

氧化铝溶出工序套管装配质量控制技术实践

张洪明 齐 祥 马发佑 姚 鹏 王杨洋 徐炳刚

中国华冶科工集团有限公司天津分公司 天津 300270

摘 要: 氧化铝溶出工序套管是高温高压强碱工况下的核心承压构件, 其装配质量直接影响生产线运行稳定性与生产效率。文章结合套管结构特性与装配工艺流程, 从物料配件、工装设备、人工操作、作业环境四个维度, 系统剖析装配施工中的各类质量影响因素, 针对性提出预处理、精准对位、密封固定、动态工序管控等核心质控技术, 搭建全流程标准化管控体系与隐患防控机制。常态化管控措施的落地, 可有效规避装配缺陷, 保障套管结构稳定性与工况适配性。

关键词: 氧化铝溶出; 套管装配; 精度控制; 质量管控; 密封工艺

引言: 氧化铝溶出是铝工业生产的关键核心工序, 套管设备作为介质输送与承压防护的核心构件, 长期服役于高温、高压、强碱性复杂工况, 对装配精度与结构可靠性有着严苛要求。现场装配作业受多类因素干扰, 易出现对位偏差、密封不严、结构松动等质量问题, 诱发设备渗漏、冲刷损坏等故障, 制约生产连续性。为解决现场装配质量波动问题, 依托实际施工场景梳理套管装配工艺体系, 深挖质量缺陷成因, 落实全流程质控技术与管理措施, 为现场装配施工提质增效提供实操支撑。

1 氧化铝溶出工序套管结构及装配工艺体系

1.1 溶出工序套管核心结构组成

氧化铝溶出工序套管是适配高温、高压、强碱性生产工况的核心承压构件, 整体采用分层组合结构, 可有效适应溶出生产的复杂运行环境。整套构件由外层防护套管、内层介质输送套管、端部连接端头与中间缓冲衬层四个关键部分构成。外层防护套管负责承载设备运行压力, 隔离外部结构与内部介质, 抵御生产过程中的机械碰撞和压力冲击。内层介质输送套管直接承接高温碱液的输送工作, 规整物料流动路径, 减少介质冲刷与渗漏问题^[1]。端部连接端头搭载标准化对接结构, 是套管安装对接的核心部位, 保障装配对接的基础精度。中间缓冲衬层布置于内外套管间隙, 缓解温度交替变化引发的结构形变, 减轻物料流动产生的振动, 维持套管整体结构稳定。

1.2 套管装配工艺流程梳理

套管装配作业拥有固定的作业流程, 整体分为前置处理、精准对位、固定安装、辅件配套四个核心阶段。作业初期对套管构件开展全面清理与外观检查, 清除表面附着杂质与氧化层, 筛查结构变形、开裂、破损等缺陷, 确保构件状态符合装配准入条件。预处理工作结束

后, 参照设备安装基准标定套管安装位置, 调节套管水平与垂直角度, 精准把控安装定位精度。定位工作完成后, 利用专用连接件完成套管主体对接与紧固作业, 保证连接部位严实牢固。主体装配工作结束后, 依次安装各类辅助配套构件, 规整整体安装结构。

1.3 套管装配作业核心技术要求

溶出套管装配作业围绕结构精度、连接密封性、工况适配性制定完善的工艺标准。施工过程中严控套管安装同轴度, 避免构件出现偏移、倾斜问题, 减少物料流动对管壁的局部冲刷。连接位置需保持致密状态, 消除装配缝隙与构件松动, 满足溶出工序高压密封的生产标准。套管安装成型后整体结构需保持平整稳固, 规避外力挤压造成的结构变形。安装姿态、紧固力度、对接精度等关键参数, 均需严格遵循既定工艺规范。现场装配作业依托专用工装设备开展, 降低人工操作带来的精度偏差。

1.4 装配工序关联作业衔接要点

套管装配属于工序衔接性较强的作业内容, 需要匹配前后生产环节的作业标准与施工节奏, 落实全流程衔接管控。提前完成构件检修、工装调试等前期准备工作, 为套管正式装配提供合格施工条件。套管主体装配工作结束后, 开展设备密闭处理、工况适配调试等后续作业, 保障生产工序有序流转。各施工环节统一精度标准与适配要求, 杜绝标准不一引发的施工问题。作业人员厘清各环节施工节点, 规范工序交接流程, 规避施工脱节引发的装配隐患。

2 氧化铝溶出套管装配质量影响因素分析

2.1 装配物料与配件适配影响因素

溶出套管装配所用主材与配套配件的自身状态, 直接决定装配成型后的整体质量。套管管材、密封件、紧

固构件的规格参数需要匹配设备设计标准。构件尺寸偏差、材质性能波动都会改变装配匹配状态。密封构件弹性性能、耐磨性能达不到生产要求,会让连接位置出现密封不严的问题^[2]。紧固配件硬度、规格存在偏差,会造成装配紧固力度不均,结构受力处于不均衡状态。物料配件的加工精度、表面状态、材质性能,会直接影响套管对接精度与连接紧密程度,是引发装配质量波动的基础性因素。

2.2 装配设备及工装工况影响因素

装配作业依托各类专用设备与工装器具完成,工具运行状态直接影响整体装配精度。定位工装出现磨损、形变会降低定位精准度,造成套管安装位置出现偏移。紧固设备精度异常会改变紧固力矩,导致结构紧固程度不达标。吊装、对位设备运行稳定性不足,会使套管安装产生角度偏差、位置偏移。各类工装长期使用会产生性能损耗与精度衰减,设备日常养护不到位、校准不及时,会大幅降低装配作业精度,诱发多项装配质量缺陷。

2.3 人工装配操作行为影响因素

现场人员的操作习惯与作业规范执行程度,是装配质量波动的核心人为来源。作业人员对装配工序流程、工艺标准的理解存在偏差,会导致对位、紧固、校准等关键步骤出现操作疏漏。作业过程中操作力度把控不均、安装姿态调整不到位,会造成套管同轴度、水平度出现偏差。人员细节管控意识薄弱,遗漏校准、复检等关键工序,会导致隐性装配缺陷留存于设备结构内部,降低整体装配质量。

2.4 现场作业环境条件影响因素

溶出车间的现场作业环境,从多维度干扰套管装配施工精度与质量。作业空间粉尘、杂物堆积,会污染密封接触面,破坏连接位置的密封性能。环境温度大幅波动,会引发金属构件微量形变,干扰套管对接精度。作业场地平整度不足,会改变工装摆放基准,间接造成套管安装偏差。潮湿、多尘的车间工况,会加速配件锈蚀、接触面污损,对套管装配精度与结构稳定性产生负面作用。

3 氧化铝溶出工序套管装配质量控制关键技术

3.1 装配前物料与工装预处理控制技术

装配前期预处理是把控套管装配质量的基础工序,主要针对各类装配物料、施工工装开展系统化处理作业。针对套管主材、密封垫片、紧固零件等物料,开展全面的外观清理与缺陷筛查工作,清除构件表面残留的灰尘、油污与氧化层,保持装配接触面洁净规整^[3]。对物料规格、外形尺寸开展逐一核对,剔除存在形变、磨

损、损伤的不合格构件,保障入场物料满足装配施工标准。针对各类定位、紧固、吊装工装,开展整机检查与精度调校,修复工装结构存在的轻微形变与卡顿问题,统一工装作业精度标准。落实工装清洁与防锈养护,规避杂质、锈蚀对装配精度造成干扰。

3.2 套管对位与对接装配精准控制技术

套管对位与对接是装配作业的核心工序,精度管控直接决定套管后续运行状态。依托标准化安装基准线开展定位作业,精准标定套管安装点位,规范套管水平、垂直安装姿态。借助专业工装辅助调校,缓慢微调套管位置与角度,修正安装过程中产生的偏移误差,保障套管整体同轴度符合工艺要求。对接作业遵循平稳缓慢的施工原则,规避硬性挤压、强行对接等不规范操作,防止套管端口、密封结构出现损伤。全程把控对接间隙与端口吻合状态,保持接口均匀规整,杜绝局部错位、单边缝隙过大等问题,有效降低装配偏差,规避设备运行介质冲刷、结构受力不均等故障隐患。

3.3 套管密封与固定装配管控技术

密封与固定施工决定套管装配后的密闭性能与结构稳定性,适配溶出工序高温高压的特殊工况。密封构件安装前需确认接触面洁净无杂质,按照规范位置平整布设密封配件,杜绝偏移、褶皱、挤压变形等安装问题。结合套管规格与工况要求把控紧固力度,均匀完成多点紧固作业,让密封面受力均匀,保障结构密闭性能。固定作业优先选用合规连接件,严格遵循标准施工流程,完成构件锁紧与固定作业。重点排查连接端口、法兰位置等关键部位,及时处理紧固松动、密封错位等施工问题,强化套管装配结构整体性与工况适配能力。

3.4 装配过程工序动态管控技术

动态工序管控贯穿套管装配全流程,实现各环节的质量闭环管理。依据装配工艺标准明确各道工序的施工要点与质量要求,规范现场人员操作方式。针对预处理、对位、对接、紧固、密封等关键工序,落实阶段性质量核查,及时识别施工偏差并完成整改。规范工序施工顺序,杜绝工序倒置、漏施、少施等违规作业行为。结合现场施工条件灵活调整作业方式,规避环境、设备状态带来的质量干扰。搭建常态化工序检查机制,细化各环节管控重点,压实各工序施工质量标准,有效排查隐性装配缺陷。

4 氧化铝溶出工序套管装配质量管控与实施

4.1 装配各工序质量管控节点设置

套管装配全流程需要设置分级质量管控节点,实现各施工环节的精准把控。结合装配作业流程,在物料进

场、工装调试、套管对位、密封安装、结构紧固等关键环节设立专属管控点位。明确每个节点的检查内容与管控标准,细化施工质量核查重点。物料进场节点重点筛查构件外观、规格及完好状态,从源头拦截不合格物料投入使用^[4]。工装调节点聚焦设备精度与运行状态,消除器具偏差带来的装配问题。现场装配节点重点监测对位精度、对接间隙、紧固状态等核心指标。节点化管控模式可以锁定各环节质量责任,让质量检查工作具备明确指向,提升整套装配作业的可控程度。

4.2 装配作业标准化管控流程搭建

标准化流程是稳定套管装配质量的核心支撑,可规范现场各类施工行为。结合溶出工序生产特性与装配工艺要求,梳理形成完整的标准化作业流程体系。明确各道工序的施工步骤、操作规范与质量标准,统一现场作业执行依据。细化工装使用方式、构件安装顺序、精度调校方法等实操内容,减少人为操作带来的质量波动。梳理工序交接的规范要求,明确作业完成后的核查流程。整套流程覆盖装配施工全环节,为现场作业提供统一执行标准,规避随意化施工带来的装配缺陷,持续规范现场装配作业秩序。

4.3 装配质量隐患预判与防控机制

溶出套管装配过程中,精度偏差、密封失效、结构松动是现场最为常见的质量问题,这类问题大多可通过前置排查实现有效规避。结合历年现场施工积累的故障案例,梳理各类装配缺陷的产生规律,深度拆解问题形成的底层原因。套管对位偏差多源于工装精度偏移、基准标定不准,密封失效大多是接触面清洁不到位、密封件安装变形,结构松动则是紧固力度不均、点位紧固遗漏导致。针对各类高频质量隐患,制定对应的前置防控手段,把问题治理重心从事后整改转移至事前预防。施工前组织作业人员开展风险排查,全面检查物料状态、工装精度与作业环境,提前清除各类施工风险。施工过程中同步开展动态排查,重点关注接口密封、同轴度、紧固状态等关键内容,及时纠正不规范施工行为。前置排查与过程管控相结合的模式,能够有效降低装配缺陷发生率,提升套管装配结构的运行可靠性。

4.4 装配作业质量常态化管控措施

套管装配属于持续性现场作业,短期的质量管控无

法满足生产线长期稳定运行的需求,必须建立常态化的质量管控体系。日常施工过程中,落实常态化现场巡检工作,安排专人跟进装配全流程,重点监督关键工序的施工过程,及时纠正不规范的操作行为。定期对各类施工工装、装配设备开展精度校验与日常养护,及时更换磨损老化的零部件,维持设备与工装的稳定作业性能,避免设备精度衰减引发质量问题。定期组织作业人员开展工艺培训,讲解装配标准、施工要点与质量禁忌,提升一线人员的专业能力与质量意识^[5]。细化日常施工管控细则,将精度把控、隐患排查、规范操作、设备养护等内容融入日常施工管理。长期落地常态化管控举措,能够有效杜绝重复性、常态化装配质量问题,持续保障套管装配质量稳定达标,适配溶出工序连续化、规模化的生产模式。

结束语

通过梳理氧化铝溶出套管装配的完整工艺体系,逐项拆解各类影响装配质量的关键因素,针对性形成从前期预处理、中期精准施工到后期常态化管控的全套质控技术手段。多维度的隐患防控与标准化管理模式,可有效解决现场装配存在的精度偏差、密封不良、结构不稳等常见问题。整套技术方案贴合工业生产实际,能够切实提升套管装配的整体质量与运行可靠性,保障氧化铝溶出工序持续稳定开展。

参考文献

- [1]郑晨,王湘宁,苑贺楠,等.氧化铝纤维增强二氧化硅复合材料力学性能失效研究[J].无机材料学报,2026,41(3):331-339.
- [2]刘莉娜,阳志洪,倪阳.湿式氧化法在氧化铝溶出及制备铬酸钠溶液中的应用[J].现代化工,2026,46(z1):316-320.
- [3]李婷,李红强,赖学军,等.氧化铝高填充导热有机硅凝胶的制备及流变行为研究[J].有机硅材料,2026,40(1):23-28.
- [4]刘思遥,陈星宇,李江涛,等.粉煤灰资源化:氧化铝回收研究进展[J].中南大学学报(自然科学版),2025,56(8):3089-3103.
- [5]方双,李勇刚,韩洁,等.面向节能降耗的氧化铝蒸发过程优化研究综述[J].化工学报,2026,77(3):1077-1094.