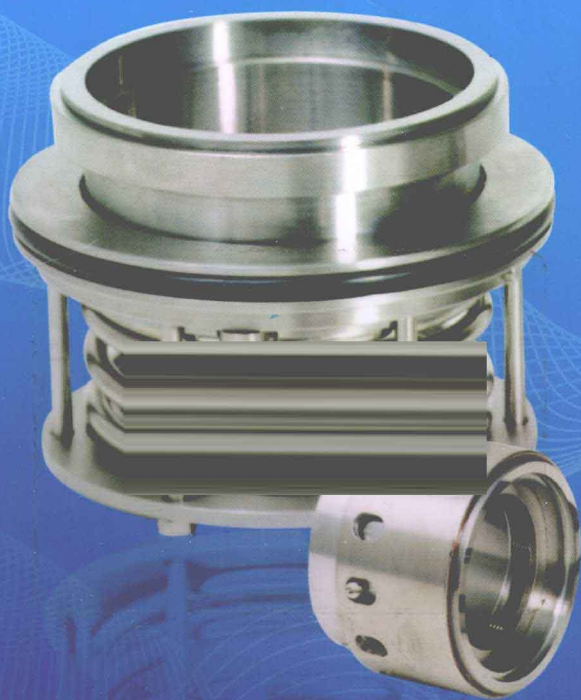


机械密封选用手册

合肥工业大学 合肥华升泵阀有限责任公司

何玉杰 主 编
周永生 柴立平 宫恩祥 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械密封选用手册

合肥工业大学 合肥华升泵阀有限责任公司

主 编 何玉杰

副主编 周永生 柴立平 官恩祥



机械工业出版社

本书较系统地介绍了机械密封的原理、结构、材料及辅助系统装置及安装、使用方法和故障分析等。内容以产品样本图册为主,并做了相应的结构说明。本书重点介绍了机械密封的选用方法,读者可根据介质、温度、压力、转速等工况条件选取合适的密封类型、密封布置、冲洗方案、泄漏抑制以及密封材料等。本书用大量章节收录了在国内各个行业中大量使用的符合 ISO、DIN、API 682、GB 及 GB/T、JB/T、HG/T 标准的最新、最实用的机械密封产品及其他常用机械密封产品图样目录,内容涵盖泵用、釜用机械密封以及干气密封、离心压缩机机械密封。本书附录中列入了常用机械密封标准目录及机械密封企业名录,便于读者查阅和联系。

本书的读者对象是泵、搅拌釜的设计人员和从事机械密封工作的技术人员及机械密封的维修人员,对从事机械密封研究和制造的人员也很有参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械密封选用手册/何玉杰主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 8

ISBN 978 - 7 - 111 - 35282 - 2

I. ①机… II. ①何… III. ①机械密封 - 工业产品 - 手册 IV. ① TH136 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 134979 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红 李建秀

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 22 印张 · 612 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 35282 - 2

定价: 58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑: (010) 88379778

社服务中心: (010) 88361066

网络服务

销售一部: (010) 68326294

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

机械密封选用手册

合肥工业大学 合肥华升泵阀有限责任公司

主 编 何玉杰

副主编 周永生 柴立平 宫恩祥

编者简历：何玉杰，男，研究员，硕士生导师，1983年参加工作，现任职于合肥工业大学化工机械研究所，主要研究方向：流体密封、流体机械。

编写委员会

主 编 何玉杰

副主编 周永生 柴立平 宫恩祥

编写人 (按姓氏笔画顺序排名)

石海峡 合肥工业大学

任 强 马鞍山钢铁股份公司煤焦化公司

刘晓光 上海电气 KSB 核电泵阀有限公司

刘 帅 中国石油化工股份有限公司长岭分公司

冯加芳 安徽皖维高新材料股份有限公司

许万国 马鞍山钢铁股份公司煤焦化公司

许 炎 江苏索普(集团)有限公司

李 强 合肥工业大学

朱维虎 合肥华升泵阀有限责任公司

何玉杰 合肥工业大学

何伟纪 中国石油化工股份有限公司金陵分公司

孟 剑 中国石化青岛炼化化工有限责任公司

巫建波 合肥工业大学

周永生 中国石油化工股份有限公司安庆分公司

姜 漫 合肥华升泵阀有限责任公司

宫恩祥 合肥工业大学

赵志国 中国石油化工股份有限公司巴陵分公司

胡敬宁 江苏大学

梁海波 上海化工研究院

顾福元 上海吴泾化工厂

柴立平 合肥工业大学

莫 剑 中国石化扬子石油化工股份有限公司

徐 明 巨化集团公司

程道武 合肥华升泵阀有限责任公司

韩金节 中国石油化工股份有限公司安庆分公司

前 言

机械密封 (Mechanical Seal) 又称端面密封, 是旋转轴用动密封, 其优点是性能可靠, 泄漏量小, 使用寿命长, 功耗低, 毋须经常维修, 能适应生产过程自动化和高温、低温、高压、真空、高速以及各种强腐蚀性介质、含固体颗粒介质等苛刻工况的密封要求。推广和使用机械密封是解决跑、冒、滴、漏现象, 改善环境, 提高工作效率的重要途径。当前, 70%~80% 的工业用泵配备机械密封, 机械密封产品已广泛应用于国民经济的各个工业领域, 对安全生产, 防止环境污染, 作出了重大贡献。但是在复杂的化工生产系统中, 涉及种类繁多的工况条件, 据统计, 由密封引起的故障占全部机器故障的 40% 以上, 而机械密封的失效有 30% 以上是由于选用参数、类型、结构以及辅助系统等选型不当造成的。因此, 正确地选择使用机械密封是提高密封安全性的重要前提。同一种机械密封配以不同的密封系统可以扩展其使用范围, 这一点在实际使用中经常被忽略。近年来机械密封技术发展很快, 集装箱式机械密封的不断完善及新材料的不断应用, 使密封寿命大大延长, 泄漏量也大大减少。美国石油学会 API 682 《用于离心泵和回转泵的泵—轴封系统》(Pumps Shaft Seaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps) 要求机械密封的连续运转周期需达到 25000h 以上。

编者参照了相关密封制造厂商提供的资料, 收集了目前在各个行业中大量使用的符合 ISO、DIN、API 682、GB 及 GB/T、JB/T、HG/T 标准的机械密封产品及其他常用机械密封产品样本, 读者可以根据工况条件合理选择密封产品, 以达到理想的使用效果。本手册内容以产品样本图册为主, 并做了相应的结构说明, 详细地介绍了美国石油学会 API 682 第二版《用于离心泵和回转泵的泵—轴封系统》中的附录 A.4: 《推荐的密封系统选择方法》。本书附录 A 中列入了常用机械密封标准目录。

本书的读者对象是泵、搅拌釜的设计人员和从事机械密封工作的技术人员及维修人员。

本书由《机械密封选用手册》编写委员会编写, 参阅了机械工业出版社《机械设计手册》第 23 篇、《机械工程材料手册》及各生产厂商的产品样本等技术资料, 在此, 一并表示感谢。由于编者涉猎的范围有限, 难免有遗漏或错误之处, 希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 机械密封的基础知识..... 1

第一节 机械密封的名词术语..... 1

一、机械密封及其分类术语..... 1

二、机械密封零件及其相应术语..... 2

三、流体及其回路术语..... 3

第二节 机械密封工作原理及主要零件的功能..... 4

一、机械密封的基本原理..... 4

二、机械密封的基本结构..... 4

三、机械密封零件的功能..... 5

四、机械密封的分类..... 5

五、机械密封的基本型式..... 7

第二章 机械密封的材料选用 10

一、端面（摩擦副）材料 10

二、辅助密封材料 17

三、弹性元件材料 18

四、结构件金属材料 21

第三章 机械密封的辅助系统装置 38

一、封液选择与要求 38

二、机械密封的管路符号图例 38

三、泵和密封压盖接头的符号 39

四、密封系统方案 39

五、密封系统设备 44

第四章 机械密封的安装与运行 47

一、机械密封对主机的精度要求 47

二、机械密封安装步骤与运行 48

第五章 机械密封的选型 51

一、机械密封选型必须的几个条件 51

二、根据工作参数 p 、 v 、 T 选型 51

三、根据介质特性选型 51

四、机械密封选型的步骤 52

五、实用选型 53

六、机械密封选型指南 53

第六章 机械密封的选用 93

第一节 泵用机械密封 93

一、汽车水封 93

二、橡胶波纹管机械密封 120

三、弹簧型密封 168

四、金属波纹管机械密封 254

第二节 釜用机械密封 282

一、符合 HG/T 2098—2001《釜用机械密封系列及主要参数》标准的釜用机械密封 282

二、符合 HG/T 21571—1995《搅拌传动装置—机械密封》标准的釜用机械密封 288

三、其他标准的釜用机械密封 292

第三节 特殊工况机械密封 307

一、高速泵用机械密封 307

二、颗粒、高粘度及高压密封 310

第四节 泵用干气密封及离心压缩机用机械密封 326

一、泵用干气密封 326

二、离心压缩机用机械密封 331

附录 341

附录 A 常用机械密封标准 341

附录 B 机械密封企业名录 343

第一章 机械密封的基础知识

机械密封 (Mechanical Seal) 是指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。机械密封通常被人们简称为“机封”。

目前石油加工工艺装备中近 90% 的设备、泵、搅拌釜使用了机械密封, 虽然只是零部件, 但却是减少泄漏、提高效率、降低能耗、决定机器设备的安全性及可靠性的关键零部件。在石油化工工厂中, 机械密封一旦失效, 不仅影响到设备的正常工作, 严重时甚至导致整个化工系统崩溃, 并造成燃烧、爆炸、人身伤亡等恶性事故。

随着机械密封技术的进步, 端面可控膜技术的成熟, 目前机械密封技术可达到以下水平:

单级压力: $10^{-3} \sim 35\text{MPa}$;

使用温度: 深冷 $\sim 1000^{\circ}\text{C}$;

机器转速: $50000\text{r}/\text{min}$;

pv 值: $1000\text{MPa} \cdot \text{m}/\text{s}$ 。

第一节 机械密封的名词术语

根据国家标准 GB 5894—1986《机械密封名词术语》, 适用于旋转轴用机械密封的名词术语定义如下:

一、机械密封及其分类术语

1. 机械密封 (端面密封)

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。

2. 流体动压式机械密封

密封端面设计成特殊的几何形状, 利用相对旋转自行产生流体动压效应的机械密封。

3. 流体静压式机械密封

密封端面设计成特殊的几何形状, 利用外部引用的压力流体或被密封介质本身通过密封界面的压力降产生流体静压效应的机械密封。

4. 非接触式机械密封 (受控膜式机械密封)

干气密封、流体动压式机械密封和流体静压式机械密封的总称。

5. 内装式机械密封

静止环装于密封端盖 (或相当于密封端盖的零件) 内侧 (即面向主机工作腔的一侧) 的机械密封。

6. 外装式机械密封

静止环装于密封端盖 (或相当于密封端盖的零件) 外侧 (即背向主机工作腔的一侧) 的机械密封。

7. 内流式机械密封

密封流体在密封端面间的泄漏方向与离心力方向相反的机械密封。

8. 外流式机械密封

密封流体在密封端面间的泄漏方向与离心力方向相同的机械密封。

9. 弹簧旋转式机械密封

弹性元件随轴转动的机械密封。

10. 弹簧静止式机械密封

弹性元件不随轴转动的机械密封。

11. 单弹簧式机械密封

补偿机构中只包含一个弹簧的机械密封。

12. 多弹簧式机械密封

补偿机构中包含多个弹簧的机械密封。

13. 非平衡式机械密封

载荷系数 $K \geq 1$ 的机械密封。

14. 平衡式机械密封

载荷系数 $K < 1$ 的机械密封。

15. 单端面机械密封

由一对密封端面组成的机械密封。

16. 双端面机械密封

由两对密封端面组成的机械密封。

17. 串联机械密封

由两套或两套以上同向布置的单端面机械密封所组成的机械密封。

18. 橡胶波纹管机械密封

补偿环的辅助密封为橡胶波纹管的机械密封。

19. 聚四氟波纹管机械密封

补偿环的辅助密封为聚四氟波纹管的机械密封。

20. 金属波纹管机械密封

补偿环的辅助密封为金属波纹管的机械密封。

二、机械密封零件及其相应术语

1. 密封环

机械密封中，其端面垂直于旋转轴线，且相互贴合并相对滑动的两个环形零件称密封环。

2. 密封端面

密封环在工作时与另一个密封环相贴合的端面，该端面通常是研磨面。

3. 旋转环（动环）

随轴做旋转运动的密封环。

4. 静止环（静环）

不随轴做旋转运动的密封环。

5. 补偿环

具有轴向补偿能力的密封环。

6. 非补偿环

不具有轴向补偿能力的密封环。

7. 补偿环组件

轴向连接并定位弹性元件的零件。

8. 传动座

用于与轴或轴套固定并直接带动旋转环的零件。

9. 传动螺钉

用于传递力矩的螺钉。

10. 紧定螺钉

用于把弹簧座、传动座或其他零件固定于轴或轴套上的螺钉。

11. 卡环

对补偿环起轴向限位作用的零件。

12. 防转销

用于防止相邻两个零件相对旋转的销钉。

13. 密封腔

指安装密封部位旋转轴与静止壳体之间的环状空间。

14. 密封腔体

包容密封腔的静止壳体。

15. 密封腔

与密封腔体连接并托撑静止环组件的零件。

16. 弹性元件

弹簧或波纹管之类的具有弹性的零件。

17. 摩擦副

配对使用的一组密封环。

三、流体及其回路术语

1. 内循环

利用主机的压差或密封腔内泵效应装置的压差，使主机内的被密封介质通过密封腔形成闭合回路，以改善密封工作条件的方法。管路当中可以设置分离器、过滤器和冷却器。

2. 外循环

利用外加泵、密封腔内泵效应装置或热虹吸效应等使隔离流体进行循环的一种方法。

3. 内循环

利用密封腔内泵效应装置使密封流体形成闭合回路，以改善密封工作条件的方法。

4. 冲洗

对于内装单端面机械密封，当被密封介质不宜作密封流体时，从外部引入与被密封介质相容的流体到密封腔内，以改善密封工作条件的方法。

5. 冲洗流体

起冲洗作用的外部流体。

6. 阻封

当单端面机械密封用来密封易结晶或危险介质时，在机械密封的外侧（大气侧）设置简单的密封（如衬套密封、填料密封、唇密封等），在两种密封之间引入其压力稍高于大气压力的清洁中性流体，以便对密封冷却或加热并将泄漏出来的被密封介质及时带走，以改善密封工作条件的一种方法。

7. 阻封流体

起阻封作用的外部流体。

8. 隔离流体

在双端面机械密封、串联式机械密封、立式带油杯的单端面机械密封或外加压流体静压式机械密封中，从外部引入的与被密封介质相容的密封流体。

9. 冷却、加热流体

不与密封端面接触的能使密封得到冷却或加热的外部循环流体。

10. 被密封介质

主机中需要加以密封的工作介质。

11. 密封流体

密封端面直接接触的高压侧流体，它可以是被密封介质本身，经过分离或过滤的被密封流体、冲洗流体或隔离流体。

第二节 机械密封工作原理及主要零件的功能

一、机械密封的基本原理

机械密封依靠弹性元件提供弹力，克服补偿环辅助密封圈与轴之间的摩擦力，使补偿环紧密地贴合在非补偿环的端面，形成密封端面初始闭合力，当主机充满压力介质并开始工作时，可使密封端面产生闭合力，从而使密封端面达到合理的比压，实现流体的密封。

二、机械密封的基本结构

由补偿环、补偿环辅助密封圈、弹性元件、传动件、弹簧座、紧固件等组成的补偿组件，以及由非补偿环、非补偿静环辅助密封圈等组成的非补偿组件，共同组成一套完整的机械密封。

1. 典型的旋转式（见图 1-1）和静止式（见图 1-2）机械密封基本结构

构成机械密封的基本元件有：摩擦副（补偿环 4、非补偿环 3）、辅助密封圈（O 形圈 2、5）、传动件（推环 6）、弹性元件（弹簧 7）、弹簧座 8、紧固件（紧定螺钉 9）、防转销 1 及密封压盖和密封腔组成。

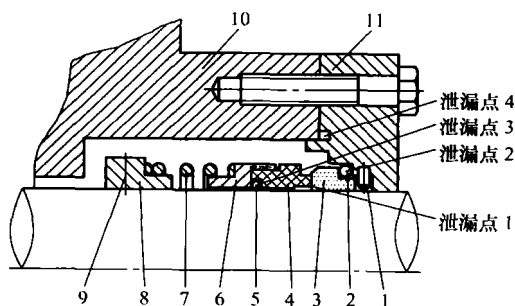


图 1-1 机械密封基本结构（旋转式）

- 1—防转销 2—非补偿环辅助密封圈
- 3—非补偿环（静环） 4—补偿环（动环）
- 5—补偿环辅助密封圈 6—传动件 7—弹簧
- 8—弹簧座 9—紧定螺钉 10—密封腔
- 11—密封端盖

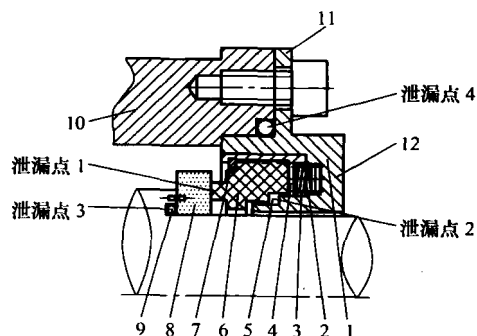


图 1-2 机械密封基本结构（静止式）

- 1—弹簧座 2—防转套 3—弹簧 4—推环
- 5—补偿环辅助密封圈 6—补偿环（静环）
- 7—卡环 8—非补偿环（动环）
- 9—非补偿环辅助密封圈 10—密封腔
- 11—密封端盖 12—密封压盖

2. 机械密封主要泄漏途径

当密封腔内充满有压的被密封介质时,由图 1-1 所示机械密封的泄漏点主要有 4 处:

泄漏点 1:密封摩擦副端面处,称为主密封,是决定密封性能及寿命的关键密封点,据统计大约有 80% 以上的密封泄漏都是由此造成的。

泄漏点 2:位于密封静环与压盖之间。

泄漏点 3:位于密封动环与轴(或轴套)之间,称为机械密封的辅助密封,主要形式有:O 形圈、V 形圈、矩形圈等。工作时辅助密封基本无相对运动,属相对静止的密封,但动环辅助密封圈对机械密封的追随性起着关键作用。

泄漏点 4:位于密封腔与压盖之间的静密封,狭义讲不属于机械密封零件,主要形式有:O 形圈、垫片等。

三、机械密封零件的功能

(1) 主密封 端面密封副由补偿环和非补偿环(动、静环)组成,主要作用是其有一定的端面比压,使密封面贴合,防止被密封介质泄漏(见图 1-1、图 1-2)。

(2) 辅助密封 主要是对动、静环起浮动、缓冲密封作用的零件(见图 1-1、图 1-2)。

(3) 传动件 主要作用是传递轴的转矩(见图 1-1、图 1-2)。

(4) 弹性元件 指弹簧、波纹管等起预紧、补偿作用并始终保持一定的弹力,用于克服补偿环辅助密封滑动时的摩擦力及端面密封副的摩擦力(见图 1-1、图 1-2)。

(5) 弹簧座 用于弹簧或波纹管轴向定位的零件(见图 1-1、图 1-2)。

(6) 紧固件 用于弹簧座轴向定位和紧固的零件(见图 1-1)。

(7) 防转件 防止静环转动的零件(见图 1-2)。

四、机械密封的分类

机械密封的分类有多种方法,主要可以分成接触式和非接触式两大类。

一般来说,接触式密封由于密封面接触,可以消除间隙或使密封间隙达到最小值,因此,可以达到很高的密封性能,但受材料的摩擦、磨损限制,适用于密封面线速度相对较低的场合。接触式密封中按接触部位可分为径向(圆周)密封和轴向(端面)密封,是目前工业产品应用最广的密封型式。

非接触式密封的密封端面不直接接触,无机机械摩擦和磨损,适用于线速度较高的场合,工作寿命长,但密封性能较差,合理的设计也可达到“零”泄漏。非接触式密封包含迷宫密封、浮环密封、螺旋密封及端面动力密封(可控膜机械密封)。

机械密封根据 JB/T 4127.2—1999《机械密封 分类方法》,按应用的主机、作用原理和结构、使用工况参数,以及轴径进行分类。

本文从便于识别及选用的角度对机械密封产品,按作用原理和结构(见表 1-1)及密封参数进行分类(见表 1-2)。

表 1-1 按机械密封的作用原理和结构分类

分 类		特 点
按密封端面对数分	单端面机械密封	由一对密封端面组成的机械密封
	双端面机械密封	由两对密封端面组成的机械密封
	串联机械密封	由两套或两套以上同向布置的单端面机械密封所组成的机械密封

(续)

分 类		特 点
按密封流体作用在密封端面上的压力是否卸荷分	平衡型机械密封	密封流体作用在密封端面上的压力卸荷 (载荷系数 $K < 1$ 的机械密封)
	非平衡型机械密封	密封流体作用在密封端面上的压力卸荷 (载荷系数 $K \geq 1$ 的机械密封)
按静止环装于密封端盖内外侧分	内装式机械密封	静止环装于密封端盖 (或相当于密封端盖的零件) 内侧 (即面向主机工作腔的一侧) 的机械密封
	外装式机械密封	静止环装于密封端盖 (或相当于密封端盖的零件) 外侧 (即背向主机工作腔的一侧) 的机械密封
按弹簧是否置于流体内分	弹簧内置式机械密封	弹簧置于流体内的机械密封
	弹簧外置式机械密封	弹簧置于流体外的机械密封
按补偿机构中弹簧数量分	单弹簧机械密封	补偿机构中包含一个弹簧的机械密封
	多弹簧机械密封	补偿机构中包含多个弹簧的机械密封
按补偿环是否随轴旋转分	旋转式机械密封	补偿环随轴旋转的机械密封
	静止式机械密封	补偿环不随轴旋转的机械密封
按密封流体泄漏方向是否与离心力方向一致分	内流式机械密封	密封流体在密封端面间的泄漏方向与离心力方向相反的机械密封
	外流式机械密封	密封流体在密封端面间的泄漏方向与离心力方向相同的机械密封
按密封端面是否直接接触分	接触式机械密封	弹性元件的弹力和密封流体使密封端面紧密贴合的机械密封, 通常密封端面处于边界润滑工况
	非接触式机械密封	由于流体静压或动压作用, 在密封端面间充满一层完整的流体膜, 迫使密封端面彼此分离而不存在硬性固相接触的机械密封。又分流体静压式机械密封和流体动压式机械密封
按流体产生的动、静压效应分	流体动压式机械密封	密封端面设计成特殊的几何形状, 利用相对旋转自行产生流体动压效应的机械密封
	流体静压式机械密封	密封端面设计成特殊的几何形状, 利用外部引用的压力流体或被密封介质本身通过密封界面的压力降产生流体静压效应的机械密封
按波纹管材料不同分	金属波纹管型机械密封	波纹管采用金属制造的波纹管机械密封
	聚四氟乙烯波纹管型机械密封	波纹管采用聚四氟乙烯制造的机械密封
	橡胶波纹管型机械密封	波纹管采用橡胶制造的机械密封

表 1-2 按密封参数分类

分 类		参 数
按密封腔温度范围分	高温机械密封	$T > 150^{\circ}\text{C}$
	中温机械密封	$80^{\circ}\text{C} < T \leq 150^{\circ}\text{C}$
	普通机械密封	$-20^{\circ}\text{C} < T \leq 80^{\circ}\text{C}$
	低温机械密封	$T \leq -20^{\circ}\text{C}$

(续)

分 类		参 数
按密封压力程度分	超高压机械密封	$p > 15 \text{ MPa}$
	高压机械密封	$3 \text{ MPa} < p \leq 15 \text{ MPa}$
	中压机械密封	$1 \text{ MPa} < p \leq 3 \text{ MPa}$
	低压机械密封	$0 \text{ MPa} \leq p \leq 1 \text{ MPa}$
	真空机械密封	$p < 0 \text{ MPa}$
按密封端面线速度分	超高速机械密封	$v > 100 \text{ m/s}$
	高速机械密封	$25 \text{ m/s} \leq v \leq 100 \text{ m/s}$
	一般速度机械密封	$v < 25 \text{ m/s}$
按密封轴径分	大轴径机械密封	$d > 120 \text{ mm}$
	一般轴径机械密封	$25 \text{ mm} \leq d \leq 120 \text{ mm}$
	小轴径机械密封	$d < 25 \text{ mm}$
按密封介质分	耐颗粒介质机械密封	用于颗粒介质的机械密封
	耐强腐蚀介质的机械密封	用于强酸、强碱及其他强腐蚀介质的机械密封
	耐弱腐蚀介质、水、油介质的机械密封	用于水、油、有机溶剂及其他弱腐蚀介质的机械密封
按工作参数分	重型机械密封	满足下列条件之一： $p > 3 \text{ MPa}$ ， $T \leq -20^\circ\text{C}$ 或 $T > 150^\circ\text{C}$ ， $d > 120 \text{ mm}$ ， $v \geq 25 \text{ m/s}$
	轻型机械密封	满足下列条件之一： $p < 0.5 \text{ MPa}$ ， $0^\circ\text{C} < T < 80^\circ\text{C}$ ， $d < 40 \text{ mm}$ ， $v < 10 \text{ m/s}$
	中型机械密封	不满足重型及轻型条件的机械密封

五、机械密封的基本型式

机械密封的基本型式有以下几种（见图 1-3 ~ 图 1-16）：

(1) 单端面机械密封（见图 1-3、图 1-4） 结构简单，制造成本低廉，安装和使用方便。一般用于油、水、有机溶剂及弱腐蚀性介质。

(2) 双端面机械密封（见图 1-7、图 1-8） 多数用于易燃、易爆、有毒、含颗粒及润滑性差的介质，通常使用时需配备密封辅助系统，即在两端面间的密封腔中通入隔离流体，改善机械密封的润滑和冷却条件。

(3) 串联机械密封（见图 1-9） 一般应用于高温、高压场合，可以通过多级密封及密封辅助系统对介质减压、降温，达到较好的密封效果。

(4) 非平衡型（见图 1-3）和平衡型机械密封（见图 1-4） 平衡型机械密封可以通过结构设计，使密封端面承受较小的压力（端面比压小），能有效地降低端面的摩擦，减少摩擦热，有较高的承载能力，适用于较高压力条件下的密封。典型结构特点：密封部位的轴或轴套有台阶，但无台阶结构的不一定就是平衡型机械密封。非平衡机械密封，一般使用在介质压力 $\leq 0.8 \text{ MPa}$ 的场合。

(5) 内装式机械密封（见图 1-3 ~ 图 1-5） 内装式机械密封是静环装于密封端盖内侧的机械密封（见图 1-3），内装式机械密封的密封元件均处于介质中，可以利用介质压力为密封端面提供密封力，并由介质对密封进行润滑、冷却，是常用的结构型式。

(6) 外装式机械密封(见图1-6) 静环装于密封端盖外侧的机械密封,因介质压力与密封弹簧力相反,一般使用在介质压力 $<0.5\text{MPa}$ 的强腐蚀、颗粒介质场合。一般说来,这种密封可以直观地看到端面运转情况,便于安装和维修。

(7) 内流型(见图1-3~图1-5)和外流型机械密封(见图1-6) 内流型密封由于离心力的作用可以阻止介质泄漏,是常用的结构型式。

(8) 旋转式(见图1-3~图1-7、图1-9)和静止式机械密封(见图1-8、图1-10、图1-12)

(9) 波纹管机械密封 按使用的波纹管材料不同,可分为橡胶波纹管、聚四氟乙烯波纹管和金属波纹管的机械密封。波纹管密封在轴上没有相对滑动,对轴无磨损,浮动补偿范围大,可在多种工况条件下使用。

金属波纹管密封(见图1-11),使用焊接(或成形)金属波纹管作密封的弹性元件,并可取消动环辅助密封圈,减少一个密封点,一般用在高温、低温条件下。聚四氟乙烯波纹管密封(见图1-12),根据聚四氟乙烯材料的特性,这种密封大多在压力不高的强腐蚀条件下使用。橡胶波纹管密封(见图1-13)价格便宜,应用广泛,但受材料限制,一般在常温 $\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的条件下使用。

(10) 接触式和非接触式机械密封 非接触式密封是指密封端面动、静环微观不接触的机械密封,包括流体静压式密封(见图1-14)、流体动压式密封(见图1-15)以及干气密封(见图1-16)。

普通机械密封绝大多数为接触式机械密封,其结构简单、泄漏量小,但磨损和发热量大,不能适用于高压、高速等工况条件。非接触式密封由于密封端面不接触,工作时密封端面无磨损,发热量极小,可适用于高压、高速等苛刻的工况条件。缺点是结构复杂,制造成本高,需庞大的辅助系统。

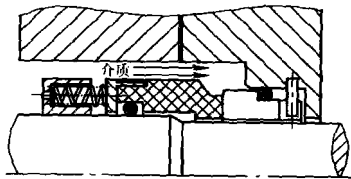


图1-3 单端面、内装式、多弹簧、旋转式、非平衡型、内流型机械密封

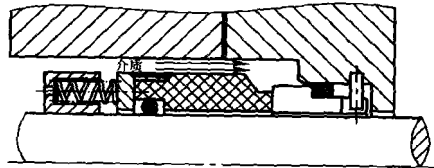


图1-4 单端面、内装式、多弹簧、旋转式、平衡型、内流型机械密封

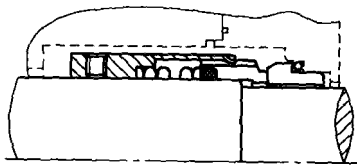


图1-5 单端面、内装式、单弹簧、旋转式、内流型机械密封

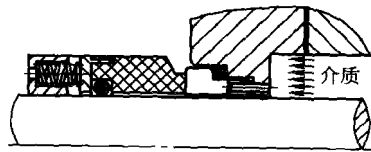


图1-6 单端面、外装式、单弹簧、旋转式、外流型机械密封



图1-7 背靠背双端面机械密封(旋转式)

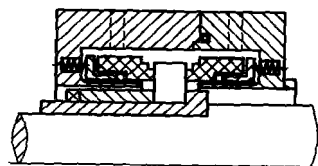


图1-8 面对面双端面机械密封(静止式)

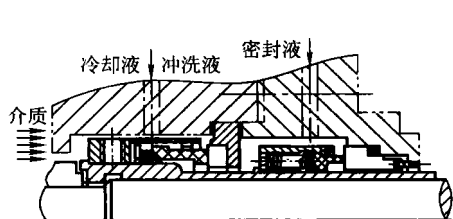


图 1-9 串联机械密封（旋转式）

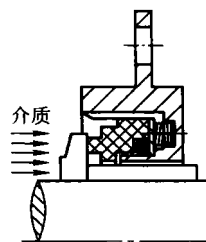


图 1-10 静止式机械密封

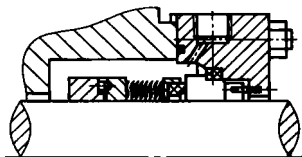


图 1-11 金属波纹管密封

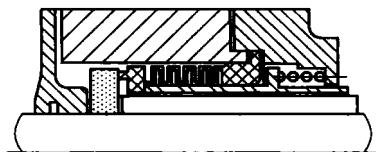


图 1-12 聚四氟乙烯波纹管密封（静止式）

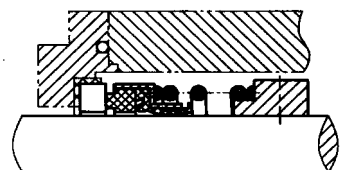


图 1-13 橡胶波纹管密封

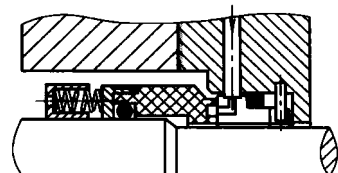


图 1-14 流体静压式密封

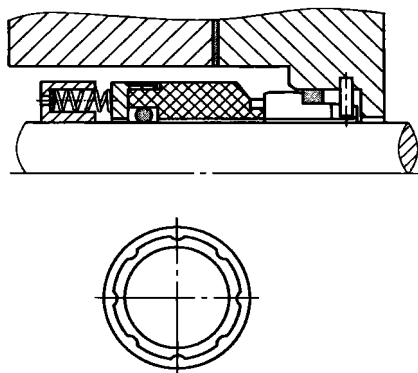


图 1-15 流体动压式密封

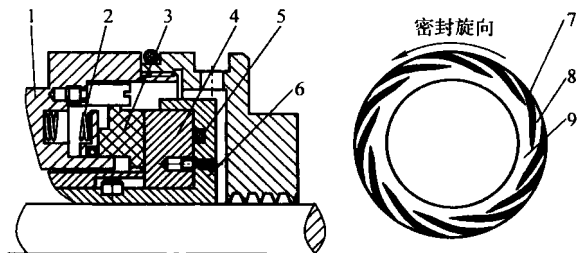


图 1-16 干气密封

- 1—弹簧座 2—弹簧 3—静环 4—旋转环 5—密封圈
6—轴套 7—动压槽 8—密封坝 9—密封堰

第二章 机械密封的材料选用

机械密封由摩擦副、加载弹性元件、辅助密封圈及结构件组成，所用材料基本分以下四大类：

- 1) 摩擦副材料（如硬质合金、工程陶瓷、石墨、聚四氟乙烯）。
- 2) 加载弹性元件材料。
- 3) 辅助密封圈材料。
- 4) 结构件材料。

密封材料必须根据使用条件进行选择，一般选择的密封材料应具有以下性能：

- 1) 摩擦副材料应具有摩擦因数小、耐磨性好、耐化学腐蚀性好。
- 2) 加载弹性元件材料具有良好的弹性、复原性及耐化学腐蚀性。
- 3) 辅助密封圈材料应具有压缩永久变形和扯断永久变形小，有较宽的温度适用范围，不产生溶胀、分解和硬化等的性能。
- 4) 结构件材料要有一定的强度，满足结构要求并能耐相应的化学腐蚀。

合理选用材料，对机械密封的使用寿命和运转的可靠性至关重要，本章仅给出一般的常用材料和部分特种材料相关说明和数据。

一、端面（摩擦副）材料

机械密封摩擦副材料应具有：耐磨性强、耐腐蚀性好、自润滑性好、摩擦因数小、机械强度高并具有良好的耐热性和热传导性。

常用的密封端面材料大致分为以下四类：

- 1) 硬质合金。
- 2) 工程陶瓷。
- 3) 石墨。
- 4) 表面硬化材料。

摩擦副材料代号及性能见表 2-1、表 2-2。

表 2-1 常用密封副材料及代号

硬环材料	标准代号	代 号	软环材料	标准代号	代 号
镍基硬质合金 YWN8、W7		U	表面喷涂氧化铬陶瓷	J	J
钴基硬质合金 YG8、YG6	U	W	浸钨石墨	A	T
反应烧结碳化硅 SiC	O	G	浸呋喃树脂石墨	B	S
氧化铝陶瓷 Al ₂ O ₃ (99%)	V	L	铜合金	N	N
氮化硅 Si ₃ N ₄	Q	Q	聚四氟乙烯	Y	Y
金属表面堆焊合金	I	I	工程塑料	Z	Z

注：材料代号按 GB/T 6556—1994《机械密封的型式、主要尺寸、材料和识别标志》第 4.4 节材料代号之规定。

表 2-2 几种常用摩擦副材料的性能

材料名称	牌 号	主要特点	使用温度/℃
钴基硬质合金	YG6、YG8、YG15	硬度高、耐磨损、耐高温、线胀系数小、摩擦因数低、组对性能好；缺点是耐蚀性较差	650
镍基硬质合金	YWN8、W7	硬度高、耐磨损、耐高温、线胀系数小、摩擦因数低、组对性能好，耐蚀性较钴基硬质合金好	650
氧化铝陶瓷	99瓷、95瓷	具有极好的化学稳定性、硬度高、耐磨损、线胀系数小、摩擦因数低；缺点是冲击韧度低，脆性大，耐热冲击差	1300
氮化硅陶瓷	反应烧结 Si ₃ N ₄ 、无压烧结 Si ₃ N ₄ 、热压烧结 Si ₃ N ₄	具有极好的化学稳定性，除氢氟酸外几乎能耐所有的无机酸腐蚀，硬度高、耐磨损、线胀系数小、摩擦因数低、抗热冲击；缺点是冲击韧度低，脆性大	1400
反应烧结碳化硅陶瓷	反应烧结 SiC		1600
无压烧结、热压烧结碳化硅陶瓷	无压烧结 SiC、热压烧结 SiC	具有极好的化学稳定性，无压烧结 SiC 和热压烧结 SiC 几乎能耐所有的无机酸腐蚀，硬度高、耐磨损、线胀系数小、摩擦因数低、抗热冲击、组对性能好；缺点是冲击韧度低，脆性大	1600
浸渍树脂石墨	浸渍酚醛树脂石墨	在除硝酸、浓硫酸、苛性钠以外的介质中，均具有良好的化学稳定性	200
	浸渍呋喃树脂石墨	耐酸、碱及有机溶剂	200
	浸渍环氧树脂石墨	耐酸性强于呋喃石墨，耐碱性弱于呋喃石墨	180
浸渍金属石墨	浸渍锑石墨	耐腐蚀性能主要取决于所浸金属性能	450
	浸渍铜石墨		400
	浸渍铝石墨		350
聚四氟乙烯		除熔融碱外几乎耐所有的化学腐蚀，具有极小的摩擦因数，不粘滞、不吸附，有极好的抗老化性	120

1. 硬质合金

硬质合金是以高硬度难熔金属的碳化物（WC、TiC）为基体，以钴（Co）或镍（Ni）、钼（Mo）为粘结剂，在真空炉或氢气还原炉中烧结而成的粉末冶金制品。

机械密封用途较广的硬质合金分钴基硬质合金和镍基硬质合金两大类。其他的还有钢结硬质合金、碳化铬硬质合金等。

(1) 钴基硬质合金 钴基硬质合金以 WC 为基体，以金属钴（Co）为粘结剂经高温烧结而成的硬质合金，其具有如下优点：硬度高、耐磨能力约是高速钢的 20 倍、热导率是高速钢的 2 倍；其缺点是：容易被氧化，耐蚀性较镍基硬质合金差。典型牌号为 YG8、YG6。

(2) 镍基硬质合金 镍基硬质合金和钴基硬质合金的区别在于：粘结相部分或者全部由金