

大型深冷空分装置运行常见故障诊断及调试维修服务

徐鹏翀² 寿泽涛¹ 朱焱堯¹

1. 杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310014

2. 杭州杭氧技术服务有限公司 浙江 杭州 310014

摘要:在现代化工、冶金、能源制造行业发展进程中,深冷空分装置属于制备高纯工业气体的核心成套设备,依靠空气压缩、净化除杂、低温换热、膨胀制冷、精馏分离整套工艺流程,产出氧气、氮气、氩气等工业基础原料。大型深冷空分设备集成化程度高,整套系统运行工况严苛,长期处于高压超低温环境作业,设备零部件极易受介质杂质侵蚀、机械磨损、操作管控不当、环境条件波动等多重因素干扰,各类运行故障频发。设备一旦出现异常问题,不仅会造成气体产品纯度不符合生产标准、整体能耗大幅上涨,严重时还会引发设备停机检修,给企业带来显著的经济损耗。本文依托现场实际作业经验,针对空分装置压缩单元、净化单元、换热单元、膨胀机组、精馏塔系统以及低温液体输送系开展故障排查分析,梳理各类故障诱发因素,结合现场工况制定调试检修实操方案,搭建一体化技术服务管理模式,为整套空分设备长效稳定运转提供实操参考。

关键词:大型深冷空分装置;故障诊断;设备调试;维修保养;设备运维

引言:国内工业产业升级速度持续加快,各行各业对于高纯工业气体的使用需求不断提升,市场也对空分设备的产能、运行效率、节能水平提出更高标准。现阶段大型深冷空分装置朝着大型化、集成化、精细化方向升级,单套设备气体产出规模持续扩大,内部工艺结构与设备构造愈发复杂。

从现场实际运行情况来看,外界空气携带的粉尘、水汽、二氧化碳等杂质,容易造成设备管路堵塞、内壁腐蚀破损;高压低温的作业环境会加速密封部件老化失效,金属构件出现低温脆化现象;高速运转的机械设备长期作业产生机械磨损,设备振动问题突出。同时操作人员作业偏差、自动化控制系统参数偏移、日常养护管理疏漏等问题,都会诱发各类设备故障。根据行业现场运维数据统计,空分装置非计划停机故障中,压缩机组、膨胀机、换热设备、净化系统故障占比超过七成,单次停机检修不仅消耗大量人力物力,还会中断下游生产线运转,衍生出更多隐性经济损失。由此可见,深入研究空分设备故障排查方式,优化设备调试检修工艺,搭建专业化现场技术服务体系,能够有效降低设备故障频次,压缩运维成本,保障工业生产有序推进,具备极强的工程实践意义^[1]。

1 空分装置核心系统常见故障及诱因分析

1.1 压缩系统故障问题

压缩系统作为整套装置的动力供给端,主要依靠离心式空压机完成空气升压输送工作,机组运行稳定性直接决定整套设备供气效率,现场高发故障集中在机组喘振、轴

承高温、机体振动超标、管路密封泄漏几类问题。

机组喘振是空压机典型故障,故障出现时机身出现剧烈抖动,设备出口压力与气体流量产生无规律波动,伴随尖锐异响,故障严重时系统会触发安全联锁装置强制停机。引发喘振问题的主要原因包含设备进气流量低于安全运行阈值、防喘振调控阀门卡滞失灵、进气管道内部阻力偏大、空气过滤滤芯堵塞造成进气受阻、操作人员参数调节不规范。多家冶金企业空分设备运行数据显示,过滤装置堵塞引发进气不足,是空压机喘振故障的主要诱因,故障出现后整套装置生产负荷会出现明显下滑。

轴承温度超标故障多表现为轴承温度突破预警数值,持续升温后触发停机保护机制。轴承间隙设计不合理、转子动平衡数值偏差、润滑油脂变质短缺、冷却管路堵塞降温效率下降、轴承长期磨损破损、油膜运行状态失衡,都会造成轴承温度异常升高。

机体振动超标故障会引发机身晃动、配套管道共振现象,振动幅值超出设备额定运行标准。转子长期积垢出现重心偏移、轴承内部构件磨损损坏、设备地脚固定螺栓松动、联轴器对接精度偏差、管道装配应力过大、气流冲击扰动设备机身,都是振动问题的主要诱因。

1.2 净化系统故障问题

净化系统以分子筛纯化器为核心设备,主要作用是剔除空气含有的水分、二氧化碳、碳氢化合物等杂质,避免低温作业单元出现管路冻堵问题。现场运行期间,纯化系统常见故障有二氧化碳浓度超标、分子筛进水受潮、吸附净化效率下降、切换调控阀门动作异常。

二氧化碳浓度翘尾是纯化器高频故障,吸附作业后期气体内部二氧化碳浓度快速上升,超标气体进入低温系统后,会凝结形成固态干冰,堵塞换热器流道与精馏塔内部通道。分子筛装填排布不均匀,设备长期运行出现填料沉降形成气流偏流、气体分布板材开裂造成气流短路、切换阀门密封不严出现内漏、分子筛吸附活性衰减、再生处理工序不彻底,都会造成净化效果不达标^[2]。

分子筛进水受潮会直接造成吸附材料粉化失效,含水空气进入低温管路还会引发冻堵故障。预冷系统制冷能力不足、水冷换热设备运行效率降低、加热设备管路渗漏、分子筛再生加热温度达不到标准、进气温度超出设计范围,都会导致水汽进入纯化装置内部。

长期使用过程中,分子筛吸附容量会逐步缩减,设备整体净化性能持续降低。油脂、水汽、固态杂质附着污染吸附材料、再生加热温度与作业时长不达标、填料床层密实度不足、设备长期超负荷运转,都会加速分子筛性能衰减。

1.3 换热系统故障问题

板翅式换热器是换热系统核心构件,承担整套设备冷量传输与热量平衡调节工作,设备运行故障会直接造成冷量损耗,主要故障类型包含管路冻堵、换热效率降低、构件渗漏、冷热端温差异常波动。

管路冻堵故障发生后,换热器内部通道被冰层、干冰堵塞,设备冷热两端压差持续增大,热量交换效率急剧下降,冷量损耗问题突出。净化系统失效后杂质进入低温管路,在超低温环境下凝结固化;设备升降温速率过快,温度应力造成局部结冰,都会引发管路堵塞问题。不少化工企业设备检修案例表明,净化系统故障引发的换热器冻堵,往往会造成数日停机检修,严重耽误生产进度。

换热效率下降会提升整套设备能耗,气体提纯纯度无法达到设计标准。换热板材表面结霜积灰、油污附着、管路通道堵塞、换热器内部构件渗漏、外层保冷防护层破损,都会造成冷量外泄,削弱换热效果^[3]。

1.4 透平膨胀机故障问题

透平膨胀机是空分装置的制冷核心设备,依靠气体膨胀做功产出冷量,设备运行状态直接决定整套装置制冷能力,现场易出现轴承升温、机体振动超标、转速数值偏移、密封渗漏、制冷效率下降等故障。

膨胀机轴承高温故障诱因与空压机大致相近,润滑体系供油不畅、轴承装配间隙偏差、转子重心失衡、冷却散热系统运行受阻、高速摩擦产生大量热量,都会造成轴承温度异常。

设备振动故障会伴随异响问题,长期振动会磨损转

子叶片与轴承构件。转子表面结冰积垢改变重心平衡、叶片磨损变形、轴承内部构件损坏、设备基础固定松动、气流冲击扰动机组运转,都会加剧振动问题^[4]。

1.5 精馏系统故障问题

精馏塔依托多级分层结构实现各类气体组分分离提纯,设备运行故障会直接影响成品气体品质,典型故障包含产品纯度不达标、塔体压差异常、液泛现象、筛板漏液、精馏分离效率降低。

氧气、氮气成品纯度达不到工业使用标准,会直接影响下游产品加工质量。进塔空气流量温度频繁波动、气体回流比例调控失衡、塔内筛板填料堵塞破损、液态空气液位数值偏移、氩气组分气流波动,都会打乱精馏分离工况。

精馏塔上下腔体压差数值异常波动,会造成提纯工序紊乱。筛板通道堵塞、填料表面结垢淤积、液体分布不均匀、液泛漏液故障出现、进气流量骤然变化,都会改变塔内压差数值^[4]。

1.6 低温液体泵故障问题

低温液体泵主要负责液态氧、液态氮、液态氩输送作业,设备运行故障包含机体振动剧烈、泵体气蚀、密封渗漏、输送流量不足、轴承升温超标。

泵体剧烈振动伴随异响,会破坏输送作业稳定性。泵体内部产生气蚀气泡、叶轮堵塞重心偏移、设备基础固定松动、传动构件磨损老化、入口介质供给流量不足,都会引发振动问题。

气蚀故障产生大量气泡,造成介质流量压力起伏波动,持续冲击会磨损叶轮构件。入口介质压力偏低、液态介质温度偏高、进口管路流通阻力大、过滤装置堵塞,极易诱发气蚀现象。低温介质渗漏不仅会造成冷量损耗,还存在安全隐患,密封部件低温磨损老化、装配工艺存在偏差、泵轴振动幅度偏大,都会破坏密封结构。

2 设备调试与维修实操技术方案

出现机组喘振故障时,第一时间下调空压机运行负荷,开启防喘振调控阀门,拆解清理空气过滤滤芯,更换堵塞失效的过滤构件。校验防喘振阀门启闭精度,清理管道内部淤积杂物,优化设备操作参数,把控进气流量处于安全区间,杜绝负荷骤然升降的操作行为。

针对轴承高温问题,停机拆解设备核验轴承装配间隙,按照出厂标准完成参数调整,开展转子动平衡校准作业。全面排查润滑供油系统,替换变质润滑油脂,补充油液液位,疏通堵塞油路管道,加大冷却介质流量降低油温,磨损严重的轴承构件直接更换全新配件。

处理机体振动故障时,紧固设备地脚固定螺栓,校

准联轴器对接精度,清理转子表面积尘积垢优化重心平衡。加固管道支撑结构,加装减震缓冲装置消除共振问题,替换破损轴承与磨损传动部件。

修复密封渗漏故障,更换老化失效密封垫片,均匀把控法兰螺栓紧固力度,检测管道腐蚀破损情况,腐蚀严重管路直接更换。合理管控设备升降温速度,削弱温度形变应力,保障密封结构稳定可靠。

3 全流程一体化技术服务体系搭建

3.1 设备前期调试服务

空分装置新建投产、大修改造完成后,组建专业技术调试团队,结合设备工况制定标准化调试作业方案。开展单机空载、负载试运行检测,针对空压机、膨胀机、输送泵、调控阀门等独立设备开展性能核验,排查机械结构、电气线路、智能仪表存在的隐患问题,保障单台设备运行参数符合设计要求。

完成单机调试后开展全系统联动测试,打通压缩、净化、换热、制冷、精馏整套工艺流程,模拟现场实际生产工况调试自动化控制系统,优化安全联锁控制逻辑,核验报警预警、紧急停机功能,保障整套系统联动运行平稳有序。按照梯度模式逐步提升设备运行负荷,依次按照额定负荷三成、五成、八成、满负荷开展测试,全程监测压力、温度、流量、气体纯度等核心参数,优化操作运行曲线,解决负荷切换引发的各类故障,实现设备满负荷稳定投产^[5]。

3.2 日常运行运维服务

建立分层巡检管控机制,落实日检、周检、月检、季度检修、年度大修管理制度。日常巡检重点监测设备运行参数、机体振动状态、密封渗漏情况、设备运行异响;每周核查润滑油脂状态、过滤装置洁净度、阀门动作性能;每月校验智能仪表精度,紧固各类连接螺栓,排查管道安全隐患;季度与年度检修开展深度拆解检测,重点维护旋转机械设备、换热装置、净化系统核心构件。

引入振动分析、油脂检测、红外热成像、声信号监测等现代化检测手段,实时监控关键设备运行状态,提前预判轴承磨损、转子失衡、介质渗漏等潜在故障,推行预防性检修模式,将故障隐患消除在萌芽阶段。常态化开展操作人员技能培训,规范设备升降温、负荷调节、系统切换等操作流程,规避人为操作失误问题。整合设备运行数据构建参数数据库,梳理运行变化规律,优化操作工艺参数,兼顾生产效率与节能降耗需求。

3.3 故障应急抢修服务

搭建全天候应急技术服务小组,接到设备故障反馈后快速响应,依托远程指导开展前期应急处置,遏制故障范围持续扩大。遇到重大设备故障时,技术人员赶

赴作业现场开展线下抢修作业。提前储备密封配件、轴承构件、分子筛填料、调控阀门等常用备件,压缩配件采购等待时长,缩短设备检修周期。严格遵循标准化检修工艺开展作业,检修完成后开展多轮调试核验,各项参数达标后方可恢复投产。故障处置结束后开展复盘分析,深挖故障根本诱因,制定针对性防控举措,更新故障案例数据库,规避同类问题反复出现。

3.4 设备升级改造与技能培训服务

针对老旧服役空分装置实施节能优化改造,替换高效节能换热设备,优化膨胀机转子结构设计,升级净化系统工艺流程,更新自动化控制系统,进一步提升设备产能,缩减生产能耗。面向现场运维人员开展系统化技能培训,授课内容包含故障排查诊断、设备调试操作、检修养护工艺、安全生产规范等内容。结合现场真实故障案例开展实操教学,强化人员实操处置能力,从人员层面提升设备运维管理水平。

结束语:大型深冷空分装置工艺体系繁杂,运行工况条件严苛,故障诱因覆盖机械结构、生产工艺、电气控制、智能仪表多个领域。压缩机组喘振、低温管路冻堵、介质渗漏、机体振动超标、气体纯度不足是设备运行阶段的高频问题。结合整套系统结构特征梳理故障诱因,匹配现场工况制定调试检修实操方案,能够高效解决设备运行缺陷,快速恢复设备设计使用性能。构建集前期投产调试、日常巡检运维、突发故障抢修、设备升级改造、专业技能培训于一体的全流程技术服务体系,是保障深冷空分装置长期安全高效运转的核心举措。依托标准化、专业化的现场技术服务,能够有效降低故障发生概率,压缩检修停工时长,减少运维资金投入,提升整套装置运行经济效益,为上下游工业生产线稳定运转筑牢基础。伴随智能化工业技术不断发展,后续可结合大数据分析、智能传感监测、物联网管控技术优化故障诊断模式,搭建智能化预警运维体系,推动深冷空分设备运维行业朝着精细化、智能化方向持续发展。

参考文献

- [1] 王怀义.大型空分设备操作与维护[M].北京:机械工业出版社,2020
- [2] 施其兵.大型空分设备空冷系统故障优化处理研究[J].低温与特气,2021
- [3] 李刚.深冷空分装置换热器冻堵故障分析与解决对策[J].化工设备与管道,2022
- [4] 张健.分子筛纯化器净化失效故障成因及优化方案[J].深冷技术,2023
- [5] 刘军.离心式空压机喘振故障排查与预防技术[J].压缩机技术,2021