

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202102008

综合超前地质预报在新村隧道施工中的应用

田丛丛

(中铁十八局集团第五工程有限公司,天津 300451)

摘要:根据新村隧道实际的工程概况和存在问题,采用红外探水和TSP地震波法对新村隧道斜井进洞掌子面前方围岩进行综合超前地质预报,结果表明围岩内部含水可能性高,节理裂隙发育较为明显,且局部易发生掉块和塌方。为保证进洞施工安全,制定了斜井进洞超前小导管预加固和掌子面堵水注浆措施,正洞开挖后,通过监控量测曲线回归分析,建立累计沉降量 u 随时间 t 发展的时态函数 $u=t/(a+bt)$,发现累计值与时间曲线和回归方程曲线高度吻合,变形量均在规范规定范围内。

关键词:综合超前地质预报;隧道;施工;应用

中图分类号:U455.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2021)02-0035-06

隧道埋设于地下且隐蔽性高,必须根据隧道掌子面前方围岩出现的不良或特殊地质情况确定隧道开挖方法和衬砌结构参数,确保施工安全^[1]。综合超前地质预报是结合地质勘察和水文分析,综合分析、掌握隧道前方的地质条件,是解决隧道施工安全问题的重要方式之一,在隧道施工过程中已经取得了一些研究成果。

周轮等^[2-6]通过研究提出了洞内外相结合、长短距离相结合、地质勘察与物探相结合等的综合超前地质预报方法,优化了工作流程,提高了预报的准确性。朱保健等^[7-9]通过实际案例的应用,总结了超前地质预报的优缺点,为后续其他工程的应用,提供了一定的借鉴意义。

在这些研究成果的基础上,本文以和邢线新村隧道工程施工为工程背景,对新村隧道斜井进洞掌子面前方围岩进行综合超前地质预报,以进行实践检验,最后根据预报结果制定进洞措施,并进行现场监控量测,为本工程的顺利施工提供条件。

1 工程概况

和邢线新村隧道全长5 477 m,位于太行山西侧,为单线隧道,隧道埋深厚度不一,最大埋深

337 m,整体呈西北—东南走向,隧道进口位于平松乡玉女村东南侧的山坡处,出口位于松烟镇白仁村南侧的山坡上。隧道通过地区为低~中山区。线路附近最高山峰海拔高程为1 730 m,线路范围地面标高1 190~1 700 m;山高坡陡,自然坡度为30°~80°。

新村隧道所处地层为缓倾岩层,岩层倾角为7°~20°,层理结构发育明显,且厚度不一,其层理间黏结强度极低,当隧道开挖后,由于围岩应力的重分布,岩层易受到剪切破坏,隧道拱部易崩落,发生塌方。同时岩层地下水丰富,岩层受地下水压较大,当隧道施工处于岩层分界地带或破碎围岩地带时,发生涌水、突水的几率大增,施工时要及时采取措施以防发生危险。新村隧道斜井进洞岩石力学参数及涌水量如表1和表2所示。

2 综合超前地质预报

2.1 红外线探水法

采用HW-305T红外探测仪对斜井进洞掌子面前方30 m的地质情况进行探测,分析如下。

2.1.1 掌子面测点数值

根据隧道开挖设计轮廓,在掌子面上设置24

收稿日期:2020-01-06

基金项目:河南省科技攻关项目(202102310576);河南省高等学校重点科研项目(21B560018)。

作者简介:田丛丛(1988—),女,河北石家庄人,工程师,主要研究方向为铁路、隧道施工新技术。

表 1 岩石力学参数表
Table 1 Rock mechanics parameter table

重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性抗力系数 k / ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{-1}$)	变形模量 E / GPa	泊松比 μ	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	黏聚力 C/MPa
22	592	1.5	0.27	39	0.7

表 2 涌水量分析表
Table 2 Water inflow analysis table

段落	正常涌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	可能最大涌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	洞身单位长度可能 最大涌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	富水性
斜井进洞方向	99.9	207.7	2.19	中等富水区

个红外辐射场监测点,如图 1 所示。从图 1 可以看出,红外辐射场最大值与最小值分别为 171 和 154,差值为 17,超过了安全值 10,表明隧道掌子面前方 30 m 内监测点数值异常,易发生线状出水。

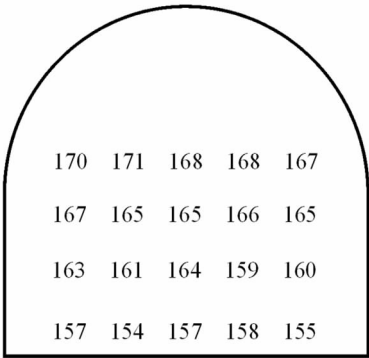


图 1 掌子面测点数值
Fig 1 Numerical values of measured points on the tunnel face

2.1.2 红外探水成果

沿隧道掌子面向前每 5 m 设置一个测点,根据探测范围绘制红外探水曲线如图 2 所示。曲线

图显示该段落(里程 DK17 + 320 ~ DK17 + 350)红外辐射场异常,靠近掌子面区域左边墙角、左边墙、拱顶、右边墙、右边墙角、底中的红外辐射场强整体上呈斜向下的趋势,波动较大,综合分析推测该段落内具有含水构造的可能性大。

2.2 TSP 地震波法

2.2.1 测线布置

预测范围为掌子面前方 30 m 内地质情况,接收孔距掌子面距离为 51 m,在隧道同一侧边墙上同一水平线上布置地震波发射装置和测线,其中沿隧道纵深方向设置传感器 1 个,激发炮孔 24 个。第 1 个炮孔距离传感器为 15 m,其余炮孔间距、炮孔高度均为 1.5 m。

2.2.2 地震波激发

地震波激发均采用乳化炸药作为震源进行激发,1#~11#炮孔装药量为 100 g;12#~24#炮孔装药量为 150 g。

2.2.3 地震波法成果

采集的原始数据用 TSP203 软件处理,最终提取 TSP 成果图如图 3 所示。

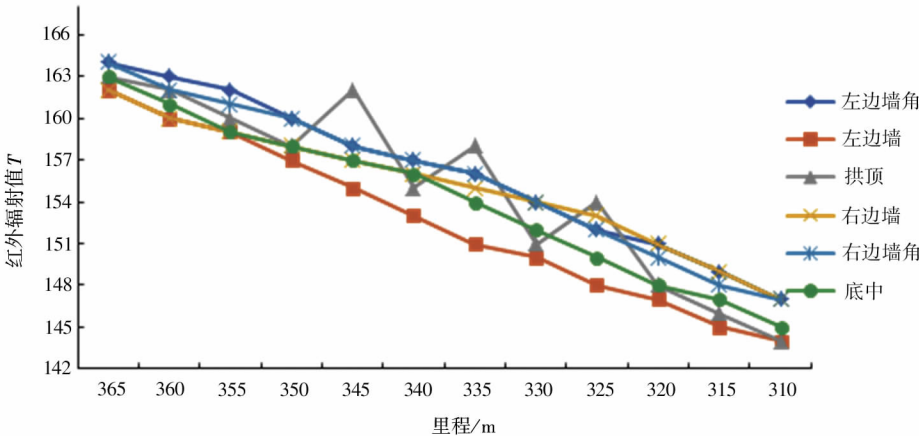


图 2 红外探水成果图
Fig 2 Infrared water exploration results

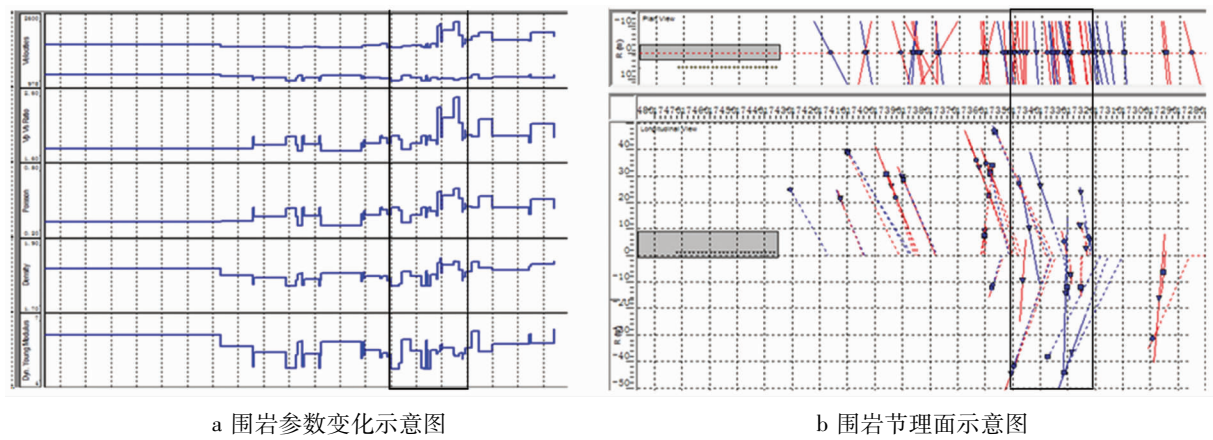


图 3 TSP 成果图
Fig 3 TSP results map

如图 3 所示框内掌子面前进方向 30 m,有多组强反射界面,纵波速度降低,泊松比变化大,动杨氏模量降低,这表明围岩局部有多组密集发育,结合工程地质资料初步判别为由带状发育的构造结构面组成的小型构造节理带,部分区域由于地质构造自身的影响,存在与隧道斜交的发育构造节理,节理面软弱黏结强度低,力学性质也明显衰减,导致围岩的稳定性明显下降,这表明在此区域内隧道施工时,如不进行及时支护或支护参数不够,发生局部塌方掉块的几率大增,易引发安全事故。因此该区域内隧道掘进时,掘进进尺要适当缩短,开挖后支护要紧跟,必要时调整支护参数或进行超前预支护,以保证进洞施工安全。

3 斜井进洞施工保障措施

根据综合超前地质预报结果,在斜井进洞施工前采取超前小导管预加固和掌子面注浆堵水措施,防止隧道安全事故的发生。

3.1 进洞超前小导管施工

超前小导管注浆对掌子面后方上部围岩进行加固,在隧道上方形成一个拱形坚硬壳体,提高围岩的稳定性和强度,防止隧道洞身围岩破碎造成变形过大甚至塌方。

新村隧道采用的超前小导管,管径为 $\phi 42$ mm,厚度为 3.5 mm 的热轧圆钢管。在隧道的拱顶处沿隧道纵深方向以 10° 外插角打入岩体内部,深度不小于 4 m,搭接长度为 1.2 ~ 1.5 m 范围内,环向每 50 cm 设置一根。两榀钢架为一环,间距为 1.3 m;注浆材料采用水泥 - 水玻璃双浆液,骨料为中细砂,浆液浓稠度为 1:1.2 ~ 1:1,注浆压力为 0.8 MPa。注浆如图 4 所示。

3.2 出水段堵水注浆加固

渗水段堵水注浆是在掌子面钻孔注浆,在注浆压力下浆液扩散至周围,将围岩裂隙的水挤压出来,浆液与围岩粘结为一个整体,形成止水。注浆钻孔见图 5。

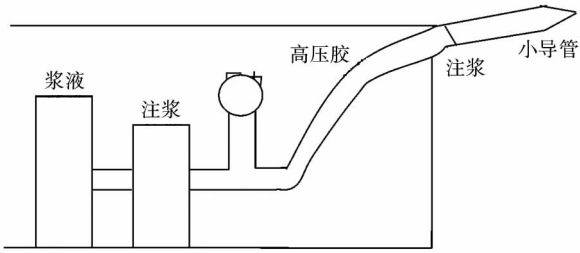


图 4 小导管注浆示意图
Fig 4 Schematic diagram of small duct grouting

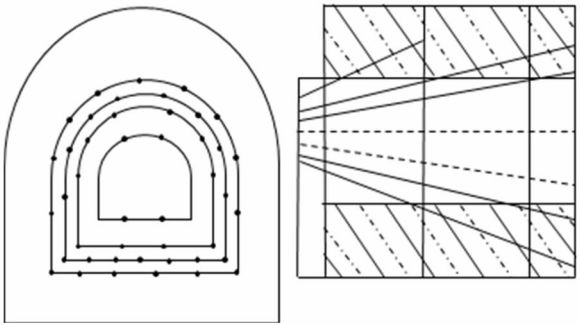


图 5 注浆钻孔示意图
Fig 5 Schematic diagram of grouting drilling

若线状出水突然加大,出现突水、涌水现象,则采取固定泵站和移动泵站同时排水。定泵站和集水井设置在斜井附近,移动泵站设置在沿隧道进出口方向,同时进出口方向可根据反坡坡率起到自行排水效果,排水示意图如图 6 所示。

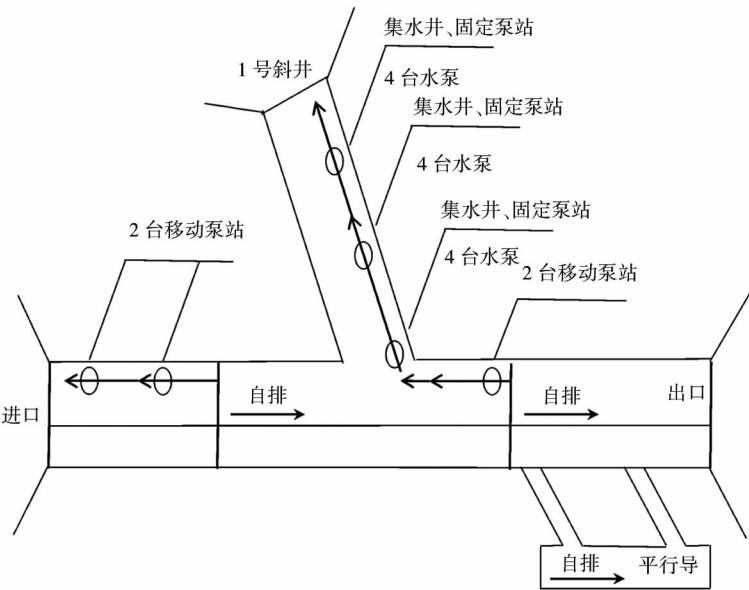


图 6 排水方式
Fig 6 Drainage method

4 现场监控量测

按照设计要求斜井进洞段进行超前预加固后,采用全断面法进行正洞开挖,为检查超前预支护效果和围岩稳定性,对新村隧道必测项目进行数据处理,依据《铁路隧道监控量测技术规程》^[10],选取下列函数建立累计沉降量 u 随时间 t 发展的时态函数:(1)指数函数 $u = ae^{-b/t}$;(2)对数函数 $u = a + b/\ln(1 + t)$;(3)双曲函数 $u = t/(a + bt)$ 。对数据进行回归分析可得:(1)指数函数 $u = 6.806 \times \exp(-0.808/t)$, $r = 0.885\,990\,063$;(2)对数函数 $u = 7.495 - 1.298/\ln(1 + t)$, $r = 0.802\,998\,366$;(3)双曲函数 $u = t/(0.142t + 0.182)$, $r = 0.923\,569\,873$ 。以上 3 个回归方程,第 3 个的相关系数 r 的绝对值最接近

1,其回归精度最高,故选用该回归方程来预测最终变形值。

4.1 拱顶沉降数据分析

建立累计沉降量随时间发展的双曲函数 $u = t/(0.142t + 0.182)$,绘制沉降累计值与时间曲线和回归方程曲线,如图 7 所示。由双曲函数可得出,新村隧道的拱顶沉降平均值 $\bar{u}$ 为 6 mm,标准差 $s = \sqrt{\sum(u - \bar{u})^2/n}$ 为 0.71,变异系数 $S_r = s/\bar{u}$ 为 1.73。从图 7 中可以看出,隧道在沉降 20 d 左右时,沉降量为 6.63 mm,沉降率为 93.96%;在累计沉降 40 d 后拱顶沉降量基本趋于稳定,沉降量为 6.92 mm,沉降率为 97.9%。根据以上分析,可以预测出新村隧道拱顶沉降最终值为 7.05 mm,满足规范要求,建议继续施工。

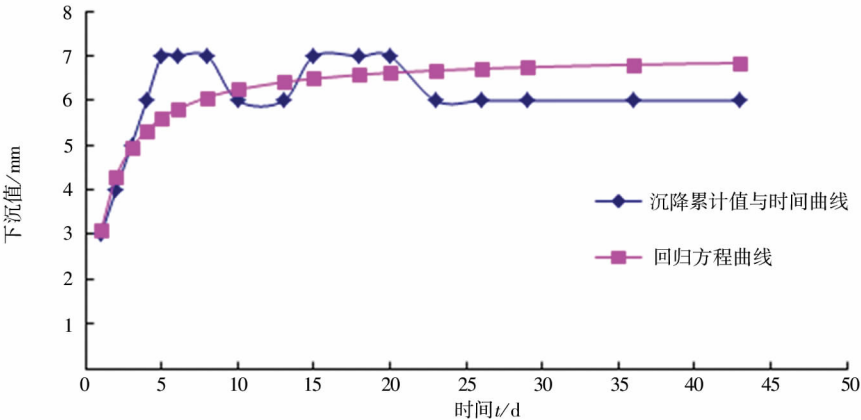


图 7 拱顶沉降数据回归分析图
Fig 7 Regression analysis diagram of dome settlement data

4.2 水平收敛数据分析

根据双曲函数绘制水平收敛数据回归分析图,如图8所示。由双曲函数可得,新村隧道水平收敛平均值 $\bar{u}$ 为6.79 mm,标准差 $s = \sqrt{\sum (u - \bar{u})^2 / n}$ 为1.35,变异系数 $\bar{S}_r = s / \sqrt{\bar{u}}$ 为3.52。从图8可以看出,在水平收敛累计变形20 d左右时,收敛值为8.07 mm,收敛率为87.24%;在累计变形40 d左右时,水平收敛值为8.62 mm,收敛率为95.35%,以此预测出水平收敛最终值为9.25 mm,满足规范要求,建议继续施工。

4.3 地表沉降数据分析

根据双曲函数绘制地表沉降数据回归分析图,如图9所示。累计值与回归值趋向一致。由双曲函数可得,隧道地表沉降量平均值 $\bar{u}$ 为3.38 mm,标准差为 $s = \sqrt{\sum (u - \bar{u})^2 / n}$ 为0.14,变异系数 $\bar{S}_r = s / \sqrt{\bar{u}}$ 为0.25。从图9中可以看出,在地表沉降20 d左右时,沉降值为2.64 mm,收敛率为96.65%;在达到40 d左右时,沉降值为2.69 mm,沉降率为98.86%,以此预测出水平收敛最终值为2.73 mm,满足规范要求,建议继续施工。

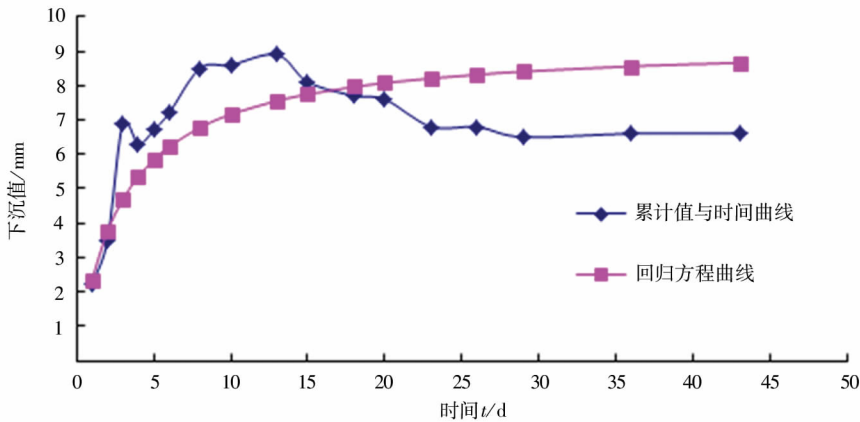


图8 水平收敛数据回归分析图
Fig 8 Regression analysis diagram of horizontal convergence data

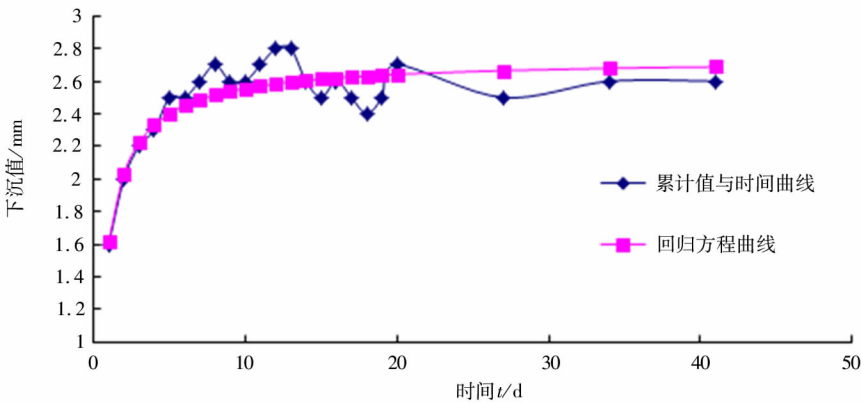


图9 地表沉降数据回归分析图
Fig 9 Regression analysis diagram of land subsidence data

5 结语

通过红外探水和 TSP 地震波法对新村隧道斜井进洞掌子面前方围岩的综合探测,发现掌子面前方围岩内部含水可能性大,且围岩有多组强反射界面,纵波速度降低,泊松比变化大,动杨氏

模量降低,说明围岩局部有多组密集发育,开挖后若不及时支护,易发生塌方掉块;根据综合超前地质预报结果,对新村隧道斜井进洞施工前进行超前小导管预加固和掌子面注浆堵水,在采用全断面法开挖后对隧道的必测项目进行分析,通过建立双曲函数 $u = t / (a + bt)$,绘制累计值与时间曲

线和回归方程曲线,发现两条曲线高度吻合,隧道必测项目在累计变形 40 d 左右时,变形量均趋于稳定,最终值均在规范规定范围内,表明施工安全,建议继续施工。

参考文献:

[1] 向勇. 基于 TSP 和 GPR 的隧道超前地质预报对比分析[J]. 轨道交通与地下工程,2019(3):126-129.
[2] 周轮,李术才,许振浩,等. 隧道综合超前地质预报技术及其工程应用[J]. 山东大学学报(工学版),2017,47(2):55-62.
[3] 翟秋柱,李海斌,等. 隧道施工红外探水干扰分析与预防研究[J]. 隧道建设,2017,37(6):662-668.
[4] 张卿,罗宗帆. TSP 超前地质预报技术在贵州岩溶地区的应用[J]. 隧道建设,2012,32(3):398-403.
[5] 韩永琦. 用 TSP 预报数据划分铁路隧道围岩级别[J]. 铁道工程学报,2017(2):71-75.
[6] 刘伟,吴朝钢,张瑞,等. 云桂线富宁隧道围岩分级变更分析[J]. 隧道建设,2018,38(6):895-900.
[7] 朱保健. TSP 法及地质雷达法相结合在隧道超前地质预报中的应用[J]. 铁道勘察,2017,43(5):60 - 63.
[8] 曹宇,刘国强. 应用 TSP 进行的隧道超前地质预报实例分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版),2011(2):10-13.
[9] 安辉. 红外探测技术在隧道超前地质预报中优、缺点探讨[J]. 铁道标准设计,2014,58(3):101-104.
[10] 中国铁路总公司. 铁路隧道监控量测技术规程:Q/CR 9218—2016[S]. 北京:中国铁道出版社,2015.

Application of Comprehensive Advanced Geological Prediction in Xincun Tunnel Construction

TIAN Congcong

(China Railway 18th Bureau Group Fifth Engineering Co. , Ltd. , Tianjin 300451, China)

Abstract: According to the actual engineering situation and existing problems of Xincun tunnel, infrared water detection and TSP seismic wave method are used to make comprehensive advance geological prediction for the surrounding rock in front of the inclined shaft heading face of Xincun tunnel. The results show that the possibility of water content in the surrounding rock is high, the development of joints and fissures is obvious, and local falling blocks and landslides are easy to occur. In order to ensure the safety of tunnel construction, the measures of advance small pipe pre reinforcement and water blocking grouting on the face of inclined shaft are formulated. After the main tunnel is excavated, the time function $u = t/(a + Bt)$ of cumulative settlement (u) with time (t) development is established by regression analysis of monitoring measurement curve. It is found that the cumulative value is highly consistent with the time curve and regression equation curve, and the deformation is within the scope of the specification, so the construction is safe It is suggested that the construction should be continued.

Keywords: comprehensive advanced geological prediction; tunnel; construction; application

(责任编辑:张英健)