

石油化工装置中镍基和复合材料压力管道管理的关键因素探讨

靳肖杰 王垂兵 (山东瀚华工程设计有限公司 山东 济南 250000)

摘 要: 本文围绕石油化工装置中镍基和复合材料压力管道的管理关键因素进行了深入分析。主要探讨了材料选择、技术和施工标准,以及腐蚀原因与应急处理方案。采用实际案例分析法,提出了一套科学合理的技术与管理方案,主要目的在于提高管道系统的安全性、可靠性和耐久性。研究结果表明,合理选择材料、严格遵循技术规范,以及有效的应急处理措施对于确保管道系统的稳定运行至关重要。

关键词: 石油化工装置; 镍基材料; 复合材料管道

0 引言

在石油化工行业中,管道系统作为输送工艺介质的重要组成部分,其安全性、可靠性和耐久性直接影响到生产的稳定性和经济效益。随着化工工艺的复杂性增加,传统材料已经不能完全满足当前的工艺要求,尤其在高温、高压和腐蚀性介质输送等环境下。因此,研究和应用镍基和复合材料压力管道成为提升管道系统性能的关键。

1 氧气管线用镍基材料选择及施工要点

1.1 项目背景

某厂的尾气转化变换单元中,氧气预热器后的氧气管道原本使用的是 316 不锈钢材质,其设计与实际操作条件分别为温度 275℃ (实际 272℃) 和压力 6.09MPa (实际 5.6MPa)。依据《氧气站设计规范》GB50030-2013 和《深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程》GB16912-2008 的规定,虽然 316 材质适用于 3.0 至 10.0MPa 的设计压力环境,特定条件下(如调节阀前后 5 倍公称直径区域,不少于 1.5 米)则要求使用镍及镍基合金。综合考虑设计院和装置操作的经验,最终决定将原有材质替换为镍基合金 INCONEL600,以满足安全及性能要求^[1]。

1.2 氧用镍基材料技术标准

1.2.1 管道主要技术

氧用镍基材料管道选用的镍基合金,如 INCONEL600,必须保证材料的均匀性和无缺陷,以及良好的机械强度和韧性。管道设计应考虑到材料的热膨胀系数,确保在温度变化时连接的可靠性和密封性。

1.2.2 管件主要技术

氧用镍基材料管件,包括弯头、三通及变径管等,

应采用与管道相同或兼容的高质量镍基合金材质。这些管件需要具备高的耐腐蚀性和良好的机械性能,以适应复杂的管道布局 and 连接需求。

1.2.3 加强管接头主要技术

加强管接头处的设计必须确保承受管道系统内的高压力。这包括使用加强环、加固板或其他加强措施,以提升接头部位的结构强度和密封性能。镍基合金材质的选择应考虑到与管道和管件材料的兼容性,以及在预期的操作环境下的耐久性。

1.2.4 法兰主要技术

氧用镍基材料法兰应选用与管道系统兼容的高性能镍基合金,如 INCONEL600,确保在高温高压环境下的稳定性和耐腐蚀性。法兰连接设计需满足高密封性要求,以防泄漏,并应易于装拆以便于系统的维护。法兰的表面处理应保证高度的平整和光滑,减少任何可能引起氧气反应的粗糙区域。

1.2.5 氧用阀门关键技术标准

适用于氧气系统的阀门应选用高质量镍基合金材料,具备优秀的耐腐蚀性和适应高温环境的能力。阀门设计应确保精确的流量控制和快速响应性,同时保持极高的密封性能,防止氧气泄漏。

1.2.6 氧用垫片

氧用垫片材料应选择能够承受高温、高压并且与氧气兼容的镍基合金或特殊合成材料。垫片设计需保证在长期使用过程中维持良好的密封性能,防止氧气泄漏。

1.3 氧用镍基材料施工要求

1.3.1 材料验收

所有进场的管材和管件都必须伴随着正规的质量

证明文件。为确保材料的符合性和安全性,甲方、监理单位以及施工团队需共同参与材料的验收工作。这一过程包括根据采购的技术要求和国家相关规范,对每批次到达现场的材料进行细致的外观检查和光谱分析测试,以确保材料的规格和质量符合施工和安全标准。只有经过这样的验收程序,并且被认定为合格的管材和管件,才能被接纳用于施工。

1.3.2 施工前脱脂技术要求

根据《脱脂工程施工及验收规范》HG20202-2014,应选用符合规范的脱脂剂,严禁使用会破坏臭氧层的四氯化碳。阀门需在制造厂进行打压测试和脱脂,确保直接安装使用。施工用的焊丝和工具也须预先脱脂。脱脂前,要先去除管道表面油渍和有机物,采用浸泡法,一般需浸泡2小时以上,并适时搅动以提高脱脂效果。对于内表面脱脂不达标的部分,应用蘸有脱脂液的绒布反复擦拭至合格。脱脂后,使用无油干燥空气或氮气吹干,禁止用蒸发法。操作人员须穿戴无油脂的保护装备。施工后,需进行专业化学清洗脱脂,包括建立清洗系统、清洗、冲洗、酸洗等多步骤过程,并按照相关标准验收脱脂质量,确保油含量和金属腐蚀速率符合规范要求。检验方法包括紫外灯照射法、白色滤纸擦拭法等,以保证清洁度达标。

1.3.3 INCONEL600 材料焊接主要要求

为保证焊接质量及内壁清洁,采用全钨极氩弧焊法,使用ERNiCr-3焊丝,确保焊丝熔化端始终在保护气氛中。坯料应逐一进行外形及超声波探伤检查。焊前,必须清除接头两侧至少160mm区域内的氧化皮、污物和油脂,确保坡口和钝边清洁。考虑到镍基材料热传导和流动性差,采用低热输入、短弧焊接,控制层间温度不超过100℃,保持稳定的电弧电压和焊丝角度在80°到100°之间,轻微摆动焊接,摆动幅度不超过焊丝直径的3倍。每道焊层完成后,彻底清理熔渣并检查,确保无缺陷后再进行下一层焊接,避免使用普通砂轮片修磨,以防杂质污染。

2 复合管道重点技术要求及施工要点

2.1 不锈钢复合管道应用及技术要点

不锈钢复合管道结合了不锈钢的耐腐蚀性和碳钢的高强度特点,广泛应用于石油化工、城市供水等领域,其技术要求和施工关键点着重于确保管道的耐久性和可靠性。技术规范通常要求复合管道内层为不锈钢材质(如304或316L),外层为碳钢,中间通过爆炸复合或机械复合方式紧密结合,以实现优良的机械

性能和化学稳定性。在施工前,需对复合管道进行全面的检查,包括但不限于超声波探伤检测,以确保无缺陷。施工过程中,焊接是关键环节,采用氩弧焊等高精度焊接技术,确保焊缝质量。焊接参数(如电流、电压、焊接速度)需根据管道材质和壁厚精确控制,以避免焊接缺陷如气孔、裂纹等。最后,施工完成后的复合管道需要进行压力测试和泄漏测试,以验证管道系统的密封性和稳定性,确保长期安全运行。这些综合措施共同保证了不锈钢复合管道在严苛环境下的可靠性和经济性。

2.2 复合钢管支管台的选取及焊接

对于主管道与直径不大于DN100的支管的连接,通常推荐使用加强型支管台以增强连接强度。然而,选择支管台的型式和焊接技术若不恰当,可能会引起严重的安全隐患。例如,有实例显示,按照某一标准结构的支管台进行焊接,但未对内壁进行不锈钢堆焊处理,结果导致基底的碳钢材质遭受严重腐蚀,最终不得不停机进行维修^[2]。

2.3 复合管道及管件配套要求

所有管件必须与管道材料的类型和规格完全匹配,以保证化学和物理性能的一致性。例如,如果管道采用的是碳钢内衬不锈钢复合材料,那么所有的弯头、三通、法兰等管件也应采用相同的复合材料制造。此外,管件的尺寸精度需控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内,以确保安装时的严密配合,避免泄漏风险^[3]。

管件的耐压等级也应与复合管道相匹配,通常设计压力应不低于系统工作压力的1.5倍。在耐蚀性方面,管件应能抵抗系统中可能出现的所有化学介质,其抗蚀性能应通过专业测试证明。安装前,所有管件需进行无损检测,包括但不限于超声波检测和X光检测,确保无裂纹、夹杂或其他缺陷。

在温度适应性方面,管件应能承受的温度范围应覆盖管道系统可能遇到的最低和最高温度,以保证在温度变化时材料的稳定性和强度。对于特殊应用场合,如高温、高压或有腐蚀性介质的环境,管件可能需要额外的涂层或特殊材料制造,以提高耐久性和寿命。

2.4 复合管焊接控制要点

焊接前的准备工作必须彻底,包括管道和管件的表面清洁,去除所有的油脂、污垢和氧化物。焊接区域应预热至推荐的温度(通常在100-150℃之间),以减少热应力和避免裂纹的产生。焊接过程中,应选用与复合材料匹配的焊丝,例如,对于碳钢和不锈钢

的复合管道,推荐使用 ERNiCr-3 或相似的焊丝材料。焊接参数(如电流、电压、焊接速度和保护气体的类型及流量)必须根据材料的特性和厚度精确设定,以实现最佳的熔池控制和渗透深度。焊接技术应采用适合复合材料的特定方法,如 TIG(钨极气体保护焊)或 MIG(金属惰性气体焊),以确保焊缝的均匀性和减少热影响区。焊接过程中,应持续监控焊缝的形成,避免过热或不均匀加热造成的材料损伤^[4]。

3 管道腐蚀原因及应急处理方案

在工艺流程的气压缩机出口管道中,采用的是 L245N 材质、DN800 直径且壁厚为 24mm 的管道,运作于 3.1MPa 的工作压力和 70℃ 的工作温度下。在实际运行中,管道的焊缝和管台区域接连发现泄露问题。面对这些泄漏点,采取的临时应对措施是带压堵漏,具体做法包括首先对泄露处进行封堵处理,然后安装经过机械加工的夹持装置,并通过注射密封胶完成堵漏。这种方法虽然暂时遏制了泄漏,但并未根治问题。因此,决定停机进行拆卸检查,结果显示,尤其是焊缝处的腐蚀非常严重,材料减薄幅度在 3 到 8 毫米之间,这一发现凸显了腐蚀问题的严重性。详见下图 1、2。



图 1 管道内部焊缝腐蚀照片



图 2 铸造阀体腐蚀照片

分析表明,管道腐蚀的主要原因是工艺介质中含有的 CO₂ 和少量的水分。尽管干燥的 CO₂ 气体自身并不腐蚀,但一旦混入水分,CO₂ 会溶解于水形成碳酸,这导致了钢材的电化学腐蚀。此外,流动的气体或液

体对管道壁的冲刷作用也会加剧腐蚀现象。由于各种限制条件,短期内难以更换管道或彻底切割并修复腐蚀焊缝。因此,采取了一种补救措施:将所有腐蚀的焊缝打磨至金属表面呈现光泽,并制作 V 型坡口,如图 3 所示,随后使用 A309 不锈钢焊条手工补焊。补焊要求焊接处的金属表面与母材平滑过渡,确保焊缝质量达到标准要求。焊接完成后,进行 100% 的渗透检测,确保焊接质量达到 I 级合格标准。采用此方案处理后,管道运行至今表现良好,有效地解决了腐蚀问题^[5]。

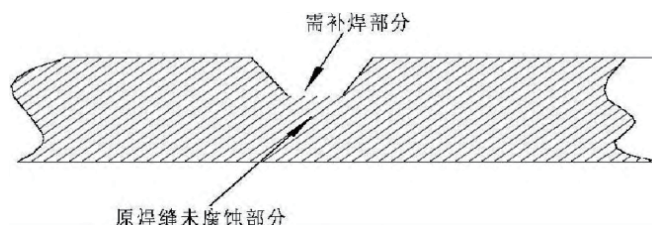


图 3 焊缝打磨示意图

4 结论

本文详细讨论了石油化工装置中镍基和复合材料压力管道的管理关键因素,包括材料选择、技术要求、施工要点、腐蚀原因及应急处理方案。通过分析氧气管线用镍基材料的技术要求与施工要求,明确了确保氧用管道安全运行的关键措施。同时,探讨了复合管道的重点技术要求及施工要点,提出了对应的解决策略以提高管道系统的可靠性和耐久性。此外,针对工艺介质中 CO₂ 引起的腐蚀问题,提出了有效的应急处理方案,包括对腐蚀焊缝的修复方法,以保障管道长期稳定运行。

参考文献:

- [1] 温瑞军,张飞跃.浅谈化工装置镍基材料、复合材料等压力管道管控要点[J].广东化工,2022,49(20):172-174.
- [2] 李红伟,章勇锋,齐武军等.聚乙烯管道及其增强复合管道在实际工程应用中的问题[J].中国塑料,2023,37(08):69-78.
- [3] 陈涛,何倩,吕程等.压力管道缺陷电磁超声/脉冲涡流复合检测方法研究[J].传感技术学报,2023,36(06):860-867.
- [4] 吴林军.在役压力管道不停输修复技术可靠性分析[J].质量技术监督研究,2020(06):33-36.
- [5] 孙传斌.浅谈碳纤维复合材料在压力管道补强的应用[J].上海煤气,2018(06):13-17.