

乙烯装置P91管道焊接技术

赵 星

陕西化建工程有限责任公司 陕西 杨凌 712100

摘 要：乙烯装置P91管道焊接技术是一项关键工艺，对于确保乙烯装置的安全运行和高效生产至关重要。P91钢作为一种高性能耐热钢，具有优异的高温强度和抗蠕变性能，适用于高压蒸汽和加热炉管道。本文综述了P91管道焊接的预热、焊接参数控制、层间温度管理、焊后热处理等关键技术要点，并强调了焊接质量控制的重要性。通过合理的焊接工艺和严格的质量控制，可以确保P91管道焊缝的力学性能和耐腐蚀性能满足设计要求，为乙烯装置的安全稳定运行提供有力保障。

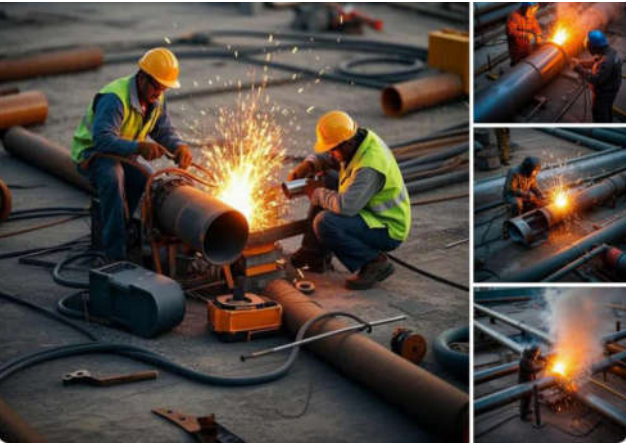
关键词：乙烯装置；P91管道；焊接技术

1 P91 管道材料特性

1.1 化学成分与力学性能

P91管道材料主要由铬、钼、锰、硅等元素组成，具体化学成分包括碳（C）、硅（Si）、锰（Mn）、磷（P）、硫（S）、铬（Cr）和钼（Mo）等，其中铬和钼的含量较高。这使得P91管道材料在高温下仍能保持较好的机械性能和抗氧化性能。具体来说，P91管道材料的抗拉强度高达415MPa以上，屈服强度超过205MPa，硬度在187HBW以下。这些优异的力学性能使得P91管道材料能够承受高温高压环境下的工作条件，保证管道的安全稳定运行。P91管道材料在高温下仍能保持较好的力学性能，其长期使用温度可达600℃。

1.2 焊接性分析



P91管道焊接特性及工艺要求示意图

P91管道材料具有较高的淬硬倾向，对焊接冷裂纹很敏感，因此在焊接过程中需要严格控制焊接参数和工艺。由于P91是中合金钢，具有相当高的冷裂倾向，因此在焊接前需要进行预热，预热温度通常在200~250℃之间，以避免冷裂纹的产生。在焊接过程中，需要严格

控制焊件的层间温度，使其保持在预热温度或更高的温度，以确保焊接接头的质量^[1]。对焊接输入热量的控制要求比较高，实践经验证明，采用较小的焊条直径、比较低的层间温度和较小的焊接线能量，可以提高焊接接头的冲击韧性。焊接接头在焊后状态均为高硬度的不稳定组织，因此需要进行焊后热处理，以消除焊接应力和提高焊接接头的综合机械性能。

2 乙烯装置 P91 管道焊接技术基础

2.1 焊接方法选择

在乙烯装置的P91管道焊接中，焊接方法的选择至关重要，这关乎焊缝质量、焊接效率和安全性。P91管道材料特性决定其对焊接方法要求严苛，需稳定电弧、良好保护和精准热输入控制。常用焊接方法有手工电弧焊（MMA）、气体保护焊（如TIG和MIG）、埋弧焊（SAW），它们各有优劣与适用场景（见表1）。选择焊接方法时，要综合考虑管道尺寸、壁厚、工作环境和成本等因素。薄壁管适合气体保护焊，能稳定电弧、减少热输入，降低变形和裂纹风险；大直径厚壁管则更宜用埋弧焊，可高效产出高质量焊缝，节省时间和成本。

表1 P91管道常用焊接方法对比

方法	适用场景	热输入控制	效率
手工电弧焊	复杂工况	中	低
TIG焊	薄壁管道	精确	中

2.2 焊接设备选型

在乙烯装置的P91管道焊接过程中，焊接设备的选型同样至关重要。对于气体保护焊，需要选择能够提供稳定气体流量和电弧控制的焊接电源和送丝系统。焊接电源应具有良好的稳定性和调节性，以确保电弧的稳定性和焊缝的质量。送丝系统则需要精确控制焊丝的送丝速度和送丝位置，以确保焊缝的连续性和均匀性。还需

配备合适的气体保护装置,如气体瓶、减压阀、流量计等,以确保焊接过程中气体的连续供应和稳定控制。对于埋弧焊,则需选择具有高精度送丝系统和稳定电弧控制的埋弧焊机。埋弧焊机的送丝系统应能够精确控制焊丝的送丝速度和送丝位置,以确保焊缝的连续性和均匀性。焊机的电弧控制系统应能够提供稳定的电弧和适当的热输入控制,以确保焊缝的质量和焊接效率。还需选择能够适应不同管道直径和壁厚的焊枪和焊丝盘,以满足乙烯装置中各种管道焊接的需求。在选择焊接设备时,还需考虑设备的易用性、维护性和可靠性。设备应易于操作和维护,以减少操作人员的培训成本和维护成本。

3 乙烯装置 P91 管道焊接工艺

3.1 焊前准备

乙烯装置中P91管道的焊接工艺是确保管道系统安全、高效运行的关键环节。焊前准备的首要任务是材料的检验与准备,P91管道材料需经过严格的质量检验,包括化学成分分析、力学性能测试等,确保其符合设计要求。管道表面应清洁无油污、氧化皮、锈蚀等杂质,必要时可采用机械打磨、酸洗或喷砂等方法进行处理,以保证焊缝区域的纯净度^[2]。管道的切割应采用机械方法,避免热切割可能带来的热影响区问题,切割后边缘应平整,无裂纹、夹渣等缺陷。焊接材料的准备同样重要。根据P91管道的材质特性,选择合适的焊材至关重要。焊材应与母材化学成分相近,具有良好的匹配性,以确保焊缝的力学性能满足要求。焊材在使用前应按规定进行烘干处理,去除水分,防止焊接过程中产生气孔等缺陷。同时焊材的储存环境也应干燥、通风,避免受潮变质。焊接设备的调试与检查也是焊前准备的重要一环,确保焊接电源、送丝系统、气体保护装置等设备处于良好工作状态,参数设置准确,以满足P91管道焊接的特殊要求。焊接人员的资质审核与培训同样不可忽视,焊接人员需具备相应的专业技能和经验,熟悉P91管道的焊接特性和操作规程。焊接工艺文件的编制与审核是焊前准备的总结性环节,工艺文件应详细记录焊接方法、焊接参数、预热温度、层间温度控制、焊后热处理等关键信息,确保焊接过程有章可循,有据可依。

3.2 焊接过程控制

在焊接参数控制方面,需根据P91管道的材质特性和焊接工艺要求,精确设定焊接电流、电压、焊接速度等参数。预热温度的选择也至关重要,P91管道焊接前需进行预热处理,以降低焊接残余应力和防止冷裂纹的产生。预热温度通常控制在200℃~300℃之间,具体数值需根据管道壁厚、环境温度等因素综合考虑。层间温度

的控制同样重要,应保持在前一道焊缝冷却至不低于预热温度的水平,以避免焊缝过热和产生热裂纹。焊缝质量控制方面,需采用合理的焊接顺序和层间温度控制策略,确保焊缝金属的均匀性和致密性。焊接过程中应密切监控焊缝的成形情况,及时调整焊接参数,避免咬边、未熔合、未焊透等缺陷的产生。对于多层多道焊,每层焊缝之间应进行彻底的清渣处理,确保焊缝内部质量。

3.3 焊后处理

焊后处理是P91管道焊接工艺的收尾环节,也是确保焊缝质量和管道系统性能的关键步骤。焊缝检验是焊后处理的首要任务,通过外观检查、无损检测(如射线检测、超声波检测)等手段,对焊缝进行全面检查,确保焊缝无裂纹、夹渣、未熔合等缺陷。对于发现的缺陷,应及时进行返修处理,直至满足质量要求。焊后热处理是提升焊缝力学性能和消除焊接残余应力的有效手段,P91管道焊接完成后,需进行焊后热处理,通常包括升温、保温和降温三个阶段。升温速度应缓慢均匀,保温温度和时间需根据管道材质和焊接工艺要求确定,降温过程也需严格控制,以避免产生新的应力。管道系统的整体检验是焊后处理的最终环节,通过对管道系统进行压力试验、泄漏试验等,全面检查其密封性和承压能力,确保管道系统在实际运行中的安全性和可靠性,还需对管道系统的支吊架、阀门等附件进行检查和调整,确保其正常工作^[3]。

4 乙烯装置 P91 管道焊接质量控制

4.1 人员素质控制

在乙烯装置P91管道焊接质量控制体系中,人员素质控制扮演着至关重要的角色,它是确保焊接作业高质量完成的首要前提。焊接人员的资质审核是人员素质控制的基础,所有参与P91管道焊接作业的人员必须持有相应级别的焊接资格证书,这不仅是对他们专业技能的认可,也是确保其具备从事此类高难度焊接作业的基本条件。通过严格的资质审核,可以筛选出具备足够技术实力和经验的焊接人员,为焊接质量的保障打下坚实基础。随着焊接技术的不断进步和乙烯装置对焊接质量要求的日益提高,焊接人员需要不断更新自己的知识和技能。定期举办技能培训课程,邀请行业专家进行授课,让焊接人员有机会学习最新的焊接技术和操作方法,成为提升他们专业技能的有效途径。通过实际操作演练和案例分析,焊接人员可以更加直观地理解和掌握焊接技巧,从而提高自己的实际操作能力。焊接质量不仅取决于技术水平和操作技能,还与焊接人员的质量意识密切相关。加强质量意识教育,让焊接人员深刻认识到焊接

质量对乙烯装置安全运行的重要性,是提升他们工作责任心和质量意识的关键。通过组织质量意识教育活动,如专题讲座、质量案例分析等,让焊接人员更加直观地了解焊接质量问题的严重性和后果,从而在工作中时刻保持高度的警惕性和责任心,确保焊接质量的稳定可靠。

4.2 材料质量控制

材料质量控制是乙烯装置P91管道焊接质量控制的关键部分(焊材验收标准与检测方法见表2)。化学成分分析是确保P91管道材料质量的基础,只有化学成分合格的材料才能用于焊接,保证焊缝的力学性能和耐腐蚀性。力学性能测试同样重要,通过拉伸试验等可获取抗拉强度等关键指标,评估材料质量,保障焊缝强度和韧性。表面质量检查也不容忽视,要确保管道材料表面无裂纹、夹杂物、锈蚀等缺陷,避免影响焊缝质量和管道系统安全运行。另外,P91管道材料的储存和管理也很重要,需控制好储存环境的温度、湿度等条件。同时,在材料使用过程中要加强记录和追溯管理,以便出现问题时能及时查找原因并处理。

表2 焊材验收标准与检测方法

检测项目	标准值	方法
扩散氢含量	$\leq 5\text{ml}/100\text{g}$	甘油法
抗拉强度	$\geq 550\text{MPa}$	拉伸试验

4.3 工艺执行控制

工艺执行控制是乙烯装置P91管道焊接质量控制的核心环节。制定详细的焊接工艺文件是确保工艺执行控制的基础。焊接工艺文件应明确焊接方法、焊接参数、预热温度、层间温度控制、焊后热处理等关键要素,以确保焊接过程的规范性和可控性。工艺文件还应根据P91管道的材质特性和焊接要求进行调整和优化,以确保焊缝的质量符合设计要求^[4]。在焊接过程中加强监控和记录是确保工艺执行控制的关键,焊接人员应严格按照工

艺文件的要求进行操作,并对焊接过程中的各项参数进行实时监控和记录。如发现异常情况或偏差,应及时进行调整和纠正,以确保焊接过程的稳定性和可控性。加强焊接质量的检验和评定也是确保工艺执行控制的重要环节,焊接完成后,应对焊缝进行全面的质量检验和评定,包括外观检查、无损检测(如射线检测、超声波检测)等。通过这些检验手段,可以发现焊缝中可能存在的缺陷和问题,并及时采取相应的措施进行修复和改进。加强焊接人员的培训和指导也是确保工艺执行控制的有效途径,通过定期对焊接人员进行培训和指导,让他们更加熟悉和掌握焊接工艺的要求和操作技巧,提高他们的专业技能和水平。

结束语

综上所述,乙烯装置P91管道焊接技术是确保装置安全高效运行的关键环节。通过深入研究和实践,掌握了P91管道焊接的关键技术和质量控制要点。在未来的工作中,将继续加强焊接技术的研究和创新,不断提高焊接质量和效率,为乙烯装置的安全运行和高效生产贡献更多力量。同时也期待与业界同仁共同探讨和交流,共同推动乙烯装置焊接技术的不断进步和发展。

参考文献

[1]张汝潺.分析长输管道焊接施工常见的焊接缺陷及防治要点[J].冶金与材料,2020,4006:163-164.
[2]陈小虎.浅谈工业管道安装过程中的焊接缺陷及预防措施[J].中国设备工程,2021,15:119-120.
[3]王明春.乙烯装置P91管道焊接技术[J].安装,2024(11):47-49.DOI:10.3969/j.issn.1002-3607.2024.11.019.
[4]刘建国,王鹏雁,王银飞.乙烯装置裂解炉VHS超高压蒸汽线A335-P91管道的焊接[J].建筑工程技术与设计,2020(34):5305.DOI:10.12159/j.issn.2095-6630.2020.34.5139.