

小洞径长距离直线瓦斯隧洞施工关键技术

吴 栋 史红伟

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】目前,国内水电站流域开发,多为引水式发电厂房,而引水隧洞是一种主要的形式,在长距离、复杂地形、地质条件下被广泛使用。引水隧洞这种引水形式,在工程穿越山岭等覆盖层较厚、开挖难度大、交通不便的地区,对长距离小断面隧洞施工中普遍出现的施工空间狭窄、工作面小、单头掘进工作量大以及施工中可能会出现塌方、突水、突泥、瓦斯及溶洞等工程地质灾害,为了保证施工进度,引水隧洞施工往往由采用多标段由多家施工单位组织施工,如何保证施工期内隧洞施工安全及隧洞顺利衔接就显得尤为重要,本课题以新庙水电站引水隧洞施工为例,旨在对小洞径长距离直线瓦斯隧洞施工关键技术进行研究,为同条件、同类型水工隧洞施工提供一些参考和借鉴。

【关键词】小洞径长距离;瓦斯隧洞;施工关键技术

1.工程概况

新庙水电站位于四川省雅安市荣经县荣河干流上,坝址位于两河口电站厂房至建政沟沟口河段,挡水坝采用碾压混凝土重力坝形式,最大坝高147m,采用引水式发电厂房。引水隧洞布置于荣河左岸,引水线路总体上采用“一坡到底”布置型式。其中,建政沟采用管桥跨沟,大坝沟采用沟埋管方式过沟。引水隧洞全长11022.071m,采用马蹄形,开挖断面(4.8m×4.8m),分三个标段施工,不同标段间须做到洞轴线一致,且隧洞穿越须家河组煤层带,存在瓦斯,因此,如何保证隧洞施工安全、隧洞轴线精准定位、洞内通风顺利及岩溶的监测处理,成为本施工的核心研究点。

2.小洞径长距离直线瓦斯隧洞施工技术原理及关键技术分析

2.1.技术原理

新庙水电站引水隧洞设计断面小,且为长距离直线隧洞,存在溶洞等不良地质结构,为了顺利完成隧洞开挖施工,项目有效利用智能化有害气体监测技术与施工人员安全帽植入的芯片连接并实时传输至洞口LED屏,实现有害气体动态报警与人员定位相匹配;采用瞬变电磁法技术,通过分析回波动的强弱预判隧洞地质构造;采用农用车为牵引,台车为骨架实现可移动钻爆台车;采用与洞径一致的钢筋为骨架,钢管为装载容器结合激光发射器辅助校核隧洞轴线,确保了隧洞轴线开挖的精度。

2.2.关键技术

首先,本项目引水隧洞设计断面小,且施工距离长达11km,分三个标段施工,且隧洞内含有瓦斯气体,因此,隧洞内有害气体的监测与隧洞轴线校核成为本工

程研究的关键技术之一。其次,本工程断面小,在钻爆施工中,如采用支架法开展钻爆孔施工进度明显会受到严重影响,因此研究加快钻爆台车是本项目的另外一个关键技术;最后,本项目设计沿线穿越岩溶发育的地层,对采取有效措施提前预判隧洞复杂地质结构也是本项目研究的另一项关键技术。

(1) 瓦斯隧洞监测及人员进出洞登记。隧洞设计沿线穿越须家河组煤层、煤线,施工过程中势必存在瓦斯等有害气体,如果专门聘请瓦检员开展施工,一方面增加施工成本,另一方面也存在一定的不安全因素,而且也需要专人去登记进出人员。

(2) 直线隧洞轴线校核无缝对接技术。隧洞为施工距离较长的直线隧洞,依照业主招标要求,安排三个标段开展施工,我部如何通过轴线校核,与相邻标段无缝对接,避免出现错台是隧洞开挖施工的关键。

(3) 复杂地质条件下隧洞地质预报技术。针对前提地质预报少,岩层地质复杂,溶洞等发育,如何在现有技术的条件下,复杂地质的预判,进而采取恰当处理措施,加快工程施工进度。

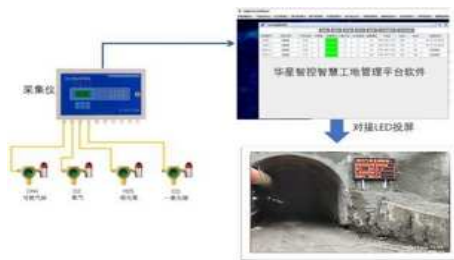
3.小洞径长距离直线瓦斯隧洞施工技术的实施过程分析

3.1.施工准备

(1) 认真勘查现场,了解相关施工规范,准确掌握施工过程中各个施工细节,明确工艺流程。(2) 加强与相关经验丰富设计方沟通力度,做好路线规划,准确无误地指导施工。(3) 完善相关方案及手续,听取相关专家意见,为隧洞开挖施工创造良好的外部施工条件。

3.2.可视化隧洞有害气体检测及人员进出自动登记技术

我部在 0#引水隧洞支洞进洞口安装 PC 端 LED 屏，沿线按照每 200 米布设 485 总线网络通讯及气体检测装置，对引水隧洞主洞洞内有毒有害气体实时变化情况进行动态检测，并直观显示在 LED 屏上，隧洞爆破或者施工过程中一旦检测到浓度异常就会触发告警。气体检测传感器带声光报警功能现场也会触发报警提醒。施工人员所佩戴的安全帽上植入有与系统相匹配的自动定位及自动考勤，实现对进出隧道人员自动记录考勤，同时芯片自带 SOS 呼救功能，遇到突发危险可以一键呼救。



3.3.车载式可移动钻爆台车技术

(1) 工作原理

受现状隧洞洞径限制，隧洞爆破或出渣时须将台车移动至错车平台或者移动至洞外。使用时，又需要将台车移动至施工作业面，为了加快施工进度，项目采用台车安装至性能良好的农用车上，将施工所需设备等悬挂至相应挂钩处，并将农用车开至施工作业面，便于工人钻孔，施工完成后又将台车移动至洞外后车错车平台，工程完成后，可将台车拆卸下来，农用车正常使用。

(2) 钻爆台车加工

车载式可移动钻爆台车，包括农用车车体、台车主体，所述台车主体安装在农用车车体上部，与农用车连成一体结构，通过农用车自身动力系统实现台车的前后移动，简单、方便，较以往的台车相比，节省铺设轨道和安排装载机牵引的时间，为隧道的施工节省时间和成本。台车主体由横梁和纵梁固定连接形成两层工作平台，采用 14 工字钢相互焊接而成，顶部采用 $\phi 12$ 螺纹钢，间距 15cm，焊接钢筋网，便于钻孔人员行走、固定钻孔设备，同时防止顶部掉落岩屑砸坏车体，台车顶面以下 40cm 处设置有 8 根钢套管，套管内安装实心钢管，并通过销连接，实现伸缩功能，在工人施工时可伸缩与隧洞表面连接，提高工人在台车上行进、作业时的安全性，在钢套管上部设置台车翼部平台，平台采用 $\phi 42$ 钢管为骨架， $\phi 12$ 螺纹钢为钢筋网，间距 15cm，采用承插

式钢管、与翼部平台可拆卸自由旋转连接。台车纵梁外侧采用 $\phi 12$ 螺纹钢焊接三排竖向挂钩，顶部挂钩主要在车辆启动行驶前将翼部平台旋转挂连，中部挂钩主要在车辆启动行驶前挂钻孔设备及风管，底部挂钩主要挂工人上下梯子。如图 1 所示

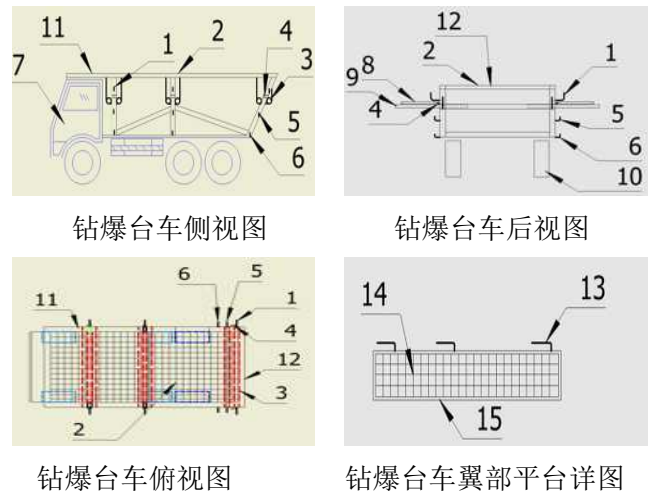
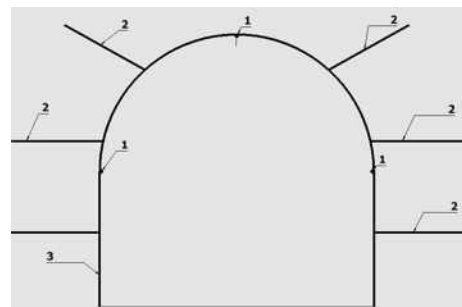


图 1 钻爆台示意图

钻爆台车工作时，现将台车移动至施工作业面，工人由底部挂钩 6 处取下上下台车的梯子，从中部挂钩 5 上取下钻孔设备及风管，放置至上部平台，再到套管 3 处，抽出实心钢管 9，与周边洞壁围岩紧密贴合，然后到上部平台由顶部挂钩 1 处取下翼部平台 8，与实行钢管 9 紧密贴合，钻爆孔施工时，将钻孔设备气腿插到钢筋网 14、2 内，便于施工，减少钻孔振动难控问题。

3.4.直线隧洞轴线自动校核技术

本技术采用两根 $\phi 22$ 钢筋加工成等洞径形式，平行洞轴线方向间距 20cm，在钢筋拱腰部及顶部采用分别焊接 $\phi 42$ 钢管三根，采用全站仪等将设备安装在隧洞内，实现顶部 $\phi 42$ 钢管与轴线重叠，腰部钢管与开挖边线一致，每榀钢筋拱架采用 8 根锁脚锚杆加固，在每根 $\phi 42$ 钢管内安装激光发射装置，如图 2 所示。



1、 $\phi 42$ 钢管， $L=20\text{cm}$ ；2、锁脚锚杆， $L=2.5\text{m}$ ；3、钢筋拱架（ $\phi 22$ ）4、激光发射器（ $L=8\text{mm}$ ）

图 2 直线隧洞轴线自动校核示意图

使用时, 向钢管 1 内的激光发射器通电, 激光所指位置即为洞轴线或边线位置, 工人只需按照激光所指位置向内侧 20cm 处, 开始钻爆破孔, 装药开挖即刻, 定时对激光发射装置的平行性进行校核即可。

3.5.岩溶发育区溶洞监测处理技术

由于瞬变场的强度及延迟时间是与地质目标体的电性、规模及产状等参数有关的, 地质体的导电性越好, 瞬变场的强度就越大且热损耗就越小, 故衰减越慢, 延迟时间越长。因此, 根据瞬变场的特征, 就可以判断地下地质体的电性和规模, 根据剖面测量结果可推断出其赋存位置、埋深及产状等。

(1) 现场测线布置

(1) 本次瞬变电磁法超前地质勘查主要垂直掌子面布置测线 2 条:

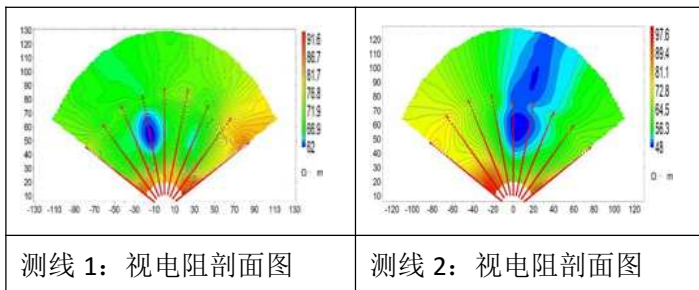
表 1 瞬变电磁法现场测线布置参数表

测线序号	线圈中心位置	探测方向与水平面夹角 (°)	测点数 (个)	测点间夹角 (°)
1	桩号 K1+210 距左边墙 1m	垂直掌子面	9	15
2	桩号 K0+850 距右边墙 1m	垂直掌子面	9	15

备注: 点 1 布置测线 1、2。

(2) 引水隧洞地质缺陷勘查采用瞬变电磁法开展。瞬变电磁法超前地质预报勘测采用中心回线组合装置, 线圈发射磁探头接收。激发线圈为边长 2m 的正方形线圈, 激发线圈匝数 10 匝。供电电流档为 4.5A, 供电脉宽 10ms, 采样率 16μs。磁探头接收频率范围 0.01MHZ-2MHZ, 等效接收面积 450m²。每个测点采用 100 次叠加方式提高信噪比, 确保了原始数据的可靠性。

(3) 数据处理: 文件格式转换→数据预处理→生成断面文件→时深转换→深度校正→超前探测坐标转换→白化→断面图绘制→生成视电阻率剖面图。将视电阻率剖面图作为资料解释的基本图件。



(1) 根据测线 1 视电阻率剖面图可以看出, 桩号 K1+850 段, 距离掌子面约 40-80 米区域有中低阻异常区域, 围岩破碎, 节理裂隙发育, 地下水发育, 存在软弱夹层及裂隙。

(2) 根据测线 2 视电阻率剖面图可以看出, 桩号 K1+210 段, 距离掌子面约 30-80 米区域有中低阻异常区域, 围岩破碎~局部极破碎, 节理裂隙发育~很发育, 地下水发育~很发育, 存在较多软弱夹层, 可能存在岩溶发育带

(2) 溶洞段开挖

针对测线 2 的分析, 项目部严格遵守“短进尺、强支护、勤量测、弱爆破”, 在掌 K1+173.7~K1+177.02 揭露出一贯通性大型溶洞, 溶洞走向与引水隧洞轴线几乎垂直相交, 可视范围内向左右边墙外侧延伸超过 80m, 溶洞直径约 2.3~6.0m, 溶洞底板低于隧洞设计开挖底板高程约 2.5~3.4m。隧洞段底板段大多为破碎基岩, 夹大量次生黄泥等充填物, 深度低于底板约 2~3m, 内壁钙化厚度一般为 5~30cm, 溶洞两侧及顶部围岩溶蚀破碎, 局部风化夹泥。溶洞底部有大量的钙化、黄褐色泥质及碎块石充填。

(3) 岩溶支护

因该处溶洞属贯穿性大型溶洞, 在左右边墙相当于新增了两个支洞, 溶洞发育在此将整个隧洞包围, 在其影响范围成洞困难, 稳定性极差。

(1) 溶洞淤泥清理及石渣回填

延引水洞轴线方向, 宽度 8.0m 先将大部分淤泥清理, 再采用洞渣进行挤压回填, 深度大约 6~7 米, 高度回填至与隧洞底板平齐;

(2) 初期支撑

a.外环钢支撑: 在主洞拱顶开挖线外 50~80cm 架立 20 工字钢支撑, 间距 45cm, 两侧作用在边墙上, 每侧打 4 根 φ 25, L=3.0m 的锁脚锚杆, 挂双层钢筋网, 采用 φ 22 钢筋连接, 并喷射 20cm 厚混凝土; 溶洞采用洞渣回填, 为了防止沉降侵占衬砌净空, 在主洞开挖线架设 20 工字钢, 间距 50cm, 底部采用槽钢支垫, 每侧采 4 根 φ 25, L=3.0m 的锁脚锚杆固定, 挂钢筋网, 直墙悬空段采用 φ 42 钢管连接、拱顶采用 φ 22 钢筋连接并喷射 20cm 厚混凝土, 外环与内环钢支撑间采用喷射混凝土回填。溶洞段拱顶处理每循环架设 1~2 榀钢支撑, 先封闭拱顶溶洞, 再进行主洞跟进, 主洞断面尺寸不足进行局部爆破, 进尺控制在 1.0m 以内, 待溶洞段拱顶处理完成后, 先对掌子面采用超前小导管支护。

3.6.技术应用效果

该项技术在新庙水电站引水隧洞及灌浆平洞的施工中得有效应用实施,取得了良好的效果,该技术确保了施工的顺利进行加快了施工进度,确保了工程质量和安全,降低了施工成本等。

4.结论

通过对我部承建施工的小洞径长距离直线瓦斯隧洞施工关键技术,总结出一套含瓦斯的小洞径直线隧洞连续施工技术,对于后期同行业在水利水电隧洞施工过程中具有移动的参照意义,同时通过利用智能化有害气体监测技术与施工人员安全帽植入的芯片连接并实时传输至洞口LED屏,实现有害气体动态报警与人员定位相匹配;采用瞬变电磁法技术,通过分析回波动的强弱

预判隧洞地质构造;采用农用车为牵引,台车为骨架实现可移动钻爆台车;采用与洞径一致的钢筋为骨架,钢管为装载容器结合激光发射器辅助校核隧洞轴线,确保了隧洞轴线开挖的精度。通过研究,项目形成一套完善的技术成果,具有显著的社会、经济效益和推广前景良好。

【参考文献】

- [1]黄林超,孙彦增,马兆祥.隧道工程施工过程中重难点分析[J].住宅与房地产,2019(12):213.
- [2]周维.摩天岭输水洞工程中瓦斯灾害问题的相关分析[J].黑龙江水利科技,2018,46(05):75-77.
- [3]高俊.水工高瓦斯深埋长隧洞施工关键技术研究[J].城市建设理论研究(电子版). 2022(23):103-105.