

水网地区大直径长输管道 自动焊施工适应性研究

刘兴邦¹, 汪宏辉¹, 王 淦¹, 高 鹏¹, 周洪云², 贾继聪²

(1. 中石化江苏油建工程有限公司, 江苏 扬州 225126;

2. 国家管网集团江苏天然气管道有限责任公司, 南京 210000)

摘 要: 针对水网地区大直径长输管道施工过程中存在的设备行走困难、施工带承载力差、焊接质量不稳定等问题, 从线路优化、设备改造、施工带改造、机组配置优化等方面进行了管道自动焊施工的适应性研究, 并从施工方案和工艺规程制定、焊接前准备以及焊接过程控制等方面提出了针对性的焊接质量控制措施。优化后的管道自动焊施工技术经过项目施工验证, 不仅降低了水网地区管道施工难度, 提升了施工效率, 而且充分发挥了全自动焊接技术高效、高质量和高稳定性的特点, 证明了全自动焊在水网地区大直径长输管道施工中的可行性, 为自动焊技术在水网地区管道施工中的推广提供了依据。

关键词: 水网地区; 大直径长输管道; 全自动焊接; 焊接质量控制

中图分类号: TG444.2

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2022.07.010

Research on the Adaptability of Automatic Welding Construction of Large-diameter Long-distance Pipeline in Water Areas

LIU Xingbang¹, WANG Honghui¹, WANG Gan¹, GAO Peng¹, ZHOU Hongyun², JIA Jicong²

(1. Sinopec Petroleum Engineering & Construction Jiangsu Corporation, Yangzhou 225126, Jiangsu, China;

2. Pipechina Group Jiangsu Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: In view of the problems in the construction of large-diameter long-distance transmission pipelines in water network area, such as difficulties in equipment travel, poor bearing capacity of construction zone and unstable welding quality, the adaptability of pipeline automatic welding construction is studied from the aspects of line optimization, equipment transformation, construction zone transformation and unit configuration optimization. Targeted welding quality control measures are put forward from the aspects of pre-welding preparation and welding process control. The optimized pipeline automatic welding construction technology has been verified by the project construction, which not only reduces the difficulty of pipeline construction in water network areas and improves the construction efficiency, but also gives full play to the characteristics of high efficiency, high quality and high stability of automatic welding technology, and proves the feasibility of fully automatic welding in the construction of large-diameter long-distance pipeline in water network areas. It also provides a basis for the popularization of automatic welding technology in the construction of water network lots.

Key words: water area; large-diameter long-distance pipeline; fully automatic welding; welding quality control

0 前 言

近年来, 随着大直径、高压力、长距离输送

油气管道建设的大力开展^[1-3], 具有焊缝质量好、焊接效率高、人工劳动强度低、经济效益高等优势的管道全自动焊技术^[4-9]在长输管道施工领域

的应用愈加广泛^[10-13]。相比于普遍采用管道自动焊技术的平原地区^[14]，水网地区具有雨量充沛、气候湿润、河流交错、沟壑纵横等特点^[15-16]，不仅造成穿越工程量大、弯头多，且其较差的地层承载力也使得自重较大的大直径管道和大型设备的运输和进场难度大大提高^[17-18]。此外，水网地区的地貌特性提高了管沟开挖和管道下沟的难度，降低了施工效率^[19-20]。为进一步提高管道自动焊技术在水网地区的施工效率和焊接质量，针对水网地区的施工难点，依托江苏滨海项目，对水网地区大直径长输管道自动焊技术开展了施工适应性研究。

江苏滨海 LNG 配套输气管线滨海—盱眙项目，包括 1 条干线和 1 条支线，即滨海—盱眙干线和阜宁支线，线路全长约 323.2 km。滨海—盱眙干线起于江苏省盐城市滨海县滨海港的滨海首站，止于江苏安徽交界处，该段地貌主要为水网地带，沿线大多为稻田地，土质为粘土，许多水稻田地由河流淤泥形成，且河流和鱼塘高度密集。

1 水网地区大直径长输管道施工措施

水网地区长输管道施工与普通地区施工相比，其难点在于水网地区的沟渠纵横、地基承载力差，从而导致运布管、焊接等工序施工设备难以行走，施工机组转场频繁，以及施工质量控制难度大、工效低等问题，针对这些难点分别采取以下措施：①优化线路，减少热煨弯管数量；②改装设备，提升机组重型设备的适应性和通过性；③改造施工带以提升土壤承载力；④确定自动焊施工机组最优配置。

2 施工工艺优化

2.1 线路优化

2.1.1 绕开施工难度较大地区

在水网地区施工时，往往经过成片的水稻田或养殖区，不仅施工难度较大，而且管线建成后管理难度大。因此，在线路优化中要重点关注高后果区、水稻田和水塘等处的管线走向，尽量绕开施工难度较大的区域。

2.1.2 线路取直

在水网地区施工线路优化更改时，优先考虑线路取直，减少热煨弯管总数量，提高自动焊连续施工率。受全自动焊接设备的影响，热煨弯管无法全自动焊接，只能采用组合自动焊，严重降低了施工效率和焊接质量，所以在在大直径长输管道施工中，可以由数个冷弯管代替小角度热煨弯管，提高自动焊设备连续通过性。

2.2 施工设备适应性优化改造

2.2.1 湿地吊管机改造

普通吊管机行驶至淤泥层较浅的地段，由于自重大，履带接触面窄，经常出现下陷、打滑、行走困难等情况，虽然铺设钢板能满足通行需求，但也增加了施工成本。

湿地型吊管机在原有吊管机的基础上，经过进一步改进，合理增大了吊管机履带的长度和宽度，其单履齿采用三角形履齿，吊管机底盘履带与地面接触面积大大增加，降低了接地比压值（接地比压是设备与地面接触的单位面积上所承受的垂直载荷），从而强化了在湿地类型地区进行管线施工的能力。图 1 所示为湿地吊管机的现场作业情况。



图 1 湿地吊管机现场施工图

2.2.2 双吊臂湿地电站改造

移动电站在水网地段的行驶能力对施工工效有着重要影响，故在水网地区进行大直径长输管道施工时，设计了一种湿地型双吊臂移动电站提升通过性，从而提高效率。基本思路是将常规的移动电站履带替换为专门设计的三角形履齿，并且在空间允许的范围内适当增大履带尺寸，从而降低电站的接地比压值，实现在淤泥层不深的施工带能够基本通行。另一方面，通过对电站平台进行改造和重新布局，分别在电站中部、尾部设置一台随车起重机，采用独自液压油路进行控

制,互不干扰,实现双吊臂同时工作,保障预热工序、钢管组对的吊载需求,节省一定人工数量,且提高预热工效。图 2 所示为湿地电站在现场的使用情况。

2.2.3 坡口机动力装置改造



图 2 湿地电站现场工作图

目前国内普遍采用坡口机+液压动力站进行坡口加工,如图 3 所示,液压动力站一般由挖机或吊管机携带,在实际施工过程中存在操作复杂、移动困难、坡口加工效率低等问题。根据坡口机液压动力的需求,在挖掘机的液压系统中增加了分泵合流系统,利用挖掘机液压系统为坡口机提供动力,如图 4 所示,提高了坡口加工效率和现场作业的机动灵活性。与传统液压站相比,坡口机动力装置减少了吊装坡口机、液压站以及线缆来回移动时间,现场统计发现,采用此动力系统,坡口车削效率提高近 60%,提高了设备利用率。



图 3 坡口机液压站装置



图 4 坡口机动力装置

2.2.4 炮车改造

针对水网地区道路条件恶劣、普通运管车无法行走的情况,将普通运管车改造成六驱炮车进行运、布管,改造后的炮车具有驱动能力强、转向灵活、地形适应性强等优点,可以方便快捷地在各种临时便道进行运、布管操作。

2.3 施工作业带修筑

水网地区长输管道施工的最大困难是施工便道和作业带的修筑。由于水网地区的地基承载力很低,大部分地段经地表水的长期浸泡,大型设备无法行走。为了保证运、布管和焊接防腐设备的安全行驶,必须修筑临时施工道路并进行施工作业带加固^[21]。

2.3.1 水田地段施工作业带修筑

水网地区水田地段的长输管道施工,应尽可能安排在旱季施工;若在雨季施工不可避免,则首先在作业带范围内开挖排水沟,随后剥离耕植土并晾晒 3~4 天,待其表面干燥后用推土机压实;对个别地基承载力较低、地质情况极差的地段,在通道内铺草袋装土进行加固,下层 400 mm 厚采用草袋装土,上层使用 200 mm 沙土压实。此外也可采用铺设钢板、管排的方式进行加固。

2.3.2 水塘地段施工便道修筑

一般根据水塘的大小将水塘内的水抽干或围堰抽取作业带内的部分水,再利用泥浆泵结合机械进行清淤,之后在上边铺垫土工布并人工压土 300 mm,将土工布两边折起、包裹压实,在其中心位置搭接后再人工压土 200 mm,机械压实或在土工布上铺设管排或钢板。如需进一步提高地基承载力,可采取打钢板桩的方式以保证施工机械顺利通过。

2.3.3 小型河流、沟渠临时施工便道修筑

当河渠宽度不超过 5 m 且河水不深时,可以用涵管顺河放置,保证足够的过水量,随后在管上铺垫砂袋或直接堆土,形成便桥。埋土高度不少于 1 m,桥宽不小于 6 m。在设备行走前,先用推土机或挖掘机来回碾实。

2.3.4 中型河流施工便道修筑

对于无桥梁的中型河流,当河面宽度为 5~20 m 时,可采用搭设贝雷桥的方式,两头桥台

为双层钢管桥台基座，上部采用 321 标准式六排单层的下加强上承式贝雷结构，贝雷主梁上铺设 1.5 m×6 m 横向桥面板，桥面两侧焊接护栏。

2.4 自动焊施工机组配置

水网地区采用自动焊进行施工时，机组配置应根据实际地形、土壤承载力、施工段长度等因素综合确定，从而发挥最大效益比。经过现场调研、分析和验证，按照以下三种典型的水网地段进行机组配置。

2.4.1 可连续作业水网地段

对于一般旱地、土壤承载力较好的水稻田及排水后承载力较好的连片鱼塘等，通过排水、晾晒和干土铺垫等方式能满足全自动焊机组设备通行和作业需要的地段，且连续作业面长度满足大机组三天以上的作业面，采取修筑施工便道、全自动焊大机组沟上焊接、沉管下沟的施工组织方案。经过实践验证，采用工效最高的“1 站内焊+5 站外焊”机组配置，对于 $\Phi 1219 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ 规格管线，自动焊热焊、填充、盖面共计 5 层 8 道，每站焊接 1 层时能最大程度地发挥自动焊的效率优势。

2.4.2 不可连续作业水网地段

对于雨季时节的水稻田、鱼塘等土壤承载力较差的地形，由于连续作业面长度较短，故采取修筑施工便道、铺设钢板、开挖排水沟等措施以获得较好的通过性；采取全自动焊小机组沟上焊接、沉管下沟的作业方案。经过实践验证，采用“1 站内焊+3 站外焊”机组配置具有最大施工效益比，其中第一站为热焊+填充 1 层，第二站为填充 2 层+填充 3 层，第三站盖面。

2.4.3 河流沟渠交错的水网地段

雨季时节土壤承载力很差，同时伴随多条沟渠、小型河流的地形，需要增加纵向冷弯以进行管道敷设，同时还需采取临时填埋等措施，施工难度有所提高。因此，采取修筑施工便道、增加纵向冷弯、全自动焊小机组沟上焊接、沉管下沟的施工方案。实践结果表明，机组配置采用“1 站内焊+2 站外焊”时施工效益比最高，其中第一站为热焊+填充 1 层，第二站为填充 2 层+填充 3 层+盖面。

3 自动焊施工质量控制与验证

水网地区大直径长输管道施工存在诸多困难，传统上一般采用手工下向焊和半自动焊相结合的焊接工艺，但存在焊接参数不受控，焊缝质量不稳定以及效率低下等问题。依托江苏滨海 LNG 项目，首次尝试水网地区大直径长输管道内根焊自动焊工艺。受水网地区环境特点影响，自动焊同样存在施工质量问题，故应从以下方面进行控制：

(1) 严格执行 GB 50369—2014《油气长输管道工程施工及验收规范》、GB/T 34275—2017《压力管道规范 长输管道》、GB/T 31032—2014《钢质管道焊接及验收》、DEC-NGP-G-WD-002—2020-1《油气管道工程线路焊接技术规定》、DEC-OGP-R-QM-012.2—2020-1《油气管道工程施工质量验收技术规定》等国家和相关企业标准，并以此为依据制定水网地区质量控制体系和质量检查方案。

(2) 施工前编制焊接专项施工方案和焊接工艺规程，并上报监理和业主审批后方能进行施工；项目部各专业技术负责人向作业班组进行详细的安全技术交底工作，使施工人员掌握施工方法以及施工质量控制要点。

(3) 加强水塘、水稻田等特殊区域的施工带改造，通过排水、晾晒等措施降低土壤含水量，同时铺设钢板以提高地基承载力，进而保证组对和焊接时的稳定性。

(4) 焊接材料必须具有产品出厂合格证、材质证明书、出厂检验（试验）报告等资料。同时，由于水网地区湿度大，现场焊接材料贮存及保管应具有有效的除湿措施，每日焊接停止时应将焊材取出放置在保温桶中，确保焊材质量。

(5) 组对时必须使用 2 台吊管机，严禁使用挖机进行吊管组对，以免因为泄压产生焊接裂纹。

(6) 严格控制焊接时的环境温度、湿度，焊前必须使用中频加热器进行工艺规程要求温度的预热，填充及盖面焊对应的每一焊接站必须配置中频加热器，以确保需要时层间及时加热。

(7) 自动焊内根焊结束后，应安排专人进入

管内检查内焊缝,如发现单边未熔合、某一段未焊接等,应及时进行打磨和内补焊。

滨海 LNG 项目历时 6 个月完成了线路的主体焊接工作,项目整体焊接一次合格率达到 96.5%,施工过程中未发生可记录的质量及安全事故,项目整体质量安全、进度可控。在直径 1 219 mm 规格管道施工过程中,标准单机组最高日焊接量达到 42 道焊口。

4 结 论

(1) 在水网地区大直径长输管道自动焊施工前,对线路进行了优化,包括绕开施工难度大的区域和进行线路取直,有效提高了施工效率和焊接质量;适应水网地区的地形特点开展针对性的施工设备优化改造,包括湿地吊管机、双吊臂湿地电站、坡口机动力装置以及炮车,提高了设备在水网地段的行驶能力和施工效率;面向水网地区不同地形特点及土壤承载力的施工段,提出针对性的作业带修筑方法以及配套的机组配置,大幅提高了地基承载力和施工效率。

(2) 针对水网地区地质特点对长输管道自动焊质量的影响,从施工方案和工艺规程制定、焊接前准备工作以及焊接过程控制等多方面提出自动焊施工质量控制措施,从而显著提高了施工效率和焊接质量。

(3) 结果充分证明了全自动焊在水网地区大直径长输管道施工中的可行性,所提出的施工技术和措施对类似的水网地区管道施工项目具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 胡建春,陈龙,廖井洲. 大直径 X80 油气输送管道焊接技术[J]. 焊管,2012,35(8):19-22.
- [2] 薛振奎,隋永莉. 焊接新技术在我国管道建设中的应用[J]. 焊管,2010,33(4):58-61.
- [3] 樊学华,庄贵涛,李向阳,等. 长输油气管道焊接方法选用原则[J]. 油气储运,2014,33(8):885-890.
- [4] 高云青,王纪,李颂宏. X80 级管线钢全自动焊焊接工艺[J]. 焊接技术,2010,39(1):69-70.
- [5] 伍奕,荣军,万代强,等. $\Phi 1\ 422\ \text{mm}$ 大口径 X80 钢管道全自动焊接技术应用[J]. 石油化工设备,2016,45(6):57-61.
- [6] 于英姿,郑照东,张占辉. 自动焊技术在长输管道焊接中的应用[J]. 焊管,2001(2):47-49,55.
- [7] 吴宏,周剑琴. 国内大口径、高钢级管道焊接及焊缝检测技术现状[J]. 油气储运,2017,36(1):21-27.
- [8] 高云强. X80 钢管道全位置机动焊工艺可行性研究[J]. 石油化工设备技术,2021,42(4):56-61.
- [9] 熊林玉,杜则裕,陶勇寅,等. X80 钢管的焊接[J]. 油气储运,2003(10):53-56,60.
- [10] 张小强,蒋庆梅,李朝. 自动焊在中俄东线天然气管道工程试验段的应用[J]. 焊接技术,2017,46(9):92-94.
- [11] 隋永莉. 长输油气管道高强度管线钢管现场焊接技术[J]. 电焊机,2014,44(5):27-32.
- [12] 隋永莉. 我国长输管道建设对焊接技术发展的需求[J]. 金属加工(热加工),2015(6):43-44.
- [13] 汪宏辉,李熙岩,张波,等. 长输管道全自动焊边缘未熔合产生原因与抑制技术[J]. 电焊机,2019,49(3):57-61.
- [14] 颜爱政,刘华,刘雷,等. 长输油气管道焊接技术的应用[J]. 油气储运,2008(8):40-43,61.
- [15] 张志强,王海民,张建军,等. 潮湿水网地区管道焊接技术[J]. 焊接技术,2013,42(2):72-74.
- [16] 张晨,柳志伟,王喜卓,等. 青宁天然气管道水网地带焊接缺陷及质量控制[J]. 石化技术,2019,26(11):6-8.
- [17] 李艳华. 西气东输管道江南水网地区的施工方法[J]. 油气储运,2003(5):27-29,61.
- [18] 高永,张世彬,涂立成,等. 浅谈江南水网地段大口径管道水田施工方法[J]. 油气田地面工程,2002(2):29.
- [19] 王岩. 水网地段大口径油气管道的沉管下沟施工[J]. 石油工程建设,2003(3):59-60.
- [20] 许怀丽. 水网地段大口径输水管网施工方法的研究[J]. 工程建设与设计,2013(11):120-122.
- [21] 李广远,丁信东. 西气东输水网地段管道施工系列方法和技术[J]. 石油工程建设,2004(4):6-10.

作者简介:刘兴邦(1986—),男,2010年本科毕业于哈尔滨工业大学焊接技术与工程专业,现主要从事长输管道焊接技术、施工管理方向的研究工作。

收稿日期:2021-11-27

编辑:黄蔚莉