



密封技术及应用

MIFENG JISHU JI YINGYONG

■ 吴 笛 主编 ■ 马秉骞 主审

MIFENG JISHU JI
YINGYONG



化学工业出版社

本书共七章，包括：密封技术概述、垫片密封及应用、胶密封及应用、填料密封及应用、机械密封及应用、非接触型密封及应用、泄漏检测技术等内容。

本书引用密封技术相关的最新标准，力求内容新颖、文字简练、通俗易懂；注重内容的实用性和先进性；引用大量工程实例介绍密封故障处理的原则、思路、流程、技术方法等；每章后均附有思考及应用题。

本书有配套的电子教案，可在化学工业出版社的官方网站上免费下载。

本书可作为高等院校、职业院校机械类专业教材和工程技术人员的培训教材，也可供从事密封设计、制造、维护维修、管理等工作的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

密封技术及应用/吴笛主编. —北京：化学工业出版社，2019.8

ISBN 978-7-122-34617-9

I. ①密… II. ①吴… III. ①密封 IV. ①TB42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 111311 号

责任编辑：高 钰
责任校对：杜杏然

文字编辑：陈 喆
装帧设计：刘丽华

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：三河市航远印刷有限公司

装 订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 396 千字 2019 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888 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：58.00 元

版权所有 违者必究

前言

在石油、化工、机械、电力、轻工、冶金、能源、医药、食品等主要过程工业中，由于工艺复杂，机械设备运行条件苛刻，生产系统或单元装置的安全性、可靠性和经济性很大程度上取决于密封的有效性。泄漏不仅会造成能源浪费、物料流失、环境污染，甚至还会引起火灾和爆炸，直接危及人身安全，带来巨大的经济损失。随着现代工业的发展，密封技术越来越为人们所重视，已应用到各个领域，并取得了长足的进步。

现代工业对各种密封的要求越来越高，迫切要求通过密封技术解决生产设备使用、安装中出现的问题，因此，对从事密封技术的工程技术人员的理论基础、实践经验和科学思维方法均提出了更高的要求。为适应化工装备技术专业和电厂热能动力装置专业教学的需要，编者在总结多年教学实践和教学改革经验的基础上，编写了本书。

全书共七章。第一章是密封技术概述；第二、三、四、五、六章分别介绍垫片密封、胶密封、填料密封、机械密封、非接触型密封的基本原理、结构形式、密封特性、密封材料、使用维护、故障处理技术及应用实例等；第七章简要介绍了泄漏检测技术。

本书引用密封技术相关的最新标准，力求内容新颖、文字简练、通俗易懂；注重内容的实用性和先进性；引用大量工程实例介绍密封故障处理的原则、思路、流程、技术方法等；每章后安排了思考及应用题以巩固本章所学。

本书可作为高等院校、职业院校的机械类专业教材和工程技术人员的培训教材，也可供从事密封设计、制造、维护维修、管理等工作的技术人员参考。

本书内容已制作成用于多媒体教学的 PPT 课件，并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要，请发电子邮件至 cipedu@163.com 获取，或登录 www.cipedu.com.cn 免费下载。

本书由吴笛担任主编，并编写第一章、第五章及附录；王宇飞编写第二章、第六章、第七章；张依婷编写第三章、第四章。全书统稿工作由吴笛完成。

本书由马秉骞教授主审。马教授对本书的初稿进行了详细的审阅，提出了很好的修改意见。兰州石化公司设备维修公司任存余技师就本书相关内容给出了建设性的建议。

本书在编写过程中参阅了一些相关的标准、规范以及近年出版的相近内容的教材，主要参考文献列于书后。在此对马秉骞教授、相关作者及所有对本书出版给予支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者
2019年3月

目录

第一章	密封技术概述	1
	一、密封技术的重要性	1
	二、密封的分类	1
	三、密封技术进展	3
	四、化工生产与密封技术	6
	五、密封的评价指标与密封管理	7
	思考及应用题	9
第二章	垫片密封及应用	11
	第一节 概述	11
	一、垫片密封的结构	11
	二、垫片密封的泄漏途径	11
	三、垫片密封原理	12
	第二节 法兰密封	13
	一、法兰密封面形式	13
	二、垫片的种类	14
	三、垫片的选择及保管	18
	四、垫片的加工、安装技术	21
	五、影响法兰密封的因素及垫片选用原则	23
	六、高温法兰防漏措施	26
	第三节 高压密封	26
	一、强制密封	27
	二、半自紧密封	29
	三、自紧密封	31
	第四节 垫片密封应用	33
	一、管道密封垫片的分类与应用	33
	二、高压导气管法兰齿形密封垫片的失效	35
	三、喷油泵结合面密封垫片的改进	37
	思考及应用题	38
第三章	胶密封及应用	40
	第一节 概述	40

第二节 带压注剂密封技术	41
一、注剂式带压密封基本原理	41
二、带压密封所用的注剂工器具	42
三、密封方法	42
第三节 密封注剂	46
一、密封注剂的品种与性能	46
二、密封注剂的选用	47
三、密封注剂的使用方法	48
第四节 带压密封的安全施工	49
一、施工中的受力影响	49
二、安全施工注意事项	49
第五节 带压粘接密封技术	50
一、密封胶的分类及其特性	50
二、密封胶的密封机理	52
三、密封胶的选用	53
四、密封胶的涂胶工艺	53
五、密封胶的使用注意事项	54
六、带压粘接密封技术在石化大型装置维修中的应用	55
七、粘接密封技术在制碱设备上的应用	56
思考及应用题	57

第四章 填料密封及应用

59

第一节 概述	59
第二节 软填料密封	60
一、软填料密封的基本结构及密封原理	60
二、主要参数	62
三、典型的软填料结构形式	64
四、软填料密封材料	66
五、软填料密封存在的问题与改进	69
六、软填料密封的安装、使用与保管	73
七、软填料密封（盘根）应用	79
八、橡胶环形密封圈	83
第三节 往复轴密封	91
一、活塞密封——活塞环	91
二、活塞杆密封——硬填料密封	96
三、无油润滑活塞环、支承环及填料	101
四、唇形密封圈	105
五、往复轴密封应用实例	113
第四节 油封	115

一、油封的基本结构及工作原理	115
二、油封的特点及类型	116
三、油封的主要性能参数	117
四、油封的使用	118
五、油封应用实例：车用橡胶油封的使用与维修	120
思考及应用题	122

第五章 机械密封及应用

125

第一节 概述	125
一、机械密封的组成、基本原理及特点	125
二、机械密封的分类和结构	127
三、机械密封端面摩擦状态	132
第二节 机械密封的典型结构与特殊工况下的机械密封	133
一、机械密封的典型结构	133
二、特殊工况下的机械密封	141
三、干气密封	146
第三节 机械密封的主要参数及零件结构形式	151
一、机械密封的主要参数	151
二、机械密封的零件结构形式	159
三、主要零件尺寸确定	163
第四节 机械密封材料	165
一、密封端面摩擦副材料	165
二、辅助密封圈材料	171
三、弹性元件材料	172
四、其他零件材料	172
五、机械密封主要零件材料选择	172
第五节 机械密封的辅助装置	173
一、辅助装置的作用	173
二、润滑	174
三、冲洗	174
四、冷却	175
五、封液系统	176
六、过滤	177
第六节 机械密封的使用与维修	178
一、机械密封试验	178
二、机械密封的选择与使用	180
三、机械密封的失效分析	184
四、机械密封的维修	187
五、常见故障分析	189

第七节 机械密封应用及改造实例	195
一、机械密封应用及失效实例	195
[实例一] 轻柴油泵泄漏故障分析	195
[实例二] 热油泵石墨环断裂故障分析与改进	195
[实例三] 苯酐泵泄漏故障分析与改进	196
[实例四] 减压渣油泵泄漏故障分析	197
[实例五] 重整气液分离罐底泵密封尖叫故障分析与处理	197
[实例六] 油泵尖叫故障分析与处理	197
[实例七] 汽油泵泄漏故障分析与处理	198
二、机械密封改造实例	198
[实例一] 催化裂化油浆泵机械密封改造	198
[实例二] 分子筛进料泵机械密封改造	199
[实例三] 德国进口泵机械密封改造	199
[实例四] 多级液态烃泵机械密封改造	200
[实例五] 填料密封改机械密封	201
[实例六] 双端面机械密封改单端面机械密封	201
思考及应用题	202

第六章 非接触型密封及应用

206

第一节 概述	206
第二节 间隙密封	206
一、密封环	206
二、套筒密封	207
第三节 迷宫密封	207
一、结构形式和工作原理	208
二、主要尺寸参数及材料	210
三、迷宫密封应用实例：汽动给水泵油中进水问题的分析处理	210
第四节 浮环密封	212
一、工作原理及特点	212
二、结构形式	213
三、结构要求、尺寸、技术要求及材料	215
四、封油系统	216
第五节 动力密封	218
一、离心密封	218
二、螺旋密封	223
三、停车密封	229
第六节 磁流体密封	232
一、磁流体	232
二、磁流体密封工作原理及特点	234

三、磁流体密封的应用	236
思考及应用题	237

第七章 泄漏检测技术	239
-------------------	------------

第一节 概述	239
第二节 常用的检漏方法及选择	239
一、常用的检漏方法	239
二、检漏方法的选择	243
思考及应用题	244

思考及应用题答案	246
-----------------	------------

参考文献	248
-------------	------------

第一章

密封技术概述

一、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。特别是对连续工作的石油化工类企业，由于所处理介质具有易燃、易爆、有毒、腐蚀性等特性，一旦造成泄漏，可能导致重大事故和人身伤亡，并导致系统和工厂停产。据统计，在日常的机器设备维修中，机泵 40%~50%的工作量用于轴封的维修；离心式压缩机故障中 55%~60%来自润滑和密封系统。国外报道指出，在化工和石化等大型企业中，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，70%以上的灾难性事故是由于泄漏造成的。世界范围内，每年因密封失效原因导致的直接经济损失达几十亿美元。

所谓泄漏，即高能物料从有限空间内部跑到外部，或者是其他物质从空间外部进入内部。这里的物料是指气体、液体、固体或者其他。泄漏的形式包括界面泄漏、渗漏和扩散。

通常将流体通过密封面间隙的泄漏称为界面泄漏，其泄漏量的大小主要与界面间隙有关，界面泄漏是单向泄漏。

在密封件两侧压差作用下，被密封流体通过密封件材料的毛细管泄漏称为渗漏。渗漏除了受介质的压力、温度、黏度、分子结构等流体状态的影响外，主要与密封材料的结构和材料有关。渗漏也是单向泄漏。

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。扩散泄漏的过程是：密封件吸收液（气）体；介质通过密封件扩散；介质从密封件的另一侧析出。扩散过程是双向进行的，介质泄漏量比较小。

密封技术所要解决的就是防止或减少泄漏。能够防止或者减少泄漏的装置和措施称为密封。装置中起密封作用的零部件称为密封件，放置密封件的部位称为密封箱或密封室。较复杂的密封，特别是带有辅助系统的，称为密封装置。

因此，重视密封技术的科学研究，加强密封的管理、开发和应用，可提高设备效率，节省成本，保护环境，保证机器设备安全、可靠、长期正常运转，保证石油化工装置的连续正常生产，促进生产发展和效益提高。

二、密封的分类

密封的分类方法很多。根据密封部位结合面的状况可把密封分为动密封和静密封两大

类。密封部位的结合面有相对运动的密封称为动密封，动密封可分为旋转密封和往复密封两种基本类型，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。密封部位的结合面相对静止的密封称为静密封，如各种容器、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。静密封主要有垫片密封、胶密封和接触密封三大类。静密封也可根据工作压力分为中低压静密封和高压静密封。中低压静密封常采用材质较软，接触面较宽的垫片密封；高压静密封则可用材料较硬，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）进行的密封。

根据密封面的类型，密封又可分为接触型密封和非接触型密封两大类。借密封力使密封面贴合靠紧，甚至嵌入以减少或消除间隙的各类密封统称为接触型密封。密封面间预留固定的装配间隙，无需密封力压紧密封面的各类密封统称为非接触型密封。

静密封一般均为接触型密封，动密封既有接触型的，也有非接触型的。

一般接触型密封比较严密，但因受摩擦磨损限制，适用于密封面线速度较低的场合。非接触型密封与此相反，一般说来密封性较差，常在线速度较高时采用。

密封的种类与应用范围见表 1-1。

表 1-1 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/℃	线速度/(m/s)	泄漏率/(mL/h)	使用期限			
接 触 型	软填料密封		1.33×10^{-3}	31.38	-240~600	20	10~1000	—		
	成型 填料	挤压型	1.33×10^{-7}	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	半年~1年		
		唇形	1.33×10^{-9}							
	橡胶 油封	油封	—	0.29	-30~150	12	0.1~10	3~6个月		
		防尘油封								
	硬填料 密封	往复	—	294.20	-45~400 ^①	—	—	3个月~1年		
		旋转						半年~1年		
	机械 密封	普通型		1.33×10^{-7}	7.85	-196~400	30	0.1~150	半年~1年	
		液膜		—	31.38	-30~150	30~100	100~5000	1年以上	
		气膜			1.96	不限	不限	—		
非 接 触 型	迷宫密封		1.33×10^{-5}	19.61	600	不限	大	3年以上		
	浮环密封		1.33×10^{-5}	32	-100~200	40~90	大	1年以上		
	动力 密封	离心 密封	背叶轮	1.33×10^{-3}	0.25	0~50	30	—	1年以上	
			甩油环	油封	—	0	不限	不限	—	非易损件
				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	
	螺旋迷宫密封		—	70						
	其他	磁流体密封		1.33×10^{-13}	4.12	-50~90	70	—	—	
全封闭密封										

① 凡使用橡胶者，适用温度同成型填料。

三、密封技术进展

1. 静密封技术进展

人类很早就开始使用静密封，如食品酿造中酒桶的密封等，但直到欧洲工业革命后因对蒸汽机和锅炉等压力容器的要求才使得静密封技术得以快速发展，化学工业和石化工业等的发展进一步加快了静密封技术的进步。

现代的静密封技术已能够解决工程和生活中压力由真空到 300MPa，温度 $-180 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，直径 12m 范围内的大部分静密封问题。但是，静密封技术的影响因素十分复杂，理论研究很难，实验成本高，因此泄漏率仍不能定量确定，可靠性仍不能满足工程要求。

近年来，国内外静密封技术有了重要进展，并在不断发展，产品品种和应用也有了较大进步。

美国机械工程师协会（ASME）下的压力容器委员会（PVRC）组织的垫片性能研究，找到了垫片设计的新方法，解决了原有设计规范中设计系数不考虑泄漏率和设计参数未经实验验证的问题，使得新的设计方法更科学合理。

垫片应力主要来自螺栓预紧力，但实际上静密封结构是一对法兰、螺栓、垫片等组成的非线性静不定系统，因此对这样一个系统而言，在装配阶段螺栓力不可能全部转化为垫片应力；在操作阶段也不能一成不变。螺栓力的这种变化受许多因素支配，包括预紧工具与操作方法，温度、压力与循环，螺栓的蠕变，垫片的蠕变松弛等。其中均匀、足够的螺栓预紧力是达到长期可靠密封的重要因素，但在装配中要做到这一点非常困难。多年来，扭矩-转角控制法、拉伸控制的特殊螺栓、超声波控制螺栓伸长、计算机控制拉伸螺栓至屈服、一次同时上紧所有螺栓等新的拧紧工具、程序及控制方法不断出现，使螺栓预紧力的分散度最小可控制在 $\pm 1\%$ 以内。

1974 年以来，PVRC、CETIM（法国机械工业技术中心）等研究机构在对垫片的室温性能进行了广泛研究以后，现在重点已转移到对垫片的高温性能上，这一研究在静密封研究领域中最富成果。

一般将肉眼不能发觉的很小的泄漏称为易挥发物逸出。20 世纪 80 年代以来，在工业生产大规模发展的同时，对环境质量的要求也越来越高，来自阀门、泵和法兰的易挥发物已不能忽视。美国环保局（EPA）在“空气净化法”中，一方面把 200 种化学品列入控制对象，另一方面对泵、阀门和法兰的密封制定了易挥发物逸出量的限制规定。因此，国外有些密封件制造厂家已经把其达到这些控制规定的产品作为市场竞争的拳头产品，研究部门也把注意力转向了这一方面。

自 1906 年英国发现首例涉及石棉肺沉积病例，继而发现石棉是肺癌、间皮瘤等的病因之一，在这之后的一个多世纪以来，国外一方面越来越严格控制石棉粉尘的安全浓度，另一方面从 20 世纪 70 年代，一些工业发达国家先后制定了禁止或限制生产和使用石棉及含石棉制品的法令，因此选用代石棉材料已成为密封材料的转折点。目前各种类似石棉组成的替代物应运而生，仅就各种无机或者有机合成纤维增强材料与不同弹性体黏结压延而成的垫片板材而言，已开发的包括无机纤维、有机纤维、碳/石墨纤维等增强的橡胶基复合材料，在较广范围内替代了石棉橡胶板。随着非石棉材料的开发，可供选择的产品也越来越多。

另外，柔性石墨自 20 世纪 60 年代问世以来，因其优良的密封效果备受人们青睐且发展迅速。尤其在淘汰石棉技术的需要下，许多场合柔性石墨可以作为石棉代用品而获得广泛

应用。

20世纪80年代开始,国内密封技术在性能研究、新材料开发、密封件标准化等方面均取得了进展。国内提出的密封设计方法、试验方法和紧密性准则已发展到实用阶段。除在理论研究方面之外,在实用技术、新型垫片和新材料方面也做了许多工作。

膨胀石墨缠绕垫片不仅具有石棉缠绕垫片的优点,且避免了高温下石棉脱结晶水而老化,存在“毛细”现象导致渗漏的缺点。目前我国不仅有马口铁、低碳钢、不锈钢的膨胀石墨缠绕垫,还研制了钛材、蒙乃尔合金等材料分别缠绕石墨与聚四氟乙烯的垫片,解决了高温和腐蚀性部位的密封问题。以往国内无金属包覆垫片专业生产厂家,多用手工或模具制作,质量难以保证,密封效果欠佳。现在国内密封件厂已采用自行研制的滚压机生产包覆垫片,可加工 $\phi 300\sim 4000\text{mm}$ 的异形和波形垫片,尤其适合制造大直径垫片和多管程换热器用垫片。其加工的垫片尺寸精度高、外观质量好、密封性能好,达到了国外同类产品的技术水平。

膨胀石墨是一种新型的密封材料,具有足够的弹性、柔软性、自润滑性和不渗透性,但强度低。为此出现了在原有垫片的两表面再复合膨胀石墨的垫片,极大地提高了密封性。为了运输、使用和安装方便,国内又相继出现了以金属网或冲压成鱼鳞片状的薄板两面复合膨胀石墨的垫片,取得了满意的密封效果,不但可用于石油化工,且用作汽车发动机的气缸垫片已获成功。

膨胀聚四氟乙烯不仅保留了聚四氟乙烯(PTFE)原有的化学稳定性好、摩擦系数低和不老化的优良性能,并且还扩大了使用温度范围,提高了抗拉强度,同时还具有一些新的特性,如多孔性、透气性和极高的韧性等。根据其制造工艺和添加剂的不同,可制成法兰密封胶带、阀杆填料盒 GFO 纤维泵用填料。其中密封胶带强度高、密封性好,尤其是对损伤或异形法兰密封的适应性强,施工简便、经济性较好。

垫片标准及技术条件是制造和选用垫片的依据,但较长时间内其制定工作未受到重视,致使我国的垫片标准一直较落后。20世纪90年代以后,国家技术监督局发布的垫片已基本包含了常用的垫片系列,如 JB/T 4704—2000《非金属软垫片》、JB/T 4705—2000《缠绕垫片》、JB/T 4706—2000《金属包垫片》。GB 150—2011《压力容器》中也包含了八角垫、椭圆垫、双锥环垫等的标准。

2. 动密封技术进展

按密封件和使用特点,常用的动密封有:机械密封、填料密封、迷宫密封、组合密封、动压密封等,其中机械密封用量占总量的80%以上,是常用的旋转轴密封,在石油化工装置的机泵设备中应用非常广泛。

1885年英国出现第一个机械密封的专利,1900年机械密封开始用于轴承密封。1908年汽轮机上开始使用机械密封。1919年出现单端面密封,1920年机械密封开始用于小型家用冷冻压缩机和汽车水泵。1930年开始用于内燃机水泵。1940年在一定程度上解决了轻烃泵密封问题。1945年出现平衡型和中间环高压高速机械密封。1957年美国西乐 Sealol 公司生产出第一个金属波纹管机械密封。1960年出现热流体动力楔机械密封。1963~1969年静压密封、流体动压密封在工业上应用。1977年出现各种密封的组合机械密封和螺旋槽干运转气体密封并开始工业应用。2000年非接触(表面改性技术)机械密封得到发展。我国于20世纪50年代开始在炼油厂离心油泵上使用机械密封,60年代初开始自制并推广应用机械密封。目前,我国已制定了机械密封国家标准,产品实现了系列化,有专业制造厂和专门研究

机构。

机械密封的适用范围相当广泛，目前水平是单级密封压力从 10^{-3} Pa~35MPa 范围内可安装使用，使用温度最高可达 1000°C ，机器的转速可达 $50000\text{r}/\text{min}$ ， p_v 值达 $1000\text{MPa}\cdot\text{m}/\text{s}$ 。

高速旋转机械的轴封，常采用迷宫密封、液体浮环和液体机械密封。其中，迷宫密封泄漏量大，液体浮环和液体机械密封需要一套复杂的供油系统，且寿命短、易封油污染。

磁力传动密封泵是没有轴封结构和无泄漏的新型密封技术。它通过隔离套将泵轴与动力轴隔开而不直连，由泵轴与动力轴上的永久磁铁来传递动力与扭矩，省去了联轴器，使动密封变成了静密封。这对输送特殊介质，尤其是有毒介质会更安全。

填料密封在工业应用中占有一定比例，其主要用于阀杆、搅拌轴和往复机械的轴封。当前所用填料的品种和规格多种多样，但仍采用传统方法，即单一材料一圈圈装填与拆卸。整个填料受力很不均匀，装卸不便。为此已开发采用不同材料组合、受力均匀的集装式填料，这对填料密封而言，是一个突破性的变革，很有发展前途和推广价值。

3. 密封材料

随着密封技术的发展，人们对密封材料提出了越来越严格的要求，从而推动和促进了各种新型密封材料和工艺的发展。为了保证密封具有良好的密封性能及长久的使用寿命，除了应具有合理的密封机构及制造工艺外，更重要的是应具有良好的密封性能材料。因此，对密封装置来说，如果结构是先导，工艺是保证的话，材料则是基础。也就是说，密封材料是保证密封性能和使用寿命的关键所在。密封技术的进步与密封材料的发展一直是紧密联系在一起。现代工程对密封的要求，在很大程度上是对密封材料的要求。具体要求包括：

- ① 密封材料的允许使用温度范围。
- ② 减摩性和耐磨性。
- ③ 对介质作用的稳定性。
- ④ 工艺性和经济性。

常见的密封材料被分为固体密封材料和液体密封材料两大类。固体密封材料包括非金属密封材料和金属密封材料两类。非金属密封材料主要包括：陶瓷密封材料；石墨密封材料；橡胶密封材料；树脂型高分子密封材料；聚合物基密封材料；无机非金属密封材料；皮革、石棉、毛毡等其他非金属密封材料。金属密封材料主要包括：黑色金属密封材料（铸铁、碳钢及合金钢）和有色金属密封材料（铜及铜合金、铝及铝合金、其他有色金属及合金）。

液体密封材料主要包括胶黏剂和磁流体密封材料。胶黏剂分为树脂基胶黏剂、橡胶型胶黏剂和无机胶黏剂。磁流体密封材料分为油基磁流体密封材料、水基磁流体密封材料、二酯基磁流体密封材料和氟碳基磁流体密封材料等。

对密封材料越来越苛刻的要求，使单一材料往往难以满足要求。把一些不同性能的材料组合起来，取长补短，开发研制新型复合材料，显然代表着密封材料的发展趋势。新型复合密封材料开发的大致趋势包括：

- ① 开发强度可与钢材相比，且兼有弹性的复合密封材料。
- ② 能持续耐热 500°C 以上，强度在 1000MPa ，且容易加工的纤维增强复合密封材料。
- ③ 开发机械性能和耐热性能超过铝合金，并可进行塑性加工的树脂基纤维增强复合密封材料。
- ④ 开发高硬度、低脆性密封材料。

⑤ 开发强度高于钢，弹性比橡胶好，且可焊接的材料。

⑥ 开发纤维增强的新型陶瓷材料。

在密封材料的开发方面，也可以采用喷涂新的热固性塑料及喷镀有色金属粉末的方法以满足某些特殊情况下的密封要求。

密封材料开发的另一个趋势是液体密封材料的研制。这里面包括两部分内容，一方面是开发耐高温密封胶、耐低温密封胶、无机胶、瞬干胶、无溶剂胶、低毒胶、水基胶、低温固化高温使用的密封胶以及其他高性能、耐久性优异的新型密封胶；另一方面就是开发磁流体密封材料，这对于解决其他密封材料难于解决的密封难题是非常有效的。

不断涌现的新型密封材料会极大地促进密封技术的发展，同时，现代工程对密封技术所提出的越来越高的要求，也会刺激密封材料的加速开发。可以预见，随着科学技术的进步，密封材料的开发和密封技术将会迎来令人鼓舞的进步。

四、化工生产与密封技术

化工生产过程具有易燃、易爆、剧毒、高温、高压、强腐蚀性等特点，因而较其他工业部门有更大的危险性。表现为：

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、有腐蚀性的危险化学品。生产中对这些原材料、中间产品和成品的储存、运输都提出了特殊的要求。

② 化工生产过程技术复杂、多样。化工产品生产过程除主要的化学反应，还包括高温高压或低温下进行的分解、化合和聚合等。

③ 化工生产有明显制约性。化工生产过程往往在大量生产一种产品的同时，还会有许多联产品和副产品，这些联产品或副产品多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，存在很强的制约性。如果生产的各个环节衔接不好，不仅造成资源浪费，且易发生泄漏，污染环境，危害社会。

④ 化工生产过程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连续生产，要求设备长周期运行，任何一个环节出现故障，都可能使生产过程中断，造成损失。

因此，化工生产对密封主要有下列要求。

① 密封可靠、安全性高。化工生产过程中的物料大多为易燃易爆、有毒物质，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，甚至引发重大安全生产事故，因此要求密封件的密封可靠、泄漏量少，甚至无泄漏，保证安全生产。

② 密封件耐腐蚀。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，密封件必须具有尽可能长的使用寿命，一般使用期至少应保证一个生产周期。

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，调高生产效率，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、能耗和运转费用少、使用维修方便。

五、密封的评价指标与密封管理

(一) 密封的评价指标

衡量密封性能好坏的主要指标是泄漏率、使用寿命和使用条件（压力 p 、线速度 v 、温度 t ）。表 1-2 列出了目前流体密封能达到的单项最高技术指标。

表 1-2 流体密封的单项最高技术指标

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

当出现流体泄漏时，常用“密封度”来比较和评价密封的有效性。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泄漏量，即泄漏率来表示。因此，往往将泄漏量为零，说成“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。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，它基本上是定性的方法，如表 1-3 所示。

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,但没有形成滴珠		
2	局部有滴珠形成	5	以 5min 或更短时间滴漏 1 滴
3	沿整个垫片周边有滴珠形成	6	形成线状滴漏

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，如有机蒸气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} 。

（二）密封管理

石油和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。

1. 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 加强密封信息管理。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则、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。

2. 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。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。车间要将密封点的管理落实到个人，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，巩固无泄漏成果。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 工段长、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，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，暂时解决不了的报设备管理人员。

3. 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、接头，包括机泵上的油标、附属管线、工艺设备冷却器、加热炉外露涨口、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。

① 设备和管路。用眼睛观察，不结焦，不冒烟，无渗迹，无泄痕。

② 仪表设备及分引线。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。

③ 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。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 氧气、氮气、空气系统。用10mm宽、100mm长薄纸条试漏，无吹动现象。

⑦ 蒸汽系统。用肉眼观察，不漏气，无水垢。

⑧ 酸、碱等化学物料系统。用肉眼观察无渗迹，无泄痕。

思考及应用题

一、单选题

1. 化学工业中的密封问题表现出（ ）特性。