

不良地质条件下顶管始发井逆作法施工技术研究

毛 勇, 熊 亮, 罗 飞 轮

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘 要:以内蒙古引绰济辽工程为例,阐述了该工程顶管始发井在不良地质条件下采用的逆作法施工工艺,辅以超前灌浆、井点降水、监控量测以及信息反馈等施工手段成功解决不良地质条件下始发井逆作法开挖支护及混凝土施工带来的一系列质量与安全问题,有效地避免了采用传统竖井基坑施工存在的各种风险,总结出不良地质条件下逆作法施工工艺和关键工序以及控制要点,所取得的经验可为今后类似工程参考。

关键词:引绰济辽;不良地质条件;始发井;逆作法;施工技术

中图分类号:TV7;TV554;TV52;TV554+,5

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)04-0004-06

Study on Top-down Construction Technology of Pipe Jacking Starting Well under Bad Geological Conditions

MAO Yong, XIONG Liang, LUO Feilun

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: Taking the Diversion Project from the Zhuoer River to the Xiliao River in Inner Mongolia as an example, this paper expounds the top-down construction technology of the pipe jacking starting well under bad geological conditions, by means of advanced grouting, well point dewatering, monitoring, measuring, and information feedback, a series of quality and safety problems under bad geological conditions have been solved by excavation and support and concrete construction of top-down starting well, it effectively avoids all kinds of risks in the construction of traditional shaft foundation pit, sums up the construction technology and key procedures of top-down construction method under bad geological conditions and control points, and the experience obtained can provide reference for similar projects in the future.

Keywords: Diversion Project from the Zhuoer River to the Xiliao River in Inner Mongolia; Bad geology; Starting well; Top-down construction method; Construction technology

1 概 述

引绰济辽工程是国务院确定的“十三五”期间实施的 172 项节水供水重大水利工程之一,亦为内蒙古自治区的一号工程,设计最大年调水量为 $4.88 \times 10^8 \text{ m}^3$,由文得根水利枢纽和输水工程组成。其中蛟流河穿河建筑物为该输水工程穿越蛟流河的交叉建筑物,直线布置连接 5 号隧洞和 6 号隧洞,走向为东北向西南,长度为 1 115 m。主要由始发井、顶管段、无压洞钻爆段及扩大洞室段组成,是整个引绰济辽工程最为关键的施工项目之一。

该工程顶管始发井采用 C30 钢筋混凝土圆形结构,开挖直径为 15.4 m,设 $\Phi 8@150 \text{ mm} \times$

150 mm 钢筋网,采用 $\Phi 22$ 系统砂浆锚杆,间距 1 m,呈梅花形布置,单根长度为 3 m,入岩 2.5 m,喷射 C25 混凝土,厚 0.2 m;井圈内径为 13 m,壁厚 1 m,总深度为 24.72 m,其底板为厚度 1 m 的 C30 钢筋混凝土。

蛟流河顶管始发井位于蛟流河西南侧的河滩地,其地势平坦。根据已有地勘资料,始发井上部软土段厚约 10~12 m,主要由含砾低液限粉土、级配不良砾石、泥砾等构成,水文地质条件较差。项目部针对实际地质条件并根据设计图纸要求,最终决定采用逆作法施工该顶管始发井^[1]。其下部凝灰岩层厚约 13~15 m,主要由全~强风化凝灰岩、弱风化凝灰岩构成。此处岩体受地质构造影响严重,全风化层岩芯多呈散体泥化物夹风化

收稿日期:2024-03-14

碎石,其泥化物多呈软塑~可塑状,强风化层岩芯多呈破碎~极破碎,节理裂隙发育。该顶管始发井地处富水地带,其地下水位线深1.8 m,地勘报告显示:受降水及蛟流河径流补给影响,地下水位随季节性变化。蛟流河顶管始发井采用逆作法施工存在的重、难点问题主要为以下几点:

(1)安全风险高。始发井上部软土层较厚且富含水,开挖支护过程中容易发生塌滑现象,且逆作法施工井圈无锁口措施,仅靠井身周围系统锚杆固定导致井身结构安全风险较大。因深窄竖井通风条件差,施工机械长时间作业产生的有害气体较多,存在有害气体超标的风险,需要做好施工过程中的检测工作以确保安全。

(2)施工工期紧。工程地处极寒地区,历年极端最低气温为-31.1℃。根据施工进度分析,顶管始发井施工为该标段的关键线路,如何快速、安全、高效地完成顶管始发井施工为一大难点。

笔者针对上述问题进行了深入研究,具体的研究思路介绍于后。

2 施工技术

2.1 施工方案

考虑到始发井处的工程地质条件复杂、地下水丰富、地势低洼、易存水、深基坑作业空间有限

等,为确保始发井的施工安全,在始发井基坑开挖前,沿井口周边浇筑了宽6 m、厚0.5 m的锁口混凝土,采用C30钢筋混凝土结构,锁口混凝土钢筋与井壁钢筋连接,同时预埋Φ110 PVC管作为超前固结灌浆钻孔通道,待超前固结灌浆完成后7 d、经压水试验合格后进行始发井的开挖支护施工。针对所遇到的不同的地质情况,始发井施工采用了不同的施工方法:

(1)粉土、级配不良的砾石及泥砾等软土层施工时,为了确保逆作法施工时井壁混凝土结构的稳定,采用立面分层、平面分区“逆作法”施工,分层高度为1.5 m,其新浇筑的混凝土下部为竖井开挖面,以形成“上拉下托”的加固形式。

(2)当揭露始发井下部围岩为强风化岩层时,继续实施逆作法施工1.5 m后采用“正井法”分层开挖支护至设计井底高程,由下至上分层浇筑井壁混凝土,分层浇筑高度为2~3 m。混凝土的入仓方式与始发井上部施工时一致,采用6 m³罐车将混凝土水平运输至作业面后经溜筒及套管垂直入仓,人工进行平仓振捣。

限于篇幅,笔者在文中仅介绍了软土段逆作法施工情况。始发井上部软土段分幅逆作法施工情况见图1。

2.2 施工工艺流程

始发井软土段逆作法施工工艺流程见图2。

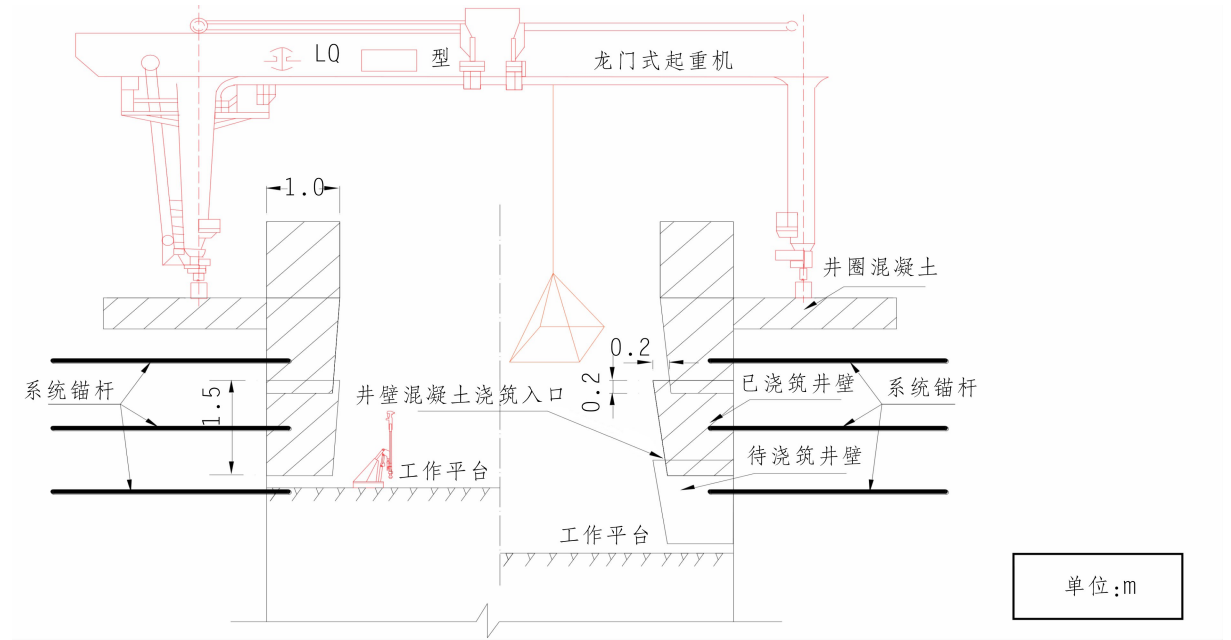


图1 始发井分幅逆作法施工示意图

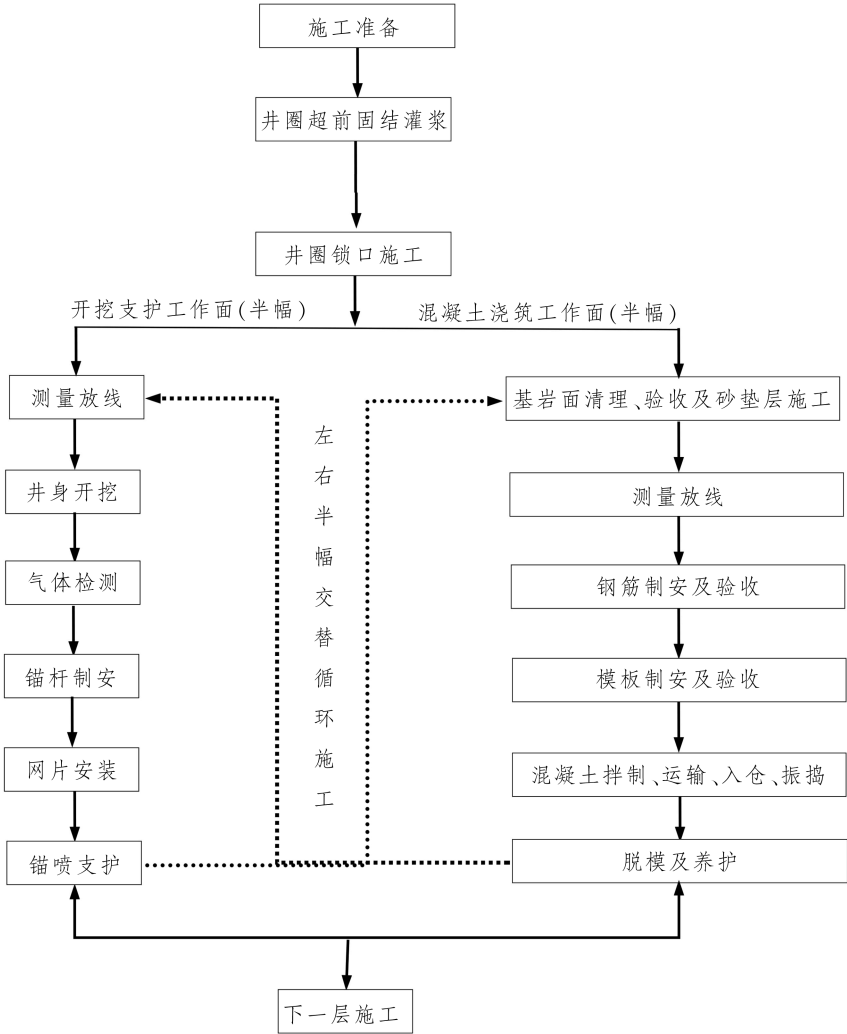


图 2 始发井软土段逆作法施工工艺流程图

2.3 关键工序施工

2.3.1 超前固结灌浆

始发井逆作法施工前,采用超前固结灌浆措施提前加固基础以提高其的抗剪能力,改善地基土的变形能力,延长地下水渗透线,防止在基坑开挖过程中出现突水突泥现象。超前固结灌浆布设形式见图 3。

(1)主要灌浆方法。灌浆施工的总顺序:按排间分序、孔间分序、逐渐加密的原则布孔,分两序进行,即先施工井外(环)排孔,再施工井内(环)排孔,最后施工井中间(环)排孔;同(环)排灌浆孔之间分两序施工,先Ⅰ序,后Ⅱ序。根据现场实际钻孔深度采取自上而下分段灌浆法。灌浆设备采用 3SNS 型灌浆泵配 GJY—Ⅶ型灌浆自动记录仪。

(2)主要施工工艺流程。第一段钻孔→冲洗

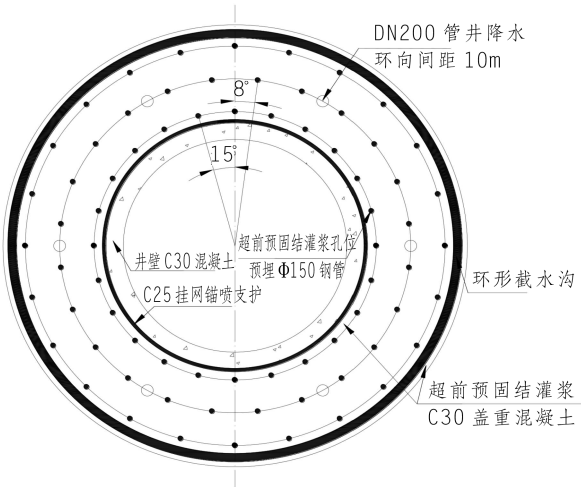


图 3 超前固结灌浆平面布置图

及压水→第一段灌浆→第二段钻孔→全段灌浆结束→封孔→质量检查。即首先进行第一段钻孔、

冲洗、压水及灌浆,随即按照 I 序孔顺序依次施作第一段,待 I 序孔第一段施工完成后,依次进行第二~五段钻孔及灌浆施工。

2.3.2 管井降水

因顶管始发井位于蛟流河漫滩,地下水丰富且其上部软土层主要为级配不良的砾石及泥砾。为确保基坑开挖及逆作法施工顺利进行,超前固结灌浆后采用管井降水、深井泵抽水以达到基坑降水和土体排水固结的目的,为基坑开挖创造有利条件。

沿井圈环向间距 10 m 共布置了 6 口降水管井,单口管井的直径为 225 mm。在始发井开挖前先沿外圈环向间距 20 m 施钻 3 口管井(伸入岩层以下 2 m)预先进行降水试验,待试验结果表明该管井的降水效果能够满足始发井施工需要后,再采用加密的方式施钻另外 3 口管井(伸入始发井底板以下 2 m),以防止受地表水或岩层裂隙水增大的影响而导致安全施工风险增加。实际施工时,可以根据降水效果适时增加管井的数量。始发井上部软土层开挖前 7~10 d 开始采用功率为 11 kW 的高压深井泵抽水,以确保基坑降水周期及降水影响半径满足井挖施工条件。

2.3.3 井圈锁口施工

为避免逆作法施工竖井下部掏空时井壁塌

落,减小井壁不均匀下沉,在始发井顶部井圈外侧施工锁口钢筋混凝土并将其与井圈混凝土连成整体,以井筒为中心,半径为 13 m。顶管始发井锁口布置情况见图 4,顶管始发井锁口典型断面见图 5。

主要施工方法:经测量放线后,按设计标高开挖至锁口混凝土底部标高后停止开挖,浇筑垫层混凝土,再按照设计要求进行钢筋制安及模板安装,待各工序验收合格后进行混凝土浇筑。锁口混凝土与井圈混凝土一同浇筑,待锁口混凝土达到设计强度的 70%后方可拆除侧模并进行井挖支护施工。

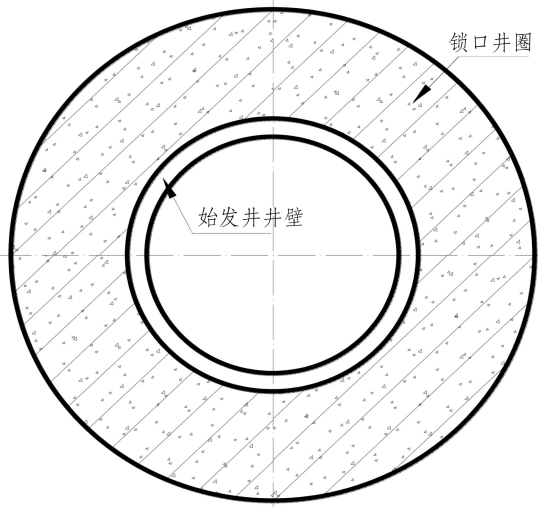


图 4 顶管始发井锁口布置图

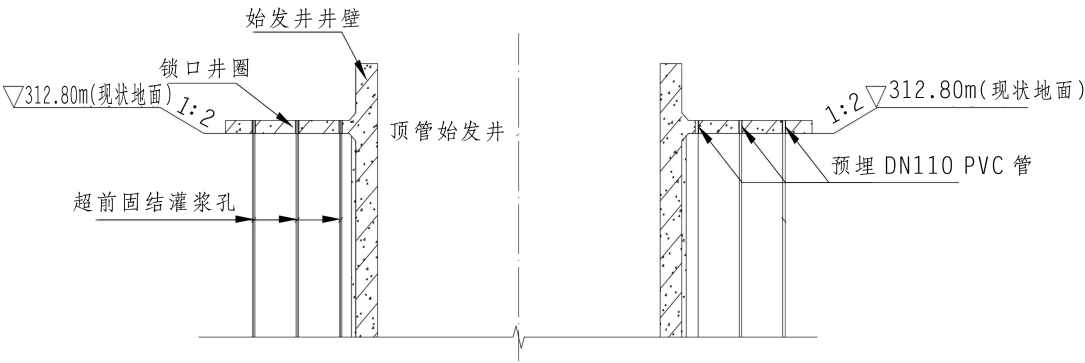


图 5 顶管始发井锁口典型断面图

2.3.4 井挖支护施工

(1)井圈开挖。始发井逆作法施工的关键在于对时间的控制,时间的长短直接影响到井内基坑的安全稳定。基坑开挖施工时间越长,安全风险越大。因此,逆作法施工过程中合理的施工组

织、工序安排和周密的监测对有效控制井圈围护结构的变形与基坑外侧的地表沉降至关重要^[2]。

始发井开挖施工过程中,为防止井圈混凝土下沉,项目部采用“平面分区、立面分层”的开挖支护施工方法,即先开挖半幅土体,利用另外半幅土体作为支撑,待先开挖的半幅井圈初期支护完成

后进行另外半幅的井圈开挖^[3],同步进行已支护的半幅井圈混凝土施工。依此顺序交替进行,分层高度为 1.5 m,直至开挖至土石分界线以下 1.5 m 后采用正井法施工始发井。

对于上部软土层的开挖,采用人工配合 0.3 m³ 小型液压反铲进行。先采用液压反铲开挖中间部分,靠井壁预留 0.2~0.3 m 保护层采用人工开挖。若遇到大块孤石,则在每循环土体开挖完成后集中采用钻爆法将其解体后开挖运出;对于井壁处的孤石,则采用人工配合破碎锤修整的方式进行处理。开挖渣料采用小型液压反铲装料斗后由 45 t 龙门吊垂直运输至地表临时堆渣处、集中运输至指定地点。

(2)井圈支护。当开挖至预计深度且断面达到设计要求后迅速进行锚杆、挂网及喷护混凝土施工。必要时可在开挖完成后先进行素喷混凝土封闭,再进行挂网喷护施工以确保井圈结构的稳定。因上部软土层主要为级配不良砾石及泥砾,导致系统砂浆锚杆无法成孔,故将系统砂浆锚杆调整为自进式中空注浆锚杆,将其外露部分与井壁混凝土连接成整体以增加其结构稳定性。喷射作业时,喷头应与受喷面垂直并保持 0.6~1 m 的喷射距离,分段、分片依次进行,喷射顺序为自下而上;分层喷射时,后一层喷射在前一次喷射终凝后进行。若终凝 1 h 后再次喷射时,应采用风水清洗前一次喷层表面后再进行后一次喷射作业^[4]。

2.3.5 混凝土施工

(1)砂垫层施工。为确保始发井竖向分布筋的搭接长度满足相关规范要求,开挖施工时先开挖 2.2 m,待初期支护完成后沿井壁周围回填砂垫层(内低外高),倾角为 25°~30°,上部预留的分层浇筑高度为 1.5 m。砂垫层回填完成后,按设计要求进行平整、夯实。

(2)钢筋制安。砂垫层施工完成后,按照设计图纸安装井壁钢筋。将竖向分布筋的下部插入砂垫层内,预留钢筋为一长一短,长短接头的长度不小于 0.5 m。环、竖向钢筋均采用焊接方式连接,同一断面焊接的接缝数量不大于 50%。

(3)模板制安。根据逆作法施工特点,底模采用木模板,侧模采用 P3015、P1015 定型钢模进行

施工。为确保井圈结构的体型,经现场试拼后确定按照 P3015:P1015=3:1 的比例进行模板安装,环向拉模筋的间距为 1 m,在 P1015 模板上开拉筋孔。为确保逆作法混凝土的施工质量、方便混凝土浇筑,侧模安装时向外侧倾斜一定的角度,上口宽 1.1 m,底部宽 0.9 m。

(4)混凝土浇筑。钢筋、模板制安完成并经验收合格后进行混凝土浇筑施工。采用 6 m³ 搅拌罐车进行水平运输。为避免井圈出现不均匀沉降,将混凝土搅拌罐车停靠在距井圈 15~20 m 处,采用车载泵进行混凝土输送,沿井口环向间距 4~6 m 均匀布设溜槽并沿井壁加固定溜筒,采用溜槽加串筒结合的方式入仓。混凝土按对称、均匀、分层的原则入仓,防止爆模。混凝土分层入仓的厚度为 0.2~0.3 m,人工平仓振捣密实,防止产生蜂窝、麻面现象^[5]。混凝土浇筑完成后,按设计要求进行现场养护,待上一节护壁混凝土达到设计强度的 70% 以上且另外半幅土体开挖支护完成后进行下一层的施工。始发井上部软土层逆作法混凝土浇筑施工情况见图 6。

2.3.6 安全监测

安全监测是保障始发井施工安全的必要措施。施工过程中必须重点对始发井变形、沉降以及位移情况进行安全监测,利用监测到的第一手数据指导现场施工,控制施工进度,保障施工安全。通过对顶管始发井施工期取得的安全监测数据进行分析得知:施工期间始发井的环向位移累计为 -2.7 mm,径向累计位移为 8.7 mm,沉降位移累计为 6 mm,各项监测值均小于设计值。通过各项技术措施的落实,确保了不良地质条件下顶管始发井安全高效的施工完成,且其施工质量满足设计要求。

3 结 语

引绰济辽输水隧洞工程施工六标在不良地质条件下完成顶管始发井逆作法施工的实践证明:采用超前固结灌浆辅以管井降水、安全监测等措施进行施工,平均 7~10 d/层(层高 1.5 m),在较短的时间内顺利完成了施工任务,克服了不良地质条件下逆作法竖井施工安全质量及进度无法保证的难题,所取得的经验可为类似工程借鉴。

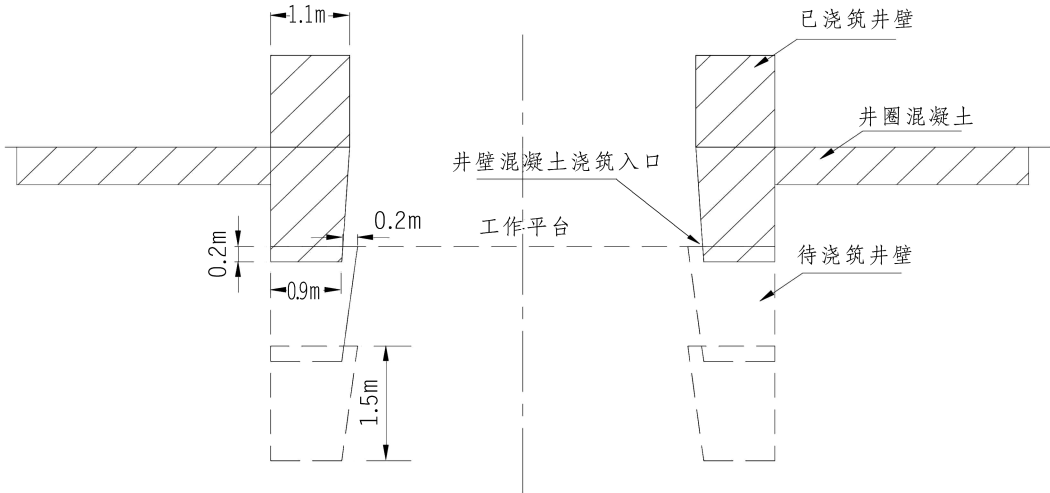


图6 逆作法浇筑剖面示意图

参考文献:

[1] 陈宏宇,高颖涛,史岩.逆作法施工在盾构竖井施工中的应用[J].探矿工程,2008,52(1):78-80.

[2] 高军凯,贺会萍.穿黄工程盾构始发井内衬混凝土逆作法施工技术[J].隧道建设,2009,29(5):569-573.

[3] 林健,李建平.喷锚逆作法在某顶管井施工中的应用[J].广东建材,2011,27(7):569-573.

[4] 赵长海,车黎明,等.水利水电工程锚喷支护技术规范[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

[5] 张磊.复杂环境下逆作井与沉井施工工艺[J].云南水力发电,2017,33(6):135-136.

作者简介:

毛勇(1969-),男,四川平武人,项目总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

熊亮(1989-),男,四川成都人,项目副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

罗飞轮(1983-),男,四川成都人,项目经理,副高级工程师,从事水利水电工程施工项目管理工作. (编辑:李燕辉)

(上接第3页)

7.3 反滤料冬季保温措施

笔者研究了高寒地区反滤料冬季保温技术,最终采用两膜一布复合土工膜保温材料对反滤料实施覆盖保温,同时研制出一种保温材料快速收放装置,进而保证了反滤料冬季施工质量和施工效率。

8 结 语

两河口水电站大坝前期采用庆大河反滤料加工系统为大坝填筑提供反滤料,在反滤料生产过程中曾采取了生产一种反滤料砂(粒径为0~5mm)的同时掺配反滤料Ⅰ、反滤料Ⅱ的方式,但其存在不能同时掺配高品质反滤料Ⅰ与反滤料Ⅱ的问题。为提升反滤料的品质,采取了间断性分别生产粗砂与细砂的方式,其中采用粗砂掺配反滤料Ⅱ,细砂掺配反滤料Ⅰ曾取得一定效果,但存在需要更换筛网、生产工艺需要及时调整等问题,给生产的组织造成了一定难度,只能算作补救措施,其能够在一定程度上提升反滤料的质量。

鉴于大量的反滤料是在工程后期使用,若其

从本质上得不到改善,将因反滤料的质量问题影响到大坝填筑施工的进度,为此,项目部研究并优化了施工方案,将原来粒径为0~5mm的砂分为粒径为0~3mm的细砂与粒径为3~5mm的粗砂,通过应用后发现反滤料的掺配与质量控制难度明显降低,两种反滤料的品质较原来的水平得到了显著提升,保证了大坝填筑施工进度,取得大坝填筑较合同工期提前387d的佳绩,亦为双江口等同类工程提供了可供借鉴的宝贵经验。

参考文献:

[1] 张志文,赵彦辉.心墙堆石坝反滤料生产工艺及方法[J].云南水力发电,2018,34(6):111-114.

[2] 余学明,何兰.瀑布沟水电站砾石土心墙堆石坝设计[J].水力发电,2010,36(6):39-42.

[3] 周一峰.砂板岩生产反滤料及掺砾料加工系统工艺设计及其设备配置[J].水利水电施工,2017,36(6):18-23.

[4] 土工试验方法标准:GB/T50123-2019[S].

[5] 碾压式土石坝施工规范:DL/T5129-2013[S].

作者简介:

王森荣(1969-),男,四川青川人,技术中心总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)