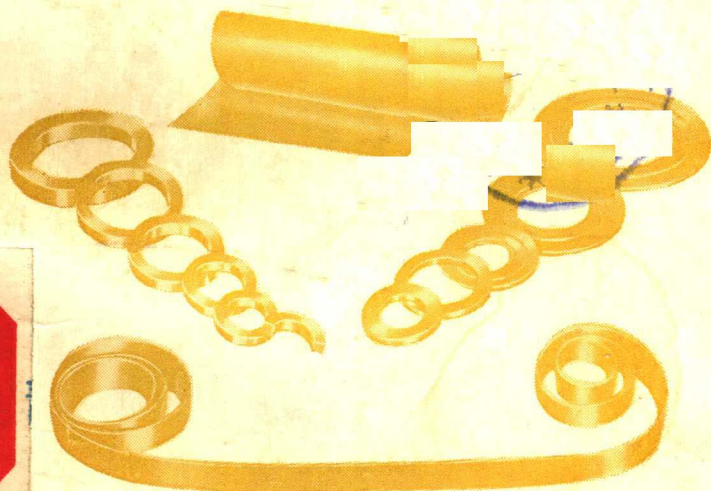


# 机械密封

## 新颖密封材料——膨胀石墨



浙江 慈溪密封材料厂

736  
3

密封材料

密封

# 机 械 密 封

莺 田 彰 著  
刘光启 朱仁杰 译校  
殷福元 笋清河

青 岛 市 机 械 研 究 所

一 九 八 二 · 八

一九八〇年，我国派出密封技术考察代表团去日本。本书就是根据该代表团带回的《メカニカルシール》(第七版)译成的。考虑到原文中引用的参考文献不易查得，故均从略；为了便于读者使用，在章节目录后面增补了图目录和表目录。

——译 编者

## 序

追述过去，第二次世界大战中的日本，由于资源缺乏，曾经把一滴汽油当作一滴血。但是当时从每台汽油泵的密封填料处，每年却要泄漏掉近 10 立方米的石油；而同一时期，在资源丰富的美国，由于采用了机械密封，每台汽油泵的泄漏量每年却只有 0.001~0.003 立方米。这种由于科学技术上的差别而产生的讽刺性对比，当时表现在各个方面。

我国发展的道路，今后无疑仍是致力于和平，把提高科学技术水平放在首位，既为自己谋幸福，又寄希望于人类的发展。所谓科学技术的提高，不是指能完成局部的工作，而要从基础领域开始踏踏实实地积累，所以现有的成果只能说是冰山上的一角吧。在这种意义上分析，我国的技术根底还浅，而要借鉴的东西却很多。

机械密封在现代工业中的作用，就象海上冰山的水下部分对冰山的支持一样，如果搞得不好，工业的效率就不可能得到提高。

自第二次世界大战至今这二十多年中，各种工业如石油、石油化学、化纤、电力、原子能等都取得了惊人的发展，随之而来的是在这些(从水力机械开始)液压流体机器中，流体的种类、压力、温度等参数范围有了显著的扩大，这样，为了改善生产，确保安全，轴封的泄漏和寿命便成了重要的课题。另外，由于设备的自动化，更要求性能可靠、保养方便。

这些都促使各种型式的轴封装置向更高一级发展。其中，机械密封的普及在满足这些要求中发挥了显著的作用。

本人对轴封装置发生兴趣，是在1948年进入西岛制作所以后。该所在当时是有名的泵的名门，技术人才云集，但是却没有关心泵的轴封，所有图纸上都盖着填料密封的印章。这是因为在制泵厂里，轴封是没有人瞧得起的工作，即便研究了也不显眼，所以都不愿意干。可是在实际上，特别是在设计大型泵或化学用泵时，就越来越痛感到轴封的重要，而决不能轻视。

1948年底，已故竹尾会长偶尔有一次给我石墨轴套毛坯，问我这种材料是否可以用来做轴封，这是我第一次与轴封直接发生关系。第二年，现任原田社长给我一份“C·E·Schmitz, Trans, ASME, 71, 6 (1949—8), 635”的摘要，告诉我说：“这种机械密封将来可能会成为轴封的主流，如果日本不开发，泵的近代化就会来迟，是否可以作一个专题研究”。这样，我便把机械密封排在研究日程上。从现在的技术水平来看，那时确实是可笑的。在进行汽油密封实验时，还准备了砂袋，两、三个晚上不睡觉。试验结束时发现密封性能好得惊人，大家的认识提高了，把它应用到水下轴承也就比较顺利了。

一种新产品，如果得不到用户的理解和协作是不能推广应用的。在纺织浸液密封的实践中，我们得到了日东纺织公司稻泽(现为该公司郡山制作所董事设计部长)的富有成效的帮助，致使我们在失去信心的情况下，证明了试用件具有良好的密封效果。

刚开始研究的时候，什么资料也没有，因此，一遇到问

题，便去请教工作繁忙的田伏博士(当时为京都大学教授，现为大阪市立大学名誉教授、武藏工业大学教授)，他给予知识浅薄的我以亲切的指导。

这样才发展了日本初期泵用机械密封，不过我想，在同一时期，我国可能还有从事这一方面工作的人。

我花精力最大的是想尽快地让成果得到广泛的实际应用，所以一有了成果便申请专利(已申请的约3000个，取得专利权的约700个)。这样日本的东西便可使世界上的人所了解，同时也不会被外国的专利所约束。可喜的是，现在日本的机械密封与化学工业、电子工业和原子能工业不同，没有受到外国专利的约束，我在这方面所做的工作自己认为是满意的。

现在，人们对泵和机械密封的认识，都相当深刻了，没有泵便没有我们的文化生活，没有机械密封便没有与近代工业相适应的泵。在这个意义上说来，机械密封是近代工业所必不可少的东西，然而，它应用于我们日常生活中所看不见的地方，所以即使有世界性的项目，一般报纸杂志也不会予以报道。

这次，由于日刊新闻社的重视，给予本书以出版的机会，本人非常感谢。

限于篇幅，本书的编写方针以实用为主，所以尽可能地把对密封设计及使用方面有关的资料都包括进去。其中多数资料是西岛制作所密封研究所报告中未曾发表过的，这次得到原田经理的特别许可在此发表，很是感谢。另外对在本编写工作中予以协助的机械密封部的萩森、萩原、木村、下田平、渡边、大森、吉冈、佐佐木等各位先生以及开发课的武门先

生表示感谢。

如果这本小册子能作为一块垫脚石，在尚待探索的领域分支较多的密封界起到一点参考作用。著者将感到万分荣幸。

著 者

# 目 录

第一章	序论	(1)
第二章	机械密封基础	(5)
一、	机械密封的发展	(5)
二、	基本结构	(6)
1.	结构举例及其特征	(6)
2.	定义和基本结构	(11)
三、	密封端面的摩擦、磨损和泄漏	(26)
1.	密封端面的接触压力	(26)
2.	摩擦系数和摩擦特性	(29)
3.	密封理论、泄漏	(38)
4.	磨损	(40)
5.	其它参考资料	(42)
6.	机械密封的试验装置	(78)
第三章	方案和设计	(82)
一、	机械密封的用途和生产方式	(82)
1.	按用途分类	(82)
2.	按生产方式分类	(83)
二、	方案及设计	(84)
1.	评价机械密封性能的项目	(84)
2.	估计条件和设计条件	(85)
3.	设计方面的基本要素	(85)
三、	设计要领	(92)
1.	用途的确定	(92)
2.	使用范围和使用条件的确定	(92)



3. 基本构造的探讨和生产方式的选定 .....	(96)
4. 材质的选择 .....	(99)
5. 密封方法的探讨 .....	(130)
6. 密封端面的确定 .....	(130)
7. 静环和减震圈的设计 .....	(132)
8. 减震圈和动环密封圈的设计 .....	(140)
9. 施加基础接触面压力的方式 .....	(144)
四、对压力、线速度、温度等条件有特殊要求的	
密封的设计 .....	(146)
1. 高压、高速密封 .....	(146)
2. 高温用密封 .....	(148)
3. 低温用密封 .....	(149)
4. 干燥气体密封 .....	(149)
<b>第四章 选型及使用方法 .....</b>	<b>(151)</b>
一、选型方法 .....	(151)
1. 主要选型条件 .....	(151)
2. 选型程序 .....	(155)
二、使用方法 .....	(155)
1. 有关机构的方案和设计 .....	(155)
2. 防止浆液堵塞的措施 .....	(166)
3. 双端面密封 .....	(174)
4. 特殊使用环境下的密封和防止故障措施 .....	(180)
5. 操作和保养 .....	(184)
6. 事故及预防措施 .....	(189)
7. 各种设备用密封的选择方案和设计示例 .....	(204)
8. 水下轴承装置机械密封的应用 .....	(217)

## 图 目 录

2.1 机械密封结构例图	(7)
2.2 端面密封和减震功能	(12)
2.3 机械密封的分类	(14)
2.4 端面润滑密封(A)	(16)
2.5 端面润滑密封(B)	(16)
2.6 端面润滑密封(C)	(16)
2.7 特殊型双密封	(17)
2.8 特殊型双密封	(17)
2.9 双密封	(20)
2.10 过渡环式密封	(20)
2.11 流体动力密封	(21)
2.12 应用波纹管的密封(汽车用)	(22)
2.13 用金属波纹管的密封	(22)
2.14 应用O形圈的密封(冷冻机用)	(23)
2.15 多弹簧密封	(24)
2.16 磁力密封	(24)
2.17 靠橡胶弹力的密封(浮动密封)	(24)
2.18 靠密封介质以外的流体压力而不使用 弹簧的机械密封	(24)
2.19 靠弹簧传动的密封(A)	(25)
2.20 靠弹簧传动的密封(B)	(25)

2.21 挡圈的固定机构 .....	(25)
2.22 夹紧法固定挡圈 .....	(25)
2.23 用楔固定的挡圈(A) .....	(25)
2.24 用楔固定的挡圈(B) .....	(25)
2.25 靠橡胶摩擦力固定的挡圈 .....	(25)
2.26 轴销式密封 .....	(26)
2.27 机械密封的推力 .....	(26)
2.28 平衡方法 .....	(28)
2.29 介质压力和接触压力的关系 .....	(28)
2.30 密封端面的摩擦力矩 .....	(29)
2.31 $\mu-\eta n/p_s$ 曲线图 .....	(33)
2.32 $\mu-p_s$ 曲线图 .....	(33)
2.33 $\mu'-p_1$ 曲线图 .....	(34)
2.34 $\mu-p_s$ 曲线图 .....	(34)
2.35 机械密封的 $\mu-G$ 曲线和范围 .....	(35)
2.36 $\mu-\eta u/P$ 曲线 .....	(37)
2.37 Mayer 的间隙系数 .....	(40)
2.38 $\eta u/p$ 和磨损量 .....	(41)
2.39 大型高压反应釜用双密封(A密封) .....	(42)
2.40 B密封 .....	(43)
2.41 实验装置 .....	(43)
2.42 运转 300 小时左右的 $\mu'-p_2$ (透平油) .....	(46)
2.43 运转 300 小时左右的 $\mu'-p_1$ (煤油) .....	(47)
2.44 $\mu-\eta v b/p$ (透平油) .....	(47)
2.45 $\mu-\eta v b/p$ (煤油) .....	(48)
2.46 泄漏量大时的 $\mu'-p_1$ (煤油) .....	(48)

2.47	B密封的 $\mu'-p_l$ 曲线(运转前).....	(49)
2.48	(a) A密封的转矩变化 .....	(50)
	(b) B密封的转矩变化 .....	(51)
	(c) B密封的转矩变化 .....	(52)
2.49	静环的固定方法和耐压力 .....	(52)
2.50	动环的永久变形 .....	(54)
2.51	B密封的端面状态 .....	(55)
2.52	封液循环泵 .....	(57)
2.53	不同介质和端面材质运转前后的 $\mu'-p_l$ .....	(58)
2.54	介质为清水时的 $\mu-\eta\omega b/p$ .....	(59)
2.55	甘油+水的 $\mu'-p_s$ 曲线(运转前).....	(59)
2.56	甘油+水的 $\mu-\eta\omega b/p$ .....	(60)
2.57	$\mu'-hr$ 曲线.....	(61)
2.58	$\mu'-p_s$ 曲线.....	(62)
2.59	硬质合金×硬质合金密封端面的 $\mu'-p_l-hr$ 曲线 .....	(62)
2.60	硬质合金×硬质合金密封端面运转时间和 运动摩擦系数的关系 .....	(63)
2.61	硬质合金×石墨的 $\mu'-p_s$ 曲线.....	(64)
2.62	钨铬钴合金×石墨的 $\mu'-hr$ 曲线.....	(64)
2.63	填充玻璃纤维的聚四氟乙烯×“卡贝特” 20的 $\mu'-p_s-hr$ 曲线.....	(65)
2.64	填充玻璃纤维的聚四氟乙烯×“卡贝特” 20初期的 $\mu-G$ 曲线 .....	(65)
2.65	石墨×钨铬钴合金初期的 $\mu'-p_s$ 曲线.....	(66)
2.66	石墨×钨铬钴合金初期的 $\mu-G$ 曲线 .....	(66)
2.67	端面宽度和 $\mu'-p_s$ 的关系.....	(67)

2.68	浆液用的端面材料组合和磨损量 .....	(70)
2.69	液体动力密封的 $\mu$ - $G$ 曲线示例 .....	(72)
2.70	钨铬钴合金和铜合金在清水中运转时的 端面状态 .....	(74)
2.71	在介质为硝酸的机械密封上通电流的 实验装置 .....	(75)
2.72	机械密封的起动力矩和功率 .....	(77)
2.73	E·Mayer 的实验装置 .....	(78)
2.74	D·Summers-Smith 的实验装置 .....	(79)
2.75	石渡、平林的实验装置 .....	(79)
2.76	磨损—转矩试验机(卧式) .....	(80)
2.77	磨损—转矩试验机(立式) .....	(80)
3.1	转速、介质压力和轴的许用振幅(双向) .....	(97)
3.2	垂直度 .....	(97)
3.3	大型机械振动的判断 .....	(97)
3.4	机械密封产生的轴向推力 .....	(131)
3.5	静环的支承方法示例 .....	(133)
3.6	动环的支承方法示例 .....	(134)
3.7	不产生弯曲力矩的推力 .....	(135)
3.8	密封圈的翘曲( $B < 1$ ) .....	(135)
3.9	密封圈的弯曲 .....	(135)
3.10	受外压和内压的密封圈 .....	(137)
3.11	剖面形状变化的密封圈 .....	(137)
3.12	静环的破坏 .....	(139)

3.13	高压密封中的密封圈设计	(139)
3.14	轴向可动O形圈的挤出现象和极限间隙	(140)
3.15(a)	压缩O形圈所需要的力	(141)
	(b) O形圈的最大摩擦阻力计算图	(142)
3.16	密封圈的滑动阻力	(143)
3.17	高温、高压、高速用的密封	(146)
3.18	非接触式多级密封	(147)
3.19	用二级机械密封的原子能工业泵	(148)
3.20	使用橡胶密封的干燥气体密封	(149)
4.1	轴向注冷却液	(158)
4.2	垂向注冷却液	(158)
4.3	冷却、循环方案	(159)
4.4	自身循环	(160)
4.5	自身冷却循环(带冷凝器)	(160)
4.6	采取隔热措施的双密封	(160)
4.7	密封圈的冷却	(162)
4.8	密封用管道(API标准610)	(163)
4.9	套管及石墨的冷却效果	(163)
4.10	冷却效果	(164)
4.11	发热量与冷却液的流量	(164)
4.12	用螺旋泵产生压力	(165)
4.13	用螺旋泵产生压力	(165)
4.14	用离心力产生压力	(165)
4.15	浆液堵塞的防止	(168)

4.16	适合于处理浆液的密封	(169)
4.17	处理浆液的背端面低压型密封	(169)
4.18	适合于处理浆液的双密封	(169)
4.19	轴衬和泄漏量(A)	(171)
4.20	轴衬和泄漏量(B)	(172)
4.21	轴衬和泄漏量(C)	(172)
4.22	双密封上浆液的凝固	(173)
4.23	有阻凝器的双密封	(174)
4.24	适合于处理浆液的双密封	(174)
4.25	内侧直排双密封	(175)
4.26	面对面双密封	(175)
4.27	背对背双密封	(175)
4.28	外侧直排双密封	(175)
4.29	双密封的泄漏方向	(176)
4.30	水管的布置	(178)
4.31	接在其它管道上的支管	(178)
4.32	高位槽及其放水方式	(179)
4.33	高位槽及其循环方式	(179)
4.34	密封压力槽及其循环方式	(179)
4.35	氮气瓶的布置	(179)
4.36	压差活塞的布置	(179)
4.37	只用加压泵的装置	(180)
4.38	加压方法	(182)
4.39	强制冷却	(182)
4.40	有保护装置的盒式单密封	(204)
4.41	机械密封使泵结构简单化和小型化	(205)

- 4.42 适用橡胶衬里泵的密封……………(205)
- 4.43 陶瓷泵密封……………(205)
- 4.44 潜水电机泵……………(206)
- 4.45 受正压、反压作用时接触压力都不降低的  
潜水泵密封(A)……………(206)
- 4.46 受正压、反压作用时接触压力都不降低的  
潜水泵密封(B)……………(206)
- 4.47 潜水泵用波纹管式密封……………(207)
- 4.48 反应器的气体密封……………(208)
- 4.49 真空密封的吸气……………(209)
- 4.50 在密封气体另一侧贮油的密封……………(210)
- 4.51 在密封气体另一侧注液的密封……………(210)
- 4.52 用于真空的双密封……………(211)
- 4.53 用于真空机械的端面润滑密封示例……………(212)
- 4.54 用于管式水轮机的密封(A)……………(215)
- 4.55 用于管式水轮机的密封(B)……………(215)
- 4.56 轴向辐流式水轮机分块式双密封……………(216)
- 4.57 水下轴承密封构造示例……………(220)
- 4.58 在水下轴承上采用大型机械密封的2800毫米  
全自动运转的轴可动翼轴流泵……………(222)
- 4.59 轴流泵的局部剖视……………(223)
- 4.60 上机械密封……………(223)
- 4.61 下机械密封……………(224)
- 4.62 水下轴承用的波纹管式密封……………(225)
- 4.63 装有双密封水下滚珠轴承的工业废水泵……………(225)
- 4.64 密封部件详图……………(225)



## 表 目 录

1.1 轴封装置的种类和轴之间的关系	(1)
1.2 (a)轴封装置选择表 碳氢化合物	(2)
(b)轴封装置选择表 化学溶液	(2)
(c)轴封装置选择表 清 水	(3)
(d)轴封装置选择表 放射性水	(4)
2.1 机械密封和填料函密封优缺点比较	(10)
2.2 各种机械密封特性的比较	(15)
2.3 机械密封的分类	(17)
2.4 润滑条件和摩擦系数	(38)
2.5 端面材质的组合(A组密封)	(44)
2.6 试验用材质代号	(45)
2.7 B密封端面材质组合	(53)
2.8 端面材质的适应性	(54)
2.9 端面状态的比较	(55)
2.10 各组端面的磨损量	(60)
2.11 端面宽度和磨损量的关系	(68)
2.12 浆液对石墨的磨损	(71)
2.13 优秀的密封端面材质	(73)
2.14 石墨的材质和磨损量	(73)