

Analysis of the Cause and Treatment Measures of the Failure of the Chemical Centrifugal Compressor

Bozhong Hao Hong Lu Shengchang Hu

Zhejiang Dingsheng Petrochemical Engineering Co., Ltd., Zhoushan, Zhejiang, 316200, China

Abstract

Chemical centrifugal compressors are critical mechanical equipment in oil refining, chemical processing, natural gas treatment, fertilizer production, and refrigeration systems. Their operational status directly affects material circulation, system pressure differential establishment, and equipment load stability. China's similar units are often subjected to high-speed, continuous operation, complex media, and frequent condition fluctuations. Mechanical failures typically manifest initially as vibration, temperature rise, leakage, and efficiency decline, subsequently evolving into shutdown maintenance. Published literature indicates that rotor imbalance, bearing abnormalities, impeller corrosion and wear, and dry gas seal failure are common fault types in chemical plants, often related to media cleanliness, assembly quality, lubrication and cooling conditions, and start-stop operations. This paper analyzes the aforementioned four types of mechanical failures and proposes corresponding countermeasures for reference in equipment maintenance and operation.

Keywords

chemical industry; centrifugal compressor; failure causes; troubleshooting measures

化工离心式压缩机故障原因及处理措施分析

郝波众 陆宏 胡盛昌

浙江鼎盛石化工程有限公司, 中国·浙江 舟山 316200

摘要

化工离心式压缩机是炼油、化工、天然气处理、化肥及制冷装置中的关键动设备,其运行状态直接影响物料循环、系统压差建立和装置负荷稳定。中国同类机组长期处于高转速、连续运行、介质复杂和工况波动频繁的环境中,机械故障往往先表现为振动、温升、泄漏和效率下降,随后演化为停机检修。公开文献表明,转子失衡、轴承异常、叶轮腐蚀磨损和干气密封失效是化工现场较常见的故障类型,且多与介质洁净度、装配质量、润滑冷却条件及启停操作有关。本文围绕上述四类机械故障展开分析,并提出对应处理措施,以供装置检修和运行维护参考。

关键词

化工; 离心式压缩机; 故障原因; 处理措施

1 引言

离心式的压缩机作为化工生产的重要设备之一,其结构相对复杂,在实际运行过程中容易发生各种故障,这不仅会影响生产的效率及质量,也会对安全生产造成不良影响^[1]。化工装置中的离心式压缩机通常承担循环气、再生气、合成气、丙烯制冷气等介质的升压输送任务,设备一旦非计划停机,往往会连带影响反应、分离和公用工程系统。近年来公开论文与行业资料普遍将振动异常、轴承温升、叶轮损伤和密封泄漏列为高频问题,其中不少故障并非突发形成,而是在介质带液带尘、零部件磨损、启停切换失当和冷却润滑条件变差的叠加作用下逐步显现。因而,从故障机理入手梳理

可操作的处理办法,具有较强现实意义。

2 化工离心式压缩机概述

化工离心式压缩机通常是指依靠高速旋转叶轮对工艺气体做功,使气体获得速度能并在扩压元件内转化为压力能的透平式压缩设备,常见于炼油、乙烯、化工、空分、天然气处理和大型制冷系统。按照结构形式,装置中多见单轴多级和整体齿轮增速两类机型,前者适用于较高压比和连续重载场合,后者多用于流量变化较大或多工况运行场合。该类设备一般由转子、叶轮、机壳、轴承、密封、润滑与冷却等部分组成,具有流量大、连续性强、脉动小的特点,但对气体洁净度、装配精度和运行边界较为敏感。化工现场所说的故障处理,通常不是单纯更换零件,而是围绕振动源、摩擦副、密封端和流道损伤逐项排查并恢复机械匹配关系。

【作者简介】郝波众(1981-),男,中国山东菏泽人,本科,工程师,从事石油化工行业设备维保检修研究。

3 化工离心式压缩机故障原因

3.1 转子不平衡振动

化工离心式压缩机的转子在高速运行状态下对质量分布极为敏感,叶轮结垢、局部磨损、检修后配重变化以及联轴器装配偏差,都可能打破原有动平衡关系。中国化工装置处理的介质常带有冷凝液、聚合物、粉尘或腐蚀产物,这些杂质附着在叶轮进口边和轮盘背面,会使转子质心偏移,并在升速过程中放大一倍频振动。若机组停车后未及时盘车,热态转子还可能因冷却不均出现轻微弯曲,使振动问题由单纯失衡演变为失衡与热弯曲叠加,最终表现为轴承座振幅升高、联轴器发热和密封端加速磨损^[2]。

3.2 轴承磨损与过热

轴承故障在化工离心式压缩机中具有渐进性特征,初期往往只是油温偏高或回油颜色异常,继续运行后才会出现振动增大和瓦面擦伤。其根本原因多集中在三类环节。第一类是润滑油本身不合格,如黏度选择不当、油中混入金属屑和水分、供油量不足或油路堵塞,导致油膜难以稳定建立。第二类是冷却条件变差,冷油器结垢、冷却水量不足或回油不畅都会使热量带不出去。第三类是装配关系失准,轴承间隙过大或过小、瓦块受力不均、轴颈表面状况变差,都会使局部摩擦加剧并引起温升与磨损同步发展。

3.3 叶轮腐蚀与磨损

叶轮处于气流加速和转向最剧烈的位置,长期承受颗粒冲刷、腐蚀介质侵袭和交变应力作用,因而是化工离心式压缩机最容易出现性能衰减的部位之一。若工艺气中夹带催化剂粉末、铁锈、焊渣或结晶颗粒,叶片进口边、叶顶和流道转折处会首先发生冲蚀,叶型改变后压缩效率随之下降。若介质中含有硫化氢、氯化物、酸性水或冷凝液,叶轮表面又会出现点蚀、麻坑和局部减薄。部分化工和炼油装置在负荷波动较大时还会出现带液运行,这会进一步加重叶轮表面的腐蚀磨损耦合破坏,严重时可引起裂纹和擦碰。

3.4 密封系统泄漏

密封泄漏是化工离心式压缩机中风险较高的一类机械故障,尤其在处理易燃、易爆和有毒介质时更需要重视。当前石化装置大量采用干气密封,但密封效果并不只取决于密封环本体,还与密封气压力、气质洁净度、过滤分离效果和安装状态密切相关。若密封气压差不足,端面难以形成稳定气膜,泄漏量会明显上升。若密封气中混入液滴、重烃冷凝物或粒径较大的颗粒,端面会被划伤并出现磨痕。除此之外,检修时同心度控制不好、弹簧压缩量不当、轴向窜动偏大以及轴承腔润滑油向密封侧迁移,也会破坏密封端受力状态,最终表现为泄漏、发热和回油异常^[3]。

4 化工离心式压缩机故障处理措施

4.1 转子不平衡振动处理

针对化工离心式压缩机的转子不平衡振动处理不能只

停留在做平衡这一层,而应按沉积清除、几何复位、弯曲甄别和复装验证连续推进,并把故障点从表象振动追溯到质量分布变化本身。停机隔离后,检修人员先拆检进气侧及各级叶轮,重点清除叶片进口边、轮盘背面、平衡盘和联轴器上的硬质结垢、焦质与带液沉积,清理时要把附着在轮盘根部和狭窄流道内的偏载污物一并去净,并同步追查过滤失效、介质聚合或析水结冰来源,中国压气站案例已出现因凝液结冰损伤梳齿密封并诱发振动停机的情况。清理完成后,应沿转子全长复核键、锁紧件、叶轮定位及联轴器连接状态,对松动、偏磨和装配位移先做几何恢复,再实施动平衡校正;不平衡故障通常表现为1X转频占主导、径向响应大于轴向,且振幅随转速抬升而明显放大,因此现场只可在结构许可范围内修正配重,配重增减后还要复测相位变化和残余振值,不能以补焊替代平衡,也不能靠放大轴承间隙转移矛盾。若机组经历热态急停、高温抱轴或长周期偏载运行,还要加测主轴跳动、轴向窜量和端面摆差,必要时结合联轴器外圆复测轴系直线度,并根据频谱中1X、2X及高次分量的变化区分单纯失衡与轴弯曲、对中偏差,避免误判后重复拆装。转子复装后,应重新校核对中、基础垫片和联轴器端面间隙,按低速、临界区、额定转速分段升速观察相位与幅值稳定性,同时联查轴承温升、回油状态和密封回气;资料显示,部分机组轴振超过50 μm即触发停机,因此只有在一倍频稳定、温度和回气参数无连带异常后,方可恢复至工艺负荷。

4.2 轴承磨损与过热处理

轴承磨损与过热的处理不能停留在补油和外部降温层面,而应围绕油路清洁、受力面修复、装配间隙复原和升温过程复核四条线同步展开。其一,机组停稳并完成隔离后,先排尽旧油并留样检查颜色、酸败气味、机械杂质和含水量,再将主辅油泵入口滤网、过滤器、节流孔板、供回油管、油箱及冷油器逐段拆检,凡是发现滤芯堵塞、管壁结焦、回油不畅、冷却水串漏或油箱泡沫异常的部位,必须在新油注入前冲洗到位,必要时进行化学清洗和气密复查,连同油箱死角沉积物一并清除,防止残余污物进入瓦面造成二次拉伤^[4]。其二,拆检轴承时要把径向瓦、推力瓦、止推盘和轴颈作为一组受力单元统查,对拉毛、擦伤、巴氏合金层起皮、边角塌陷、局部乌黑发蓝和磨痕偏载等现象逐项判定,轻微损伤可按瓦面接触轨迹修刮并复测,超过允许范围的瓦块和推力件应直接更换,不能把硬点、麻点和失圆表面带入复装。其三,回装阶段应按图样恢复顶隙、侧隙、推力间隙和接触斑点,检查承载区是否连续、油楔方向是否正确,同时复核轴向定位、轴承座同轴度、轴颈圆柱度及联轴器找中情况,避免因转子窜动过大、局部偏载或油膜过薄引起重复发热。其四,启机前还要把冷却水量、供油压力、冷油器出口油温、过滤器压差和回油状态调整到机组允许区间,开车初期采用低负荷短周期观察,连续核对轴承温升、回油温差和油流稳定性,一旦出现温度继续爬升、油压逼近联锁下限或回油持

续带泡,应立即退出运行并回到油路、间隙和受力关系上重新查因。

4.3 叶轮腐蚀与磨损处理

叶轮腐蚀与磨损的处置不能停留在简单补焊或更换层面,而应把缺陷判定、修复边界、型线恢复和介质整治连成一套闭环。其一,检修人员开缸后应先清除流道沉积物,再结合目视、着色和尺寸复测检查叶片进口边、叶顶、轮盖焊缝及转弯区,对减薄量、麻坑深度和缺口长度逐处编号记录;凡损伤集中在进口边和转角区,多与高速颗粒冲刷有关,公开研究表明叶轮材料在120—210 m/s颗粒冲击条件下冲蚀会明显加重,因此不能只看表面颜色就下结论,若表面呈片状锈蚀或点蚀并伴随潮湿痕迹,则要同步核查酸性水、冷凝液和带液来源。其二,对浅表冲蚀和轻度腐蚀宜采用精磨整形、局部补焊或耐蚀涂层修补,但修补量必须受控,修后要复核叶片最小厚度、进口圆角、流道连续性和轮盘局部跳动,必要时做静平衡复测,并检查修补区与母材过渡是否平顺,避免因堆焊过厚、焊疤未修顺而把台阶、偏重和附面层扰动带回机内^[5]。其三,若叶轮已出现裂纹、叶片弯扭、轮盖开焊或大面积减薄,现场不应反复堆焊凑合投用,应转入更换或返厂再制造程序,并按制造厂要求处理热影响区和复验平衡,因为裂纹件继续高速运行极易扩展并诱发振动与擦碰。其四,机组回装前还要从工艺侧清理入口过滤器和前置分离设备,排净低点积液,校核排液是否畅通,实际案例中入口过滤失效、锈屑焊渣进入和持续带液,均会造成级间叶轮损伤与结垢,所以必须把固体颗粒、腐蚀性冷凝液和异常工况一并切断,并在开车初期连续跟踪振动、压比和级间温升变化。

4.4 密封系统泄漏处理

围绕化工离心式压缩机密封系统泄漏治理,现场处理应按“端面修复—装配复核—气源整治—隔离校正”连续展开。第一,检修人员解体后要同步检查动静环端面、辅助O形圈、弹簧座、定位销和轴套工作带,凡端面出现拉沟、崩边、热斑或结晶黏附,辅助密封出现硬化、胀大和失圆时,不宜单件凑合回装,应按配套件成组更换,并把密封腔、端盖止口和轴套配合面清洗到无颗粒、无油膜状态,因为干气密封运行气膜通常为3—5 μm,少量固体或液滴进入后就可

能诱发端面擦碰和泄漏放大。第二,复装阶段应把同心度、压缩量和螺栓均布预紧一并控制,先校核转子轴向窜量、推力轴承磨损和轴颈状态,再复核端面贴合,不允许在转子窜动偏大条件下强行投用,否则端面稳定间隙会被破坏,启机后温升和泄漏量往往同步上升。第三,密封气系统不能只看压力表读数,还要逐项确认过滤、分液、调压和伴热是否真正起效,密封气必须保持洁净、干燥并持续高于过程侧,工程上常按API 692控制过滤精度,主密封及接触式隔离气过滤通常取1 μm、去除效率99.9%,二级密封气可按10 μm等级控制,对接近露点的机组应先暖管升温再送气。第四,若外侧密封有油污、排放异常或缓冲气耗量突增,还要回查轴承腔排放、回油背压和隔离气供给时序,后置隔离气的作用本就是阻断润滑油向密封端迁移,二级排放线应避免形成附加背压,并把低隔离气压力设为启机许可或联锁条件,必要时同步调整排放口、疏通回油通道并校正先供气后供油的操作顺序。

5 结语

化工离心式压缩机故障处理的关键,不在于发现异常后被动更换零件,而在于把故障点还原到具体机械关系上。转子振动要回到质量分布和轴系直线度,轴承过热要回到油膜、间隙和散热条件,叶轮损伤要回到介质冲刷和腐蚀环境,密封泄漏要回到端面状态与密封气质量。只有把故障原因与处理措施逐项对准,并在检修中把尺寸、配合、洁净度和启停条件同时控制住,化工装置中的离心式压缩机才能恢复稳定运行。

参考文献

- [1] 陈兆龙,孙冠龙.化工企业离心式压缩机的故障检查维修与设备管理措施分析[J].石化技术,2025(8).
- [2] 俞吉祥.化工企业离心式压缩机振动措施及市场前景探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2025(12):125-127.
- [3] 郭锋锋.离心式压缩机的维护保养[J].中国石油和化工标准与质量,2023.
- [4] 李广龙,胡明威,刘春阳.离心压缩机在运行中的故障分析及检修技术[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023(4):4.
- [5] 李强,贾武军,赵龙,等.离心式压缩机试车故障分析及解决措施[J].山东化工,2023,52(20):181-182.