

# 波纹管型机械密封

沈锡华 编著



轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细叙述了波纹管型机械密封的原理、特点及结构类型，全面介绍了这种机械密封的设计计算，并侧重分析了摩擦付端面的摩擦等问题。此外，作者从实用的角度出发，阐述了波纹管型机械密封的选材、制造与检验、安装及维修等，对与密封有关的辅助装置也作了详细介绍。

读者对象为有关专业的工程技术人员、大专院校师生。

## 波纹管型机械密封

沈锡华 编著

\*

烃加工出版社发行

北京昌平沙河建华印刷厂排版

北京昌平沙河建华印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092毫米32开本12<sup>3</sup>/<sub>4</sub>印张 282千字 印1—2,150

1987年3月北京第1版 1987年3月北京第1次印刷

书号：15391·62 定价：2.40元

## 绪 言

随着近代工程的迅速发展，流体处理机械的使用范围不断扩大，高温密封、低温密封、超低温密封、高压密封、高真空密封、高速密封以及各种易燃、易爆、强腐蚀性介质、含有泥砂等悬浮性颗粒介质的密封也都应运而生。保证可靠的密封性和延长使用寿命是当前密封研究、设计、制造、使用等方面十分重要的课题。

流体密封技术的开发不仅可以减少机器设备因跑、冒、滴、漏造成的能源损失，而且还可以改善环境，防止跑、冒、滴、漏造成的污染。同时，先进的密封技术也是自动化连续生产及文明生产所必需的重要环节。由于密封技术受到各先进工业国的普遍重视，许多国家不仅设有专门的实验研究机构，而且还有教育培训中心，国际上自1961年在英国召开第一届国际流体密封会议以来，每隔二、三年就举行一次国际流体密封会议，这种国际学术交流大大促进了密封技术的发展。如美国，由于密封技术的开发，仅汽轮机一项，每年的能源节支就达三亿美元；用新研制的蜂窝密封取代迷宫密封，每年节能可达一亿八千万美元。由于密封技术的开发带来的经济效益十分显著，近来出现了许多先进的密封结构，其中机械密封则是其中较为成熟的一种。

密封技术的开发从根本意义上来讲就是为了制造出先进的密封件，即机器设备上阻止介质泄漏的部件。对先进密封件的共同要求是：

1. 严密 (漏泄量少)；
2. 可靠 (使用寿命长)；
3. 结构简单紧凑、体积小；
4. 维修方便；
5. 成本低、价格便宜；
6. 互换性好。

对于机械密封来说，目前已经达到的技术水平为：

使用压力可达 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ ，特殊的可达 $700\text{kg}/\text{cm}^2$ ；

使用温度范围： $-190\sim+450\text{℃}$ ；

最高转速可达  $130000\text{rpm}$ ；

最大轴径可达  $2000\text{mm}$ ；

漏泄率一般可控制在 $0.2\sim3.75\text{ml}/\text{h}$ ；

使用寿命一般可达一年以上。

由此可以看出，解决流体处理机械的漏泄问题，机械密封是一种很有前途的密封结构型式。

与往常采用的填料密封相比，机械密封主要有下列优点：

1. 使用寿命长；
2. 严密 (漏泄量少)；
3. 摩擦功率消耗少，一般只为填料密封的 $1/3\sim1/5$ 左右；

右；

4. 轴或轴套基本不受磨损；
5. 对旋转轴的振摆和轴对壳体孔的偏斜不敏感；
6. 安全可靠、检修周期长；

7. 适用范围广；能用于低温、高温、超低温、高压、高真空、高速以及易燃、易爆、有毒、强腐蚀性介质的密封。

我国的机械密封在六十年代初最早被炼油行业所采用，

至今已有二十多年的历史。目前已经颁布了“泵用机械密封标准”和“釜用机械密封标准”共十三个系列。由于这些系列产品在结构、材料以及工艺方面还有一定的缺欠，因此，虽然工业应用已取得了一定的效果，但在使用温度、使用压力、使用线速度、使用介质以及使用寿命和漏泄率方面与国外先进的机械密封相比还有一定的差距，目前还满足不了工业发展的需要。为此，近几年来国内机械密封行业组织了攻关，研制出了金属波纹管型机械密封、聚四氟乙烯波纹管型机械密封和橡胶波纹管型机械密封。这三种波纹管型机械密封由于本身所具有的特点，工业性试验证明它们在高温、高压、高速和强腐蚀性介质的条件下密封效果很好；对于密封工况不很苛刻的轴封问题，还可以做到价格低廉，同时，由于波纹管型机械密封具有浮动性好这一显著特点，因此，该种机械密封的适用性更加广泛。

波纹管型机械密封虽说目前在有些方面还需进一步完善，但使用结果已足以说明，解决高温、高压、高速和强腐蚀介质密封问题，波纹管型机械密封是颇有前途的一种结构型式。

# 目 录

## 绪言

第一章 概论.....	1
第一节 波纹管型机械密封的作用原理.....	1
第二节 波纹管型机械密封的分类.....	5
第三节 波纹管型机械密封的特点.....	11
第四节 波纹管型机械密封的典型结构.....	13
第二章 设计计算.....	25
第一节 受力分析.....	25
第二节 端面比压的计算.....	31
第三节 端面摩擦热及摩擦功率的计算.....	33
第四节 弹性元件的计算.....	36
第五节 主要零件结构形式的设计.....	54
第六节 主要零件尺寸的确定.....	59
第七节 摩擦付环的变形.....	65
第八节 摩擦付环端面热应力的计算.....	73
第九节 冲洗冷却流量的计算.....	93
第十节 摩擦付环与轴之间间隙的计算.....	95
第十一节 机械密封的设计条件、设计顺序和评价条件.....	96
第三章 摩擦付端面的摩擦、磨损、润滑与漏泄.....	99
第一节 端面的摩擦.....	99
第二节 端面的磨合和平衡粗糙度.....	115
第三节 端面摩擦状态的判据.....	118

第四节	端面的磨损 .....	121
第五节	端面的润滑 .....	125
第六节	端面的漏泄 .....	132
<b>第四章</b>	<b>材料 .....</b>	<b>138</b>
第一节	摩擦付材料的选用原则 .....	138
第二节	不同工况下的摩擦付材料组对 .....	144
第三节	摩擦付环常用材料的机械物理性能 .....	152
第四节	金属波纹管用材料 .....	182
第五节	聚四氟乙烯波纹管用材料 .....	188
第六节	橡胶波纹管用材料 .....	189
第七节	辅助密封圈用材料 .....	192
第八节	弹簧材料及其它零件材料 .....	200
<b>第五章</b>	<b>加工制造与检验 .....</b>	<b>202</b>
第一节	摩擦付环的加工制造 .....	202
第二节	金属波纹管的制造过程 .....	267
第三节	聚四氟乙烯波纹管的制造 .....	291
第四节	橡胶波纹管的制造 .....	294
第五节	辅助密封圈的制造 .....	302
第六节	主要零件的公差配合与技术要求 .....	315
第七节	主要零件的检验 .....	320
<b>第六章</b>	<b>辅助装置 .....</b>	<b>331</b>
第一节	采用辅助装置的目的 .....	331
第二节	冷却、冲洗、急冷及保温 .....	332
第三节	杂质过滤 .....	341
第四节	封液系统 .....	344
第五节	其它辅助装置 .....	348
<b>第七章</b>	<b>波纹管型机械密封的安装 .....</b>	<b>350</b>

第一节	安装前的检验要点 .....	350
第二节	安装机械密封器的技术要求 .....	351
第三节	波纹管型机械密封的安装要领 .....	354
第八章	故障分析与维修 .....	356
第一节	机械密封的运行保养要点 .....	356
第二节	常见故障及处理方法 .....	358
第三节	主要零件的修复规定 .....	377
第四节	机械密封的测量方法 .....	378
附录	单位换算表 .....	396
参考文献		



# 第一章 概 论

## 第一节 波纹管型机械密封的作用原理

机械密封又称为端面密封，是一种旋转轴用动密封。机械密封之所以又称为端面密封，主要是为了区别于密封面为圆柱面的填料密封。它的主要特点是动密封面垂直于旋转轴线或大体上垂直于旋转轴线，并具有由弹性元件、辅助密封圈等构成的轴向磨损补偿机构。因此，有人把机械密封定义为：带有缓冲补偿机构，通过与轴大体垂直并做相对转动的两个密封端面进行密封的密封装置。

机械密封最主要的两个特点是使用寿命长和密封性能好。而要延长使用寿命就必须在密封端面间维持一个极薄的液膜，避免端面发生干摩擦。在这种情况下，要保持端面良好的密封性能就要求密封端面间产生的阻力大于密封端面两侧的压力差。这是机械密封得以成为先进密封结构的原因所在。

机械密封作为一种先进的密封装置，近年来发展很快，出现了许多种新结构，但无论哪种结构基本上都有四大组成部分：

- 第一部分是动环和静环组成的密封端面；
- 第二部分是由弹性元件为主要零件的缓冲补偿机构；
- 第三部分是辅助密封圈；
- 第四部分是带动动环随旋转轴一起回转的传动机构。

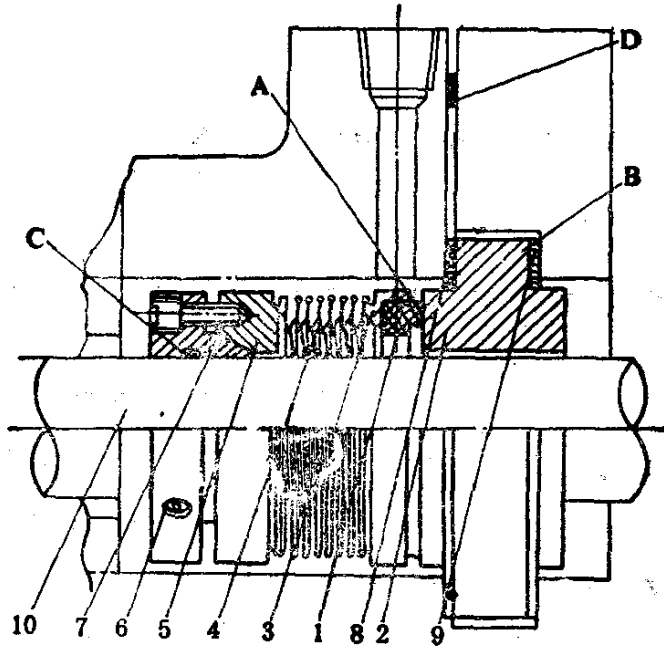


图 1-1 波纹管型机械密封基本结构

1—动环；2—静环；3—动环座；4—金属波纹管；5—波纹管座；6—  
止转螺钉；7—波纹管座密封圈；8—静环密封圈；9—压盖密封圈；  
10—旋转轴

其中采用波纹管做为弹性元件的机械密封称为波纹管型机械密封，其基本结构如图1-1所示。

动环1和静环2组成一对摩擦副构成密封端面，动环1随旋转轴10一起旋转并与静环2紧密贴合。静环2静止地固定在机器壳体上，不做旋转运动。波纹管座密封圈7、静环密封圈8以及压盖密封圈9通常称为辅助密封圈。图中的波纹管4为该密封装置的缓冲补偿机构，其缓冲补偿作用主要通过波纹管4的弹性力来完成，它使动环和静环始终保持良好的贴合。传动机构包括二个或二个以上的止转螺钉6，使波纹管座5固定在旋转轴10上随轴一起旋转，并通过波纹管4带动动环座3及动环1随轴一起旋转。

机械密封的工作过程是这样的：当旋转轴10旋转时，通过止转螺钉6带动波纹管座5，而波纹管座、波纹管以及动环座为焊接组合件，因此，波纹管座5的旋转会带动动环1一起旋转，而动环1借助波纹管4的弹性力及密封介质的压力使之与静环2始终保持良好的贴合状态，从而完成轴封的作用。

波纹管型机械密封的漏泄渠道主要有四个，如图1-1中A、B、C、D所示。

A为转动密封，通过波纹管（有的结构还要弹簧）和流体压力在相对运动的动环和静环端面上产生一适当的比压，这两个光洁、平直的端面得以紧密贴合，并维持一层极薄的流体膜。该流体膜具有流体动压力和静压力，它可以平衡密封介质压力和润滑端面，从而达到密封和使用寿命长的目的。

B为静环与压盖之间的密封，属于静密封，通常采用各种形状及材料的弹性辅助密封圈来防止密封介质从静环与压盖之间漏泄。

C为波纹管座与轴之间的密封，属于静密封，通常采用辅助密封圈来防止密封介质从轴与波纹管座之间的漏泄。

D为压盖与机器壳体之间的密封，也属于静密封，这种静密封采用密封垫进行密封，比较容易解决。

波纹管型机械密封的基本结构除了图1-1所示的以外，还有如图1-2和图1-3所示的带有弹簧的聚四氟乙烯波纹管型机械密封和橡胶波纹管型机械密封，但其工作原理都是相同的。

其中主要零件的功用为：

1. 动环：动环随旋转轴一起旋转，并与静环紧密贴合

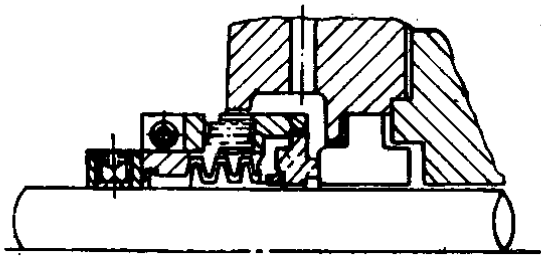


图 1-2 聚四氟乙烯波纹管型机械密封

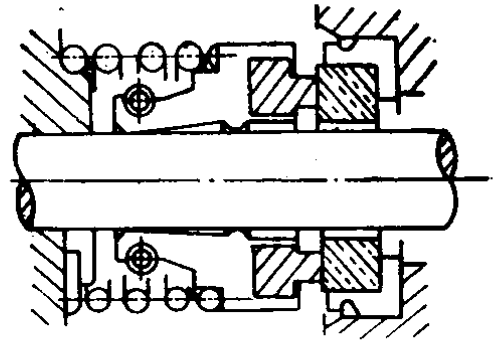


图 1-3 橡胶波纹管型机械密封

组成密封端面以防止介质漏泄。在与静环相对滑动的过程中，密封端面会产生磨损，动环可以做轴向移动进行补偿，从而可以保证密封端面的贴合始终良好。动环是波纹管型机械密封最主要的零件之一，它的耐磨性及与静环组成摩擦付的密封性将直接影响机械密封的使用寿命和密封性能。

2. 静环：静环固定在机器设备的壳体上静止不动，它与动环组成密封端面防止介质漏泄，静环与动环做相对滑动时也会产生端面磨损，因此要求静环具有良好的耐磨性，它是直接影响机械密封使用寿命和密封性能的主要零件之一。

3. 波纹管：波纹管作为弹性元件，其主要功用为补偿及缓冲动环因磨损、轴向窜量及振动等原因产生的轴向位移；此外，波纹管还起着使动环随旋转轴一起旋转的作用（旋转型）；波纹管的第三个功用是利用波纹管的弹性力与密封介质压力一起使密封端面产生一定的比压，使端面产生一定的承载能力起到密封作用。

4. 弹簧：弹簧在波纹管型机械密封中主要起缓冲补偿作用，弹簧的弹性力是机械密封产生合理端面比压的主要因素，是影响密封性能和使用寿命的重要零件之一。

5. 辅助密封圈：辅助密封圈主要是用来密封除密封端面以外处的漏泄。

6. 波纹管座：波纹管座的作用主要有二个，一个是传动波纹管和动环随旋转轴一起旋转（旋转型）；另一个作用是定位，使密封端面产生合理的弹簧比压。

7. 止转螺钉：止转螺钉是用来把波纹管座固定在旋转轴上，使波纹管座随旋转轴一起旋转并带动波纹管和动环一起旋转。用止转螺钉固定波纹管座，从受力角度考虑一般都在三个以上。

## 第二节 波纹管型机械密封的分类

波纹管型机械密封由于本身所具有的特点在工业应用中取得了很好的效果，因此近来发展很快，出现了许多新型波纹管型机械密封。波纹管型机械密封有许多种分类方法，最主要的有两种：一种是按波纹管的材料和加工制造工艺来分类；另一种是按结构配置进行分类。

按波纹管所用材料和加工制造工艺的不同可分为三大类：

### 一、金属波纹管型机械密封

该种密封所用的波纹管系采用金属制造，根据制造工艺的不同又分为：

1. 液压成形金属波纹管型机械密封；
2. 焊接金属波纹管型机械密封。

在焊接金属波纹管型机械密封中，根据焊接方法的不同，又分为：

- (1) 氩弧焊金属波纹管型机械密封；
- (2) 微束等离子焊金属波纹管型机械密封；

### (3) 电子束焊金属波纹管型机械密封。

液压成型金属波纹管型机械密封由于金属波纹管成型过程中壁厚不易保证均匀，而且轴向长度长，近来已逐渐被焊接金属波纹管型机械密封所取代，这两种不同制造工艺的金属波纹管型机械密封结构如图1-4所示。

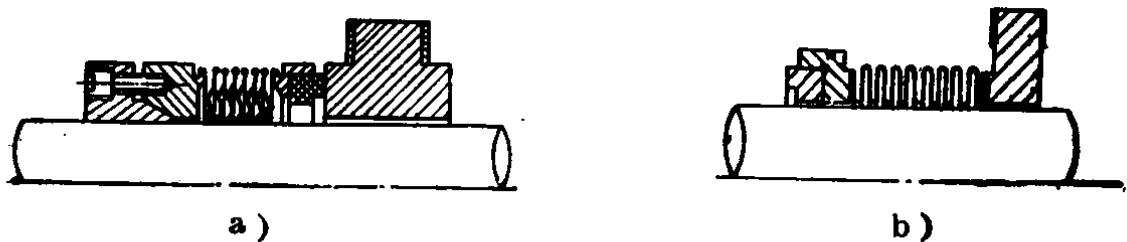


图 1-4 金属波纹管型机械密封

a) 液压成型金属波纹管型；b) 焊接金属波纹管型

## 二、聚四氟乙烯波纹管型机械密封

该种密封的波纹管是采用聚四氟乙烯制造的，根据不同的制造工艺可以得出不同性能的聚四氟乙烯波纹管。在聚四氟乙烯波纹管的成形方法上又分为：

1. 压制成型聚四氟乙烯波纹管型机械密封，波纹管的压制模具及形状如图1-5所示。

2. 车制成型聚四氟乙烯波纹管型机械密封，车床上车制的聚四氟乙烯波纹管如图1-6所示。

## 三、橡胶波纹管型机械密封

该种密封的波纹管是采用橡胶制成的，根据不同的使用条件可以采用不同的胶料制造。比如丁腈橡胶、合成天然橡胶、乙丙橡胶、丁基橡胶、聚氨酯橡胶、聚丙烯酸酯橡胶、硅橡胶、氟橡胶、硅氟橡胶、聚硫橡胶等。

根据波纹管所用材料和加工制造方法进行分类主要有上述几种，综合起来如图1-7所示。

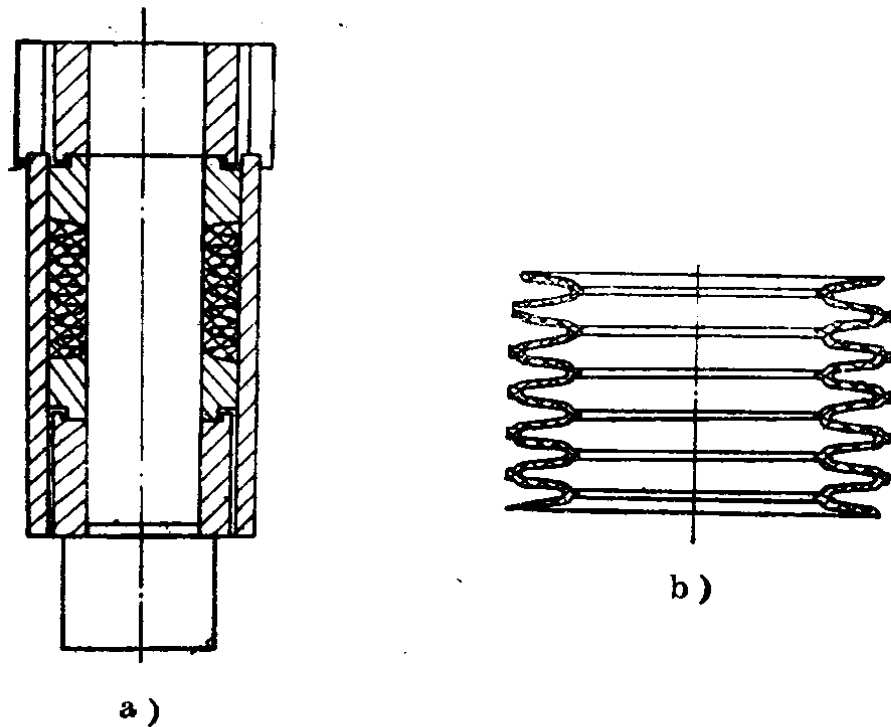


图 1-5 压制成形聚四氟乙烯波纹管

a) 波纹管压模; b) 压制的波纹管



图 1-6 车制成形的聚四氟乙烯波纹管

另外波纹管型机械密封还常按结构配置进行分类, 根据几个主要零件的不同配置通常可以分为:

1. 内装式波纹管型机械密封 该种密封的波纹管安置在机器设备的内部, 其结构如图1-8所示。

2. 外装式波纹管型机械密封 该种密封的波纹管安置在机器设备的外部, 其结构如图1-9所示。

3. 静止式波纹管型机械密封 该种密封的波纹管不随旋转轴一起旋转, 因此, 波纹管的弹性力不受离心力的影响。在高速情况下常采用静止式波纹管型机械密封, 其结构

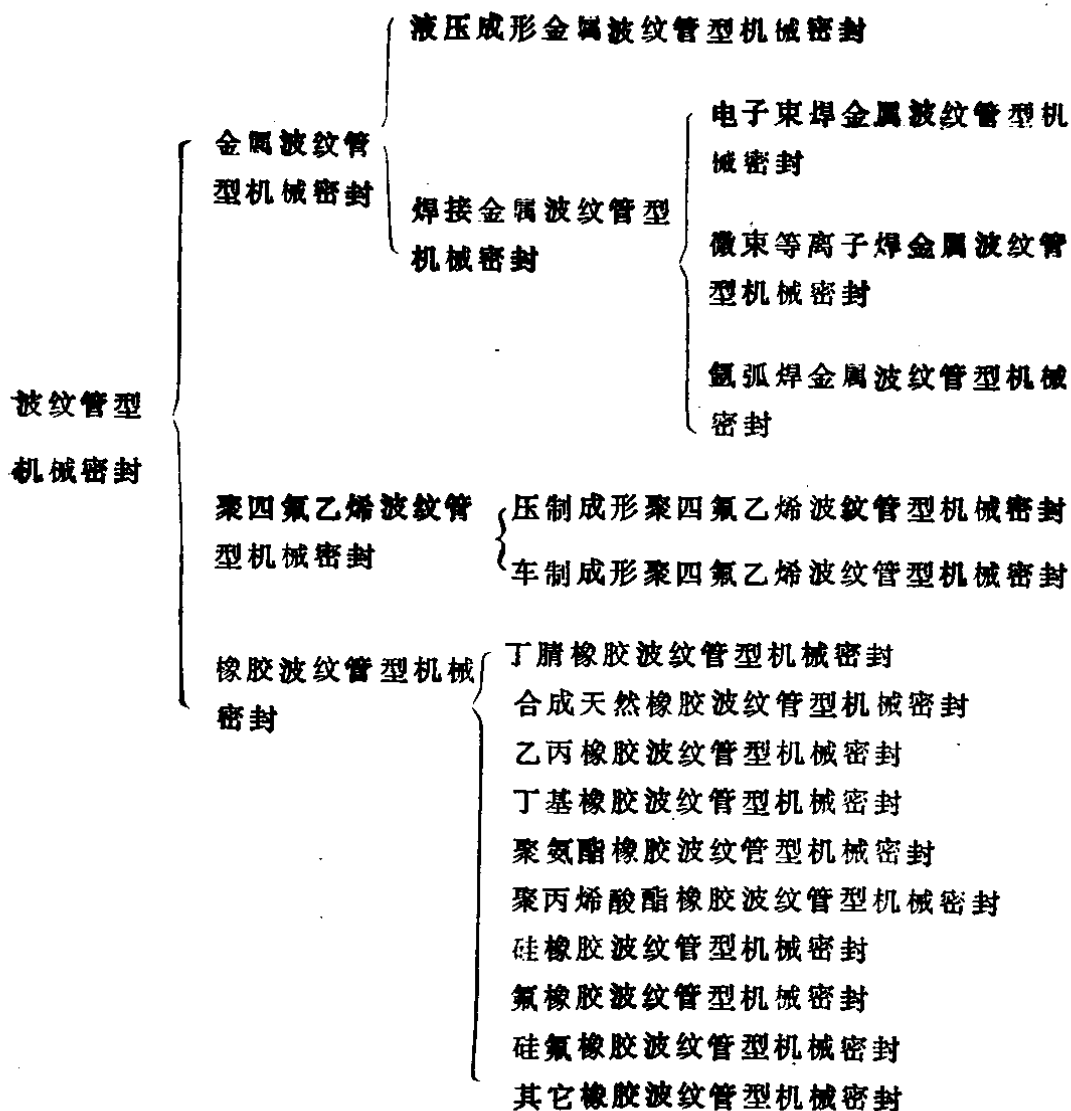


图 1-7 波纹管型机械密封分类

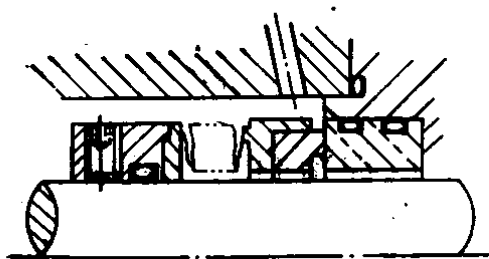


图 1-8 内装式波纹管型机械密封

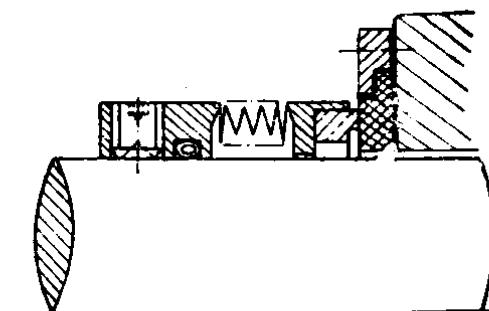


图 1-9 外装式波纹管型机械密封



如图1-10所示。

4. 旋转式波纹管型机械密封 该种密封的波纹管（或其它弹性元件）随旋转轴一起旋转，弹性力受离心力影响，一般不适宜在高速情况下使用，其结构如图1-9所示。

5. 内流式波纹管型机械密封 该种密封的介质在密封端面上的漏泄方向与离心力方向相反，结构如图1-8所示。

6. 外流式波纹管型机械密封 该种密封的介质在密封端面上的漏泄方向与离心力方向相同，结构如图1-9所示。

7. 单端面波纹管型机械密封 该种密封的特点是只有一个动环和一个静环组成一对摩擦付作为密封端面，其结构如图1-8所示。

8. 双端面波纹管型机械密封 该种密封的特点是具有二个动环和二个静环组成二对摩擦付作为密封端面，其结构如图1-11所示。这种组合办法是由两个单端面波纹管型机械密封背对背布置，有时也可以做成图1-12所示的结构，把动环组件做成一体，使安装更为方便。双端面波纹管型机械密封主要用于对漏泄率控制很严的情况，比如有毒介质，贵重介质等。高压情况下，若对漏泄率要求又很严，通常都采用双端面结构。

9. 单弹簧波纹管型机械密封 对于聚四氟乙烯波纹管或橡胶波纹管型机械密封，为得到一个稳定的合理弹簧比压，仅仅依靠聚四氟乙烯波纹管和橡胶波纹管是不够的，通

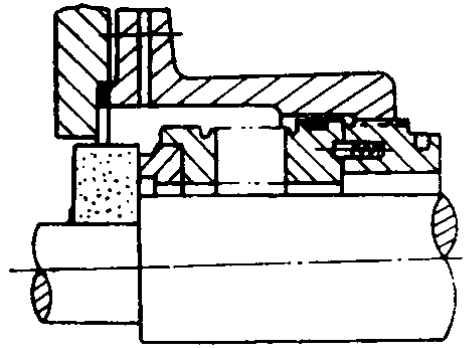


图 1-10 静止式波纹管型机械密封