

# 机械密封技术

李继和 蔡纪宁 林学海 合编



化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书系统介绍了机械密封的结构、工作原理、设计制造方法和试验技术等内容,还介绍了机械密封使用和维修的经验,附录中编入了最新修订的机械密封国家标准。

本书内容新颖,文字简练,实用性强。可供从事机械密封生产、使用和维修的工程技术人员参考,亦可作为工矿企业机械密封技术培训教材。

## 机械密封技术

李继和 蔡纪宁 林学海 合编

责任编辑:李建斌

封面设计:许立

\*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

开本787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub>印张11<sup>7</sup>/<sub>8</sub>插页1字数274千字

1988年9月第1版 1988年9月北京第1次印刷

印 数 1—11,000

ISBN 7-5025-0174-6/TQ·136

定 价3.75元

## 前 言

随着社会主义建设发展的需要，机械设备的密封技术已越来越引起人们的重视。为了满足工艺过程自动化、连续化的要求，为了解决机器设备存在的“跑、冒、滴、漏”现象、环境污染及能源浪费等问题，近几年来，各类动密封材料结构都有了较快的发展。其中机械密封就是目前出现的各种先进密封结构中较为成熟的一种。

机械密封具有密封可靠、泄漏量少、使用寿命长、适用范围广等优点。并已在高温、高压、高速以及易燃易爆、腐蚀性介质的密封工况下取得了较好的应用效果。

为了更好地开发、推广动密封新技术，化学工业部组织有关单位成立了“化工部动密封技术服务站”以进行机械密封的设计、研究试制、产品性能测试及标准化等工作，并组织机械密封技术交流、举办密封学习班，还广泛的为石油、化工、制药、轻工等企业进行技术咨询、技术服务工作，促进了机械密封的应用与发展。

我们根据多年从事机械密封设计、试制的实践，在原有机密封学习班教材的基础上，进行了整理充实，并增加了机械密封标准化及试验技术等有关内容，重新编写了这本《机械密封技术》，提供给从事机械密封设计、制造、使用单位的工程技术人员及技术工人作参考。

本书第一、三、四、五、十章由李继和同志编写，第二、六、八章由蔡纪宁同志编写，第七、九、十一、十二章由林学

海同志编写。李继和同志对全书进行了统一整理。本书编写过程中，还得到了不少单位的支持。全书经中国化工装备总公司朱有庭高级工程师、机械工业部陈寿德高级工程师、北京化工学院朱毅征教授、关雅贤副教授等审阅，提出了很多宝贵意见。编者在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加之业务水平有限，错误和缺点之处希望广大读者批评指正。

**编者**

**一九八七年三月**

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 密封的分类 .....	1
第二节 机械密封的发展 .....	4
第三节 机械密封的优缺点 .....	6
<b>第二章 机械密封的基本原理</b> .....	9
第一节 机械密封的组成及基本原理 .....	9
第二节 主要零部件的作用 .....	11
<b>第三章 机械密封的分类和结构</b> .....	14
第一节 机械密封的分类 .....	14
第二节 特殊工况下的机械密封 .....	22
<b>第四章 机械密封的密封特性</b> .....	32
第一节 摩擦系数与密封准数 .....	32
第二节 密封端面上的液膜压力 .....	39
第三节 平衡系数 .....	41
第四节 $pv$ 值与 $p_v$ 值 .....	45
<b>第五章 机械密封的设计和计算</b> .....	47
第一节 机械密封的设计条件及设计顺序 .....	47
第二节 主要零件结构型式的确定 .....	48
第三节 主要零件的尺寸确定 .....	54
第四节 弹簧比压和端面比压的计算 .....	60
第五节 弹簧的设计计算 .....	69
第六节 波纹管有效直径的计算 .....	76
<b>第六章 机械密封材料</b> .....	80

第一节	密封端面摩擦副材料 .....	80
第二节	辅助密封圈材料 .....	111
第三节	弹簧及其它零件的材料 .....	119
第四节	机械密封材料的选用 .....	123
<b>第七章</b>	<b>机械密封的辅助装置 .....</b>	<b>124</b>
第一节	辅助装置的作用 .....	124
第二节	冲洗与冷却 .....	125
第三节	压力平衡装置 .....	134
第四节	过滤装置 .....	140
<b>第八章</b>	<b>机械密封标准介绍 .....</b>	<b>142</b>
第一节	泵用机械密封标准 (JB1472—75) 介绍 .....	142
第二节	釜用机械密封标准 (HG5—748—78; HG5— 751~756—78) 介绍 .....	157
第三节	其它机械密封标准介绍 .....	171
<b>第九章</b>	<b>机械密封制造技术 .....</b>	<b>173</b>
第一节	机械密封零件的公差配合与技术要求 .....	173
第二节	机械密封典型零件的制造 .....	180
第三节	机械密封的研磨技术 .....	188
第四节	机械密封端面平面度的检验 .....	209
<b>第十章</b>	<b>机械密封的试验 .....</b>	<b>220</b>
<b>第十一章</b>	<b>机械密封的使用及维修 .....</b>	<b>228</b>
第一节	机械密封的安装和使用 .....	228
第二节	泵的填料密封改装机密封 .....	236
第三节	机械密封的维修 .....	246
<b>第十二章</b>	<b>机械密封的故障分析 .....</b>	<b>249</b>
<b>附录一</b>	<b>机械密封的通用规范 (日本) (JIS B2405-1977)</b>	
	介绍 .....	257
<b>附录二</b>	<b>国内部分新修订的机械密封标准 .....</b>	<b>272</b>
一、	机械密封技术条件 (JB4127—85) .....	272
二、	机械密封的型式、主要尺寸、材料和识别标志 .....	

(GB6556—86) .....	276
三、机械密封名词术语 (GB5894—86) .....	286
四、机械密封实验规范 (JB4236—86) .....	303
五、轴向吸入离心泵机械密封和软填料用的空腔尺寸 (GB5661—85; ISO 3069—1974) .....	308
<b>附录三 部分机械密封生产厂介绍</b> .....	310
一、奉化机械密封件厂 .....	310
二、北京化工机械实验厂 .....	313
三、四川金属波纹管密封件厂 .....	316
四、成都流体机械密封件厂 .....	339
五、沈阳水泵厂 .....	340
六、鄞县机械密封件厂 .....	351
七、天津机械密封件厂 .....	355
参考文献 .....	372

# 第一章 绪 论

## 第一节 密封的分类

目前工矿企业中，机器设备普遍存在着跑、冒、滴、漏问题，其后果往往造成设备非计划停车，产品质量下降，能源浪费，环境污染，甚至危害人们的身体健康和生命安全。因此研究开发密封技术是十分必要的。

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，一是密封面上有间隙，二是密封面两侧存在着压力差和浓度差。如果能消除或减少这些影响因素，就可以防止或减少泄漏，从而达到密封的目的。

能够防止或减少泄漏的装置一般称为密封。装置中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；密封部位的结合面相对静止的密封称为静密封。根据密封面的类型，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



表 1-1 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)	漏泄率 (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	98.07	-45~230	10	0.001~0.1	6个月~1年	油压缸、水压机
	唇型						
橡胶油封	—	0.29	-30~150	12	0.1~10	3~6个月	轴承封油与防尘
硬填料密封	—	294.20	-45~400 <sup>①</sup>	—	—	3个月~1年	活塞杆密封
	往旋						
胀圈密封	—	0.2	—	12	0.2~1% 吸气容积	6个月~1年	航空发动机主轴承封油
	往旋						
机械密封	普通型	7.85	-196~400 <sup>①</sup>	30	0.1~150	6个月~1年	化工厂用、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	—		

接 触 型

续表

种类	真空 (绝压) (MPa)	压力 (表压) (MPa)	工作温度 (°C)	线速度 (m/s)	漏泄率 (ml/h)	使用期限	应用举例
迷宫密封	$1.33 \times 10^{-3}$	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
间隙密封	—	31.38	—	80	内漏	1年以上	泵、化工透平
		0.98	-30~150	70		1年左右	制氧机
		980.67	-30~100	2			油泵、高压泵
动力密封	$1.33 \times 10^{-3}$	0.25	0~50	30	—	1年以上	矿浆泵
		0	不限	不限	—	非易损件	轴承封油与防尘
		2.45	-30~100	30	—	取决于轴 承寿命	轴承封油、鼓风机封油 锅炉给水泵辅助密封
其它	$(1.33 \times 10^{-13})$	(4.12)	(-50~90)	(70)	—	—	—

① 凡使用橡胶件者，适用温度同成型填料。

非接触型的。

动密封的种类与特性见表1-1。

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の場合。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。

机械密封为接触型密封，是旋转轴用动密封装置。本书将重点介绍机械密封。

## 第二节 机械密封的发展

机械密封大约于1885年首先在英国申请专利，用以解决困难的密封问题。本世纪初，冷冻机和内燃机水泵上先后应用了机械密封。第二次世界大战中，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，石油化工的发展及材料方面的技术进步、加工技术的提高，使机械密封技术得到了发展。1956年在结构上出现了平衡型密封专利和中间环密封。随着原子能、宇航和核电等工业发展提出的特殊要求，又出现了流体动压密封和流体静压密封，螺旋-机械密封组合和浮环-机械密封组合等新结构。随着工业发展提出的要求及机械制造和材料方面的技术进步，促进了机械密封结构上的改进和原理上的创新，使机械密封参数不断提高。表1-2为机械密封 $pv$ 值增长情况。

目前机械密封技术参数已达到下述水平：

使用压力：42MPa；

使用温度：-190~450℃；

端面平均线速度：150m/s；

使用期：一年以上。

国内采用机械密封较晚，但近年来发展很快。1956年兰州

表 1-2 机械密封pv值增长情况

时 间	pv值(MPa·m/s)
1930年	2.94
1939~1945年	14.71
1956年	29.42
1959年	78.45
1961~1963年	163.77
1969年	260.86
1971~1974年	353.04
1977年	490.33

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年机械工业部、石油部、化工部所属科研、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”。1973年化工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，机械部批准颁发了“泵用机械密封标准”(JB1472—75)。1977年建立了以生产氮化硅陶瓷密封环为主的浙江奉化机械密封件厂。1978年化工部批准颁发了“釜用机械密封标准”(HG5—748—78; HG5—751~756—78)。

为了提高机械产品的质量，“五·五”期间机械工业部组织予100项基础件攻关，机械密封是其中一项。通过攻关发展了耐腐蚀密封及密封用氮化硅、碳石墨等新材料。为了加速密封技术的发展，1980年以后陆续引进了英国Crane Packing有限公司、美国Sealol公司的普通型机械密封，西德Burgmann公司热流体动力型机械密封，日本Eagle公司反应烧结碳化硅密封环。“六·五”期间密封技术被列入国家重点科技攻关计划。通过攻关、消化引进技术及成套进口装置中的密封件，使

6

机械密封在品种、材料、技术参数等方面都提高到一个新的水平，部分产品已接近国外先进水平。但是，我们还应该看到，与国外同类产品相比仍还有不少差距，如制造技术落后，密封材料品种少，普通型产品多，而液膜、气膜等高参数机械密封刚开始研制，还缺乏对密封机理的研究。同时还应指出，在普及推广方面，与工业发达国家相比，差距较大。不少部门，机器设备动密封仍采用落后的结构形式，在这方面，尚有不少问题等待着我们去研究解决。

### 第三节 机械密封的优缺点

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。其优点如下：

#### 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，一般处于边界润滑、半流体润滑状态，泄漏很小。机械密封泄漏量一般在 $3\sim 5\text{ml/h}$ 以下，根据使用工况要求，也可把泄漏量限制在 $0.01\text{ml/h}$ 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0.2~0.3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、冷却等辅助系统的情况下，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。

机械密封也存在一定的缺点，主要是：

#### 1. 结构复杂，装配精度要求高

一般机械密封有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，加上辅助系统，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。

## 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

机械密封结构如图2-1所示。

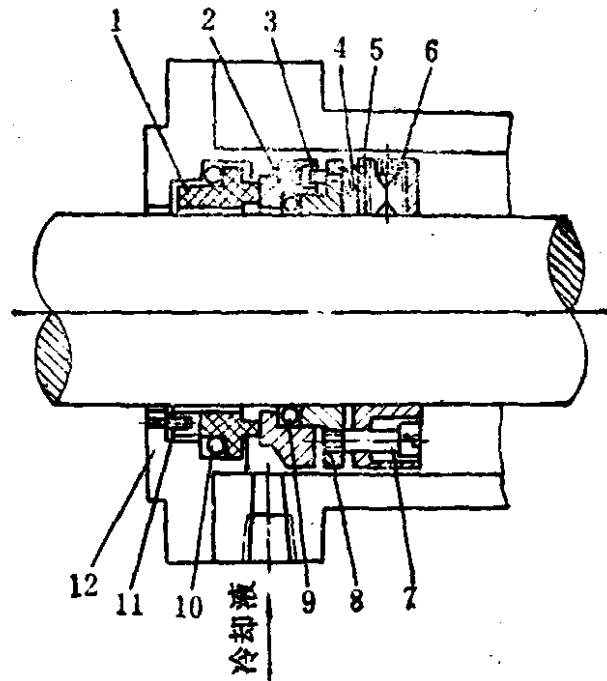


图 2-1 机械密封结构

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

机械密封中互相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(旋转环)；不随轴作旋转运动的密封环称做静环(静止环)。动环与静环互相贴合的端面称做密封端面。密封端面垂直于旋转轴线，由密封端



面所构成的密封环节称做主密封，这是机械密封的主要密封部位。

机械密封中除主密封以外的其它密封环节称做辅助密封。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。辅助密封圈一般可分为动环密封圈和静环密封圈。它们不仅起辅助密封的作用，同时还具有缓冲功能，这在机械密封中是一个重要的条件。若轴的振动不加缓冲地直接传到密封面上，则密封面就不能贴紧而使泄漏增加。轴的振动给密封面造成的轴向力及径向力会导致密封面磨损加剧甚至破坏，这些都将严重地影响密封性能。为此，机械密封要利用各种辅助密封圈及波纹管等的弹性来缓冲轴的振动对密封性能的影响。

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。由弹性元件（弹簧等）及相关零件（弹簧座、推环等）所组成的能够与补偿环一起进行轴向移动的部件称做补偿机构。补偿机构可设计在动环一侧，也可设计在静环一侧。弹性零件等所产生的轴向力将补偿动环压在非补偿静环上，或者反过来将补偿静环压在非补偿动环上。

带动动环与轴一起回转的零件（紧定螺钉、传动螺钉、传动销等）组成机械密封的传动机构。

主密封、辅助密封以及补偿机构和传动机构是构成机械密封的四个组成部分。当然，密封装置往往还应具有冷却、冲洗及润滑等部分。机械密封的结构形式是多种多样的，但尽管如此，它的基本零件和工作原理则是相同的。

机械密封工作时，由密封流体压力和弹性元件的弹力（或