

PEEK 材质在压缩机上的推广应用

李玉军

扬州石化有限责任公司检修车间 江苏 扬州 225000

摘要: 丙烯往复压缩机气阀运行损坏率高, 多次更换, 富气离心式压缩机干气密封气压差持续下降, 影响生产工艺的稳定运行, 达不到长周期高效运行, 对丙烯压缩机气阀阀片和富气压缩机轴封材质更换为 PEEK 材质后, 两机组运行平稳。

关键词: 聚醚醚酮; 阀片; 轴封; 噪音; 差压; 密封

1 前言

聚醚醚酮 (Polyetheretherketone) 是一种高性能的特种工程塑料, 为半结晶结构线性芳香族聚合物, 物料代号 PEEK, 具有优异的化学惰性和优异的综合性能, 可制造加工成各种机械零部件, 在无润滑、潮湿、腐蚀等苛刻环境下使用。PEEK 材质加工成的产品具有低噪音、密封性好、能耗小、耐高温高压和耐腐蚀性等特性, 在压缩机气阀阀片、轴封密封件上也得到充分应用, 扬州石化共有往复压缩机七台, 富气离心式压缩机一台, 在生产运行过程中出现干气压缩机气阀故障更换, 富气压缩机轴封使用泄漏不能保障机组长期运行, 经对压缩机气阀故障更换和富气压缩机轴封磨损泄漏不能稳压原因分析, 从运行工况和结构出发, 最后从气阀与轴封使用材质上分析, 现在的金属钢与铝不能满足于运行要求, PEEK 的材质特性制作气阀阀片与轴封齿能满足机组运行的工况要求, 从 2017 年起在干

气压缩机上先使用 PEEK 阀片气阀, 跟踪反馈效果良好, 又于 2018 年在富气压缩机上使用 PEEK 材质轴封, 运行效果明显。

2 PEEK 材质阀片气阀的应用

储运中心丙烯压缩机(4LW-12/22)为北京京城压缩机生产, 吸排气阀均使用适用于无油润滑的钢制网状阀片阀, 其阀片要承受活塞杆来回运动的往复冲击, 阀片开启和关闭依次工作吸入排出丙烯气, 从而达到把丙烯气从吸入口的低压气压缩至二段后排出高压丙烯气, 形成一个工艺流程, 送入储罐。从 2011 年至 2017 年期间, 气阀运行时产生噪声, 拆检时发现阀体有垢形成, 阀片变形、断裂、老化导致阀片卡涩漏气, 气阀温度升高, 而阀片出现断裂、变形现象居多见图 1 和图 2 所示, 更换气阀频率较高, 最短周期不足三个月, 最长周期不超一年, 其中二段气阀损坏更换 13 次远高于一段更换的 6 次数见表 1,

表 1 储运中心丙烯压缩机气阀类故障

压缩机	检修日期	更换原因	更换数量	备注
Q-01	2011.07.15	阀片卡涩漏气	一吸两件	钢
	2012.02.14	阀片变形	一排两件	钢
	2012.05.30	阀片断裂	二吸排四件	钢
	2013.09.29	漏气	二吸一件	钢
	2014.05.13	阀片声音大, 撞击明显	二排两件一吸一件	钢
	2014.12.10	漏气阀温度高	二吸二排四件	钢
	2015.07.01	声音大, 温度高	二段全换四件	钢
	2016.03.30	阀老化漏气	一吸气阀四件	钢
	2016.06.16	漏气阀温度高	二吸排气阀四件	钢
	2016.10.28	阀片变形	二段全换四件	钢
	2017.01.21	阀上有垢, 阀片老化	二排一件	钢
	2017.03.10	声音大, 温度高	二排一件	钢
	2017.06.19	阀片断裂	二吸二排四件	PEEK
	2018.11.13	阀上有垢, 阀片老化	一排两件	钢
	2020.08.10	计划检修	一吸一排四件 二吸二排四件	一段钢阀 二段 PEEK
Q-02	2011.07.20	计划周期检修	一吸一排八件 二吸二排四件	钢
	2011.08.31	漏气	一、二吸排十二件	钢

2012. 05. 16	阀片声音大, 撞击明显	二吸二排两件	钢
2012. 10. 25	阀片变形	一排一件	钢
2013. 09. 17	声音大, 温度高	二吸二排四件	钢
2013. 12. 18	阀片断裂	二吸二排四件	钢
2014. 02. 26	阀上有垢, 阀片老化	一吸一排四件	钢
2014. 11. 07	阀片卡涩漏气	二吸二排四件	钢
2015. 07. 15	漏气阀温度高	二排两件	钢
2016. 05. 16	阀片声音大, 撞击明显	一吸一排六件 二吸二排四件	钢
2017. 10. 23	阀片变形声音大, 温度高	二吸二排四件	钢
2017. 10. 31	声音大, 温度高	二吸二排四件	PEEK
2019. 09. 26	气阀温高度, 声音异常	二排两件	PEEK
2020. 09. 28	计划检修	一吸一排十二件二吸两件	一段钢阀 二段 PEEK



图1 气阀阀片变形 图2 气阀阀片断裂

2.1 气阀故障原因分析

丙烯压缩机的主要做功是依靠活塞往复运动带动吸排气阀工作, 气阀主要的部件就是阀片, 阀片工作的好坏直接影响压缩机的性能效率。气阀运行时易受介质组成与压力变化的影响。聚合装置过来的丙烯气正常干净无杂质, 生产波动时会带来一些聚丙烯颗粒, 还有就是压力发生变化, 会影响压缩机的运行, 使用钢制网状阀片, 虽有结构简单, 阻力小, 工艺性好, 但是也存在以下几方面的缺点:

1. 抗疲劳性不够, 长时使用易出现老化, 密封性差, 关闭不严漏气, 导致气阀温度高;
2. 耐压性不足, 高压差工作时阀片易变形不回位, 虽对气体阻力小, 但在介质气量有波动温度变化适应性不足;
3. 钢性材质强度高, 韧性不够, 阀片易结垢有异物, 极易卡涩, 轻则关闭不到位, 做功效率差能耗增加, 严重时直接引起阀片断裂, 存在设备安全隐患;
4. 设计使用寿命短连续运行不超 4000h, 运行是因阀座也是钢制易产生噪声。

2.2 丙烯压缩机使用 PEEK 气阀

PEEK 作为一种新型聚合材料, 在机械制造中有很多地方得到利用, 做为压缩机气阀阀片与金属阀片相比有很大的优势, 韧性好, 不易断裂, 对阀座密封面光洁度要求比金属阀片要低易加工; 密封性能好, 漏气减少, 阀片的跑合性能好。流通特性优于同类金属阀片, 阀隙间气流摩擦而引起的能量损耗降低, 气阀能耗降低可达 5%—10%, 耐固体颗粒和液滴的冲击; 安全性高: 阀片韧性好, 不易断裂, 即使阀片断裂后掉入气缸也不会造成气缸的损坏或产生火花, 运转时噪音低, 可以吸收部分撞击能量降低噪音, 效率高: PEEK 阀片在工作温度下, 密封面具有自我调节功能, 可在 24 小时内自动完成与接触面形状的微调, 使密封效果最佳, 最短时间内压缩机实现高压压缩效率; PEEK 气阀适合较干净的气体使用, 密度小、弹性模量小、冲击力减小、由此产生的疲劳损伤随之降低, 阀的寿命大大延长, 正常情况下其寿命大大优于金属阀片; 自润滑性好, 可用于润滑油和无油润滑的工况。

4LW 压缩机 Q-1、Q-2 工艺介质为聚合反应后的丙烯气, 对气阀要求能适应压力变化, 阀片要有韧性, 安全可靠等, 用 PEEK 制作气阀阀片可以满足其运行时要求, 根据检修更换数据来看, 二段气阀因工作压力高, 对气阀的要求更高, 从 2017 年 6 月起, 对二段吸排气阀上钢片气阀逐步更换 PEEK 气阀片, 压缩机一段气还使用钢制气阀片, Q-1 和 Q-2 机两台压缩机二段使用 PEEK 阀后, 至 2020 年 10 月, 2018 年全年没有更换过气阀见表 2, 2019 年只有一次二段排气阀更换, 使用时长均超过 8000h, 运行噪声明显变小, 阀体振动稳定。

表 2 2011—2020 年气阀更换次数

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
一段	3	1	0	1	0	1	0	1	0	1 ^②
二段	2	2	3	3	2	2	5 ^①	0	1	1 ^②

① 2017 年二段前 3 次更换钢阀, 后 2 次为 Q-1 六月和 Q-2 十月更换 PEEK 阀

② 本次根据中石化预防性维修策略进行周期更换

3. PEEK 材质轴封在离心式压缩机上的应用

催化分厂富气压缩机为沈鼓集团生产 2MCL-46 离心压缩机, 机组采用干气密封。其密封性能平稳取决于气密封前与机

体内轴封性能稳定,密封气用纯净的干气(精氮气)以少量(不大于 $2.5\text{nm}^3/\text{h}$)的进入机组内,达到防止富气向大气泄漏,与介质侧前置气有压差,前置气又称缓冲气与轴封处气压力相同,这样密封气压大于前置气就形成了密封但干气密封的工作环境要求密封腔内不能有杂质,机组内压缩富气依靠轴封来保证前置气压力稳定不波动,更不能泄漏进入到干气密封腔,密封腔内只能通过精氮气,这就需要两轴端气封不能受损泄漏导致干气污染不能正常工作,运行时轴封与干气密封的平稳通过其差压 PDIA1983 监控运行,正常运行在 350KPa 以上,出现波动时有一套备用氮气自动打开,其设定阈值不小于 180KPa,低于此值备用氮气打开维持运行,如不能解决差压降低原因,只有停机检查,以免运行状况恶化发生富气泄漏。如图 3

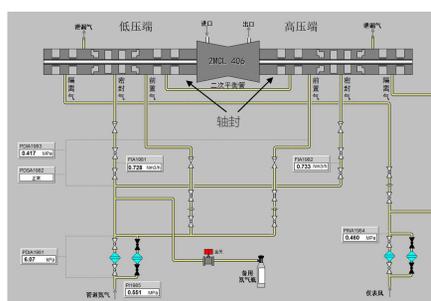


表 3 催化分厂富气压缩机主密封气与缓冲气月均压差 (KPa)

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1月		372	345	325	215	261	218	220	395	381	364
2月		376	345	326	330	295	221	226	397	381	362
3月		375	345	323	326	279	196	215	403	381	364
4月		362	347	322	331	262	194	212	399	379	365 ^②
5月		358	348 ^②	320	322	250 ^②	210	213	386	379	
6月		356	379 ^①	322	315	342 ^①	208	195	390	372	
7月		320	368	316	293	343	217	196	386	369	
8月		310	380	292 ^②	285	321	218	208	378	367	
9月		305	371	382 ^①	273	332	221	228	380	367	
10月	377 ^①	319	365	383	242	312	196	230 ^②	377	369	
11月	379	321	355	344	235	286	194	398 ^③	378	370	
12月	370	331	340	335	215	254	200	400	382	365	

- ① 本月运行周期开始,轴封环齿为铝质
- ② 当月进行机组进行检修
- ③ 轴封环铝质更换为 PEEK 材质后运行周期开始

3.1 原因分析

富气压缩机转子两端密封采用的是双端面干气密封,主密封气与前置气压差(PDIA1983)的变化是监测密封系统工作状态的方法之一。主密封气压力基本恒定(要求 0.5MPa 以上,不超过 0.7MPa),前置气压力会随着轴封的泄漏而有变化,当轴封泄漏量加大时前置气压力升高,密封气与前置气压差变小,压缩富气泄漏量大会进入到干气密封腔内,破坏干气密封。

图 3 富气压缩机组干气密封控制

自 2011 年投入生产后,干气密封系统运行平稳,随着催化装置加工量的提升与工艺反应的技改,产品富气组成,对机组运行的负荷超越越来越大,压缩机两端干气密封前的轴封工况开始变差,从 2014 年大修后干气密封系统运行不到一年主密封气与缓冲气压差 PDIA1983 出现缓慢下降,从开机时 380KPa 下降到 250KPa。2016 年大修时检查发现高压端轴封有磨损,对其进行了更换,开机运行后不到半年时间主密封气与缓冲气压差 PDIA1983 出现下降,从开机时 342KPa 下降到 180KPa,期间多次出现压差小于 180KPa,引发主密封气与缓冲气压差低报警,备用氮气瓶启动。为保证机组平稳运行装置生产正常,通过最后降启动备用氮气阈值为 150 KPa 保持运行,增加备用氮气瓶(从原接 6 瓶备 8 瓶增加至备 20 瓶),并做好差压保持不住应停机方案,设备运行存在不安全因素,见表 3 所示。

PDIA1983 差压变化降低排除氮气管网与工艺波动,主要是由于轴封发生泄漏造成,从 2014、2016 年大修检查发现两端轴封的密封梳齿有不同程度损坏、结垢和倒伏变形等,尤其是驱动端(高压端)轴封见图 4,密封间隙超标引起泄漏量增加。



图 4 2018 年检修高压端轴封



图5 2018年检修 高压端干气密封

经对比分析轴封发生泄漏主要是高压端，轴封梳齿片采用铝质材料虽然使用广泛，但存在以下几点不足：

1. 富气压缩机的介质中含有硫化物、凝液和杂质等，对轴封的铝质梳齿片有腐蚀作用磨损；

2. 轴封会有少量的允许泄漏量，正常是通过前置气冲洗掉进入机组，但铝质轴封内侧依然会承受机组高压气流的冲刷作用加速老化；

3. 因本压缩机系汽轮机驱动，开机升速过程长，而且正常运行中能过调转速控制机组负荷，加上工艺生产波动下，转子与轴封梳齿都会有非正常接触，轴封梳齿易产生倒伏、断齿等；

4. 压缩后富气凝液中的胶质杂质易粘在轴封梳齿，而铝质因表面磨损后会加快堆积见图4，直接影响到密封效果；

5. 铝质轴封齿长期使用与转子易发生偏接触，其韧性不够不能适应轴封间隙变大超标，轴封泄漏量增加压缩机富气渗入干气密封系统，主密封气与前置气压差变小，干气密封有凝液胶质堆积见图5。

3.2 富气压缩机使用 PEEK 材质轴封

PEEK 作为一种材料，还具有以下特点：耐磨损性高，塑料梳齿环密度高比铝质高，同体积重量大，在压缩机工作状态下，抗冲击力减少，由此产生的疲劳损伤降低，使用寿命延长；耐高压差，韧性好，在受到不正常工作状态，能够自身微调与轴的接触点，保持最佳状态；耐腐蚀性强，耐除氧气、氯气和浓硫酸以外的所有介质。富气压缩机工艺负荷加上富气组成的变化，对轴封的要求更高，而从2014年、2016年检修来看，高压端轴封的使用周期状况明显差于低压端，而且是高压端的轴封泄漏已直接影响到了机组正常生产运行，PEEK 的材质特性能满足富气压缩机轴封，又有往复式压缩机气阀的成功利用，低压端继续使用铝质轴封，高压端改为 PEEK 轴封。

2018年10月计划停工大修时，检查机组轴封泄漏情况，低压端轴封正常周期磨损不影响使用，还是高压端轴封磨损老化泄漏严重需更换，更换为 PEEK 材质轴封，至今运行已两年多，从表4中可以看出，差压 PDIA1983 一直很平稳，从新周期运行初期就可以看出 PEEK 做为轴封密封性能就要优于铝质，效果显著，从运行周期 398 KPa 到 2021年5月因装置技改停工检修，差压 365 KPa，下降 33 KPa，趋势平稳，2021年4月计划大修时检查两端轴封使用正常，高压端没有明显磨损变形可以继续使用，低压端虽有侵蚀也能正常使用，本次大修不只是清理保

养没有更换轴封，试运开机后压力正常。照此参数，压缩机组采用 PEEK 轴封运行安全可靠，有力保障装置机组长周期运行。

表4 富气压缩机三次检修后运行周期差压变化

检修时间	2014年8月 (铝质轴封 齿)	2016年5月 (铝质轴封 环齿)	2018年10月 (PEEK 轴封 环齿)
运行周期	20个月	29个月	30个月 ^①
开机值: KPa	383	342	398
最小值: KPa	215	194	365
下降值	168	148	33

① 运行周期时间到 2021 年 4 月计划停工技改大修。



图6 2021年检修高压端轴封



图7 2021年检修低压端轴封

4、结束语

公司储运中心丙烯压缩机，2017年开始更换 PEEK 材质的气阀片后，压缩机运行中很少出现气阀故障，节省维修费用，减少人力成本，机组运行平稳，公司七台往复式压缩机现有三台 4LW 使用 PEEK 材质气阀，可以在四台 2DW 压缩机逐一使用 PEEK 型气阀，以提高使用周期和效率。催化分厂离心式富气压缩机，2018年更换高压端 PEEK 轴封后，干气密封系统主密封气与前置气压差保持良好，机组长周期运行良好，虽然低压端轴封没有驱动端运行环境差，磨损程度较轻，周期更换还是避免不了，可以使用 PEEK 轴封，延长使用周期达到长期使用。

虽然 PEEK 材质制作阀片、轴封因其工艺制造难度高，费用会高于金属的成本，但是介于 PEEK 材质的众多特性及在压缩机的使用中的良好应用，达到长周期运行，检修更换频率降低，总检修费用是低的，也对设备运行有了保障，设备平稳运行不出临时检修是最生产装置运行最好的保障。在以后的机械零部件选用中，多了解掌握新产品材质特性，可以有针对性的选用，为设备运行维保提供有力保障。

参考文献：

[1] 郁永章 姜培干 孙嗣莹主编.《压缩机工程手册》 中国石化出版社 2011.10.