

油气长输管道施工中的焊接技术探讨

张坤

(贵州鸿巨燃气热力工程有限公司, 贵州 贵阳 550000)

【摘要】油气资源远距离输送能有效解决我国不同区域油气储量不均衡的问题,但其存在着诸多施工重难点问题,且极易受干扰因素的干扰而产生风险隐患。因此,为了保证长输输气管线的安全、稳定运行,必须对施工中的重点和难点进行适当的处理,特别是焊接作业。

【关键词】油气长输管道; 施工; 焊接技术

一、长输管道焊接工艺简介

在管线的焊接工艺中,常用的有手动下焊,自动焊,半自动焊接等;双联管焊接工艺等,其中手焊工艺与半自动焊接工艺相结合的方式,是油气长输管线建设中使用最多的一种方式。在施工环境较好的地方,可以选择双联钢管,而半自动和自动化的焊接方法,一般都是在比较简单的施工环境中使用;若上述两种方法都无法满足长距离石油天然气管线建设的需要,可采用人工焊接方式。

向下焊属于手工电焊弧焊接技术中常见的类型,需要首先采用对口器将两管口进行组对之后,两名焊工从管道顶部的0点位置开始,向下进行焊接,直至底部的6点位置。该项技术属于当前我国油气长输管道焊接施工中应用较多的技术,焊接效率较高,且通常应用纤维素焊条,此类型的焊条具有电弧吹力较大、穿透均匀以及焊缝根部饱满的特点,所以完成施工以后,油气长输管道的质量良好,该焊条抗风性能较强,焊接一次合格率高。需要注意的是,为了提升焊接质量,在开展焊接施工之前,应该首先细致清理坡口两侧20mm范围内的铁锈、水、油污、杂物至露出金属光泽,修磨坡口角度符合焊接工艺规程要求,确保组对间隙符合焊接工艺规程要求。

二、长输管道常用的焊接方法

(一) 自动焊接技术

1. 管道自动内焊焊接工艺。管道自动内焊机是一种在管道内部完成管道环焊缝根焊道焊接的自动焊设备。根据管径的大小,内焊机设4个焊枪、6个焊枪或8个焊枪,将焊枪分为顺时针组和逆时针组。焊接时,顺时针组焊枪全部引燃同时焊接,完成半圈根焊道的焊接;然后,顺时针组焊枪全部熄弧,逆时针组焊枪全部引燃同时焊接,完成后半圈根焊道的焊接。4焊枪内焊机,每个焊枪的焊接长度为 90° 的弧长加10~15mm;6焊枪内焊机,每个焊枪的焊接长度为 60° 的弧长加10~15mm。

管道内焊机由焊接车、焊接电源、控制系统、供气系统、对口器和焊枪系统六大部分组成。

管道内焊机的特点如下:(1)焊接效率高,不论管径大小,焊接一道根焊焊道的纯焊接时间一般在2min内。(2)焊接操作简单,具有初中以上文化的人员经一周培训,即可操作内焊机。(3)根焊道的内部成形美观,焊接合格率高。(4)管道自动内焊机组装时不留间隙,组装效率较高。(5)管道自动内焊机,必须采用专用的管道坡口机现场加工坡口,对坡口的质量和组装质量要求较高。(6)内焊机的适用范围小,通常一台内焊机只能焊接一种管径的钢管,经调整适用管径范围也只能在 $\pm 50\text{mm}$ 的范围。(7)设备昂贵,一次性投资较大。(8)设备复杂,维护和维修的难度较大。

2. 管道自动外焊焊接工艺。管道自动外焊焊接设备有如下特点:(1)可以在管道外部进行根焊,道焊接效率通常为内焊70%左右。(2)焊接操作较内焊机复杂,具有初中以上文化的人员需经过一个月的培训,方能较熟练地操作焊机。(3)根焊道的内部成形美观,焊接合格率高。(4)管道外焊机,必须采用管道坡口机现场加工坡口,对坡口的质量和组装质量要求较高。(5)管道外焊机的适用范围大,可适用于管径大于等于 $\phi 508\text{mm}$ 的所有管道的焊接。(6)设备复杂,维护和维修的难度较大。(7)适合平原地区的管道施工,例如云贵川等山区地形实施难度大。

(二) 药芯焊丝半自动焊接技术

药芯焊丝半自动焊接是一种较成熟的长输管道向下焊接技术,其应用范围十分广泛,由于其具有连续性的特点,因此适用于自动化生产。具体是药芯焊丝中含有脱氧剂、稳弧剂、造渣剂和铁合金等类似药皮的物质,在焊接过程中能够保护熔滴,避免熔池被氧化并辅助焊缝成型,同时实现稳定电弧、脱氧脱硫、掺入合金等功能。

药芯焊丝半自动焊在室外焊接作业时,在一般风力下不会被自然风影响,在风速小于10 m/s的情况下,无需外加其他防护措施,可以依靠药粉分解产生的气体保护熔池,该方法能够适应大多数种类的黑色金属在不同厚度、不同接头情况下的焊接。并且药芯焊丝

可以根据成分分为钛型、钛钙型、钙型 3 种,能够适应不同的酸碱度、形成不同的焊道,可根据不同的条件与技术要求选用焊丝种类。

药芯焊丝半自动焊接在接合不同材质的高钢级的钢线管时,焊接接头具有冲击性能不稳定、离散性大等缺点;并且焊材与母材匹配性差,焊缝中夹杂物较多,从而导致接头处温度敏感性较高。

(三) 下向焊条电弧技术

在我国石油天然气企业当中,对焊接技术进行不断研究,20 世纪 80 年代我国成功试验了下向焊条技术,通过对这一技术进行实验。然后将其应用于南北油气长输管道的焊接技术当中。在油气管道固定以后可以应用油气接技术从管道的顶点部位向下开始焊接,由两侧进行垂直焊接,一直到管道的底部。与上向焊接相比,这一焊接模式的应用有着更加明显的优势和特点。下向焊条电弧焊应用过程中,焊接深度和电弧吹力较大所以能够有效提高焊接效果,而且熔敷效率也能够得到大幅度提升。在对油气管道进行打底焊接时,应用这一技术可以有效实现单面焊接,提高了焊接的效果,从而使工作效率也得到了大幅度的提升。但是这一技术在实际应用过程中也存在一定的问题,在应用过程中需要对焊条进行频繁更换,增加了工作人员的工作量。但是由于向下焊条电弧技术具有诸多优势,所以更加适用于野外环境。目前油气长输管道开始施工,将这一技术应用其中可以充分发挥出这一技术的特点和作用。

(四) 手工焊和半自动结合的焊接技术

手工焊分为:焊条电弧焊 SMAW、钨极气体保护焊 GTAW。特点是以手工为主,焊条/丝分长度为 350mm-1000mm 一段;接头较多。

半自动焊分为:熔化极气体保护焊 GMAW、药芯焊丝电弧焊 FCAW。特点是手工操作配合焊接送丝机进行,焊丝(分实心和药芯)为连续的盘状包装,接头较少。

手工焊、手工焊和半自动结合的焊接技术特点:设备体积小、重量轻,机动性好;适合地形复杂的山区和焊接位置受限的地方。

(五) 管道自动焊接设备

长输管道自动焊接设备具有自动化程度高、操作便捷、加工效率高等优点。文中介绍了管道自动焊接设备与其控制系统。

1. 单焊炬焊机。单焊炬焊机以计算机为控制系统,配合传感器在焊接过程中实时检测参数,同时发出控制指令。该方法能够有效提高焊缝质量,有效减轻劳动强度。在单焊炬焊机中,激光-TIG 熔覆修复法具有厚度均匀、硬度高、热影响区窄等优点,得到广泛应用,其中 A-300 型单焊炬焊机广泛应用于油气输送管道焊接^[8]。

2. 双焊炬焊机。双焊炬焊机与单焊炬焊机的区别在于在原有的基础上连接了第 2 个焊接头,能够同时实现多道工序的加工。其工作原理是通过双气缸驱动 2 根电极丝与焊接工件接触实现电焊操作,通过控制

器调节电流与电压,调整焊缝的宽度与熔池深度。中国石油天然气管道局研制量产的 PAW3000、CPP900 型双焊炬焊机被广泛应用于西气东输等工程。

3. 多焊炬管道内焊机。多焊炬管道内焊机具有焊缝美观、接头质量好等优点,被广泛应用。其工作原理是通过控制器集中控制不同类型的焊枪进行焊接作业,实现对工件任意方向进行焊接,提高焊接接头质量。传统的 PLC 模块已经难以满足对复杂系统进行控制,需要对控制系统与硬件优化,从而减轻技术人员的工作强度。中国石油天然气管道局研制生产的 PIW 等型号的多焊炬管道内焊机在西气东输二线、西气东输三线管道中得到了推广与应用。

(六) 管道焊接检测技术

1. 基于射线法的管道检测技术。射线检测技术、射线实时成像技术、射线层析成像技术构成了射线无损检测体系。目前,射线检测技术已经应用于管道检测领域,并制定了行业标准^[11]。

数字射线检测技术应用十分广泛,其原理是由射线发生器向金属材料发射射线,再由射线探测器接收透过材料的射线,射线探测器一直记录模拟信号,之后模拟信号转换为数字信号,经过一定的可视化转变,由专业人员对图像进行评定。

雷铮强等以中俄东线输气管道为例,将传统的射线胶片照相检测技术与数字射线检测技术对比,得出射线胶片检测在数字化后能够更好地结果进行存储与分析,但数字射线检测技术仍存在检测效果不稳定的问题。数字射线检测有检测图像易管理、辐射剂量小、使用方便等优点,能够通过优化设备结构以提高检测的稳定性,其应用范围会更加广泛。

刘金海等通过收集置信度较低以及容易混淆的样本,通过小样本学习的方法训练出焊缝质量检测模型,有较高的准确性。

2. 基于超声法的管道检测技术。相控阵超声检测是按照管道壁厚、坡口形状、焊接次数等信息将焊缝分为多个区域,通过独立的探头逐一焊缝分区进行检测,之后通过选择时间、幅度等变量找到指定区域的超声波回波信号,由颜色反映机使信号可视化。

陈亮等通过 PAUT 扇形扫描工艺,对海底管道的小管径焊缝进行相控超声检测实验。在制作带有缺陷焊缝管道后,进行检测,采集缺陷信息;对缺陷高度进行分析,检出率满足验收标准要求。

超声检测在深度学习领域由于训练数据集具有复杂性,训练时会出现梯度消失等问题,从而影响自动化超声检测发展。余泽禹等提出了基于深度学习的超声无损检测方法,通过引入虚拟数据集的方法与改进的 LSTM-FCN 模型能在面对较复杂的数据时有着较高的准确度。经验证,该检测方法具有较高的可信度,满足工业检测的要求。

超声衍射时差法(TOFD)是一种超声检测方法,该

方法通过监测发射探头发射的超声波在缺陷处转换成的衍射波,同时也收集底面回波与直通波,通过检测三者的时间差即可定位缺陷在深度方向上的位置与尺寸。

董洋通过 TOFD 检测法实现对 PE 管材热熔对接接头的工艺检测。首先人为对管材添加缺陷,后由 TOFD 检测并记录检测的结果,根据图谱评定缺陷类型,最后对管道进行解剖验证。经证明,该方法能够检测出 PE 管道的缺陷,并且实现对缺陷的长度与高度的定量。

三、油气长输管道施工中焊接技术质量控制措施

(一) 焊接前质量控制措施

根据不同的焊接工艺,选用具有对应资质的焊工,确保焊工资质与焊接工艺一致。

焊接前由技术人员向焊工及相关人员进行技术交底,明确焊接工艺参数及注意事项,确保焊接过程按照焊接工艺规程执行。

按焊接工艺规程选用焊材,焊材必须按要求存放、烘烤、报废,并有详细领用记录。

(二) 焊接过程控制

1. 一般要求 = 雨、雪、雾等天气无有效的防护措施,不得施焊。

2. 高强钢一般规定施焊环境温度不低于 0℃。当在特别寒冷的地区施工时,应在焊接试验和焊接工艺评定时模拟施工现场温度进行焊接试验,以确定施焊温度和施焊措施。

3. 环境湿度的一般规定为环境的相对湿度不应大于 90%,当环境湿度大于 90% 应停止焊接。如果管道施工所用的焊接方法和焊接材料对空气的湿度比较敏感,通过焊接试验应限定更低的环境湿度;如果在湿度较大的地区,又必须在湿度较大的季节施工,自然环境湿度时常超过 90%,应采用封闭性能较好的防护篷,采取有效的除湿措施,使防护篷内的湿度控制在 90% 内。

4. 当风速超过如下规定时,无有效防护措施不得施焊。(1) 纤维素焊条、自保护药芯焊丝焊接时,风速 $\leq 10\text{m/s}$ 。(2) 除纤维素焊条外的其他焊条电弧焊焊接时,风速 $\leq 8\text{m/s}$ 。(3) 气体保护焊时,风速 $\leq 2\text{m/s}$ 。

(三) 管道内部焊接飞溅清除措施

纤维素焊条常用于管道根焊,但产生焊接飞溅很多,管道内部是一个密闭空间,产生的飞溅汇集在管道底部,无法采用锉刀、钢丝刷等工具清除,在无损伤检测后的胶片上留下飞溅的残影,影响无损检测结果的评定。初始,使用国产圆柱形清管器清管。虽然焊接飞溅显著降低,但在检测过程中,薄膜表面仍然有飞溅存在,但在焊道的一侧,而不是在焊道的两边。造成此现象的主要原因是焊缝余高和母材夹角之间有缝隙,使其不易清理。通过大量的探讨与实践,提出了一种改进的清管器外形,能有效地抑制焊接飞溅;防止飞溅在管子的内壁上。具体做法如下:

用 $\phi 8\text{mm}$ 的钢筋做一个比管道直径小的圆筒形支架,中间部分下凹,并用不易燃烧且能吸附焊接飞溅的材料如塑料地毯等包缠,包缠物表面与焊道之间有一间隙,该间隙应控制在大约 50mm 为宜,这样既保证焊接电弧不烧着包缠物,又能保证焊接飞溅能溅落其上。采用这种方法后,残留飞溅大大减少,无损检测胶片影像质量提高。

(四) 控制焊接接线

在对焊接接线进行选择时必须根据油气长输管道的实际应用材料和内容进行选择。如果能够对焊接接线进行有效管理和控制,可以避免焊接偏移和焊接变形的情况出现,从而提高工程的质量。为了能够对焊接质量进行有效保障,工作人员要选择合适的焊接设备和焊接材料,同时也要做好预防解封处理,从而提高工程整体质量,保障石油和天然气的有效运输。

(五) 管道焊接接头腐蚀防护

管道接头处的腐蚀主要来源:环境中的硫酸盐、二氧化碳等物质的侵蚀;焊接材料不符合焊缝实际工况导致的腐蚀;油气运输中流动产生压力变化带来的冲击,对焊缝接头产生了应力腐蚀。

对油气管道的腐蚀,有相对成熟的应对策略:在管道表面涂抹防腐材料是常见的防腐方式,能够有效隔绝管道材料与水分和氧气的直接接触,值得注意的是,单层防护并不能很好地对管道进行保护,应采用多层复合的方式保护管道;利用化学电池中的阴极保护法保护管道,通过外接电源使管道保持负电位,抑制材料内部的电子迁移,在使用过程中需要定时更换阳极,以保证系统的有效性。

结论:

在长输管线的建设中,焊接是一个非常重要的环节,它的焊接质量直接关系到整个管线的使用效果和运营安全性,因此,在施工中,需要对焊接工艺的实施过程进行严格的控制。为提高长输管线的焊接质量,防止长输管线在使用后发生泄漏等事故,保证远距离油气输送的安全、高效。

纤维素焊条合格率高、效率高,但飞溅多,在根焊时飞溅汇集在管道底部并在无损检测胶片上留下残影,影响质量评判,因此开发抗风能力强、飞溅少的新型焊条是一个趋势。

自动焊接焊机效率高、合格率高,但在山区适应能力弱,根据山区地形特点,研发体积小,适合复杂地形的自动焊接设备也是一个新的方向。

参考文献:

- [1] 王坚.油气管道焊接常见外观缺陷及预防措施分析[J].全面腐蚀控制,2022,36(08):82-84.
- [2] 陈玥.油气管道防腐保温补口技术选择及质量控制研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(06):29-31.