

压力钢管智能化组焊施工技术在流域水电工程中的应用

郑 顺 祥

(华电金沙江上游水电开发公司,四川 成都 610041)

摘 要:金沙江上游水电站是国家重点能源建设基地之一,也是首次在国内流域工程建设中开发和应用大型压力钢管组焊智能化施工技术,本文重点以苏洼龙、叶巴滩水电站为例,设计及技术标准方面进行的创新与突破,为后续水电工程建设提供借鉴。

关键词:水电工程;优化;智能化;压力钢管;技术标准

中图分类号:TV732.4+1;TP212.6;P755.1;F416.9 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)02-0027-04

Development and Application of Intelligent Assembly Welding Technology for Penstock of Hydropower Projects in River Basin

ZHENG Shunxiang

(Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co. LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

Abstract: Hydropower stations in the upstream of Jinsha River is one of the key energy bases of the state, and for the first time both home and abroad intelligent assembly welding technology is studied and applied for large-sized penstock during construction of hydropower stations in one river basin. This paper, taking Suwalong and Yebatan Hydropower Stations as examples, introduces the innovation and breakthrough in engineering planning, design and technical standards, and provides reference for construction of subsequent hydropower projects.

Key words: hydropower project; optimization; intelligent; penstock; technical standards

1 概 述

金沙江上游水电站规划 13 级开发,是国家重点能源建设基地之一。工程地处高山峡谷和高原地区,而水电站压力钢管因其外形尺寸大、重量大、质量要求高,近年来,压力钢管焊接技术得到了很大的发展,以三峡、龙滩、彭水等水电站为代表^[1-2],按照常规的技术方案进行施工必然需要大量的人力物力资源投入。例如,在现场建设压力钢管制作厂、配置相应的设备、钢板或半成品存放场地,以及压力钢管专业运输道路。因此,传统技术必然带来两个问题:一是现场施工布置困难、设备、交通和场地投资大;二是目前水电施工普遍面临着专业技能人才匮乏的现实,而传统技术需要大量的高级焊工、起重工等,常规技术不能从根本上解决(超)大直径钢管的现场施工问题。如何利用现代技术解决压力钢管施工技术面临的挑战,不仅是金沙江上游水电站梯级开发必须研究

的课题,而且是国内外水电工程行业所面临的共性问题。

2 大型压力钢管智能化组焊施工技术

在金沙江上游川藏河段水电站流域开发过程中,将压力钢管智能化组焊技术作为一项重要的施工基本条件,依托技术转化成果,进行全面的开发和应用,构建系统化的创新体系,提高水电工程建设管理水平,适应智能建造的技术发展总体趋势,并根据苏洼龙、叶巴滩、拉哇等各个工程建设的特点,开创性地应用于流域工程的规划、设计和施工各个阶段,通过持续开发应用,不仅解决了大型压力钢管施工布置的难题,而且实现了工程优化和新的技术突破,形成了压力钢管智能化技术标准,为后续的水电工程建设提供了有益的借鉴。

2.1 压力钢管智能化施工设备

在原有压力钢管自动化组焊制造设备基础上,研发了一整套具有自主知识产权的智能化设

备,主要包括智能组焊专机、多功能滚焊台车、智能化埋弧焊小车等。其中,智能组焊专机具有瓦片卸车、瓦片组对、回转驱动、钢管数字化调圆、主机转向及升降等功能;数字化多功能滚焊台车具有钢管全位置调节和弯道自适应功能。

通过该套智能化设备,改变传统的人工围绕钢管焊缝施焊工艺,能大量使用埋弧自动焊,解决了高强钢焊接热输入控制问题,减轻了劳动强度,提升了钢管组装、焊接工效和焊接质量。

2.2 压力钢管智能化施工流程

压力钢管智能化施工流程改变了传统工艺压力钢管集中在现场生产、单节储存、从厂内到安装工位需要做大尺寸管节运输、安装前需要翻身的模式。智能化施工流程为:钢板储存→钢板下料→瓦片卷制→瓦片防腐→瓦片运输→瓦片储存→单节组焊→大节组焊→钢管安装→尾工。与传统施工流程相比,具有如下优势:

(1)钢板储存:根据设计图纸定尺采购钢板,并运输至离施工现场较近的加工厂内存放。

(2)钢板下料:与传统工艺大致相同,不同点在于如果选择在城市或制造基地里进行下料,一般以数控切割机为主,割具可以使用火焰或者等离子设备,作业条件和技术装备较传统工艺的现场制造更优。

(3)瓦片运输:使用汽车等运输工具将瓦片运输至施工现场,运输方式与钢板运输相同。瓦片宽度一般小于3 m,使用普通平板车运输即可。

(4)瓦片储存:由于智能化组焊速度快,为便于单节组焊顺利进行,需要在施工现场储存适量的瓦片。瓦片储存场地要求基本平整,并布置起重设备。瓦片储存场地根据钢管组焊进度和道路运输条件进行规划,即现场瓦片存量在运输不及或发生临时中断等突发状况时,可以满足现场组焊需求即可。若现场不具备建设瓦片储存厂的条件,可以使用零散场地配合汽车吊的方式在现场分散储存。

(5)单节组焊:采用智能化组焊专机生产。钢管以瓦片形式运输进洞,并在智能化组焊专机上完成纵缝组对、纵缝焊接、加劲环组对、加劲环焊接等工序。智能化组焊专用机械直接布置在施工现场单节组焊工位,靠近压力钢管安装位置,采用

水平制造工艺,钢管无需翻身,焊完后即可交付安装。单节组焊工位与安装工位之间布置轨道,利用该轨道即可布置大节组焊工位。在压力钢管制作完成后,组焊专机从工位撤离。

(6)大节组焊:使用埋弧自动焊将单节钢管组焊成大节,直接在组焊工位和安装工位之间的轨道上进行。在满足设计安装要求的条件下,尽可能多地将单节钢管滚焊成大节,以减少安装环缝的数量。大节组焊工位布置有焊接设备和辅助设备。作业时,首先使用多功能滚焊台车将单节钢管运至大节组焊工位。在此工位利用多功能滚焊台车的调节功能完成钢管的节间组对,再利用台车的滚动功能驱动钢管转动,利用埋弧自动焊完成环缝焊接。

(7)钢管安装:继续使用多功能滚焊台车将钢管大节运输至安装工位,利用台车的调节功能调整钢管中心以及对口间隙等,按常规方法对钢管进行加固,多功能滚焊台车收缩,退出安装工位,按照常规工艺要求焊接安装环缝。由于使用了多功能滚焊台车配合,其液压调节功能和行走、转动功能可以大大减轻工人劳动强度,并且大节钢管长度较单节钢管长度长,安装效率有较大提高。

2.3 压力钢管现场(隧道内)智能制造工艺

研发压力钢管洞内单节制作、大节组焊、钢管安装的“三工位”法。形成在钢管安装位置完成由瓦片组焊成单节、再由多个单节组焊成钢管大节,最后将大节钢管运输至安装工位进行安装,极大限度提高压力钢管制作安装的效率。

2.4 压力钢管环缝智能化焊接技术

在金沙江上游流域工程建设过程中,研发出压力钢管环缝智能化焊接技术和环缝自动跟踪小车。跟踪小车具有焊接小车送丝机构、控制柜等相兼容的底盘。一是跟踪小车底盘可以控制转向轮转动,以调整焊接小车行走方向;二是设计了控制系统,通过视觉焊缝跟踪传感器反馈的焊缝偏移量,计算出转向轮转动角度;三是设计了视觉焊缝跟踪传感器固定装置。实现小车可以根据焊缝变化自动转向调整,始终跟随焊缝行走,最终实现环缝焊接过程全程智能化无人操作。

3 压力钢管智能化组焊施工技术的应用

通过苏洼龙水电站等项目的实施表明,直径

10 m 的钢管组对环缝高效焊接比传统的工艺提高了 5~10 倍,一次焊接合格率高达 99.7%,压力钢管安装效率提高一倍以上^[3-4]。

3.1 苏洼龙水电站工程的应用

苏洼龙水电站引水系统采用一管一机供水方式,4 条引水洞平行布置,由进水口、引水隧洞等建筑物组成。压力钢管位于每条引水洞的下平段。其中 1~4 号引水隧洞压力钢管长度分别为 122 m、124 m、944 m 及 1 244 m,共计 2 434 m,压力钢管制造安装工程量约 4 100 t。

2019 年 6 月~2020 年 4 月,在苏洼龙水电站现场压力钢管工程施工中,采用了 2 套智能化组焊系统装备,以瓦片的方式进行在洞内进行钢管组焊,完成了 2~3 节直径 10 m 压力钢管的智能化组焊,其技术特征如下:

(1)洞内智能化组焊工艺日趋成熟完善,智能化组焊设备的先进性和可靠性高,在海拔 2 400 m 高度的水电工程中得到了验证。

(2)首创了激光识别技术的智能自动埋弧焊,并应用于焊接苏洼龙水电站洞内直径 10 m、长度 9 m、最大件重量为百吨级的压力钢管。

(3)智能化组焊技术不仅适用于直管和渐变管多节组焊的工况,而且适宜于三节弯管现场组焊、运输和安装调整的复杂工况要求。

(4)研发了瓦片加劲环组对、机械化翻转和角焊缝埋弧自动焊接工艺及装置。

(5)进一步完善了与洞内现场智能化组焊相关的施工工艺,如压力钢管百吨级弯管水平运输、现场整体一次性防腐和无内支撑浇筑工艺等。

(6)实现了 100% 的钢管纵缝和加劲环角焊缝、50% 的钢管环缝埋弧自动焊,钢管纵缝焊接一次合格率达到 99.89%,环缝自动焊接一次合格率达到 99.11%。埋弧焊的焊接效率是手工焊的 5~20 倍,苏洼龙水电站单节钢管制作时间为 2 d 左右,节间环缝组焊时间少于 2 d。

苏洼龙水电站的工程建设实践和持续创新,压力钢管智能化组焊施工技术不仅有效解决现场地形狭窄、布置钢管加工厂和场地堆存困难问题,而且具有施工安全、质量高、工期快、节约投资等优点,特别是在压力钢管高效焊接技术等方面获得了更大的突破,为流域后期的工程优化和建设

提供了有力支撑^[5-6]。

3.2 叶巴滩及拉洼工程规划与设计优化

叶巴滩水电站引水压力管道沿纵剖面分为渐变段、上平段、上弯段、竖井段、下弯段、下平段、锥管段及过渡段,靠近厂房洞段采用压力钢管结构。四条压力钢管的直径 9.5 m,依据初步设计长度共计 360 m,总工程量约为 3 500 t。在施工准备期,根据可研规划对压力钢管的施工方案进行了优化,取消了原有施工布置中的现场钢管制作场和相应的储存场地,并且取消了压力钢管专用运输道路,优化设计运输道路 12 km 和跨江桥梁一座,其中隧洞 3 km,减少建设厂房面积 40 00 m²,减少开挖工程量 57 000 m³。

4 压力钢管智能化组焊施工技术标准

继梨园、黄金坪、涔天河、乌东德和苏洼龙等水利水电工程之后,越来越多的水电工程将应用压力钢管智能化施工技术,新技术彻底改变了传统工艺,机械自动化替代了大量的人工作业,同时,焊接自动化比率大幅提高,达到了熔敷体积的 70%,钢管纵缝和环缝的一次探伤检验合格率>99.5%。一方面,压力钢管智能化施工技术的不断发展和完善,工程应用范围越来越大;另一方面,工程技术和管理人员参与程度不同、认识水平存在一定的差异,各个工程的特点不一,最终将会导致新技术的价值难以得到充分发挥。如何结合工程需要、提高压力钢管现场自动化组焊技术应用水平,达到优化工程、提高经济价值,是值得水电工程行业的共同探讨的课题。因此,在总结现有技术和工程案例的基础上,提出压力钢管智能化施工技术规程或标准是一个必然过程^[7]。

水电站压力钢管智能化施工技术标准是根据《水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范》GB 50766 的要求,对大型压力钢管智能化技术条件下的直管、渐变管和弯管现场制作的施工过程、操作方法、设备和工具的使用、施工安全技术等所做的技术规定,主要涉及压力钢管对圆、组焊、运输和安装的要求,融合规划、设计和施工三个方面相应的技术条件,是为压力钢管管节和组焊设备的设计、制造、安装、维修、使用介绍规定或程序的文件。本规程由水电水利规划设计总院提出,由能源行业金属结构及启闭机标准化技术

委员会归口。

2021年10月,国家能源局下达了“水电站压力钢管智能化施工技术规程”行业标准的立项通知,水电规划总院金属结构技术标准委员会同步启动了此项技术规程的制定工作。水电站压力钢管智能化施工技术规程的制定,不仅能够明确智能化条件下压力钢管的制造安装工艺条件,而且有利于在建工程的施工和优化设计,有利于工程的前期规划,并对于水利水电建设管理具有重要的参考价值。当然,此项技术标准,既要建立在现有的行业或国家压力钢管设计和制造安装规范之上,也符合当代水利水电施工技术水平总体提升的实际状况,以及应对深山峡谷或高寒地区工程规划设计方面的迫切需求。

5 结 语

压力钢管智能化组焊施工技术历经 10 余年持续发展和应用,已经逐步成为行业内具有国际领先水平的工程技术,即将在金沙江上游水电开发中全面进行应用。该技术现场不建厂,采用瓦片运输、在引水隧洞内进行自动组焊的工艺,克服了传统大型压力钢管在制作、储存和运输、安装等方面面临的难题,对高山峡谷和高原地区的工程意义重大。在梨园、涔天河、乌东德等工程实践的基础上,进行了工艺设备的研发和应用,不仅实现了 100%的纵缝、90%的加劲环角焊缝、50%以上的环缝采用高效自动焊,洞内无烟尘弧光污染,钢管全程不翻身,施工期人工投入少,劳动强度低,安全可控性高的目标,而且在流域化大面积推广应用,形成技术标准,有助于提升水电工程设计和施工整体水平,持续加强智能化创新,能够提高行业内开发和应用先进的压力钢管智能化技术的能力。

根据目前金沙江上游流域应用情况,以下几点体会可供借鉴:

(1)在流域水电开发中系统应用压力钢管智能化组焊施工新技术,不仅能够全面地发挥其在工程规划、设计和优化施工上的价值,而且为行业智能建筑技术升级提供了可能。

(2)在多工程应用的基础上,建立以行业协会和专家为核心的技术创新攻关组,通过压力钢管智能化组焊施工技术规程编制工作,提高水电工程建设标准化管理水平。

(3)压力钢管智能化组焊施工技术在工程环保方面的价值应当得到足够重视。

(4)可充分利用压力钢管智能化组焊施工技术的系统化领先优势,加强对国际水电工程市场的合作与开发。

参考文献:

[1] 段利明,许屹.超大型钢管制造新技术在梨园水电站的应用[J].水力发电,2015,(5):29-31.

[2] 周友龙,彭智祥.SX780CF 细晶粒结构钢的埋弧自动焊[J].电焊机,2016,(9):111-113.

[3] 汪剑国,伍鹤皋.地下埋藏式压力钢管无内支撑安装变形分析[J].水力发电,2016,(12):40-42.

[4] 彭智祥.水工压力钢管现场自动化组焊技术规程探讨[A].水电站压力管道—第八届全国水电站压力管道学术会议论文集[C].2018:459.

[5] 周友龙,彭智祥.SX780CF 细晶粒结构钢的埋弧自动焊[J].电焊机,2016,(09):111-113.

[6] 汪剑国 伍鹤皋.地下埋藏式压力钢管无内支撑安装变形分析[J].水力发电,2016,(12):40-42.

[7] 彭智祥.水工压力钢管现场自动化组焊技术规程探讨[A].水电站压力管道—第八届全国水电站压力管道学术会议论文集,2018年:459.

作者简介:

郑顺祥(1974-),男,湖南邵东人,高级工程师,工程硕士,主要从事水电站工程技术管理。(责任编辑:卓政昌)

金上公司清洁能源基地再次被国家列为发展重点

日前,经国务院批复同意,国家发改委印发《“十四五”现代能源体系规划》,规划中多处着墨金沙江上游清洁能源基地。“统筹推进云贵川藏、青海水风光综合开发,重点建设金沙江上下游、雅砻江流域、黄河上游等清洁能源基地”“坚持生态优先、统筹考虑、适度开发、确保底线,积极推进水电基地建设,推动金沙江上游、雅砻江中游、黄河上游等河段水电项目开工建设”“推进金沙江拉哇、大渡河双江口等水电站建设”“重点建设金沙江上下游、雅砻江流域、黄河上游和几字弯、新疆、河西走廊等清洁能源基地输电通道”。继 2021 年 3 月在《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中被列为国家“十四五”重点建设的清洁能源基地之后,一年间金上清洁能源基地及配套项目多次在国家相关规划和文件中被列为发展重点。

(摘自中国水力发电工程学会网)