

长距离不良地质隧洞超前地质预报的应用

虞 舜， 朱 松， 李 志 明， 杨 再 润， 蒋 颀

(中国水利水电第十四工程局有限公司, 云南 昆明 650000)

摘 要:以硬梁包水电站引水隧洞高岭土化蚀变岩洞段施工为背景,采用 TRT 探测法、激发极化法(TIP)等综合物理探测方法,并结合常规地质超前探孔法和地质素描调查法等对岩体进行提前预报,分析岩体特性、断层分布、层理结构、地下水情况、波速变化等。基于三维成像和数字组合的立体预报体系,精确指导爆破工艺的调整,降低塌方和大超挖的风险。根据预报结果与实际地质对比验证,在高岭土化蚀变岩隧洞中超前地质预报结果准确度较高,可为类似隧洞的超前地质预报应用提供参考和借鉴。

关键词:超前;地质预报;长距离;不良地质

中图分类号:F407.1

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2023)01-0080-05

Application of Advanced Geological Forecast in Long Tunnel under Unfavorable Geological Conditions

YU Shun, ZHU Song, LI Zhiming, YANG Zairun, JIANG Dun

(Sinohydro Bureau 14 Co., Ltd., Kunming Yunnan 650000)

Abstract: Based on the construction of Kaolin altered section of headrace tunnel of Yingliangbao Hydropower Station, the comprehensive physical detection methods, such as TRT detection method and induced polarization method (TIP), are adopted. The characteristics of rock mass, fault distribution, bedding structure, groundwater condition and wave velocity change are analyzed by combining the conventional geological prospecting method and geological sketch survey method. The three-dimensional forecast system based on three-dimensional imaging and digital combination can guide the adjustment of blasting technology accurately, and reduce the risk of collapse and over-excavation. According to the comparison between the forecast results and the actual geology, the forecast results in the Kaolin altered rock tunnel have high accuracy, which can provide reference for the application of advanced geological forecast in similar tunnels.

Key words: Advanced; Geological forecast; Long distance; Unfavorable geological conditions

0 引 言

随着我国国民经济的发展,长距离地下输水隧洞工程技术水平不断提升,以引水式水电站水工隧洞及长距离输水隧洞工程为典型,具有洞径大、洞线长、埋深大等特点^[1]。深埋长隧洞工程地质勘察是当今人类面临的世界级难题,目前还处于理论探索和经验积累阶段。虽然已经建成了相当数量的深埋长隧洞,但还没有形成一整套完整的理论和技术方法^[2]。隧道建设初期阶段想要调查清楚施工区域岩体的地质条件难度很大。因此导致隧洞的施工措施常常处于被动状态,经常伴随着涌水、突水、坍塌等安全风险。

工程区地处松潘—甘孜地槽褶皱系巴颜喀拉冒地槽褶皱带与扬子准地台内的康滇地轴过渡部位,其西北面与松潘甘孜地槽褶皱系为邻,东面及东北部分别与四川台拗和龙门山台缘断褶带相连。花岗岩蚀变带分布较广、体积大、状态多,且地下水丰富,由已经施工洞段的情况表明,施工中易发生塌方、涌水、流沙和变形等风险。准确预报工作面前方的地层岩性、围岩类别和不良地质体的发育等情况,为后续规避安全风险、制定可行施工方案提供必要的依据显得尤为重要。

该工程依托的工程为四川省甘孜藏族自治州泸定县境内的大渡河硬梁包水电站引水隧洞工程,引水隧洞采用两条隧洞平行布置于大渡河左

收稿日期:2022-08-05

岸,两洞轴线间距 60.0 m,1 号引水隧洞(靠大渡河侧)长度为 14 326.402 m,2 号引水隧洞长度为 14 427.889 m。

1 超前地质预报技术

1.1 TRT 探测法和地质分析法

1.1.1 TRT 探测法

TRT 是隧道地震波反射层析成像技术的简称,技术的基本原理在于当地震波遇到声学阻抗差异界面时,一部分信号被反射回来,一部分信号透射进入前方介质。声学阻抗的变化通常发生在地质岩层界面或岩体内不连续界面。反射的地震信号被高灵敏地震信号传感器接收,通过分析用来了解隧道工作面前方地质体的性质、位置及规模^[3]。

采用三维地震发射波法(TRT7000)及配套分析软件进行测试和分析。

采用分布式立体布置 TRT 型超前预报系统的震源点和传感器点。通过人工锤击震源点,激发地震波,完成自动采集过程。在人工锤击时,绑在锤上的触发器触发基站,给所有无线模块同时下达采集数据的指令。最后,所有无线模块采集、记录地震波信号发送至基站,并同时显示在主机的采集软件界面中。

根据相关资料和现场观测得知:引(1)11+880.0 掌子面岩体为高岭土化蚀变花岗岩,蚀变体性状软弱为散体~碎裂结构,自稳能力差,以Ⅴ类围岩为主。在引(1)11+880.0 处掌子面下游施工方向进行超前地质预报工作,探测范围 100 m。通过勘测区域的地震波反射扫描成像三维图、P 波波速(图 1)及掌子面地质观测的信息,可以得出如下结论:

11+880.0~11+910.0 在三维图上,该段中出现了明显的正负反射,波速区间 1 771~2 700 m/s,波速整体呈下降趋势,推断该段围岩破碎,节理裂隙发育,围岩强度降低,较掌子面围岩强度降低,稳定性下降,整体结构松弛。桩号 11+890.0 附近,掌子面右侧地震反射呈现环状反射,解释推断该处隧洞周围可能存在断裂面,推断该段Ⅴ类围岩为主,建议及时跟进支护,加强支护措施,保持围岩稳定。

11+910.0~11+950.0 在三维图上,该段中出现零星的正负反射,波速区间 1 649~1 865 m/

s 推断该段围岩较破碎,围岩稳定性差,岩层易碎裂脱落,岩性较均一,有一定的自稳能力,推断该段围岩以Ⅳ类为主。

11+950.0~11+980.0 在三维图上,该段中出现明显的正负反射,波速区间 1 723~1 865 m/s 推断该段围岩破碎,围岩稳定性差,存在围岩软弱夹层,推断该段围岩以Ⅳ类为主,开挖过程中可能发生塌腔,施工中需要注意。

1.1.2 地质素描调查法

洞内地质调查和掌子面地质素描是隧道施工过程中的地质工作,是隧道工程全过程地质工作的重要一环,其不仅是开展隧道施工地质超前预报的需要,也是对隧道设计地质资料的补充和完善,更为隧道运营阶段隧道病害整治提供完整的隧道地质资料^[4]。

掌子面桩号引(1)11+896 m,该处附近揭示地质条件为灰黑色闪长岩 C 类蚀变为主,蚀变岩性状软弱,镶嵌~碎裂结构。地下水状态为湿润~滴水,围岩以Ⅳ类为主,围岩自稳能力差~极差。预测 11+896 m~11+926 m 段岩石岩体以高岭土化蚀变岩为主,C 类蚀变,蚀变岩性状软弱,镶嵌~碎裂结构,围岩自稳能力差~极差,围岩以Ⅳ类为主。

掌子面桩号引(1)11+926,该处附近揭示地质条件为灰黑色闪长岩,C 类蚀变为主,蚀变岩性状软弱,碎裂结构为主,少量镶嵌结构。发育有 1 条岩脉,EW/S $\angle$ 80°,岩脉呈角砾状,断层接触,宽约 0.3~0.5 m;发育 1 条断层,N20°W/SW $\angle$ ⊥,宽约 0.2 m,发育 3 组裂隙,①N20°W/NE $\angle$ 75°,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m;②N45°W/SW $\angle$ 45°,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m;③N35°E $\angle$ ⊥,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m。洞内局部滴水。掌子面揭示岩体以碎裂结构为主,部分镶嵌结构,蚀变较强。现场总体确定为Ⅳ类围岩。预测 11+926.0 m~11+956.0 m 段岩石为花岗岩类为主,岩体以碎裂结构为主,部分镶嵌结构,大部分为软岩,部分中硬岩,洞内滴水~线状流水,以Ⅳ类围岩为主,洞室围岩不稳定;断层破碎为Ⅴ类。围岩稳定性差~极差,建议及时加强支护。

掌子面桩号引(1)11+956 m,附近揭示地质条件为:灰黑色闪长岩,C 类蚀变为主,蚀变岩性

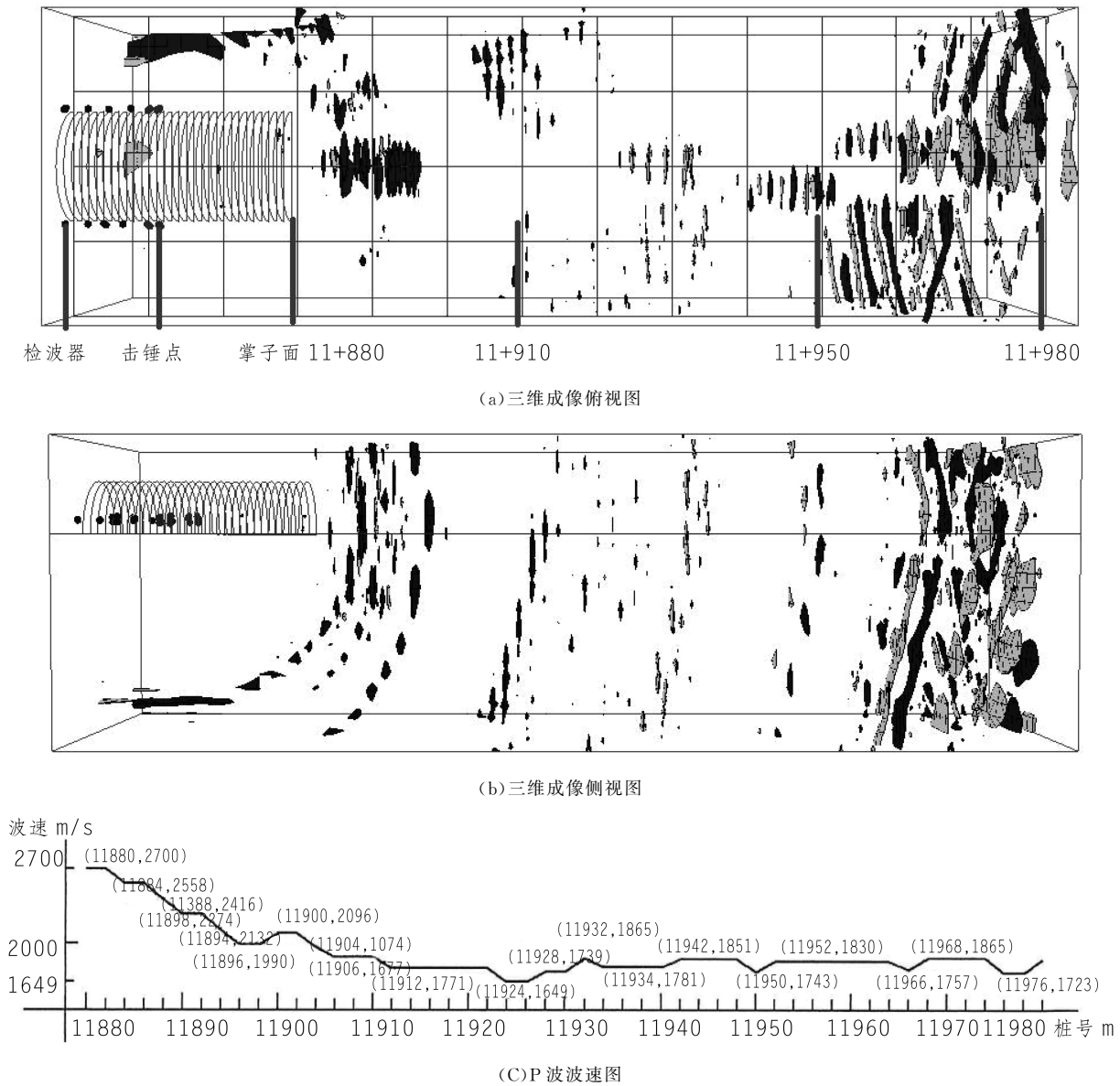


图 1 地震波扫描成像三维图及 P 波波速图

状软弱,碎裂结构为主少量镶嵌结构。发育有 1 条岩脉,EW/S $\angle$ 80°,岩脉呈角砾状,断层接触,宽约 0.3~0.5 m;发育 1 条断层,N20°W/ SW $\angle$ ⊥,宽约 0.2 m,发育 3 组裂隙① N20°W/NE $\angle$ 75°,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m;② N45°W/ SW $\angle$ 45°,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m;④ N35°E $\angle$ ⊥,间距 0.3~0.5 m,延伸 1~3 m。洞内局部滴水。掌子面揭示岩体以碎裂结构为主,部分镶嵌结构,蚀变较强。现场总体确定为Ⅳ类围岩。预测 11+ 956.0 m—11+976.0 m 段岩石为花岗岩类为主,岩体以碎裂结构为主,部分镶嵌结构为软岩~中硬岩,洞内滴水~线状流水,以Ⅳ

类围岩为主,洞室围岩不稳定;断层破碎带为 V 类围岩稳定性差~极差,建议及时加强支护。

根据 TRT 探测法超前预报结果,对实际揭示掌子面地质条件进行调查分析,然后根据调查分析结果结合 TRT 探测法超前预报对未来地质情况进行预测,能够得到较高准确度的预测结果。根据预测结果提前制定措施和准备以应对预测可能出现的不良地质情况,保证工程施工安全正常进行。

1.2 激发极化法(TIP)和超前地质钻探法

花岗岩电阻率数值整体偏高,风化、破碎处低阻异常更明显,花岗岩地区属裂隙水类型,地下水相对贫乏,变化较大,采用单一的物探方法难以满

足找水需求^[5]。该次探水先利用激发极化法进行超前探水,得到激发极化三维成像图,结合三维成像图布置超前地质钻孔对隧洞过沟段地下水分布情况进行综合超前探测。

1.2.1 激发极化法(TIP)

采用激发极化法(TIP)及配套分析软件进行

测试和分析,通过在掌子面布置一定数量的测量电极,同时在边墙上布置多圈供电电极。探测时,供电电极供入直流电(A、B电极),测量电极(M、N电极)测量两个电极间的电势差,从而计算出电阻率剖面。掌子面测量电极。测量电极的布置方法见图 2。

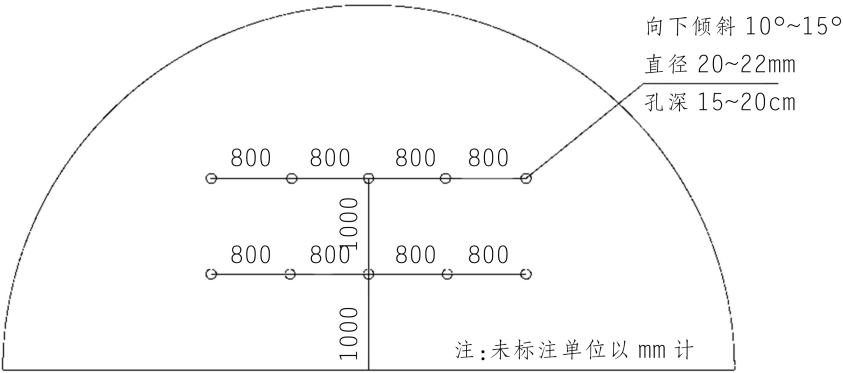


图 2 测量电极的布置方法

根据相关资料和现场观测得知:引(1)10+234.0 掌子面大桩号方向为下穿冲沟段。在引(1)10+234.0 桩号处掌子面大桩号施工方向进行超前地质预报测试工作,探测 30 m 范围内地下

水发育情况。三维成像及切片图见图 3,其中 X 方向表示竖直方向,Y 方向表示掌子面宽度方向,Z 方向表示开挖方向,坐标原点为掌子面中心位置。综合分析,激发极化预报结果如下:

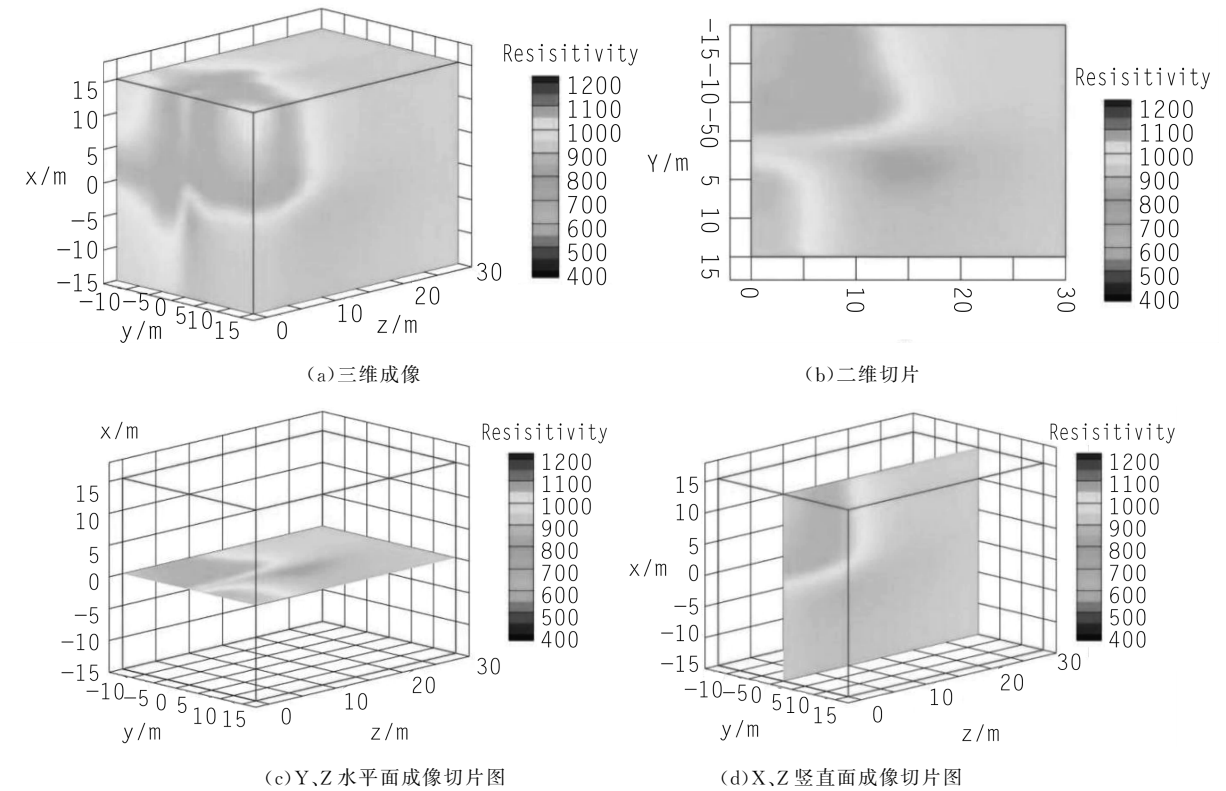


图 3 三维成像及切片图

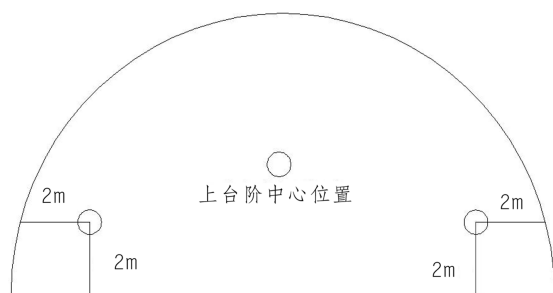
(1)10+234.0~10+239 段。三维电阻率图 像中电阻率值整体较高,推断该段掌子面前方围

岩潮湿;

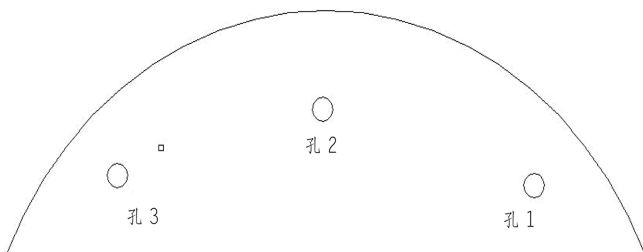
(2)10+239.0~10+264 段。三维电阻率图像中电阻率值前方及右侧较左侧偏低,推断该段掌子面前方及右侧出现滴渗水,局部裂隙发育处可能出现线状流水。

1.2.2 超前地质钻探法

对引(1)10+220.0 掌子面和引(1)10+240.0 掌子面进行超前地质钻探超前地质钻探,目的是



(a)引(1)10+220 掌子面上层孔位布置图



(b)引(1)10+240 掌子面上层上台阶孔位布置图

图 4 超前地质钻孔孔位布置图

到以下预报结果:

引(1)10+220 掌子面 3 个勘探孔成孔后,无渗水现象,但在第九节(K10+245~K10+248)施工过程中,钻进速度 4 min 左右,与其他位置相比钻进速度较快,该桩号范围内岩层强度可能偏弱,开挖时需注意循环进尺及装药量。

引(1)10+240 掌子面 3 个勘探孔成孔后,三个孔均有明显渗水流出现象,钻进过程中速度不均匀,推测该段钻孔范围内岩层情况可能变化频次较高。该段目前采用台阶法开挖,施工时需注意循环进尺及排水施工。

通过以上两种超前地质预报方法对比验证得出,激发极化法(TIP)和超前地质钻探法的综合应用,准确的探测了掌子面前方岩体含水情况,根据预测结果提前采取施工排水等相关措施保证了工程的正常进行。

2 超前钻孔与施工钻孔的结合

工程根据地质预报与实际地质情况进行了系统锚杆注浆、超前支护注浆、爆破控制等相关工艺试验和生产性试验,经参建四方同意总结了合理可行的施工方案。利用施工方案中钻孔需求进行超前钻孔探测前方地质情况,用以分析结合其他超前预报,为下一步施工决策提供依据。

在蚀变岩洞段,对Ⅲ类围岩情况利用爆破造

查勘地下水发育情况、涌水量的大小,避免出现突水突泥险情的发生。

勘探孔参数:采用履带式全液压多功能钻机进行水平向施工,勘探孔孔径 90~110 mm,孔深 28 m(钻杆长 27 m,推进器长 1 m),搭接长度 10 m。布置 3 孔,孔向外偏 5°左右,超前地质钻孔孔位布置见图 4。

通过钻孔过程记录及钻孔后实际情况分析得

孔或超前支护钻孔,对于Ⅳ、Ⅴ类围岩则利用超前支护钻孔。钻孔前管理人员先根据现场实际地质情况和 TRT 超前地质预报进行分析,选取 1~2 个主爆破孔位置和超前支护顶拱 1~2 个钻孔位置,安排经验丰富的工人进行施工钻孔。记录钻孔过程中钻进速度、反水、石渣和成孔后的情况,现场管理人员综合判断前方可能出现的地质情况,确定本循环的进尺,装药结构的大小,实现一炮一设计,差异化装药,减少和降低工程地质灾害的发生概率。

根据钻孔过程中反灰状态和钻孔后孔内状态分析推测前方岩体岩性、破碎程度和含水量等信息;如出现较大地下水发育,超前钻孔兼做超前排水孔使用;如出现钻速突然变快或钻速不均匀则推测前方岩体破碎或变软弱,此时为保障施工安全则减小开挖进尺,Ⅲ类围岩进尺由 3.0~3.5 m 缩短到 2.5~3.0 m,Ⅳ类围岩由 2~2.5 m 缩短至 1.5~2 m,Ⅴ类围岩由 0.5~1.0 m 缩短至 0.5 m,钻速均匀无异常情况则按常规进尺施工,钻孔指导和差异化装药等工作由专属工作面的班组长执行,工程部管理人员进行监督和协调。

3 结 语

(下转第 92 页)

梁包水电站厂区自然高边坡,建立硬梁包水电站不同时期的边坡危岩体的三维模型数据库,不仅能够充分掌握边坡危岩体整体变化过程,而且根据三维实景模型及裂缝变化数据,及时发现边坡危岩体安全隐患,为施工和运营期间提供监测预警服务。

参考文献:

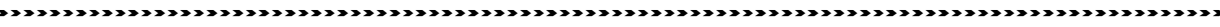
[1] 王堃宇. 基于三维激光扫描技术的岩土工程动、静态监测[D]. 天津大学, 2018.

[2] 李彬彬,王 笑,秦海超. 无人机三维激光扫描在地表沉降的监测研究[J]. 北京测绘,2022,36(3): 356-360.

[3] 张敏. 近景摄影技术在露天矿山边坡变形监测中的应用初探[J]. 科技创新与应用,2020(20): 171-172.

[4] 项鑫,王艳利. 近景摄影测量在边坡变形监测中的应用[J]. 中国煤炭地质,2020.

[5] 王健伟,王磊. 北斗卫星定位技术在边坡位移监测中的应用[J]. 铁道建筑,2020, 60(1): 85-88.



(上接第 84 页)

根据隧洞掌子面岩体和实际地质条件确定勘探需求,采用合适的物探方法和常规地质勘探法相结合的方法得到的地质预报结果具有较高的准确度。

利用超前钻孔和施工钻孔相结合既达到了施工目的,又起到了地勘、超前排水和指导进尺等超前预报的作用。

综合性地质超前预报方法的准确度较高,针对出现的高岭土化蚀变岩体、断层、塌腔和地下渗水等不良地质情况,采取了合适的施工技术措施,有效改善蚀变岩隧洞地质灾害,保证了工程的质量,提高了施工的进度。

参考文献:

[1] 中国水利水电地下工程数据统计(截至 2016 年底)[J]. 隧道建设,2017,37(6):778-779.

[2] 张小宝,司富安,段世委,等. 深埋水工长隧洞主要工程地质

作者简介:

白奎明(1974-),男,四川广安人,本科,硕士学位,高级工程师,从事水电工程建设、电厂运行维护管理工作;

范庆龙(1973-),男,重庆丰都人,硕士研究生,高级工程师,注册一级建造师、注册安全工程师,从事水电工程建设管理工作;

杨宝全(1985-),男,云南大理人,博士,从事水利水电工程行业教学与研究工作;

殷 滋(1993-),女,重庆长寿人,本科,助理工程师,从事水电工程建设管理工作;

侯争军(1979-),男,河南焦作人,博士,高级工程师,从事智能变形监测装备系统研究;

陈 媛(1973-),女,重庆涪陵人,博士,教授,从事水电工程及岩土工程的教学与研究工作;

贺宁波(1990-),男,湖南宁乡人,本科,工程师,从事应急装备研发管理工作.

(责任编辑:吴永红)

问题与勘察经验[J]. 水利规划与设计,2021,218(12):55-60.

[3] 赵学恭. 隧道超前地质预报地震波反射 TSP203 法与 TRT7000 法的应用及比较[J]. 居舍,2021(5):178-180.

[4] 何发亮,李苍松,李术才,等. 隧道施工地质超前预报工作方法[J]. 岩土力学,2006,27(S1):270-274.

[5] 时彦芳,李波. 综合电法在花岗岩地区找水中的应用效果分析[J]. 地质与资源,2020,29(4):363-368.

作者简介:

虞 舜(1988-),男,云南祥云人,本科,中级工程师,从事水利水电工程施工管理工作;

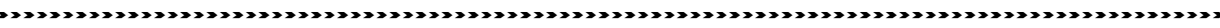
朱 松(1998-),男,贵州铜仁人,本科,助理工程师,从事水利水电工程施工技术管理工作;

李志明(1999-),男,云南腾冲人,本科,助理工程师,从事水利水电工程施工技术管理工作;

杨再润(1982-),男,云南临沧人,专科,助理工程师,从事水电水利工程测量管理工作;

蒋 顿(1989-),男,云南曲靖人,专科,中级工程师,从事水利水电工程施工现场管理工作.

(责任编辑:吴永红)



长江干流梯级水库已累计向下游补水超 100 亿立方米

受去年夏秋连旱影响,长江流域来水极端偏枯,为解决去冬今春水资源供需紧张难题,三峡集团所属长江电力持续加强与水利、航运、电力等部门沟通协调,精心编制补水方案,并于 2022 年 11 月 5 日开展长江干流梯级六座水库枯期补水调度,这也是长江电力自三峡水库建成以来启动时间最早的一次枯期补水调度。截至目前,长江干流梯级水库已累计向下游补水超 100 亿立方米,相当于 700 余个西湖水量,有效缓解长江中下游用水紧张局面。今年 1 月中旬以来,位于三峡水库上游的向家坝、溪洛渡水库平均出库流量均创历史同期新高,三峡水库平均出库流量达 6810 立方米每秒,较去年同期增加 220 立方米每秒,抬升下游沙市水文站水位超 0.5 米,为开展长江中下游补水提供有力支撑。后续,长江电力将持续加强预测预报,加大与上级调度单位沟通力度,持续开展枯期补水调度,为长江中下游春耕灌溉期间用水提供坚实保障。

(来源:中国长江三峡集团有限公司 2023-02-06)