

浅析大型煤化工空分的安全运行措施与管理

徐卫东 王 涛

浙江巴陵恒逸己内酰胺有限责任公司 浙江 杭州 311200

摘要: 大型煤化工空分装置是煤化工生产的核心配套设备,其安全稳定运行直接关乎整体生产效率与作业安全。本文阐述空分装置的基本原理、工艺流程及核心设备系统,深入分析物理性、化学性及操作管理类三大安全风险。从工艺设计优化、设备可靠性保障、智能技术应用及应急泄放设计等方面提出技术措施,同时构建标准化管理体系、强化人员培训、落实风险分级管控及规范承包商管理。通过技术与管理双重发力,为大型煤化工空分装置安全运行提供全方位支撑,降低事故风险。

关键词: 煤化工;空分装置;安全运行;风险管理;预防措施

引言:随着煤化工产业向大型化、集约化方向发展,空分装置作为提供氧气、氮气等关键介质的核心设备,运行工况愈发复杂,低温高压环境及介质特性使安全风险防控难度剧增。近年来,空分装置泄漏、爆炸等安全事故频发,不仅造成设备损坏,还威胁人员生命安全,影响产业有序发展。因此,厘清空分装置运行风险,构建科学完善的安全运行技术体系与管理策略,成为煤化工行业亟待解决的重要课题。本文结合空分装置运行特点,探析安全运行措施与管理方法,为行业实践提供参考。

1 大型煤化工空分装置概述

1.1 空分装置的基本原理与工艺流程

大型煤化工空分装置是煤化工生产的核心配套设备,核心原理是利用空气中各组分沸点差异,通过低温精馏实现氧气、氮气、氩气等气体的分离与提纯。其工艺流程涵盖原料空气过滤、压缩、预冷、纯化、精馏及产品储存输送六大环节。原料空气经空气过滤器去除粉尘杂质后,进入空气压缩机加压至指定压力,随后送入预冷系统冷却至接近露点温度,再通过纯化系统脱除水分、二氧化碳、碳氢化合物等有害杂质,避免后续设备堵塞或发生危险。纯化后的洁净空气进入主换热器降温,再送入精馏塔,在低温高压环境下,氧气与氮气因沸点不同逐步分离,氩气则通过副精馏塔进一步提纯^[1]。最终产出的高纯度氧气、氮气经增压后送往煤化工生产系统,满足气化、合成等工序需求,整套流程需严格控制温度、压力等参数,确保分离效率与运行安全。

1.2 空分装置的主要设备与系统

大型煤化工空分装置由核心设备与辅助系统构成,形成完整的气体分离体系。核心设备包括空气压缩机、预冷器、纯化器、主换热器、精馏塔及产品增压机。空气压缩

机多采用离心式,为整套装置提供稳定高压气源;预冷器通过冷却水与空气换热,实现气源降温;纯化器采用吸附剂吸附杂质,保障气源洁净度;主换热器负责热量交换,将空气冷却至精馏所需低温;精馏塔是分离核心,分为上塔、下塔及氩塔,完成组分分离;产品增压机用于提升产品气体压力,适配后续工序需求。辅助系统涵盖冷却水处理系统、仪控系统、安全泄放系统及公用工程系统,冷却水处理系统保障设备散热,仪控系统实时监测调控参数,安全泄放系统应对超压风险,公用工程系统提供水、电、气等支撑。各设备与系统协同运行,任一环节故障均可能影响装置整体稳定性。

2 空分装置安全运行的主要风险分析

2.1 物理性风险

空分装置运行中的物理性风险主要源于低温、高压工况及设备状态异常,是引发安全事故的重要诱因。低温风险体现在装置运行温度可达 -196°C ,液氧、液氮等低温介质若泄漏,会导致接触物体脆裂、人员冻伤,同时低温液体汽化体积急剧膨胀,易造成局部压力骤升。高压风险来自空气压缩、产品增压及精馏过程,系统压力若超过设备额定值,可能引发设备破裂、介质泄漏,甚至导致爆炸事故。此外,设备振动超标也是典型物理风险,离心式压缩机、增压机等高速旋转设备,若转子不平衡、轴承磨损,会产生剧烈振动,长期运行可能导致设备连接件松动、密封失效,进而引发介质泄漏。

2.2 化学性风险

化学性风险主要源于介质特性及杂质反应,直接威胁装置安全运行。空分装置中液氧具有强氧化性,若与油脂、碳氢化合物等可燃物质接触,会形成易燃易爆混合物,一旦遇到火源或局部过热,极易引发燃烧爆炸。原料空气中携带的碳氢化合物虽经纯化系统去除,但仍

可能微量残留,在精馏塔内富集,尤其是在液氧中积累到一定浓度时,会大幅提升爆炸风险。此外,装置停工检修时,若置换不彻底,系统内残留的氧气、氮气与空气混合,可能形成爆炸性混合气体,检修过程中的动火、敲击等操作易引发爆炸^[2]。同时,吸附剂老化、失效可能导致杂质穿透,与设备材质发生化学反应,造成设备腐蚀、脆化,降低设备强度,间接引发介质泄漏。

2.3 操作与管理风险

操作与管理风险贯穿装置运行全流程,多由人为失误与管理漏洞引发。操作层面,操作人员若未严格遵循操作规程,如参数调节过快、切换设备时流程失误、紧急情况处置不当等,会导致系统参数波动,引发设备连锁停机,甚至造成设备损坏与介质泄漏。管理层面,安全管理制度不健全、操作规程不完善,会导致操作行为缺乏规范约束;设备维护保养不到位,未定期开展巡检、校验,会使设备潜在故障无法及时发现,逐步恶化引发事故。同时岗位人员配置不合理、顶岗作业现象,以及操作人员安全技能不足、应急处置能力薄弱,会进一步放大风险。

3 空分装置安全运行的技术措施

3.1 工艺安全设计优化

工艺安全设计优化是从源头防控风险的核心手段,需结合装置规模与工况特点,提升流程稳定性与安全性。在精馏系统设计中,优化塔内结构,增加碳氢化合物监测点与排放口,定期排放液氧中的富集杂质,降低爆炸风险;采用分段精馏工艺,优化温度、压力参数匹配,减少系统波动。纯化系统设计时,选用高效吸附剂,增加吸附床层厚度,延长吸附周期,同时设置双重纯化回路,实现在线切换与再生,避免杂质穿透。主换热器设计采用高效换热材质,优化流道结构,降低热应力,同时设置温度差监测点,及时发现换热异常。优化工艺流程布局,将高温、高压设备与低温、易燃易爆介质设备分区布置,设置安全防护距离与防火防爆屏障;完善工艺管道设计,采用抗低温、抗腐蚀材质,合理设置膨胀节与支架,减少应力集中,从设计层面筑牢安全防线。

3.2 设备可靠性保障

设备可靠性保障需从设备选型、安装、维护全生命周期入手,提升设备运行稳定性。选型阶段,优先选用符合大型煤化工工况要求、质量达标、口碑良好的设备,尤其是核心设备如离心式压缩机、精馏塔,需进行严格的性能校核与风险评估,确保适配装置运行参数。安装过程中,严格执行安装规范,加强对设备连接部

位、密封件的安装质量管控,避免因安装偏差导致泄漏;对管道进行压力试验与气密性试验,排查安装隐患。维护阶段,建立设备全生命周期台账,制定定期维护保养计划,定期对压缩机轴承、密封件,精馏塔内件,阀门等关键部件进行检修、更换;采用状态监测技术,对设备振动、温度、压力等参数实时监测,预判设备潜在故障。加强设备备品备件管理,储备关键易损部件,缩短故障处置时间,保障设备连续稳定运行。

3.3 自动化与智能化技术应用

自动化与智能化技术应用可减少人为干预,提升风险防控的精准性与及时性。搭建全流程自动化控制系统,采用分布式控制系统(DCS)对装置温度、压力、流量、液位等关键参数实时采集、监测与调控,实现参数自动调节、设备连锁控制,当参数超标或设备异常时,系统自动触发报警并执行停机、切断介质等连锁动作,避免事故扩大。引入智能化监测技术,如设备振动在线监测系统、碳氢化合物在线分析仪、泄漏检测预警系统等,精准捕捉设备运行异常与介质泄漏信号,实现风险早发现、早处置。利用大数据与人工智能技术,对设备运行数据、故障记录进行分析,构建故障预判模型,提前识别设备潜在故障风险,优化维护保养计划。搭建智能化应急指挥平台,整合报警信号、现场视频、应急资源信息,实现应急处置的可视化、高效化,提升突发事件的处置能力^[3]。

3.4 应急处理与安全泄放设计

应急处理与安全泄放设计是应对突发风险、降低事故损失的关键环节。安全泄放系统设计方面,针对高压设备与管道,合理设置安全阀、爆破片等泄放装置,确保系统超压时能快速泄放介质,降低压力;泄放介质需引入专用回收或处理系统,避免低温介质直接排放引发冻伤,或可燃介质排放形成爆炸风险。应急处理系统需制定完善的应急流程,针对介质泄漏、火灾、设备故障等不同事故类型,设计专项应急处置方案,明确应急职责与操作步骤。配置充足的应急物资,如便携式泄漏检测仪、消防器材、应急救援装备、急救药品等,并定期开展物资检查与维护,确保其完好可用。同时设计应急隔离设施,如紧急切断阀,当发生泄漏事故时,可快速切断介质输送,防止事故蔓延。

4 空分装置安全运行的管理策略

4.1 标准化安全管理体系建设

标准化安全管理体系建设是规范运行行为、落实安全责任的基础。结合空分装置运行特点,依据相关法律法规与行业标准,构建涵盖风险管控、操作规范、维护

保养、应急处置等全流程的安全管理体系,明确各岗位安全职责,实现安全管理责任层层落实。制定完善的操作规程、维护规程、安全检查规程等标准化文件,规范操作人员与维护人员的行为,避免人为失误。建立安全管理考核机制,将安全工作纳入岗位绩效考核,对严格执行规程、防控风险成效显著的人员予以奖励,对违规操作、管理失职的予以问责,强化全员安全责任意识。定期对安全管理体系进行评审与优化,结合装置运行经验、事故案例及行业新技术、新标准,完善体系内容,确保体系适配装置运行需求,发挥其对安全运行的指导与约束作用。

4.2 人员培训与安全意识提升

人员是安全运行的核心要素,需通过系统化培训与宣传教育,提升全员安全技能与意识。制定分层分类培训计划,针对新员工开展岗前培训,涵盖装置原理、操作规程、安全风险、应急处置等内容,经考核合格后方可上岗;对在岗人员开展定期复训与专项培训,结合最新事故案例、新技术应用,更新培训内容,提升其应对复杂工况与突发事故的能力。开展实操培训,模拟设备故障、介质泄漏等场景,让操作人员熟练掌握应急处置流程与技能。加强安全宣传教育,通过安全例会、宣传栏、警示标识、安全知识竞赛等形式,普及安全知识,强化全员风险防范意识,杜绝麻痹大思想。建立人员技能档案,定期对操作人员技能水平进行评估,针对性开展短板提升培训,打造高素质安全管理与操作团队。

4.3 风险分级管控与隐患排查

风险分级管控与隐患排查是实现安全闭环管理的关键。开展全面的风险辨识,结合装置工艺流程、设备状态、操作行为等,识别物理性、化学性、管理性等各类风险,采用科学方法评估风险等级,划分为重大风险、较大风险、一般风险与低风险,建立风险台账,明确管控责任与措施。对重大风险实施重点管控,设置专项监测点,定期开展风险评估,优化管控措施;对一般风险与低风险强化日常管控,防止风险升级。建立常态化隐患排查机制,制定隐患排查清单,明确排查范围、频次与责任人员,开展日常排查、专项排查与综合排查,重点排查设备故障、操作违规、防护设施损坏等隐患。对排查发现的隐患,明确整改责任人、整改时限与整改措施,跟踪整改落实情况,整改完成后组织验收,形成

“辨识—评估—管控—排查—整改—验收”的闭环管理,持续降低安全风险。

4.4 承包商与外部协作管理

承包商与外部协作管理是防范外部风险、保障装置安全的重要环节。建立严格的承包商准入制度,对承包商的资质、业绩、安全管理体系、人员技能水平等进行严格审核,不符合要求的承包商严禁准入。与承包商签订专项安全协议,明确双方安全责任与义务,界定作业范围、作业流程与安全管控要求,要求承包商严格遵守装置安全管理规定^[4]。加强承包商作业过程管控,对承包商人员开展入场安全培训,告知其装置安全风险、作业禁忌与应急要求;指派专人对承包商作业进行全程监护,监督其作业行为,及时制止违规操作。同时,加强与外部协作单位的沟通协调,如公用工程供应商、应急救援机构等,建立联动机制,定期开展协同演练,确保供电、供水等外部配套系统稳定,突发事故时能及时获得外部支援。建立承包商评价机制,对承包商作业安全质量进行考核,优化承包商队伍。

结束语

大型煤化工空分装置安全运行是系统性工程,需兼顾技术防控与管理优化,形成全方位、全流程的风险管控格局。工艺优化与智能技术应用为安全运行提供技术支撑,标准化管理与人员能力提升筑牢管理防线,二者协同发力可有效规避各类安全风险。未来,需结合行业技术发展趋势,持续推进空分装置智能化升级与管理体系完善,加强风险预判与隐患治理,不断提升装置运行稳定性与安全性。唯有坚守安全底线,才能保障煤化工产业高效、绿色、可持续发展,实现经济效益与安全效益双赢。

参考文献

- [1]袁立志.常见危险气体危害及对煤化工空分装置安全的影响[J].工程技术(全文版),2022(8):34,56.
- [2]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.
- [3]及辉.化工空气分离装置的工艺优化和技术改进[J].化工管理,2021(11):159-160.
- [4]王大永.鄂尔多斯煤制油分公司空分装置低温液体膨胀机节能改造收益分析[J].内蒙古石油化工,2021,47(09):12-16.