

浅析电脱盐吊挂横梁焊接缺陷及处理

王海红

中国石油化工股份有限公司沧州分公司，河北沧州，061000；

摘要：我公司在大修改造期间针对电脱盐装置进行技术改造，该项目改造过程中发现电脱盐罐(D101/1-2)更换绝缘吊挂施工，经过蒸汽吹扫后发现异常，经拆人孔进入确认发现部分吊挂横梁两端与罐壁的焊缝发生不同程度的断裂，针对该质量事故，立即采取措施进行停工整改。本文简要论述了吊挂横梁焊接质量缺陷产生的部位，及其原因分析，以及针对质量缺陷实施质量控制措施。

关键词：焊接缺陷；材质强度；技术处理

DOI：10.64216/3080-1508.25.12.051

1 造成焊接质量缺陷原因分析

电脱盐罐绝缘吊挂横梁作为支撑罐内核心部件的关键结构，其焊接质量直接决定设备运行稳定性与安全性。本文从吊挂横梁强度匹配性、角焊缝受力特性、工艺条件干扰、焊接过程管控四个维度展开深度分析，精准定位焊缝失效的核心诱因，排除非关联影响因素，最终形成针对性整改措施，为后续设备维修与改造提供科学依据。

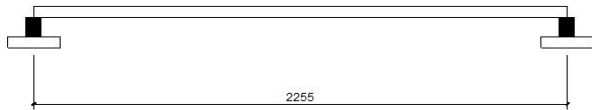
1.1 吊挂横梁材质、规格和强度

在对现场多台电脱盐罐的吊挂横梁焊接部位进行拆解检查时，发现新安装批次的12#槽钢与设备原始设计采用的槽钢在规格参数上存在显著差异，尤其是在关键的厚度指标上偏差明显。经现场实测与图纸比对，新更换的12#槽钢截面尺寸为120mm×53mm×5.5mm（高度×腿宽×腰厚），而设备原设计选用的老槽钢腰厚实测值达到7.0mm以上，新槽钢腰厚较老槽钢减少约21%。从材料力学角度来看，槽钢的腰厚是决定其抗弯、抗剪强度的核心参数，腰厚减小直接导致新槽钢的截面惯性矩与截面模量下降，削弱了横梁整体承载能力。基于这一发现，首要需验证的是新12#槽钢的强度是否满足吊挂结构的实际载荷要求。核算新12#槽钢在静态与动态载荷下的应力分布，判断其是否处于材料许用应力范围内；二是槽钢与罐壁连接焊缝的受力分析，明确焊缝在拉伸、剪切、弯曲复合应力作用下的承载极限，避免因槽钢强度达标但焊缝强度不足导致整体结构失效。此外，新吊挂横梁采用“12#槽钢两端与罐壁直接焊接”的连接方式，在电脱盐装置运行过程中，罐内介质温度会在40℃-120℃区间周期性波动，这种温度变化会引发槽钢

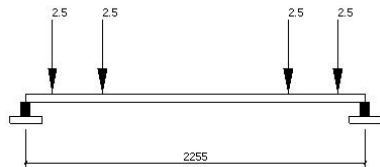
与罐壁材质的热胀冷缩差异。由于槽钢与罐壁的线膨胀系数不同，温度循环过程中会在焊缝部位产生热应力，长期累积易导致焊缝出现微裂纹，进而引发断裂。因此，需要厂家结合设备正常运行工况（包括温度变化曲线、压力波动范围），开展横梁结构的热态强度与载荷耦合分析，模拟热胀冷缩对结构强度的影响。同时，还需追溯新槽钢的材质证明文件，确认其化学成分与力学性能是否符合国家标准（GB/T706-2016《热轧型钢》）中12#槽钢的要求，重点核查屈服强度、抗拉强度、伸长率等关键指标，排除因材质不达标导致的强度不足问题。现场还需随机抽取部分新槽钢进行抽样送检，通过力学性能试验与金相分析，验证实际材料性能与厂家提供的质量证明文件是否一致，避免因材料质量缺陷埋下结构安全隐患。从现场安装记录来看，新槽钢的安装位置与原设计图纸存在细微偏差，部分槽钢两端与罐壁的焊接间距超出设计允许范围，导致横梁受力时出现应力集中现象。这种安装偏差虽未直接引发焊缝断裂，但会加剧焊缝部位的受力不均，降低结构整体安全系数。因此，在强度分析过程中，还需将安装偏差因素纳入考量，评估实际安装状态下的应力分布变化，为后续安装工艺优化提供参考。综合来看，吊挂横梁材质规格与强度不匹配是引发焊缝断裂的基础性因素。槽钢腰厚不足导致自身承载能力下降，热胀冷缩引发的温度应力加剧焊缝损伤，再叠加可能存在的材质不达标与安装偏差，共同构成了结构失效的风险链。只有通过全面的强度计算、材质验证与安装复核，才能彻底排除这一维度的隐患，为后续焊接工艺优化与结构改造奠定基础。（厂家提供）：

单跨钢梁计算书

（1）设计资料（如下图所示）：



恒载下的荷载（如下图所示）：



长度：2255mm，截面：[12.6-Q235]

左端支座为：竖向固接；右端支座为：竖向固接；

| 荷载序号 | 荷载 |
|------|-----------------------------------|
| 1 | 工况 D-整体 Z 轴-集中 Q:-2.5kN D1:177mm |
| 2 | 工况 D-整体 Z 轴-集中 Q:-2.5kN D1:507mm |
| 3 | 工况 D-整体 Z 轴-集中 Q:-2.5kN D1:1747mm |
| 4 | 工况 D-整体 Z 轴-集中 Q:-2.5kN D1:2077mm |

计算时叠加自重；

采用《钢结构设计标准》GB50017-2017 进行验算；

y 轴的挠度限值为：L/150；

x 轴的挠度限值为：L/200；

y 轴的刚度限值为：200；

x 轴的刚度限值为：200；

强度计算净截面系数:0.98

绕 y 轴的计算长度为：2255mm；

绕 x 轴的计算长度为：2255mm；

采用标准组合验算挠度；

是否进行抗震设计:否

腹板屈曲后强度:考虑

加劲肋设置间距:0 - 不设置

（2）受弯强度验算

绕 x' 轴弯矩：M_{x'}=1.878kN·m

计算 γ：

γ_x=1

γ_y=1

验算强度：

考虑净截面折减：

W_{enx'}=0.98×23.9=23.422cm³

σ₁=1.878/9.996/1×10³=187.908N/mm²

σ₂=1.878/23.422/1×10³=80.195N/mm²

σ₃=-1.878/9.996/1×10³=(-187.908)N/mm²

σ₄=-1.878/23.422/1×10³=(-80.195)N/mm²

187.908≤215，合格！

（3）y 轴受剪强度验算

y' 向剪力：V_{y'}=(-6.683)kN

τ=(-6.683)×36.54/0.55/391×10

=(-11.355)N/mm²

11.355≤125，合格！

（4）x 轴挠度验算

最不利工况为：1.00D+1.00L

最不利截面位于第 1 个分段离开首端 1127.5mm 处

挠度为：1.776mm 1.776≤11.275，

（5）结论：合格

12#槽钢与器壁焊接角焊缝强度计算，厂家按槽钢两侧 53mm 立焊缝满焊结构计算，经厂家设计计算，12#槽钢两侧 53mm 立焊缝，里外全满焊的条件下，焊缝强度满足要求，即每组电极吊挂 4 条横梁、8 个焊缝强度，能满足一组吊挂系统的载荷要求，此项排除厂家横梁强度、焊缝强度的原因。

1.2 分析工艺条件对电极吊挂系统的影响：

在开工过程中对电脱盐 A、B 罐进行蒸汽吹扫，蒸汽吹扫产生的冲击力是否对横梁结构强度产生影响，经过调查分析：2 个电脱盐罐共 24 条横梁、48 处焊点，仅电脱盐罐 A 罐内一组吊挂 4 条横梁、8 个焊点掉落，6 个焊点开裂，电脱盐罐 B 内没有焊缝开裂现象，吹扫蒸汽产生的冲击力对横梁结构产生的影响极小，可不考虑工艺原因。

1.3 横梁焊缝开裂原因分析

1. 焊接工艺分析：为精准定位焊缝开裂的工艺诱因，现场选取 2 台出现焊缝故障的电脱盐罐作为重点研究对象，对已发生断裂的焊缝与暂未开裂的焊缝分别进行细致拆解、外观检查与影像记录。通过对比分析发现，两类焊缝在焊接工艺执行层面存在共性缺陷，且这些缺陷直接关联焊缝结构稳定性。从焊缝焊接范围来看，所有受检的槽钢与罐壁连接焊缝均存在“单面焊接”问题——仅对槽钢外侧与罐壁接触部位进行了焊接作业，而槽钢内侧与罐壁的连接面完全未施焊。从焊缝外观质量与尺寸参数来看，开裂焊缝普遍呈现出明显的工艺缺陷：焊缝表面凹凸不平、存在咬边、未焊透等外观问题，部分焊缝甚至出现焊瘤堆积现象；通过焊缝量规实测发现，开裂焊缝的焊脚尺寸普遍在 4mm-6mm 之间，远低于设计要求的 8mm 标准，焊脚尺寸不足直接导致焊缝截面面积减小，抗剪与抗拉能力显著下降。

2. 介质分析：电脱盐罐的核心处理介质为原油，而

原油中普遍含有硫化氢 (H_2S) 等腐蚀性气体成分, 这类成分在设备运行的温度与压力条件下, 会对焊缝金属产生显著的腐蚀作用与氢致损伤, 成为诱发焊缝断裂的关键环境因素。从焊接预处理环节来看, 施工单位在焊接作业前未按照规范要求对焊接区域进行消氢处理。硫化氢气体在焊接过程中易分解产生氢原子, 这些氢原子会渗透至高温状态下的焊缝金属内部, 并在焊缝冷却过程中积聚于晶界或缺陷处, 形成氢脆。氢脆会显著降低焊缝金属的韧性与断裂韧性, 使得焊缝在承受载荷时, 微小裂纹极易快速扩展, 最终引发突发性断裂。

3. 管理原因分析: 焊缝开裂问题的背后, 暴露出从设备制造厂家、施工单位到监理公司的全链条质量管理失控, 各参与方在技术交底、现场施工与质量监督环节的管理缺失, 是焊接质量缺陷长期存在且未被发现的核心症结。从厂家技术指导层面来看, 厂家在进行电脱盐罐技术改造的现场安装指导时, 未能开展详细的设计交底工作。提供的技术改造图纸仅标注了支撑横梁的尺寸规格与材质要求。从施工单位现场管理来看, 焊工队伍的责任心严重不足, 存在明显的低标准施焊行为。部分焊工未严格按照焊接作业指导书(若有)进行操作, 忽视焊前表面清理、消氢处理等关键工序, 为追求施工进度而简化焊接流程, 对焊缝外观质量与尺寸精度缺乏自我约束与检查意识。从监理公司质量监督层面来看, 项目专业监理工程师未能履行质量监督职责, 在焊接质量关键控制点的检查上存在严重缺位。焊前未核查施工单位是否开展消氢处理、焊接部位表面清理是否达标。

2 质量控制措施

2.1 制定整改方案

1. 对电脱盐罐横梁槽钢焊缝进行彻底检查, 已发生断裂的焊缝彻底打磨清理, 磨除焊渣、重新焊接; 未发生断裂的焊缝表面清理, 进行焊缝补焊。焊前必须进行消氢处理。两台电脱盐罐共计 24 根横梁, 在横梁槽钢两侧各增加一块加强板(高 150mm 宽度 130mm, 厚度 8mm), 共计 96 块加强板, 加强板与罐壁、横梁槽钢焊缝内外满焊。

2. 方案制定与评审: 渤海公司按整改意见编制了施工方案, 组织相关部门、监理、施工单位、厂家现场负责人等分析讨论, 对方案进行评审, 根据评审意见优化方案, 确保其科学性与可行性。

2.2 整改方案实施阶段

2.2.1 严格工艺控制

(1) 按照优化后的方案, 槽钢与罐壁焊缝周围进行了彻底清理, 并由渤海、监理共同检查确认;

(2) 焊前对焊缝部位进行了消氢处理, 采用火焰加热到 $300^{\circ} - 350^{\circ}$, 保持 20 分钟以上;

(3) 焊条选用 J427 碱性焊条, 有效降低氢含量;

(4) 焊接质量检查焊缝外观, 不得有渣皮、表面气孔、表面裂纹、夹渣等。

2.2.2 加强焊接过程检查

设置焊前清理、焊缝补焊、加强板焊接、无损检测抽查等质量控制点, 质量控制点验收由项目质量组组织相关人员共同验收。

2.2.3 过程质量验收

(1) 未发生断裂的焊缝表面清理、火焰加热消氢, 焊缝补焊; 断裂掉落的横梁重新焊接, 焊接工艺同补焊一致。经现场检查, 补焊前进行了消氢处理, 焊缝周围清理干净, 补焊后的焊缝尺寸检查合格。

(2) 补强板焊接, 高 150mm、宽度 130mm、厚度 8mm, 紧贴槽钢两侧, 并在槽钢焊缝部位开槽。补强板与罐壁、槽钢的连接焊缝全部满焊, 焊缝尺寸 $> 8mm$ 为合格。

(3) 焊接过程中存在焊缝尺寸偏小、焊缝漏焊、焊渣清理不干净等问题, 项目质量组及时组织会议要求整改, 经过 4 天奋战努力, 完成焊接。

2.3 处理后检测

横梁焊接完成后, 经检查, 验收合格。安排检测单位对 96 条焊缝进行了渗透检测, 每组吊梁结构抽查 2 条焊缝, 共 12 条焊缝, 检测结果合格。

3 质量控制成果

经验收通过后, 进行电脱盐的电极恢复安装, 人孔封闭。安排蒸汽吹扫, 并进行 DCS 调试, 一切正常。目前电脱盐罐已投入使用, 未发生异常。

4 结语

通过以上工艺与控制措施, 成功解决了电脱盐罐吊挂横梁焊接缺陷造成的质量问题, 针对吊挂横梁焊接进行补强措施, 使其达到免检使用 2 个检修周期的目的。取得了显著的质量控制成果。

参考文献

- [1] 郭锋. 常减压装置电脱盐系统改造和优化[J]. 化工机械, 2020(05)
- [2] 郭鉴; 秦红艳; 张磊; 陈峤彬. 常减压装置电脱盐运行故障原因分析[J]. 设备管理与维修, 2022(11)