

大型空分设备设计与安装质量控制分析

杨川宝

杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：大型空分设备是钢铁、化工等行业的核心装备，其设计与安装质量直接决定运行稳定性、产品纯度及安全性。本文基于全流程质量控制理念，结合相关规范与工程实践，系统分析设计、安装各阶段的质量控制要点，梳理常见质量隐患，提出针对性防控与解决措施，优化设计与安装的协同衔接，为提升设备质量、降低运行故障风险提供理论支撑与实践参考，助力行业实现装备国产化与高质量发展。

关键词：大型空分设备；设计；安装质量控制

引言：作为工业生产的“血液”，大型空分设备承担着分离空气、提供高纯度氧氮氩的关键任务，其质量关乎下游产业安全生产与效率提升。当前我国大型空分设备国产化进程加快，但设计参数偏差、安装焊接缺陷等问题仍影响设备运行。基于此，本文聚焦设计与安装全流程，深入剖析质量控制核心环节与关键措施，破解质量管控痛点，为行业工程实践提供指导，推动空分设备产业提质增效。

1 大型空分设备相关基础理论与技术概述

1.1 大型空分设备核心构成与工作原理

(1) 核心构成：涵盖动力系统、净化系统、制冷系统、热交换系统、精馏系统、产品输送系统及冷箱等关键部件。其中，冷箱是核心防护部件，可隔绝外界热量，为设备低温运行提供稳定环境，防止内部部件结霜影响效率；分子筛吸附器负责去除空气中的水分、二氧化碳等杂质，避免杂质堵塞管道、腐蚀设备，保障后续流程顺畅；主冷凝蒸发器是精馏系统的核心，实现氧气与氮气的冷凝、蒸发循环，推动精馏分离过程高效进行，直接决定产品纯度。(2) 工作原理：以深冷分离技术为核心，全程遵循热力学原理。首先通过动力系统对空气进行压缩，提升空气压力与温度；随后经预冷系统降温，再由净化系统去除杂质；接着进入制冷系统，将空气冷却至低温液态；之后液态空气进入精馏塔，通过热交换系统实现气液交替，利用氧、氮、氩的沸点差异，在精馏塔内反复精馏，最终分离出高纯度氧气、氮气及氩气，再通过产品输送系统将合格产品输送至指定地点^[1]。

1.2 大型空分设备设计与安装的核心要求

(1) 设计核心要求：需严格满足工艺参数精准性，确保产品纯度、产量等指标达标；保障设备运行稳定性，减少启停故障，延长设备使用寿命；注重节能性，

优化流程设计降低能耗；坚守安全性，符合GB50677-2011等相关规范，设置完善的安全防护装置；同时兼顾设备运输与安装可行性，合理拆分部件，便于现场组装。(2) 安装核心要求：安装过程中需确保设备定位精准，避免因偏差影响部件衔接；管道与设备连接可靠、密封严密，杜绝气体泄漏；严格控制焊接质量，重点检测关键接口焊接强度与密封性；冷态调试环节需逐步升温，监测设备运行参数，及时排查泄漏、偏流等隐患，确保设备安装后可稳定投入运行。

1.3 质量控制相关理论基础

(1) 质量控制核心内涵：围绕大型空分设备设计、安装全流程，建立完善的质量管控体系。通过制定明确的质量标准、规范操作流程，对各环节进行实时过程管控，定期开展隐患排查，及时发现并整改设计缺陷、安装问题，确保设备质量符合相关标准，降低设备运行期间的故障风险，保障设备长期稳定运行。(2) 全流程质量控制理念：强调将质量管控贯穿设计、采购、安装、调试各阶段，打破各环节壁垒，实现设计与安装的协同配合。设计阶段充分考虑安装可行性，安装阶段严格落实设计要求，采购环节把控零部件质量，调试阶段验证整体质量，形成“设计-采购-安装-调试”的质量闭环管理，全面提升设备整体质量。

2 大型空分设备设计阶段质量控制分析

2.1 设计前期准备阶段质量控制

(1) 设计参数调研与确认：设计前期需深入对接下游钢铁、化工、冶金等行业的实际生产需求，精准界定氧气、氮气、氩气等产品的产量、纯度、压力等核心参数，既要避免参数设定过高造成能耗冗余，也要防止参数偏低无法满足生产工况。同时，全面开展现场施工条件调研，详细核查场地尺寸、地质承载力、供电供水稳定性及设备运输路线等关键信息，将现场实际条件充分

融入设计方案,从源头杜绝参数设计与实际需求、施工条件脱节的问题,为后续设备安装调试和长期稳定运行筑牢基础^[2]。(2)设计标准与规范把控:严格遵循GB50677-2011《空分制氧设备安装工程施工与质量验收规范》,同时衔接行业内相关技术标准、安全规范及环保要求,明确设计工作的底线准则。在设备材料选型、结构布局、工艺流程设计等关键环节,严格对照规范要求开展工作,杜绝违规设计、侥幸设计,确保设计方案既符合安全运行、节能环保的核心要求,也能满足后续施工验收的标准,保障设备全生命周期的合规性。

2.2 核心系统设计质量控制

(1)精馏系统设计控制:精馏系统作为大型空分设备实现空气分离的核心单元,需重点优化精馏塔结构设计,合理确定塔径、塔高及塔内件布局,精准设计回流比参数,确保氧气与氮气的分离效率达到设计标准,有效防范氮气纯度不达标、氧气产量不足等质量问题。设计过程中,充分借鉴同类设备的运行数据,对设计参数进行反复核算、优化调整,兼顾分离效率与运行稳定性,满足下游行业对产品纯度的严苛要求。(2)制冷与热交换系统设计控制:聚焦冷量循环稳定性与节能性,合理设计冷箱结构,优化保温层厚度与材质选择,有效隔绝外界热量侵入,最大限度降低冷量损耗;科学设计板式换热器的换热面积、流道布局及运行参数,提升换热效率,确保冷量循环顺畅稳定。同时,融入节能设计理念,优化制冷系统的整体流程,降低设备运行能耗,实现环保与节能的双重目标,提升设备运行的经济性。

(3)净化系统设计控制:净化系统承担着去除空气中水分、二氧化碳、碳氢化合物等杂质的关键任务,直接影响后续系统的运行安全与产品纯度。设计过程中,优化分子筛吸附器的结构设计,明确吸附剂的选型标准、装填量及装填方式,合理设定吸附周期与再生流程,确保吸附效果达标,彻底去除空气中的有害杂质,避免杂质堵塞管道、腐蚀设备部件,为精馏、制冷等后续流程的顺畅运行提供可靠保障^[3]。

2.3 设计评审与优化改进

(1)设计评审流程:组建由设计、技术、施工、安全、经济等多领域专业人员构成的评审团队,对设计方案开展全面、系统的评审工作。评审重点围绕设计方案的可行性、安全性、经济性、节能性及与现场施工的适配性展开,着重核查关键部件设计的合理性、工艺流程的科学性,及时发现设计方案中存在的潜在缺陷,确保设计方案具备可落地性。(2)设计优化措施:针对评审过程中发现的设计缺陷、参数偏差及不合理之处,结合

国内大型空分设备国产化技术经验与工程实践案例,制定针对性的优化改进方案。对设计方案进行细化完善,修正设计图纸中的疏漏,补充关键细节说明,解决设计与实际工程脱节的问题。同时,加强设计团队内部的复核校验工作,确保优化后的设计方案贴合工程实际,全面提升设计质量。

2.4 设计阶段常见质量问题及防范措施

(1)常见质量问题:设计阶段易出现三大类质量隐患,一是设计参数偏差,与下游生产需求或现场施工条件不匹配,导致设备运行效率低下或无法正常安装;二是关键部件结构设计不合理,影响设备运行稳定性,易引发设备故障;三是设计与安装衔接不畅,设计过程中未充分考虑安装工艺与难点,导致后续安装工作受阻,甚至需要返工整改,增加施工成本与工期。(2)防范措施:建立完善的设计参数复核机制,安排专业人员对核心参数进行多次核算、校验,确保参数设定精准无误;加强设计团队与安装团队的前期沟通对接,提前预判安装难点,在设计中优化结构细节,保障设计与安装工作顺畅衔接;建立设计自查与互查机制,定期开展设计质量排查,及时发现并整改潜在问题,形成“调研-设计-复核-优化”的质量管控闭环,有效防范各类设计质量隐患^[4]。

3 大型空分设备安装阶段质量控制分析

3.1 安装前期准备阶段质量控制

(1)设备与材料进场检验:安装前期需严格执行设备、零部件及材料的进场检验制度,逐一核查进场物品的质量证明文件、合格证、检测报告等相关资料,确保资料齐全、真实有效。重点针对分子筛分布器等关键部件,仔细核对其材质、尺寸、开孔率等核心参数,确保与设计图纸要求完全一致,杜绝不合格产品、瑕疵部件进场。同时,对进场的设备和材料进行妥善存放,做好防潮、防尘、防腐蚀处理,避免因存放不当影响设备和材料质量,为后续安装工作奠定良好基础。(2)安装场地与人员准备:提前清理安装场地,平整场地地面,划分明确的作业区域,清除场地内的杂物、障碍物,确保安装作业空间充足、环境安全。根据安装需求,配备齐全专用施工设备,对施工设备进行全面检修、调试,确保设备性能良好、运行正常。对参与安装的施工人员进行专业培训,重点讲解安装规范、操作流程、质量标准及安全注意事项,考核合格后方可上岗作业,确保施工人员具备相应的操作资质和专业技能,能够规范完成安装任务。

3.2 关键部件安装质量控制

(1)冷箱安装控制:冷箱作为设备低温运行的核心

防护部件,安装过程中需严格控制定位精度,采用专业测量工具校准冷箱垂直度,避免出现偏移。重点把控冷箱焊接质量,规范焊接工艺,焊接后及时检查焊缝质量,确保焊缝饱满、无缺陷,密封性达标,严格遵循整装冷箱安装相关技术要求,防范冷箱运行过程中出现泄漏,影响设备整体运行效率。(2)分子筛吸附器安装控制:安装前先对吸附器筒体进行彻底清理,去除内部杂物、油污,避免杂质影响吸附效果。规范分子筛分布器的安装定位与固定密封,精准控制支撑圈水平度和分布器同轴度,确保分布器安装牢固、位置准确,保障后续气流分布均匀,避免因气流偏流导致吸附剂磨损、吸附效果下降,确保净化系统稳定运行。(3)管道与阀门安装控制:管道与阀门安装是防范泄漏的关键环节,需严格控制管道焊接质量,焊接过程中规范操作,焊接后对焊缝进行全面检查,确保焊缝无气孔、夹渣、裂纹等缺陷。规范阀门安装流程,确保阀门安装方向正确、连接紧密,安装后进行调试,检查阀门开关灵活性,防范管道泄漏、阀门卡涩等问题,保障介质输送顺畅^[5]。

3.3 安装过程中的过程管控与检测

(1)过程巡检:安排专业巡检人员对安装全过程进行常态化巡检,明确巡检频次和巡检重点,重点检查设备安装精度、部件连接可靠性、焊接质量及密封情况,及时发现安装过程中出现的偏差、缺陷等问题,并下达整改通知,跟踪整改落实情况,确保问题及时整改到位,避免小问题扩大为质量隐患,保障安装工作有序推进。(2)关键工序检测:针对焊接焊缝等关键工序,采用射线探伤、渗透检测等专业检测方法,对焊缝质量进行全面检测,确保焊缝质量符合相关规范要求;对设备和管道的密封性能进行气密性试验,通过加压、保压等方式,检测是否存在泄漏现象。所有检测工作需做好详细记录,留存检测报告,确保检测过程可追溯、检测结果真实可靠,为后续质量验收提供依据。

3.4 安装阶段常见质量问题及解决对策

(1)常见质量问题:结合空分冷箱泄漏事故案例中的问题类型,安装阶段常见的质量问题主要包括:焊接

质量不达标,焊缝存在气孔、夹渣等缺陷,易引发泄漏;设备定位偏差过大,影响部件衔接和设备运行稳定性;密封不严,导致冷箱、管道等部位出现泄漏;分子筛装填不均匀,造成气流分布不均,影响吸附净化效果,这些问题均会影响设备安装质量和后续运行安全。

(2)解决对策:针对上述常见质量问题,制定针对性解决对策:加强焊接人员技能培训和考核,规范焊接工艺,对焊接工序进行全程管控,确保焊接质量达标;采用精准定位设备和专业测量工具,提升设备安装定位精度,及时校正安装偏差;优化密封工艺,选用优质密封材料,规范密封操作,加强密封性能检测,杜绝泄漏隐患;制定规范的分子筛装填流程,明确装填要求和操作标准,安排专业人员监督装填过程,确保分子筛装填均匀;建立不合格工序返工机制,对检测不合格的工序及时进行返工处理,直至符合质量要求。

结束语

综上所述,大型空分设备设计与安装质量控制是一项系统性工程,需贯穿前期准备、核心实施到后期调试的全流程。设计阶段要严控参数与规范,安装阶段要强化部件与工序管控,同时注重各环节协同衔接。唯有建立完善的质量闭环管理体系,精准防控各类隐患,才能保障设备长期稳定高效运行,助力我国空分设备突破技术瓶颈,更好适配现代工业高质量发展需求。

参考文献

- [1]张益.苏苗印.李晶晶.PDMS在大型空分设备工程协同设计中的应用[J].浙江化工.2022.50(05):39-41.
- [2]余剑锋.大型空分设备设计及安装质量控制[J].石油工业技术监督.2021.34(03):27-29.
- [3]廖大铸.大型设备基础的设计与施工[J].工程建设与设计.2023,24(17):73-74+77.
- [4]展振忠.李思华.刘振红.大型空分装置设备安装总结[J].氮肥技术.2021.42(04):50-52.
- [5]李琪.大型空分设备节能减排技术分析和实践[J].机电信息.2024,12(36):69-70.