

煤化工空分装置安全运行要点分析

张志武

河南省大化电气仪表工程技术有限公司 河南 濮阳 457000

摘要：煤化工空分装置安全运行至关重要。其要点涵盖多方面：工艺上，精准管控温度、压力、气体成分及液位流量等参数，实现动态监测与稳定控制；设备方面，定期维护关键设备，强化密封、防泄漏、防爆及防静电管理；操作中，制定标准化流程，提升人员应急能力；环境上，严格把控原料空气质量，与周边装置协同管理，做好防雷等防护，保障装置安全稳定运行。

关键词：煤化工；空分装置；安全运行要点

引言：在煤化工蓬勃发展的当下，空分装置作为其生产流程中不可或缺的关键部分，承担着为各工艺环节提供氧气、氮气等重要气体的任务，是保障生产稳定运行的基础。但空分装置运行条件复杂，涵盖高温高压、低温深冷等极端工况，且涉及易燃易爆物质，安全风险较高。深入探究其安全运行要点，对预防事故、保障人员安全及企业稳定生产意义重大。

1 煤化工空分装置的工艺特性与安全风险

1.1 工艺流程与关键设备

(1) 空分装置核心工艺流程环环相扣：空气压缩环节通过离心式或往复式压缩机将原料空气加压至指定压力，为后续工序提供动力；预冷系统利用冷却介质降低压缩空气温度，去除部分水分和杂质；纯化环节借助分子筛吸附水分、二氧化碳等有害杂质，避免后续设备堵塞；精馏工序通过主塔、副塔的温度梯度分离氧气、氮气等组分；膨胀制冷则为精馏过程提供低温环境，保障组分分离效率。(2) 关键设备承担核心功能：主冷凝蒸发器是精馏系统的核心，通过液氧与气氮的热交换实现冷凝与蒸发，维持塔内物料循环；分子筛吸附器采用多孔分子筛材料，利用吸附原理深度净化空气，其结构需保证气体均匀分布以提升吸附效果；膨胀机通过气体膨胀降压产生冷量，同时回收能量驱动压缩机，其叶轮、轴承等部件的稳定性直接影响制冷效率与系统安全。

1.2 典型安全风险类型

(1) 化学风险突出：原料空气中携带的碳氢化合物（乙炔、甲烷等）在液氧中易积聚，超过安全阈值时可能引发爆炸；氮氧化物（如一氧化二氮）在精馏过程中累积，会加剧设备腐蚀并增加爆炸风险。(2) 物理风险多样：压缩环节存在高温高压风险，设备超压可能导致破裂；低温设备与管路易造成人员冻伤，同时低温介质泄漏可能引发材料脆裂；密封失效会导致低温介质泄漏

或空气渗入，破坏系统工况。(3) 操作风险频发：人员误操作如阀门开关错误、参数调整不当，易引发系统波动；设备维护不当如分子筛再生不彻底、膨胀机润滑不足，会降低设备可靠性；异常工况如压力骤变、温度失衡时处理不及时，可能导致事故扩大。(4) 环境风险不容忽视：原料空气受周边工业排放污染，会增加纯化系统负荷；周边装置排放的有害气体可能渗入空分系统，引发化学反应；雷击、暴雨等自然灾害易损坏电气设备，导致系统停机或故障^[1]。

2 煤化工空分装置安全运行的核心要点

2.1 工艺参数的精准控制

2.1.1 温度与压力管理

(1) 建立全流程实时监控体系，重点追踪主冷凝蒸发器液氧温度、精馏塔上下塔压力、膨胀机进出口温度及压缩机排气温度等关键参数，采用高精度传感器与DCS控制系统实现数据实时采集、显示与存储，确保参数波动可追溯。通过趋势分析预判参数变化规律，提前介入调整，避免参数突变引发系统紊乱。(2) 严格执行超温、超压、超负荷运行禁令，根据设备额定参数设置多级报警阈值与联锁保护逻辑。一级报警触发声光提示，操作人员即时处置；二级报警启动辅助调节系统自动干预；三级报警触发紧急停车联锁，快速切断危险源头，防止设备因极端工况受损或引发爆炸、泄漏等事故。

2.1.2 气体成分动态监测

(1) 落实液氧成分定时分析制度，每班至少开展1次液氧中乙炔、总烃、二氧化碳及油含量检测，采用气相色谱仪等精密设备确保检测精度。建立成分超标台账，明确不同超标等级的处置流程，若乙炔含量接近安全限值，立即启动液氧强化排放程序。(2) 持续监控分子筛出口二氧化碳浓度，严格控制浓度 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 。在分子筛出口设置在线监测仪表，实时反馈吸附效果，一旦浓度

超标,系统自动发出报警并切换至备用吸附器,同时对失效吸附器启动再生程序,避免二氧化碳进入精馏系统造成设备堵塞或冻堵^[2]。

2.1.3 液位与流量稳定控制

(1)采用全浸式操作设计管控主冷液氧液位与下塔液空液位,通过液位变送器实时监测液位变化,结合变频调节技术精准控制进料与出料流量,确保液位维持在安全区间。全浸式操作可减少液氧蒸发面积,降低碳氢化合物局部浓聚风险,保障精馏过程稳定。(2)严格执行液氧连续排放制度,设定每班排放量 $\geq 1\%$ 气氧产量的标准,通过专用排放管路将液氧输送至安全处置区域。排放过程中实时监测液氧成分,若发现碳氢化合物含量异常升高,立即加大排放量,防止危险物质积聚。

2.2 设备维护与可靠性管理

2.2.1 关键设备预防性维护

(1)制定压缩机、膨胀机、换热器等核心设备的定期检修计划,按周期开展解体检查、部件更换与精度校准。采用振动监测、油液分析等状态监测技术,实时掌握设备运行状态,提前识别轴承磨损、叶轮腐蚀等潜在隐患,实现故障早发现、早处置。(2)根据环境空气质量、原料空气湿度等实际条件,动态优化分子筛吸附器再生周期。当周边污染源增加或空气湿度升高时,适当缩短切换周期,确保吸附容量满足纯化要求。再生过程严格控制加热温度与时间,避免再生不彻底导致吸附性能下降。

2.2.2 密封与防泄漏管理

(1)加强轴封系统密封气压的实时监控,定期检查密封气供应压力与流量,确保密封效果,防止润滑油泄漏进入塔内污染介质。对轴封易损部件定期更换,建立密封系统维护台账,记录维护时间、部件型号等关键信息,保障密封系统可靠性。(2)氧气管道、阀门等设备投用前必须进行严格脱脂处理,去除表面油污与杂质,防止氧气与油脂接触引发燃烧爆炸。在相关设备醒目位置张贴“禁油”标识,严禁使用含油工具进行检修作业,定期对管道、阀门进行泄漏检测,及时处置泄漏点^[3]。

2.2.3 防爆与防静电措施

(1)主冷凝蒸发器采用全浸式结构设计,增大液氧循环量,减少液氧停留时间,降低碳氢化合物在液氧中浓聚的风险。定期对主冷进行内部检查,清除可能积聚的碳氢化合物沉积物,确保设备内部清洁。(2)冷箱内全面设置防静电接地装置,将设备外壳、管道、框架等金属部件可靠接地,定期检测接地电阻,确保电阻值符合安全标准。作业人员进入冷箱区域需穿戴防静电服装

与鞋具,避免产生静电火花引发危险。

2.3 操作规程与人员管理

2.3.1 标准化操作流程

(1)编制涵盖开车、停车、设备切换、应急处置等全场景的详细操作规程,明确各操作步骤、参数控制范围与安全注意事项,尤其细化液氧排放、分子筛切换等高危操作的规范流程。操作规程需定期评审修订,确保与设备更新、工艺优化同步。(2)严格执行操作人员持证上岗制度,新员工需经理论培训、实操演练与考核合格后方可独立上岗。定期组织操作人员开展技能考核与安全培训,重点强化异常工况判断、应急处置等关键能力,提升人员安全操作水平。

2.3.2 异常工况应急响应

(1)针对膨胀机跳车、分子筛带水、液氧泵故障、管路泄漏等典型异常场景,制定专项应急预案,明确应急处置流程、责任分工与救援措施。预案中需细化参数调整、设备切换、人员撤离等关键步骤,确保处置有序高效。(2)定期组织消防演练与事故模拟推演,如开展液氧泄漏应急处置、火灾扑救等实战化演练,提升操作人员应急响应能力与协同配合水平。演练后及时总结复盘,梳理存在的问题并优化应急预案,强化应急保障体系^[4]。

2.3.3 人员行为安全管理

(1)严格管控作业现场安全行为,严禁在装置区域内吸烟、使用明火。动火作业前必须采用仪表空气对作业区域进行充分置换,检测氧含量在 $19.5\% \sim 21\%$ 的安全范围,办理动火作业许可证后方可开展作业,作业过程中安排专人监护。(2)在氮气排放区域、冷箱周边等危险区域设置明显警示标识,配备充足的氧呼吸器、急救箱等防护设备与应急物资。确保作业区域通风设备正常运行,降低氮气积聚导致人员窒息的风险,定期对防护设备进行检查维护,保障其完好可用。

2.4 环境与外部因素管控

2.4.1 原料空气质量控制

(1)合理规划空气吸入口位置,确保远离煤气化装置排气口、碳氢化合物储罐区等污染源,设置在上风向区域,减少污染物吸入。定期监测吸入口周边空气质量,建立空气质量台账,若发现污染物超标,及时采取防护措施。(2)在空气吸入口配备高效脉冲过滤器,通过初滤、精滤双重过滤去除空气中的粉尘、杂质。制定过滤器定期维护计划,按时清理滤筒与初滤装置,监测过滤器压差变化,避免因过滤堵塞导致进气量不足或污染物穿透,影响后续纯化效果。

2.4.2 周边装置协同管理

(1) 与煤气化、合成氨等相邻装置建立常态化信息通报机制,明确紧急放空、工艺调整等关键操作的提前告知流程,避免相邻装置突发排放对空分装置造成冲击。当周边装置出现异常时,及时调整空分装置运行参数,做好应急准备。(2) 雷雨季节前全面开展防雷设施专项检查,对避雷针、避雷带、接地装置等进行全面检测,确保接地电阻符合安全标准。暴雨、大风等极端天气来临前,提前做好设备防护、人员撤离等准备工作,极端天气后及时开展装置全面检查,确认无隐患后再恢复运行。

3 煤化工空分装置安全运行的优化策略

3.1 智能化监控系统应用

(1) 全面升级智能监测硬件配置,在装置关键节点规模化部署在线色谱分析仪、高精度温度压力传感器及智能液位计等设备。在线色谱分析仪实现液氧中乙炔、总烃等危险组分的实时连续检测,数据检测精度较传统人工分析提升30%以上;温度压力传感器与液位计采用无线传输技术,覆盖主冷凝蒸发器、精馏塔、膨胀机等核心设备,实现关键工艺参数的无死角监控,数据实时上传至中央控制系统,消除人工巡检的滞后性与盲区。

(2) 构建大数据分析平台,整合设备运行参数、维护记录、历史事故数据等多维度信息,通过机器学习算法建立设备故障预测模型。平台可实时分析参数变化趋势,提前识别压缩机轴承磨损、分子筛吸附性能衰减等潜在隐患,预测精度达85%以上,为预防性维护提供精准依据。同时,平台自动生成设备健康报告,指导运维人员合理安排维护时间与内容,将被动抢修转化为主动防控,大幅降低设备故障引发的安全风险^[5]。

3.2 节能降耗与安全协同优化

(1) 推广应用填料上塔技术改造传统板式塔,通过高效填料增大气液接触面积,提升氧气、氮气分离效率,在相同产品产量下可降低能耗10%-15%。同时,填料上塔结构紧凑,液氧停留时间缩短,减少碳氢化合物积聚风险,实现节能与安全的双重提升。改造过程中同步优化精馏工艺参数,进一步提升系统运行稳定性,降低因工艺波动引发的安全隐患。(2) 配套建设大容量液氮储罐,利用装置正常运行期间的富余冷量生产并储存液氮。在装置大修或突发故障停机时,储罐内的液氮可快速为周边需冷装置提供冷源,避免因液氮断供导致

相关装置紧急停车引发的连锁风险。同时,减少大修期间的液氮采购量,降低运输环节的泄漏、爆炸等安全风险,还可节约采购成本,实现安全保障与经济效益的协同优化。

3.3 安全文化与制度建设

(1) 推行“全员安全责任制”,明确从管理层到一线操作人员的安全职责,将安全绩效与个人薪酬、晋升直接挂钩,建立科学的安全绩效考核机制。考核内容涵盖操作规程执行、隐患排查上报、应急处置能力等关键环节,对表现优异的个人与班组给予表彰奖励,对违规操作、责任缺失等行为严肃追责,形成“人人重安全、人人管安全”的责任体系。(2) 定期组织开展安全知识竞赛、事故案例分享会、安全技能实操比武等活动。通过竞赛激发员工学习安全知识的积极性,提升安全理论水平;通过剖析典型事故案例,让员工直观认识违规操作的严重后果,强化安全防范意识;通过实操比武提升员工应急处置、设备操作等实操技能。同时,建立安全经验分享平台,鼓励员工交流安全操作心得与隐患排查技巧,持续夯实安全文化基础。

结束语

煤化工空分装置的安全稳定运行,是保障整个煤化工产业链高效、连续生产的关键所在。通过对工艺参数精准把控、设备维护严格落实、人员操作规范管理以及风险防控全面强化等一系列要点的深入分析与实践,能有效降低装置运行中的安全风险。未来,还需持续优化安全管理体系,紧跟技术发展步伐,不断提升安全管理水平,确保空分装置始终处于安全可靠运行状态,为煤化工行业的可持续发展筑牢坚实根基。

参考文献

- [1]侯海坡.探讨煤化工空分装置安全运行要点[J].化工管理,2020(26):126-127.
- [2]张亮,赵振宇.危险气体对煤化工空分装置安全的影响[J].化工管理,2021(04):116-117.
- [3]宛家盛.现代空分装置在煤化工领域的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(06):145-146.
- [4]刘晶.化工专用空分装置的安全运行管理探讨[J].化工设计通讯,2021,(05):71-73.
- [5]邹斌.精细化煤化工生产装置安全运行管理措施研究[J].探索科学,2020,(07):265-266.