

王汝美 编

# 实用机械密封

# 技术问答

中国石化出版社

711136  
W 91

# 实用机械密封技术问答

王汝美 编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书以问答的形式较系统地介绍了机械密封的原理、结构、辅助设施、材料和计算，并根据作者近三十年的积累，重点介绍了石化行业典型泵用机械密封方法、安装、使用和故障分析等。

本书特为石油化工行业从事机泵维修的技术人员和工人而写，对从事机械密封研究和制造的人员也很有参考价值。

### 实用机械密封技术问答

王汝霖 编

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码：100029)

曙光印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092毫米 32开本 7<sup>1</sup>/<sub>8</sub>印张 162千字 印4001—7000

1995年11月北京第1版 1996年8月北京第2次印刷

ISBN 7-80043-569-5/TB·002 定价：10.00元

## 前 言

现代石油化工装置具有大型、连续和自动化程度高的特点。泵和压缩机是装置运行的动力，而机泵正常运转的重点是做好轴的密封工作。由于介质具有易燃、易爆、有毒和腐蚀等性质，不做好密封工作，安全无保障，生产无从谈起。石油化工还具有高温和高压等特点，这给机泵轴封提出了更高的要求。正是在这种客观形势催促下，我国的机械密封从无到有、经过三十多年的发展，已经成为离心泵最主要的密封方式，基本达到或接近国际先进水平，满足了国内的需要。

笔者长期从事机泵的维修和管理工作，并对机械密封倾注了很大精力。其中包括向实践和工人师傅学习，也包括向专家学者请教，因而积累了点滴经验。现将其总结出来，如果对大家有帮助的话，笔者将感到欣慰。与此同时，为了更好地培训现场技术人员和工人，中国石化总公司电教中心，以本书为蓝本拍摄了教学录像带，与本书配套使用。

书里重点谈的是经验。既然是经验，难免有局限性和欠妥之处，敬请读者指正，不胜感激。

作 者

# 目 录

## 前 言

第一章 机械密封原理.....	1
1. 什么是机械密封? .....	1
2. 机械密封由哪几部分组成? .....	1
3. 机械密封是怎样实现密封的? .....	2
4. 有人把辅助设施也作为机械密封的组成部分, 你认为如何? .....	2
5. 机械密封有哪些种类? .....	3
6. 何为旋转式和静止式机械密封? 各有何特点? .....	3
7. 内装式和外装式密封有何区别? .....	4
8. 什么叫内流型和外流型机械密封? .....	5
9. 多弹簧和单弹簧机械密封有什么区别? .....	5
10. 补偿机构除了用弹簧外, 还有什么结构? .....	6
11. 平衡型和非平衡型密封是怎样划分的? .....	6
12. 双端面密封有何特点? .....	8
13. 什么工况采用串联机械密封? .....	9
14. 波纹管式机械密封有何特点? .....	9
15. 什么是集装式密封? 有何特点? .....	9
16. 国产104和B104型机械密封简介 .....	10
第二章 机械密封的基本元件.....	12
17. 对机械密封的密封环有哪些要求? .....	12
18. 摩擦副匹配要考虑哪些因素? .....	13
19. 密封端面的宽度要考虑哪些因素? .....	13
20. 对密封环有哪些主要的技术要求? .....	14
21. 密封端面的平面度怎样检测? .....	15

22. 怎样确定干涉条纹的数量? .....	15
23. 为什么对密封端面的粗糙度要求很高? .....	16
24. 动环有几种? 各有何特点? .....	17
25. 静环有几种? .....	18
26. 目前应用的密封环有哪些种类? .....	19
27. 整体式密封环有哪些种类? .....	19
28. 为什么出现组合式密封环? .....	20
29. 带O形圈的组合式密封环结构怎样? .....	20
30. 热装式密封环的结构怎样? .....	21
31. 焊接的组合式密封环有哪些特点? .....	22
32. 钎焊的组合式密封环结构怎样? .....	23
33. 热装式密封环失效的原因是什么? .....	23
34. 热装式密封环确定过盈值的原则是什么? .....	25
35. 怎样确定热装式密封环的过盈值? .....	25
36. 环座的加热温度怎样确定? .....	27
37. 热装式密封环怎样进行操作? .....	27
38. 热装式密封环怎样进行强度校核? .....	28
39. 请举一个强度校核的计算实例? .....	29
40. 常用热装式密封环的环座材料使用温度是多少? .....	31
41. 辅助密封圈有几种? .....	32
42. 对辅助密封圈有哪些要求? .....	33
43. 传动机构的作用是什么? .....	33
44. 旋转式机械密封轴套和传动座传动方式有几种? .....	34
45. 旋转式机械密封传动座和动环的传动方式有几种? .....	36
46. 静止式机械密封的动环是怎样旋转的? .....	37
47. 旋转型机械密封的静环防转方法有几种? .....	38
48. 集装式密封的轴套是怎样传动的? .....	39
49. 机械密封的弹性元件有哪几种? 各有何特点? .....	41
50. 波纹管式机械密封有哪几种? .....	42
51. 焊接金属波纹管密封的特点是什么? .....	42

52. 焊接金属波纹管的弹率怎样计算? .....	42
53. 为什么会 出现非对称型波纹管? .....	43
54. 非对称型波纹管有何特点? .....	44
<b>第三章 机械密封的计算</b> .....	<b>45</b>
55. 在使用现场对机械密封进行哪些计算? .....	45
56. 密封环受力状况是怎样的? .....	45
57. 密封端面中液膜压力是怎样分布的? .....	46
58. 怎样计算液膜压力和膜压系数? .....	47
59. 易汽化介质中密封端面间液膜压力是怎样分布的? .....	47
60. 易汽化介质的膜压系数怎样确定? .....	48
61. 膜压系数受哪些因素影响? .....	49
62. 在现场怎样测定弹性力的大小? .....	50
63. 什么是弹簧比压? 怎样计算? .....	50
64. 载荷系数怎样定义? 其意义是什么? .....	50
65. 为什么要计算端面比压? .....	51
66. 内装内流型密封的端面比压怎样计算? .....	52
67. 外装外流非平衡型密封端面比压怎样计算? .....	53
68. 外装外流平衡型密封中的端面比压怎样计算? .....	55
69. 双端面密封的端面比压怎样计算? .....	56
70. 常用的端面比压值为多少? .....	57
71. 波纹管式机械密封的计算有何特点? .....	57
72. 什么是波纹管的有效作用直径? .....	57
73. 波纹管的有效作用直径怎样计算? .....	59
74. $p_v$ 值的意义是什么? .....	59
75. $p_v$ 值有几种? 怎样计算? .....	60
76. 常用摩擦副材料组合的许用 $[p_v]$ 值是多少? .....	61
<b>第四章 机械密封用材料</b> .....	<b>62</b>
77. 对机械密封的摩擦副材料有哪些要求? .....	62
78. 制造摩擦副的材料有哪几类? .....	62
79. 为什么常用碳-石墨来做摩擦副? .....	63

80. 石墨有几种? 各有何特点? .....	64
81. 石墨浸渍剂有哪些? 各有何特点? .....	64
82. 常用浸渍石墨的耐腐蚀性能怎样? .....	66
83. 制造密封环用哪些金属材料? .....	67
84. 铸铁和碳钢有何特点? 适用什么介质? .....	68
85. 高硅铁有何特点? .....	68
86. 哪些合金钢可制做密封环? .....	69
87. 哪些青铜材料可做密封环? .....	70
88. 在强腐蚀性介质中采用什么材料的密封环? .....	70
89. 什么是硬质合金? 常用的硬质合金有哪些? .....	70
90. 硬质合金有哪些优良性能? .....	72
91. 钴基硬质合金有哪些特点? .....	72
92. 什么是耐腐蚀硬质合金? .....	73
93. 哪种硬质合金可以焊接? .....	74
94. 钢结硬质合金有哪些特点? .....	75
95. 表面堆焊用硬质合金有哪些? .....	76
96. 哪些陶瓷可以做密封环? 各有何特点? .....	77
97. 碳化硅有哪些特点? 使用中应注意什么? .....	78
98. 聚四氟乙烯有哪些特性? 用其制造的密封 环适用于什么场合? .....	80
99. 辅助密封圈常用哪些材料制造? .....	82
100. 常用哪些合成橡胶制造辅助密封圈? 各有何特点? .....	83
101. 柔性石墨有哪些优良性能? .....	84
102. 高压下采用什么材料制造辅助密封圈? .....	85
103. 制造机械密封弹簧的材料有哪些? .....	85
104. 制造波纹管的材料有哪些? .....	86
105. 高温下工作的波纹管选用什么材料? .....	86
106. 耐腐蚀耐高温的波纹管用什么材料制造? .....	88
107. 热装式密封环的环座用什么材料制造? .....	89
108. 机械密封中其它零件用什么材料制造? .....	91



第五章	机械密封的辅助设施	92
109.	机械密封为什么要用辅助设施?	92
110.	机械密封的辅助设施包括哪些内容?	94
111.	自冲洗有几种?	95
112.	循环冲洗用于什么工作条件?	97
113.	注入式冲洗用在什么场合?	97
114.	冲洗液进入密封腔的方式有几种?	98
115.	冲洗量是怎样确定的?	100
116.	怎样控制冲洗量?	100
117.	冲洗的压力怎样确定?	102
118.	密封腔中的压力怎样确定?	103
119.	对冲洗用的密封流体有何要求?	104
120.	热油泵用什么流体做冲洗液较好?为什么?	105
121.	烷基化装置中浓硫酸泵用什么流体冲洗?	105
122.	轻烃和轻油泵密封采用什么辅助设施?	106
123.	装置内的冲洗液管线怎样设置?	106
124.	机械密封的冷却方式有几种?	107
125.	怎样确定冷却方式?	108
126.	机械密封冲洗用过滤器有哪几种?	109
127.	机械密封的辅助系统怎样布置?	112
128.	在API 610中单端面密封的辅助系统是怎样布置的?	114
129.	在API 610中双端面密封的辅助系统是怎样布置的?	116
130.	何种工作条件选用辅助设施?	117
第六章	密封性的影响因素	118
131.	影响密封性的因素有哪些?	118
132.	摩擦状态有几种?	118
133.	什么是液体摩擦?泄漏量怎样?	119
134.	什么是混合摩擦?泄漏量怎样?	119

135.	什么是边界摩擦? 影响泄漏量的因素有哪些?	119
136.	出现边界摩擦的条件是什么? 边界摩擦有何特点?	120
137.	干或半干摩擦状态有什么特点?	122
138.	载荷系数怎样影响密封性?	123
139.	弹簧比压对密封性有何影响?	124
140.	密封端面的粗糙度对密封性有什么影响?	125
141.	两密封端面之间的缝隙形状对密封性有何影响?	127
142.	产生密封端面不平行的原因有哪些?	129
143.	密封端面的机械变形是怎样引起的?	130
144.	密封环的热变形是怎样产生的?	132
145.	滑动速度和摩擦副材料怎样影响密封性?	134
146.	介质粘度对泄漏量有何影响?	135
147.	密封端面的宽度对密封性有何影响?	135
148.	离心力对泄漏量有何影响?	135
<b>第七章 石化行业典型泵的密封</b>		<b>136</b>
149.	石化行业机泵密封的难点是什么?	136
150.	石化行业高温泵的特点是什么?	136
151.	热油泵机械密封失效的主要形式和原因是什么?	137
152.	怎样降低热油泵密封的温度?	137
153.	热油泵采用单端面机械密封怎样才有好的效果?	138
154.	热油泵采用焊接金属波纹管密封的效果如何?	139
155.	高温泵采用双端面密封的情况怎样?	140
156.	“硬对硬”的密封应用情况怎样?	140
157.	轻烃泵密封的特点是什么?	141
158.	沸腾半径的影响因素有哪些?	143
159.	沸腾半径怎样影响密封性?	143
160.	轻烃泵密封参数怎样选择?	144
161.	轻烃泵的摩擦副怎样匹配较好?	145
162.	轻烃泵密封采用哪些辅助设施?	145
163.	怎样处理轻烃泵的机械密封?	146

164. 汽相密封的结构怎样?	148
165. 汽相密封的应用范围怎样?	149
166. 汽相密封用水蒸气的加热参数如何?	150
167. 汽相密封的工作原理是什么?	151
168. 低温泵密封的特点是什么?	152
169. 甲烷泵怎样密封?	153
170. 简易机械密封的结构怎样?	154
171. 简易机械密封的应用范围怎样?	156
172. 什么叫高速机械密封? 用于何处?	156
173. 高速机械密封为什么采用静止式结构?	158
174. 高速机械密封为什么消耗功率较大?	158
175. 高速机械密封为什么追随性不良?	160
176. 高速机械密封为什么对动环端面与轴中心 线的垂直度要求高?	161
177. 高速机械密封的特点是什么?	162
<b>第八章 机械密封的安装和使用</b>	<b>163</b>
178. 安装和使用对机械密封有什么特殊意义?	163
179. 为什么对泵也提出一些安装方面的要求?	164
180. 安装机械密封的泵应有哪些技术要求?	164
181. 密封箱与轴的同轴度怎样测量?	166
182. 密封箱端面与轴垂直度怎样测量?	166
183. 安装密封前要了解哪些关于泵及介质的问题?	167
184. 安装密封前要做好哪些准备工作?	167
185. 静环怎样向压盖中安装?	168
186. 机械密封怎样定位?	169
187. 机械密封的安装步骤如何?	170
188. 不同结构的离心泵在安装机械密封时应 注意哪些问题?	171
189. 密封失效原因中哪些属于使用不当?	172
190. 泵的振动是怎样影响密封性的?	172

191. 为什么说“抽空”是机械密封最大的“敌人”？	173
192. 离心泵抽空的原因是什么？	175
193. 抽空和汽蚀有什么区别？	176
194. 减压塔底泵的机械密封为什么容易失效？	177
195. 从工艺操作上如何减少抽空和汽蚀？	177
196. 外冲洗对减少密封腔中的汽蚀有何作用？	178
197. 从机械密封结构上怎样减少汽蚀的危害？	178
<b>第九章 机械密封的故障分析</b>	<b>180</b>
198. 为什么要开展对机械密封的故障分析？	180
199. 进行故障分析需做好哪些基础工作？	180
200. 怎样进行故障分析？	181
201. 密封端面上的摩擦痕迹大于密封面的宽度是什么原因？	181
202. 摩擦痕迹小于密封面的宽度是什么原因？	182
203. 密封面上没有摩擦痕迹是什么原因？	184
204. 摩擦痕迹等于密封面的宽度出现泄漏是什么原因？	184
205. 石墨环表面出现均匀的环状沟纹是什么原因？	184
206. 石墨环表面中间有一条深沟是什么原因？	185
207. 石墨环内边缘磨损是什么原因？	186
208. 石墨环的承磨台被磨掉是什么原因？	186
209. 石墨环外缘出现缺口是什么原因？	187
210. 石墨环腐蚀是什么原因？	188
211. 石墨环断裂是什么原因？	188
212. 石墨环表面出现蚀坑是什么原因？	189
213. 硬质合金的密封环出现沟纹是什么原因？	190
214. 硬质合金环表面灼烧和裂纹是什么原因？	190
215. 怎样判断热装式密封环松脱？	190
216. 动环不能补偿是什么原因？	192
217. 辅助密封圈易出现哪些失效现象？原因是什么？	193
218. 传动座易出现哪些故障？	194

219. 弹簧在哪些介质中容易断裂?	195
220. 轴套表面出现麻坑是什么原因?	195
221. 焊接金属波纹管易出现哪些故障?	196
222. 泵抽空机械密封出现哪些失效现象?	197
223. 密封腔中汽蚀有哪些特征?	198
224. 密封端面上汽化有哪些失效现象?	198
225. 泵振动过大易出现哪些故障?	199
226. 没有冲洗时易出现哪些故障?	199
227. 冲洗量不合适会出现哪些故障?	200
228. 压盖用的冷却介质选择不当会出现哪些故障?	201
229. 静环端面倾斜会出现哪些故障?	201
230. 动环材料选择不合适易发生哪些故障?	202
231. 机械密封安装后就出现泄漏是什么原因?	203
232. 新安装的机械密封运转就发热是什么原因?	204
233. 新安装的机械密封运转时泄漏是什么原因?	206
234. 运转相当时间后出现泄漏是什么原因?	206
235. 各种故障发生的几率怎样?	208
236. 高温泵密封失效统计结果如何?	209
237. 密封失效实例一	211
238. 密封失效实例二	212

# 第一章 机械密封原理

## 1. 什么是机械密封？

机械密封是一种旋转机械的轴封装置。比如离心泵、离心机、反应釜和压缩机等设备。由于传动轴贯穿在设备内外，这样，轴与设备之间存在一个圆周间隙，设备中的介质通过该间隙向外泄漏，如果设备内压力低于大气压，则空气向设备内泄漏，因此必须有一个阻止泄漏的轴封装置。轴封的种类很多，由于机械密封具有泄漏量少和寿命长等优点，所以当今世界上机械密封是这些设备最主要的轴密封方式。机械密封又叫端面密封，在国家有关标准中是这样定义的：“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. 机械密封由哪几部分组成？

机械密封近年来发展很快，根据不同的工况出现了各种各样的结构，但无论哪种结构都由以下四部分组成：

第一部分是动环和静环组成的密封端面，有时也称为摩擦副。

第二部分是由弹性元件为主要零件组成的缓冲补偿机构，其作用是使密封端面紧密贴合。

第三部分是辅助密封圈，其中有动环和静环密封圈。

第四部分是使动环随轴旋转的传动机构。

### 3. 机械密封是怎样实现密封的？

机械密封的原理如图1所示：

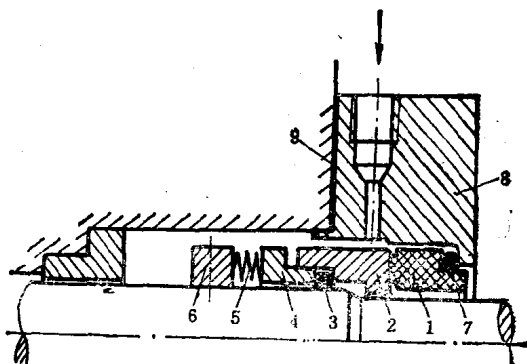


图 1 机械密封

1—静环；2—动环；3—动环密封圈；  
4—推环；5—弹簧；6—传动座；7—静  
环密封圈；8—压盖；9—垫片

轴通过传动座(6)和推环(4)，带动动环(2)旋转，静环(1)固定不动，依靠介质压力和弹簧力使动静环之间的密封端面紧密贴合，阻止了介质的泄漏。摩擦副表面磨损后，在弹簧(5)的推动下实现补偿。为了防止介质通过动环与轴之间泄漏，装有动环密封圈(3)；而静环密封圈(7)则阻止了介质沿静环和压盖(8)之间的泄漏。

### 4. 有人把辅助设施也作为机械密封的组成部分，你认为如何？

长期的实践证明，辅助设施的作用不可忽视。从国外进

来的泵，在提供的机械密封图纸上，不仅有密封结构图，而且在这张图上明确地画出了辅助设施的安装图，并注明辅助设施的种类和数量。国内的制造厂有的开始注意这个问题；有的还没认识，这是不应该的。辅助设施不仅起冷却和润滑作用，还可改善密封的工作环境，从而减少泄漏量和延长使用寿命。因此有人把辅助设施看作是机械密封的组成部分。无疑，这一观点将被越来越多的人接受。

### 5. 机械密封有哪些种类？

机械密封被广泛地应用于各种旋转机械的轴封，工况不同，使用的密封也不同。按使用条件可分为高速和普通机械密封；高压和低压机械密封；高温、常温和低温机械密封；泵用、压缩机用和釜用机械密封以及耐腐蚀机械密封和抗颗粒的机械密封等。通常都按机械密封的结构和原理来分类，例如旋转式和静止式机械密封；内流式和外流式机械密封；平衡型和非平衡型机械密封等，下面将分别叙述。

### 6. 何为旋转式和静止式机械密封？各有何特点？

按补偿机构弹性元件的运动状况，可分为旋转式和静止式机械密封。补偿机构随轴旋转的称为旋转式机械密封（图2）；补偿机构不旋转的（安装在压盖内）称为静止式机械密封。

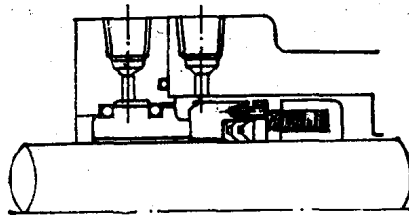


图 2 旋转式机械密封



封(图3)。补偿机构旋转时易产生质量不平衡,同时消耗搅拌功率,因此旋转式密封不能用于高速;而静止式密封可用于高速。但是旋转式密封安装较方便,所以,普通的机械密封大多采用旋转式结构。

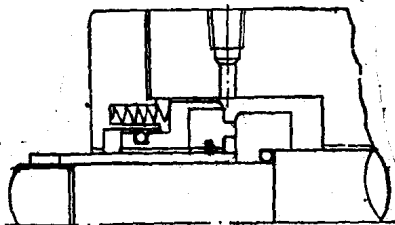


图 3 静止式机械密封

### 7. 内装式和外装式密封有何区别?

按静环的安装位置可分为内装式和外装式机械密封。静环装于密封压盖(或相当于密封压盖的零件)内侧(即面向主机工作腔侧)的机械密封称为内装式机械密封(如图1);反之,在密封压盖的外侧安装静环时称为外装式机械密封(图4)。

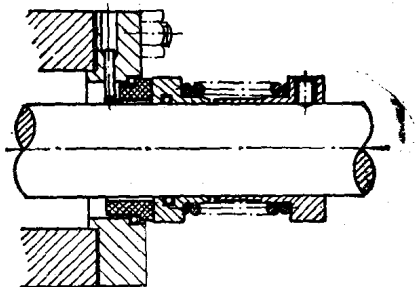


图 4 外装式机械密封

内装式机械密封可用于温度和压力较高,以及介质对动环及弹性元件的腐蚀性不高的工况。外装式机械密封适用于