维普资讯 http://www.cqvip.com

软填料密封常用材料及其选择

胡 黄 卿
(湖南冶金职业技术学院 机械系,湖南 株州 412000)

摘 要:介绍了软填料密封常用材料的种类、特点、性能及使用范围,并对软材料常用材料进行了综合比较,提出了软填料密封选择的方法。

关键词:软填料密封;材料;选择
中图分类号:TH14 **文献标识码**:A **文章编号**:1007-4414(2004)01-0034-04

软填料密封又叫压盖密封,俗称盘根,是一种填塞环缝的压紧式密封,是世界上使用最早的一种密封装置。软填料密封通常用作旋转或往复运动的零件与轴封箱之间环形空间的密封,如离心泵、转子泵、往复泵、搅拌机、阀杆、管线膨胀节、换热器浮头、带搅拌反应釜等设备的轴封和阀杆的密封,它能适应往复运动、旋转运动和螺旋转运动元件的密封。近些年来随着科学技术的进步,新材料不断涌现,新型的密封填料相近问世,正取代着传统的以石棉为主的填料,大大拓宽了软填料密封的工况范围,研究常用软填料材料的特性及其选择对密封的选材是非常有益的,对泄漏的防止,实现厂、矿的绿色环境具有不可低估的作用。

1 软填料密封的常用材料

目前软填料密封主要有纤维质材料和非纤维质材料两大类。

1.1 纤维质材料

软填料密封常用的材料按材质可分为天然纤维、矿物纤维、合成纤维、陶瓷和金属纤维四大类。

(1) 天然纤维 天然纤维有棉、麻、毛等。麻的纤维粗,摩擦阻力大,但在水中纤维强度增加,柔软性更好,一般用于清水、工业水和海水的密封,用于工作温度>90℃,其密封面线速度可达10m/s的油、水和非腐蚀性的化学介质下。棉纤维比麻纤维软,但棉与麻相反,在水中会变硬且膨胀,因此摩擦阻力较大,一般用于食品、果汁、浆液等洁净介质的密封。毛纤维光滑、柔软、摩擦阻力小、耐酸,可用于低参数的酸性介质的密封。而天然纤维的物理、化学性能较差,使用范围有限,寿命短,故目前很少采用[1]。

(2) 矿物纤维 矿物纤维主要有石棉纤维,分温石棉和青石棉,青石棉国际公约禁用,通常使用均为温石棉。由于石棉纤维具有柔软性好,耐热性优异、强度高、耐磨损和耐酸、碱及多种化学品等一系列优点,很适合作密封填料,其缺点是编结后有渗透泄漏,一般在编织石棉填料中浸渍一定量润滑油和石墨粉、铝粉、滑石粉等,用以降低摩擦系数,填塞纤维空隙,使填料更加致密,防止渗漏,并能保持良好的润滑性;但在500℃时石棉会成为粉状,密封性下降。

石棉一般适用于介质为蒸汽、空气、工业用水和重油的转轴、往复杆或阀杆的密封。但由于石棉已被公认为是一种对人体有害的致癌物质,会危害人体健康,因此,一些发达国家已明令禁止生产使用石棉制品,包括石棉的密封材料,我国目前仍然在使用石棉填料。

表1是常用矿物纤维填料的特点及应用。

表1 常用矿物纤维填料的特点及应用

材粒及结构	最高压力/bar	最高工作温度/℃	主要用途	流体
石棉绳	70~140	340~510	往复和旋转运动(750r/min)	通用
石棉浸渍	210	120~260	往复和旋转运动	耐油填料
石棉-编织套	—	120	旋转	稀酸、碱、氨
石棉-钢丝加固	50~110	260	1250r/min	蒸汽、热水、水溶液、油等
石棉-巴代合金	50	260	往复和旋转运动	蒸汽
石棉-钢丝编织	50	260	旋转 2000r/min	蒸汽、水、酸、碱
石棉布-橡胶芯	70	315	往复	高压、蒸汽
石棉-钢丝-橡胶	50~70	260~315	往复	蒸汽、空气、煤气、水

(3) 合成纤维 用于制造填料的合成纤维主要有:聚四氟乙烯(PTFE)、碳纤维、酚醛纤维、芳纶等,这些材料由于其化学性能稳定、强度高、耐磨、适应温度范围广、摩擦系数小,工作寿命长,解决了使用石棉材料所不能解决的一些问题。

PTFE是由美国人R. J. Plumkett于1938年发明的,具有非常高的化学稳定性,对于强酸、强碱、强氧化剂有很高的抗蚀性,是已知高分子衬料中耐溶剂和耐腐蚀性最好的,至今还未发现在300℃以下有溶剂可使之溶解,仅在熔融碱金属、碱金属的氨水中溶解;PTFE的耐热性较好,在360℃下10h不发生明显的变质和分解,在-190~+250℃内能保持机械强

收稿日期:2003-02-19
作者简介:胡黄卿(1959-),女,副教授,现从事机械设计的教学科研工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

度。PTFE的耐摩性能也十分优异，其手感滑腻、硬度低、不会划伤对偶件，与金属对摩时摩擦系数低。不同工作条件下，其摩擦系数一般在0.04～0.35，是高分子材料中摩擦系数最低的。PTFE的不足之处主要是机械强度较低，且易蠕变；导热性差，热膨胀系数低。对于PTEF的不足之处可通过添加适当的填充剂，如玻璃纤维、石墨、青铜粉、二硫化钼等得到改善，一般用于低压、中温、强酸、强碱以及不允许污染的介质（如卤素、药品等）的密封[2]。

碳纤维是用聚丙烯腈纤维氧化和碳化而成的，根据碳化程度不同，可得到碳素纤维、耐焰碳纤维、石墨纤维三种产品。碳素纤维或加入PTEF纤维编织填料经聚氟乙烯乳液浸渍后，可在酸、碱溶剂中应用，特别是在尿素系统的高压铵泵、液氨泵及硫酸厂的酸泵中成功应用，表明其是一种很有发展前途的适用于高温、高压、高速、强腐蚀场合的填料。目前我国市售的碳纤填料95%以上都是以耐焰碳纤维为主体并经多次浸渍四氟乙烯乳液和特种润滑剂编织而成，其使用寿命比一般石棉填料高5～10倍，密度是石棉填料的3/4，密封性能优于石棉填料，随着工艺的成熟和完善及成本的降低，有可能逐渐取代石棉填料[3]。

酚醛纤维也是近些年发展起来的新型耐燃有机纤维，酚醛纤维表面浸渍性能好，故酚醛纤维编织成填料，经多次浸渍聚四氟乙烯乳液和表面处理之后，摩擦系数相当低（0.148～0.156），自润滑性能较好，加上酚醛纤维有一定的耐腐蚀性能（耐溶剂性能突出），可在一般浓度的酸、强碱及各种溶剂中使用，酚醛纤维的强度比四氟纤维低，故不适合在高压动态密封中使用，一般使用压力为4、9MPa，最高使用温度可超过180℃，长期使用温度150℃以下，而且酚醛纤维价格远低于PTEF和碳纤维，在工况不十分恶劣的情况下，其填充的使用效果大大超过石棉类填料。国内1982年开始着手研究酚醛纤维的性能、制造工艺、和现场运用，目前被认为是一种有发展前途并能取代石棉密封材料[1]。

芳纶纤维是聚芳酰胺塑料制成的纤维，由美国杜邦公司首先开发成功并于1972年首次以"凯夫拉"为商品名称。这种纤维突出的特点是抗张力强度非常高，模量高、质地柔软，富有弹性；耐磨性极佳，耐热性也是在合成纤维中最好的，热分解温度为430℃，有较好的化学稳定性，除强酸、碱不适用外，其他液体均可适用。

以芳纶纤维为主体材料与其他材料进行复合加工而制成的填料，用于油田、化工等行业的高压、高速泵，对于固体混合物的密封，更显示出其优异技术性能。芳纶填料虽然价格高，但其使用寿命是一般填料的420倍，且泄漏量比一般填料小得多，故可以减少更换密封，节约流体原流和能源，其节约的价值远高于其成本差价[2]。

（4）陶瓷和金属纤维　陶瓷和金属纤维是一种耐高温纤维，主要有氮化硅、碳化硅、氮化硼纤维等等，耐温达1200℃，是制造耐高温新型编织填料的骨架材料。其本身质脆易断。曲挠性很差，须与耐高温的金属纤维混合编织。

金属类纤维有蒙乃尔合金、不锈钢合金、铜丝、铅丝以及铝、锡、铜箔等。单独采用金属纤维作填料的并不多，大都与石棉纤维、合成纤维或陶瓷纤维混合编织，有时在编织填料过程中还夹入一些铝、锡、铅的粉末或窄带。金属填料中使用最多的金属带缠绕填料特点是导热性良好、耐磨损、摩擦系数小、摩擦性能稳定，机械强度大，耐压力和耐压力波动。同时，填料是由1根金属带缠绕成的，不存在渗漏问题，但容易发生界面泄漏。这种填料对高浊、高速、高压机械的轴封是非常有效的，表2是金属箔填料的特点及应用。

表2　金属箔填料的特点及应用

基本类型	结构	最高工作温度/℃	运动和速度	应用
全金属	全铝箔	280	5m/s	高温应用
箔	编织物的铜丝	340	5m/s	用于高温蒸汽密封
	铝，采用石棉芯	280	5m/s	高压、高温蒸汽密封
	铝，软芯	（一）	旋转与往复	油、有机化学药品和大部分水溶液（非碱性）
	铜，采用石棉芯	340	旋转与往复	有机化学药品无硫油、盐水、高压蒸汽的密封
	铅，采用石棉芯	230	旋转，7.5m/s	高速密封。
	铅	230	旋转或往复（二）	水、盐溶液，稀酸等
	巴氏合金箔，采用石棉芯	200	旋转或往复（二）	轻度腐蚀性酸和碱溶液
空心金属	巴氏合金采用棉芯，亚麻芯或大麻芯	120	旋转或往复（二）	水溶液
	巴氏合金，石墨润滑	240	旋转或往复（二）	空气、水、蒸汽、油等
	铜，润滑石棉	340	旋转或往复（二）	空气、水、蒸汽、油等

（一）：取决丁芯材；（二）：为低摩擦填料

1.2　非纤维质材料

非纤维质材料中石墨应用较广。石墨纤维填料的优点是能适应400℃以上工作温度，同时有PTEF的化学抗力，摩擦系数低，并具有良好的散热性能，石墨应用最多的是膨胀石墨。膨胀石墨又称柔性石墨，1963年美国联合碳化物公司首先研制成功，并在原子能阀门上进行了成功的实验，他是把天然鳞片石墨中的杂质去除，再经强氧化混合酸处理后成为氧化石墨。膨胀石墨的特点有：①优异的耐热性和耐寒性。膨胀石墨在非氧化性气体中从－270℃的超低温至3650℃的高温，其物理性质几乎没有什么变化，在空气中也可以使用到600℃左右；在超低温的液氧（－183℃）、液氮（－196℃）中，膨胀石墨性能稳定，不发脆；②有优异的耐化学腐蚀性，膨胀石墨除在硝酸、浓硫酸、王水、高温重铬酸盐、高猛酸盐、氯化铁等强氧化性介质中被腐蚀外，其他酸、碱溶剂中几乎没有腐蚀；③回弹率高。当预紧比压在30～60MPa，回弹率达30%～70%，当轴或轴套因制造、安装等存在少数偏心而出现径向

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

维普资讯 http://www.cqvip.com

移动时具有足够的浮动性能，即使石墨出现裂纹，也能很好地密合，从而保证贴合紧密，防止泄漏，密封性能明显增加；故适于耐冲击的场合；④有良好的自润性，膨胀石墨同天然石墨一样，层间在外力作用下，容易产生滑动，因而具有润滑性，有较好的减磨性，摩擦系数小。表3是常用合成纤维和非纤维质填料的应用特点。

表3 部分常用合成纤维和非纤维质填料的应用特点[4]

种类	结构	最大性能参数(一) 摩擦速度 m/s	温度 ℃	压力 bar	应用	PH值
棉	编绳的或编织的，采用油脂、石墨、云母润滑剂	7.5	90	—	用于密封水	6—9
麻	编绳的或编织的采用油脂或云母润滑剂	—	—	—	用于密封水	5—9
亚麻	编绳的或编织的，采用油脂石墨或润滑剂	—	70至+120	—	用于旋转密封或泵以及低速往复密封船的尾部密封装置的密封。	—
织物	利用浸渍聚四氟乙烯的棉、尼龙、人造丝	—	—	—	用于给水、溶剂的石、油、油脂、食品等密封。	—
石棉（干）	编绳或编织的白石棉	—	500	—	高压釜、锅炉断流阀	—
石棉(润滑的)	圆形或方形编绳的或者编织的白石棉，采用油脂、云母、矿物油润滑剂	—	−40至+300	—	用于蒸汽管路、蒸发器、金属箱罐、液体容器等	5—12
石棉(金属丝增强的)	用铜丝或因康镍合金毕增强，经编绳或编织物而成的浸以石墨或云母润滑剂	—	−50至+750	250至650	用于密封水、空气、蒸气、溶剂、烃类	4—1
石棉(浸渍聚四氟乙烯)	经编绳或编织而成的石棉绳，涂有聚四氟乙烯分散剂	15	280	100	用于密封酸溶剂、油烃类等(菲苛性溶液)	0—8
石棉(玻璃纤维)	编绳和或编织和绳和玻璃纤维含有添加润滑剂	5	200	250至300	用于腐蚀性工作条件(苛性溶液除外，具有与青石棉相同的化学抗力)	0—11
青石棉	编织的石棉纤维，添加润滑剂	15	280	60	对健康有害，限制生产。	0—12
石棉(含铅)	用石棉纤维和铅粒制作而成，含添加润滑剂	—	—	—		

2 软填料密封材料的选择

2.1 由摩擦副的PV值选择密封材料

密封端面因运动不断进行摩擦而产生的摩擦热 Q：

$$Q = f \cdot P \cdot V / J \qquad (1)$$

式中：F 为摩擦材料的摩擦系数；P 为密封摩擦副的比压；V 为密封摩擦副的平均线速度；J 为热功当量。

由式(1)可知，摩擦副产生的摩擦热与 PV 值成正比，而摩擦热的大小又直接影响摩擦副的温度分布，当密封摩擦温度分布的极大值 T_{max} 大于摩擦副间液膜的沸点时 $T_{沸}$，即 $T_{max} \geqslant T_{沸}$ 那么摩擦副间的液膜便会蒸发、沸腾，并同时产生振动和噪声，最后导致密封摩擦副的干摩擦，这是密封摩擦副所不允许的。可根据摩擦运动副的 PV 值来选择密封填料。

2.2 由介质的性质、工作温度、工作压力、运动速度以及材料的性能选择密封材料

软填料密封主要是根据介质的性质、工作温度、和工作压力、运动速度以及填料的选择，其中尤其以介质的腐蚀性、压力、运动速度和使用温度最为重要。要了解各种密封材料的耐化学品性能，可根据密封介质的PH值选择合适的密封材料；由表4可根据不同的密封介质选择软填料的密封润滑剂：表5是旋转与往复运动用无石棉填料的适用范围。

表4 填料用润滑剂种类及适用范围[4]

润滑剂名称	特点与适用范围
动物脂肪	用于冷水，特别适合于纤维填料，但分解成脂肪酸腐蚀轴。
蓖麻油	适于水、酸盐类介质，但对石油系矿物能溶解。
棕木吕蜡	不溶入石油系矿物油，与蓖麻油混合后可适用于多种介质。
甘油	不溶入石油系矿物油，特别适用于石油产品，尤其是汽油用填料，另外，对蒸汽用橡胶填料也适用
矿物油或石蜡	最适合于作汽缸油密封的编结填料
石墨	化学性能稳定，润滑性能良好，是最常用的固体润滑剂，几乎每种填料都有使用，但应特别注意密封面的电化学腐蚀性。
二硫化钼	以固体粉末与油脂混合使用，使用于高PV值，且为良导体，不产生电化学腐蚀，但分解温度在300℃左右，价格比石油略高。
云母和滑石粉	耐高温，有良好的润滑性能，用在不允许石墨染色的填料，但摩擦系数比石墨大。
聚四氟乙烯	既是填充剂，又是润滑剂，其低温性能良好，可在−200℃～+250℃范围内使用，润滑性能良好，但不及石墨，有绝缘性，不产生电化学腐蚀，耐各种化学品。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表5 旋转与往复运动用无石棉填料的适用范围

材料种类	可能使用的范围					用途
	温度范围 t/℃	压力界限 p/MPa	速度界限V (m/s)	PV (MPa m/s)	PH范围	
芳纶纤维	−200～+260	4.930	20	19.61	2～13	浆液用
PTFE纤维	−160～+260	0.9806	10	6.374	0～14	腐蚀性流体用
填充石墨PTFE纤维	−200～+260	1.569	16	12.258	1～14	化学品用高转速轴用
碳纤维	−50～+200	19.61	15	98.06	4～11	水、油、高速轴用
金属箔(成型)	−200～+300	1.569	20	19.61	5～9	高压、高速旋转轴
用膨胀石墨(成型)	−260～+1200 水系 −260～+350 油系	2.451	25	19.61	1～14	高压、高速旋转轴用

3 结束语

(1) 软填料密封适用于各种旋转运动、往复运动、螺旋运动及静止元件的密封。

(2) 软填料材料是影响软填料密封材料的主要因素，由于品种繁多，且新品种不断涌现，其工况范围各不相同，因此，在选择和使用中必须给予足够重视。

(3) 选择填料时应全面考虑被密封介质的性质、温度、压力、运动速度及填料的性质、价格等因素，且尽量选用非石棉填料。

参考文献：

[1] 胡国桢．化工密封技术(第一版)[M]．北京：化学工业出版社，1999.

[2] 李同生．填充聚氟乙烯密封材料的研究和应用[J]．润滑与密封，1998(1)：12－14.

[3] 张向钊．新型密封填料[J]．水泵技术，1997(5)：11－13.

[4] [英]R. H. 沃林．密封件与密封手册(第一版)[M]．北京：国防工业出版社，1990.

(上接第28页)

(3) 运行初期和中期的故障 调试后进入正常投入生产阶段的故障特征是，少数密封件由于装配质量和材料质量问题短期内损坏而漏油，工作油液由于反复冲刷管道、液压件流道，原先粘附在管壁、孔壁上的毛刺、粘沙、杂质脱落，使油液清洁度降低，杂质使阻尼孔和滤油器容易堵塞，导致某些元件工作不稳定。一般到运行中期，系统元件/组件处于最佳运行工作状态，故障率较低。

(4) 运行到后期的故障 调速器运行到一定时期后，各类元件/组件因工作频率和负载条件的差异，各易损件先后磨损超差，这个阶段的故障特征是内外泄漏严重、油泵启动频繁、效率显著降低，故障率逐渐增加。这时应注意全面检查，更换有关失效件，不得有凑合、对付思想，应科学、严格地下决定投资予以全面修复，否则，可能给运行人员带来根多麻领，甚至严重影响对机组的正常调节与控制。

3.2 偶发性、事故性故障

这类故障在时间上反映出偶然突变，故障区域及产生原因较为明显，其中有非人为因素和人为因素，如钢丝绳断裂、反馈杆压弯、弹簧偶然断裂、零部件明显损坏、异物落入管路系统、正巧堵塞、线圈烧断、密封件断裂等。

4 调速器的维护管理应注意的问题

(1) 油液性能、清洁度的管理调速器的最大特征是使用油液工作，目前规定采用46＃汽轮机油，油液随温度变化其粘度变化大。粘度过低，元件滑动部位的磨损增加，泄漏加大；粘度过高，控制阀动作不良，管路损失增加。

而油液清洁度的管理更为困难，元件滑动部位的磨损、老化产生的杂质，外部杂质与水分的混入，油箱内涂层的脱落，管道的锈蚀粘沙等都会影响油液的清洁度。

(2) 泄漏 由于调速器的速动性要求较高，一定程度的液压冲击难于避免，它是泄漏的一个重要原因，必须认真加以解决。

(3) 调速器的可靠性与寿命 调速器的可靠性与寿命跟使用情况、周围环境等有着直接关系。在维护管理上应改善其工作环境与使用条件，使之延长寿命。

(4) 初期故障 在调速器的故障中，初期故障的比例是较高的，初期故障大多由设计、制作安装上的初步误差而引起，这些初期误障，发现需要花费功夫，解决也需要时间，因此，初期故障期间要特别充分维护管理是必要的。

(5) 偶发故障 调速器的偶发故障是偶然发生，很难预测。为防止偶发故障，认真的定期检查、掌握某阶段维护管理的资料、掌握倾向是重要的。

(6) 运行维护人员的知识 运行维护人员知识的掌握程度直接影响维护管理，近年来，运行维护人员的调速系统知识、技术水平有了很大提高，然而，仍很缺乏有知识、技术的运行维护人员。从我国水电厂的实际情况看，现场运行维护人员大多对调速系统仍处于“似懂非懂”的状态，这也是维护管理的薄弱环节所在。

5 调速系统设计要考虑维护管理

为使运行维护人员进行适当方便的维护管理，在进行调速系统设计时，要考虑便于维护管理的实施，尽可能做到：①系统的简单化；②标准化程度高、互换性好、容易修复；③集成化、组合化；④调整、检查容易；⑤适当采用故障诊断、容错/纠错技术。

6 结 语

本文就水轮机调速系统(只涉及机械液压部分)可靠性问题从故障特征、维护管理、系统设计等方面来加以探讨，目的是抛砖引玉。调速系统可靠性由于受各种复杂、未知因素的影响与制约，本文不免挂一漏万，今后应努力使故障诊断与防错/纠错技术更完善、故障定位更准确、故障修复更易行，这样可以很大程度地提高调速系统的可靠性。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载