

长输管道焊接质量的控制

张明东

中石化中原油建工程有限公司 河南 濮阳 457000

摘要：本文聚焦长输管道焊接质量控制，详细阐述了焊接工艺，包括手工下向焊、半自动焊和全自动焊工艺及其特点与适用场景。深入分析焊接质量影响因素，如施工流动性、地形地貌以及人文自然社会环境。同时列举了夹渣、气孔、未焊透和未熔合等常见质量缺陷及成因。进而提出全面的质量控制策略，涵盖施工人员、焊接材料、设备与仪器、焊接过程、环境控制以及质量检验与检测等方面。

关键词：长输管道；焊接质量；控制策略

引言：长输管道作为能源输送的关键通道，其焊接质量直接关系到能源供应的安全与稳定。随着能源需求的不断增长，长输管道建设规模日益扩大，穿越的地形地貌愈发复杂，对焊接质量提出了更高要求。在实际施工中，焊接质量受多种因素干扰，一旦出现质量问题，不仅会增加维修成本，还可能引发严重的安全事故。

1 长输管道焊接工艺概述

1.1 手工下向焊工艺

手工下向焊工艺是长输管道焊接中常用的一种方法。它从管道上顶部引弧，自上而下进行全位置焊接。该工艺具有诸多显著优势，焊接速度快，相比传统由下向上施焊方法可提高效率50%，能有效提升工程进度。而且焊接质量好，采用的纤维素下向焊焊条，其铁水浓度低、不滴渣，电弧吹力大，穿透均匀，焊缝根部成形饱满，焊道背面成形美观，抗风能力强，很适合野外长输管道施工的复杂环境。同时还能减少焊接材料的消耗，焊条消耗量比传统方法减少20%-30%。在应用上，常用于中等管径焊接，在较大管径以及山区等地形复杂、自动焊和半自动焊设备难以进入的地段，或连头焊口的焊接中也发挥着重要作用。

1.2 半自动焊工艺

半自动焊工艺在长输管道焊接中应用广泛。它的焊接方向为下向焊，通常由两名焊工同时施焊，一人从平焊位置焊至立焊位置，另一人从立焊位置焊至仰焊位置，之后停机打磨接头位置，再完成剩余焊道。该工艺采用药芯自保护焊丝，在风速不超过11米/秒时均可正常施工。半自动焊工艺具有很多优势。它的焊接速度快，采用较大的焊接电流，可比传统焊接方式大幅提升效率。同时也发挥了焊接自动化的优势，又能借助操作者的技能，对管材组对要求相较于全自动焊稍低，更符合国内管材现状。而且，由于采用自保护焊丝，无需保护

气体，设备简单，使用方便，抗风性好，特别适合野外作业。每道焊口的多层焊道由分工明确的根焊、热焊、填充焊和盖面焊焊工分别完成，减少了焊接参数调节工作，有助于提高技术熟练程度，保证焊接质量。它适用于管道直径大于等于219毫米，壁厚大于等于6毫米的石油、天然气等长输管道，在西气东输等众多国家重点工程中得到了大规模推广应用。

1.3 全自动焊工艺

全自动焊技术在长输管道焊接中展现出高效、高质量的特点。在地势平坦、施工条件良好的区域，全自动焊接能够实现连续、稳定的焊接作业，极大地提高焊接速度和焊缝质量的一致性^[1]。其通过自动化控制系统精确控制焊接参数，减少人为因素对焊接质量的影响，但对设备和施工环境要求相对较高。

2 焊接质量影响因素

2.1 施工流动性

长输管道建设的显著特征之一便是施工的流动性。施工点并非固定不变，而是随着工程进度持续迁移。与工厂流水线那种稳定的生产环境截然不同，这种流动性给焊接质量管理带来了极大的挑战。在施工过程中，设备需要频繁搬运，搬运过程可能导致设备部件松动、损坏，每次到达新施工点后，设备又要重新调试，这一过程中若调试不当，就会影响焊接质量。施工人员也需要不断适应新环境，新环境的气候、地理条件等差异，可能会干扰他们的操作状态，进而影响焊接质量。比如在从平原地区转移到高原地区施工时，由于气压、含氧量的变化，焊工可能需要一段时间来调整焊接手法和参数，才能保证焊接质量的稳定。

2.2 地形地貌

长输管道往往会穿越多种多样的地形地貌，涵盖山区、平原、河流等。不同地形对焊接技术有着不同的要

求。以山区为例,这里地形复杂,地势起伏大,作业空间狭窄,大型的自动焊设备难以施展,运输和操作都存在困难。此时,手工下向焊或半自动焊与自动焊相结合的技术就更为合适。手工下向焊灵活性高,能在狭窄空间作业;半自动焊可在一定程度上提高效率,二者结合能在复杂山区保证焊接质量和效率。而在地势平坦开阔的平原地区,大型全自动焊接设备可以充分发挥其高效、稳定的优势,能快速且高质量地完成焊接任务,极大地推进工程进度。像西气东输工程,就途经戈壁、沙漠、黄土高原、山区、平原、水网等多种地形,正是通过因地制宜地选择焊接方法,才满足了工程的需求。

2.3 人文、自然、社会环境

自然环境因素对焊接质量影响明显。湿度较大时,焊接过程中水分容易混入焊缝,产生气孔、裂纹等缺陷;强风会吹散保护气体,扰乱焊接电弧,使焊缝成型不佳;高温可能导致焊缝金属组织粗大,影响性能;低温则会降低焊接接头的韧性,增加冷裂纹产生的风险。人文和社会环境同样不可忽视。施工人员来自不同文化背景,他们的工作态度、技术水平参差不齐。如果焊工责任心不强、质量意识淡薄,就容易出现操作失误,影响焊接质量。当地的社会稳定情况也会对施工产生影响,比如在施工过程中遇到当地居民的阻挠,导致施工中断,重新开工后可能因为设备状态变化、人员情绪波动等因素,影响焊接质量^[2]。在东部人工密集地区,就常因外界因素干扰,导致现场留头多、连头数量增加,焊接质量难以保证,同时还会增加焊接成本。

3 焊接中常见的质量缺陷

3.1 夹渣

夹渣是指在焊接时焊缝金属中残留有来自外部的固体物质。当使用药芯焊丝焊接时,会产生熔渣覆盖在焊缝表面,如果熔渣在熔融状态下进入焊缝金属,就会形成夹渣。夹渣的形态多样,包括条状、单个、外形不规则以及球状等。它的存在对焊缝质量危害极大,会削弱焊缝的有效承载面积,导致应力集中,长期使用下,管道有出现裂纹的风险。夹渣的产生原因比较复杂。焊前若未清理干净焊道中的渣,残留的杂质就容易混入焊缝形成夹渣;运条速度不稳定,过快或过慢都可能使熔渣来不及浮出;焊丝角度不当,会影响熔渣与液态金属的分离;摆条幅度过宽,可能导致熔池边缘的熔渣难以清理;运条速度过快,熔池凝固迅速,熔渣无法及时排出。

3.2 气孔

气孔在长输管道焊接中十分常见,多呈现椭圆形或圆形,内壁光滑洁净。它可以存在于焊缝内部、表面,

或者同时存在于两者。焊接时,凹坑部分释放的气体若被半熔融熔渣抑制,就会封闭在熔融金属与熔渣之间,待金属凝固后便形成气孔或气沟。从成因上看,保护熔池或电弧的气体流量不足,无法有效隔绝空气,使得空气中的杂质进入熔池产生气孔;保护气体混入杂质或受潮,水分分解产生的氢气会融入焊缝形成气孔;电弧电压过高或焊接电流过大,会改变熔池的状态,使气体难以逸出;焊丝长度过长或焊丝、母材表面有杂质,也会为气孔的产生创造条件。

3.3 未焊透和未熔合

未熔合现象指的是焊接过程中,上下焊道、母材坡口与焊道间未能彻底融合;而未焊透特指焊缝根部未能熔接。在长距离管道建设过程中,单面焊接技术常被应用,这种焊接方法使得未焊透和熔合缺陷更易发生。这些缺陷会导致焊缝截面减小,引起应力集中,在管道承受高压或进行沟槽作业时,严重情况下可能引发焊缝断裂。其主要成因包括坡口加工和焊接作业的不当。例如,坡口加工不符合规范,如间隙狭窄、角度不足或钝边过厚,都会阻碍热量传递至焊缝根部,造成未焊透;过度清理层边导致坡口扩大、形成沟槽,同样影响焊接品质;不稳定的焊接手法,如电流、电压控制失误,焊接速度不一致等,均可能导致未熔合和未焊透现象。

4 长输管道焊接质量控制策略

4.1 施工人员管理

施工人员是影响焊接质量的直接因素。焊接管道受压元件的焊工必须掌握扎实的基础知识和熟练的操作技能,通过考试合格并获得质量技术监督部门颁发的合格证书后,方可在证书有效期内上岗工作,严禁无证焊接。管工作为保障焊接质量的关键人员,负责管口组对。操作时,要维护管口表面平整洁净,严格把控对口间隙、坡口尺寸和错边量,针对未焊接的错边部分,精确测量实际长度,依据规范单独进行质量评级。质检人员要严格把控焊接质量,及时发现问题并采取适当措施纠正,同时做好质量信息反馈,防止不合格产品出现。

4.2 焊接材料控制

在长输管道工程中,焊接材料的质量直接关乎管道的安全性及稳定性。对于长输管道使用的压力管道元件,如焊材、钢管法兰、管件以及阀门等,采购环节是质量把控的关键起始点。采购时,必须严格确保这些元件具有制造许可证,这是其生产合法性与质量可靠性的重要依据。材料上的标记应清晰、完整且牢固,以便于追溯和识别。质量证书需与相关标准相符,并且内容要齐全,涵盖材料的各项关键指标与性能参数。为保质量

证书上的型号、种类及批次号与实际产品相符,防止误发或不当使用,必须进行严格核对。对于压力管道及其辅助材料,在检验达标之后,还需由材料质量控制工程师进行复核确认。此环节极为关键,可以有效避免未经审核的部件被投入使用,杜绝紧急放行现象。一旦发现不合格材料,严禁投入工程,必须及时清理出场,防止其混入施工现场。在材料的保管、存放、运输、吊装过程中,要采取周全的防护措施。以焊材为例,焊丝应存放在干燥、通风良好的库房中,室温保持在10-15℃(最高40℃)以上,最大相对湿度为60%,避免露天存放或处于有害气体和腐蚀性介质的环境。堆放时离地面和墙壁不小于300mm,防止受潮。搬运时避免乱扔乱放,防止包装破损导致焊丝吸潮、生锈。对于钢管等材料,运输和吊装过程中要避免碰撞、划伤,确保其表面完整性,为后续的焊接施工提供质量可靠的材料基础。

4.3 焊接设备与检验仪器管理

焊接设备和检验仪器在长输管道焊接过程中起着关键作用,其性能和精度直接左右着焊接质量。常见的焊接设备丰富多样,像手弧焊机操作灵活,适用于各种复杂环境下的焊接任务;自动焊机自动化程度高,能大幅提升焊接效率与质量的稳定性;焊缝热处理设备则能改善焊接接头的组织和性能;焊条烘干设备能有效去除焊条中的水分,保证焊接质量。为确保这些设备正常运行,定期的维护、保养和校准必不可少。维护方面,操作人员每次使用前需进行日常检查,查看设备外观有无损坏、连接部位是否牢固等,每月还要进行全面的清洁和易损件更换。定期校准能保证焊接参数准确可靠,如焊接电流、电压等参数的精准度直接影响焊缝质量。检验仪器同样不容忽视,探伤比例仪、无损检测仪等,是检测焊缝质量的重要工具。探伤比例仪可精确控制探伤比例,确保检测全面性;无损检测仪能在不损坏焊件的前提下,及时发现内部缺陷。为保证检测精度,这些仪器需定期校验,按规定周期送专业机构校准,日常也要做好维护,保持仪器清洁,避免碰撞,使其始终处于良好的工作状态。

4.4 焊接过程控制

焊接过程控制是保证焊接质量的关键环节。在焊接前,要严格按照焊接工艺规程进行坡口加工,清除坡口及坡口内侧外侧一定范围内的漆、油等杂质,修磨坡口使其钝边和角度符合焊接工艺要求和实际设计参数^[1]。底

层焊接完成后,需立即用砂轮清除残渣并平整接头。清根时将焊缝加工成U型槽。焊接中严格把控电流、电压、焊接速度等参数,确保焊接稳定。收弧时先填满熔池,在成型焊道收弧,最后熄弧。

4.5 环境控制

长输管道焊接多在户外进行,环境因素对焊接质量影响较大,必须严格控制施焊环境。当出现以下情况时,在以下环境中,若未实施恰当的防护措施,则严格禁止进行焊接作业:遭遇雨雪气候;进行气体保护焊接时,风速超过2米/秒;空气相对湿度高于90%;使用酸性焊条进行电弧焊接时,风速超出8米/秒;以及采用自保护药芯焊丝的半自动焊接过程中,风速大于8米/秒;环境温度低于焊接工艺要求。在施工过程中,应根据实际环境条件,采取相应的防护措施,如搭建防风棚、加热除湿等,确保焊接质量。

4.6 质量检验与检测

焊接完成后,要进行严格的质量检验与检测。焊接质检员首先要对焊工自检合格的焊缝进行外观检查,检查内容包括焊缝的成型、宽度、高度、咬边等。需要无损检测的焊缝,应按照规定探伤比例,使用探伤比例仪、无损检测仪等设备进行检测。在检测过程中,一旦发现施焊质量问题,要及时处理或向有关人员反馈。对于焊缝返修,要严格按照返修工艺进行,确保返修后的焊缝质量符合要求。

结束语:综上所述,长输管道焊接质量控制是一个系统工程,涉及焊接工艺选择、人员管理、材料设备把控、过程控制以及环境和质量检测等多个环节。通过严格执行各项质量控制措施,可有效减少质量缺陷,提高焊接质量。随着技术的不断进步,应持续探索创新焊接工艺和质量控制方法,加强对新材料、新设备的研究与应用,进一步提升长输管道焊接质量,为能源输送的高效、安全提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]侯永朋.长输管道施工要点及质量控制探讨[J].红水河,2024,43(4):42-45+49.
- [2]邱中佑.长输管道常见焊接缺陷分析控制[J].石油石化物资采购,2024(18):43-45.
- [3]胡钰杰,王利洲,王洪亮.长输管道全自动焊接技术施工问题及质量提升途径略谈[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(5):0084-0087.