

冷冻机组 PK601 运行问题 及优化后对企业经济效益的提升

曹圣贤 张艳兵 (中国石化洛阳分公司, 河南 洛阳 471012)

摘要: 聚丙烯装置冷冻机组 PK601 是装置催化剂制备输送制冷关键设备, 其频繁故障, 影响装置运行。通过对运行状况的原因分析, 优化改进, 减少机组停车故障, 提高装置生产运行平稳率及经济效益。

关键词: PK601; 故障; 处理; 对策; 经济效益; 提升分析

1 机组情况介绍

聚丙烯装置冷冻机组 PK601 采用 R134a 作为制冷剂, 单级双螺杆。主要由螺杆压缩机、润滑油系统、冷凝器、储液器、蒸发器、自动控制系统等部分组成。

制冷原理是气态制冷剂 R134a 经螺杆压缩机压缩, 制冷剂压力、温度升高, 经油气分离器进入冷凝器后进行冷却, 液化制冷剂通过热力膨胀阀节流作用, 进入蒸发器相态变化大量吸热使冷冻水降温, 相变后低压、低温制冷剂气体, 重新循环回压缩机入口压缩, 构成制冷剂循环系统。

2 运行问题

近年来, PK601 陆续出现部分影响机组运行故障。持续时间较长故障主要体现在四个方面: 其一, 制冷剂供液系统控制效果差, 易出现过供液或欠供液, 造成带液跑油或无法制冷; 其二, 机封泄漏需频繁补充润滑油; 其三, 润滑油油压低, 油压差接近低联锁值, 运行风险大; 其四, 负荷调节频繁故障不能自动运行, 影响机组稳定。

2.1 机组带液跑油或制冷不足

压缩机正常排气温度 55℃ 左右, 机组带液跑油表现为液态制冷剂带入压缩机组进入油气分离器, 排气温度快速下降至 30–45℃, 油分离器内润滑油有大量气泡上翻, 油位持续下降, 直到无液位, 造成油泵出口压力低, 润滑油油压差低联锁停机, 跑油后开机比较困难。当供液量不足时, 缺少足够制冷剂撤热, 冷冻水温无法降至工艺要求值, 难以满足生产需求。

2.2 机封泄漏

2015 年首次因机封泄漏更换机械密封, 拆解发现机封动环密封面有缺口。2016 年 7 月泄漏检修, 回装运行检验泄漏严重, 经检查静环 O 型密封环损坏, 动环压紧弹簧回弹卡塞, O 环更换为 O 型加强密封环,

配套动环使用旧机封, 静环为新机封, 投用后运行, 当时泄漏量不足 1 滴/分。其后, 陆续因泄漏对机封进行更换, 机组运行也出现机封泄漏情况。目前, 机封泄漏不足 1 月需补油 1 次, 影响机组稳定运行, 造成润滑油浪费。

表 1 机械密封检修情况表

检修时间	检修	间隔月数
2015.10	机封泄漏, 动环有缺陷	34
2016.07	机封泄漏, O 环损坏, 动环弹簧回弹卡	8
2019.05	机封泄漏	34 (不具备检修条件)
2020.05	机封泄漏, 机封无损坏	12
2021.03	机封泄漏	10

2.3 油压差低

润滑油油压差正常为 0.3–0.35MPa (油泵出口精油过滤器后压力与压缩机排气压力差值), 润滑油压力为 1.0MPa 左右, 正常油温为 40–45℃, 实际运行润滑油压差已降至 0.06–0.15MPa, 润滑油压力降低 0.2–0.3MPa 左右, 特别是夏季排气压力升高, 油温升高接近 50℃, 润滑油压差降到最低 0.06MPa 接近联锁值, 运行风险较大。

2.4 负荷调节故障

冬季夜间, 后夏季中午出现不能降负荷, 随时间推移, 故障时间、频次增加, 故障时段更具随机性, 而经过一段时间在无操作的情况下又可恢复降负荷调节。其次, 夏季手动控制负荷, 出现负荷逐渐自动升高现象。

3 问题分析与应对对策

3.1 供液不稳问题分析与对策

3.1.1 原因分析

供液系统核心为热力膨胀阀控制进入蒸发器制冷量。热力膨胀阀工作原理为: 感温包外贴壁压缩机吸入口管线, 通过感知压缩机吸入口管线温度, 感温包

内液体热胀冷缩,进而推动膜片移动,最终引起阀芯上下压差变化控制阀芯开闭,调制冷剂流量。因供液不稳,设备厂家曾到厂处理,更换阀门内部压缩弹簧,调整供液方式由双路供液改为单路,减少双膨胀阀同时调整,当负荷达到 55% 变为双路供液,问题没有得到有效解决。膨胀阀调节滞后、不灵敏是其主要原因。热力膨胀阀通过管道外壁固定感温包传热引起热胀冷缩,推动压力调节杆移动改变阀芯压上下压差,影响因素多,调整反馈不灵敏、滞后,引起负荷波动。并且,随时间累加突然开大、关小,造成供液量迅速增加、减少。结果造成带液跑油,油压差低联锁停机;供液不足,制冷量不够,机组不制冷。感温包管道外壁固定,易受外界因素影响,检测温度存误差,造成供液与机组需求不匹配。其次,膨胀阀结构复杂,部件多,曾更换失效阀芯关闭弹簧,易故障。

3.1.2 应对对策

2019 年大检修通过技术改造,蒸发器出口双路引入压力、温度传感器,改热力膨胀阀为调节阀。压缩机选择压控调节阀,将调节阀信号引入 DCS 控制。当发生跑油时,中控可直接调整开度,避免再安排外操去现场调整,节约处置时间,避免事故扩大化,同时,避免原通过副线手阀调整供液,减轻操作强度。原供液方式单路,负荷超 55% 变双路,更换为调节阀后,控制方式由单回路改为双回路,保证两路同时有开度,避免跑油。原因为 R134a 在不同温度下对应不同饱和蒸气压,如表 2,当压力高于饱和蒸气压要液化,如果其中一路没有投用,液化制冷剂积聚,当阀门打开时,大量制冷剂带入机组造成跑油停机。当双路供液时,即使有少量液化制冷剂由于气流作用不会发生积聚,并且通过参数变化,及时调整,避免恶化造成跑油。

表 2 部分温度下 R134a 对应的饱和蒸气压

温度(°C)	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
压力(表压 kPa)	152	162	172	182	194	204	215	227	238

吸气压力设定值在满足设备运行情况下,控制略低于吸气温度下饱和蒸气压。压力控制过低,供液不足;压力控制过高,液化多,供液多,易发生跑油。

加强职工技能培训,懂操作、懂原理。其一,问题萌芽状态干预,避免恶化成事故;其二,加强排气温度监控,避免降至 45℃ 出现跑油迹象,一旦出现采取补救措施为关小调节阀,减少供液量。

3.2 机封泄漏

能够发生泄漏部位主要有动静环接触面、动环静

密封点、静环静密封点等。

3.2.1 原因分析

①机组发生带液故障时,润滑油中溶解大量液态制冷剂,导致润滑油粘度下降,润滑油在摩擦表面不能形成足够油膜,局部非正常缺油磨损,液态制冷剂受热后气化,影响动静密封配合,造成泄漏;②采购机封动静环的静密封材料与机组工况不匹配,不能耐低温,当跑油发生,压缩机入口低温,造成静密封 O 环损坏,通过静密封发生持续泄漏;③安装机封多数为集成式,动、静环分开安装存在安装精度不高,这种情况多数在试机过程能够检验出来;④润滑油、制冷剂循环回路存在杂质,运行过程中循环至密封面处,造成泄漏;⑤机组较长时间处在 5%~10% 低负荷喘振区间运行,造成机组振动高,引起机封密封配合面发生变化引起泄漏。

3.2.2 应对对策

①操作平稳,避免工况大幅波动,如机组带液等问题。避免润滑环境恶化、静密封环损坏;②特别是冬季,控制回流夹套蒸汽量,避免机组在 5%~10% 低负荷区间长时间运行,因发生持续喘振造成机封泄漏;③机封密封材料选用耐低温材料,提高密封材料等级;④为避免安装引起误差,可尝试采用集装式机械密封,减少安装误差。

3.3 油压差低

3.3.1 原因分析

①油压低。结合油路流程,存在入口过滤器堵塞吸入口压力低、出口精油过滤器堵塞造成其后路压力低,经出入口过滤器切换、更换,效果不明显;②泵出口后路无限流。现场调整关小油路回油阀,适当关小机组螺杆喷油阀,油压升高幅度不大;③油温高、粘度低造成油压低。开温控三通阀旁通,油温下降,判断油温三通阀故障,后对油温三通阀阀芯更换,但油压变化不十分明显。经过以上分析,剩余可能为润滑油泵泵体与泵壳间隙变大,扬程降低;其次,各润滑点存在流量变大造成降压等。

3.3.2 应对对策

择机尝试切换备用泵,检查泵出口压力变化。具备检修条件,对泵体、润滑点检查,检修。

3.4 负荷调节故障

负荷调节主要通过四路电磁阀控制液压油缸进排油推动主滑阀位移调节,电磁阀动作 PLC 设置为 40s 为一个扫描周期,增负荷进排油两路电磁阀动作 1s,

减负荷进排油两路电磁阀动作 2s。位移传感器通过弹簧连接活塞，根据活塞位移变化显示负荷变化。滑块包含主滑块、副滑块，主滑块用于调节负荷，副滑块用于调节内容积比。

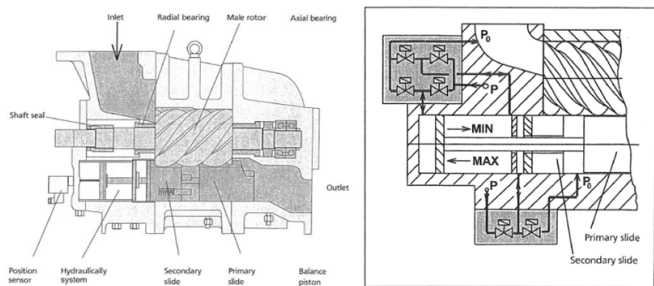


图 1 负荷调节模块工作原理图

滑阀移动使螺杆间容积从吸气向排气端移动过程，部分与吸气口连通回流到吸气腔，滑阀减少螺杆有效长度，达到调节气量目的。内容积比的调节，由于气候条件及冷热负荷改变，压缩比会在较宽范围内变化，造成欠压缩和过压缩现象，降低运行效率。通过改变径向排气口位置来改变内容积比，适应不同运行工况，节省能耗。

3.4.1 原因分析

由于仅夏季出现手动控制情况下负荷仍缓慢增加，而负荷调节故障仅不能减负荷，增负荷正常。同时，活塞不能向右侧移动具有随机性，当恢复向右移动后恢复正常状态。增负荷方向主滑块受吸排气压差作用力、位置传感器弹簧拉力叠加，及副滑块弹簧反作用力（低负荷回流开度大，作用力较小），增负荷将起到助力作用，减负荷起到阻力作用，增负荷更易。其次，液压油缸内润滑油循环速度远远低于轴承循环润滑油速度，这就造成夏冬季节润滑油粘度变化较明显，冬季粘度大，夏季粘度小。再次，润滑油泵出口压力降低，造成油缸内推力降低。夏季负荷手动控制电磁阀不动作，负荷逐渐升高，即活塞杆向增负荷方向位移。夏季吸排气压差升高，增负荷方向作用力增加，四路电磁阀已更换新电磁阀，可认为不发生泄漏。负荷增加，即活塞向增负荷方向位移，造成位移可能性为活塞环或增负荷方向活塞缸密封存在泄漏，液压油夏季粘度低易泄漏，冬季粘度大不易泄漏，在作用力的推动下，自动增加负荷。出现负荷调整不能减负荷，即活塞杆不能向减负荷方向移动，并且减负荷受到阻力大于增负荷。润滑油压力降低 0.2–0.3MPa，油缸进回油压差降低，推力降低，结合活塞泄漏等影响因素，在减负荷克服阻力等综合因素，达到受力平衡，

无法推动滑块移动，当受力平衡打破，滑块移动。在增负荷过程无需部分克服阻力，影响较小。气路或油路存在微小杂质，造成主滑块滑道卡，随时间推移，杂质破裂或冲刷作用，气流或润滑油将杂质冲走，恢复正常。另外，滑道已运行多年，存在局部磨损情况，造成不能移动情况。

3.4.2 应对对策

排查油压低原因，提高油压。定期清理油路、气路过滤器，滤芯及时更换，避免杂质进入滑道。具备检修条件，重点检查活塞密封，滑块滑道磨损情况等。

4 优化后效益情况

增加调节阀精确控制供液量，控制更加精细，可减少夹套蒸汽用量，平均减少蒸汽用量约为 0.1t/h，蒸汽 148 元/t，全年可节约蒸汽 $0.1 \times 24 \times 365 \times 148 = 129648$ 元/a。跑油事故发生需处理约为 1 个小时，停剂 0.5h，20t/h 负荷，开工恢复需 4h，造成损失为：丙烯 6600 元/t 左右，聚丙烯 7800 元/t 左右，其他成本以 500 元/h 进行计算，产生废料约 2t，价格为 1500 元/t，燃动成本以 200 元/h 进行计算，则因单次停机估算直接造成的损失为： $(7800 - 6600 - 500) \times 20 \times 4 + (6600 - 1500 - 200) \times 2 = 65800$ 元；减少跑油事故，减少大量经济损失。供液阀改造由调节阀引入 PLC 控制柜控制变为控制方式引入 DCS，改造费用为 18 万元，变更后实际产生费用为 10 万元，节省人工服务成本及部分电器元件材料费用 7 万余元。

5 结论

通过以上分析，得到如下结论，通过采取必要措施解决现阶段困扰冷冻机组运行问题，实现机组稳定运行，减少跑油停机经济损失，节约成本，提升效益。目前，经技术改造供液不稳问题已得到解决，降低停机次数，提升效益，但要注重操作人员培训，避免操作失误。机组控制避免在喘振区间运行、工况要稳定。负荷调节具备检修条件需重点检查：主滑块滑道磨损情况，油缸增负荷方向涉及活塞环、缸体密封件情况。避免管路杂质造成机组故障，粗油、精油过滤器需合理切换、更换；蒸发器前 Y 型过滤器，及时清理，有损坏尽快更新，避免杂质进入压缩机组。

参考文献：

[1] 董天禄. 离心机 / 螺杆式制冷机组及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
 [2] 郑贤德. 制冷原理与装置 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.