

# 大型空分设备安装及机械故障维修方法

乐 凯 徐世安 石 林  
杭氧集团股份有限公司 浙江 杭州 310014

**摘 要：**大型空分设备作为能源、化工等行业的核心装备，被称为“现代工业之肺”，其安装精度与故障维修水平直接决定生产连续性与安全性。本文阐述设备基本构成、技术特征及安装与维修核心要求，梳理安装全流程工艺要点，分析核心部件、辅助系统及系统级故障的类型与成因，提出针对性排查维修方法及运维优化策略，为设备规范安装、高效维修、安全稳定运行提供技术支撑，助力提升设备运维效率。

**关键词：**大型空分设备安装；机械故障；维修方法

引言：随着我国煤化工、冶金等行业快速发展，大型空分设备应用愈发广泛，尤其十万等级等大型设备国产化进程加快，其安全稳定运行成为保障工业生产的关键。该设备结构精密、运行工况严苛，低温高压下连续运转的特性，对安装工艺和故障处置能力提出极高要求。当前部分设备存在安装精度不足、故障频发等问题，影响生产效率，因此深入研究其安装工艺与故障维修方法，具有重要工程实践意义。

## 1 大型空分设备相关基础理论

### 1.1 大型空分设备的基本构成与工作原理

(1) 基本构成：核心部件有冷箱、透平膨胀机、离心式压缩机、精馏塔等，冷箱隔绝热量、维持低温，透平膨胀机提供制冷动力，离心式压缩机负责空气压缩，精馏塔是气体分离核心；辅助系统包括润滑、冷却、控制系统，分别保障转动部件运转、控制设备温度、实现全程自动化监控调节。(2) 工作原理：基于空气过滤、压缩与冷藏原理，先过滤空气除杂，经离心式压缩机加压、冷却系统降温后进入冷箱，借助透平膨胀机深度制冷使空气液化，再通过低温精馏技术，利用氧、氮、氩等气体沸点差异，在精馏塔内完成分离，提取高纯度气体资源，满足工业生产需求。

### 1.2 大型空分设备的核心技术特征

(1) 技术特性：具有结构精密、运行参数严苛、低温高压作业、连续性强等特点，设备各部件配合精度极高，运行时需维持稳定的低温高压环境，且需24小时连续运转，对安装精度和运维水平要求较高，任何环节出现偏差都可能影响设备正常运行。(2) 关键技术：包括整装制造与现场安装技术，保障设备整体性能与安装精度；低温绝热技术，减少冷量损耗；精馏分离技术，提升气体分离纯度与效率；故障监测与诊断技术，实现设备故障早发现、早处置，保障设备稳定运行<sup>[1]</sup>。

### 1.3 大型空分设备安装与故障维修的核心要求

(1) 安装核心要求：需严格满足精度要求、密封要求、低温适配要求，精准控制各部件安装偏差，做好密封处理防止冷量泄漏，适配低温环境保障部件性能；严格遵循危大工程专项施工方案，规范操作流程，保障安装过程安全可控。(2) 维修核心要求：遵循“预防为主、快速响应、精准处置、安全高效”原则，定期开展设备巡检与维护，提前排查隐患；故障发生后快速响应，精准定位故障点并处置，兼顾维修质量与生产效率，最大限度减少停机损失。

## 2 大型空分设备安装工艺与关键要点

### 2.1 安装前期准备工作

(1) 设备与材料检查：核对设备型号、规格与设计图纸一致，检查设备外观无损伤、零部件无缺失损坏；检验安装材料质量与适配性，核查合格证明，重点排查冷箱、透平膨胀机等核心部件的出厂检测报告，确认符合安装要求，杜绝不合格设备与材料投入使用。(2) 现场准备：清理场地、平整地面，保障施工通道畅通；搭建牢固脚手架，布置并调试符合载荷要求的吊装设备；完成现场水电部署，搭建安全防护设施、设置警示标识；对施工人员进行技术交底与安全培训，明确施工流程、技术要点及安全注意事项。(3) 技术准备：组织相关人员熟悉安装图纸与技术规范，明确各部件安装标准；编制专项安装方案，结合设备特性与现场条件，完善冷箱吊装、裸冷测试等危大工程施工流程，制定安全预案与应急处置措施，保障施工安全有序。

### 2.2 核心部件安装工艺

(1) 冷箱安装：根据设备制造模式，若为工厂整装冷箱，采用大型吊装设备一次性完成就位；若为现场组装，需按装配顺序逐段拼接，严控接口密封与组装精度。就位后，依次完成冷箱内部容器、管道、电仪设备的安

装固定,确保管线连接规范、电仪接线准确,最后进行冷箱外部防腐涂装,防止设备锈蚀。(2)透平膨胀机安装:安装前先调整设备基础水平,确保轴向与横向水平度符合设计要求;精准完成转子安装,进行转子悬浮试验,检查转子转动灵活性;仔细检查防松螺母的紧固性,做好密封处理,避免运行过程中出现松动、泄漏等问题,保障设备运行稳定性<sup>[2]</sup>。(3)离心式压缩机安装:严格控制转子动平衡精度,避免运行时产生振动;精准调整联轴器对中偏差,确保偏差在允许范围内;同步完成润滑系统与冷却系统的配套安装,检查油路、水路畅通无泄漏,调试润滑、冷却参数,确保设备运行参数达标。

### 2.3 安装过程质量控制与调试

(1)质量控制要点:安装全过程实时监测安装精度,重点检查各连接部位的紧固性、管道密封性能,采用专业工具检测密封效果,及时纠正安装偏差。同步做好安装过程记录,详细记录各环节安装参数、检测结果,确保安装过程可追溯,保障安装质量符合规范。(2)裸冷测试与调试:在冷箱未填充保温材料前,启动制冷系统进行低温运行测试,模拟设备实际运行工况,检查设备、管线无漏点、无变形;测试过程中完成冷态紧固,消除低温环境下的部件应力,确保主工艺流程贯通,为后续调试奠定基础。(3)系统联动调试:启动各核心部件,联动运行整个空分系统,实时监测压力、温度、流量等关键参数,对比设计标准优化调整运行状态;排查系统中的异常问题,及时整改,确保设备各项性能达到设计运行标准,满足工业生产需求<sup>[3]</sup>。

### 2.4 安装后期验收与移交

(1)验收标准:严格对照安装规范与设计要求,对设备安装质量、调试结果进行全面检测,重点核查冷箱、透平膨胀机等核心部件的运行性能,检查安装精度、密封效果、系统稳定性等关键指标,确保各项参数符合验收标准。(2)验收流程:按照“施工单位自检、监理单位复检、建设单位终检”的流程开展验收工作,施工单位完成自检并出具自检报告后,由监理单位进行复检,核查自检结果;最后由建设单位进行终检,出具正式验收报告,明确验收合格标准,对存在的问题提出整改要求并督促整改到位<sup>[4]</sup>。(3)资料移交:全面整理安装全过程资料,包括安装图纸、施工记录、调试报告、检测报告、验收报告等,按规范装订归档,完成与建设单位的正式移交,为设备后续的运维、检修提供完整的技术依据。

## 3 大型空分设备常见机械故障类型及成因分析

### 3.1 核心部件机械故障类型及成因

(1)透平膨胀机故障:常见转速表指示失准、风机

轮叶片摩擦、卡机等类型。转速表失准多由传感器故障或线路接触不良导致;叶片摩擦与螺母松动、转子动平衡偏移相关;卡机主要因操作不当、润滑油不足或异物进入设备内部造成。(2)离心式压缩机故障:主要有喘振、异常振动、轴承磨损。喘振源于负荷过低、防喘系统失灵或管路堵塞;异常振动因转子不平衡、联轴器对中偏差引发;轴承磨损则由长期润滑不足、转子偏移或杂质进入轴承间隙导致。(3)冷箱相关故障:包括管道泄漏、保温层破损、内部部件变形。管道泄漏因安装密封不严、低温下密封件老化所致;保温层破损多由外力碰撞或材料老化引起,会造成冷量损耗;内部部件变形与裸冷测试不彻底、低温应力未消除有关。

### 3.2 辅助系统机械故障类型及成因

(1)润滑系统故障:主要有润滑油泄漏、油质劣化、油路堵塞,润滑油泄漏源于密封件损坏或管路接口松动,油质劣化是维护不及时、油液长期使用未更换导致,油路堵塞则与油液过滤不达标、杂质堆积有关。(2)冷却系统故障:常见冷却效果下降、冷却水泄漏,冷却效果下降多因换热器结霜、管路堵塞,导致换热效率降低,冷却水泄漏则是冷却器损坏、管路老化或接口密封不严引发。(3)传动系统故障:表现为齿轮磨损、联轴器偏移、皮带打滑,齿轮磨损源于润滑不足或长期高负荷运行,联轴器偏移是安装精度不足导致,皮带打滑则与皮带老化、张力不足或传动部件偏移相关。

### 3.3 系统级恶性故障类型及成因

(1)氮塞故障:核心是氩馏分中氮气过量聚集,阻断精馏流程,成因包括主塔精馏异常、氩系统操作参数调整不当,以及外部工况波动干扰,导致氮气分离不彻底、大量进入氩馏分。(2)系统停机故障:设备突发停运,成因主要有核心部件严重损坏、安全保护装置触发,以及运行参数严重超标,如压力、温度异常超出允许范围,触发设备紧急停机保护。

### 3.4 故障成因汇总与关键影响因素

(1)成因汇总:归纳为安装质量、操作水平、维护保养、环境因素、设备老化五大类,安装质量影响设备基础稳定性,操作水平关乎运行参数合理性,维护保养不到位加速部件损耗,环境因素加剧材料老化,设备老化则是长期运行的必然结果。(2)关键影响因素:重点分析安装精度不足、日常维护不到位、操作不规范三大核心因素,三者均易诱发设备故障,其中安装精度不足为后续故障埋下隐患,维护和操作问题则直接导致故障频发,为后续维修与预防提供明确方向。

## 4 大型空分设备机械故障维修方法与运维优化

#### 4.1 故障排查的基本原则与方法

(1) 排查原则: 严格遵循“先判断类别、再定位节点、后精准处理”“先外部后内部、先简单后复杂”的核心原则, 优先区分故障属于核心部件、辅助系统还是系统级恶性故障, 再精准定位故障节点, 避免盲目拆解, 确保排查过程高效、准确, 减少设备二次损伤。(2) 排查方法: 常用方法包括感官排查法, 通过看设备外观、听运行异响、摸部件温度, 初步判断故障范围; 仪器检测法, 借助振动监测、温度监测、压力监测等专业设备, 精准获取运行参数, 定位隐性故障; 此外, 还可采用故障树分析法、频谱分析法, 梳理故障因果关系, 提升排查精度。

#### 4.2 常见机械故障的针对性维修方法

(1) 核心部件故障维修: 针对透平膨胀机卡机、转子失衡等故障, 先拆解设备清除异物、检查磨损部件, 更换损坏备件后进行动平衡校验; 离心式压缩机发生喘振时, 立即调整负荷、开启防喘阀应急处置, 再优化系统参数; 冷箱泄漏则采用专业查漏工具定位漏点, 更换密封件并进行密封测试, 确保无泄漏。(2) 辅助系统故障维修: 润滑系统故障需及时更换劣化油液、疏通堵塞油路, 更换损坏的密封件, 确保油路畅通; 冷却系统则通过除霜、清洗管路去除堵塞物, 维修或更换损坏的冷却器, 恢复冷却效果; 传动系统需调整联轴器偏移量、张紧皮带, 更换磨损的齿轮等部件, 保障传动稳定<sup>[5]</sup>。(3) 恶性故障应急维修: 氮塞故障按轻微、中度、严重分级处置, 严格遵循“先控氮系统、再调主塔、快速排氮、逐步恢复”原则, 避免故障扩大; 突发停机故障需紧急排查核心部件与安全保护装置, 快速定位故障原因, 完成维修后逐步重启设备, 确保恢复过程安全可控。

#### 4.3 维修质量控制与验收

(1) 维修过程控制: 规范维修操作流程, 严禁违规拆解, 严格把控备件质量, 杜绝不合格备件投入使用; 详细做好维修过程记录, 包括故障情况、维修步骤、备件更换信息, 确保维修环节可追溯, 符合技术规范要求。(2) 维修后调试与验收: 维修完成后, 先进行单机调试, 检测单

个部件运行状态, 再开展系统联动调试, 实时监测压力、温度等关键参数, 确认故障彻底消除, 设备运行稳定, 各项参数达到设计标准后, 方可完成验收。

#### 4.4 运维优化策略与故障预防措施

(1) 日常运维优化: 建立常态化定期巡检制度, 实时监测设备运行参数, 及时发现异常; 定期开展润滑、清洁、紧固等基础维护工作, 建立完整的设备运维档案, 详细记录运行及维护信息, 为后续运维提供依据。(2) 故障预防措施: 定期对透平膨胀机、压缩机等核心部件进行检测与保养, 优化操作流程, 规范操作人员操作行为; 加强操作人员技术培训, 提升操作与故障判断能力; 针对设备薄弱环节进行改进, 提前预判故障风险, 降低故障发生率。(3) 智能化运维升级: 引入在线状态监测系统, 实时采集设备运行数据, 实现故障提前预警与精准诊断, 缩短故障处置时间, 减少停机损失, 全面提升运维效率与设备运行可靠性。

#### 结束语

大型空分设备的安装与机械故障维修是一项系统性、精细化工程, 贯穿设备全生命周期, 直接关系工业生产的安全高效与能源利用效率。本文总结的安装工艺、故障成因及维修优化策略, 可有效指导工程实践, 减少安装隐患与故障发生率。未来需结合智能化技术升级运维模式, 优化安装与维修工艺, 推动设备向更高效、稳定、智能方向发展, 助力我国重大能源装备产业高质量发展。

#### 参考文献

- [1]郭炳伟.大型空分设备安装及机械故障维修方法[J].设备管理与维修,2022(4):46-47.
- [2]李琪.大型空分设备节能减排技术分析和实践[J].机电信息,2020(36):69-70.
- [3]张雷.大型煤化工空分技术及设备发展之研究[J].中国化工贸易,2021(11):59-60.
- [4]蔡斌.大型空分设备安装及机械故障维修方法研究[J].设备管理与维修,2021(2):32-33.
- [5]展振忠,李思华.大型空分装置设备安装总结[J].氮肥技术,2021,42(4):50-52.