

空分装置运维风险分析与预防

袁盼盼

杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要:空分装置作为工业生产关键动力设备,其运行稳定性直接影响后续生产链条的连续性与安全性。运维过程中,受设备老化、工艺波动、介质特性及操作管控等多因素影响,易引发各类风险隐患。本文基于空分装置运维核心环节,系统梳理运维过程中的典型风险类型,深入剖析风险产生的技术机理与诱发因素,从设备全生命周期管理、工艺优化管控、人员能力提升及应急体系构建等方面,提出针对性预防措施,为提升空分装置运维可靠性、降低风险发生率提供技术支持。

关键词:空分装置;运维风险;设备管控;工艺优化;预防措施

引言:空分装置通过低温精馏技术实现空气的分离与提纯,产出氧气、氮气、氩气等工业核心气体,广泛应用于冶金、化工、能源等重点领域。该类装置具有工艺流程复杂、关键设备密集、介质多为低温高压或易燃易爆特性等特点,运维工作的技术性与风险性极高。随着装置运行年限延长及生产负荷的动态变化,运维过程中的风险点逐渐增多,若管控不当,可能导致设备故障、工艺紊乱甚至安全事故,造成生产中断与经济损失。因此,精准识别空分装置运维各环节的风险要素,深入分析风险演化规律,构建科学有效的预防体系,对保障空分装置长期稳定高效运行具有重要现实意义。本文就此展开系统探讨,为运维工作提供专业技术指引。

1 空分装置运维风险概述

空分装置运维是覆盖设备日常巡检、运行状态监测、定期维护检修、工艺参数动态调整等全流程的系统性工作,其风险呈现出隐蔽性、关联性与突发性并存的显著特征。从运维全流程视角分析,风险广泛贯穿于核心设备运行监控、关键部件状态维护、工艺参数精准调控、低温高压介质储存输送等关键环节,形成全链条风险分布态势。各环节风险并非孤立存在,而是存在紧密的关联传导特性,某一环节的微小隐患如密封件微量渗漏、参数微小偏移等,若未及时察觉并处置,极易引发连锁反应,导致风险逐级放大,进而影响装置整体运行稳定性。空分装置所涉及的液氧、液氮等核心介质具有低温深冷、高压承压、易泄漏扩散等危险特性,进一步加剧了运维风险的危害程度,可能引发设备损伤、工艺紊乱等严重后果。因此,准确把握运维风险的整体特征与分布规律,是开展科学风险预防工作的重要前提。通过对运维流程进行全维度、精细化梳理,明确各环节风险管控的核心要点与关键阈值,可为后续开展针对性风险分析、制定精准预防措施

奠定坚实的理论与实践基础^[1]。

2 空分装置运维典型风险识别

2.1 设备性能劣化风险

设备是空分装置运行的核心载体,其性能稳定性直接决定运维风险水平。空分装置关键设备包括空压机、膨胀机、精馏塔、换热器、储槽等,此类设备长期处于低温、高压、交变载荷工况下,易出现性能劣化问题。空压机作为动力核心,长期运行中可能出现转子不平衡、轴承磨损、密封件老化等问题,导致排气压力波动、振动超标等异常情况;膨胀机作为制冷系统关键设备,叶轮腐蚀、喷嘴堵塞及密封泄漏等故障,会直接影响制冷效率,导致精馏系统温度失衡;精馏塔内件磨损、填料失效及塔盘堵塞等问题,会破坏气液传质平衡,降低产品纯度与产量;换热器长期运行中易发生结垢、腐蚀等问题,导致换热效率下降,影响系统能量平衡;低温储槽及管路的绝热层老化、破损,可能引发冷损增加,甚至导致管路冻堵或破裂。

2.2 工艺系统波动风险

空分装置工艺流程复杂,各系统间耦合度高,工艺参数的微小波动可能引发系统性紊乱,形成运维风险。原料空气预处理环节,若过滤系统失效、吸附剂再生不彻底,会导致粉尘、水分及二氧化碳等杂质进入后续低温系统,引发管路冻堵或设备腐蚀;精馏系统中,回流比、蒸发量、冷凝量等参数的动态平衡是保障分离效果的关键,若因负荷调整不当、阀门调节滞后等因素导致参数失衡,会造成产品纯度不达标、塔内压力波动等问题;制冷系统的制冷量与冷量分配直接影响系统温度场稳定性,压缩机负荷波动、膨胀机转速异常等情况,会导致制冷量不足或分布不均,引发精馏塔工况紊乱;产品输送系统中,压力调节阀门卡涩、流量计量偏差等问

题,可能导致输送压力波动,甚至引发管路超压风险。此外,外界环境因素如气温骤变、电网电压波动等,也会通过影响原料空气参数、设备运行负荷等途径,诱发工艺系统波动。

2.3 介质泄漏扩散风险

空分装置涉及的低温液体(液氧、液氮、液氩)及高压气体具有极强的危险性,介质泄漏是运维过程中极具危害性的风险类型。液氧泄漏后遇油脂等易燃物质易引发燃烧爆炸,同时低温特性会对设备管路造成冷冲击,导致材料脆裂;液氮、液氩泄漏会快速气化,造成局部空间氧气浓度降低,引发人员窒息;高压气体泄漏则可能形成高速射流,对周边设备造成冲击损坏,同时引发压力骤降,破坏系统运行平衡。泄漏风险的诱发因素主要包括管路焊缝缺陷、密封件老化失效、阀门磨损泄漏、设备腐蚀穿孔等,此外,运维过程中的检修操作不当,也可能导致密封面损伤,引发介质泄漏。泄漏发生后,若扩散范围扩大,还可能引发连锁反应,加剧事故危害程度^[2]。

2.4 操作管控偏差风险

运维操作的规范性与精准性是保障空分装置稳定运行的关键,操作管控偏差易直接诱发运维风险。此类风险主要源于操作流程不规范、参数调整不精准、状态判断失误等方面。在设备启停阶段,若升温、降温速率控制不当,会导致设备温差应力过大,引发部件变形或密封失效;在日常巡检过程中,若对关键设备振动、温度、压力等参数监测不全面,或对异常信号判断失误,会导致隐患漏判,错失最佳处置时机;在维护检修环节,若部件装配精度不足、紧固件力矩不均、检修后调试不充分,会导致设备运行异常,甚至引发二次故障;此外,运维人员对工艺原理理解不深入、应急处置能力不足,在突发异常工况时易出现操作失误,加剧风险危害。

3 空分装置运维风险预防措施

3.1 强化设备全生命周期管理

以设备性能稳定为核心,构建覆盖设备选型、运行监控、维护检修、报废更新的全生命周期管理机制,从源头降低设备性能劣化风险。在设备选型阶段,结合生产负荷与工况特点,选用材质优良、性能可靠的关键设备与核心部件,重点关注低温、高压工况下的材料耐腐蚀性与密封性能;在运行监控环节,搭建智能化状态监测系统,对空压机、膨胀机等关键设备的振动、温度、压力、密封状态等核心参数进行实时监测,通过数据趋势分析实现故障预警,及时发现设备早期劣化迹象;制定科学的维护检修计划,依据设备运行状态与制造商技术要求,定期开展关键部件检查、润滑油更换、密封件维

护等预防性维护工作,避免过度检修或维护不足;对于老化严重、性能无法满足运行要求的设备与部件,及时开展评估与更新,确保设备整体性能处于稳定状态。同时,加强设备维护过程中的质量管控,规范装配流程与精度要求,保障维护后设备的运行可靠性^[3]。

3.2 优化工艺系统调控策略

基于空分装置工艺流程的耦合特性,构建精准化工艺调控体系,降低系统波动风险。首先,优化原料空气预处理工艺,根据进气水质、粉尘含量等参数,动态调整过滤、吸附工艺参数,确保预处理后空气杂质含量符合工艺要求,避免杂质进入后续低温系统;针对精馏系统的动态平衡需求,搭建闭环调控系统,实时监测回流比、塔内温度、压力等关键参数,通过自动调节阀门实现参数的精准控制,减少人为调节滞后带来的波动;优化制冷系统运行策略,结合生产负荷变化,动态调整空压机、膨胀机运行参数,确保制冷量与冷量分配的均衡性,维持系统温度场稳定;加强工艺参数的趋势分析,通过大数据技术挖掘参数变化规律,提前预判可能出现的波动风险,制定针对性调控预案。此外,针对外界环境变化带来的影响,建立环境适应性调控机制,如高温季节加强空冷系统散热调控,电网波动时启动稳压装置,确保工艺系统运行的稳定性。

3.3 构建介质泄漏防控体系

围绕介质泄漏的“预防-监测-处置”全环节,构建全方位防控体系,降低泄漏扩散风险。在预防层面,加强设备管路的密封性能管控,选用耐低温、高压的优质密封材料,规范密封面加工与装配工艺,定期开展密封性能检查与维护;针对焊缝、腐蚀薄弱部位,加强材质选型与工艺控制,定期开展无损检测,及时发现并处置潜在缺陷。在监测层面,搭建多维度泄漏监测系统,结合介质特性设置温度传感器、压力传感器、气体检测报警器等监测设备,对低温储槽、管路焊缝、阀门接口等关键泄漏点进行实时监测,确保泄漏信号能够被快速捕捉;利用红外热成像技术对低温管路进行定期巡检,及时发现绝热层破损与冷损异常等泄漏前兆。在处置层面,制定分级泄漏处置预案,明确不同泄漏场景下的应急处置流程,配备应急封堵、防护装备等物资,确保泄漏发生后能够快速响应,采取隔离、封堵、泄压等措施,阻止泄漏范围扩大;合理规划泄漏应急通道与安全区域,避免泄漏介质扩散引发二次危害。同时,加强泄漏防控设施的定期维护与调试,确保其处于有效备用状态^[4]。

3.4 提升运维操作管控水平

以人员能力提升为核心,构建规范化、专业化的操

作管控体系,降低操作偏差风险。首先,建立系统化培训机制,结合空分装置工艺流程、设备原理及运维核心要点,开展针对性技术培训,提升运维人员对工艺与设备的理解深度;定期组织实操技能训练,重点强化设备启停、参数调整、故障判断等关键操作的规范性,减少操作失误。其次,完善运维操作标准体系,制定覆盖巡检、维护、检修等全流程的操作规范,明确各环节的操作步骤、技术要求与质量标准,为操作行为提供明确指引;推行操作全过程管控,通过作业票制度、双人复核制度等,强化关键操作的监督与审核,避免单人操作带来的风险。再次,加强运维人员的状态监测与判断能力培养,通过案例分析、模拟演练等方式,提升对异常信号的识别与处置能力,确保隐患能够被及时发现与处置。此外,搭建运维人员能力评估体系,定期开展技能考核,将考核结果与岗位适配度挂钩,激励人员提升专业素养。

3.5 完善应急保障体系建设

以风险应急兜底为目标,构建科学完善的应急保障体系,提升突发风险的处置能力。首先,建立全面的风险评估机制,针对运维过程中的各类潜在风险,开展风险等级划分与危害后果预判,为应急预案制定提供依据;结合典型风险场景,制定针对性应急预案,明确应急响应流程、责任分工、处置措施及资源保障要求,确保预案的科学性与可操作性。其次,加强应急物资储备,根据风险类型配备应急封堵工具、防护装备、应急电源、消防器材等物资,定期开展物资盘点与维护,确保应急时能够有效调用;搭建应急通信保障系统,确保应急处置过程中信息传递畅通,实现各环节的协同配合。再次,定期组织应急演练,模拟设备故障、介质泄漏等典型风险场景,检验应急预案的可行性与运维人员的应急处置能

力,针对演练中发现的问题及时优化预案与提升人员能力。此外,建立风险处置后的复盘机制,对突发风险的诱发原因、处置过程进行全面分析,总结经验教训,持续优化应急保障体系与风险预防措施^[5]。

结语:空分装置运维风险的防控是保障工业生产连续性与安全性的关键环节,其风险类型复杂多样,诱发因素涉及设备、工艺、人员等多个维度,需构建全流程、多维度的预防体系。本文通过系统梳理空分装置运维中的典型风险,深入剖析风险诱发机理,从设备全生命周期管理、工艺系统优化调控、介质泄漏防控、操作管控提升及应急保障完善等方面提出了针对性预防措施。实践表明,通过上述措施的综合实施,可有效提升空分装置运维的可靠性,降低风险发生率。未来,随着智能化技术的发展,应进一步推动运维工作的智能化转型,通过智能监测、大数据分析等技术手段提升风险预判与防控的精准性,为空分装置的长期稳定高效运行提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1]郭震.煤化工空分装置运行问题和建议[J].中国设备工程,2023,28(09):88-90.
- [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]朱国民,王晓晖,秦剑.空分装置预冷系统低温垢形成原因及在线清洗[J].广东化工,2021,48(24):76-78.
- [4]黄永,陆大宝,靳小静.冷能空分装置运维风险分析与预防[J].石油石化物资采购,2023(10):40-42.
- [5]刘道科.大型内压缩流程空分装置水分冻结故障的分析与处理[J].有色冶金节能,2021,37(2):66-70.