

超小型埋弧自动横焊机在竖井压力钢管焊接中的应用

姜如洋, 王生瓚

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610225)

摘要:总结了超小型埋弧自动横焊机设备在中东抽水蓄能电站 500 m 级深垂直竖井压力钢管现场安装焊接中的应用技术,重点论述了超深竖井内使用埋弧自动横焊机具有的优点及焊接工艺方法,所取得的经验可为其他同类型水电站竖井压力钢管安装焊接施工提供借鉴。

关键词:超小型埋弧自动横焊机;竖井;压力钢管;焊接;中东抽水蓄能电站;500 m 级深垂直竖井

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV547

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2023)03-0095-04

Application of Subminiature Automatic Submerged Arc Transverse Welding Machine in Pressure Steel Pipe Welding of Vertical Shaft

JIANG Ruyang, WANG Shengzan

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Sichuan Chengdu 610225)

Abstract: This paper summarizes the application of the subminiature automatic submerged transverse welding machine in the field of installation and welding of the pressure steel pipe in the 500-meter vertical shaft in the Middle East pumped storage power station, and focuses on the advantages and welding process of this new welding machine in the ultra-deep vertical shaft. It can provide reference for the installation and welding construction of pressure steel pipe in vertical shaft of similar hydropower stations.

Key words: subminiature automatic submerged transverse welding machine; vertical shaft; pressure steel pipe; welding; Middle East Pumped Storage Power Station; 500 m-level deep vertical shaft well

1 概述

中东抽水蓄能电站位于以色列东北部的约旦河边,装设 2 台、单机容量为 172 MW 的单级可逆式机组,最大水头为 441 m,总装机容量为 344 MW。电站引水系统包括上平洞、竖井、下平洞、引水支洞及尾水洞等,其中该电站的垂直竖井总高度约为 510 m(含上部调压井),属于超深垂直竖井。除上部调压井外,整个竖井全部采用钢管衬砌。竖井压力钢管的总高度约为 446 m,共计安装 117 节、长度为 4 m 的压力钢管。该竖井开挖断面的直径为 5.2 m,竖井钢衬的最大外径(包括加劲环)尺寸为 4.4 m。由于竖井井内压力钢管安装作业的空间有限、井内风力强,采用手工电弧焊接施工作业十分困难,且因手工电弧焊产生的大量焊接烟尘及弧光将给焊接施工人员的

身体带来不可预见的伤害,亦将严重影响到竖井井内压力钢管的焊接质量及施工进度。针对上述情况,项目部技术人员经分析研究后认为:采用超小型埋弧自动横焊机新设备可以解决竖井井下受限空间作业、焊缝质量要求高、焊缝坡口形式不一等难题,同时亦可降低焊接烟尘的排放和焊接弧光的产生,进而大大改善了焊工的劳动作业环境,确保了其在受限空间内安全顺利地进行竖井钢衬焊接作业,提高了焊接质量及施工效率。阐述了超小型埋弧自动横焊机在竖井压力钢管焊接中的应用过程。

2 埋弧自动横焊机

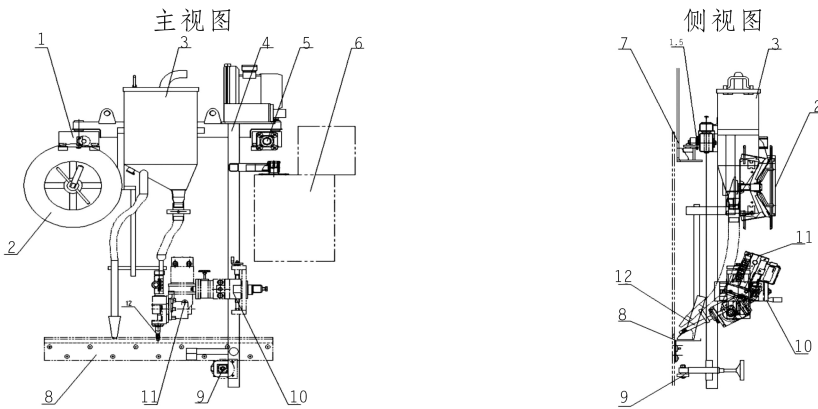
鉴于埋弧自动横焊机一般只适用于石油化工行业的大型储罐,属于大型罐体焊接专用设备^[1],其外观尺寸大、结构复杂且笨重、拆卸非常困难,无法直接应用于水电工程特殊条件下的工况,即

收稿日期:2023-04-10

垂直竖井压力钢管的焊接还需配备相应的自动化焊接配套专用设备。

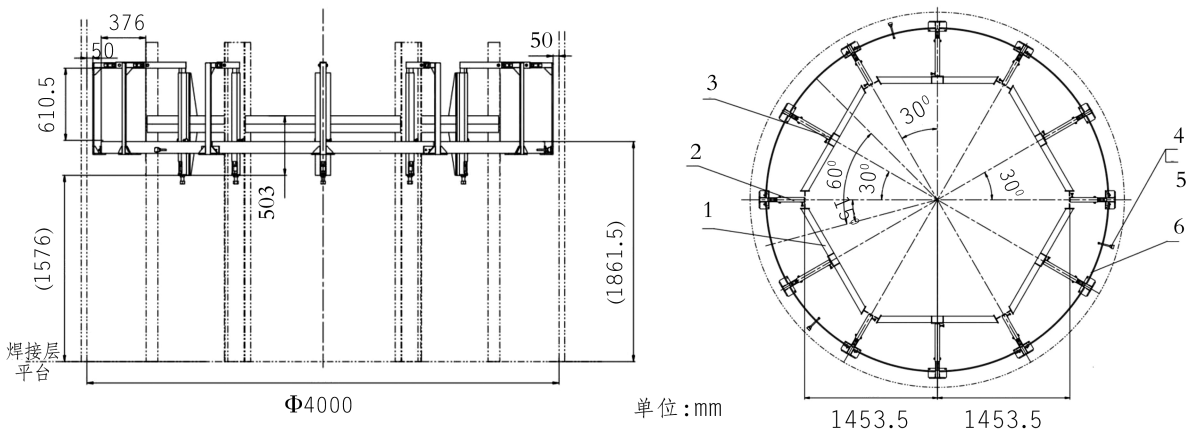
针对水电行业空间有限、环境恶劣的特殊施工工况,在没有相应的竖井压力钢管焊接配套专用设备的情况下,为了使通常用于石油化工业大型储罐的自动埋弧焊设备能够用于水电行业的竖井钢管焊接中,项目部的工程技术人员因地制宜地将标准化的储罐横缝用大型埋弧自动横焊机设备的各单元部分结构进行了改进和重新设计,将其设计成超小型、轻型化、可拆卸式及安全可靠的埋弧自动横焊机新设备,该新设备的组成部分主要包括:从动轮机构、焊丝盘、焊剂输送回收系统、主体支撑框架、驱动轮机构、行走轨道、焊剂托盘、伸缩顶轮机构、焊接机头、送丝机、焊枪及排轮机构。

其中焊剂回收系统由焊剂托带机构、焊接投放回收桶及真空泵等部件组成;同时对电气控制系统配备了国内使用稳定的交流伺服驱动技术及自动焊接系统。经过重新设计的埋弧自动横焊机新设备可以焊接厚度为10~50 mm、直径达4 m以上的钢管,适应双V型、单V型等不同类型的坡口形式,焊枪角度调节范围为 $\pm 7^\circ$,焊枪垂直及水平调节的范围为 ± 30 mm,将整体设备的宽度缩小至450 mm,使其适用于水电工程垂直竖井及特殊条件工况下压力钢管的焊接作业,实现了设备平稳运行、高效焊接的完美结合。超小型埋弧自动横焊机结构见图1,超小型埋弧自动横焊机可调节行走轨道结构见图2。



(1)从动轮机构;(2)焊丝盘;(3)焊剂输送回收系统;(4)主体支撑框架;(5)驱动轮机构;(6)电气控制系统;(7)行走轨道;(8)焊剂托盘;(9)伸缩顶轮机构;(10)焊接机头;(11)送丝机;(12)焊枪及排轮机构。

图1 超小型埋弧自动横焊机结构图



(1)结构连接梁;(2)伸缩横梁结构一;(3)伸缩横梁结构二;(4)调节螺栓;(5)压板;(6)轨道板

图2 超小型埋弧自动横焊机可调节行走轨道结构图

3 超小型埋弧自动横焊机的优点

埋弧自动横焊焊接是将焊丝连续送入覆盖焊

接区的焊剂层,待焊剂、焊丝及母材熔化形成熔池,其与手工电弧焊相比具有很多优点,焊接速度基本

上是手工电弧焊的 2 倍,并可减少近一半的焊接材料采购成本;同时,焊接熔池在焊剂的保护下具有无光、烟尘极少、无飞溅的特点,在很大程度上改善了工人的焊接条件,亦避免了竖井井内其他工作人员受到的焊接烟尘和电弧辐射伤害,进而实现了机械化自动焊接,无焊材浪费,是一种比较安全、可靠并能节约成本的焊接方法。

埋弧自动横焊设备的焊接行走机架系采用厚壁方钢管制作的立柱式结构,能够保证整个机架的刚性和焊接行走机架的稳定性,其作为行走系统、焊剂回收系统、送丝机、焊枪、电气系统及附件安装的基体,具有拆卸方便、重量轻、刚性及稳定性强等优点^[2],能够满足狭小空间内进行组装并便于焊接施工的要求。

4 竖井井内的焊接施工

4.1 焊接工艺流程

钢管吊装至井内组装→钢管组缝尺寸验收→钢管焊缝坡口打磨→焊缝焊前预热→焊前检查→钢衬内缝焊接(埋弧自动焊)→钢衬背缝预热→背缝清根→背缝焊接→焊缝消氢处理→焊缝打磨→焊缝验收。

4.2 埋弧自动横焊机新设备焊接的实施

由于竖井井内空间受限,焊接设备组装后很难吊装至竖井井内进行安装。而超小型埋弧自动横焊机设备具有体型小、结构轻巧、可拆装等特点,可以将该设备主支撑框架、焊接控制箱、送丝机、焊枪调节系统、焊接输送回收系统及行走轨道等部件吊装至井内施工平台并在井内施工平台上按照设计图纸进行焊接设备主体的组装及系统检

查调试。根据现场焊缝的实际位置尺寸要求,通过焊接的方式将轨道支架伸缩横梁与井内施工平台立柱焊接固定,根据实际需要进行位置调整,将轨道板安装在轨道支架上,通过调整支架上的高度调节螺栓使轨道下底面与支架支撑面接触牢固,从而保证焊接质量。

在井内使用倒链将组装完成的超小型埋弧自动横焊机设备吊装到轨道上,调节伸缩顶轮,使焊接设备立柱中心线与钢管内壁平行。在调整好焊枪与焊接的间距后,使行走轮的凸缘与轨道侧面接触并在埋弧自动焊焊接过程中平稳运行;将真空泵电机线、伺服电机线、送丝机线等电气设备接到相应的位置并开始进行空载焊接试运行与焊接试验;在对焊接设备进行焊接试验的调试过程中,详细记录焊缝打底焊、中间填充焊、盖面焊等焊接的主要参数^[3]。

正式开始焊接前,必须严格按照焊接工艺(WPS)技术要求对焊缝进行打磨并铺设加温包加温,当加热温度达到要求后,将焊枪高度调整到合适的位置,开始正式使用超小型埋弧自动横焊机沿钢管环缝空载运行一周,调整焊枪与钢管组拼焊缝的位置与尺寸,并在正式通电焊接前按照批准的 PQR 和 WPS 进行控制^[4],严格设定焊接电流、焊接电压及焊接速度等焊接参数,选择自动焊接控制模式进行焊接作业,使钢管环缝焊接参数全过程、全天候受控,监测焊接热输入值,确保整个焊接过程平稳、高效进行及焊缝质量,直至压力钢管环缝全部焊接完成。Q345R 焊接工艺参数见表 1,600 MPa 级焊接工艺参数见表 2。

表 1 Q345R 焊接工艺参数表

焊层	焊接方法	填充材料		电流		电压范围 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
		型号	直径 /mm	焊接/极性	电流范围 /A		
打底内侧	SMAW	E7015	3.2	DC-EP	123~175	25~28	12~15.5
填充内侧	SAW	EH14	4	DC-EP	455~500	25~27	30~40
填充外侧- 焊缝气刨打磨	SMAW	E7015	3.2 ; 4	DC-EP	123~175	25~28	12~28

表 2 600 MPa 级焊接工艺参数表

焊层	焊接方法	填充材料		电流		电压范围 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
		型号	直径 /mm	焊接/极性	电流范围 /A		
打底内侧	SMAW	E9015	3.2	DC-EP	123~175	25~28	12~15.5
填充内侧	SAW	EG	4	DC-EP	455~500	25~27	55~70
填充外侧- 焊缝气刨打磨	SMAW	E9015	3.2 ; 4	DC-EP	123~175	25~28	12~28

4.3 关键部位的质量控制要求

由于埋弧自动横焊机系首次应用到水电站如此复杂且空间受限的作业环境,因此而对竖井压力钢管焊接质量的要求格外严格^[5],在正式焊接、过程焊接及焊后等工序过程中,必须按照相关规范要求的焊接施工工艺进行。竖井压力钢管焊接关键部位的质量控制要求为:

(1)焊接坡口清理:利用砂轮片或钢丝刷清理对接缝两侧各 25 mm 范围内的油污、氧化物及其他杂质,坡口处理后需见母材光泽;

(2)焊前预热:坡口清理合格后进行焊前预热,将加温包沿焊接方向铺设并固定,预热温度为 130℃~160℃,预热过程中间隔 30 min 进行一次测量并记录;

(3)达到预热温度后,采用超小型埋弧自动恒焊机进行钢管内侧焊缝的焊接,焊接方式采用多层多道且必须严格控制焊接热输入的范围为 0.65~2.26 kJ/mm,焊接过程中每层焊缝的接头不允许在同一位置上,必须错开 200 mm 左右;同时需要不断测量层间温度,其层间温度的最大值为 160℃;

(4)内侧焊缝焊接完成后,将加温包移至钢管内侧进行加温,其温度为 130℃~160℃;然后进行背面清根并采用砂轮片或钢丝刷打磨、清理焊缝两侧各 25 mm 范围内的氧化物及其他杂质,焊缝两侧打磨后需见母材光泽,待处理合格后进行外侧焊缝的焊接,焊接过程中必须严格控制焊接热输入的范围为 1.19~2.45 kJ/mm;

(5)当焊缝焊接完成后,采用电加热的方式对焊缝进行热处理,后热温度为 250℃~300℃,持续时间 ≥ 2 h;当后热温度达到 250℃后,使用红外线测温枪对环缝上的 6 个测温位置每 15 min 测量一次(亦可多测一些点),并详细记录测温时间及温度参数,同时拍摄照片留底备案。

5 结 语

中东抽水蓄能电站超深竖井的钢衬最终采用

超小型埋弧自动横焊焊接技术,该焊接新设备、新技术为国内外首次应用在抽水蓄能电站超深竖井压力钢管的焊接施工,其可以减少焊接施工人员的投入,提高施工效率(约 45%),节约人工成本约 4×5 万元/月 $\times 12$ 个月 = 240(万元),节约聘用当地焊工及其他无形施工成本约 300 万元人民币;超小型埋弧自动横焊机新设备的成功应用,解决了超深竖井井下受限空间作业、焊接工程量大、焊缝质量要求高、焊缝坡口形式不一等难题,是对竖井井内钢管焊接工艺的一次革新,实现了受限空间内自动化焊接作业,保证了中东抽水蓄能电站超深竖井钢衬安装的施工进度及焊接质量的提升,焊缝质量 UT 探伤合格率为 99%;整个焊接过程使用焊剂覆盖焊缝,使整个焊接过程基本上无焊接烟尘的排放和焊接弧光的产生,进而减少了对井内空气环境的污染,改善了井内施工人员的劳动作业环境,使井内作业人员的身体健康得到有效的安全保障,施工全过程未发生任何人身安全或质量事故,所取得的经验可为今后水电工程建设中类似工程的超深竖井压力钢管焊接施工提供技术支撑,具有良好的推广价值。

参考文献:

- [1] 欧述生,孙景荣.大型储罐的埋弧自动横焊[J].电焊机,2005,35(1):60-61.
- [2] 吴敢生.埋弧自动焊/实用焊接技术丛书[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2007.
- [3] 宋金玲,马朝晖,侯洪,等.08MnNiVR 高强度钢板埋弧横焊焊接试验研究[J].压力容器,2008,25(9):58-60.
- [4] 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定,GB/T11345-2013[S].
- [5] 水利水电工程压力钢管制作安装及验收规范,GB50766-2012[S].

作者简介:

姜如洋(1985-),男,江苏东海人,项目安装工程队副队长,工程师,从事水电工程施工技术工作;

王生瓚(1969-),男,四川广元人,副总工程师,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 89 页)

[4] 大型设备吊装安全规程,SY/T 6279-2022[S].

[5] 通用桥式起重机,GB/T 14405-2011[S].

作者简介:

康路明(1989-),男,河北秦皇岛人,工程师,从事水利水电工程施

工技术与管理工作;

阮佳磊(1985-),男,甘肃白银人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

迪科庆(1986-),男,陕西华阴人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)