

白鹤滩水电站左岸压力管道竖井钢衬回填 施工关键技术研究

钟 云 光

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:基于白鹤滩水电站左岸 8 条压力管道竖井具有的直径大、深度大、结构复杂及安全风险大等特点,阐述了对压力管道竖井段压力钢管安装和混凝土回填施工运用的新工艺、新技术,成功开发了升降施工平台式内支撑和可移动式混凝土旋转分料系统,提高了施工效率,降低了施工安全风险,确保了施工质量并取得了两项实用新型专利成果,旨在为类似工程施工提供参考。

关键词:压力钢管;升降施工平台式内支撑;可移动式混凝土旋转分料系统;施工技术;白鹤滩水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV544 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)06-0070-04

Study on the Key Technology of Steel Lining Backfilling for the Pressure Pipe Shafts on the Left Bank of Baihetan Hydropower Station

ZHONG Yunguang

(Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610213)

Abstract: This paper introduces the new techniques and technologies for the installation of penstocks and concrete backfilling for the pressure pipe shafts based on the eight pressure pipe shafts on the left bank of Baihetan Hydropower Station, which have the characteristics of large diameter, large depth, complex structure, high safety risk and so on. A lifting construction platform with internal support and a movable concrete distribution system are developed to improve construction efficiency, reduce construction risks, and ensure construction quality. And this technology has been authorized for two utility model patents and can provide reference for the construction of similar projects.

Key words: penstock; lifting construction platform with internal support; movable concrete distribution system; construction technology; Baihetan Hydropower Station

1 概 述

白鹤滩水电站位于四川省宁南县和云南省巧家县境内,是金沙江下游干流河段梯级开发的第二座梯级电站,左右岸各布置 8 台、单机容量为 100 万 kW 的水轮发电机组(目前世界上单机容量最大的水轮发电机组),电站总装机容量为 1 600 万 kW,为目前世界上在建最大、建成后世界第二大水电站。

白鹤滩水电站左岸引水压力管道共计 8 条,单条引水压力管道竖井深约 176 m(含上下弯段及竖井段),其中竖井直段长 104.5 m,竖井开挖断面为 $\Phi 12.2$ m 的圆形断面,压力钢管内径为 10.2 m。引水压力管道上弯段的拐弯半径为 30 m,拐弯角

度为 90° ;下弯段拐弯半径亦为 30 m,中心角为 90° 。白鹤滩水电站左岸压力管道采用单洞单机竖井式布置,共设置 8 条引水隧洞。压力管道自上平段末端起全部采用钢板衬砌,包括上弯段、竖井段、下弯段及下平段。①~⑥号引水隧洞管单条压力钢管共 88 节,管线长度为 232.654 m,⑦~⑧号引水隧洞管单条压力钢管共 89 节,管线长度为 235.654 m,8 条引水隧洞压力钢管总节数为 706 节,管线总长度为 1 867.234 m,工程总重量为 19 279.7 t。引水隧洞压力钢管回填段在压力钢管安装完成后回填素混凝土,分段安装、分段回填。

2 施工中存在的重难点问题

收稿日期:2021-11-11

(1)压力管道竖井直径大、深度大,施工人员的上下主要依靠桥机载人吊笼,施工通道单一,对桥机设备完好率要求高。

(2)单节压力钢管重达 30 t,钢管外径达 10.5 m(含加劲环),桥机吊装空间有限,吊装效率低。

(3)井壁渗水且不平整,竖井及上弯段溜管系统安装、加固困难。竖井内浇筑作业空间相对较小,浇筑时卸料易造成飞石,安全风险大。

(4)压力钢管直径大(净空为 $\Phi 10.2$ m),钢衬回填混凝土下料点相对较多且需满足对称均匀下料,需要设置专门的分料系统。

3 施工关键技术

3.1 压力管道竖井施工程序及分段分层

(1)施工程序。压力钢管安装及混凝土回填施工程序:路线一为下弯段→竖井段→上弯段,分段安装、分段浇筑混凝土;路线二为下弯段→下平段,下平钢管安装完成后统一从厂房侧端头向下弯段依次分段浇筑。压力钢管先安装下弯段上游 10 节,每 5 节安装后向土建交面并进行混凝土回填浇筑。下弯上游 10 节钢管安装及浇筑完成后拆除内支撑,同时安装竖井升降施工平台式内支撑。竖井直段钢管每安装完成 6 节交面土建,回填混凝土,如此往复,完成全部竖井段压力钢管的安装。

(2)施工分段分层。为确保现场控制混凝土浇筑时的钢管变形,根据《水电站压力钢管设计规范》(NB/T 35056—2015),参照附录 B(地下埋管结构分析方法)中加劲环式钢管的临界外压^[1]计算相关内容,对压力钢管临界外压值进行计算;提高混凝土浇筑变形控制安全系数,将混凝土浇筑上升速度控制在 0.5 m/h,压力钢管两侧均衡入料,两侧混凝土浇筑高差为 0.5 m。同时,将压力钢管外支撑与系统锚杆焊接加固,采用内支撑爬升施工平台作为内支撑,防止混凝土浇筑时出现严重变形。单节压力管道竖井段压力钢管高 3 m,通过压力钢管的安装和混凝土分层优化,竖井段压力钢管每安装 6 节(高 18 m)进行一次混凝土回填,竖井直段共计 6 仓。

3.2 压力钢管安装技术

(1)压力钢管的吊装。下弯段上游 10 节钢管

安装完成后进行竖井段压力钢管的安装。竖井段钢管安装按照 6 节一个循环,安装时采用“竖井施工平台式内支撑^[2]”。竖井及上弯段的压力钢管是从压力钢管加工厂采用 40 t 拖挂车运至引水上平施工支洞内,再通过运输轨道运至引水上弯段 2×30 t 临时桥机下方,最后,通过 2×30 t 临时桥机提升后水平运输至竖井区域下放至竖井内的施工面。单节钢管重约 30 t,采用双吊钩抬吊下放就位。每 3 节下放就位后进行调校和临时固定,每 3 节为一组进行平行焊接作业,每 6 节安装完成向土建交面后进行混凝土回填。

(2)压力钢管气体保护焊接。根据类似工程取得的施工经验,为推广压力钢管安装采用 CO₂ 气体保护焊接技术^[3]制定了相应的焊接工艺评定规程(PWPS)。按照焊接工艺规程,对 Q345R 和 N610CF 进行了试焊,其各项力学性能试验和化学成分分析报告满足要求,焊接质量满足规范要求,评定为合格。CO₂ 气体保护焊是以可熔化的金属焊丝作电极并以 CO₂ 气体作保护的电弧焊,是焊接黑色金属的重要焊接方法之一。主要焊材选用 $\Phi 1.2$ mm 的焊丝(XY-ER80YM 型水电焊接材料)。

CO₂ 气体保护焊具有的优点:①焊接成本低。其成本只有埋弧焊^[4]、焊条电弧焊的 40%~50%。②生产效率高。其生产效率是焊条电弧焊的 1~4 倍。③操作简便。明弧,对工件厚度不限,可进行全位置焊接且可以向下焊接。④焊缝抗裂性能高。焊缝低氢且含氮量较少。⑤焊后变形较小。角变形为 5‰,不平度只有 3‰。⑥焊接飞溅小。当采用超低碳合金焊丝或药芯焊丝或在 CO₂ 中加入 Ar 均可降低焊接飞溅。其缺点主要是污染环境。

(3)压力钢管内支撑的优化。针对该工程 $\Phi 10.2$ m 压力钢管竖井段安装,通过技术创新并研发了一种竖井段压力钢管升降施工平台式内支撑,该施工平台式内支撑分为三层平台,在三层平台的外沿安装了可伸缩的液压支撑和螺杆支撑,从而同时起到内支撑与操作平台的功能。每 3 节压力钢管为 1 组,三层平台对应三条焊缝施焊,施工平台式内支撑随着竖井段压力钢管从下向上依

次安装而跟进上升。该施工平台式内支撑既满足了压力钢管安装施工平台的需要和浇筑变形控制,又能减少传统内支撑大量的拆除工作,从而大大减少了施工成本,提高了施工效率。

3.3 混凝土浇筑施工技术

(1)混凝土入仓。在压力管道上弯段布置了一台 2×30 t 临时桥机,临时桥机配置有载人吊笼和两台 30 t 卷扬机提升系统以满足压力管道竖井开挖、安装及混凝土施工综合提升要求。施工人员从引水上平段乘坐桥机载人吊笼进入竖井段施工面,施工人员上下竖井内均采用载人吊笼。

在进行压力管道竖井段钢衬混凝土浇筑时,其水平运输为:从拌合站采用混凝土搅拌运输罐车将其运输至引水上平段。垂直运输:在引水上弯段及竖井直段布置一趟 DN300 溜管,并在压力钢管口布置可移动式混凝土旋转分料系统,可移动式混凝土旋转分料系统至仓内挂装溜筒,混凝土从引水上平段经溜管至移动分料系统及溜筒入仓。在竖井内沿井壁布置一趟 DN300 溜管,单节溜管长度为 6 m,溜管每 18 m 设置一个 H 型缓冲器。溜管的加固方式:在井壁采用两根拉筋分别将系统锚杆和溜管焊接固定,插筋间隔 15 m 布置;利用 $\Phi 18.5$ mm 钢绳间隔 15 m 与井壁上系统锚杆的吊耳采用绳卡固定;同时,两趟 $\Phi 18.5$ mm 钢绳将整个溜管利用绳卡固定串联在一起。其固定连接点采用绳卡在溜管上焊接 $\Phi 25$ mm 钢筋吊耳与钢绳连接,以确保每节溜管与钢绳有 4 个固定连接点。两根钢绳在引水上弯段与系统锚杆采用绳卡固定。

(2)可移动式混凝土旋转分料系统的研发与应用。为解决深度大、直径大的压力管道竖井钢衬回填混凝土入仓问题,对传统固定式分料槽系统进行了创新、设计出可移动式混凝土旋转分料系统^[5],该系统具有安全可靠,使用、操作及转运简便,适用性强,施工效率和周转使用率高等优点。

可移动式混凝土旋转分料系统在加工场内制作,并将其底梁和旋转分料系统组装完成。采用 9 m 长的平板汽车转运至引水上弯桥机底部,再将接料平台与底梁组装完成。采用 2×30 t 桥机

整体将移动分料系统吊运至竖井段钢管口,并与溜管下料口对应就位。为确保移动分料系统吊运安全,对该移动分料系统整体采用钢绳与卡环临时固定。安装就位时,施工人员根据底梁的限位装置将底梁与压力钢管管口严密接触。安装就位后,拆除临时固定移动分料系统的钢绳,将接料平台与溜管下料口采用活动溜管顺接固定,再将旋转分料系统活动支撑置于压力钢管口,沿着管口将旋转分料系统下料口移动至仓内溜筒下料点做临时固定,防止下料时旋转分料系统移动。

当混凝土浇筑完成一仓后,清理移动分料系统溜槽、料斗中的混凝土杂物,将溜管下料口的活动溜管撤离接料平台,将旋转分料系统端头移动至与底梁平行,采用钢绳与卡环将旋转分料系统、接料平台进行临时固定,再采用桥机将其吊离竖井段施工面至引水上弯段。在引水上弯段将接料平台与底梁拆离,采用平板汽车将其分别转运至接料平台和底梁(旋转分料系统)至下一个竖井施工面。

(3)施工排污。压力钢管的安装从下弯段开始分两条施工路线:①从下弯段、竖井段至上弯段;②从下弯段、下平段至主厂房。竖井段安装时,下平段平行施工,如果将竖井段混凝土仓内排放的污水直接引至下平段、主厂房,将造成下平段和主厂房文明施工差,严重影响金属结构焊接的环境,同时,竖井段排放的污水很难向上弯段抽排。因此,如何解决好竖井段仓内污水的引排问题是整个压力钢管安装及主厂房一线施工的关键。经过多次技术方案讨论,最终将竖井直段仓内排污问题予以解决:充分利用主厂房外围的排水廊道,参照永久排水系统,从第六层廊道向竖井段斜向上打一个 DN150 排水孔,竖井段仓内埋设 DN80 排水钢管将污水引至 DN150 排水孔内,随着竖井段混凝土浇筑上升,DN80 排水钢管相应向上延伸直至上弯段施工结束。最后,采用砂浆或水泥浆对 DN80 排水钢管进行封堵,从而有效地解决了竖井段仓内排污对下平段压力钢管安装及主厂房一线施工的影响。

(4)混凝土浇筑控制。压力钢管钢衬回填混凝土浇筑总体而言相对简单。该工程压力钢管的回填混凝土采用标号为 C20 的混凝土,该混凝土

胶凝材料含量相对较低,经溜管入料时易造成离析和堵管现象且冲损溜管和缓冲器。另外,单仓层高达 18 m 且存在临空面,施工中要确保施工安全和质量要求,因此,必须注意以下几个方面:

①C20 混凝土采用二级配,应将其坍落度控制在 180~200 mm;放料时注意卸料速度,按照 10~15 m³/h 的卸料速度控制。

②保证各个溜管法兰接头处紧密连接,对溜管接头、转弯处及缓降器易磨损的部位设置耐磨钢筋、加厚钢板及橡塑,溜管与可移动式旋转分料系统顺接处采用覆盖铁皮的方式(在仓内溜筒高度不大于 1.5 m)防止飞石和漏浆。

③振捣时,注意对埋管、监测线路排水槽、排水管等埋件进行保护,不得触及埋件。混凝土收仓面不得高于排水管口,对排水管口做临时封闭,防止混凝土进入排水管造成排水管堵塞。

④由于压力钢管钢衬回填混凝土单仓高度达 18 m,因此,在仓内,按照层高 3 m 设置振捣平台,每层振动平台环向连通与竖向连通。在仓外,压力钢管口除旋转分料系统布置区域外均铺设竹跳板和彩条布,做好安全防护,防止混凝土落入压力钢管内,同时保证施工人员的作业安全。

4 结 语

鉴于该电站左岸压力管道竖井段压力钢管安装及混凝土回填施工难度大,安全风险大,施工方经仔细研究后引进了机械化设备、电气化设备与新技术,开发新产品,改善了施工难度,降低了安全风险,确保了施工质量。所定制的 2×30 t 桥式起重机既提高了开挖支护阶段的施工效率,又满足了压力钢管吊装要求。压力钢管的安装成功地采用了 CO₂ 气体保护焊接技术,提高了焊接效率,降低了施工成本。成功开发了压力钢管升降施工平台式内支撑和可移动式混凝土旋转分料系



(上接第 49 页)

(3)根据岸坡基座接头试验成果,建议将心墙与混凝土基座接触面沥青玛蹄脂厚度由原设计方案中的 3 cm 调整至 2 cm。

(4)由于该工程施工强度高,而目前使用的摊铺机摊铺宽度最大仅为 4.2 m,进而导致了心墙自高程 2 247 m 以下均需进行人工摊铺、施工工

统并申请了实用新型专利。压力钢管升降施工平台式内支撑和可移动式混凝土旋转分料系统的采用大大提高了施工作业人员的安全保障系数,降低了人力操作难度,提高了压力钢管安装和混凝土浇筑效率,降低了传统内支撑拆除的成本和安全风险。通过施工方技术人员不懈地研究,对压力管道竖井混凝土施工进行优化,取得了良好的经济效益和社会效益。

白鹤滩水电站左岸 8 条压力管道竖井压力钢管的安装及混凝土回填施工采用新工艺、新技术,开发出新产品,取得了科技成果,获得了良好的效益,完全得益于施工方对技术创新的追求和对科技开发的重视与投入,所取得的经验对类似工程具有一定的推广价值。

参考文献:

[1] 周挺,郑林仙,陈亚君. 带加劲环埋藏式压力钢管的抗外压稳定性分析[J]. 浙江水利水电专科学校学报. 2010. 22(2): 35-39.

[2] 李建平,谭玉平,杨勇,曾洪富,潘勇,谢守斌,王永华,望永东,孙文,宋慧涛,杨芳,范如谷. 竖井段压力钢管升降施工平台式内支撑. 中国专利. CN201710412001. 0[P], 2017-08-04.

[3] 卢伟,韩海峰,张志刚. 一种超高强度工程机械钢板用气体保护实心焊丝及其应用. 中国专利. CN201811392414. 8 [P]. 2019-05-28.

[4] 黄静,赵国仙,宋洋. Q345R 钢埋弧焊焊缝开裂原因分析[J]. 焊管. 2020. 43(3): 56-62.

[5] 韩进奇,杨帆,倪华军,李洪伟,曾强,张丹萍,覃保柱,韩乔松,刘天. 一种可移动式混凝土旋转分料系统. 中国专利. CN201821615962. 8[P]. 2019-06-25.

作者简介:

钟云光(1975-),男,四川资阳人,项目经理,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)

效降低,故应进行摊铺机改良的研究,以进一步加快心墙的施工速度。

作者简介:

廖 果(1991-),男,四川阆中人,项目常务副经理,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)