

TGS360Pro 数据处理中波速对预报结果的影响及其改进措施

母丽程, 周继中, 杨森, 王开华, 尹秀

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 611730)

摘要: 掌子面前方围岩波速预测是隧洞超前地质预报的核心问题之一, 波速预测的正确与否直接影响着预报结果的有效性和精度。本文围绕俄罗斯超前地质预报系统 TGS360 Pro(tunnel geology survey 360 Pro, 以下简称 TGS) 技术, 分析波速对预报结果的影响, 并根据预报结果与隧洞开挖后工程验证结果进行对比分析, 提出 TGS 技术数据处理解译过程中波速选取的方法, 有效地提高了 TGS 超前地质预报技术对掌子面前方异常体识别和定位的准确度。结果表明: 在经验波速范围内, 用速度结果曲线作为预测速度模型修正的依据可以获得与实际情况比较一致的预测波速值, 是提高 TGS 超前地质预报技术准确度的一种有效手段。

关键词: TGS360Pro; 地震波速度; 速度曲线; 预报准确度

中图分类号: P315.9

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2023)增 1-0060-06

Influence of Wave Velocity on Prediction Results in TGS360 Pro Data Processing and Its Improvement Measures

MU Licheng, ZHOU Jizhong, YANG Sen, WANG Kaihua, YIN Xiu
(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 611730)

Abstract: The prediction of the wave velocity of the surrounding rock in front of the tunnel face is one of core problems of the prediction results. The correctness of the wave velocity prediction directly affects the validity and accuracy of the prediction results. This paper focuses on the technology of the Russian advanced geological prediction system TGS360 Pro(tunnel geology survey 360 Pro, hereinafter referred to as TGS), analyzes the impact of wave velocity on the prediction results, and proposes the method of wave velocity selection in the process of TGS technical data processing and interpretation based on the comparative analysis of the prediction results and the engineering verification results after tunnel excavation. It effectively improves the accuracy of TGS advance geological prediction technology in identifying and locating the anomalies in front of the tunnel face. The results show that within the range of empirical wave velocity, using the velocity result curve as the basis for the correction of the prediction velocity model can obtain the predicted wave velocity value that is more consistent with the actual situation, which is an effective means to improve the accuracy of TGS advance geological prediction technology.

Keywords: TGS360 Pro; Seismic wave velocity; Velocity curve; Prediction accuracy

0 引言

在地下工程及隧洞施工过程中, 围岩大变形、塌方、突水突泥等不良地质问题时有发生, 给工程施工带来严重的安全隐患。超前地质预报技术作为工程施工过程中的重要环节, 对分析推断掌子面前方的地质构造条件, 及时发现异常情况, 预报掌子面前方不良地质体的位置、形态及其规模, 保障工程的安全、质量、进度具有重大意义^[1-2]。

地震波在围岩中传播的波速与岩石性质、成分、孔隙度、含水概率等因素密切相关。速度的大小可以反映岩体的力学性质, 是岩体质量综合评定的重要参数^[3-4]。超前地质预报技术以地震波速度参数为正反演基础, 反演掌子面前方地质异常体的位置和规模, 并通过岩石力学理论获取围岩应力、泊松比、杨氏模量等力学参数, 实现掌子面前方地质异常的多参数预报。因此, 在超前地质预报过程中波速不仅影响对围岩工程类别的判

收稿日期: 2023-07-06

定,更是决定了地质预报异常体的位置和规模,直接影响超前地质预报结果的准确度。因而,分析和研究地震波波速对预报结果的影响,并提出改进波速选取的措施和手段,对于提高超前地质预报准确度十分重要。

TGS作为一种全新的超前预报技术,从俄罗斯被引入中国,近几年在国内被广泛应用,并在隧道不良地质预报上取得了显著的效果。本文围绕TGS超前地质预报技术,分析波速对超前地质预报结果的影响,并结合其数据处理过程中波速选取的特点提出改进预测波速模型的方法和措施。通过工程开挖验证与预报结果的比对,证明了改进波速选取方法的有效性。

1 TGS360Pro 超前地质预报技术

TGS隧道地质超前预报系统是俄罗斯GEOTEH公司与俄罗斯Ural State Mining大学合作研发的新一代地质预报系统,是全球唯一获得两项美国专利的地质预报系统^[5]。该地质预报系统的原理是:地震波在岩层中传播,遇到

物理性质有所差异的地质界面时,一部分地震波被反射回来,另一部分地震波透射进入前方介质继续传播;反射回来的地震波信号(反射波)被高精度的检波器所接收,并传递到主机形成地震波记录,通过分析地震波记录信号,要提取地震波速度模型,预报隧道工作面前方地质体、地质构造(软弱带、破碎带、断层、含水等)的位置及规模^[6]。

TGS预报系统的技术是基于不同极化反射地震波信号获取隧道掌子面前方及其周围不良地质或岩性变化带等地质状况^[7],其理念来源于航空无线电定位3C检波器的工作原理,采用了一个定向覆盖锥形雷达(锥角为 45°),经过极化处理的波场根据每个检波器迁移映射的结果,将所有覆盖锥还原成一个在面部的中心点。在多个震源位置(连续)激发情况下,完整波场矢量分量记录在现场被处理,确保在任何方向收到可靠而稳定的总结性参数化三维图像^[8]。其技术原理见图1。

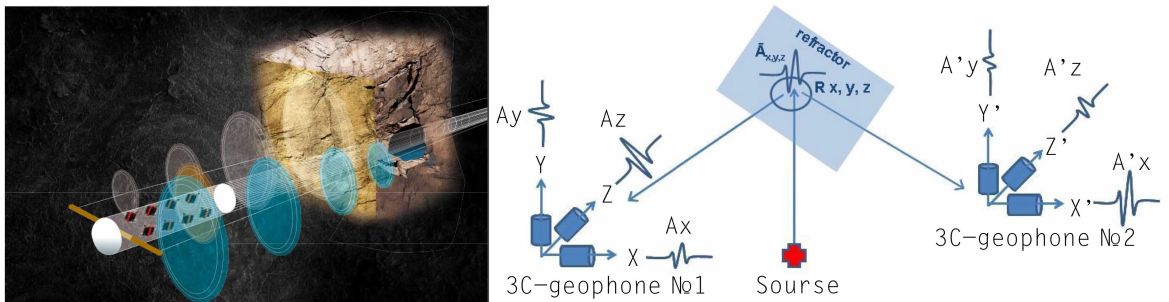


图1 TGS360Pro 技术原理图

TGS预报系统数据采集可使用隧道掌子面观测系统或者隧道壁边墙观测系统两种采集模式(采集系统示意图见图2,方形代表检波器位置),一次观测系统布置6~8个检波器,每个检波器均为三分量检波器,自带耦合系统,直接插入工作孔

即可进行波形信号接收^[10]。采集震源可选择大锤,液压锤和炸药等,锤击震源在合适的地质条件下能够达到150~200 m的探测范围,炸药震源可达几百米。

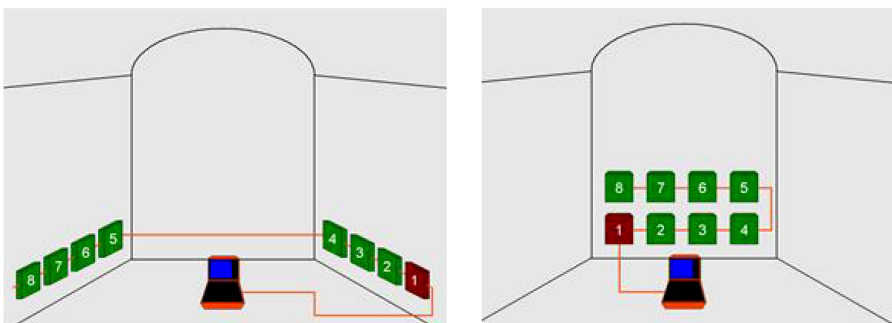


图2 采集系统布置示意图(左图边墙采集系统,右图掌子面采集系统)

综上,目前引进的 TGS 预报系统具有预报距离长,施工干扰小,智能程度高及预报成果丰富的特点^[7]。同时,TGS 预报系统依托其特有的找水预报功能,不仅可以实现对断层、破碎地层、软弱夹层等岩体构造异常的有效预报,还可以实现对富水异常体、岩溶等有效探测,并以三维或切片形式呈现岩石力学物性参数,如围岩应力梯度图、含水概率图、P 波波速图、S 波波速图、波速比、杨氏模量、泊松比、围岩危险等级图、波场图等。

2 波速对 TGS360Pro 预测结果影响分析

地震波在传播过程中遇到弹性界面时,由于波阻抗差异会发生反射^[9]。反射波的时距曲线关系如公式 1:

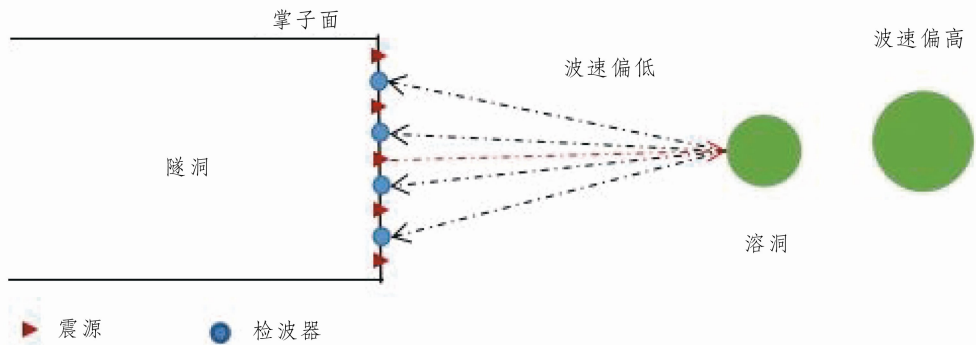
$$t = \frac{1}{v} \sqrt{4h^2 + x^2} \quad (1)$$

式中 h 为反射界面距掌子面距离; x 为震源和检波器的距离。TGS 观测方式是采用极小偏移距的方法^[10],震源和检波器的距离相交于预报距离近似为零,根据上述时距曲线的计算理论,可以得到

预报距离 h 与地震波速的关系式可以近似为:

$$h = \frac{1}{2} vt \quad (2)$$

TGS 技术就是利用上述极小偏移距地震反射的理论,通过分析反射波传播速度,将时间序列的反射波信号转换为用距离或深度表示的反射信号,进行掌子面前方的地质预报。如图 3 所示,假设隧道前方有一异常地质体为溶洞构造,当预测使用的地震波速值高于真实围岩波速值时,预测出的溶洞将比实际位置偏远,溶洞尺寸偏大;反之,当使用的波速值低于真实波速值时,预测出的溶洞将比实际位置偏近,溶洞尺寸偏小。选取地震波速度值与实际围岩波速值的误差越大,预测结果的可靠性越差。根据预报距离与地震波速度关系公式可知,随着预报距离的增大,预测结果的不可靠性会不断积累,最终得到的预测结果将与实际结果毫无可比性。因而,波速的准确性对预报效果的好坏具有至关重要的影响,符合实际的波速是准确预报的前提。



左侧圆代表波速偏低时溶洞位置规模,中间代表真实溶洞位置规模,右侧代表波速偏高时溶洞位置及规模

图 3 波速存在误差时预报结果示意图

以滇中引水隧洞工程某次 TGS 的数据为例,掌子面揭露地质特征为砂岩、钙质泥岩,灰黑色、浅灰色,中风化,碎裂结构,岩体较破碎,节理裂隙较发育。推测波速在 1 000~2 500 m/s,得到一系列反演结果图,其中横坐标表示里程,纵坐标为掌子面的宽度,不同颜色表示不同的含水概率值,棕色表示低含水概率,蓝白色表示高含水概率,高含水率概率区域容易出现渗水、滴水、溶腔、溶洞等不良地质。

如图 4 所示,预测速度模型选取值不一致时,对应图像中的蓝色高含水概率区域形态、位置、尺寸均表现出较大的差异。相应的预报出来的不良

地质性质、位置、规模也会有所不同。当预测波速模型为 1 500 m/s 时,图中出现明显高含水概率区域(深蓝色),推测此处可能出现渗滴水情况,随着波速的增加,这一异常区域不断后移,且显示的异常规模(沿预报里程方向)不断增大。当波速达到等于 2 500 m/s 时,小波速存在的异常区域在预报结果中完全消失,得到与 1 500 m/s 初始速度模型截然不同的预报结果。此外,预报结果的不可靠性会随着预报距离的增加不断积累,如预测波速为 1 500 m/s 时,图中在 35 m 和 90 m 附近均存在高含水概率区域,当波速增加到 2 500 m/s 时,位于 35 m 处附近的高含水率异常(波速

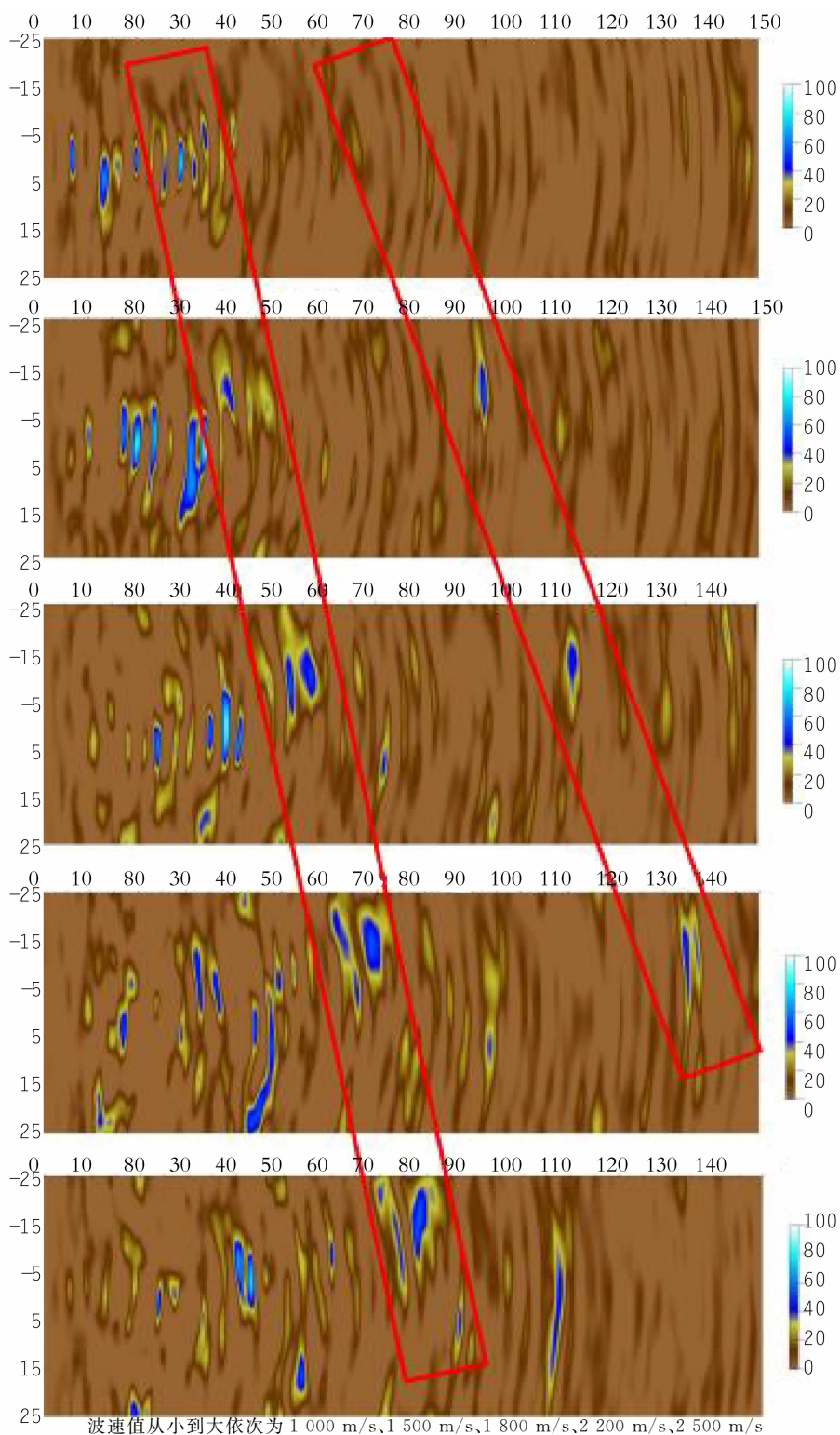


图 4 不同波速下的含水概率图像

为 1 500 m/s 的含水概率图)在 75 m 处附近有所体现,但位于 90 m(波速为 1 500 m/s 的含水概率图)附近的高含水率异常在含水概率图上完全消失。因此在预报解译中,选取准确的预测波速

才能实现有可靠的超前地质预报;且选取的预测波速越接近真实围岩波速(预报里程段波速的平均值),预测效果越好;反之预测波速的误差越大,预测的准确性越低,预报结果的可参考性就越差。

3 TGS360Pro 波速选取的改进措施

3.1 TGS360Pro 数据处理波速选取方法

波速是资料处理解释中最重要、最直接的参数之一,岩石力学参数都是根据波速用经验公式推导得出的,所以波速的选取是处理解析最主要的方面^[11]。

在 TGS 的数据处理解释过程中,波速的选取主要依托现场采集过程中获得的地质素描结果(包括掌子面及周围岩体揭露的岩性特征、孔隙大小、节理发育情况、风化等级、破碎程度)及相关地质资料(开挖隧洞的岩层地质年代、埋藏深度)获得预测地震波速的范围。然后在地质资料获得的波速范围内,根据 TGS 采集的地震记录信号,计算一个波速值作为预测波速进行处理分析。

由于 TGS 数据处理过程比较智能完全依托数据分析软件,自动运行,用户想要通过地震波形的分析和预测波速的人工拾取获得预测波速模型的可操作性较小,波速的计算多为一键计算,预测波速的选取比较粗放,偶然误差较大。因而导致对于同一掌子面的预报,不同技术人员会得到不同的预测波速和大相径庭的预报结果(异常位置和规模均不相同)。

3.2 预测波速改进措施

结合 TGS 预测波速选取特点,根据对 TGS 预报开挖数据结果的比对,发现在 TGS 数据解译过程中,预报结果掌子面前 8~10 m 范围与预测速度模型一致,在预报结果曲线图上显示为直线段,且波速大致分布均一,则说明选取的波速值接

近真实波速值,预报结果显示的地质异常与实际异常位置一致度较高。

以实际开挖隧洞工程为例,掌子面前方 35 m 处开始突涌水(见图 5),存在溶洞。掌子面出露岩性为中薄层状钙质砂岩与浅灰色泥岩互层,岩石质软,强风化,岩体极破碎散体状结构,洞壁潮湿。根据《铁路隧道超前地质预报技术规程》Q/CR 9217-2015 规程推测波速在 1 500~3 000 m/s 之间,由于掌子面洞壁比较潮湿,初步预测波速范围比规范上规定波速范围略低,推测 1 000~2 500 m/s 之间。数据解译中根据地震波形计算预测波速结果,反演掌子面速度曲线不断修正预测速度模型,当预测波速修正为 1 565 m/s 时,波速曲线前 8 m 出现直线段,波速分布大致以预测波速为背景波速,实际反演解译掌子面前方的溶洞位置与实际开挖位置一致。因此采用预报结果曲线速度模型作为初始速度模型修正的依据可以取得较准确的预报效果。如下图 6 所示。

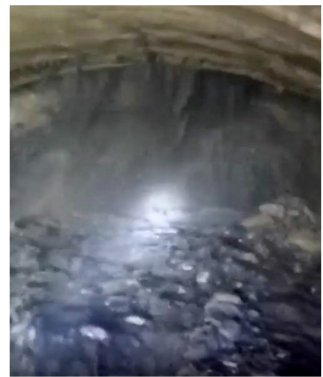


图 5 实际开挖中的突涌水照片

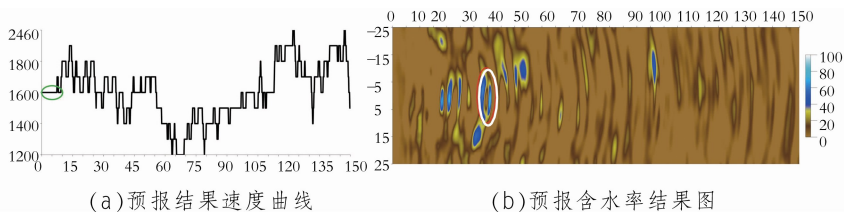


图 6 预报结果图

4 结 语

4.1 结 论

(1) TGS 数据处理解释过程中波速值选取的准确与否直接影响着地质异常体的定位,不同的波速可能会得出截然不同的预报结果和结论,在进行隧洞超前地质预报工作时,应对预测波速的选取予以高度重视。实践和理论证明准确的预测

波速是进行可靠超前地质预报的前提。

(2) 预报结果与工程验证结果的比对分析认为:在围岩波速变化范围内,依托 TGS 处理软件中的波速曲线特征确定预测围岩地震波速度,预报参数结果与实际地质异常的位置情况比较一致,可以提高 TGS 超前地质预报的准确度,对于提高 TGS 超前预报精度具有重要的参考意义和价值。

4.2 展望

地震波速度的选取对以反射波法为地震记录信号的超前地质预报结果均有重大的影响,本文仅以目前比较新颖的 TGS 超前地质预报技术为例,阐述了波速对地质体异常的影响,并提出了针对 TGS 预报技术的波速选取方法。对于其它反射波法如 TSP、TST、TRT 等超前地质预报的波速选取优化措施有待我们进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] 张杰,王海胜,吴俊杰,等. TGS360Pro 超前地质预报在不良地质体识别中的应用[J]. 中国水运, 2022, 3(3): 98-100.
- [2] 王俊,史亚龙,刘成,等. TGS360Pro 超前地质预报正演模拟及应用[C]. 昆明:昆明市水力协会-2019 论文集. 2020.
- [3] 刘栋臣. 地震波速对于隧洞超前地质预报的影响分析[J]. 资源环境与工程, 2016, 30(3): 296-299.
- [4] 臧传伟,黄建华,黄宏伟,等. TSP 地震波波速与隧道围岩类别关系探讨[J]. 福建工程学院学报, 2005, 3(6): 637-640.
- [5] 张明财,巨广宏,熊章强,等. TGS360Pro 超前地质预报地下水的地震波场正演模拟分析—以岩溶模型为例[J]. 山东大学学报(工学版), 2021, 51(3): 1-8.
- [6] 李钰强,颜英军,巨广宏. TGS360Pro 三维地质预报技术[J]. 西北水电, 2021, 06: 57-60.
- [7] 袁晨瀚. 基于 TGS360Pro 和 GPR 的岩溶隧道富水段判别

(上接第 54 页)

上标签。只有集合各部门(单位)的力量,知识管理系统才能有源源不断的知识积累,不断更新,才能为市场经营、项目运营、专业应用等方面带来实际效益。

(5)制定知识管理系统总体建设规划,分期实施。知识化探索阶段,根据公司现状及需求,结合业务及战略发展目标,对全公司知识管理做统一规划,制定未来分阶段建设目标,梳理全公司的知识管理体系。搭建统一的知识管理平台,实现知识资产化。知识全面化阶段,主要集中在基于业务场景对知识应用进行纵向拓深,实现场景到落地的闭环应用,根据工作需要具体业务场景功能进行补充。知识智慧化阶段,引入大数据分析、人工智能等创新技术手段,通过知识员工画像、智能问答机器人、大数据运营等体系建设,实现智能化应用,进一步推动数据—信息—知识—智慧的转化,实现智能辅助决策。

5 结语

笔者涉及的水电开发企业知识管理系统,通过对工程建设电子档案知识进行挖掘,构建工程建设缺陷案例库,通过半结构化梳理、流程设计及应用场景设计,打造工程建设“知识积累”“知识提

方法研究[D]. 成都:成都理工大学, 2019.

- [8] 许明亮,姚海波,肖剑,等. TGS360Pro 在岩溶隧道不良地质体识别中的应用[J]. 科技创新与应用, 2020, 9: 182-183.
- [9] 颜英军,李钰强,王海涛. TGS360Pro 和 TRT7000 在某隧道施工超前地质预报中的应用对比[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(1): 60-63.
- [10] 徐磊,尹剑,张建清,等. TGS360Pro 技术三维正演及其与 TSP 技术对比试验研究[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(3): 1321-1329.
- [11] 吴回获,侯小军,曹小军. 提高 TSP 超前地质预报准确性的研究与对策[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(2): 484-490.

作者简介:

- 母丽程(1995-),女,湖北襄阳人,工程师,硕士,从事超前地质预报、工程无损检测技术研究;
- 周继中(1982-),男,湖南岳阳人,正高级工程师,学士,从事试验检测和工程管理工作;
- 杨森(1977-),男,四川成都人,高级工程师,学士,从事试验检测和工程管理工作;
- 王开华(1985-),男,四川雅安人,工程师,硕士,从事工程无损检测技术研究;
- 尹秀(1979-),女,四川绵阳人,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:史心雨)

炼”“知识服务”“知识共享”和“知识应用”平台,以典型水电站电子档案为试点,应用原子化、知识地图、知识图谱技术实现知识智能化探索应用。同时建设统一的专家管理平台和知识社区,结合激励和运营措施,挖掘隐性知识^[5]。该知识管理系统可辅助员工快速获取水电工程建设运行技术资料,同时结合系统可拓展进行新员工入门培训、专家问答和社区互动交流等,对推进企业建设管理水平、行业技术进步和促进水电行业知识共享具有重要的示范和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 武天宇. 勘察设计企业知识管理系统建设研究[J]. 中国勘察设计, 2022(12): 28-31.
- [2] 王明华. 构建大型企业知识管理体系的对策分析[J]. 网络财富, 2010(5): 39-40.
- [3] 问梁军. 企业信息化建设中的知识管理探讨[J]. 工程建设与设计, 2012(11): 178-180+185.
- [4] 路振刚. 基于知识图谱的电站专家知识管理系统开发研究[J]. 大电机技术, 2021(1): 89-92.
- [5] 何政军. 大型企业集团知识管理体系的构建方法与实践经验[J]. 企业改革与管理, 2021(12): 8-9.

作者简介:

- 郭金婷(1985-),女,山东潍坊人,硕士,高级工程师,主要从事水电工程建设管理、科技管理工作。

(责任编辑:廖益斌)