

Problems and Countermeasures of Process Pipeline Installation and Construction in Chemical Engineering

Jia Wang Hong Wei

1. China Petroleum 6th Construction Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 541000, China
2. China Petroleum 6th Construction Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 541000, China

Abstract

In chemical engineering, process pipeline systems function akin to the vascular network of the human body, where installation quality directly determines the safety, stability, and long-term operational reliability of entire production facilities. This paper systematically examines key challenges encountered throughout the entire process of process pipeline installation and proposes comprehensive solutions. It first elucidates the fundamental principles of pipeline installation and its critical importance in chemical engineering. Subsequently, it analyzes typical deficiencies and challenges across various stages—from material management and welding quality control to on-site installation. By integrating these systematic solutions, the study aims to provide theoretical insights and practical guidance for enhancing overall quality and safety standards in chemical engineering pipeline installation practices in China.

Keywords

chemical engineering; process pipeline; installation and construction; quality control; welding technology; non-destructive testing

化工工程中工艺管道安装施工的问题与对策

王贾 韦宏

1. 中国石油天然气第六建设有限公司, 中国·陕西 汉中 723303
2. 中国石油天然气第六建设有限公司, 中国·甘肃 定西 730500

摘要

化工工程中, 工艺管道系统犹如人体的血管网络, 其安装施工质量直接关系到整个生产装置的安全、稳定与长周期运行。本文旨在系统探讨工艺管道安装施工过程中存在的关键性问题, 并针对性提出综合性的解决对策。文章首先阐释了工艺管道安装施工的核心内涵及其在化工工程中的极端重要性。随后, 深入剖析了从材料管理、焊接质量控制到现场安装等多个环节暴露出的典型弊端与挑战。通过对这些系统性对策的集成与实施, 旨在为提升我国化工工程工艺管道安装施工的整体质量与安全水平提供理论参考与实践指引。

关键词

化工工程; 工艺管道; 安装施工; 质量控制; 焊接技术; 无损检测

1 引言

化工产业作为国民经济的重要支柱, 其生产装置日益朝着规模化、复杂化与高参数化方向发展。工艺管道作为连接各类反应器、塔器、换热器等静设备及动设备的脉络, 承担着输送高温、高压、易燃、易爆、有毒及腐蚀性介质的关键任务。其安装施工并非简单的管道连接作业, 而是一项融合了材料科学、焊接技术、力学计算、质量控制与项目管理的综合性系统工程。施工过程中的任何细微疏漏, 都可能成为潜在的安全隐患, 引发介质泄漏、火灾爆炸甚至灾难性事故, 造成巨大的人员伤亡、财产损失与环境污染。因此, 深入识别工艺管道安装施工各阶段存在的深层次问题, 并研究

制定科学、严谨、可执行的对策, 对于保障化工装置的本质安全、实现稳定高效生产具有至关重要的现实意义。本文即立足于此, 展开系统性的论述与分析。

2 工艺管道安装施工的核心要义

2.1 工艺管道系统的功能架构解析

工艺管道系统在化工装置中构成了复杂的立体网络, 其功能远不止于介质输送。它需精确实现工艺流程所要求的流量分配、压力平衡、温度控制及相态转变。从架构上解析, 一个完整的工艺管道系统包含管道元件、管件、阀门、支架、隔热层及防腐层等多个组成部分。这些组成部分需根据介质特性、操作条件及环境因素进行精准选型与设计。管道本身需承受内压、外载、热应力及振动载荷; 阀门作为控制枢纽, 其密封性能与调节精度至关重要; 支架体系则需有效约束管道位移, 合理分配应力。因此, 安装施工的本质,

【作者简介】王贾(1997-), 男, 中国陕西汉中, 本科, 助理工程师, 从事工艺与结构技术研究。

是将设计图纸上的静态参数与力学模型,通过一系列工艺手段,转化为现场空间中具有特定功能、满足安全运行要求的实体结构,这一转化过程的精确性与可靠性是安装施工的核心追求。

2.2 安装施工质量对工程安全的基础影响

安装施工质量是决定工艺管道系统能否实现其设计功能、保障长期安全运行的基石。质量缺陷具有隐蔽性、累积性与突发性的特点。一道存在未熔合或裂纹的焊缝,在静水压试验时可能不会暴露,但在交变热应力或腐蚀环境的长期作用下,可能逐渐扩展导致失效。一个不符合标准的法兰连接紧固作业,可能引发垫片密封失效和介质慢性泄漏。管道支架安装位置偏差或选型不当,可能使管道系统产生非设计预期的附加应力,加速疲劳损伤。

3 工艺管道安装施工的关键挑战

3.1 材料设备选型与检验环节的典型弊端

材料与设备的源头质量控制是安装施工的第一道关口,然而在此环节常出现系统性弊端。首要问题是材料管理混乱,存在以次充好、规格代用、标识不清或丢失的现象。例如,不锈钢材料与碳钢材料混放导致误用,管道或阀门材质与设计规定不符。其次,入场检验流于形式,缺乏系统性的验收程序。对管道、管件、阀门及焊材的材质证明文件审查不严,对实物进行的光谱分析、尺寸测量、无损抽检等未能全面覆盖或深度不足,使得有缺陷的材料流入施工现场。

3.2 焊接作业过程的质量控制缺失

焊接是工艺管道安装中技术含量最高、质量影响最大的工序,其质量控制缺失问题尤为突出。焊工资质管理存在漏洞,持证焊工能力与工程实际要求不匹配,或存在人证不一、超项目范围施焊的情况。焊接工艺评定未能有效指导生产,工艺规程编制脱离现场实际条件,或未能被焊工严格执行,存在随意改变焊接参数、预热及层间温度控制不当等问题。焊接过程监控薄弱,焊工自检、班组互检未能有效落实,质量检查人员对坡口处理、组对间隙、清洁度等关键点检查不到位。焊后热处理工艺执行不规范,升温速率、保温温度与时间、降温速率控制不精确,影响了焊缝残余应力的消除效果与力学性能。

3.3 施工安装阶段的精细化管理不足

现场安装施工是多工种、多工序交叉作业的复杂过程,精细化管理不足导致诸多问题。管道预制精度差,在加工厂进行的管道切割、坡口加工、弯管制作等尺寸控制不严,导致现场组对困难,强行组对产生过大安装应力。管道安装空间协调冲突,由于设计深度不足或各专业施工图会审不彻底,工艺管道与电气桥架、仪表管线、结构梁柱等在空间上发生碰撞,现场被迫进行大量修改,影响安装质量与进度。支架安装不规范,支架类型选择错误、安装位置偏移、焊接不牢或滑动支架卡死,未能起到有效支撑与导向作用。法兰

连接质量控制松懈,螺栓紧固未采用对称交叉拧紧法,紧固力矩不均匀,导致法兰面偏斜、垫片压紧力不足。清洁与保护意识淡薄,管道内部在安装过程中落入杂物,安装后的管道开口未及时封闭,管道外防腐层在施工中被破坏^[1]。

4 面向卓越绩效的工艺管道安装施工质量提升综合对策体系

4.1 构建基于唯一标识与区块链理念的全生命周期材料可追溯管理体系

革新材料管理,必须从传统的仓储保管升级为以数据驱动、全过程可追溯的智能资产管理。核心是实施材料的唯一性标识编码,该编码应在材料生产时即由供应商赋予,并贯穿于工厂监造、入场复验、仓储管理、车间预制、现场安装直至最终管线号的整个链条。标识载体应兼具耐久性与可机读性。在此基础上,构建材料大数据平台,集成供应商信息、材质证书、复验报告、存放位置、领用记录、最终使用位置等全维度信息。探索应用区块链技术存证关键质量文件,确保数据不可篡改、易于共享与审计。入场检验须采用基于风险分析的抽样统计方法,对高风险材料如合金钢、高压临氢管道元件实施全检,并综合运用光谱仪、测厚仪、硬度计、内窥镜等多种工具进行多维验证^[2]。

4.2 推行焊接工艺标准化、人员能力认证与过程数字化监控的深度融合

将焊接质量的控制从对结果的检验前移至对过程和能力的全面管理。首先,推动焊接工艺的极致标准化。不仅要要求焊接工艺评定覆盖全面,更要编制极度细化、图文并茂的焊接作业指导书,将坡口型式、清洁工具、焊接参数范围、层道排列、温度测量点位置等全部可视化、量化,使任何合格焊工都能按同一标准执行。其次,建立动态的焊工能力认证与绩效档案。焊工入场考试必须模拟工程实际最苛刻的工况,考试试件需进行无损检测和力学性能试验双重考核。为每位焊工建立包含资质、考试记录、历年拍片合格率、违规记录等在内的电子档案,并与其焊工代号绑定,实现基于数据的焊工能力评估与分级使用。最后,强制推行焊接过程参数的数字化采集与监控。在重要管道焊接中,为焊机加装数据记录模块,实时采集并上传电流、电压、送丝速度、焊接速度、热输入等参数,并与工艺规程窗口进行自动比对、报警。管理者可通过云端平台远程监督现场焊接过程合规性,使焊接从“黑箱操作”变为“透明工艺”,为质量分析、工艺优化和人员培训提供宝贵的大数据资源^[3]。

4.3 实施以数字化孪生与模块化建造为核心的安装精细化流程再造

利用现代信息技术对传统安装流程进行根本性重构。首要任务是创建施工阶段的管道数字化孪生模型。在详细设计模型基础上,集成采购材料数据、预制加工数据、焊接记录数据、检验数据等,形成与物理安装同步生长的“数字线

程”。该模型可用于：进行虚拟安装模拟，优化安装顺序和空间路径；指导现场采用增强现实技术进行管道对位和支架放样，提高精度；实时监控安装进度与质量状态。大力推进深度模块化建造，将管道系统分解为可在预制厂内完成焊接、检验、保温、涂装乃至部分仪表安装的“功能模块”，然后将这些高质量、高完整度的模块运至现场进行“乐高式”组装。这不仅极大提升了质量一致性和清洁度，也减少了高空作业和恶劣环境下的工作量。制定并强制执行管道支架的专项施工方案与检查表，对每个支架的类型、位置、焊接质量、标高进行百分百检查并记录。法兰连接作业推行“标准化作业包”管理，为每个法兰连接点配备规定型号和数量的螺栓、垫片，以及标定好的液压扭矩扳手或螺栓拉伸器，由经过专门培训的班组按既定程序施工，并采用超声波螺栓应力测量等技术进行抽检复核，确保紧固均匀性。

4.4 深化先进无损检测技术的集成化应用与基于风险的检测策略优化

将无损检测从一种事后验证工具，提升为贯穿制造、安装、在役检查全过程的质量决策支持系统。必须推动检测技术的升级换代，在常规射线和超声波检测基础上，大力推广相控阵超声波检测、衍射时差法超声波检测、数字射线成像、导波检测等先进技术。这些技术具有更高的缺陷检出率、更精确的定量能力和数字化的数据结果，便于存储、分析和对比。基于管道系统的风险等级，制定差异化的、科学的检测策略。运用风险分析矩阵，综合考虑介质危害性、失效后果、管道应力水平和以往失效经验，动态确定不同区域焊缝的检测比例、方法和时机。所有检测数据连同管道孪生模型、材料数据、焊接数据一并归档，形成该管道焊缝的“终身健康数字档案”，为预测性维护和寿命周期管理提供核心依据。

4.5 完善系统性的压力试验程序与投运前完整性保障综合验证

压力试验不应被视为孤立的、最后的“一锤子买卖”，而应作为整个施工质量链条的最终集成验证环节，并融入更广泛的投运前完整性保障程序。试验前，必须成立跨专业的试验委员会，编制堪比军事行动方案的详细试验计划，该计划需经过严格的 HAZOP 或 JSA 安全分析。计划中应清晰界定试验系统边界，绘制试验系统图，明确每一个隔离点的位

置与责任人，制定升压曲线、稳压时间、检查路线、应急响应预案。试验介质的选择需审慎评估，优先考虑水压试验，若必须采用气压试验，则必须进行爆炸当量计算，划定严格的安全警戒区，采用远程监控与自动控制系统。试验过程中，除了监控压力，还应部署应变片、振动传感器等监测管道系统的整体结构响应。稳压期间的检查必须系统化、表格化，检查人员需配备强光手电、检漏液、听音棒等工具，对每一处潜在泄漏点进行地毯式排查。试验成功后，需编制完整的压力试验报告，记录所有关键数据、检查结果和参与人员。

5 结语

工艺管道安装施工，这门深植于化工工程腹地的专业技艺，其现代化演进之路，正是我国从化工大国迈向化工强国进程中，必须攻克的质量堡垒与安全关隘。本文所揭示的问题，折射出的是在快速工业化背景下，规模扩张与精细管理、成本控制与本质安全、传统经验与现代科技之间尚存的张力。而所提出的对策体系，则试图描绘一条通过系统性思维、数字化工具和标准化实践来化解这些张力的路径。它强调从材料的“基因管理”到焊接的“过程透明化”，从安装的“数字孪生驱动”到检测的“风险智慧决策”，最终汇集投运前的“完整性综合验证”，构建一个层层递进、环环相扣的质量防御纵深。这不仅仅是一系列技术与管理方法的堆砌，更是一种工程文化的倡导：即倡导一种对质量细节近乎偏执的敬畏，对科学规程坚定不移的恪守，以及对数据价值深刻认知的理性精神。唯有将这种文化内化于组织、固化于流程、外化于行动，工艺管道安装施工才能真正摆脱“低端作业”的窠臼，晋升为确保化工装置安、稳、长、满、优运行的卓越工程实践，为我国化工产业的高质量与可持续发展，铸就最为坚韧可靠的物理基石。这条路任重道远，但方向已然清晰，征程始于足下。

参考文献

- [1] 董泽义,张艳军.石油化工工程中工艺管道安装施工存在的问题与对策[J].中国化工贸易, 2025(13):77-79.
- [2] 佟赫,贯士国.石油化工工程中工艺管道安装施工存在的问题与对策[J].葡萄酒, 2024(14):0166-0168.
- [3] 董祥健.石油化工工程中工艺管道安装施工存在的问题与对策[J].葡萄酒, 2024(11):0034-0036.