

泵类产品六十年代初期水平概述

之 四

国外《机械密封》发展概况

沈 阳 水 泵 研 究 所

甘 肃 工 业 大 学

1966. 6.

目 录

概 述	1
-----	---

一、机械密封结构型式	2
------------	---

1、平衡型与不平衡型	3
------------	---

2、流体动力型	5
---------	---

3、流体静力型	7
---------	---

4、内装型与外装型	7
-----------	---

5、按弹性元件形式分	8
------------	---

① 多弹簧型	8
--------	---

② 单弹簧型	8
--------	---

③ 波形弹簧型	8
---------	---

④ 奥有金属膜片型	8
-----------	---

⑤ 磁铁型	9
-------	---

6、内向流动型及外向流动型	10
---------------	----

7、带有波形管的机械密封	10
--------------	----

8、按摩擦付的对数	11
-----------	----

9、满足特殊需要的几种机械密封	12
-----------------	----

① 14, 2, 11型	13
--------------	----

② 4、5及6型	13
----------	----

③ 109及109B型	14
-------------	----

④ 10 型	15
⑤ 51B 及 52B 型	15
10、超高压机械密封 (或称多级机械密封)	17
二、机械密封磨擦付间液流状态和洩漏	18
1、磨擦付间液体压力分佈情况	18
2、比压和磨擦付平均圆周速度对液体薄膜 厚度系的影响	19
3、关于机械密封磨擦付液体洩漏	21
三、机械密封的冷却	25
1、冲洗 (自身冲洗、外部冲洗)	25
2、淬冷	26
3、冷却	26
4、双密封	27
5、循环冷却	27
四、对化学腐蚀介质中工作的机械密封	28
1、对化学腐蚀介质中材料选择	28
2、金属环的腐蚀与金属表层及介质 浓度的关系	30
3、腐蚀过程	31

4、对不同磨擦付材料组合情况下,磨擦系数、

比压磨损间存在的关系 32

① 对浓度 25% 硫酸溶液中磨擦系数

随时间的波动 32

1. 金属环不同石墨环 32

2. 同石墨环对应不同金属环 33

② 磨损与比压关系 34

③ 时间与磨损关系 34

五、机械密封试验设备 35

1. 水介质机械密封试验 35

2. 对化学活泼介质机械密封试验装置 37

3. 对材料磨损试验装置、MT-3、1440 38

4. 洩漏试验装置 40

5. 托架密封试验台 41

6. 可调节锁紧力大小的密封试验台 42

7. 西德 Mezbel 厂试验台 44

8. 聚四氟乙烯机械密封试验 45

六、机械密封材料 47

1. 磨擦付材料组合 47

2、密封环材料配合与材料弹性模数关系	48
3、机械密封磨擦付接触面质量	49
4、关于磨擦付的材料石墨和聚四氟乙烯	50
① 石 墨	50
② 聚四氟乙烯	51
国外机械密封寿命及参数情况	66
结束语	68

概 述

在泵、压缩机、涡轮机、液力传动等流体机械中，由于迴转轴伸出固定壳体为限制液体或气体的洩漏，人们采取了填料函、迷宫等各式各样的结构型式。并对密封问题进行了大量的试验研究工作，除了屏蔽泵那样密封的机器外，机械密封应用最广泛，例如西欧95%离心泵采用了机械密封(1)。

机械密封专利出现在1895年英国的«СащНукнкка»。在第一次世界大战时广泛用在制冷的压缩机上，比较迟的用在离心泵上，机械密封广泛传播在国外机械制造部门，特别在美国10—15年来，对密封材料与结构进行了紧张的研究(2)，美国有54家生产机械密封及其零件(3)。

苏联机械密封制造与应用在第二次世界大战之前，主要用在冷藏装置上(2)，然而苏联炼油工业在1952年大部分离心泵(4HГ5×2, 5HK-5×1 和其它)才装上机械密封。

日本西岛制作所在大正年代开始使用原始结构的机械密封昭和17年(公元1942年)出现相当进步的机械密封，密封近代化是在昭和23年(1948年)开始的。1962年建立了密封专用研究所开始综合研究(4)。

英国流体力学研究协会有密封研究室，也对机械密封进行大量试验研究工作。

特别随化工、石油工业的发展，机械密封也在这个领域内得到广泛应用。尤其在温度、压力较高的情况下逐步排除了软填料密封。这主要由机械密封如下优点所决定的：

一、不漏或洩漏量极少；如将直线间隙迷宫密封漏损量定为100%，锯齿形间隙的漏损量为56%，扇形密封为20%，而机械密封为2% (2)。按文献(6)存在

漏损量(软填料)
漏损量(机械密封)

二、磨擦付磨擦系数很小，因此磨擦功率消耗很小，在国外机械密封磨擦功率消耗为软填料的 0.1~0.5；

三、对正常工作情况下不需要维护；

四、当机器的轴振摆相当大时，机械密封也能良好的工作同时轴对壳孔的偏斜也不敏感；

五、消除填料对轴或轴套的磨损；

六、机械密封可用在高参数情况，对标准水泵机械密封，密封压力可达 210 大气压，在飞机装置上转速可达 15000 转/分温度为 260℃ 对飞机机械密封装置温度可达 540℃〔6〕；

七、对正确选择机械密封磨擦付材料与比压情况下可得到很长的使用寿命。

一、机械密封结构型式

机械密封是藉助于动环与静环密切配合进行密封的，如图 1—1 机械密封示意图所示，它由动环、静环、弹簧及密封环构成的。

动环受弹簧和密封介质的作用，它可沿轴向移动。动环沿着固定在壳体上的静环相对滑动，动环及静环绝大部分是正体的，但对特殊情况下据文献、〔28〕介绍：对于经常更换的地方，

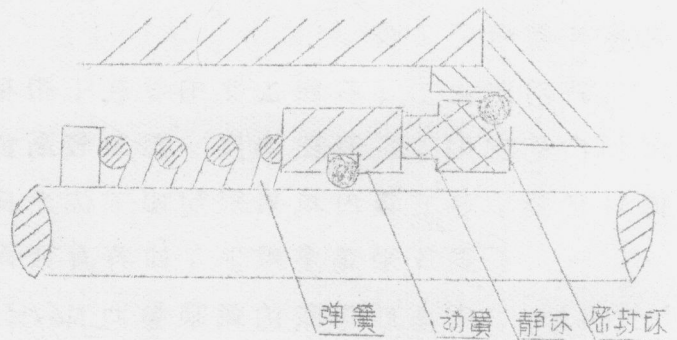


图 1—1 机械密封示意图

自拆卸方便采用对开式机械密封，它的动环、静环及邻近零件采用对开式。

1. 平衡型与不平衡型

按磨擦付接触面比压（单位面积上所受的力）与被密封介质压力关系，可分为平衡型与不平衡型。

不平衡型：机械密封比压随密封介质压力升高成线性增加，例图（1-2）a，为防止磨擦付很快磨损和发热（液体薄膜被破坏形成干磨擦）采用减荷方法，即出现了平衡型密封对不平衡型一般采用5—7个大气压，个别的有的达到25个大气压，对于润滑条件越差的则应取小的比压。

平衡型：滑动面比压随密封介质压力升高不成线性增加，从图（1-2）b看出这是由结构上的原因，使得介质压力平衡掉一部分，对完全平衡型密封介质压力全部被平衡掉了，比压只是弹簧的作用，见图（1-2）c所示。

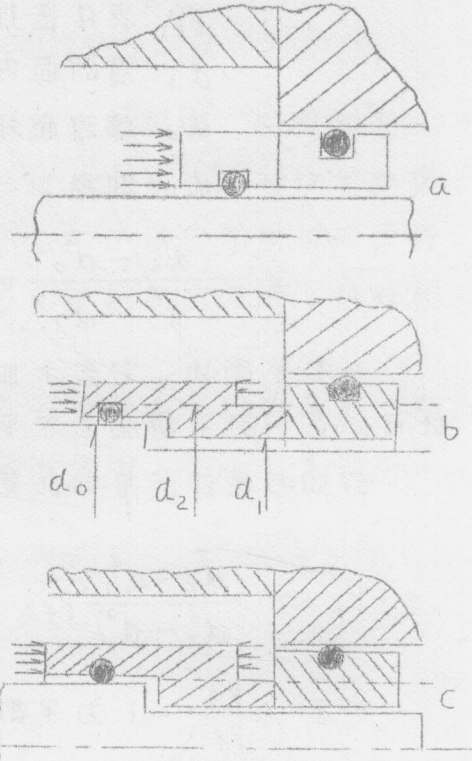


图1-2 平衡与不平衡型机械密封
a 不平衡型，b 部分平衡型，
c 完全平衡型；

$$P_A = \frac{d_2^2 - d_0^2}{d_2^2 - d_1^2} P_f + P_s \quad (8) \quad (\text{不计磨擦付间液膜压力及密封环磨擦力})$$

式中： P_A 比压，

P_S 单位面积上弹簧力，

P_f 液体压力，

d_1 滑动面内径，

d_2 滑动面外径，

d_0 轴径，

$$\text{令 } \frac{d_2^2 - d_0^2}{d_2^2 - d_1^2} = K$$

K 为平衡比，它表示加到滑动面上液体压力比例，按平衡比可以区分为平衡型与不平衡型。

假如与液体压力相比其它压力不很大可忽略不计则：

$$P_A \approx \frac{d_2^2 - d_0^2}{d_2^2 - d_1^2} P_f \quad \text{即} \quad \frac{P_A}{P_f} \approx \frac{d_2^2 - d_0^2}{d_2^2 - d_1^2} ;$$

对于 $\frac{P_A}{P_f} < 1$ 为平衡型， $\frac{P_A}{P_f} \geq 1$ 为不平衡型；

实用机械密封平衡比取下面数值 (7)

不平衡型 $K = 1.1 \sim 1.8$

平衡型 $K = 0.6 \sim 0.9$

机械密封若是全用平衡型，可以在广泛压力范围内使用，但是，它比起不平衡型成本高一些。因为平衡型的轴或轴套必须制造成具有台阶的缺点。由此之故有不平衡型机械密封存在的价值。通常是尽可能采用不平衡型，这必须熟悉不平衡型使用界限，然而不平衡型的使用界限随密封介质的性质、温度、滑动速度、滑动面材料组合情况，以及弹簧压力等因素而异。理论上滑动面的每单位面积上的磨擦损失，由 $\mu P v$ 决定，其中 μ 为滑动面磨擦系数， P 是比压， v 是滑动面的速度。(7)

因为用 p_v 表示机械密封使用界限忽略了由数种因素支配的 μ 对同样的 p_v 值不同 μ 同样处理会造成错误。如有可能作各种不同材料组合，对应不同液体的 μp_v 曲线，以供选取使用。

2. 流体动力型密封 (9)

对于平衡型与不平衡型机械密封的使用极限，由滑动面间润滑薄膜给出的。流体薄膜的保持能使密封环不致过早磨损并尽力减少功率消耗和不高的磨擦热。对于高压、高速机械保持这种润滑薄膜是困难的，薄膜因高压和磨擦热所破坏。这样就导致出现新的流体动力型密封。

流体动力型密封主要结构特点是在滑动面上设有扁形，楔形或其它形状小槽，引导液体强化润滑薄膜。图 1—3 所示。

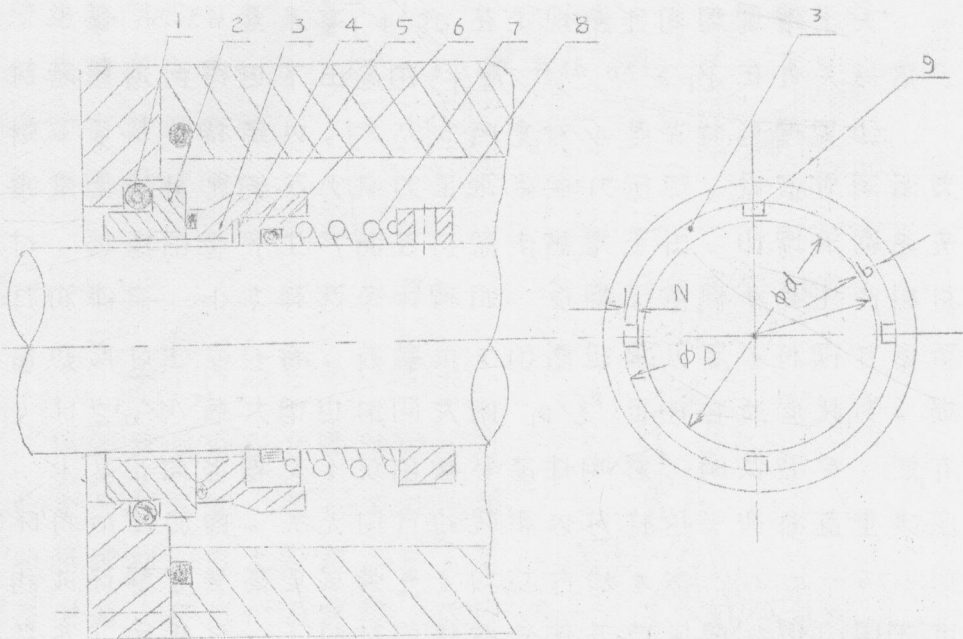


图 1—3 流体动力型密封

1. 静密封圈；2. 静环；3. 带槽的动环；4. 支持环；5. O 形环；
6. 垫圈；7. 弹簧；8. 弹簧止动器；9. 面槽；

为这种密封，动环上的槽可以提高密封压力，速度极限和冷却效应。在转动时，这些槽在配合面之间形成润滑和压力楔，这些楔能有效减少密封环接触压力，摩擦系数和摩擦付的温度。

根据充分研究提出槽径向深度 N 与密封环宽度 b 之比与平衡比 P_g/P_1 (P_g 比压， P_1 介质压力) 存在如下关系：

$$N/b = 0.25 \frac{P_g}{P_1} (\pm 0.2)$$

$$\text{边界条件：} 0 < N/b < 0.9$$

$$0.8 < \frac{P_g}{P_1} < 3.6$$

其中：+ 对小 的粘度或速度而言，

- 对大的粘度或速度而言，

关于槽圆周间距离规定在 25.4 毫米至 63.5 毫米，如符合这一关系在 $P_1 > 70$ 公斤/厘米² 的高压下也得到满意密封效果。

如果槽径向深度 N 对宽度 b 太大，以及槽数太多，则密封表面润滑很好，但压力楔接触压力减少不够充分，于是泄漏损失急剧的增加。由于泄漏使密封表面产生严重的磨损，对较软材料产生孔状腐蚀。相反，如槽比率选择太小，流体动力润滑和压力楔将不足以承担高的工作载荷，将会发生过度热量和磨损。为此必须在比压 P_g/P_1 增大同时也增大槽 N/b 之比，反之亦然。实验表明：影响性能参数的仅仅是槽径向长度 N ，并且应该垂直排列，这样可以和转动方向无关。槽加工后将环抛光到 0.76—0.126 微米均方根和 λ 光带或更高些。静环或动环都可开槽，但，槽应该开在较耐磨的材料上，这样尺寸不易随时间而变化。动环与静环不应同时开槽，因这样会相互破坏对密封槽中楔的负荷和润滑效应。为使污物与磨屑尽可能保持在槽内，在静环上开槽要使液流顺离心力方向（小半径到大半径方向）。

在动环上开槽则使液流逆离心力方向（大半径到小半径方向）这样离心力有助于达到上述效果。

流体动力密封的作用槽，在很大程度上减少磨损，从试验比较中可以证实：

对标准密封（铬铸件/电解石墨， $P_2/P_1 = 2.4$ ； $D = 6.1$ 毫米密封水压力 $P_1 = 50$ 公斤/厘米²， $V_g = 2.65$ 米/秒）

在磨擦系数 $f_1 = 0.128$ 和磨损速率 $A = 12.7$ 微米/时，在开四个槽 $\sqrt{b} = 0.58$ 之后，磨擦系数下降到 $f = 0.010$ ，磨损速率减少至 $A = 0.33$ 微米/时，并且流体动力型泄漏很小。

3、流体静力型密封

流体静力密封在滑动面间压力由单独液源产生的。液体经由静环上的开孔到磨擦付间。

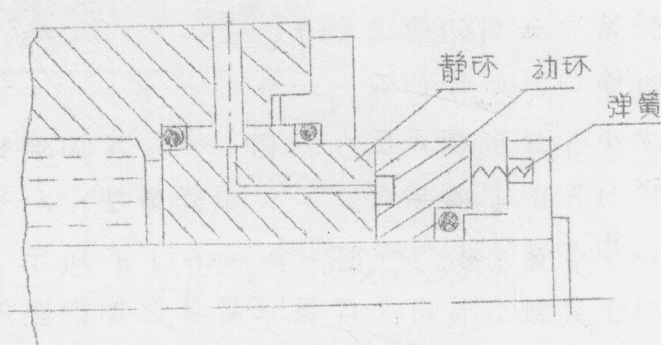


图 1-4 流体静力型密封

4、内装型与外装型

按弹簧是否在介质内部分为外装型与内装型，图 1-5 为外装型机械密封。由于密封元件（主要是弹簧）不与介质接触，故可用在化学腐蚀介质中。

对外装密封工作介质压力与弹簧力相反，在密封介质压力升

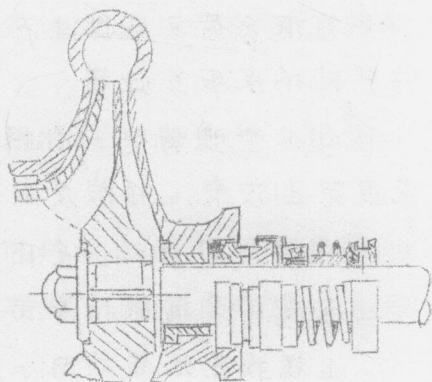


图 1-5 外装型机械密封

高的情况下，弹簧余量又不大时，会出现强烈磨损。而当介质压力下降时，又会加速密封环磨损，故外装型机械密封常用在剧毒、没危险介质（水、空气等），使用压力1—3大气压（2）。

内装型指弹簧处于介质内部，通常使用的比外装型广泛。

5、按弹性元件形式分

弹性元件使动环与静环靠紧，尤其在液体压力不足时更不可缺少。

①多弹簧型：弹簧力在滑动面上分布均匀；轴向尺寸小，并可调正压紧力大小（增加或减少弹簧个数）。图（1—6） δ 所示。

对于腐蚀介质由于弹簧细要求选用耐腐蚀材料。

②单弹簧型：依用滑动面上弹簧力不均匀。由弹簧粗适用于腐蚀介质。图（1—6） a 所示。

对低负荷又成批生产的采用单弹簧，而对少量生产使用条件严格的采取多弹簧。

③波型弹簧型：由钢丝构成，轴向尺寸很小，缺点是使用温度范围狭窄。并限定材料为抗腐蚀合金——不锈钢和Hastelloy如图（1—6） ϵ 所示。

④具有金属膜片型的机械密封

金属膜片压紧动环，并将泵内腔与大气隔绝。它只适用于压力比较小的地方。

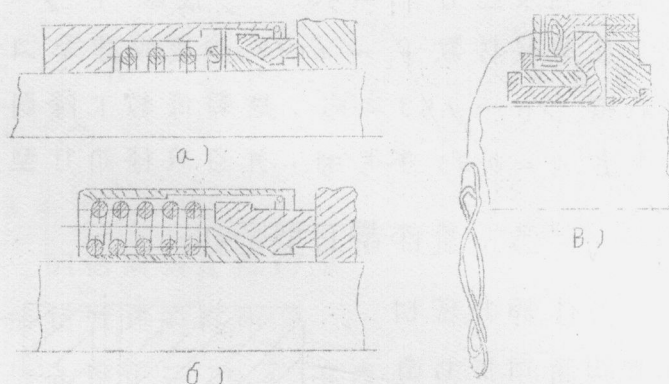


图1—6 不同弹性元件的机械密封

a 单弹簧型； δ 多弹簧型； ϵ 波型弹簧型；

5、磁铁型：用磁铁磁力代替弹簧弹力

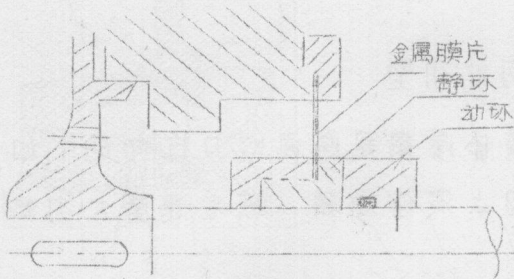


图 1-7 具有金属膜片的机械密封

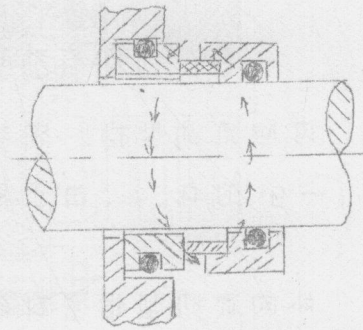


图 1-8 磁铁型机械密封

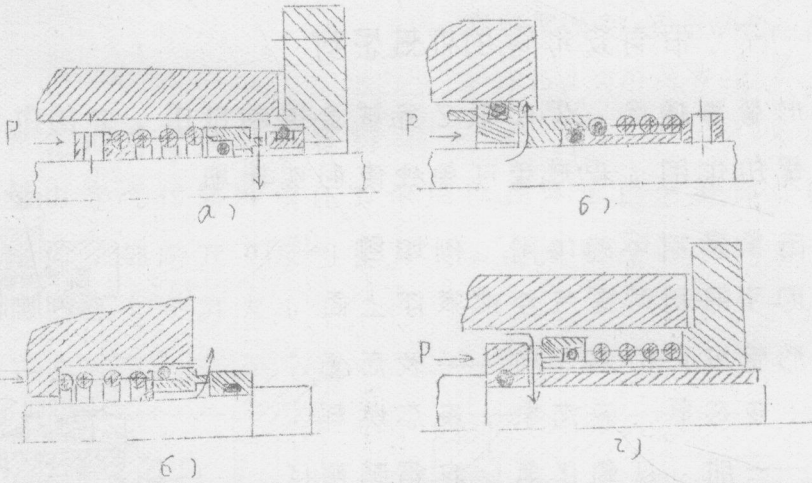


图 1-9 迴转型与静止型机械密封

迴转型与静止型机械密封按弹性元件迴转与否分成迴转型与静止型。

迴转型：弹簧与动环固定在轴上并随轴一起转动，如图 1-9 中 a、b。

除高转速外多半用迴转型，因为这种轴和弹簧构造简单。与静止型比机械密封外径小。由于弹簧处于介质中造成不希望有的腐蚀，但它适用于易结晶介质中。

静止型：弹簧与动环固定在壳体上不随轴转动如图 1-9

的 1、2 所示，由于弹簧不受离心力的影响，迴转质量很小，只是使散热条件变坏了。

6、内向流动型及外向流动型

内向流动型指密封面处液体洩漏是逆离心力方向的，如图 1—9 的 a、2、由于离心力阻止液体洩漏，故洩漏量大为减少。

外向流动型指密封处洩漏是顺离心力方向的如图 1—9 的 3、4 所示。

7、带有波形管的机械密封

波形管由橡皮，聚四氟乙烯或金属制成的。它的作用是起压缩弹簧的作用。波形管可单独使用或辅助

弹簧起压紧密封环的作用，例如图 1—10

另外也用于限制有害气体或液体上面，

金属波形管可用低温介质——液态氧，

液态氟、液态氢、液态氮、液态燃料、

氧化剂——肼、过氧化氢、浓硝酸及其它化学物质。金属波形管可用

比较

广泛的温度范围，对普通机械密封温度

范围 $-55^{\circ} + 260^{\circ}\text{C}$ ，金属波形管温度

范围 $-240^{\circ} 21 + 650^{\circ}\text{C}$ [6]；按 [9] 温

度范围由 -185°C 到 $+870^{\circ}$ 波形管本

身可达到很高压力，允许传递压力 70

大气压，应用金属波形管滑动速度可以提高到 100 米/秒。

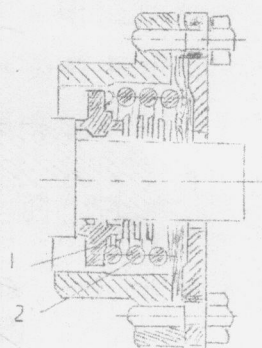


图 1—10 带波形管的机械密封

1、密封环

2、弹簧

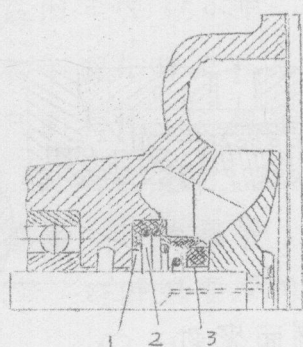


图 1-11 英国 Mangan Crnible 公司生产的带有橡皮波纹管机械密封。

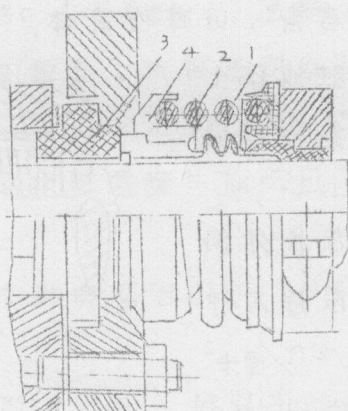


图 1-12 由氧塑料+刷成的迴转波纹管密封,它是由 Crane Packing 公司生产的。

带有充气波纹管机械密封

波纹管由充气代替弹簧压力作用在动环上压紧静环,压紧力大小与径向,轴向尺寸及气量有关。优点在于按不同工作条件控制作用动环上的力大小。

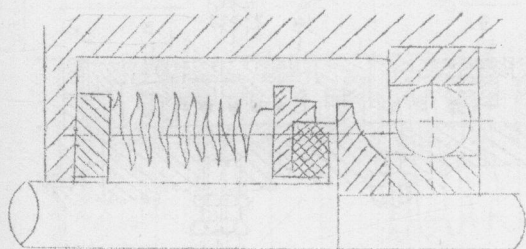


图 1-13 由焊接金属波纹管单独作用的机械密封。

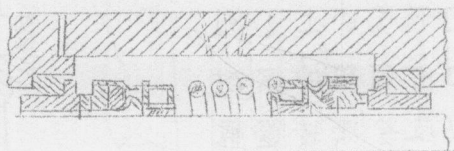


图 1-14 双端面密封

6. 按磨擦付的对数

按磨擦付对数又可分为单端面密封,双端面密封,(图 1-14),二端面密封,(图 1-15),三端面密封(图 1-16)以及四端面密封等。前面所列举的都是单端面密封。而对于双端面密封

— 12 —

适用于有毒，以挥发液体

化学腐蚀液体上
以至于悬浮性腐
料液体上。

推荐液体紧
紧压力保持大于
 $0.5-1.0$ 公斤/厘米²
工作介质压力(q)。
 $1-2$ 公斤/厘米²，
工作介质压力压
力(18)。缺点是
需要专门冷却
介质，还要保持
密封室确定压力。

而对于三、四
级机械密封多半
用于气体上，例
如压缩机的密封
以及冷冻装置氟
冷剂的密封。

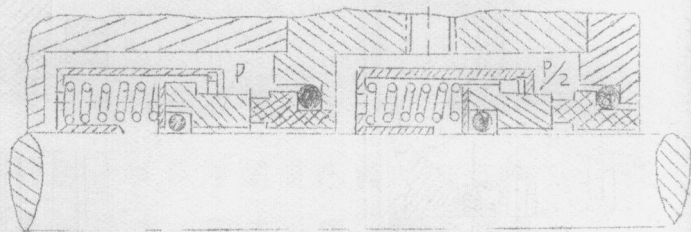


图 1-15 二端面密封

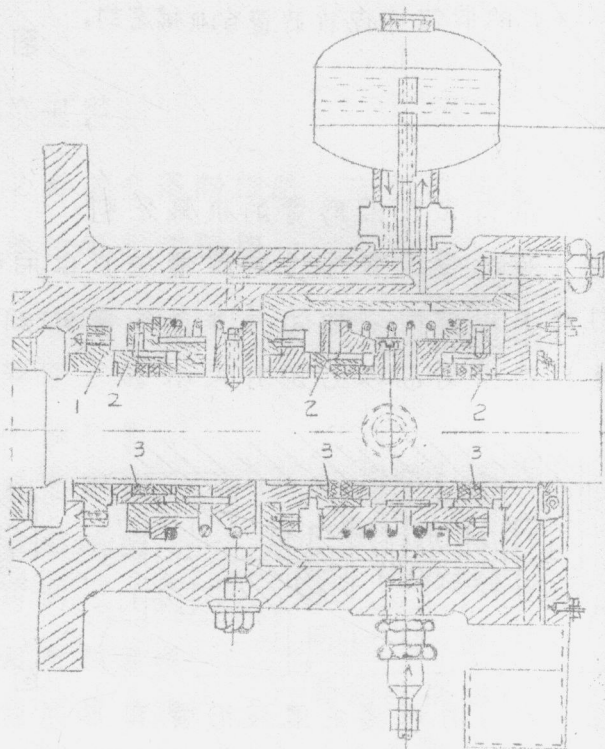


图 1-16 冷却装置压缩机的机械密封

1、静环；2、动环；3、密封元件

9、满足特殊需要的几种机械密封结构

英国 Cyrrme Packing LTD 生产机械密封，已标准化，