

化工密封实用技术

HUAGONG MIFENG SHIYONG JISHU

魏龙 冯秀 编著

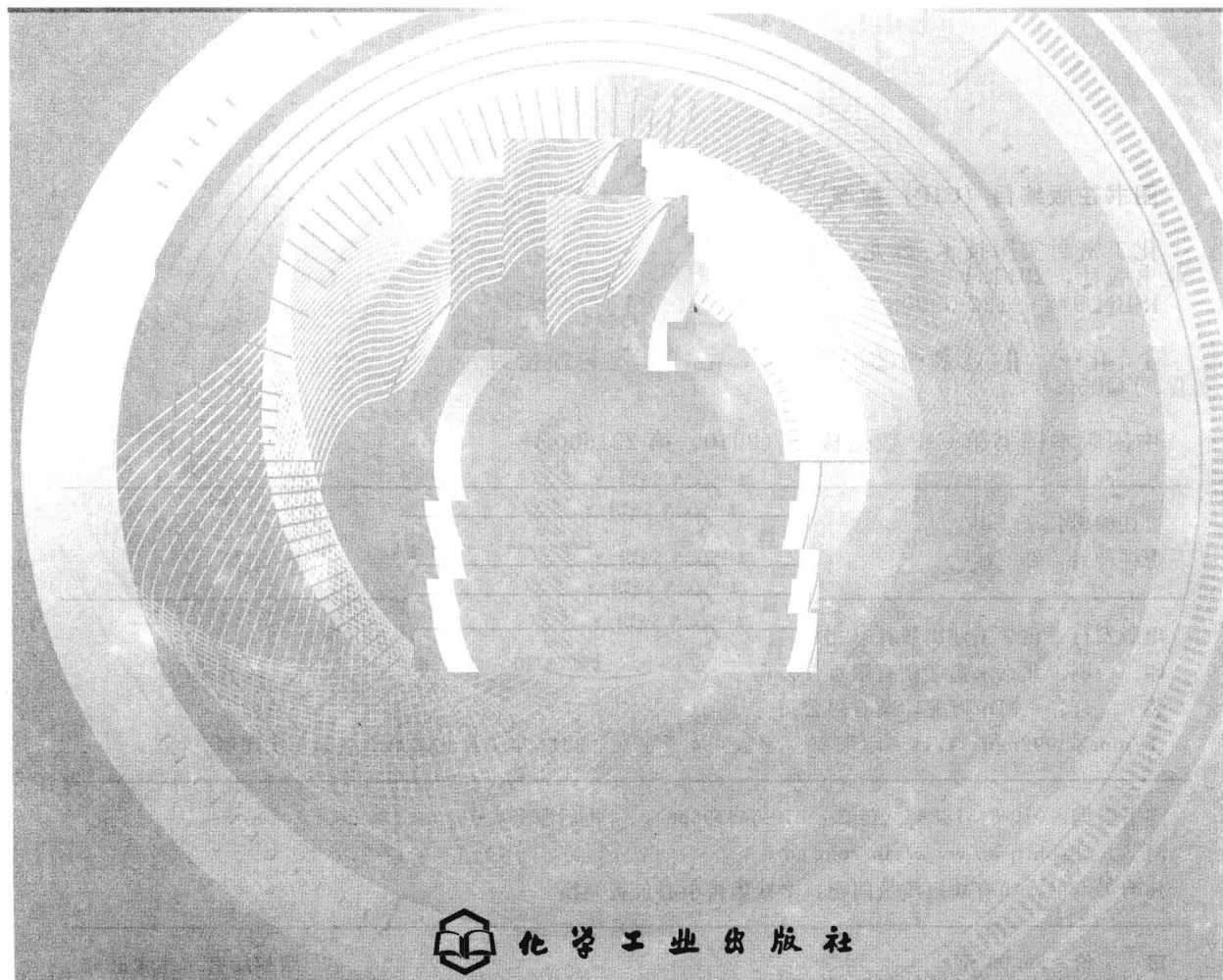


化学工业出版社

化工密封实用技术

HUAGONG MIFENG SHIYONG JISHU

魏龙 冯秀 编著



化学工业出版社

·北京·

本书从实用性出发,全面系统地介绍了化学和石油工业生产中常用的密封技术及其最新进展,主要内容包括:垫片密封、填料密封、机械密封、非接触型密封、带压密封技术和泄漏检测技术等。

本书引用与密封技术相关的最新标准,内容新颖、文字简练、通俗易懂、实用性强。

本书可供化工、石化等行业从事密封技术相关工作的工程技术人员和技术工人使用,也可供职业院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工密封实用技术/魏龙,冯秀编著. —北京:化学工业出版社,2011.1

ISBN 978-7-122-09908-2

I. 化… II. ①魏…②冯… III. 化工机械-机械密封
IV. TQ050.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第221600号

责任编辑:辛田

文字编辑:陈喆

责任校对:郑捷

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张20 字数494千字 2011年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:56.00元

版权所有 违者必究

前言

现代工业中泄漏问题普遍存在。泄漏不仅会造成能源浪费、物料流失、环境污染，甚至还会酿成火灾、引起爆炸，直接危及人身安全，带来巨大经济损失。密封件虽小，只是机器设备的零部件，但却能决定机器设备的安全性、可靠性和耐久性，直接影响生产效益。尤其是化工和石油化工企业的机器设备，其处理的介质大多数都具有腐蚀性或易燃、易爆、有毒等特性，并伴有较高的压力和温度，一旦泄漏，往往都将引起重大安全事故。据国外报道，在化工和石油化工等大型流程企业中，发生事故的前十大原因中，泄漏引发的事故排在首位。日本炼油行业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。世界范围内，每年因密封意外失效导致的直接经济损失高达几十亿美元。

据统计，在日常的机器设备维修中，对于机泵几乎40%~50%的工作量是用于轴封的维修，离心泵的维修费大约有70%用于处理密封故障。在离心式压缩机失效原因中，润滑和密封系统的故障占55%~60%，密封系统占机组价格的20%~40%；全世界轴承年销售额为90多亿美元，其中90%的轴承都未达到设计寿命，而在轴承早期失效原因中，有75%是由于油封失效，仅此一项就花掉60多亿美元。

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密封技术的工程技术人员，解决生产上出现的有关密封问题。

密封技术已被广泛应用于化工、石油、机械、电力、轻工、冶金、医药、食品等国民经济产业的重要技术领域，以及航空航天、国防军工、核能等高新技术领域。正是由于密封的普遍性和重要性，近一个世纪来，已形成一门研究密封规律、密封装置设计和使用科学原理的新学科，称为“密封学”。密封在工程上也已发展成为一项专门的技术——密封技术。

随着我国化学和石油等工业的持续快速增长，对从事密封技术相关工作的技术人员的需求也日益增加；同时，老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对密封件维修技术及管理水平提出了新的要求。

本书从实用性出发，全面系统地介绍了化学和石油工业生产中常用的密封技术及其最新进展。重点阐述了垫片密封、填料密封、机械密封、非接触型密封、带压密封技术等的基本概念、基本理论和基本知识，以及密封故障的分析、密封件的安装、维修和改进，并简要介绍了泄漏检测技术。

本书引用与密封技术相关的最新标准，内容新颖、文字简练、通俗易懂、实用性强。

本书可供化工、石化等行业从事密封技术相关工作的工程技术人员和技术工人使用，也可供职业院校相关专业师生参考。

本书由魏龙和冯秀共同编著，具体分工如下：第1、3、4、5、6章魏龙，第2、7章冯秀。全书由魏龙统稿，房桂芳和金良做了大量的文字和插图的处理工作。本书在编写过程中，得到了孙见君、刘其和、冯飞、张蕾、涂中强、蒋李斌、张鹏高、张国东、杜存臣、黄建、常新中、滕文锐等的大力帮助，在此一并表示感谢。

因编者水平所限，书中不足之处在所难免，敬请同行和读者予以批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 密封技术的重要性	1
1.2 泄漏与密封	1
1.2.1 泄漏	1
1.2.2 密封	2
1.3 密封的种类及其适用范围	3
1.4 化工生产与密封	4
1.4.1 化工生产的特点	4
1.4.2 化工生产对密封的要求	4
1.4.3 化工企业密封管理	5
1.5 密封的主要指标和质量比较准则	7
第 2 章 垫片密封	9
2.1 中低压设备和管道的垫片密封	9
2.1.1 垫片密封的基本结构与工作原理	9
2.1.2 垫片的种类及适用范围	11
2.1.3 法兰密封面形式和加工要求	15
2.1.4 高温螺栓法兰连接系统防漏措施	16
2.1.5 影响垫片密封的因素与垫片的选择	17
2.1.6 垫片的保管及安装技术	20
2.1.7 垫片密封的失效分析	23
2.2 高压设备和管道的垫片密封	24
2.2.1 强制式密封	24
2.2.2 自紧式密封	26
2.2.3 高压管道密封	29
2.2.4 超高压容器的密封结构	30
第 3 章 填料密封	34
3.1 软填料密封	34
3.1.1 基本结构及密封原理	34
3.1.2 力的分布与计算	36
3.1.3 填料函的结构形式与主要结构尺寸	37
3.1.4 密封材料的选择	40

3.1.5	软填料密封的安装、拆卸、使用与保管	44
3.1.6	软填料密封存在的问题与改进	53
3.1.7	软填料密封常见故障及处理措施	57
3.2	成型填料及油封	57
3.2.1	成型填料	58
3.2.2	油封	71
3.3	硬填料密封	75
3.3.1	活塞环	76
3.3.2	活塞杆填料密封	81
3.3.3	无油润滑活塞环、支承环及填料	85
第4章	机械密封	90
4.1	机械密封的基本原理	90
4.1.1	机械密封的基本结构与工作原理	90
4.1.2	机械密封的特点	91
4.1.3	机械密封的分类	91
4.1.4	机械密封端面摩擦机理及摩擦状态	96
4.1.5	机械密封的主要性能参数	100
4.2	机械密封的主要零件	109
4.2.1	主要零件的结构形式	109
4.2.2	主要零件的尺寸	112
4.2.3	主要零件的技术要求	114
4.3	机械密封常用材料及选择	117
4.3.1	摩擦副材料及选择	117
4.3.2	辅助密封圈材料及选择	124
4.3.3	弹性元件材料及选择	126
4.3.4	其他零件材料	126
4.3.5	典型工况下机械密封材料选择	126
4.4	机械密封常用国家标准	129
4.4.1	机械密封产品型号编制方法 (GB 10444—1989)	129
4.4.2	机械密封的形式、主要尺寸、材料和识别标志 (GB/T 6556—1994)	130
4.4.3	机械密封试验方法 (GB/T 14211—1993)	135
4.5	机械密封的典型结构	137
4.5.1	泵用机械密封典型结构	137
4.5.2	压缩机用机械密封典型结构	160
4.5.3	釜用机械密封典型结构	165
4.6	机械密封的循环保护系统	171
4.6.1	冲洗	172
4.6.2	冷却	175
4.6.3	过滤	178
4.6.4	封液系统	180

4.7	机械密封的选择、保管、安装与运转	185
4.7.1	机械密封的选择	185
4.7.2	机械密封的保管	187
4.7.3	机械密封的安装	188
4.7.4	机械密封的运转	194
4.8	机械密封的维护与检修	194
4.8.1	机械密封运转维护内容	194
4.8.2	机械密封端面平面度检验方法	195
4.8.3	机械密封检修中的几个误区	196
4.8.4	机械密封零件的检修	197
4.9	机械密封的失效及分析	199
4.9.1	密封失效的定义及外部症状	199
4.9.2	机械密封的失效形式	200
4.9.3	机械密封的失效分析方法	205
4.9.4	机械密封失效的诊断检查	206
4.9.5	根据密封端面磨损痕迹分析失效原因	210
4.9.6	安装、运转等引起的故障分析	210
4.9.7	机械密封失效典型实例分析	214
4.9.8	机械密封的主要故障和解决措施	220
第5章	非接触型动密封	227
5.1	间隙密封	227
5.1.1	密封环	227
5.1.2	套筒密封	228
5.2	迷宫密封	229
5.2.1	结构形式和工作原理	229
5.2.2	主要尺寸参数及材料	231
5.3	浮环密封	232
5.3.1	工作原理及特点	232
5.3.2	结构形式	233
5.3.3	结构要求、尺寸、技术要求及材料	234
5.3.4	封油系统	236
5.4	动力密封	237
5.4.1	离心密封	237
5.4.2	螺旋密封	242
5.4.3	停车密封	247
5.5	磁流体密封	250
5.5.1	磁流体	250
5.5.2	磁流体密封的工作原理及特点	251
5.5.3	磁流体密封的应用	253

第 6 章 带压密封技术	255
6.1 注剂式带压密封技术	255
6.1.1 基本原理	256
6.1.2 密封注剂	257
6.1.3 注剂工具	261
6.1.4 夹具设计	268
6.1.5 泄漏部位现场勘测	273
6.1.6 现场施工操作及验收	277
6.2 带压粘接密封技术	283
6.2.1 修补剂填塞粘接法	284
6.2.2 引流粘接法	284
6.2.3 顶压粘接法	285
6.3 管道带压焊接密封技术	288
6.3.1 带压焊接密封的常用方法	288
6.3.2 带压焊接密封的针对性技术措施	288
6.3.3 带压焊接密封需注意的问题	288
第 7 章 泄漏检测技术	290
7.1 检漏方法的分类	290
7.2 常用的检漏方法及选择	292
7.2.1 常用的检漏方法	292
7.2.2 检漏方法的选择	296
附录 常用密封标准目录（中国）	298
参考文献	306

第1章 概述

1.1 密封技术的重要性



现代工业中泄漏问题普遍存在。泄漏不仅会造成能源浪费、物料流失、环境污染，甚至还会酿成火灾、引起爆炸，直接危及人身安全，带来巨大的经济损失。密封件虽小，只是机器设备的零部件，但却能决定机器设备的安全性、可靠性和耐久性，直接影响生产效益。尤其是化工和石油化工企业的机器设备，其处理的介质大多数都具有腐蚀性或易燃、易爆、有毒等特性，并伴有较高的压力和温度，一旦泄漏，往往将引起重大安全事故。据国外报道，在化工和石油化工等大型流程企业中，发生事故的前十大原因中，泄漏引发的事故排在首位。世界范围内，每年因密封意外失效导致的直接经济损失高达几十亿美元。

据统计，在日常的机器设备维修中，对于机泵，几乎40%~50%的工作量是用于轴封的维修。离心泵的维修费大约有70%用于处理密封故障。在离心式压缩机失效原因中，润滑和密封系统的故障占55%~60%，密封系统占机组价格的20%~40%。美国的密封专家认为，由于开发密封技术，仅汽轮机一项，每年节约能源费用3亿美元。全世界轴承年销售额为90多亿美元，其中90%的轴承都未达到设计寿命，而在轴承早期失效原因中，有75%是由于油封失效，仅此一项就花掉60多亿美元。

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密封技术的工程技术人员，解决生产上出现的有关密封问题。

密封技术已被广泛应用于化工、石油、机械、电力、轻工、冶金、医药、食品等国民经济产业的重要技术领域，以及航空航天、国防军工、核能等高新技术领域。正是由于密封的普遍性和重要性，近一个世纪来，已形成一门研究密封规律、密封装置设计和使用科学原理的新学科，称为“密封学”。由于它还涉及众多的其他学科，如流体力学、传热学、固体力学、材料学、摩擦学等，所以它既是独立的学科分支，又是交叉的边缘科学。密封在工程上也已发展成为一项专门的技术——密封技术。

1.2 泄漏与密封



1.2.1 泄漏

所谓泄漏，就是高能流体经隔离物缺陷通道向低能区侵入的负面传质现象。泄漏的形式包括界面泄漏、渗漏和扩散。

(1) 界面泄漏

通常将通过密封面间隙的泄漏称为界面泄漏。此时被密封流体在密封件两侧压力差 Δp 作用下通过宏观或微观的缝隙 h 泄漏，因此界面泄漏是单向泄漏。

(2) 渗漏

在密封件两侧压力差作用下，被密封流体通过密封件材料的毛细管泄漏称为渗漏。因此，渗漏也是单向分子泄漏流动。

(3) 扩散

在浓度差的作用下，被密封介质通过密封间隙或密封材料的毛细管产生的物质传递叫做扩散。介质通过密封件的扩散泄漏可分成三个阶段：密封件吸收液（气）体；介质通过密封件的扩散；介质从密封件的另一侧析出。扩散过程是双向进行的，扩散作用的介质泄漏量要比其他两类泄漏量小得多。

综上所述，造成泄漏的原因，一是密封连接处有间隙（包括宏观间隙或微观间隙），二是密封连接处两侧存在压力差或浓度差。消除或减少任一因素都可以阻止或减少泄漏。就一般设备而言，减小或消除间隙是阻止泄漏的主要途径。

1.2.2 密封

隔离高能流体向低能区进行负面传质的有效措施称为密封。起密封作用的零部件称为密封件。密封装置可以由几个零部件组成，也可以附带各种辅助系统，这里统称为密封装置。

密封装置所要解决的问题就是设法防止或减少泄漏，方法有很多，目前的密封方法大致可归纳为以下几种。

(1) 尽量减少设置密封的部位

这一点对处理那些易燃、有毒、强腐蚀介质尤为重要。例如，当可以同时选择单级单吸和单级双吸离心泵输送上述物料时，则宜用前者，因为单吸离心泵比双吸离心泵少一处密封。

(2) 堵塞或隔离

静密封采用的各种密封垫、密封胶、胶黏剂就属于这一类。对于动密封，泄漏主要发生在高低压相连通且具有相对运动的部位，由于有相对运动，则必然存在间隙。设法把间隙堵塞住，即可做到防止或减少泄漏，软填料密封属于这一类。隔离泄漏通道，就是在泄漏通道中设置障碍，使通道切断（泄漏亦被切断），机械密封、油封等接触式密封都属于这一类。

(3) 引出或注入

将泄漏流体引回吸入室或通常为低压的吸入侧（例如抽气密封、抽射器密封等）或将对被密封流体无害的流体注入密封室，阻止被密封流体的泄漏（例如缓冲气密封、氮气密封等）。

(4) 增加泄漏通道中的阻力

流体在通道中作泄漏流动时，会遇到阻力。阻力的大小与通道两端的压差、通道的长短、壁面的粗糙度以及通道中是否开槽（突然扩大、突然缩小）等有关。因此，在同样的压差下，可把通道加设很多齿，或开各式沟槽，以增加泄漏时流体的阻力，从而阻止或减少泄漏，如迷宫密封、间隙密封等。

(5) 在通道中增设做功元件

因加设做功元件，工作时做功元件对泄漏液造成反压力，与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡（大小相等、方向相反），以阻止介质泄漏。离心密封、螺旋密封即属于这一类。

(6) 几种密封方法的组合

把两种或两种以上密封组合在一起来达到密封。例如填料-迷宫、螺旋-填料、迷宫-浮环密封等。

(7) 其他新型密封

如磁流体密封、封闭式密封、刷式密封、指尖密封等。

1.3 密封的种类及其适用范围



密封技术几乎涉及各个工业部门，密封种类很多，工作原理各不相同，大致可分为两大类：静密封和动密封。静密封是指两个相对静止的零件的接合面之间的密封，如各种容器、

表 1-1 动密封的种类与适用范围

种类		真空(绝压) /MPa	压力(表压) /MPa	工作温度 /℃	线速度 /(m/s)	泄漏率 /(mL/h)	使用期限	应用举例	
接 触 型	软填料密封	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	挤压型	1.33×10^{-7}	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	6个月~ 1年	液压缸
		唇形	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	—	294.2	-45~400 ^①	—	—	3个月~1年	活塞及活塞杆 密封
		旋转						6个月~1年	航空发动机主 轴封油
	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 机主轴承封油
		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、电厂、炼 油厂用离心泵
液膜		—	31.38	30~150	30~100	—	1年以上	大型泵、透平压 缩机	
			1.96	不限	不限	—		航空发动机、透 平压缩机	
气膜	—	—	—	—	—	—	—		
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、活塞压缩 机	
间 隙 密 封	液膜浮环	—	31.38	—	80	内漏< 8300	1年以上	泵、化工透平	
	气体浮环		0.98	-30~150	70		1年左右	制氧机	
	套筒密封		980.7	-30~150	2			油泵、高压泵	
非 接 触 型	离 心 密 封	副叶轮	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								
	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
		螺旋迷 宫密封	—			70			锅炉给水泵辅 助密封
其 他	磁流体 密封	1.33×10^{-13}	4.12	-50~90	70	—	—	—	
	封闭式 密封								

① 凡使用橡胶件者，适用温度同成型填料。

设备和管道法兰接合面间的密封，阀门的阀座、阀体以及各种机器的机壳接合面间的密封等；动密封是指两个相对运动的零件的接合面之间的密封，如阀门的阀杆与填料函，泵、压缩机等的螺旋杆、旋转轴或往复杆与机体之间的密封等。

静密封主要有垫片密封、直接接触密封和胶密封三大类。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、垫片较宽的垫密封，高压静密封则用材料较硬、接触宽度很窄的金属垫片。胶密封是用具有粘接和密封功能的材料（密封胶黏剂，简称密封胶）进行的密封。它又可分为弹性体密封胶、液态密封胶（液体垫片）和密封腻子等。

动密封根据运动件相对机体的运动方式分为往复密封和旋转密封两种基本类型。按密封件与其作相对运动的零部件是否接触，可分为接触型和非接触型密封两大类。一般说来，接触型密封可以消除间隙或使间隙为最小值，可达到很高的密封性，但是需要花费额外的功耗来克服摩擦，而且密封面会发热和磨损。因受摩擦、磨损限制，接触型密封适用于密封面线速度较低场合；而非接触型密封的密封件不直接接触，因而无摩擦和磨损，密封件工作寿命长，可适用于较高的线速度。各类动密封的大致适用范围如表 1-1 所示。

1.4 化工生产与密封



1.4.1 化工生产的特点

化工生产具有易燃、易爆、易中毒，高温、高压，有腐蚀等特点。因而，较其他工业部门有更大的危险性。化工生产有以下几个特点。

① 化工生产使用的原料、半成品和成品种类繁多，绝大部分是易燃、易爆、有毒害、有腐蚀的危险化学品。这对生产中的这些原材料、燃料、中间产品和成品的储存和运输都提出了特殊的要求。

② 化工生产技术复杂、多样。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。

③ 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，还有许多联产品和副产品，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，而且发生泄漏污染环境，危害社会，因此，需要各种密封技术。

④ 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。化工生产主要是装置性的连续生产，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。

1.4.2 化工生产对密封的要求

化工生产对密封主要有以下几个要求。

(1) 密封可靠、安全性高

化工生产的物料大多为有毒、易燃、易爆物质，发生泄漏不但造成经济损失，而且还会引起人身中毒，污染环境甚至重大安全生产事故等，因此要求密封件的密封可靠，泄漏量少

甚至无泄漏，实现安全生产的要求。

(2) 耐腐蚀

化工生产中的介质大多具有腐蚀性，因此密封件应有一定的耐介质腐蚀的能力。

(3) 使用寿命长

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

(4) 安装调整方便

如在化工企业机泵上采用集装式机械密封产品，不仅可以缩短设备检修周期，提高生产效率，还可避免更换密封过程中人为因素造成的密封损坏。

(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形式相结合的组合式密封结构。

(6) 经济性

成本低、能耗和运行费用少、使用维修方便，即性价比高。

1.4.3 化工企业密封管理

(1) 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，是实现安全生产的保证，也是提高企业经济效益的重要手段，其重要性主要表现在：

① 提高装置运转周期 加强密封管理，尽可能减少或消除泄漏，保持设备状态良好，可有效地提高生产装置的运转率。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，大修周期可延长至3~5年，运行率显著提高，大大增加了企业的经济效益。

② 降低消耗、节约能源 加强密封管理，可以减少水、电、气、油及物料的消耗，提高装置生产的经济效益。

③ 减少污染 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，既严重威胁工人的身体健康，又严重影响生产。

(2) 密封管理措施

① 建立健全规章制度 建立健全密封管理规章制度是搞好密封管理的前提，密封管理规章制度应体现全过程管理，从设计、选型、制造、采购、安装、交付使用、维修、改造直至报废全过程，都应有明确的规定。

② 加强密封管理的基础工作 密封管理的基础工作主要是建立健全密封技术档案、统计台账、维修劳动定额、维护检修规程的制订等工作。在具体工作中要认真核对密封管理原始点数，要有统一的原始记录、统计报表格式、内容和计算泄漏率的办法，记录要求全面、准确、及时，有条件的企业应在原有的基础上，增加维修费用和运行状态记录，向现代化管理发展。大型企业的密封管理基础工作可以实行分级管理，并要有明确的分级管理细则。

③ 密封信息管理 密封信息管理是一项重要工作，其内容包括系统建立、信息分类、信息处理及计算机的应用。为确保上述工作的完成，要有健全的信息反馈系统，控制密封管理的全过程。要抓好经济和技术管理反馈，主管部门要有信息反馈形式，如信息卡，用以沟通工段、车间、管理部门（机动科）之间的信息传递。同时应加强密封件的使用单位、采购

单位、制造单位之间的联系，以利密封管理。

④ 加强培训，提高密封维修、管理水平 通过培训教育，使全体职工明确密封管理的意义和目的，在培训方法上可以有多种形式。工厂和车间要实行两级教育，使领导、技术人员、维修和操作工人懂得密封和密封系统的工作原理、结构和维修基本知识。维修和操作工人的密封维修技术考核要和技术考核一并进行。密封管理的技术人员要不断学习密封新技术和检测新技术，并推广应用。有条件的企业可编写密封管理、维修应知应会，要形成人人重视密封管理的局面。

⑤ 推广密封管理新技术、新材料、新结构 化工生产介质和工况复杂多样，消除泄漏的工作常会出现反复。见漏就堵、常查常改不间断是必要的，更重要的是根据本企业生产特点，采用先进的密封技术、密封结构、密封材料，在技术进步的基础上不断提高密封应用水平，从根本上解决泄漏问题，以取得好的效益。这也是密封管理现代化的重要标志。

(3) 密封保证体系

密封管理是设备管理的重要组成部分，是化工企业不可缺少的管理内容，在企业内部必须形成可靠的保证体系。做到从上至下，人人有专职、事事有人管，办事有标准，工作有依据。

① 企业领导 必须把密封管理纳入企业的方针、目标；纳入自己的工作日程；在工作标准中要有明确的职责管理内容。

② 企业设备管理部门 企业机动部门要建立本企业机械设备、管道、电气设备及仪表设备的密封档案、密封原始数据及泄漏控制指标等管理数据。同时要负责组织制订机械设备、管道、电气设备及仪表设备的各级责任制，各单位争创及巩固无泄漏计划，并积极组织实施。机动部门还要负责本企业密封技术管理和国产化工作，研究各种密封的新技术、新材料、新结构，并积极推广应用。企业设备管理部门应对基层单位的泄漏情况进行抽查和进行大检查，要把检查情况纳入企业考核内容。

③ 生产车间 车间应负责本单位的设备、管线、电气、仪表的静、动密封点的统计、检查及整改工作，要以工作岗位为单位建立密封档案。各岗位、工段负责管理的范围要有明显标志。车间要把密封点的管理落实到个人，每月车间领导和设备管理人员组织检查密封点的泄漏情况，并报企业设备管理部门（机动科）。

车间要坚持常查、常改。暂时解决不了的（如需停车解决）要编入计划解决。同时发动职工广泛采用新的密封技术、材料、结构，不断降低泄漏率。加强对密封档案管理，随密封点的变化定期修改密封档案。

④ 专职设备管理岗位职责 负责本单位静、动密封点的统计上报，并建立健全密封档案，提出本单位密封点管理的具体分工意见。负责研究解决技术上的改进和提高，推广应用新型密封结构、技术、材料。参加车间组织静、动密封情况的检查，并提出消除泄漏计划，实施和验收。

⑤ 工长、班长职责 负责组织操作工人消除管理范围内的静、动密封点的泄漏，并负责本工段或本班的泄漏统计工作。

⑥ 操作工职责 负责管理范围内的密封点，按巡回检查制的要求，定时、定点进行巡回检查和消除泄漏点，对发现和消除的泄漏点要记录在交接班记录本上。

⑦ 检修工职责 对其管辖范围内的密封点，每天进行巡回检查。并询问和查阅操作工人交接班记录，及时消除泄漏点，暂时解决不了的报车间设备管理人员。

(4) 密封点统计方法

① 统计范围 全厂设备除机动设备的连续运转部分属于动密封范畴另作统计外，其余所有设备、管路、法兰、阀门、丝堵、活接头，包括机泵上的油标、附属管线、工艺设备冷却器，加热炉的外露胀口，电气设备的变压器、油开关、电缆头，仪表设备的孔板、调节阀、附属引线以及其他所有设备结合部位，均作静密封点统计。

② 计算方法 有一个静密封接合处，就算一个密封点。例如，一对法兰，不论其规格大小，均算一个密封点；一个阀门一般算四个密封点，如阀体另有丝堵或阀后紧接放空，则应多算一个点；一个丝扣活接头，算三个密封点等。

③ 静密封的检验标准 检验时，达到以下要求，即认为合格。

- a. 设备及管路 用眼睛观察，不结焦，不冒烟，无渗迹，无泄痕。
- b. 仪表设备及风引线 用肥皂水试漏，关键部位无气泡，一般部位允许每分钟不超过5个气泡。
- c. 电气设备 变压器、油开关、油浸绝缘电缆头等结合部位，用眼睛观察无渗漏。
- d. 氢气系统 高温部位关灯检查，无火苗；低温部位用10mm宽、100mm长薄纸条试漏，无吹动现象。
- e. 瓦斯、氨、氯等易燃易爆或有毒气体系统 用肥皂水试漏，无气泡；或用精密试纸试漏，不变色。
- f. 氧气、氮气、空气系统 用10mm宽、100mm长薄纸条试漏，无吹动现象。
- g. 蒸汽系统 用肉眼观察，不漏气、无水垢。
- h. 酸、碱等化学物料系统 用肉眼观察无渗迹、无漏痕。

1.5 密封的主要指标和质量比较准则



衡量密封性能好坏的主要指标是泄漏率、寿命和使用条件（压力 p 、线速度 v 、温度 t ）。目前流体密封能达到的单项最高技术指标列于表 1-2 中。由此可以粗略地反映目前的密封技术水平。

表 1-2 流体密封的单项技术指标

项目	动密封	静密封
压力(或真空) p	10^{-10} mmHg~ 10^3 MPa	10^{-1} mmHg~ 10^4 MPa
温度 t	-240~600℃	-240~900℃
周速 v	接触式密封<150m/s	
泄漏率 q	0.1mL/h	
寿命 L	10年	

注：1mmHg=133.322Pa。

当出现流体泄漏时，常用“密封度”来比较或评价密封的有效性。密封度用被密封流体在单位时间内通过密封面的体积或质量的泄漏量（还有考虑单位密封周边或直径的），即泄漏率来表示。因此，往往将泄漏量为零，说成为“零泄漏”。虽然理论上静密封可能做到零泄漏，实际上要做到零泄漏不仅技术上特别困难，而且出于经济考虑，只是对非常昂贵、有毒、腐蚀或易燃易爆的流体才要求将泄漏量降低到最低限度。事实上，泄漏量为“零”只是相对某种测量泄漏仪器的极限灵敏度而言，不同的测量方法，仪器的灵敏度范围不同。“零”

泄漏只是超越了仪器可分辨的最低泄漏量，即难以觉察出来的很微量的泄漏。因此密封度是一个相对的概念，保证机器设备没有泄漏应指密封装置能有效地满足设计或生产所允许（规定）的泄漏率，称“允许泄漏率”。允许泄漏率应根据具体情况决定，没有统一的规定，例如国内对机械密封的允许液体泄漏率按 JB/T 4127.1—1999《机械密封技术条件》规定为：当轴（或轴套）外径大于 50mm 时，泄漏率不大于 5mL/h；当轴（或轴套）外径不大于 50mm 时，泄漏率不大于 3mL/h。有时出于按泄漏率大小对密封件进行质量评定的需要，例如对于法兰连接用的垫片密封，采用目测的分级准则如表 1-3 所示，它基本是定性的方法；而美国压力容器研究委员会（PVRC）则按质量泄漏率分为五个密封度级别，即 $T_1 \leq 2 \times 10^{-1} \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ， $T_2 \leq 2 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ， $T_3 \leq 2 \times 10^{-5} \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ， $T_4 \leq 2 \times 10^{-7} \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ ， $T_5 \leq 2 \times 10^{-9} \text{ mg}/(\text{s} \cdot \text{mm})$ 。

表 1-3 泄漏的分级与定义

泄漏级别	定义	泄漏级别	定义
0	无泄漏迹象	4	形成滴珠且沿垫片周边以 5min 或更长时间滴漏 1 滴
1	可目视或手感湿气(冒汗),但没有形成滴珠	5	以 5min 或更短时间滴漏 1 滴
2	局部有滴珠形成	6	形成线状滴漏
3	沿整个垫片周边有滴珠形成		

注：1 滴液体的体积约为 0.05mL，即形成 1mL 大约需要 20 滴液体。

在化工厂中，还存在大量只凭听、看直觉不能发现的易挥发有机化合物从接头处“逸出”。因其泄漏量非常小，通常要用敏感的气体检漏仪，如有机蒸汽分析仪测量逸出气体的体积浓度，以百万分率表示。随着现代工业装置的大型化和国家或地区对环境保护要求更趋严格，一些工业发达国家已把控制“逸出”问题提到日程上，提出了“零逸出”的新概念，即将允许泄漏率控制到 10^{-6} （体积分数）量级，例如目前美国炼油厂把 10000×10^{-6} 作为零逸出水平，而化工厂则对阀门和法兰规定为 500×10^{-6} ，机器（如泵、压缩机）为 1000×10^{-6} ；在美国某些地方，新的规定将阀门、法兰、抽样系统和压力释放阀的逸出限制在 100×10^{-6} ，对泵和压缩机为 500×10^{-6} 。

第2章 垫片密封



垫片密封通常是指由容器、工艺设备、动力机器和连接管道等可拆连接处连接件和垫片组成的一种静密封结构形式。它在现代化工及石化装备中随处可见,例如,设备上的人孔、手孔、视孔、大盖法兰连接处;各种工艺管线、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。垫片密封所处的工况条件十分复杂,包含的流体介质范围相当广泛,防止液体或气体通过这些连接处泄漏出来,是工厂面对的最重要也是最困难的任务。虽然法兰连接接头与泵轴、阀杆、搅拌器等密封相比,其泄漏量不及它们大,但法兰连接接头的数量则比它们多得多,因此它们成为化工及石化装备泄漏的主要来源。泄漏带来的环境污染、产品损失,使垫片密封的重要性不言而喻。由于它们通常采用螺栓法兰连接结构,因此装配时要将螺栓预紧到足以达到初步密封的要求,而精确地控制预紧水平恰恰是一个十分棘手的问题;其次,这一结构中的垫片更是一个受很多因素影响的密封元件。

垫片的应用范围极其广泛,垫片需要的预紧载荷也各不相同,如低压水泵薄法兰用的垫片需要的压紧载荷较低,而压力容器和管道法兰垫片,需要较大的压紧载荷和刚性较好的连接结构。对后者通常有标准可查,相对于特殊要求的垫片密封,没有标准的连接尺寸,如法兰厚度、螺栓尺寸、螺栓间距等,这就需要考虑专门的设计。

按照压力容器和管道所承受的压力不同,垫片材料的结构、形式、要求也不尽相同,本章在内容安排上将分别介绍中低压(工作压力 $\leq 10\text{MPa}$)和高压设备与管道的垫片密封。

2.1 中低压设备和管道的垫片密封



2.1.1 垫片密封的基本结构与工作原理

垫片是一种置于配合面间几何形状符合要求的薄截面密封件。其作用是在预定的使用寿命内,保持两个连接件间的密封。垫片必须能够密封结合面,使密封介质不渗透和不被密封介质腐蚀,并能经受温度和压力等的作用。

(1) 垫片密封的基本结构

典型的垫片密封结构,一般由连接件、垫片和紧固件等组成。中低压设备和管道的垫片密封主要是如图2-1所示的法兰连接密封,其连接件和紧固件主要是法兰和连接螺栓、螺母等。垫片工作正常或失效与否,除了取决于设计选用的垫片本身性能外,还取决于密封系统的刚度和变形、结合面的粗糙度和不平行度、紧固载荷的大小和均匀性等。

(2) 垫片密封的泄漏形式

就垫片密封而言,通常密封流体在垫片结合处的主要泄漏情况如图2-2所示。

① 界面泄漏 两连接表面(即密封面),从机械加工的微观纹理来看存在粗糙度和变