

石油化工管道焊接质量控制研究

刘绍竹

西南监督站 重庆 401120

摘 要：本文针对石油化工管道焊接质量控制展开深入研究，剖析了影响焊接质量的人员、设备、材料、工艺、环境等因素，详细阐述了焊接前、焊接过程及焊接后的质量控制方法，并针对常见焊接缺陷提出相应的应对策略。通过本研究，旨在为石油化工管道焊接质量的提升提供全面且有效的理论与实践指导，确保石油化工生产的安全稳定运行。

关键词：石油化工；管道焊接；质量控制；焊接缺陷

引言

石油化工行业作为国家经济发展的重要支柱产业，为社会提供了各类关键能源与化工产品。在石油化工生产过程中，管道是输送各类易燃、易爆、有毒有害介质的关键载体，其焊接质量直接关乎整个生产系统的安全、稳定运行一旦焊接质量出现问题，极有可能引发泄漏、爆炸等严重事故。研究石油化工管道焊接质量控制具有极其紧迫的现实意义。通过加强焊接质量控制，能够有效降低事故发生风险，保障人员生命安全，保护生态环境，维护石油化工企业的正常生产秩序和经济效益。

1 影响石油化工管道焊接质量的因素

1.1 基础施工因素

(1) 人员因素。焊工是管道焊接的关键执行者，其操作熟练度和对焊接工艺的掌握对焊接质量至关重要。手工电弧焊要求焊工具备高技巧，能根据焊接位置和母材材质调整焊条角度、速度和电流。氩弧焊用于高质量要求场合，要求焊工的操作稳定性和对电流、气体流量的精确控制。埋弧焊适用于长焊缝，要求焊工熟悉操作流程和参数设置。与此同时，焊工资格认证也是技能水平的重要指标，焊工需持证并经过培训和考核，具备理论知识和实践技能。此外，焊工的工作状态和责任心对焊接质量也有潜在影响，工作状态影响到焊接质量，如长时间工作易导致疲劳，增加操作失误风险，责任心薄弱的焊工可能忽视质量标准，导致严重隐患。(2) 设备因素。焊接设备的性能直接关系到焊接过程的稳定性和焊接质量的可靠性。^[1]一方面焊接电源稳定性能够确保电流和电压的持续均匀，维持焊接电弧稳定。不稳定电源引起电流波动，会使得焊缝熔深和熔宽不均，影响焊缝强度和密封性。另一方面关注送丝机构的准确性，尤其是在气体保护焊中。送丝机构故障，如速度不均或卡顿，会导致焊丝熔化不均，形成缺陷。因而，定期对焊

接设备进行维护和保养极其重要，确保其运动的灵活性和准确性，进而为施工质提供保障。

1.2 材料因素

焊接材料的质量是影响焊接质量的重要因素。一方面，焊条、焊丝、焊剂等焊接材料的化学成分和力学性能必须符合相关标准要求。焊接材料中的杂质含量过高，会导致焊缝产生气孔、裂纹等缺陷。焊接材料的质量稳定性也至关重要。不同批次的焊接材料若质量差异较大，会给焊接质量控制带来困难。另一方面，焊接材料与母材的匹配情况对焊接接头质量有着重要影响。化学成分与力学性能匹配是确保焊接接头性能的基础。如果焊接材料与母材的化学成分差异过大，在焊接过程中可能会产生脆性相，降低焊接接头的韧性和抗裂性能。同时焊接接头的强度、韧性等力学性能与母材相适应才能保证整个管道系统的可靠性。若焊接材料的强度过高或过低，都可能导致焊接接头在受力时出现断裂等问题。

1.3 工艺因素

(1) 焊接工艺方法。不同的焊接工艺方法具有各自的特点和适用范围。单面焊双面成型工艺常用于管道的打底焊接，该工艺对焊工技术要求较高，但能有效保证管道内部焊缝质量。在实际应用中，需要焊工具备丰富的经验和精湛的技术，通过控制焊接电流、电压和焊接速度，使焊缝根部熔透并形成良好的背面成型。多层多道焊适用于较厚管壁的焊接，通过分层、分道焊接，能够有效控制焊接热输入，减少焊接应力，提高焊接接头的质量。^[2]在进行多层多道焊时，需要合理安排焊接顺序和层间温度，避免出现层间未融合、夹渣等缺陷。(2) 焊接参数设置。焊接参数的合理设置是保证焊接质量的关键。要根据母材材质、厚度、焊接位置以及焊接工艺方法等因素进行综合考虑。焊接时电流过大可能造成烧穿和咬边缺陷；电流过小则可能导致未焊透和夹渣问

题。焊接电压应与焊接电流相匹配,以保证焊接电弧的稳定燃烧。焊接速度过快可能导致焊缝浅窄和未熔合缺陷;过慢则可能引起焊缝过热和变形。此外,控制焊接层数和层间温度。对于厚壁管道,适当的层数确保焊缝质量均匀。层间温度过高会令焊缝组织变粗,降低接头性能;温度过低则可能增加焊接应力,导致裂纹。

1.4 环境因素

施工现场的环境对焊接质量有显著影响。焊接质量不仅受温度与湿度影响,通风条件对焊接过程也有较大影响。在低温环境下,焊缝金属的冷却速度过快,容易产生淬硬组织,增加裂纹倾向。湿度较大时,焊接材料容易受潮,水分在焊接过程中分解产生氢气,氢气溶入焊缝金属中会导致气孔、裂纹等缺陷。因此,在湿度较高的环境中焊接时,需要对焊接材料进行烘干处理,并采取有效的防潮措施。风速过大,可能会破坏焊接电弧的稳定性,使电弧偏吹,导致焊缝成型不良。例如,在露天进行管道焊接时,若风速超过8m/s,不采取防风措施,很难保证焊接质量。同时,在通风不良的环境中,焊接产生的烟尘和有害气体无法及时排出,会影响焊接电弧的可见度,增加焊接操作的难度,进而影响焊接质量。此外值得注意的是,通风条件不良也可能导致有害气体积聚,影响焊工健康。

2 石油化工管道焊接质量控制方法

2.1 焊接前质量控制

(1) 材料检验。对母材和焊接材料的检验是确保焊接质量的首要环节。在材料检验过程中,不仅需要进行外观检查,观察母材和焊接材料的表面是否有裂纹、砂眼、气孔等缺陷,以及材料的规格、尺寸是否符合设计要求。更要精确测量母材的壁厚、管径以及焊接材料的直径等尺寸参数,确保其在允许的公差范围内。并通过光谱分析、化学滴定等方法,测定母材和焊接材料的化学成分,判断其是否符合相关标准,通过拉伸试验、冲击试验、硬度试验等力学性能测试评估材料的强度、韧性、硬度等力学性能指标,为焊接工艺的制定提供依据。(2) 坡口加工与清理。合理的坡口设计能够保证焊缝根部充分熔透,减少焊接缺陷的产生。^[3]焊接作业要根据母材的厚度、焊接方法以及焊接工艺要求合理选择设计形式。同时注意坡口表面的清理工作,必须去除油污、铁锈、水分等杂质,以保证焊接过程中电弧的稳定燃烧和焊缝的质量。坡口清理,可采用机械清理(如打磨、喷砂)和化学清理(如酸洗)等方法。(3) 焊接工艺评定。焊接工艺评定的目的是验证拟定的焊接工艺是否具有可靠性和可行性。在进行焊接工艺评定时,首先

需要根据工程要求和实际情况,拟定焊接工艺规程,包括焊接方法、焊接材料、焊接参数、焊接顺序等内容。然后,按照拟定的焊接工艺规程进行试件的焊接。试件焊接完成后,对试件进行外观检查、无损检测、力学性能测试等一系列检验。根据检验结果,判断焊接工艺是否符合要求。如果焊接工艺评定合格,则该焊接工艺可用于实际工程;如果不合格,则需要对焊接工艺进行调整和改进,重新进行评定。

2.2 焊接过程质量控制

(1) 焊接参数监测。实时监测焊接参数,能够保证焊接过程的稳定性,提高焊接质量的可靠性。焊接参数监测系统通常由传感器、数据采集器和显示器组成,要利用焊接参数监测系统对焊接电流、电压、焊接速度等参数进行实时监测,当焊接参数出现异常时,如焊接电流突然增大或减小,通过监测系统发出的警报,提醒焊工及时调整。(2) 层间质量检查。在多层多道焊过程中,层间焊缝的质量直接影响整个焊接接头的质量。一是要通过外观检查观察层间焊缝的成型情况,是否有气孔、裂纹、夹渣等表面缺陷。二是采用无损检测方法,如超声检测、磁粉检测等,对层间焊缝进行检测,及时发现内部缺陷。对于发现的缺陷,必须及时进行清理和修复,确保每一层焊缝质量符合标准要求。(3) 焊工操作监督。通过加强对焊工操作过程的监督,能够提高焊工的操作规范性。监督人员应检查焊工是否按照焊接工艺规程进行操作,包括焊接电流、电压的调整,焊接速度的控制,焊接顺序的执行等。同时,监督人员要及时纠正焊工的违规操作行为,如不规范的运条方法、未按要求进行层间清理等。

2.3 焊接后质量检测

(1) 外观检查外观检查能够初步判断焊接质量是否符合要求,其内容包括焊缝的成型、尺寸、表面缺陷等方面。要求焊缝的成型应均匀、美观,焊缝的余高、宽度应符合设计要求;焊缝表面不得有裂纹、气孔、夹渣、咬边等缺陷。在进行外观检查时,可采用肉眼观察、焊缝量规测量等方法,对焊缝进行全面检查。(2) 无损检测。无损检测是发现焊缝内部缺陷的重要手段。射线检测根据射线穿透焊缝后的衰减情况,判断焊缝内部是否存在缺陷;超声检测利用超声波在焊缝中的传播特性,确定焊缝内部缺陷的位置、大小和形状;磁粉检测适用于检测铁磁性材料表面和近表面的缺陷,通过在焊缝表面施加磁粉,利用缺陷处的漏磁场吸附磁粉形成磁痕,从而显示出缺陷的位置和形状;渗透检测则是利用带有色染料或荧光剂的渗透液,形成清晰的缺陷显示。

3 石油化工管道焊接质量问题及应对

3.1 气孔

气孔的存在会降低焊接接头的强度、韧性和密封性,使焊接接头在承受压力和拉力时容易发生破裂。焊接材料受潮可导致气孔,因为水分分解产生氢气,若未能及时逸出,会在焊缝中形成气孔。气体保护不当,如流量不足或气体纯度低,也会让空气中的气体侵入焊缝形成气孔。此外,母材表面的油污和铁锈等杂质在焊接时会产生气体,同样导致气孔。预防气孔出现,控制焊接材料的烘干、储存条件至关重要。^[4]焊接材料需按厂家规定烘干,并存于干燥箱防潮。例如,碱性焊条应在350~400℃烘干1~2小时,再于100~150℃干燥箱保温。施工时确保气体保护效果,气体流量稳定且纯度达标。检查气体管道无泄漏,气体调节器正常。气孔的修复要严格控制焊接工艺,必要时进行预热。小气孔可打磨后补焊,打磨至金属光泽,深度超过气孔,选用合适焊接材料和工艺。控制焊接参数保质量。大气孔需清除缺陷,用碳弧气刨等方法制成坡口,重新焊接。

3.2 裂纹

裂纹的存在严重危害焊接接头的质量,会大大降低焊接接头的承载能力,容易引发管道泄漏、爆炸等严重事故。热裂纹通常在焊接高温区形成,由于焊缝金属凝固时收缩受限,产生高焊接应力,以及材料中硫、磷等元素含量高,增加裂纹敏感性。冷裂纹多在焊接后冷却时出现,由焊缝金属氢含量高、存在较大焊接应力和淬硬倾向共同作用引起。再热裂纹发生在焊接接头应力消除热处理或高温作业时,高温下应力松弛导致裂纹产生和扩展。

为预防裂纹,需合理选用焊接材料和母材,焊接高强度钢时,可选用低氢型材料以减少氢含量。并控制焊接工艺参数,避免热输入不当。对易裂材料,降低焊接速度,增加电流以减少应力。实施预热和后热措施,如焊接前预热母材,焊接后进行后热,有助于氢逸出和应力消除。如焊接厚壁低合金高强度钢管道时,预热母材至100~200℃,焊接后进行200~350℃、2~3小时的后热。还可通过锤击焊缝消除应力。裂纹的修复应特别注意以下几点:一是修复前的准备工作要充分,包括对裂纹的详细检测和分析,确定裂纹的类型、位置和长度,以及选择合适的修复方法和材料。二是修复过程中要严格遵守

焊接工艺规范,确保焊接质量。三是修复后要进行严格的质量检测,确保裂纹已被完全修复,且未引入新的缺陷。此外,为防止裂纹的再次产生,还应对焊接工艺进行优化和改进,如调整焊接参数、改善焊接环境等。

3.3 未焊透

未焊透是由于焊接电流小、速度过快或坡口角度小、钝边过大等原因造成的热量输入不足,导致母材未充分熔化。不正确的焊条或焊丝角度也会导致未焊透。未焊透会降低焊接接头的强度和密封性,可能在管道承受压力时成为应力集中点,引发裂纹,最终导致泄漏,对生产安全构成威胁。预防未焊透需调整焊接参数,在焊接前,进行试焊,优化坡口设计,并要注意加强焊工培训以提高操作技能。未焊透问题的修复,若未焊透程度较轻,可采用加大焊接电流、减慢焊接速度等方法进行补焊。在补焊过程中,要密切观察焊缝的熔合情况,确保未焊透部位完全熔合。对于严重未焊透,需将缺陷部位清除,重新进行焊接。首先,采用碳弧气刨或机械加工等方法,将未焊透部位清除干净,形成符合要求的坡口。然后,按照焊接工艺规程进行重新焊接,注意焊接过程中要严格控制焊接参数和焊接质量,才能确保修复后的焊缝质量符合标准要求。

结语

石油化工管道焊接质量控制是一项系统工程,任何一个环节的疏忽都可能导致焊接质量问题,进而威胁到石油化工生产的安全稳定运行。因此,必须高度重视焊接质量控制。从多方面入手,通过建立完善的质量控制体系,积极探索激光焊接等新技术,研发高强度、抗腐蚀焊接材料,加强焊接质量控制的标准化和规范化,统一行业标准和操作规程,提高焊接质量控制的可操作性和一致性,为石油化工行业安全、高效发展提供保障。

参考文献

- [1]张春旭.加强管线焊接质量控制的几点作法[J].清洗世界,2022,38(01):172-174.
- [2]卢磊.石油化工管道焊接工艺与质量管理[J].化工管理,2021,(31):179-180.
- [3]陈有禄.探索石油化工管道焊接工艺与质量控制[J].冶金管理,2021,(05):3-4.
- [4]朱增玉.石油化工管道焊接工艺与质量控制研究[J].化工设计通讯,2021,47(02):15-16.