

电子化学品用危险介质管道施工的研究

张文安 (中国电子系统工程第四建设有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 电子化学品用危险介质管道施工涉及复杂的工艺要求与安全标准, 对施工技术水平提出严格考验。针对施工过程中的材料选型与安装工艺及检测方法等关键技术问题开展系统研究, 建立了完整的施工质量评价体系。研究表明, 采用新型复合防腐材料能提升管道使用性能, 改进的自动焊接工艺确保了接口质量, 配套的压力测试方案保证了系统密封性能。研究成果为危险介质管道施工质量控制提供了技术支撑, 在工程实践中展现出良好的应用前景。

关键词: 电子化学品; 危险介质; 管道施工; 施工工艺; 质量控制

中图分类号: TQ055.8; TU990.3 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 024-0163-03

Research on the Construction of Hazardous Medium Pipelines for Electronic Chemicals

Zhang Wen'an (China Electronic System Engineering No.4 Construction Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050000, China)

Abstract: The construction of hazardous medium pipelines for electronic chemicals involves complex process requirements and safety standards, which poses strict challenges to the construction technical level. This paper carries out a systematic study on key technical issues in the construction process, such as material selection, installation technology, and detection methods, and establishes a complete construction quality evaluation system. The research shows that the use of new composite anti-corrosion materials can improve the service performance of pipelines, the improved automatic welding process ensures the quality of interfaces, and the supporting pressure test scheme guarantees the sealing performance of the system. The research results provide technical support for the quality control of hazardous medium pipeline construction and show good application prospects in engineering practice.

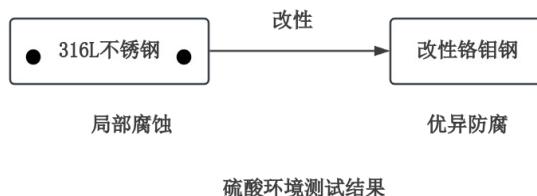
Keywords: electronic chemicals; hazardous media; pipeline construction; construction technology; quality control

电子化学品生产工艺里用的危险介质种类特别多, 涵盖强酸与强碱及有机溶剂等化学物质, 这些介质具备强腐蚀性与易燃易爆等显著特点, 对输送管道系统提出了极其严格的相关要求。管道施工质量直接关联着生产安全与产品品质, 属于确保电子化学品安全生产的关键重要环节, 现阶段管道施工技术存在材料耐腐蚀性能不足与施工标准不统一及质量控制体系不完善等系列问题。针对施工过程中的技术难点开展系统性研究, 对提升危险介质管道施工水平与保障电子化学品生产安全有着重要意义。

1 危险介质管道材料性能分析

针对电子化学品生产时所用强酸强碱有机溶剂等危险介质, 开展管道材料适用性研究是至关重要的事情^[1]。实验选取不锈钢与铬钼合金钢及聚四氟乙烯等多种管材进行对比测试, 重点考察材料在不同危险介质环境下的耐腐蚀性能, 通过电化学腐蚀实验发现316L不锈钢在硫酸环境中出现局部腐蚀现象(见图1), 而经过表面处理改性后的铬钼合金钢表现出优异的耐腐蚀性能, 承压性能测试结果显示, 改性后的铬钼合金钢在120℃高温条件下仍能保持良好的机械强度。针对管道外壁防腐要求, 采用环氧树脂基复合材料进

行防腐层设计, 实验证实该材料具备优异的附着力与耐候性, 该研究在材料选型方面建立了系统的评价体系, 确定了不同运行工况下最适宜的管材选型方案, 为危险介质管道施工工艺优化提供了重要依据, 对提升管道施工质量具有重要指导意义。



316L: 出现局部腐蚀
改性钢: 表现优异

图1 管道材料耐腐蚀性能对比

2 管道安装施工工艺

2.1 管道预制加工工艺

电子化学品用危险介质管道预制加工是施工质量控制首要关键环节(图2)。管道预制过程运用数控切割技术来确保管段切割尺寸精度达 $\pm 0.5\text{mm}$, 预制前要对管材开展超声波探伤检测以剔除存在夹杂裂纹等缺陷管段, 管道组对使用专用定位工装并通过激光定位仪保证管段同轴度偏差控制在0.2mm以内, 管道

坡口加工采用自动行走式坡口机让加工后坡口角度保持在 $32^\circ \pm 1^\circ$ 且钝边尺寸控制在 $1.6\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。对于不锈钢管道预制需在充满氮气环境下进行背面保护焊接且焊接电流控制在 $90 - 110\text{A}$ 及焊接速度维持在 $80 - 100\text{mm/min}$ 以确保焊缝成型美观内壁平整，预制加工现场要配备防静电装置且接地电阻不大于 4Ω 、工作环境温度维持在 $5 - 35^\circ\text{C}$ 、相对湿度控制在 65% 以下。管道预制完成之后采用数字射线检测技术对焊缝质量进行检验，对于出现气孔夹渣等缺陷需及时进行返修处理，以确保预制管段整体质量满足设计要求。

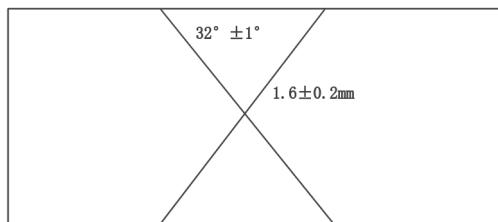


图 2 管道坡口加工示意图

2.2 管道安装定位技术

危险介质管道安装定位技术直接影响管道系统的安全运行^[2]。管道安装采用三维激光扫描技术建立施工场地三维模型，结合管道应力分析确定最优支架位置，管道定位采用激光跟踪仪进行实时监测，通过多点定位计算管道中心线偏差。支架安装位置偏差控制采用如下计算公式：

$$\delta = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \leq 2\text{mm} \quad (1)$$

式中： δ 为支架安装总偏差， Δx 、 Δy 、 Δz 分别为三个方向的位移偏差。在管道安装的过程当中采用液压同步顶升系统来进行标高调整，把每个支撑点的调整精度严格控制在正负 0.5mm 范围。针对温度敏感的区域要设置热位移补偿器并且在管道支架上安装位移监测传感器，从而实时监控管道热胀冷缩的状态，管道在安装之前需要开展应力分析以确定管道热胀冷缩的具体量，进而合理设置补偿器的位置以及预拉伸量。弹簧支吊架的选型需要综合考虑管道工作温度以及介质比重等诸多因素，同时要对每组弹簧支吊架开展载荷试验以确保其刚度达到设计要求^[3]。

2.3 管道连接施工要点

管道连接是确保系统密封性能的关键工序。不同管径和材质的连接方式选用如下表 1。

承插焊接口要采用背面氩气保护措施，焊缝成型

之后需进行着色检查工作，以此确保背面焊道呈现出银白色状态。对接焊接要采用窄间隙自动焊技术手段，焊接过程当中严格控制层间温度不超 150°C ，焊后要对其进行 100% 射线检测操作，法兰连接需采用专用扭矩扳手来进行紧固，紧固力矩要按照设计要求进行分级递进，并且采用交叉对称顺序完成紧固作业。特殊部位要采用金属缠绕式垫片来开展连接，垫片选用内外环材质 316L 与填料材质膨胀石墨的复合结构，管道连接完成之后需要进行系统试压操作，试压介质根据工艺要求选用氮气或者去离子水，试压压力按照设计压力的 1.5 倍来进行加载，持压时间不少于 30 分钟以确保连接处零泄漏。

3 管道系统检测技术

3.1 管道焊缝检测方法

电子化学品用危险介质管道焊缝检测采用多重检测手段确保施工质量^[4]。射线检测采用数字成像技术，对焊缝成像质量按照如下公式进行评定：

$$IQI = \frac{h_1 - h_2}{d \cdot t} \times 100\% \quad (2)$$

式中：IQI 为像质计敏感度， h_1 为透射厚度， h_2 为最小可识别丝径厚度， d 为焊缝宽度， t 为管壁厚度。射线检测在整个过程当中采用双膜曝光技术并且通过数字图像增强处理来提高缺陷识别率，超声波检测运用相控阵技术探头频率选择范围为 $2 - 5\text{MHz}$ 扫查灵敏度校准采用 V2 级对比试块。依据检测数据建立起焊缝三维成像模型利用计算机辅助分析系统对焊缝内部缺陷做定量评估，针对特殊部位的焊缝还需要额外采用衍射时差法 (TOFD) 进行复检探头角度选择在 $45^\circ - 70^\circ$ 。耦合剂选用甘油采样频率不低于 100MHz 以此确保检测精度。

3.2 管道密封性检验

管道系统密封性检验是确保安全运行的重要保障。按照不同介质类型，密封性检验方法选用如表 2。

检验过程使用智能压力采集系统做实时监测，采样间隔设定为不大于 10 秒。对于采用氦气检漏方法的管段，要使用质谱仪来进行定量分析，灵敏度设置成 $1 \times 10^{-9}\text{Pa} \cdot \text{L/s}$ ，水压试验的时候需要对管道系统充分排气，试验用水温度与管道壁温的差值不能超过 20°C ，试验结束之后要及时开展吹扫干燥处理，真空检漏时系统抽真空度需达到 $1 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 以上，采用氦

表 1 管道连接方式

管径范围 (mm)	材质类型	推荐连接方式	施工要点
DN15-DN50	不锈钢	承插焊	保护气体流量 3-5L/min
DN65-DN150	不锈钢	对接焊	多层焊接，层间温度控制
DN15-DN100	铬钼钢	法兰连接	密封面粗糙度 Ra1.6
DN15-DN50	PTFE	专用卡箍	扭矩均匀，分步紧固

表 2 密封性检验方法

介质类型	检验方法	检验压力	保压时间 (h)	合格标准
强酸	氮气检漏	1.5P	24	零泄漏
强碱	氦气检漏	1.3P	12	$\leq 10^{-6}\text{Pa} \cdot \text{L/s}$
有机溶剂	水压试验	1.2P	4	压降 $\leq 1\%$
惰性气体	真空检漏	0.1MPa	2	$\leq 10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{L/s}$

注: P 为设计工作压力

质谱检漏仪对系统展开全面检查。

3.3 管道防腐层检测

管道防腐层检测对延长系统使用寿命意义重大。采用高频脉冲直流测试仪做防腐层完整性检测, 电压要选 8~12kV 且扫查速度控制在 0.3~0.5m/s, 利用电位梯度法检测防腐层破损位置, 测试电极间距设置成 100mm 并记录电位值波动超 50mV 的可疑点, 用超声波测厚仪对防腐层厚度抽样检测, 每 50m² 抽检 5 点且测量数据误差不超设计值 10%。针对埋地管道段采用阴极保护电位测试方法评估防腐层性能, 测试时选用 Cu/CuSO₄ 参比电极且极化电位控制在 -0.85V 至 -1.15V 之间, 同时开展交流干扰测试并记录管道对地电位值以确保杂散电流干扰在允许范围, 检测完成后建立防腐层状况数据库为后期维护提供依据。

4 施工安全质量控制

4.1 危险介质管道施工安全防护技术

针对电子化学品用危险介质管道施工过程中的安全风险, 采用 HAZOP 分析方法建立系统性防护体系^[5]。施工现场依据危险等级划分为重度与中度及轻度危险区这三个防护等级, 并且分别制定出相应的防护措施, 重度危险区施工人员要穿着全封闭式化学防护服, 还要配备正压式呼吸器并设置便携式氧含量监测装置, 中度危险区要求施工人员穿着防酸碱渗透型防护服, 同时佩戴全面罩式防毒面具且配备紧急喷淋装置, 轻度危险区施工人员需穿着防静电工作服, 同时要佩戴防护眼镜以及防毒口罩。施工现场配置多参数气体检测仪, 对硫酸、氢氟酸、异丙醇等危险介质开展实时监测, 探头安装高度按照介质比重科学进行布置以确保及时预警, 建立三级应急响应机制, 配备应急喷淋装置与中和剂及急救药品等应急物资, 每季度组织开展一次应急演练。施工过程采用机械通风系统, 在施工现场设置电子风向标实时显示风向信息保证施工人员始终处于上风向作业位置。

4.2 施工质量管理与验收标准

电子化学品用危险介质管道施工质量管理采用全过程动态监控模式。施工质量管理实施分级负责制, 项目经理对总体施工质量全面负责, 专业工程师分别负责焊接与防腐及安装等专业施工质量控制, 设置首检与巡检及专检三级检查制度, 管道系统验收分为

单项验收与综合验收两个阶段, 单项验收包含射线探伤检验、超声波检测、磁粉检测等无损检测项目以及防腐层厚度测试、支吊架载荷试验、阀门密封性能测试等专项检验, 每项验收均编制规范验收记录并由监理工程师签字确认。综合验收重点检查系统密封性能与管道支撑稳定性及阀门启闭灵活性等功能性指标并采用数字化检测设备记录各项性能参数, 建立完整质量档案管理体系, 所有施工记录与检验报告及试压记录等质量文件实行电子化管理, 确保施工质量信息可追溯, 最终验收前进行系统清洗, 采用化学清洗方法去除管道内部氧化物, 确保管道内表面清洁度达到 SA2.5 级。

5 结语

通过对电子化学品用危险介质管道施工展开系统研究, 针对性地解决了施工过程里的技术难点。在管材选用这一方面, 确定了适用于不同危险介质的管道材料类型与防腐措施, 在施工工艺这一领域, 建立了规范的安装施工流程与质量控制标准, 在检测技术这一块内容, 形成了完整的管道系统检测评价体系。这些研究成果为提升危险介质管道施工水平提供了有力支撑, 对保障电子化学品生产安全具有重要意义。相关技术已经在多个工程项目当中得到应用, 展现出显著的工程价值与社会效益。

参考文献:

- [1] 苏振北. 化工企业储罐风险评估及安全管控策略研究 [D]. 大连: 东北财经大学, 2023.
- [2] 羊学友. 电子化学品的应用现状及设计 [J]. 当代化工研究, 2024(05):22-24.
- [3] 吴金华. 化工项目介质毒性分类方法及使用场合探讨 [J]. 化工与医药工程, 2024, 45(01):3-7.
- [4] 李志敏. 基于 DEMATEL-ISM 方法的危化品生产企业大检修项目风险管理研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2023.
- [5] 丁莹莹. 危化品道路运输风险层次耦合分析及防控策略研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2023.

作者简介:

张文安 (1994-), 汉族, 男, 山西省沁水县胡底乡人, 本科学历, 助理工程师, 研究方向: 化工管道、工艺管道、给排水、机电安装。