

地质超前预报在不良地质条件引水隧洞中的应用

余文华， 娄 鑫

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:在固增水电站引水隧洞开挖过程中,为避免因围岩渗水、涌水、坍塌等不良地质条件造成设备及人员损失,对引水隧洞开展了地质超前预报工作。采用 TGS360pro、TRT 地质超前预报系统及地质雷达,成功预报了不良地质条件。项目部根据所预报的不良地质情况采取了相应的应对措施,避免了设备及人员损失,加快了引水隧洞的开挖与支护进程,确保了固增水电站引水隧洞的顺利贯通。阐述了地质超前预报在不良地质条件引水隧洞开挖中的应用过程。

关键词:固增水电站;不良地质条件;预报系统;地质雷达;应用

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV512;TV221 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2022)04-0026-04

Application of Geological Advance Forecast in Headrace with Unfavorable Geological Conditions

YU Wenhua, LOU Xin

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

Abstract: In order to avoid the loss of equipment and personnel caused by unfavorable geological conditions of water seepage, gushing and collapse of surrounding rock, geological advance forecast was carried out during the excavation of the headrace tunnel in Guzeng Hydropower Project, by using TGS360pro, TRT geological advance forecast system and ground penetrating radar. This paper elaborates the application procedure of geological advance forecast system in headrace tunnel with unfavorable geological conditions. According to the predicted unfavorable geological conditions, corresponding measures were taken to avoid the loss of equipment and personnel, so as to speed up the excavation and support of the headrace tunnel, and ensure the success penetration of the diversion tunnel.

Key words: Guzeng HEP; Unfavorable geology; Forecasting system; Ground penetrating radar; application.

1 概 述

固增水电站引水隧洞位于木里河左岸,从小沟河沟口下游约 0.4 km 的木里河处取水至木里河左岸Ⅰ级阶地的地面厂房发电。由进水口至调压井的引水线路长约 11.06 km。

该引水线路处于高山峡谷区,地形高差悬殊,为 500~1 500 m。两岸河谷多呈不对称的“U”和“V”型谷,植被较发育。引水隧洞沿线沟谷深切,支沟较发育,从上至下规模较大的冲沟为洼开沟、撒洼沟,沟内有常年性流水,洪水期流量较大。引水隧洞布置在木里河左岸山体内,垂向埋深一般为 150~400 m,最浅处为撒洼沟过沟段(60 m 左右),最深处达 590 m,水平埋深一般为 320~850 m。隧洞区地层岩性复杂,主要由滨海与河湖相

组合、交互的地质环境中沉积的由复杂岩层组合而成的区域性浅变质岩。隧洞施工前,对于采用何种设备、何种方法了解未开挖洞段的岩性、富水等情况并据此制定相应的措施以确保施工安全及施工进度是隧洞施工中的重点问题。阐述了地质超前预报在不良地质条件引水隧洞开挖中的应用过程。

2 检测设备

鉴于固增水电站引水隧洞地层结构的复杂性以及其横跨 4 个山体冲沟、水源丰富等特性,在引水隧洞开挖及支护阶段出现坍塌与涌水的情况十分突出。为保证隧洞开挖支护阶段的安全施工及施工进度,项目部决定在固增水电站引水隧洞施工过程中开展超前地质预报^[1]工作,旨在为引水隧洞开挖支护的安全提供保障。

收稿日期:2022-05-05

结合目前国内地质预报开展的情况,固增水电站先后引进了 TSP 地质超前预报系统以及固定超前预报系统、TGS—360Pro 地质超前预报系统、地质雷达^[2]对引水隧洞的地质情况进行了地质超前预报。由于 TSP 地质超前预报系统性能的不稳定性,在工程应用过程中,不能很好地对部

分地质情况进行准确的预报,固增水电站在 TSP 地质超前预报系统应用了一个周期后即由 TRT 地质超前预报系统及 TGS—360Pro 地质超前预报系统予以代替。以下对工程中使用频次较高的地质超前预报设备进行了对比分析,地质超前预报设备性能对比情况见表 1。

表 1 地质超前预报设备性能对比表

项 目	原 理	特 点
TGS—360Pro	TGS-360Pro 是基于不同极化反射地震波特点以及航空无线电三维定位工作原理建立的一种定向地震波三维探测新技术。通过多个震源多次激发地震波,其产生的反射波被多个三维检波器接收,从而获得岩体多个参数的三维数据体。依据该参数图像,可以有效地识别岩层分离元素(岩层材料损坏的垂直区对应于地块接触不同的地球动力学状态),通过处理得到的图像可以判别涌水、塌方和含水区域及破碎带等隧道前方的危险情况	①现场安装、采集方便、快捷,1 h 之内即可完成现场工作 ②8 个 3D 成果数据体,多方位三维立体成像,任意切片(围岩应力、含水率、波速等) ③是目前世界上唯一一套可以对隧道超前预报常见的三类地质病害(破碎带、空洞、富水带/或突泥突水),特别是突水问题进行预报
TRT	TRT 地质超前预报技术是由美国 NSA 工程公司开发的隧洞地质超前预报新方法	①操作简单 ②设备可靠度高、适应性强 ③采集信息量大,可形象绘制三维立体图,对多种不良地质体反应敏感
地质雷达 SIR3000	SIR3000 是由美国地球物理探测公司开发的、先进的雷达系统	①预测精度高 ②对水敏感性高

从表 1 中所列出的对设备的分析情况可以看出三种设备具有其相对的测试优势及特点。TRT、TGS—360Pro 地质超前预报系统的测试原理基本一致,均为地震波类的测试系统。TGS—360Pro 地质超前预报系统增加了较多的不同地质类型专业分析模块,对于分析较为突出的地质岩层其预报准确率得到了极大程度的提高;TRT 地质超前预报^[3]系统对于数据的激发与采集在操作方面进行了简化,不再需要进行钻孔安装激发与接收装置,数据分析时可以采用综合分析的方式对地质情况进行预报;地质雷达 SIR3000 的测试原理与以上两种测试原理不同,该地质雷达采用电磁波的测试发放以达到对地质情况的预报目的,其信号的激发与回收均通过专门的一体设备完成,不再需要打孔。但地质雷达的最大测试距离不超过 50 m,有效测试距离为 20~40 m。相比地震波类的地质超前预报系统的测试距离(150 m)而言其测试距离较短,需要在施工过程中进行短周期的测试循环工作,因而对现场施工具有一定程度的影响。但其测试精度相对来说较高,可

以基本、准确地确定地质条件发生突变的位置。

3 检测成果

3.1 地质超前预报设备的应用

在固增水电站引水隧洞及施工支洞开挖阶段,各控制段对掌子面前方因对地质情况判断不明导致出现了不同程度的塌方、涌水、有毒有害气体情况,给工程施工安全造成了极大的隐患,形成了施工进度缓慢的事实。为解决这一问题,项目部决定对全洞段进行地质超前预报工作,地质超前预报工作采取多种检测手段相配合的方式进行,主要采取以 TRT、TGS—360Pro 地质超前预报系统进行远距离地质超前预报为主;对于存在疑问的检测数据使用地质雷达进行精准检测、实施地质超前预报工作。检测前,先对掌子面进行布孔,地质预报的布孔方式见图 1。通过地质超前预报结果,采用动态调整支护参数及施工方案的方式确保了施工安全及施工进度。

3.2 数据分析与处理

对于地质结构复杂的洞段采取以上三种检测手段进行对比检测。通过对三种设备采集的数据

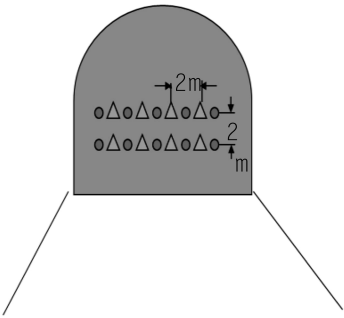


图 1 地质预报布孔方式图

进行对比分析,确保了地质超前预报的准确性。引水隧洞中两段桩号内的三种设备测试结果对比分析情况如下(T1+419~T1+539、T7+715~T7+818)。

(1)TGS-360Pro 地质超前预报系统。

T1+419~T1+539:该段岩体纵波波速为 2 800~3 500 m/s,该段围岩岩体相对较好,围岩情况与开挖出的掌子面情况基本一致。岩体纵波波速降低,发育节理裂隙或存在软弱夹层且可能伴随滴水成串、股状水情况,开挖过程中需注意排水,防止顶部掉块。纵波波速图(T1+419~T1+539)见图 2。

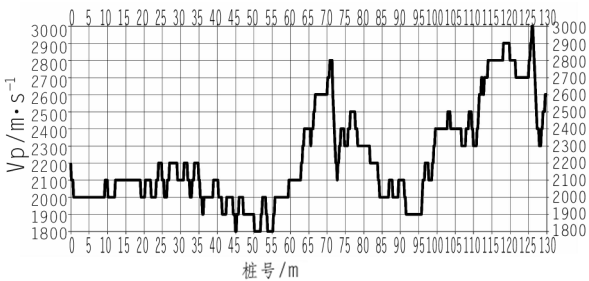


图 2 纵波波速图(T1+419~T1+539)

T7+715~T7+818:岩体纵波波速为 2 000~2 200 m/s,该段围岩岩体较破碎,岩体强度降低,发育节理裂隙,存在软弱夹层且有可能伴随滴水情况。纵波波速图(T7+715~ T7+818)见图 3。

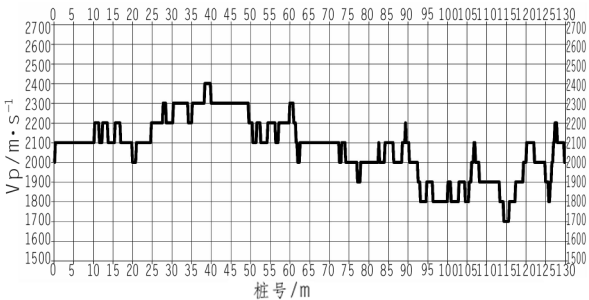


图 3 纵波波速图(T7+715~ T7+818)

(2)TRT 地质超前预报系统。

T1+419~T1+539:此段地震波反射强,地震波速度较前段呈减小趋势。相对于掌子面的变化较小,局部有增高趋势,由此推测:此桩号段岩体中结构面较发育,岩体较破碎,局部可能有地下水活动;开挖时应注意掌子面坍塌或掉块,局部应加强排水。纵波波速图(T1+419~T1+539)见图 4。

T7+715~T7+818:地震波总体反射相对较弱,仅局部零星分布一些反射,岩体结构面集中发育,岩体破碎,部分洞段有地下水活动。纵波波速图(T7+715~ T7+818)见图 5。

(3)地质雷达 SIR3000。

T1+419~T1+539:根据地质雷达探测得到的反射波图像,结合隧道工程地质勘察结果和掌子面围岩特征,分析出掌子面前方 30 m 范围的地质情况:该区段同相轴不连续,振幅相对较弱,围岩情况与当前掌子面情况基本一致;局部能量反射较强,局部发育裂隙或软弱层,可能含裂隙水。开挖过程中应注意排水,防止顶部掉块。

T7+715~T7+818:根据地质雷达探测得到的反射波图像,结合隧道工程地质勘察结果和掌子面围岩特征,该区段电波信号同相轴不连续,能量反射较强,推测为围岩破碎,节理裂隙发育,开挖时应注意掌子面坍塌或掉块并加强排水。

3.3 比对后得出的结论

(1)采用 TGS-360Pro^[4]和 TRT 两种设备对同一洞段前方的围岩情况进行检测,所获得的检测结果与实际地质类型基本一致。

(2)地质雷达采用的电磁波对于含水围岩的敏感性较强。因此,可以结合已有经验对含水洞段进行地质雷达检测以达到验证围岩含水情况的目的。

(3)对于围岩较为复杂的施工洞段,仍然采用 TGS-360Pro、TRT、地质雷达和超前钻探孔相组合^[5]的检测手段进行超前地质预报。

4 实施效果

自开展引水隧洞超前地质预报工作以来,通过实施多种手段的地质超前预报,成功地避免了因不良地质条件给工程造成的质量安全隐患,避

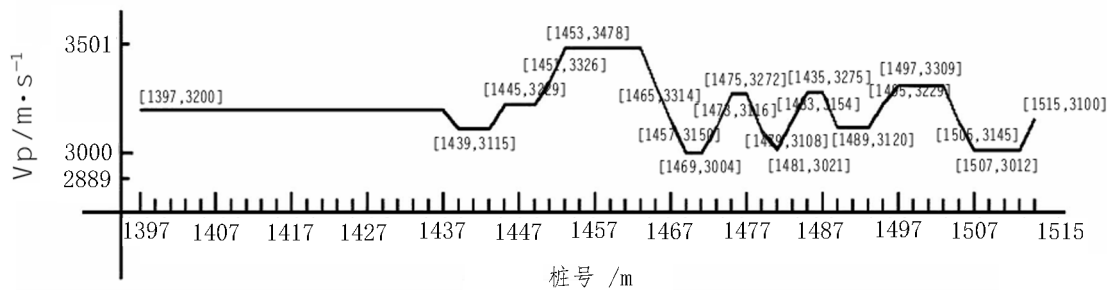


图4 纵波波速图(T1+419~T1+539)

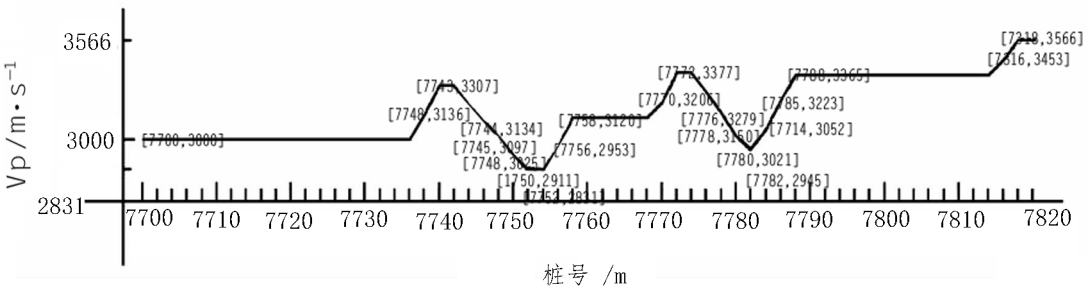


图5 纵波波速图(T7+715~ T7+818)

免了不必要的人员及设备损失,保证了工程的施工进度。

(1)成功预报了2号支洞控制段与3号支洞控制段出现的因山体渗水引发的涌水情况。避免了因涌水造成的坍塌情况,通过及时采取增加排水的方式释放水压力,避免了不必要的设备及人员损失。

(2)成功预报了4号支洞控制段存在的3处空腔部位,采取探孔施工及系列有毒有害气体检测手段在钻孔过程中释放了内压气体,避免了安全事故的发生。

(3)全断面地质超前预报工作开展以来,严格按照地质超前预报的操作要求,科学地开展了数据分析工作,所预报的地质情况与实际揭露的结果吻合度达到80%。

5 结 语

固增水电站的业主、监理与总承包单位在不良地质条件引水隧洞开挖支护施工过程中,本着以人为本、尊重技术、追求质量安全的理念,有效开展了地质超前预报工作,针对不同的地质情况选用与其相匹配的检测设备;在地质情况复杂且特定的地质情况突出的隧洞开挖过程中采取

TGS—360Pro 或 TRT 地质超前预报系统开展地质超前预报工作,并采用地质雷达或布设超前钻探孔的方式进行辅助检测预报。

对固增水电站引水隧洞地质超前预报进行的研究及取得的成效,可为同类型地下工程开挖提供较好的借鉴,该技术具有较高的推广价值。

参考文献:

[1] 罗利锐,刘志刚,闫怡冲.超前地质预报系统的提出及其发展方向[J].岩土力学,2011,32(增1):614-618.
[2] 赵俊杰,李妮.地质雷达在公路隧道超前地质预报中的应用[J].黑龙江交通科技,2021,44(9):161-163.
[3] 相兴华,邓小鹏,王鹏. TRT 在隧道地质超前预报中的应用[J].地下空间与工程学报,2012,8(6):1282-1286+1327.
[4] 温树林,吴世林. TSP 在云南元磨高速公路隧道超前地质预报中的应用[J].地球物理学进展,2003,18(3):465-471.
[5] 李永志,田洪义.综合超前地质预报技术在高黎贡山隧道中的应用[J].铁道建筑,2018,58(3):46-49.

作者简介:

余文华(1989-),男,湖北黄冈人,项目经理助理兼技术部主任,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
娄鑫(1987-),男,河南新乡人,项目试验室主任,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)