

密封垫片的选择指南以及 选择错误时及其对策

1. 前言

密封材料在工厂设备中所发生的问题原因如Figure1所示，多数为“施工不良”和“选择不良”，以前曾介绍过，因选择不良而引发的问题占整体的1/4左右。¹⁾。要想使密封材料的性能得到充分的发挥，就必须作出正确选择。

本报将对选择密封垫片时的思路、选择方法、因选择失误所造成的问题示例及其对策进行说明。

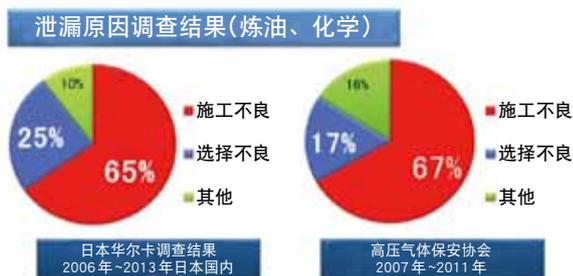


Figure 1 泄漏原因调查统计例

2. 密封垫片的选择指南

2-1) 选择密封垫片的思路

要在各种各样的密封垫片的使用条件中，选择合适的密封垫片，就必须在掌握众多条件的基础上进行判断。首先，我们将在选择时需要考虑的条件列在Figure2中。



Figure2 密封垫片的选择条件

上述条件中，尤其需要重点考虑的是“流体”、“温度”和“压力”。这3个条件是选择时不可或缺的必须信息。

接着，需要确认法兰形状及尺寸(直径、厚度、宽度)。比如：形状怪异或密封宽度极端狭窄时，则不能使用缠绕式密封垫片，而应使用板材密封垫片或其他密封垫片。其中，也有制作非标尺寸的密封垫片或更改法兰的情况。

此外，在选择密封垫片时还应考虑的项目还有容许泄漏量、紧固力以及成本和作业性等因素。降低容许泄漏量等，重视性能时，产品成本就可能会上升。因此，必须在考虑优先条件的基础上，选择最佳、最合适的密封垫片。

再者，在上述项目以外，还应考虑的条件为密封垫片的使用位置。根据用途和装置，可以使用的密封垫片会受到一定的限制。Table1所示的是，各种装置、机器中经常使用的密封垫片²⁾。比如，用于泵的外壳等设备的密封垫片，其形状较为复杂，且大都使用的是厚度较薄的密封垫片，因此就不能选择那些无法符合此种需求的密封垫片。此外，在制造工艺上的重要位置、万一发生泄漏时会对周围造成重大影响的位置等，都必须选择可靠性更高的密封垫片材质。

Table1 密封垫片和使用设备

密封垫片的种类	装置、机器				
	配管	热交换器	阀门	塔釜式反应器	泵
无石棉橡胶垫片	◎	◎	◎	◎	◎
膨胀石墨密封垫片	○	△	○	△	○
PTFE包裹密封垫片	◎	○	◎	◎	○
含填充材的PTFE密封垫片	◎	○	◎	◎	○
缠绕式密封垫片	◎	◎	◎	◎	◎
贴膨胀石墨的带槽金属密封垫片	○	◎	△	○	△
金属包覆密封垫片	○	◎	○	○	△
金属扁平密封垫片	△	○	△	○	△
锯齿形密封垫片	△	○	△	○	△
金属环形垫片	◎	△	◎	◎	△

符号说明 ◎：使用频率高的密封垫片
○：使用的密封垫片
△：使用频率低，某些条件下可使用

2-2)选择密封垫片的步骤

选择密封垫片的流程如Figure3所示。此外，各STEP的详细内容，请见后文。



Figure3 选择密封垫片的条件

STEP 1 区分流体

根据使用流体的种类，确认流体分类。本公司将流体分为以下10类。各分类的代表性流体汇总于Table2中。

Table2 流体分类和代表性流体

流体分类	代表性流体
① 水、热水、水蒸气	清水、工业用水、温水、热水、水蒸气、过热蒸汽、锅炉供水、排水、城市排水、污水等
② 原油、酒精、动植物油、传热油等	原油、石脑油、油气、汽油、轻油、煤油、重油、焦油、燃油、润滑油、一般矿物油、工作油、甲醇、乙醇、乙二醇、甘油、动植物油、传热油等
③ 一般溶剂、弱酸、弱碱等	一般性溶剂、芳香族碳氢化合物(B、T、X等)、酮类、胺类、醚类、酚醛类、丙烯腈类等 醋酸、甲酸、草酸、柠檬酸、硼酸、磷酸等 氨、碳酸钠等
④ 强酸、强碱	硫酸、硝酸、盐酸、高锰酸等 氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化钙 氢氧化钡、氢氧化锂、黑液等
⑤ 空气、氮气、惰性气体等	空气、氮气、氨、氩、氦等
⑥ 废气	废气
⑦ 可燃性气体	氢、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、乙烯、乙炔、丙烯等
⑧ 有毒气体	氨、一氧化碳、碳酰氯、二氧化硫 氯乙烯、醋酸乙烯、氧化亚甲、氟、氯、溴、碘、硫化氢、亚硫酸气体等
⑨ 氧等	氧、臭氧、液态氧
⑩ 极低温流体	LNG、LPG、液体氮、液态氢、液态乙烯、液态氩等

STEP 2 压力、温度适用范围表

选择符合流体分类的压力、温度选择图，根据压力、温度选择可使用的密封垫片。比如：流体为水蒸气、压力1MPa、温度180℃时，流体分类为①水、热水、水蒸气。该选择图如Figure4所示。压力和温度条件相交的位置为②，选择高性能板材密封垫片。

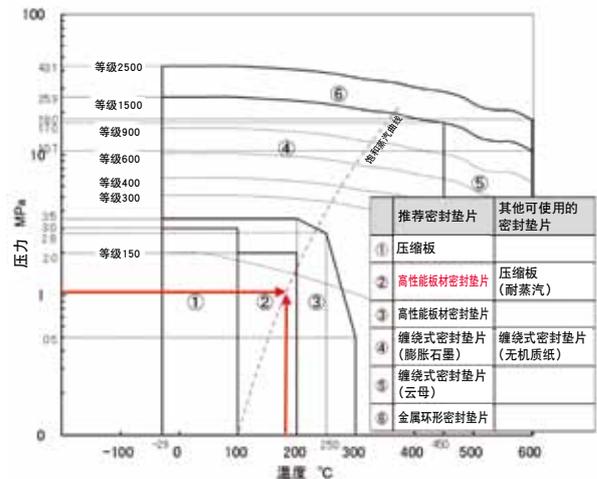


Figure 4 水、热水、水蒸气的温度压力选择图

STEP 3 流体适合表

对于在STEP2中选择的密封垫片是否适合使用流体，在流体适合表中作进一步确认。如何不适合，则返回STEP2，选择“其他可使用的密封垫片”或选择上一档的密封垫片。举例如下：①水、热水、水蒸气的流体适合表如Table3所示。根据STEP2中所示的条件，流体为水蒸气，可判断为选择的高性能板材密封垫片可适用。

Table 3 水、热水、水蒸气的流体适合表

流体分类 Fluid Segment	流体种类 Type of Fluid	流体名称 Fluid	高性能板材密封垫片														
			UF300	MF300	GF300	SP300	6000 · 6003 · 6500AC	6502 · 6503 · 6503AC	7010 · 7010AC (Zene · ZeneS)	7020	7046	8590 Series · 8590T1 8590L Series	8590 Series · 8590T1 VF-30 · VF-3BE	7390 Series	M300 Series M350 Series	N700 Series (reference)	
			① 水、热水、水蒸气 Water, Hot Water, Steam 中性和微酸性水溶液 Neutral and slightly acidic aqueous solution	温水、热水、锅炉供水 warm water · hot water · boiler feedwater		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	清水、工业用水 clear water · industrial water		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水蒸气、过热蒸汽 steam · superheat steam		○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	排水、城市排水、污水 drain · municipal effluent · dirty water		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	氯化钙 calcium chloride		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	氯化钠 sodium chloride		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	海水 seawater		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	硝酸钠 sodium nitrate		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	氯化钠 sodium fluoride		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	硫酸钠 Sodium sulfate		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

STEP 4 法兰的适合性

确认法兰的密封垫片接合面的形状是否适合。各法兰接合面的软质密封垫片的适合性见Table4, 缠绕式密封垫片对法兰及公称压力、直径的适合性见Table5。

Table4 法兰接合面和软密封垫片之间适合性

密封垫片		法兰接合面的种类			
种类	形状	平面	凸面	凹凸面	榫槽面
压缩板/高性能板材密封垫片 氟树脂密封垫片(含填充材)	FF	●	●	—	—
	FR	●	●	●	●
氟树脂密封垫片 (单体)	FF	—	—	—	—
	FR	—	—	● 最大 16K	● 最大 20K
氟树脂包覆密封垫片	FF	▲	—	—	—
	FR	●	●	—	—
膨胀石墨密封垫片	FF	▲	—	—	—
	FR	●	●	▲	▲

Table5 法兰接合面和缠绕式密封垫片之间的适合性

26~60B	1/2~24B	公称直径 密封垫片接合面	公称压力 等级	等级	等级
			150	300~600	900~1500
附内外环	凸面 (平面)		附内外环		
			附外环 ⁽¹⁾⁽²⁾		
附内环	凹凸面		附内环		
			基本形 ⁽³⁾		
基本形 ⁽³⁾	榫槽面		基本形		
			基本形		

注(1) 填料为膨胀石墨及PTFE时, 建议附内外环

(2) 流体为单体时, 建议附内外环

(3) 大口径时, 为了操作上的方便性, 建议附内环

STEP 5 密封垫片的形状、尺寸

最后决定密封垫片的形状、尺寸, 确认是否可以制作。如不能制作, 则即刻返回STEP2, 重新选择。

另外还要确认密封垫片的紧固力是否合适。对于紧固、拆卸作业的便利性、经济性、市场上的人手性(交货期)等问题, 在考虑好哪项优先的基础上进行选择。

此外, 通过流体、温度、压力条件选择密封垫片时, 可以通过本公司的“密封垫片”产品目录(No.YC08)及密封垫片选型网站“Seal Quick Searcher[®]”(密封快速搜索)进行选择³⁾。

2-3)选择时, 需要引起注意的流体

以下流体, 在选择时需要特别注意。

- ① 氧气、助燃性气体: 应该避免选择使用了可燃性材料的密封垫片。建议选择PTFE填料的缠绕式密封垫片或PTFE类密封垫片、铜制包覆密封垫片、金属扁平密封垫片。
- ② 聚合性单体: 在苯乙烯单体、氯乙烯单体等的聚合性单体中使用压缩板、PTFE类密封垫片时可能会发生问题。建议选择附内外环的缠绕式密封垫片或金属密封垫片。
- ③ 含泥浆的流体: 使用软质密封垫片时可能会因侵蚀而导致破损或泄漏。建议选择附内外环的缠绕式密封垫片或金属密封垫片。
- ④ 传热油: 使用压缩板时, 可能会因橡胶粘合剂老化而发生泄漏。此外, 因其渗透性较强, 故长期使用无石棉填料的缠绕式密封垫片可能会发生泄漏。建议选择膨胀石墨的板材密封垫片或膨胀石墨填料的缠绕式密封垫片。
- ⑤ 放射性流体: PTFE的抗辐射能力较弱, 不建议使用。膨胀石墨具有 1.0×10^6 Gy的抗辐射能力。建议确认辐射剂量后再行选择。

2-4)厚度选择

板材密封垫片的垫片厚度和垫片特性之间的关系见Table6所示。垫片厚度越厚, 压缩量就越大, 就越能吸收法兰的变形和起伏。相对的, 垫片厚度越薄, 渗透泄漏就越小, 密封性就越高, 而且因其蠕变松弛较小, 故可保持长期的稳定性。在压缩断裂特性方面, 厚度较薄的垫片对外力的抵抗强度更高。综上所述, 基本上我们推荐使用厚度较薄的密封垫片。但是, 若为法兰面起伏或变形较大的大口径法兰、或因长期使用而致使法兰面变得粗糙的法兰, 则出于吸收变形的需要, 建议使用厚度较厚的密封垫片。

Table6 垫片厚度及特性(板材密封垫片)

特性	垫片厚度	
	薄	厚
压缩量	大	小
密封性	高	低
蠕变松弛	大	小
压缩断裂面压	高	低

3. 因选择错误造成的问题事例及其对策

过去曾经介绍过因流体的不适合而引发的问题事例⁴⁾。下面将介绍除此以外的因选择错误而造成的问题事例。

3-1) 压缩板的热老化

压缩板的构成材料中含有橡胶粘合剂。因此,当在超过100℃的温度条件下时,橡胶粘合剂会出现硬化,从而导致垫片整体出现硬化。在此状态下,若受到了追加紧固或配管应力等外力作用,则可能会出现如Figure5所示的开裂问题。为了安全起见,如需进行追加紧固,则压缩板一般需在100℃以下使用。此外,如在100℃以上的条件下使用,则建议选择不含橡胶粘合剂的高性能板材密封垫片No.GF300等垫片。



Figure5 压缩板的硬化开裂

另一方面,在机器用途方面也有如下的使用例子。即将其厚度减薄,使其不易发生应力松弛,并在初始紧固面压30MPa以上实施管理,以便控制泄漏和减轻老化问题⁴⁾。在100℃以上的环境中使用时,建议遵守以下事项,以便可以不用追加紧固。

- ① 将垫片厚度控制在1.5mm以下。
- ② 涂覆密封膏。
- ③ 使紧固面压在30MPa以上。
- ④ 用于不易负荷配管应力的位置或容易更换的位置。
- ⑤ 建议使用垫片外径尺寸为螺栓内切尺寸的密封垫圈,以便提高密封垫片紧固面压。

3-2) 氟树脂类板材密封垫片的变形

氟树脂类的密封垫片,即使是在常温下也较容易发生蠕变松弛,尤其是使用氟树脂单体的密封垫片时,需要注意由蠕变松弛所导致的变形。因此,在使用氟树脂单体的

密封垫片时,原则上建议使用榫槽面的法兰。

此外,氟树脂的蠕变松弛在高温条件下会更加活跃,会变得容易发生如Figure6所示的因软化而导致的变形。因此,如在温度超过100℃左右的高温条件下使用,请建议选择添加了填料而减少了氟树脂的量的密封垫片,以此来减轻蠕变松弛的程度。



Figure6 氟树脂板材密封垫片的变形

3-3) 缠绕式密封垫片的变形

缠绕式密封垫片的填料为膨胀石墨及PTFE时,当使用附外环的缠绕式密封垫片时,因填料的滑动可能会导致如Figure7所示的内径侧出现压曲变形的情况,从而导致密封性下降。因此,当填料为膨胀石墨及PTFE时,建议选择附内外环的缠绕式密封垫片。

此外,当流体为单体时,为抑制渗透、聚合,也建议选择附内外环的密封垫片。

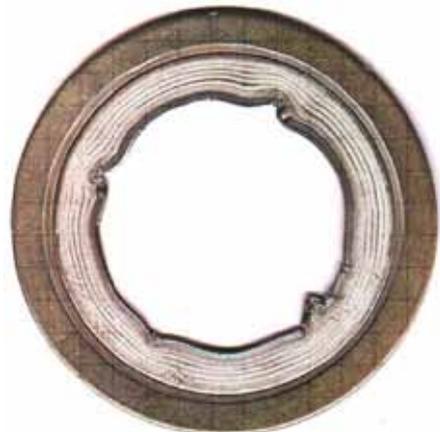


Figure7 缠绕式密封垫片的变形

3-4)因尺寸设定错误导致的问题

一般而言,需要进行适合法兰尺寸的密封垫片的尺寸设定,若使用了不合法兰尺寸的密封垫片,则可能会出现泄漏问题。比如,当使用的密封垫片的尺寸比凸面法兰的适用尺寸小时,密封垫片将无法正确居中,从而出现如图8所示的偏芯状态,此时就会发生密封垫片的局部接触宽度狭窄的问题。而此问题可能会导致接触宽度狭窄位置无法承受内压,最终出现向外径侧挤压从而变形或断裂的情况。此外,偏芯也可能导致密封垫片本身嵌入配管内径之中,从而出现密封垫片破损导致泄漏的问题。



Figure8 因密封垫片偏芯导致的变形

3-5)因腐蚀引发的问题

密封垫片引起的腐蚀,首先有“间隙腐蚀”。这种腐蚀是因流体渗入密封垫片和法兰间的间隙或渗入密封垫片本身,因流体中的氯离子等发生作用而发生的腐蚀。尤其是当为氯离子较多的海水时,使用不锈钢法兰时多有发生。法兰和密封垫片的接触面的内径侧的紧固面压较低,容易出现微小的间隙。当含有氯离子的流体渗入不锈钢法兰和密封垫片间的间隙中或渗入密封垫片内部后,不锈钢将因钝化膜的形成反应导致形成氧浓差电池,而这将造成pH下降和氯离子浓度上升。这将导致法兰金属的快速溶解,也就是发生间隙腐蚀⁵⁾。为了防止此类间隙腐

蚀,行之有效的手段是使用低氯的密封垫片或涂覆防腐蚀膏(密封膏)以避免出现间隙。此外,在紧固方面还有密封垫片的高压负荷、法兰变形的补偿、法兰接合面的平滑处理等应对方法。

除此以外,还有发生于不同金属法兰之间的接合部的“电腐蚀”。当离子化倾向不同的金属接触时,在浸泡在电解液中时两种金属之间就会产生电位差,形成原电池,离子化倾向较低的金属就会发生腐蚀。当在不同金属之间的法兰接合部使用金属等容易导电的密封垫片时,可能会形成电池,从而发生法兰腐蚀的现象。为了防止这种现象的发生,需要对法兰接头作绝缘处理。氟树脂包覆密封垫片等的氟树脂类的密封垫片都是绝缘性较高的密封垫片。除密封垫片外,为了螺栓部位的绝缘,还建议使用绝缘螺栓。

4. 结语

本文对选择密封垫片时的思路、选择方法、因选择失误所造成的问题示例及其对策进行了说明。对于此处未能详细介绍的密封垫片选型,请使用本公司的“密封垫片”产品目录(No.YC08)及密封垫片选型网站“Seal Quick Searcher[®]”(密封快速搜索)³⁾。如有上述未有记载的选型条件,则请咨询本公司。掌握正确的产品选型的思路和步骤,作出正确的选择,就能防止因密封垫片所引起的泄漏问题。希望本报能给各位提供一些参考。

5. 参考文献

- 1)池田 隆治: 华尔卡技术志. No.31, 2-7(2016)
- 2)华尔卡手册. 92(2011)
- 3)江西 俊彦: 华尔卡技术志. No.32, 22-25(2017)
- 4)江西 俊彦: 华尔卡技术志. No.33, 2-3(2017)
- 5)西田 隆仁: 现代密封垫片概论. 87(2015)



松下 明日香
营业本部
技术解决方案组