

Application strategy of down-welding technology in long distance oil and gas pipeline welding

Qiang Chen

State Pipeline Group Western Pipeline Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

China's vast territory boasts substantial oil and gas reserves. With socioeconomic development, the demand for these resources continues to grow, necessitating extensive construction of long-distance pipeline networks for efficient resource distribution. The application of downhole welding technology in pipeline fabrication not only enhances welding quality but also proves particularly effective in challenging field environments. This approach enables cost-efficient operations while ensuring reliable pipeline performance. This paper analyzes practical implementation strategies for downhole welding in oil and gas pipeline systems, demonstrating how such techniques can significantly improve welding precision and promote intrinsic safety in pipeline infrastructure.

Keywords

downward welding process; long oil and gas pipeline; welding

下向焊接工艺在油气长输管道焊接中的运用对策

陈强

国家管网集团西部管道有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘 要

我国幅员辽阔, 油气储备量较大, 同时随着社会经济的发展, 油气资源需求量呈现增长趋势, 需要大量建设油气长输管道, 实现油气资源的高效调度。其中, 在油气长输管道焊接作业中运用下向焊接工艺, 能够提高焊接质量, 且对恶劣的野外作业环境较为适应, 促进焊接作业的高效、低成本实施, 促进油气长输管道的高质量运行。文章主要对下向焊接工艺在油气长输管道焊接工作中的运用策略进行分析, 从而有效提升焊接质量, 促进油气长输管道的本质安全。

关键词

下向焊接工艺; 油气长输管道; 焊接

1 引言

在现代化石油工业发展背景下, 油气长输管道系统综合性逐渐提升, 且油气管输管径日趋增大, 建设规模日益拓展, 覆盖率升高, 对油气管输本质安全提出了更高的要求。基于此, 需要选择合适的焊接工艺, 尤其要对下向焊接技术进行优化应用, 进而提高对野外作业条件的适应性, 提高焊接质量, 强化结构强度, 促进油气运输的安全可靠, 为我国社会经济高速发展提供动力支持。

2 下向焊接工艺特点

当前, 下向焊接技术日渐成熟, 在我国管道建设施工

中发挥了越来越重要的作用。通常情况下, 管道焊接施工作业需在野外进行, 此环节中的难点就是转动钢管并保持熔池水平。为了提高焊接效果, 就需固定钢管, 并通过全方位环形焊缝方式进行组对焊接, 在此过程中就需要应用到下向焊接技术。其下向焊接就是从管道顶部(近零点位置)引弧, 从上到下开展全方位焊接的操作技术^[1]。这是一种高效快速的焊接方式, 且焊缝美观性较高, 能够保障焊接质量, 同时减少焊接过程中的材料使用量, 并降低人工劳动强度。在下向焊接作业中需要选择小缝隙、大钝边等坡口工艺参数, 因此焊接质量要求高, 焊接效率要均衡; 同时需要使用专业焊条, 能够提高电弧吹力, 保障燃烧稳定性, 同时飞溅范围小, 能够提高焊条融合速度, 实现电弧、熔池的大幅度保护。

3 下向焊接工艺流程

3.1 布管

布管的质量与组对焊接速度息息相关。在钢管收尾衔接过程中, 需要把相邻管口呈现锯齿形态排布, 并错开管口,

【作者简介】陈强(1979-), 男, 中国新疆乌鲁木齐人, 本科, 副高级工程师, 从事油气储运及长输管道工程与附属工程、油田地面建设, 长输管道运维、道路、桥梁、隧道工程研究。

方便作业人员及时清理管道内的杂物，同时修整坡口。

3.2 管口清理

在钢管组对前，需要彻底清理管道内的杂物、脏污等，保持干净整洁，同时要对管口坡口进行彻底清理，如油污、水分、熔渣等，利用专业设备（角磨机、直磨机）打磨坡口内侧毛刺，确保坡口边缘露出金属光泽^[2]。

3.3 坡口检查及修整

完成管口清理作业后，需要做好坡口检查工作，尤其要精准测量坡口角度、钝边尺寸；同时，还需要详细检查管口是否存在缺陷问题，如压痕、裂纹、椭圆等。对发现的缺陷问题，要立即修整。

3.4 组对

本文以沟上组对方式为例。在管道下方放两个管墩，同时保持管底与地面保持 0.6 米的间距。为了保障管道稳固性，需要使用土堆对管墩进行压实。此外还需要使用对口器（内置、外置）进行管口组对，并结合焊接技术的实际要求，灵活性调整组对间隙^[3]。如有管口错边超标，需要将其均衡分散到整个圆周上。

3.5 焊接

本文以外对口器组对为例。在下向焊施焊程中，需要按照以下流程进行操作：（1）根焊。在油气长输管道焊接过程中，往往需要单面焊双面成形的工艺要求，同时对背面焊缝要求较高，需要保障焊波（或称焊缝成形）均匀性。根焊既可以提高管道根部焊接透彻性（完全熔透），同时还不会烧穿根部。在根焊作业中，需要选择短弧、小规范的焊接，焊接过程中，需要从管接头往前 10 毫米的位置引弧，在该位置设置熔池，需要在短时间内对焊条压底（促进熔透），并使用短弧焊接方式，保障焊条以直线状态高效、均匀向下运条。当焊接作业超过管周长一半以上后，才能拆卸外对口

器，因此需要把根焊切换为多个均匀的小段。最后需要使用专业角磨机彻底清理熔渣、飞溅等。（2）热焊及填充焊。完成根焊作业后，需要在五分钟（有些长输管道工程另有规定）之内开展热焊作业，这样才能对层间温度进行严格控制，进而提高焊接质量。该焊接环节，需要保障熔深值符合设计要求，且不能烧穿根焊缝，促进焊缝均匀性。在焊缝填充环节中，需要始终遵循窄、薄、快速的要求，焊道宽度控制在 15 毫米以内^[4]。当技术人员或焊工在使用自保护药芯焊丝半自动焊对填充层进行焊接，同时要对整个焊道进行彻底打磨和清理，才能开展下一层焊接。其中，焊丝干伸长度需要控制在 25 毫米左右，适当提高焊接电弧，保障焊接速度均匀性，使用多层多道直线向下焊接的模式进行操作。（3）盖面焊。该方式可以对焊缝进行充分满填，能促进焊缝形成良好外观。在部分焊点实施作业中，需要把焊接电流进行合理控制，防止发生下坠、咬边问题。下向焊盖面焊道宽度不能超过 15 毫米，焊缝余高需要超过管平面 1 毫米左右。

4 下向焊接工艺在油气长输管道焊接中的运用分析

4.1 全纤维素型下向焊接技术

该技术应用中，需要确保焊接机械具备“陡降外特性”，即电压—电流特性曲线（U-I 曲线）；同时在焊接过程中，需要焊接机对电流具备较高的适量值；适当提升焊接机的静特性曲线，这样才能有效缩小熔滴过渡效果。油气长输管道焊接作业中，往往会受到环境因素的影响，难以保障焊接机械准确进入焊接位置，因此要选择纤维素型焊条的下向焊接技术，尤其可以实现打底焊，进而形成单面焊双面成形^[5]。需要注意的是，在仰焊环节中，防止重力作用引起熔滴形成凹陷现象，同时减少铁水、焊条粘连等现象。其中，全纤维度焊条焊接工艺参数如表 1 所示。

表 1 全纤维度焊条焊接工艺参数

焊道名称	填充金属	直径 mm	极性	焊接方向	电流 A	电压 V	焊缝 cm/min
根焊	E6010	3.2	正极	向下	55-90	24-35	7-15
热焊		4.0	反极		100-150	22-35	15-40
填充焊					100-140		15-25
盖面焊							15-20

4.2 半自动下向焊接技术

较为常见的半自动下向焊接技术就是以 CO₂ 或 Ar+CO₂ 混合气体作为保护气体的 STT（表面张力过渡）型半自动下向焊接技术，主要是利用二氧化碳（CO₂）活性气体的保护作用完成焊接。这种方法的成本较低，经济性突出且焊接效率较高，形成的焊缝较为美观，产生的飞溅较少，伸长变化较少。

4.3 复合焊接施工技术

纤维素加药芯焊丝的半自动下向焊接技术，就是通过热焊接、打底焊等方式，把药芯焊丝形式的半自动盖面填充

处理的技术。该方式在较高级别的钢管材质是有运输管道焊接施工中得到广泛应用。STT+ 药芯焊丝的半自动下向焊接技术，是利用实心焊丝气体形成的保护作用，促进下向热焊接、打底焊，进而利用药芯焊丝焊接技术来进行盖面填充处理^[6]。该技术在高强度管道焊接中发挥重要作用。自保护药芯焊丝半自动下向焊技术的抗风能力较强（通常可以抵抗 4 ~ 6 级风），尤其适合野外作业，其中施工过程中的药粉中含有一定量的造气剂、造渣剂、脱氧剂、脱氮剂。在焊接环节中会形成“气-渣联合保护”，进而确保自保护药芯焊丝半自动焊具有较强的抗风能力。此外该技术的焊接效率较

高,药芯焊丝能够实现连续焊接,焊渣薄,容易脱渣,焊接效率较高。该技术能够形成较高质量的焊缝,使用的焊条较少,形成的焊缝缺陷不多,同时能够降低焊缝氢含量。该技术的综合成本较低,使用打辅助工装较少,整体焊接成本较低。

5 下向焊接工艺在油气长输管道焊接中的注意事项

5.1 做好全面分析

下向焊接工艺在长距离、大管径的金属油气运输管道建设中发挥了重要作用,尤其适合高强度、高钢级(X70、X80及以上)类型的油气管道施工作业^[7]。在施工前,需要对该技术在施工过程中的注意事项进行全方位分析,进而采取可行性的应对措施,防止焊接环节中发生异常情况,保障焊接作业的顺利进行。

5.2 选择合适的焊条和焊机

纤维素焊条性能较为优越,其中含有一定量的有机造气剂,在施焊时,有机造气剂会得到分解,转化为一氧化碳、二氧化碳气体,这些气体能够高效保护熔池和电弧。在焊接环节中,会产生少量的残留熔渣,并对熔池表面进行覆盖,这样才能强化对焊缝金属的保护效能。这种焊条在使用过程中会产生较大的电弧吹力,产生的熔渣较少,在恶劣的野外焊接作业中进行良好适应。在选择焊机时,通常需要使用直流逆变下向焊接专用焊机,在焊接过程中需要创造满热弧(维持稳定热弧)、电弧推理调节、焊条防污等条件,进而更好的适应野外恶劣环境。

5.3 提前进行预热处理

为提高焊接质量,需对整体施工区域进行预热处理。预热可有效减少打底焊过程中出现的粘条现象,有助于保持焊接电流的稳定性,从而进一步增强坡口的熔合效果^[8]。在实际施工环节中,作业人员需要结合施工工艺、施工材料等,选择是否需要开展预热处理,同时要实时测量预热过程中的温度,结合实际情况严格控制预热温度。

5.4 按照合理顺序进行焊接

在下向焊接作业中,为确保焊接质量、效率与安全,需严格遵循流水作业模式,并结合小直径管道与大直径管道在结构特点、施工难度及人员配置上的差异,针对性选择适配的焊接方法。如焊接小直径时,需要安排两名专业人员按照从上到下的模式依次焊接;焊接大直径时,就要操作人员从顶部开始操作,另一名操作人员在既定位置焊接。如果焊接范围较大,需要适当增加一名焊工进行操作。其中,下向焊接工艺顺序如图1所示。

6 大力推广全自动焊下向焊工艺

传统手工电弧焊或半自动焊对比全自动焊而言,在管

道焊接中存在效率低(单道焊速慢)、质量依赖焊工技能(易出现气孔、未熔合等缺陷)、劳动强度大(高空/野外作业环境差)等问题,尤其在长输油气管道、城市燃气管网、化工压力管道等工程中,焊接质量和效率直接影响工程进度与安全。全自动焊下向焊工艺通过机械自动化控制焊接参数,结合“向下立焊”的熔池重力自填充特性,具有焊接速度快(效率提升30%-50%)、质量稳定(缺陷率降低80%以上)、人工依赖低(减少高级焊工需求)、适应复杂工况(如大管径、厚壁管)等显著优势,是当前管道焊接技术升级的核心方向。

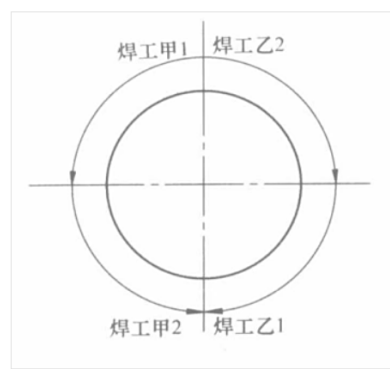


图1 下向焊接工艺顺序图

7 结语

综上所述,当前下向焊接技术已在油气长输管道焊接工程实现规模化应用。该技术通过提升焊接效率、改善焊缝成型质量,不仅能形成外观规整的焊道,还具有显著的焊材节约优势。其在管道焊接中的广泛应用,有效保障了焊接接头的密封性能,提升了油气输送系统的运行安全性,对推动我国油气长输管道建设的高质量发展具有重要工程价值。

参考文献

- [1] 郝鹏骞. 直埋供热管道无补偿冷安装直埋敷设中下向自动焊接工艺试验[J]. 安装, 2025, (09): 27-29.
- [2] 林睿南,熊猛,于操,等. 油气管道焊接技术现状及发展趋势[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2025, 40 (02): 95-105.
- [3] 王伟. 油气管道施工工艺优选及安装工程控制研究[J]. 石油和化工设备, 2025, 28 (02): 76-78+82.
- [4] 杜长森. 长输管道下向焊自动化焊接技术[J]. 金属加工(热加工), 2024, (05): 73-76.
- [5] 张胜玉. 下向焊技术在油气长输管道中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41 (20): 191-194.
- [6] 姚佳林,王海涛,杨建铖. 天然气管道焊接中下向焊技术的运用分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40 (13): 233-234.
- [7] 王营. 石油管道焊接中下向焊技术的运用分析[J]. 当代化工研究, 2020, (07): 104-105.
- [8] 李晓彪. 浅谈下向焊技术在石油管道焊接中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40 (07): 185-186.