



# 机械密封技术

孙玉霞 李双喜 李继和 等编著

Mechanical Seal Technology



化学工业出版社

# 机械密封技术

孙玉霞 李双喜 李继和 等编著

Mechanical  
Seal Technology



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是一本综合性机械密封实用技术图书，系统、全面地介绍了机械密封的设计、制造、技术标准、使用维修等，内容丰富、通俗易懂。内容资料全部来自设计、制造、应用一线，并综合了国内外部分技术资料，实用性价值高。

本书可供机械密封的设计、生产制造、使用单位的工程技术人员和技术工人使用，也可供大专院校相关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械密封技术/孙玉霞, 李双喜, 李继和等编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-122-20513-1

I. ①机… II. ①孙…②李…③李… III. ①机械密封  
IV. ①TH136

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 083381 号

---

责任编辑: 张兴辉

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 王晓宇

---

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 25 $\frac{3}{4}$  字数 641 千字 2014 年 8 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: 98.00 元

版权所有 违者必究

# 序

机械密封是重要的机械基础件，在许多设备中扮演着关键角色，经常成为制约整个设备研发的技术瓶颈。在我国，随着对基础件重要性认识的深化，一直以来存在的“重主机、轻基础件”的倾向和观念开始扭转，政府和工业界对密封技术的重视和投入也在逐步加大。尽管目前我国的机械密封技术与国外先进水平相比还存在着不小的差距，但在我国大量工业需求的推动下，在国家政策的重视下，机械密封技术迎来了重要的发展机遇期，正在取得快速进步。而机械密封的专著、教材、手册等作为密封知识和技术体系的重要组成部分，是工程技术人员和高校学生学习、使用、研究密封技术的重要依据和参考，需要特别地重视和投入。

参与本书编写工作的同志，长期从事机械密封的设计、研究、教学及生产，积累了丰富的知识和经验。本次出版的《机械密封技术》是从事机械密封专家的智慧和努力，内容丰富而且具有很强的实用性。相信本书的出版将为广大学习、研究、生产和使用机械密封的工程技术人员提供一本很好的教材和参考资料。

中国工程院 院士  
清华大学 教授

王玉顺

# 前 言

机械密封是解决流体机械设备旋转轴密封的“跑、冒、滴、漏”，环境污染、安全生产、能源浪费问题重要的基础件。近年来随着机械密封结构设计、新材料应用、采用国际先进技术标准方面的发展，在工业生产应用中也取得了大量成果。为了更好推广机械密封技术，编写本书供机械密封的设计、生产制造、使用单位的工程技术人员和技术工人使用，也可供大专院校相关专业师生参考。

参加本书编写的人员，均长期从事机械密封科研、设计、生产制造及应用等工作，具有较丰富的实践经验，综合了国内外部分技术资料，全面介绍了机械密封的设计、制造、技术标准、使用维修等，内容丰富、通俗易懂、实用性强。

随着我国经济进入全球化发展时期，国外机械密封产品配套大型石油化工装备及成套装置进入我国，而且也有相当数量国产机械密封产品出口到国外，因此本书对国际上广泛采用的 API 682—2004《离心泵与转子泵用轴封系统》标准进行了专门解读。

机械密封产品在国内已实行了生产许可证管理，为使生产单位、尤其是使用单位了解有关情况，本书也做了简要介绍。

本书第一、二、三、四、五、十三章由李双喜、蔡纪宁、张秋翔执笔。第六、七、八、九、十、十一、十二、十四章、附录 A、附录 B、附录 C 由孙玉霞、崔德容、殷洪基、李继和执笔，全书由孙玉霞、李双喜、李继和统稿，由蔡纪宁、崔德容、殷洪基审核。

本书在撰写过程中，宁波伏尔肯机械密封件制造有限公司邬国平、西安永华集团申改章、密友集团吴建明和王黎明、宁波东联密封件有限公司李友宝、台州东新密封有限公司郑志荣、东台市海城机械密封弹簧厂周金洋、上海德宝密封件有限公司郑佑俊、江苏隆达机械设备有限公司张丽萍、大连四方佳特流体设备有限公司杨平、江苏永盛流体科技有限公司陈永清等对本书出版提供了不少资料与支持。在此一并致以衷心的感谢。

限于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 泄漏与密封	1
第二节 机械密封的发展	3
第三节 机械密封的优缺点	4
第二章 机械密封的基本原理	6
第一节 机械密封的组成及基本原理	6
第二节 主要零部件的作用	7
第三章 机械密封的分类	9
第一节 按作用原理和结构分类	9
第二节 按应用的主机分类	12
第三节 按使用工况和参数分类	12
第四章 机械密封的密封特性	14
第一节 摩擦系数与密封准数	14
第二节 密封端面上的液膜压力	17
第三节 平衡系数	18
第四节 $p_v$ 值与 $p_c v$ 值	20
第五章 机械密封的设计和计算	21
第一节 机械密封的设计条件及设计顺序	21
第二节 主要零件结构确定	21
第三节 主要零件的尺寸确定	27
第四节 弹簧比压和端面比压的计算	30
第五节 弹簧的设计计算	33
第六节 波纹管有效作用直径的计算	36
第七节 镶嵌环结构尺寸的确定	37
第八节 机械密封冲洗冷却流量的计算	44
第六章 机械密封材料	46
第一节 摩擦副组对材料	46
第二节 辅助密封圈材料	60
第三节 弹性元件及其他零件的材料	68
第四节 机械密封材料的选用	71
第七章 机械密封的支持系统	73
第一节 支持系统的作用	73
第二节 冲洗与冷却方式	73
第三节 支持系统的部件	76
第四节 泵用机械密封冲洗冷却方案	82
第五节 釜用机械密封支持系统	91
第八章 机械密封技术标准	97
第九章 机械密封制造技术	101

第一节	机械密封零件的公差配合与技术要求	101
第二节	机械密封典型零件的制造	106
第三节	机械密封的研磨技术	119
第四节	机械密封端面平面度的检验	131
<b>第十章</b>	<b>机械密封的检测</b>	<b>136</b>
第一节	机械密封的静压试验	136
第二节	机械密封气密性试验	136
第三节	机械密封的运转试验	140
第四节	API 682 标准认证试验	140
第五节	机械密封产品生产许可证	141
<b>第十一章</b>	<b>机械密封的选型和安装使用</b>	<b>148</b>
第一节	机械密封选型	148
第二节	机械密封的订货验收与保管	174
第三节	机械密封对安装机器的精度要求	175
第四节	机械密封的安装与使用	178
第五节	搪玻璃设备用机械密封安装与使用	181
<b>第十二章</b>	<b>密封失效分析与对策</b>	<b>185</b>
第一节	泄漏失效分析	185
第二节	从摩擦副用材料分析故障原因	187
第三节	从失效形式分析故障原因	189
第四节	密封失效典型实例分析	195
第五节	机械密封的故障及防止措施	199
<b>第十三章</b>	<b>非接触干气密封</b>	<b>203</b>
第一节	干气密封的结构原理	204
第二节	干气密封的类型及应用范围	205
第三节	干气密封的设计计算	210
第四节	干气密封的控制系统	214
第五节	干气密封产品生产及技术要求	223
<b>第十四章</b>	<b>应用典型工况的机械密封</b>	<b>228</b>
第一节	酸泵用机械密封	228
第二节	碱泵用机械密封	233
第三节	烟气脱硫循环泵用机械密封	235
第四节	高危介质泵用机械密封	236
第五节	高黏度介质用机械密封	242
第六节	搪玻璃容器用机械密封	243
第七节	高压反应釜用机械密封	246
第八节	医药搅拌设备用干运转机械密封	247
<b>附录 A</b>	<b>国际标准 API 682: 2004《离心和旋转泵用轴密封系统》标准解读</b>	<b>248</b>
<b>附录 B</b>	<b>国内最新修订的部分机械密封标准介绍</b>	<b>338</b>
<b>附录 C</b>	<b>国内机械密封材料主要生产单位</b>	<b>401</b>
<b>参考文献</b>		<b>402</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 泄漏与密封

在工矿企业中，机器设备普遍存在着泄漏问题，其后果往往造成机器设备效率降低，设备性能变坏，能源浪费，环境污染，甚至危害人们身体健康和生命安全。特别是石油、化工企业的连续生产中，泄漏是造成非计划停车的主要原因。

所谓泄漏，就是流体通过密封面由一侧传递到另一侧。泄漏的原因有内因和外因。外因是密封面上有间隙，内因是密封面两侧存在着压力差或浓度差等推动力。如果能消除或减少这些影响因素，就可以防止或减少泄漏。

泄漏量通常用单位时间内泄漏流体的体积或质量的流量来表示，常用 mL (mg)/s 及 mL (mg)/h，也称泄漏率。

能够防止或减少泄漏的装置称为密封装置，其中起密封作用的零部件称为密封件。应用密封装置解决泄漏的技术叫密封技术。

密封的功能是阻止泄漏。在两个腔体间设置些零部件，用以防止机器或设备内工作介质的泄漏，或防止外界的流体侵入机器设备内的措施是常见的密封形式。密封装置可以由几个零部件组成，并应配置有支持系统。

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，如图 1-1 所示。密封部位的结合面有相对运动的密封称为动密封；密封部位的结合面相对静止的密封称为静密封。根据密封面接触类型，可把密封分为接触式密封和非接触式密封。

静密封均为接触式密封，主要有垫片密封和胶密封。垫片密封广泛用于管道、压力容器以及各种壳体的接合面的静密封中。通常垫片密封按材料分为非金属垫片、金属垫片和复合型垫片。垫片密封根据工作压力，可选择不同的材质和接触宽度。通常中低压常用材质较软、接触宽度较宽的垫片密封，高压则用材料较硬、接触宽度较窄的金属垫片。胶密封是一种无固定形状的膏状或腻子状的新型密封材料，分为液态密封胶、厌氧胶和热熔型密封胶，广泛应用于机械、车辆、航空、造船、建筑、仪表、电子设备等连接部位的密封，如减速器加油孔、铆接、螺栓和其他结构的缝隙等。

动密封根据密封面间是相对滑动还是相对旋转运动，分为往复密封和旋转密封两种基本类型。活塞环密封、唇形密封、隔膜密封和填料密封等，都是典型的用于往复运动的轴封，往复密封均为接触式密封。填料密封、机械密封、浮环密封、迷宫密封、螺旋密封、离心密封、停车密封、磁流体密封等都是典型的用于旋转运动的轴封。旋转密封中，填料密封和机械密封中的大部分属于接触式密封，通过隔离或切断泄漏通道来达到密封的目的。浮环密封、迷宫密封、螺旋密封、离心密封、停车密封、磁流体密封属于非接触式密封，其中迷宫密封是利用增加泄漏通道中的阻力和流动能量损失来阻漏的；螺旋密封、离心密封是在泄漏通道上加设做功元件，产生与泄漏流体方向相反的压力，与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡，以阻止泄漏；浮环密封和磁流体密封属于流阻型非接触式动密封，是依靠密封间隙内的流体阻力效应而达到阻漏目的。通常密封面线速度较低の場合，采用接触式密封；而高速旋转的机械，应采用非接触式密封。

常用动密封的种类及其特性见表 1-1。



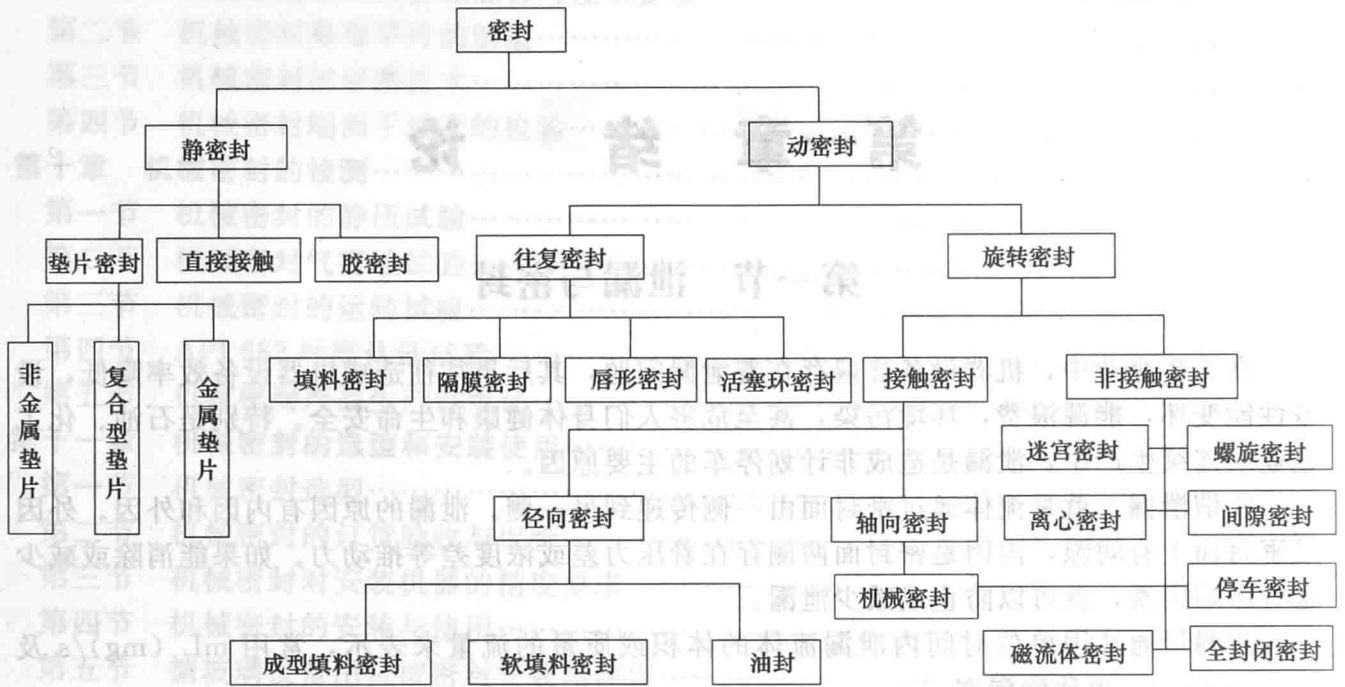


图 1-1 密封的分类

表 1-1 常用动密封的种类与特性

种类	真空 绝压 /MPa	压力 表压 /MPa	工作温度 /°C	线速度 /(m/s)	泄漏率 /(mL/h)	使用期限	应用举例	
压紧填料密封	$1.33 \times 10^{-3}$	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	$1.33 \times 10^{-7}$	-45~230	10	0.001~ 0.1	6个月~1年	油压缸、 水压缸	
	唇型	$1.33 \times 10^{-9}$						
橡胶油封	油封	—	-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	—	-45~400	12	—	3个月~1年	活塞杆密封	
	旋转	294.2		—		6个月~1年	航空发动机 主轴承封油	
胀阀密封	往复	$1.33 \times 10^{-3}$	-45~ 400 <sup>①</sup>	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 机主轴承油封	
	旋转		0.2					
机械密封	普通型	$1.33 \times 10^{-7}$	-196~ 400 <sup>①</sup>	30	0.1~150	6个月~1年	化工、电厂、 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	$1.33 \times 10^{-5}$	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	—	1年以上	泵、化工透平
		气体浮环	—	0.98	-30~150			
套筒密封		—	980.67	-30~100	2			

续表

种 类			真空 绝压 /MPa	压力 表压 /MPa	工作温度 /°C	线速度 /(m/s)	泄漏率 /(mL/h)	使用期限	应用举例
非 接 触 型	离心 密封	背叶轮	$1.33 \times 10^{-3}$	0.25	0~50	30	—	1年以上	矿浆泵
		甩油环 油封 防尘	—	0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油 油与防尘
	螺旋 密封	螺旋 密封	$1.33 \times 10^{-3}$	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	铁磁流 体密封	$1.33 \times 10^{-13}$	4.12	-50~90	70	—	—	—
		全封闭密封							

① 凡使用橡胶件者，适用温度同成型填料。

## 第二节 机械密封的发展

机械密封最早是 1885 年在英国以专利形式出现，1900 年开始应用，首次出现简单的端面机械密封，解决了机械制造业中转轴密封问题。同传统的填料密封相比，无论在功能上还是构成原理上，机械密封都有着明显的先进性。1920 年，机械密封才逐步在许多冷冻装置上得到较多的使用。1930 年以后，机械密封用于内燃机水泵的轴封。在这一阶段，机械密封发展的动力主要是机械加工和材料方面的技术进步。

第二次世界大战之中，美国把机械密封用于化工泵和海军、空军的机器设备中，第二次世界大战后，机械密封在美国得到了迅速普及，由于石油化学工业的发展，石墨、陶瓷、硬质合金等材料方面的技术进步，以及加工技术的提高，使机械密封技术得到了发展，使用参数大为提高。在这一阶段，机械密封发展的动力主要是工业发展速度和生产过程的需求。

1956 年，机械密封在结构上出现了平衡型密封专利和中间环密封。1961~1963 年由于原子能、宇航工业的要求，在结构上出现了流体动压密封和流体静压密封，使  $pv$  值迅速提高到  $167\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ ，1969 年达到  $266\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ 。在这一阶段，主要发展动力是密封端面间不同润滑机理的出现和与之相适应的新型结构的探索与开发。1971~1974 年由于宇航和核电方面的特殊要求，机械密封在结构上出现了多级密封，在材料上出现了碳化硅和优质的不同浸渍材料的碳石墨，使  $pv$  值达到了  $360\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ ，1977 年由于核电等特殊需要，采用螺旋-机械密封组合的密封、改进的中间浮动环密封、浮环-机械密封组合密封等，使最高  $pv$  值达到了  $500\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ 。这一阶段，发展的主要动力是结构重组和密封新材料的出现。

1980~1990 年随着人们环境保护意识的提高，研制出了“零泄漏”机械密封。在流体动压密封原理的基础上，开发出了热流体动力楔机械密封和上游泵送机械密封。在保证密封性能的同时，为了获得较长的使用寿命，利用自动控制理论，人们开发出可控机械密封。1990 年以后，机械密封  $pv$  值达到了  $5700\text{MPa} \cdot \text{m/s}$ 。这一阶段，发展的主要动力是密封原理的发展和理论的支持。

由此可以看出机械密封的产生及其发展应用有着特定的历史条件。一百多年的研究过程中，人们在认识机械密封机理的同时，成功地利用密封机理设计制造了多种结构型式的机械密封产品，并将产品应用于石油、电力、宇航及核工业等领域。目前先进的机械密封应用技术主要是密封端面改形技术、组合密封技术和可控机械密封技术。

随着石油化工、宇航、材料科学及制造技术的迅猛发展，机械密封的基础理论和试验研

究还将进一步向纵深发展,机械密封应用技术研究特别是机械密封失效分析的研究也倍受人们的关注。

国内机械密封应用起步较晚,但发展很快。1965年兰州炼油厂、沈阳水泵厂等单位首先试制泵用机械密封。1966年天津机械密封件厂开始生产机械密封。1970年原机械工业部、化学工业部、石油工业部所属科研、生产、使用单位组成联合设计组,参考了国外先进结构,联合设计了“泵用机械密封系列”。1970年化学工业部所属单位组成联合设计组完成了“釜用机械密封系列”设计工作。1975年,我国第一个“泵用机械密封技术标准”诞生,1978年我国第一个“釜用机械密封技术标准”诞生,加速了密封技术的发展,促进了机械密封产品质量的提高。随着改革开放进程,我国机械密封标准体系日趋完善,科研机构数十家,生产厂家数百家,从消化引进到自给自足,机械密封无论在品种、材料、技术参数等方面都达到一个新的水平,部分产品接近国外先进水平。当然,我国的机械密封总体水平与国外仍有很大差距,特别是在高端产品上,这些都有待于进一步研究解决。

### 第三节 机械密封的优缺点

(1) 机械密封的优点 机械密封是由经过精密加工的零件组成,它是一种性能较好的密封形式。与传统的填料密封相比,机械密封有如下优点。

① 密封性好。机械密封中有动环密封圈、静环密封圈及密封端面三处密封部位,其中动环密封圈及静环密封圈二处属于静密封,一般密封性较好。密封端面的表面光洁度和平面度都很高,一般处于半流体润滑、边界润滑状态,泄漏很小。机械密封泄漏量一般在 $3\sim 5$  mL/h以下,根据使用工况要求,也可把泄漏量限制在 $0.01$  mL/h以下。

② 使用寿命长。机械密封密封端面由自润滑性及耐磨性较好的材料组成,还具有磨损补偿机构。因此可连续使用半年以上,使用较好的可达一年甚至更长时间。

③ 不需要经常调整。机械密封在密封流体压力和弹性力的作用下,即使摩擦副磨损后,密封端面也始终自动地保持贴紧。因此,一旦安装好以后,就不需要经常调整,使用方便,适合连续化,自动化生产。

④ 摩擦功率消耗小。机械密封由于摩擦副接触面积小,又处于半流体润滑或边界润滑状况,摩擦功率一般仅为填料密封的 $0.2\sim 0.3$ 左右。

⑤ 轴或轴套不产生磨损。轴或轴套与机械密封动环之间几乎无相对运动,可重复使用,降低零部件的消耗。

⑥ 耐振性强。机械密封由于具有缓冲功能,因此当设备或转轴在一定范围内振动时,仍能保持良好的密封性能。

⑦ 密封参数高,使用范围广。当合理选择摩擦副材料及结构,加之适当的冲洗、冷却等支持系统的情况下,机械密封可广泛适用于各种工况,尤其在解决高温、低温、强腐蚀、高速等恶劣工况下的密封时,更显示其优越性。

(2) 机械密封的缺点 相对于填料密封,机械密封也存在一定的缺点。

① 结构复杂,装配精度要求高。一般机械密封由一对摩擦副组成密封端面。当密封参数较高时,将由两对或几对摩擦副组成,加上支持系统,在结构上较普通的填料密封复杂。同时由于装配精度要求高,安装时有一定技术要求,故对于初次使用机械密封的人来讲显得稍微困难些。

② 更换不方便。机械密封零件都是环形零件,而且这些零件一般不能做成剖分式,因此在更换密封零件时,就需要部分或全部地拆开机器设备的传动部分,才能从传动轴端取出

密封零件。

③ 排除故障不方便。当机械密封运转不正常时，采取应急措施困难，这时只好将设备停止运行进行处理。

④ 价格较贵。机械密封选材严格，加工制造精度高，工艺路线长，因此造价较高，与普通填料密封相比，一次性投资大。

机械密封上述一些缺点，随着人们对机械密封认识的不断深化及机械密封技术的不断发展，是能够得以改进和克服的。



图 1-1 机械密封结构示意图



图 1-2 机械密封结构示意图

## 第二章 机械密封的基本原理

### 第一节 机械密封的组成及基本原理

机械密封又称端面密封，是一种应用广泛的旋转轴动密封，其基本结构如图 2-1 所示。机械密封中相互贴合并相对滑动的两个环形零件称做密封环，其中随轴作旋转运动的密封环称做动环或旋转环（件 3），不随轴作旋转运动的密封环称做静环或静止环（件 1）。两个密封环相贴合的端面称为密封端面。一对相互贴合的密封表面之间的接触面称为密封端面。机械密封必须具有轴向补偿能力，以便密封端面磨损后仍能保持良好的贴合。因此称具有轴向补偿能力的密封环为补偿环，不具有轴向补偿能力的密封环为非补偿环。由弹簧（件 5）及相关零件，如弹簧座（件 6）、推环（件 9）等所组成的能随补偿环一起轴向移动的部件称做机械密封的补偿机构。补偿机构可以设计在动环一侧，则动环具有轴向补偿能力，称做补偿动环，此时静环不具有轴向补偿能力，称做非补偿静环。反之，将补偿机构设计在静环一侧，则静环具有轴向补偿能力，称做补偿静环和非补偿动环。

机械密封通常有 4 个泄漏部位（亦称密封点），如图 2-2 所示。泄漏部位 1 为静环与压盖之间，静环密封圈（件 2）阻止了介质沿此间隙的流体泄漏，是静密封点。泄漏部位 2 为压盖与腔体连接处的间隙，用压盖密封圈或垫片（件 11）来阻止其泄漏，是静密封点。泄漏部位 3 为动环与轴之间，动环密封圈（件 10）阻止了介质沿此间隙的流体泄漏，是相对静密封点，动环密封圈与轴或轴套之间有微动。泄漏部位 4 是由动、静环所构成的密封端面之间的间隙，由于动、静环之间依靠弹力和介质压力保持贴和并有相对滑动，故属于动密封点，也是机械密封中的主密封，即主要密封环节或密封部位，也是决定机械密封性能和寿命的关键。

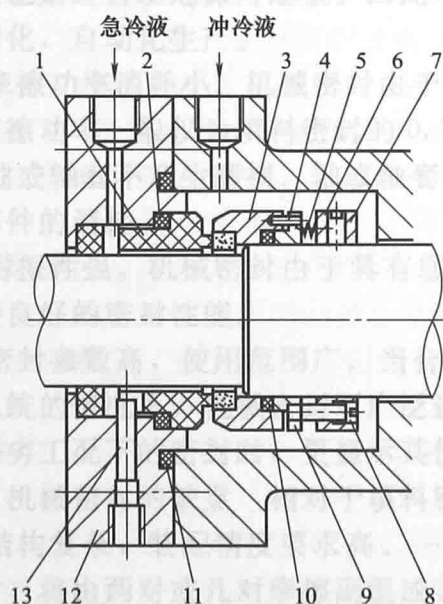


图 2-1 机械密封基本结构

- 1—静环；2—静环密封圈；3—动环；4—传动销；5—弹簧；  
6—弹簧座；7—紧定螺钉；8—传动螺钉；9—推环；  
10—动环密封圈；11—压盖密封圈；12—压盖；13—防转销

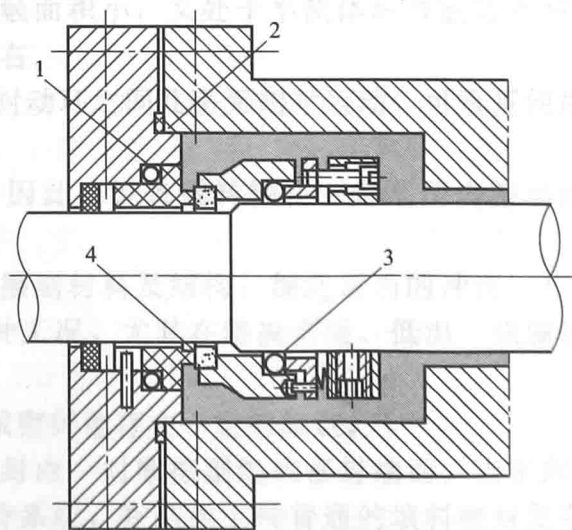


图 2-2 机械密封主要泄漏部位

- 1—静密封点；2—静密封点；  
3—静密封点；4—动密封点

相应亦称除主密封以外的其他密封环节为辅助密封。通常采用橡胶、聚四氟乙烯等弹性零件做成密封圈起辅助密封作用，故称做辅助密封圈。图 2-1 中的动环密封圈（件 10）和静环密封圈（件 2）都是辅助密封圈，它们不仅起辅助密封作用，同时还具有缓冲功能，能够减小轴的偏摆、振动对密封性能的影响。

带动动环与轴一起旋转的零件，如图 2-1 中传动销（件 4）、传动螺钉（件 8）、紧定螺钉（件 7），组成机械密封的传动机构。为了防止静环随动环旋转，机械密封还需有防转机构，如图 2-1 中防转销（件 13）。主密封、辅助密封、补偿机构和传动（防转）机构是构成机械密封的 4 个组成部分。当然，密封装置往往还应具有冷却、冲洗及润滑等支持系统。虽然机械密封的结构是多种多样的，但它们的基本结构和原理则是相同的。

机械密封大多工作在边界摩擦或混合摩擦状态下。

由密封流体压力（介质压力）和弹性元件的弹力（或磁性元件的磁力）等引起的合力作用下，在密封环的端面上产生一个适当的比压（压紧力），使两个接触端面（动环、静环端面）相互贴合，并在两端面间极小的间隙中维持一层极薄的液膜，由于液膜具有流体动压力与静压力，使之有一定的承载能力，防止两摩擦副表面直接接触，降低了摩擦因数，一方面对端面起润滑作用，使之具有较长的使用寿命；另一方面起着平衡压力的作用（流体动压力与静压力在端面之间形成的阻力要大于密封端面两侧的压力差），从而使机械密封获得良好的密封性能，达到密封的目的。

机械密封端面的间隙主要取决于研磨精度，故对密封端面的加工要求很高。根据零件尺寸和摩擦状态不同，液膜厚度也不同。同时为了使密封端面间保持适当的液膜，必须严格控制端面上的单位面积压力，压力过大，不易形成稳定的液膜，会加速端面的磨损；压力过小，泄漏量增加。所以，要获得良好的密封性能又有足够寿命，在设计和安装机械密封时，一定要保证端面单位面积压力值在最适当的范围。

由此，可以把机械密封定义为：由至少一对垂直于旋转轴线的端面在流体压力和补偿机构的弹力（或磁力）的作用以及辅助密封的配合下，保持贴合并相对滑动而构成的防止流体泄漏的装置。

## 第二节 主要零部件的作用

(1) 动环（旋转环） 动环随旋转轴一起旋转，其端面与静环端面互相贴合并相对滑动，组成密封端面以防止介质泄漏。当补偿机构设计在动环一侧时，则动环具有轴向补偿能力，称做补偿动环。反之，称做非补偿动环。补偿动环当密封端面磨损以后，可在弹性元件作用下做轴向移动进行补偿，保持密封端面的良好贴合。

(2) 静环（静止环） 静环是安装在机器设备的壳体、压盖、法兰等静止部位上的。它与动环一样，靠密封端面来防止介质泄漏。当补偿机构设计在动环一侧时，密封端面磨损后，静环不能进行补偿，称做非补偿静环。反之，称做补偿静环。补偿静环当密封端面磨损以后，同样可以在弹性元件作用下做轴向移动进行补偿。

(3) 静环密封圈 静环密封圈一般采用合成橡胶或聚四氟乙烯等材料，制成 O 形圈、V 形圈以及其他形状，用来防止介质从静环与压盖（或法兰）之间泄漏，并使静环具有一定的浮动性。

(4) 动环密封圈 动环密封圈的材料及形状与静环密封圈一样，动环密封圈是用来防止介质从动环与轴（或轴套）之间的泄漏，并使动环具有一定的浮动性，而且当密封端面磨损后能在弹性元件的作用下随补偿动环一起进行轴向移动，以保证动静环端面的良好贴合。

(5) 弹性元件 弹性元件在机械密封中起非常重要的作用。其弹性力是使机械密封端面

产生合理的闭合力的重要因素。只有合理选择弹性元件，才能使机械密封在其工作压力范围内，密封端面既不会打开，又不会造成严重磨损。另外，当密封端面磨损后，弹性元件便靠弹性力推动动环（或静环）移动，进行自动补偿。

弹性元件的种类很多，常用的有弹簧（包括圆柱螺旋弹簧、圆锥弹簧、波形弹簧等）和波纹管（包括金属波纹管、聚四氟乙烯波纹管，橡胶波纹管等）。一般情况下采用一种或几种弹性元件组合使用。在某些场合，也可采用磁力来代替弹性力，保持密封端面的贴合。

(6) 推环 推环是用来将弹簧力传递给辅助密封圈和补偿环的零件。

(7) 弹簧座 弹簧座主要用于定位弹簧，使弹簧力均匀分布在垂直于密封端面的方向。

(8) 防转销 防转销是用于防止静环在摩擦力矩的作用下随动环一起旋转的零件。

(9) 传动元件 传动元件是用来传递扭矩的。一般常用的有传动销、传动螺钉、传动座等。

(10) 紧定螺钉 紧定螺钉是用于把弹簧座、传动座或其他零件紧固于轴（或轴套）上的零件。

动环，此时静环不具有轴向补偿能力，静环非补偿零件。... 静环与轴之间的配合，静环密封面... 静环密封面与轴密封面之间的配合，静环密封面与轴密封面之间的配合，静环密封面与轴密封面之间的配合...

### 密封零件的主要作用

密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是...

密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是...

密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是... 密封零件的主要作用是...

# 第三章 机械密封的分类

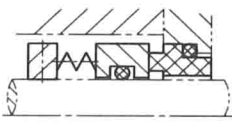
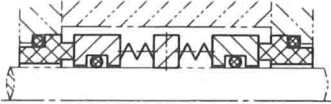
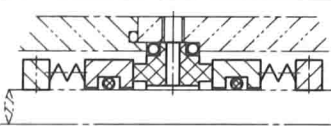
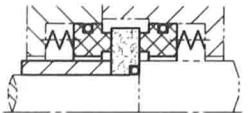

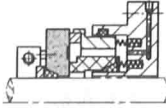

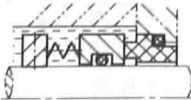
机械密封分类方法很多,根据 JB/T 4127.2 《机械密封分类方法》技术标准,通常可按机械密封作用原理和结构分类,或按其应用的主机、使用工况和参数分类以及按综合参数进行分类等。

## 第一节 按作用原理和结构分类

机械密封按其作用原理和结构,从大的方面可分为滑动式(推环类)和非滑动式(波纹管类)两大类,主要区别在于机械密封补偿环的辅助密封圈是否有轴向相对滑动。

根据机械密封的原理和结构不同,机械密封的基本类型及其应用如表 3-1 所示。

表 3-1 机械密封的基本类型及其应用

类型	图 例	定义和特点	主要应用场合
单端面		由一对密封端面组成的机械密封 结构简单,制造和装拆比较容易,因而使用普遍	用于介质本身润滑性好和允许有微量泄漏的情况,是最常用的机械密封型式,适合于一般场合
双端面	背对背 	由两对密封端面组成的机械密封。按双端面机械密封是轴向布置或径向布置,又分为轴向双端面机械密封和径向双端面机械密封 轴向双端面机械密封根据两补偿环端面是相背安装或相对安装分为背对背式或面对面式;若两补偿环串联安装则称面对背(串联)式 双端面机械密封大多需要在两对密封端面间引入带压的密封液(隔离流体),称有压双端面机械密封。否则称无压双端面机械密封 密封液压力一般高于介质压力 0.05~0.2MPa,以改善端面间的润滑及冷却条件,使介质与外界隔离,改变介质泄漏方向,实现介质“零泄漏”	适用范围广,用于介质本身润滑性差,强腐蚀、有毒、易燃、易爆、易挥发、黏度低、含颗粒及气体等使用工况苛刻和对泄漏量有严格要求的场合 轴向双端面用于轴向空间大而径向空间小的场合,静环面对面轴向双端面可用于高速;径向双端面用于径向空间大而轴向空间小的场合
	轴向双端面 动环面对面 		
	静环面对面 		
	面对背 		
径向双端面			
多端面		由两对以上密封端面组成的机械密封。多采用串联式安装,使每级密封端面承受的压力递减	用于高压的场合
单级密封		密封流体处于一种压力状态的机械密封	同单端面机械密封



续表

类型		图 例	定义和特点	主要应用场合
双级密封			密封流体处于两种压力状态的机械密封	同双端面机械密封
多级密封			密封流体处于两种压力状态以上的机械密封	同多端面机械密封
非平衡式			密封流体作用在密封端面上的压力不卸荷, 载荷系数 $K \geq 1$ 的机械密封。其端面比压随密封流体压力的变化而变化较大	用于压力较低或真空的场合
平衡式	部分平衡式		密封流体作用在密封端面上的压力部分卸荷, 载荷系数 $K < 1$ 的机械密封。其端面比压随密封流体压力的变化而变化较小	用于压力较高的场合
	过平衡式		密封流体作用在密封端面上的压力全部卸荷, 载荷系数 $K \leq 0$ 的机械密封	多用于背面低压式机械密封
内装式			静止环安装于密封端盖(或相当于密封端盖的零件)的内侧(即面向主机工作腔的一侧)的机械密封	由于摩擦副受力状态好, 冷却和润滑效果好而较多采用, 用于安装精度高的场合
外装式			静止环安装于密封端盖(或相当于密封端盖的零件)的外侧(即背向主机工作腔的一侧)的机械密封	可直接观察密封端面的工作及磨损情况, 用于强腐蚀、易结晶、低压介质, 及需要安装调试方便的场合
弹簧内置式			弹簧置于密封流体之内的机械密封。弹簧内置式多见于内装式机械密封, 但内装式机械密封也有弹簧外置式	由于弹簧置于密封流体之内, 直接与介质接触, 故不易用于有腐蚀、易结晶、黏稠介质的场合
弹簧外置式			弹簧置于密封流体之外的机械密封。弹簧外置式多见于外装式机械密封, 但外装式机械密封也有弹簧内置式	外置式由于弹簧不与介质接触, 故可用于在上述介质中弹簧不能很好工作的场合
单弹簧			补偿机构中只含一个弹簧的机械密封, 亦称大弹簧式。与轴同心安装。由于弹簧丝径大, 腐蚀性和易结晶介质对其影响不大	轴径 $d \leq 65\text{mm}$ , 轴向尺寸大, 径向尺寸小, 安装简单, 且低速、对缓冲性要求不高的场合
多弹簧			补偿机构中含有多个弹簧的机械密封, 亦称小弹簧式。多弹簧沿圆周均匀分布, 可方便地通过增减弹簧数量来调节弹簧力, 比压均匀	用于径向尺寸大, 轴向尺寸小的清洁、弱腐蚀及压缩量变化不大的场合, 且适用于高速、大直径的情况下