的安装和使用	67
5.8	膨胀石墨的应用	69
5.9	组合填料的应用实例	71
5.10	阀门的填料结构	72
5.11	成型填料	74
第6章	机械密封	79
6.1	机械密封的工作原理	79
6.2	机械密封的类型	80
6.3	机械密封的主要参数	84
6.4	机械密封设计	98
6.5	机械密封的辅助措施	108
6.6	机械密封材料	113
6.7	釜用机械密封	120
6.8	延长机械密封使用寿命的措施	122
6.9	机械密封的应用及改造实例	123
第7章	非接触式密封	126
7.1	浮环密封	126
7.2	迷宫密封	140
7.3	螺旋密封	146
第8章	不停车堵漏	160
8.1	概述	160
8.2	不停车堵漏的基本原理和方法	161
8.3	卡具设计	167
8.4	密封剂	168
8.5	不停车堵漏的安全施工	170
第9章	泄漏检测技术	173
9.1	引言	173
9.2	检漏方法的分类和特点	173
9.3	压力检漏法	176
9.4	真空检漏法	187
第10章	密封系统的评价与管理	190
10.1	单个密封系统的综合评判	190
10.2	多个密封系统综合评判模型	194
10.3	密封件的管理	195
参考文献		197

第 1 章 泄漏与密封

现代工业对密封的可靠性提出了越来越高的要求。密封失效不仅会造成巨大的经济损失,而且会污染环境,甚至酿成重大人员伤亡事故。日本炼油行业近 10 年来的燃烧爆炸事故调查结果表明,其灾难性事故 70% 以上是由于泄漏造成的。1986 年,美国“挑战者号”航天飞机因固体助推火箭上一个 O 形密封圈失效,造成燃料泄漏而爆炸的事件引起了世界范围内的巨大震动。近年来,许多工业发达国家设立专门研究机构,投入大量人力和资金,就密封机理、密封材料、元件性能、连接设计方法及泄漏检测等展开了一系列研究,取得了较大进展。

1.1 泄漏

泄漏是机械设备常见的故障之一。造成泄漏的原因主要有两个方面:一是机械加工存在的问题,机械产品的表面必然存在各种缺陷及形状、尺寸偏差,因此,在机械零件连接处不可避免地会产生间隙;二是密封两侧存在压力差,工作介质就会通过间隙而泄漏。消除或减少任一因素都可以阻止泄漏。密封的作用就是将接合面间的间隙封住、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做功元件,对泄漏物质造成压力,与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡,以阻止泄漏。

对于真空系统的密封,除上述密封介质直接通过密封面泄漏外,还要考虑下面两种泄漏形式。

(1) 渗漏。即在压力差作用下,被密封的介质通过密封件材料的毛细管的泄漏称为渗漏。

(2) 扩散。即在浓度差作用下,被密封的介质通过密封间隙或密封材料的毛细管产生的物质传递称为扩散。在真空系统中习惯称为“密封材料的放气”。首先,密封件通过吸附作用吸收气体,然后气体在密封件中扩散,从密封件的另一侧析出。

真空密封的泄漏量与密封形式、密封材料、密封面加工精度及装配质量等因素有关。

密封作用的有效性用“密封度”来衡量。密封度可以用单位时间内介质的体积或质量的泄漏量,即泄漏率来表示。密封的泄漏量为零的理想情况称为“零泄漏”。一般来讲,静密封可能达到零泄漏,但对于动密封,由于接触密封面的任何相对位移都会给接合表面上的粗糙处泄漏介质创造条件,要达到零泄漏是特别困难的。工程上常对重要密封规定密封度的许用值。

密封性能是评定机械产品质量的一个重要指标。设备中的工作介质或润滑剂的泄漏,会造成浪费并污染环境;易燃、易爆、剧毒、腐蚀性、放射性物质的泄漏,会危及人身及设备的安全;环境中的气体、灰尘、水等进入机械设备内会导致轴承、齿轮等过早地磨损报废,漏入化工装置内会影响化工产品纯度;流体机械内部泄漏会影响容积效率等。化工企业连续生产中的密封故障是造成非计划停车的主要原因。据统计,60% 的非计划停车事故与密封故障有关。

1.2 密封的分类

密封可分为相对静止接合面间的静密封和相对运动接合面间的动密封两类。

静密封主要有垫片密封、胶密封和法兰密封三大类。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、较宽的垫片密封,高压静密封则用材料较硬、接触宽度很窄的金属垫片密封。

动密封可以分为旋转密封和往复密封两种基本类型。按密封件与其相对运动的零部件是否接触,可以分为接触式密封和非接触式密封。一般来说,接触式密封的密封性好,但受摩擦磨损限制,适用于密封面线速度较低的场合。非接触式密封的密封性较差,适用于较高速度的场合。在接触式密封中,按密封件的接触位置又可分为圆周(径向)密封和端面(轴向)密封。端面密封又称为机械密封。

非接触动密封有迷宫密封和动力密封等。前者是利用流体在间隙内的节流效应限漏,泄漏量较大,通常用在级间密封等密封性要求不高的场合。动力密封有离心密封、浮环密封、螺旋密封等,是靠动力元件产生压头抵消密封两侧的压力差以克服泄漏,它有很高的密封性,但能耗大,且难以获得高压头。非接触式密封,由于密封面不直接接触,功率消耗小,寿命长,如果设计得合理,泄漏量也不会太大。但这类密封是利用流体力学的平衡状态而工作的,如果运转条件发生变化,就会引起泄漏量的波动变大。通常,市场上不能直接购买到这类密封件,基本上都是由用户自行设计。

根据密封的结构形式、密封机理、密封件形状和材料等,密封的分类见表 1-1。

表 1-1 密封 的 分 类

密封	静密封	垫片密封	非金属垫片密封
			金属垫片密封
		胶密封	
		填料密封	
		波纹管	
	动密封	接触型动密封	填料密封
			成型填料密封
			油封
			防尘密封
			机械密封
		非接触型动密封	迷宫密封
			离心密封
			浮环密封
			螺旋密封
			磁流体密封

1.3 化工生产与密封

1.3.1 化工生产的特点

化工生产有以下特点:

(1)化工生产技术复杂、多样。化工产品种类繁多。化工产品生产过程主要是化学反应,或是在高温高压或是在低温下进行分解、化合和聚合,因而化工生产技术多样、复杂。

(2)化工生产具有明显的制约性。化工生产往往在大量生产一种产品的同时,还有许多副产品,它们多数是气态和液态的中间产品,稳定性差,难保存,易变质,在生产和使用之间,在时间和空间上,存在着很强的制约性。如果生产衔接不好,不仅造成资源浪费,而且会发生泄漏,污染环境,危害社会。因此,需要各种密封技术。

(3)化工生产过程具有严格的比例性和连续性。生产过程的比例性、连续性是现代大工业生产的共同要求。化工生产的比例性是由化工生产的工艺原理所决定的。化工生产主要是连续生产,要求设备长周期运转,任何一个环节出故障,都有可能使生产过程中断,造成损失。

1.3.2 化工生产对密封的要求

化工生产对密封主要有下列要求:

(1)密封可靠、泄漏少。化工生产的物料大多为有毒、易燃、易爆物质,发生泄漏不但会造成经济损失,而且还会引起人身中毒、污染环境等,因此要求密封件可靠,泄漏量少。

(2)耐腐蚀性。化工生产中大多为腐蚀介质,因此密封件一定要耐介质的腐蚀。

(3)密封件要有一定的使用寿命。为了保证化工生产连续进行,密封件必须有一定的使用寿命,一般使用期至少应保持一个生产周期。

(4)安装调整方便。

(5)密封件品种多样,便于选取。为满足化工生产对密封的多种要求,应有多种结构的密封或多种密封接合的组合式密封结构。

(6)价格便宜。

1.3.3 密封管理的重要性

化工企业的密封管理是提高企业管理水平,特别是设备管理水平的重要内容,也是提高企业经济效益的重要手段。

(1)提高装置运转周期。加强密封管理,消除泄漏,保持设备状态良好,可有效地提高生产装置和单机的出力率和运转率。生产实践证明,加强密封管理,严格按照规章制度进行操作,同样的设备装置,大修周期可延长三四年,运行率显著提高,大大增加企业的经济效益。

(2)降低消耗、节约能源。加强密封管理,减少水、电、气、油及物料的消耗,可以达到以节约求增产的目的。

(3)减少污染、消除公害。化工生产过程中产生的泄漏,是恶化操作环境、造成污染的一个主要方面,工作场地的污染,既严重威胁工人的身体健康,又严重影响生产。

(4)是实现安全生产的保证。据日本对石油化工联合企业灾害事故的统计,在化工装置全部 786 起事故中,由泄漏引起的多达 332 起,占事故总数的 42%。从装置类别上分析,产生泄漏最多的部位为配管(包括阀门和泵等),约 137 起,占全部事故的 17.43%,占泄漏事故的 41.27%。又如发生在印度博帕尔市美国联合碳化物公司农药厂的异氰酸钾毒气泄漏,造成 2500 余人死亡,12 万人终身残疾。墨西哥城的石油管道泄漏爆炸事故也造成灾难性的后果。

在国内化工企业中,由于泄漏引起的事故也时有发生。如 1985 年某厂聚氯乙烯车间聚合釜单体泄漏,导致车间爆炸,使 860m² 的二层厂房夷为平地,造成 5 人死亡、1 人重伤,直接损

失 12 万元。1987 年某化肥厂由于合成岗位压缩六段与合成系统接头阀门法兰处泄漏,达到爆炸极限后引起车间爆炸。某大型化肥厂因合成车间废热锅炉大法兰泄漏,被迫停产检修,造成严重经济损失。

综上所述,抓好密封管理,消除泄漏,是保证安全生产的重要措施之一。

1.4 密封的选型

虽然密封件是设备中的附件,但密封的好坏对整台设备的效率和性能都有很大的影响,它在一定程度上反映出产品的质量水平。个别密封的失效,所造成的损失可能是密封件本身价格的千万倍。

对密封的基本要求是密封性好,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,应保证互换性强,实现标准化、系列化。

各种类型的密封,均有其自身的特点和使用范围,设计密封时应先进行分析比较。表 1—2 列出了各种常用密封类型的特征。表 1—3 为动密封的种类与其应用范围。

密封件应根据与密封部件相关的工作情况(动、静)和工作环境(温度、压力等)以及工作介质的性质来选用相应的材质、类型。

表 1—2 常用密封类型的特征

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	良	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	活塞密封	有时作静密封
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	可	可	可	轴承密封	或与其他密封元件并用,防尘
滑环密封	可	良	优	优	优	优	优	水轮机、汽轮机	多用石墨做滑环
迷宫式密封	优	优	优	优	优	优	优	汽轮机、泵、压气机	往复同时,宜高速;低速不用
浮环密封	可	良	优	优	优	优	优	泵、压气机	
离心密封	×	优	良	良	良	良	优	泵	
螺旋密封	×	优	良	良	良	良	优	泵	
磁流体密封	×	优	优	优	良	优	优	压气机	只用于气体介质

表 1-3 动密封的种类与应用范围

种 类		真空(绝压) MPa	压力(表压) MPa	工作温度 ℃	线速度 m·s ⁻¹	泄漏率 mL·h ⁻¹	使用期限	应用举例
接 触 型	压紧填料密封	1.33×10 ⁻⁷		-240~600	20	10~1000	6个月~1年	清水离心泵、柱塞泵、阀杆密封
		1.33×10 ⁻⁹		-45~230	10	0.001~0.1		油压缸
	成型填料			-30~150	12	0.1~10	3~6个月	轴承封油与防尘
		防尘油封						
	橡胶密封			-45~400			3个月~1年	活塞杆密封
		往复						
	填料密封			-196~400	30	0.1~150	6个月~1年	化工用、电厂用、炼油厂用的离心泵
		旋转						
	机械密封	1.33×10 ⁻⁷		-30~150	不限	100~5000	1年以上	大型泵、透平压缩机
		液膜						
气膜								
迷宫密封		1.33×10 ⁻⁵		600	不限	大	3年以上	蒸汽透平、燃气透平、活塞压缩机
浮环密封	液膜		31.38		80	内漏	1年以上	泵、化工透平
	气体		0.98	-30~150	70	<8300	约1年	制氧机
非 接 触 型		背叶轮		0.25	0~50	30		矿浆泵
		离心密封			0	不限	不限	轴承封油与防尘
			甩油环					
		动力密封		1.33×10 ⁻³		2.45	-30~100	30
螺旋密封		螺旋密封		70				
磁流体密封		1.33×10 ⁻¹³		4.12	-50~90	70		锅炉给水泵辅助轴承

第2章 垫片密封

垫片密封通常是指由容器、管道等的连接件和垫片组成的静密封的一种结构形式。

化工企业中,垫片密封随处可见。例如,设备上的人孔、手孔、视孔、大盖法兰连接处、各种工艺线、仪器仪表接管与设备、机、泵、阀门法兰等连接处,都有这类结构。在化工设备中,垫片密封占静密封的很大部分。

垫片密封在现代工业中占有很重要的地位。密封失效造成的跑、冒、滴、漏严重影响生产的连续性,密封的好坏直接关系到生产安全,因此,垫片密封的发展越来越受到人们的重视。垫片密封技术的发展是随着压力容器的发展而发展的,应用范围越来越广。随着现代工业特别是石油化学工业、原子能工业、大型电站的兴起,压力容器向高温、高压、高真空、深冷和大型化发展,对垫片密封提出新的要求,各种新型结构和新型材料不断出现,解决了许多长期存在的难题。例如,柔性石墨(亦称膨胀石墨)垫片一经问世,就以其优良的密封性能得到推广应用。

2.1 垫片密封的结构

图2-1所示为垫片密封的结构。在上、下法兰之间放入垫片并拧紧螺栓后,法兰将垫片压紧。当通入介质后,泄漏的途径有两条:一是通过垫片内部渗漏;二是通过垫片与两法兰之间泄漏。前者称为渗透泄漏,后者称为界面泄漏。当采用具有毛细孔的疏松材料做垫片时,易产生渗透泄漏。渗漏与介质的物性有关。例如,采用石棉橡胶板做密封垫片,当温度和压力相同时,介质为空气,压力升至0.588MPa即产生泄漏;介质为水,压力升至2.94MPa,仍未见水滴。显然,气态物质分子直径小,粘度也小,易渗漏并不易被发现。为克服渗漏,常在易渗漏材料中加入填充剂以填满孔隙。但高压时,垫片内的微孔会扩张;高温的作用会使填充剂老化、失效,介质粘度降低也会加速渗漏。因此,在高温、高压以及密封低粘度介质时,需采用非渗透材料(如金属)制作垫片。

在化工企业,界面泄漏是密封失效的主要原因,它与法兰密封面的选择、加工精度、垫片的尺寸和材料性能、紧固方法和压缩程度等因素密切相关。所以,解决界面泄漏较为困难。要防止界面泄漏,必须设法减小泄漏通道和增加泄漏通道上的阻力,并使之大于由密封面两侧压差所产生的泄漏推动力。

诚然,绝对的无泄漏是没有的。在任何密封处均存在泄漏,只是泄漏量不同而已。若泄漏量极微,以至人们感觉不到,仪器亦无法显示,或是低于某个允许值,则认为密封完好。此允许值与介质的毒性、放射性、易燃易爆程度有关。危害性大的介质,其允许泄漏值极小,一般介质则稍大。

按密封垫片受力情况,可分为强制式密封、自紧式密封和半自紧式密封三类。

强制式密封完全靠外力(如螺栓)对垫片施加载荷实现;自紧式密封主要利用介质的压力对垫片施加载荷;上述两种方法兼而有之者,则称为半自紧式密封。

按操作压力,密封可分为中低压密封、高压密封和超高压密封:

$0.098 < p < 9.8 \text{ MPa}$ (绝压)时为中、低压密封;其中, $p \leq 1.568 \text{ MPa}$ 时为低压密封;

9.8 $\leq p < 98$ MPa 时为高压密封；

$p \geq 98$ MPa 时为超高压密封。

典型的垫片密封结构一般由连接元件和垫片组成，不同的连接元件组成各种不同的密封结构。图 2-1 属于强制式、中低压密封结构。图 2-2 属于高压自紧式密封结构。垫片的初始压紧力靠螺栓施加，随着介质压力的提高，垫片所承受的压力也增大。

自紧式密封结构一般多用于高压。用于中、低压结构时，自紧作用不明显，泄漏率较高，故不宜使用。

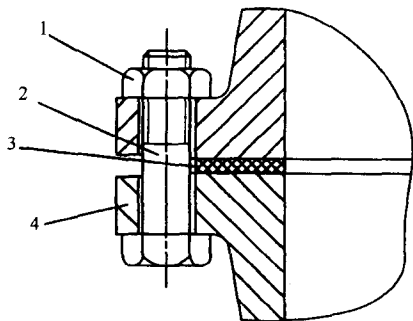


图 2-1 垫片密封的结构

1—螺母；2—螺栓；3—垫片；4—法兰

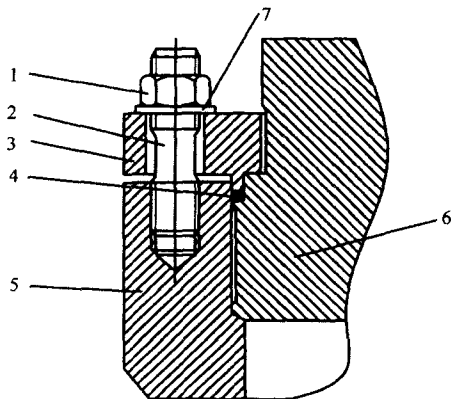


图 2-2 高压自紧式密封

1—螺母；2—主螺栓；3—压环；4—密封垫；
5—筒体；6—浮动顶盖；7—垫圈

2.2 垫片的种类及性能

2.2.1 垫片的种类

垫片的种类繁多，按其材料和结构大致可分为三大类：

(1) 非金属垫片。有橡胶、石棉橡胶板、柔性石墨、聚四氟乙烯等，截面形状皆为矩形。

(2) 金属复合型垫片。有各种金属包垫、金属缠绕垫。

(3) 金属垫片。有金属平垫、波形垫、环形垫、齿形垫、透镜垫、三角垫、双锥环、C 形环、中空 O 形环等。

按照密封分类的原则，上述垫片中的金属平垫、波形垫、环形垫、齿形垫、透镜垫属于强制式密封，而其余则为半自紧或自紧式密封。

2.2.2 垫片的性能和构造

各种垫片的性能和构造介绍如下。

1) 非金属垫片

(1) 橡胶板。用于密封的橡胶品种较多，一般有天然橡胶、丁腈橡胶、异丁橡胶、丁苯橡胶、硅橡胶、氟橡胶等。

制作垫片的橡胶板材用量较大的有天然橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶三种。氟橡胶等特种橡

胶也逐渐推广使用。

天然橡胶是以异戊二烯为主体的不饱和的天然高分子化合物。硫化后的天然橡胶弹性高、机械强度大、耐弯曲、耐撕裂、耐冲击、抗透气性好、变形生热低,可用做减震制品和轮胎制品。天然橡胶是非极性橡胶,耐某些极性溶剂,对碱和稀酸也有较好的耐蚀性,但不耐非极性溶剂,耐油性很差,也不耐浓的强酸的作用。天然橡胶在氧和臭氧作用下易老化,故很少用天然橡胶做密封件。

丁腈橡胶是丁二烯与丙烯腈的共聚物,具有优异的耐油性能,在现有的胶种中,其耐油性仅次于聚硫酸橡胶、聚丙烯酸酯橡胶及氟橡胶。它还具有作为密封材料所需的机械强度和耐磨性能,广泛用于各种动、静密封中。丁腈橡胶与聚氯乙烯并用,可以进一步提高它的耐臭氧性、耐磨性、阻燃性。与三元乙丙橡胶并用也可提高它的耐臭氧性及低温弯曲性能。丁腈橡胶的耐油性及低温性与丙烯腈含量有很大关系,选材时应注意。

氯丁橡胶是一种极性仅次于丁腈橡胶的自补强型弹性体,物理机械性能类似于天然橡胶,耐老化性、耐化学腐蚀性优于天然橡胶,是通用橡胶中最好的一种。耐油性能优于其他通用橡胶。除芳烃及氯烃类之外,在其他溶剂中都很稳定。这种胶耐无机酸及碱的腐蚀,且是难燃性橡胶。

氟橡胶耐油及耐高温性能优良,其最大特点是高度耐腐蚀,它对有机液体(如各种油类、燃料、溶剂、液压流体)、高浓度过氧化氢及其他强氧化剂的稳定性优于其他橡胶。

由于橡胶材料质地柔软,故经常在橡胶板中加入各种织物予以增强,例如,尼龙布、涤纶布、玻璃纤维以及金属丝网布等。

(2)石棉橡胶板。石棉橡胶板是由石棉、橡胶和填料经压制而成的。根据其配方、工艺、性能及用途不同,主要有高压石棉橡胶板、中低压石棉橡胶板和耐油石棉橡胶板。

制造石棉橡胶板的石棉材料有温石棉、蓝石棉(青石棉)两种。温石棉属于蛇纹石类石棉,其主要成分是含约13%结晶水的镁硅酸盐,它耐热、耐碱性能好,抗拉强度高,耐酸性能较差,大多数石棉橡胶板都由其制作。蓝石棉属角闪石类石棉,主要成分是含约2.5%~3.5%结晶水的硅酸盐,氧化镁成分极微,氧化铁约占18%~24%。蓝石棉不仅耐热性能好,而且耐酸性能也好,故多被用于制造耐酸石棉橡胶板。

石棉橡胶板有适宜的强度、弹性、柔软性、耐热及耐介质性,用它制作垫片,既方便又便宜,因此在化工企业中,尤其是中、小型化工厂得到广泛使用。有关标准见表2-1。

随着石油化学工业的迅速发展,石棉橡胶板相继出现了一些新产品。例如,由石棉橡胶板和一层或多层镀锌钢丝或不锈钢丝网组成的增强石棉橡胶板以及在石棉板中加入氟橡胶制成的耐酸耐油石棉橡胶板。

表 2-1 五种石棉橡胶的使用条件

名 称	牌 号	颜 色	抗张强度(横向) MPa	适 用 条 件	
				压力, MPa	温度, °C
石棉橡胶板	XB450	紫	≥20.0	≤6	≤450
石棉橡胶板	XB350	红	≥12.5	≤4	≤350
石棉橡胶板	XB200	灰	≥7.0	≤1.5	≤200
石棉耐油橡胶板	NY300	绿或黑	≥11.0	≤2.5	≤150
石棉耐油橡胶板	400 号	黑	≥28.0	≤4	200

(3) 柔性石墨板材及带材。柔性石墨是一种新颖的密封材料,具有良好的回弹性、柔软性、耐介质性、耐温性,在化工企业中迅速得到推广应用。

(4) 聚四氟乙烯。聚四氟乙烯是合成树脂材料中的佼佼者。优良的耐腐蚀性能使它在绝大部分强腐蚀介质中作为密封垫片,对于不允许物料有污染的医药、食品等行业尤为合适,是塑料中使用温度最高者。但是聚四氟乙烯受压后易冷流,受热后易蠕变,影响密封性能。通常加入部分玻璃纤维、石墨、二硫化钼,以提高抗蠕变和导热性能。

聚四氟乙烯垫片通常是由板材裁制的。它还可与石棉橡胶板、石棉板制成聚四氟乙烯包垫。其结构见图 2-3。

图 2-3(a)为 Y 形断面的包垫,它是用筒料车削成 0.8~1mm 厚的环状薄片,从外侧厚度的中心切开,在切口处放入芯材。切口开至距内孔处约 1.5~2mm。图 2-3(b)为 U 形断面包垫,内径可与法兰内径一致,以防流体在法兰处产生涡流。由于芯材放入后空隙比 Y 形小,故内部空气膨胀量也小,密封性能好。图 2-3(c)为厚 0.4~0.8mm 的带状聚四氟乙烯薄膜,将它两端面热合后包在环状的芯材外面呈 U 形,制造简便,适用于直径较大的设备。

(5) 其他。为了解决化工生产中的密封问题,国内还试制出一些石棉垫片。现举几例介绍如下:

① 石墨树脂板垫片。采用蓝石棉和聚氯乙烯树脂等原料制成的一种软质板状材料裁制成的耐酸垫片,强度较高,耐压性能好,价格较为便宜。试样在 65% 硝酸中煮沸约 1h,质量损失为 7.28%。

② 石棉浸渍垫片。采用耐酸的蓝石棉板冲制成型并经浸渍耐酸涂料而成的一种定型耐酸密封垫片。

③ 石棉纺织垫片。将石棉绳纺织成扁平状,然后将两头用石棉绳缝接而制成的垫片。根据使用温度的高低,石棉用料有所不同。目前,国内采用 60%~70% 蓝石棉与一级温石棉混制的石墨纺织垫片,使用温度可达 800℃。

2) 金属复合垫片

非金属垫片(除柔性石墨外)的耐高温、高压性能均不如金属材料。因此,为了解决高温、高压设备的密封,设计了金属复合垫片。

(1) 金属包垫。该垫片以非金属材料为芯材,外包厚度为 0.25~0.5mm 的金属薄板。按包覆状态,可分为全包覆、半包覆、波形包覆、双层包覆等。见图 2-4。

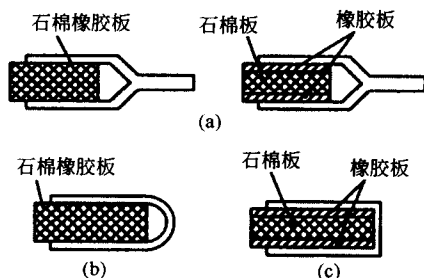


图 2-3 聚四氟乙烯包垫

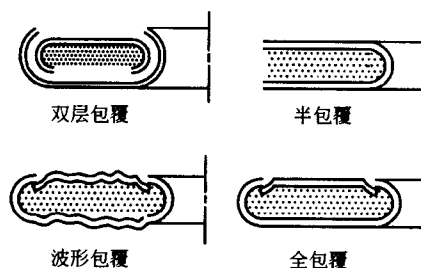


图 2-4 金属包垫

金属薄板根据材料的弹塑性、耐热性和耐蚀性选取。主要有铜、镀锌铁皮、不锈钢、钛、蒙乃尔合金等。使用较多的为铜、镀锌皮和不锈钢。

作为金属包垫的中芯材料,耐热性是主要考核指标。一般采用石棉板或低橡胶用量的石

棉橡胶板、耐高温性能好的碳纤维或瓷质纤维(一般指碳化硅纤维、氮化硅、氮化硼纤维)及柔性石墨板材等。

金属包垫的另一特点是能制成各式异形垫片。例如椭圆形、方形、带叉形或更复杂的形状,可以满足各种热交换箱和非圆形压力容器密封的需要,而其他复合型垫片却不能。

(2)金属带缠绕式垫片。缠绕垫片是由薄的金属波形带与石棉柔性石墨等非金属带交替绕成螺旋状,将金属带和始末端点焊制成。国外亦称做螺旋垫片。

缠绕垫有四种类型,见图 2-5。图 2-5(a)为基本型;图 2-5(b)为带内环的;图 2-5(c)为带外环的;图 2-5(d)为带内、外环的。钢带剖面形状也有两种:W 形和 V 形。W 形钢带回弹性能优于 V 形,但加工困难,故国内目前绝大部分使用 V 形。其剖面形状见图 2-6。

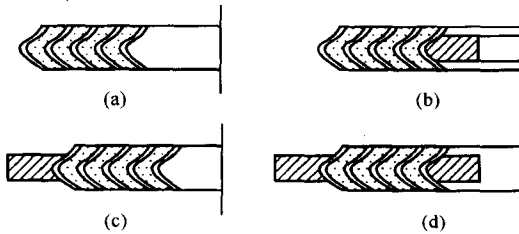


图 2-5 金属带缠绕垫

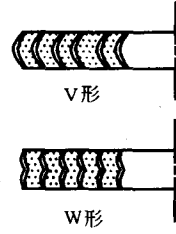


图 2-6 钢带的剖面形状

钢带材料一般有低碳钢、不锈钢、钛、蒙乃尔合金等,厚度为 0.15~0.2mm。国内大部分都采用低碳钢、1Cr18Ni9Ti 不锈钢。非金属带材中,曾以石棉带为主,近年来,柔性石墨材料得到迅速发展,大有取代石棉缠绕垫之势。此外,国外还出现了聚四氟乙烯带、陶瓷纤维纸、碳纤维纸缠绕垫片。缠绕垫的标准有 JB 1162—82。

加内、外环对增进缠绕垫的密封性能有一定作用。由于金属带的断面形状使缠绕垫获得一定弹性,再加上内、外环,当基本型垫片受压时,外环和内环分别处于受拉和受压的状态;当基本型垫片载荷下降时,内、外环储藏的能量释放,提高了垫片的回弹力。与其他类型相比,增强了对压力和温度变化的适应能力,二次紧固的必要性也大大减少。

另外,加内环可阻止由于过度紧固造成的垫片压损,减小法兰之间的间隙,阻止因流体涡流对垫片的侵蚀,加外环有利于安装时垫片的定位。

3) 金属垫片

强制型密封常用的金属垫片有金属平垫、波形垫、齿形垫和环形垫(包括八角垫、椭圆垫两种)。这些垫片制造比较复杂,特别对于直径大的垫片(如环形垫),需经卷制、焊接、探伤、车削多道工艺,精度和表面粗糙度要求相对高一些,故成本也高。一般用于高温、高压和非金属垫以及金属包垫所不能胜任的苛刻条件下。

金属垫片根据介质的温度和物性,通常选用铝、铜、软钢、纯铁、不锈钢、钛、蒙乃尔合金等材料。例如,合成氨装置中常用铝和软钢,而尿素装置中则多用 1Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni12Mo2Ti;高温时可采用 1Cr18Ni9Ti、蒙乃尔合金,低温时 0Cr18Ni9 则较为合适。

2.2.3 垫片的选择

1) 选择垫片时的注意事项

正确选用密封垫片是保证设备无泄漏之关键。对于同一种工况,一般有若干种垫片可供选择。必须根据介质的物性、压力、温度和设备大小、操作条件、连续运转周期长短等情况,合

理地选择垫片,扬长避短,充分发挥各种垫片的特点。

选择垫片时,有以下要求:

- (1)有良好的弹性和恢复性,能适应压力变化和温度波动;
- (2)有适当的柔软性,能与接触面很好地贴合;
- (3)不污染工艺介质;
- (4)有足够的韧性而不因压力和紧固力造成破坏;
- (5)低温时不硬化,收缩量小;高温时不软化,抗蠕变性能好;
- (6)加工性能好,安装、压紧方便;
- (7)不粘结密封面、拆卸容易;
- (8)价格便宜,使用寿命长。

在垫片的使用中,压力和温度二者是相互制约的,随着温度的升高,在设备运转一段时间后,垫片材料发生软化、蠕变、应力松弛现象,机械强度也会下降,密封的压力降低。反之亦然。例如,高压石棉橡胶板 XB450 在水、蒸汽介质中,使用温度 450°C , 压力 $<6\text{MPa}$ (用该材料做密封性能试验时,在 $440\sim 450^{\circ}\text{C}$ 、 12MPa 的蒸汽中保压 30min)。但在长期实际使用中,温度若达到 450°C , 所能密封的压力仅 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$ 。对于渗透性强的气体介质则仅有 $0.1\sim 0.2\text{MPa}$ 。

2) 常用垫片的选用

(1)工业橡胶板。天然橡胶适用于水、海水、空气、惰性气体、碱类、盐类水溶液等介质,但不耐矿物油和非极性溶剂,长期使用温度低于 70°C , 最高使用温度不超过 90°C , 低温性能优异,可在 -60°C 时使用。

丁腈橡胶适用于石油类产品,如石油、润滑油、燃料油等,长期使用温度为 120°C , 如在热油中可耐 150°C , 低温为 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

氯丁橡胶适用于海水、弱酸、弱碱、盐溶液,耐氧和臭氧老化性能优异;耐油性次于腈橡胶而优于其他通用橡胶,长期使用温度低于 90°C , 最高使用温度不超过 130°C , 低温为 $-30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。

氟橡胶有多个品种,它们分别具有良好的耐酸、耐氧化性能以及耐油、耐溶剂性能。可以在几乎所有的酸类介质以及一些油和溶剂中使用,长期使用温度低于 200°C 。

橡胶板材作为法兰垫片,多用于管道或经常拆卸的人孔、手孔,压力不超过 1.568MPa 。因在各类垫片中,橡胶垫片最软,贴合性能好,在较小的预紧力下就能发挥密封效果。正因如此,在承受内压时,因垫片偏厚或硬度偏低而容易被挤出。

橡胶材料在苯、酮、醚等有机溶剂中使用,易出现溶胀、增重、变软、发粘现象,导致密封失效。一般溶胀度超过 30% 就不能使用。

在低压 (尤其是 0.6MPa 以下)、真空情况下,采用橡胶垫较为适宜。橡胶材料致密性好,真空度最高可达 $1.3\times 10^{-7}\text{Pa}$ 。橡胶垫在 $10^{-1}\sim 10^{-7}\text{Pa}$ 真空度范围使用时,需经烘焙和抽气处理。

(2)石棉橡胶板。目前国内石棉橡胶板主要有 5 个品种。其使用范围和性能见表 2-1。

另有耐酸石棉橡胶板,浅灰色,内含 19% 的氟橡胶和其他填充剂,抗张强度;横向不小于 20MPa , 最高使用温度低于 205°C 。可在低于 120°C 、 2MPa 的酸性介质中长期使用。普通石棉橡胶板在酸性介质中使用,一般温度不超过 50°C 、压力低于 1MPa 。