

# 基于全风化散粒状泥岩高铁隧道 加固处理的思考

张杰, 卢立春

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 610213)

**摘要:**随着高铁建设的飞速发展,施工地质条件越来越复杂,常见突泥、坍塌、渗水等异常情况,因此,对隧道工程施工的超前加固技术进行探讨与研究意义重大。以印尼雅万高铁 2 号隧道施工为背景,阐述了对全风化散粒状泥岩地层施工技术进行专题研究的过程,结合工程的具体情况进行了综合分析,旨在为同类型高铁隧道工程设计与施工时参考。

**关键词:**全风化散粒状泥岩;隧道;加固处理;雅万高铁

中图分类号:U213.1+5;U215.7

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)06-0009-06

## Reflection on the Reinforcement Treatment of High-speed Railway Tunnels Based on Fully Weathered Granular Mudstone

ZHANG Jie, LU Lichun

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

**Abstract:** With the rapid development of high-speed railway, the construction geological conditions are becoming more and more complex, and abnormal situations such as mud outbursts, collapses, and water seepage are common. Therefore, it is of great significance to explore and study the advanced reinforcement technology for tunnel construction. This paper takes the construction of the No. 2 tunnel of Jakarta-Bandung High-speed Railway in Indonesia as the background, proposes special research on the fully weathered granular mudstone strata, and conducts a comprehensive analysis based on the specific conditions of the project, which provides valuable reference for the design and construction of similar types of high-speed railway tunnel projects.

**Key words:** Fully weathered granular mudstone; Tunnel; Reinforcement treatment; Jakarta-Bandung High-speed Railway

### 1 概述

雅万高速铁路作为印度尼西亚(以下简称印尼)乃至东南亚的首条高速铁路,也是“一带一路”倡议以及中国和印尼务实合作的标志性项目,建成后将有力地带动沿线地区,打造“雅万高铁经济带”。鉴于雅万高铁建设的特殊意义,建好了能为国家、为集团、为七局再添一张新“名片”;建不好则将直接影响到我国高铁“走出去”的发展战略。而 2 号隧道能否顺利贯通将直接影响到雅万高铁全线的开通运营。

雅万高铁为连接印尼首都雅加达与其第四大城市万隆的高速铁路,正线长 142.3 km,设计最高时速为 350 km/h,运行速度为 300 km/h。中国铁路设计集团有限公司结合地表钢管桩的钻孔情况,将桩号 DK77+495~DK77+520 段的衬砌

类型调整为复合式衬砌;洞内采用小导管进行超前支护,施工采用三台阶临时仰拱法<sup>[1]</sup>。

2 号隧道的围岩为 V 级,其表面覆盖第四系更新统火山堆积层黏土,下伏第三系中新统 subang 组(Msc)泥岩<sup>[2]</sup>,该黏土具弱膨胀性,泥岩具中等膨胀性,其自由膨胀率为 68%~80%,洞身范围岩体为全风化~强风化泥岩<sup>[3]</sup>。隧道洞身存在基岩裂隙水,其渗透系数为 0.02 m/d,最大涌水量为 905 m<sup>3</sup>/d,正常涌水量为 382 m<sup>3</sup>/d。

地下水主要为第四系孔隙潜水和基岩裂隙水,受大气降水补给,以蒸发、地下径流的方式排泄,钻探揭露地下水的埋深为 0.0~11.4 m,隧道洞身存在孔隙水及基岩裂隙水<sup>[4]</sup>。

### 2 2 号隧道施工中遇到的难点

由于泥岩具有遇水易软化和膨胀且易受扰动影响、稳定性差等特性<sup>[5]</sup>,加之钻探揭露出的地下

收稿日期:2023-12-10

水埋深为0.0~11.4 m,且隧道洞身存在孔隙水及基岩裂隙水。对此,项目部针对全风化散粒状泥岩管棚施工进行分析后认为存在以下施工难点:

(1)鉴于该段落开挖的施工期处于雨季,且因泥岩大孔隙比、超高含水量、高液限指数、高压缩性特点,施工中存在所汇集的地表水沿地层界面下渗透而造成泥岩软化突涌水的风险;

(2)施工水平孔深为30 m左右,孔底偏差控制难度较大,可供借鉴的施工经验较少;

(3)全风化散粒状泥岩漏失严重,地层均一性差,受地下水等影响其处理难度非常大。

针对施工中存在的难点,在开始管棚施工前,应对地面相应的区域进行适当加固,并对管棚施工的装备和工艺进行研究,在满足施工安全、质量的前提下合理选用。

### 3 地表灌浆技术要求

#### 3.1 钻孔施工

钻孔孔位均按施工图纸严格放样并记录。采用全液压锚固钻机偏心跟管钻进,直至孔底。

(1)认真做好机械的就位安装和开孔工作;

(2)钻孔开孔时需要校正钻机,用于开孔的钻具长度需要随钻孔的延深而加长;

(3)选用合理的钻进参数;

(4)不轻易换径,必须换径时应使用变径导向钻具或采取其他导正定位措施;

(5)钻进过程中,一定要按相关要求测量孔斜,发现问题时应及时纠正,可以采用导向板孔底埋管等措施进行纠偏。当孔深较浅、偏斜不大时,可将钻机的立轴方向适当向钻孔偏斜的相反方向偏转以获得较好的纠偏效果。

#### 3.2 灌浆施工

注浆施工前,应分别在注浆孔内下入套壳料后再下设袖阀管;套壳料的理论配合比为:膨润土:水泥:水=1:1:2。若现场施工困难,可适当调整其配合比,但不得影响施工效果。原则上,地表固结灌浆将孔底标高以上18 m定为灌浆段,如孔深为48 m,则灌浆段为30~48 m。注浆按排(环)间分序、排(环)内加密的原则分三序进行;先施工周边的灌浆孔,再施工中心的灌浆孔,施工顺序均按Ⅰ序孔→Ⅱ序孔→Ⅲ序孔进行。

(1)自下而上、分段阻塞的方式分4段灌浆:

第1段3 m、第2段5 m、第3段5 m、第4段5 m;孔内卡塞时,应严格按照此要求进行;如遇特殊情况不能一次性成孔时,亦可采用自上而下或综合灌浆法进行灌浆施工。

(2)灌浆压力:原则上不小于4 MPa且不大于8 MPa。但距掌子面的净距小于40 m时,灌浆压力应适当降低,以避免灌浆对掌子面造成破坏。

(3)灌浆过程的控制及结束条件:灌浆用的水灰比一般为0.8:1。灌浆持续过程中应严格控制其注入率和注浆压力及其变化情况。必须充分掌握注入率与注浆压力的线性关系并实时预警,如注入率 $>30$  L/min且持续10 min时,应及时通知监测组并采取适当的措施。当达到设计要求的灌浆压力且注入率 $\leq 5$  L/min时,持续灌注10 min后即可结束该段的灌浆。

(4)灌浆封孔:灌浆结束后,采用全压力对灌浆孔进行全孔灌浆一次性封孔;必要时,应对孔内的浆液进行置换,或适当加大封孔的灌浆压力进行封孔。

#### 3.3 特殊情况的处理

(1)灌浆过程中,应加强对隧道的变形监控量测,确保洞内外的实时沟通渠道畅通并加强联系,以防止因灌浆压力过大等原因造成的隧道变形等隐患;

(2)灌浆量较大或存在脱空部位时,应灌注水泥砂浆或双液浆液;

(3)对于较长时间灌浆不能结束的灌浆孔,应采用双液浆、待凝等措施;

(4)对于可灌性比较差的部位,应采用适当加大灌浆压力、延长灌浆时间或掺入外加剂以提高浆液流动性等措施。

#### 3.4 灌浆注意事项

(1)采用灌浆自动记录仪详细记录灌浆的全过程,并标明孔号、孔深、段次等信息;

(2)对于灌浆时间、压力、灌浆量等参数曲线应一并记录并打印;

(3)灌浆过程中,如出现异常情况必须立即停止灌浆,待查明原因、处理完成后尽快恢复灌浆。

## 4 效果验证

#### 4.1 现场施工情况与过程控制标准

(1)注浆由线路两侧向中间施工,桩号DK74

+215~DK74+226 段共计布置了 96 个孔。2021 年 10 月 17 日开始注浆, 11 月 30 日停止注浆, 水泥浆的注浆量为 137.61 m<sup>3</sup>, 双液浆为 160.85 m<sup>3</sup>; 桩号 DK74+226~DK74+238 段(塌腔区)共计布置了 96 个孔。2021 年 10 月 17 日开始注浆, 2021 年 12 月 5 日停止注浆, 水泥浆注浆量为 1 083.43 m<sup>3</sup>, 双液浆为 578.61 m<sup>3</sup>; 桩号 DK74+238~DK74+260 段共计布置了 132 个孔。2021 年 10 月 17 日开始注浆, 2021 年 12 月 27 日停止注浆, 水泥浆注浆量为 2 047 m<sup>3</sup>, 双液浆为 1 190 m<sup>3</sup>。

(2) 注浆的施工顺序, 严格按照先进行四周注浆、待形成相对封闭环境后再采用分序的原则进行跳孔施工。

(3) 注浆的分段长度分别为 2、3、5 m。

(4) 注浆的结束标准采取定压定量相结合的控制标准, 注浆压力为 6~8 MPa, 注入率不大于 5 L/min, 持续灌注 10 min 即可结束本段的注浆。

表 1 浆液填充率计算表

序号	里程段落	设计注浆量 /m <sup>3</sup>	总注浆量 $\Sigma Q$ /m <sup>3</sup>	注浆加固体积 $V$ /m <sup>3</sup>	孔隙率 $n$ /%	浆液损失率 $\beta$ /%	浆液填充率 $\alpha$ /%
1	DK74+215~DK74+226	948.8	298.46	1 629.90(折算)	25	5	69.8
2	DK74+226~DK74+238	1 435.0	1 662.04	6 753.12	25	5	93.8
3	DK74+238~DK74+260	3 423.0	3 237.00	16 108.18	25	5	76.6

桩号 DK74+215~DK74+226 段的地表注浆浆液填充率较低, 未达到设计要求, 与该段取消了一部分注浆孔有关; 桩号 DK74+226~DK74+238 段的注浆量略超设计注浆量且浆液填充率大于 85%, 达到了地层填充加固的目的; 桩号 DK74

若注浆量达到设计值的 1.5 倍但仍未达到设计压力时, 可以通过掺入外加剂的方式调节浆液的初凝时间, 待最终达到设计压力时即可结束注浆。

#### 4.2 效果分析及评价

项目部针对桩号 DK74+215~DK74+260 段之间的灌浆情况进行了一次效果检验, 采用注浆量分析法、注浆量分布分析、 $P$ - $Q$ - $T$  曲线法、标准贯入度法、孔内成像法、开挖揭示法、沉降数据分析法分别进行了效果评定。

##### 4.2.1 注浆量分析

通过统计总注浆量, 可以采用下式反算出浆液填充率, 然后根据浆液填充率评定注浆效果, 即:

$$\Sigma Q = Vn\alpha(1 + \beta)$$

式中:  $\Sigma Q$  为总注浆量, m<sup>3</sup>;  $V$  为注浆加固体积, m<sup>3</sup>;  $n$  为地层孔隙率或裂隙度;  $\alpha$  为浆液填充率;  $\beta$  为浆液损失率(取值 0.05)。各部位浆液填充率计算情况见表 1。

+238~DK74+260 段的注浆量略低于设计注浆量, 与该段地层扰动较少有关。

##### 4.2.2 注浆量分布分析

笔者对施工过程中各孔单孔延米吸浆量进行了分析, 所取得的注浆加固效果见表 2。

表 2 注浆加固效果表(桩号 DK74+205~DK74+220 段)

项 目	数量	单位	注浆量 /m <sup>3</sup>			
			小于 0.55 m	0.55~0.70 m	0.70~0.85 m	超过 0.85 m
注浆孔数	239	/个	37	106	64	32
所占比例	100	/%	15.4	44.4	26.8	13.4

根据对注浆量分布情况进行分析得知: 两侧孔的注浆量较大, 由外及内的注浆量减小, 塌腔区域注浆量较大, 注浆量与注浆顺序具有明显的对应关系。注浆过程中的注浆顺序为先注两侧、再注中间。因此, 前期原地层中比较松散的地层吸浆量较大, 随着两侧逐渐向中间推进, 地层逐渐加固密实, 地层注浆量逐渐减小, 说明注浆加固达到了挤压劈裂地层的目的。

##### 4.2.3 注浆 $P$ - $Q$ - $T$ 曲线分析

根据单个灌浆孔的注浆量、压力、时间绘制  $P$ - $Q$ - $T$  曲线。I 序孔  $P$ - $Q$ - $T$  曲线见图 1, II 序孔  $P$ - $Q$ - $T$  曲线见图 2。

I 序孔的初始注浆压力较低(一般为 2.5 MPa)<sup>[6]</sup>, 注浆流量一般为 40 L/min 左右, 注浆过程压力上升较慢, 其主要是因为前期注浆区域的地层较为松散, 浆液以充填松散孔隙为主。

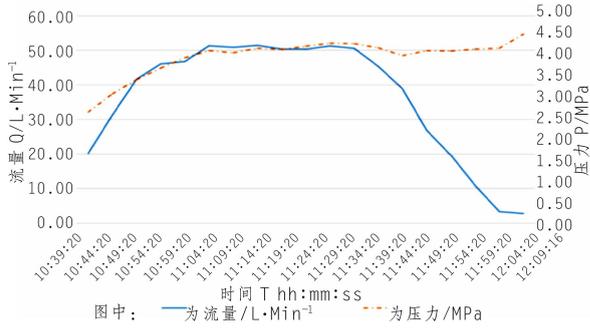


图1 I序孔P-Q-T曲线图



图2 II序孔P-Q-T曲线图

II序孔的初始压力一般为2.8~3 MPa。I序孔注浆结束后,松散地层中的孔隙得到了有效

填充,地层密实度得到提高,II序孔及二次注浆孔注浆一段时间后其注浆压力逐渐上升,对地层进行了一定程度的劈裂加固,地层稳定性和密实度得到了进一步的提高,压力达到了设计注浆压力,结束注浆。

通过对上述两种P-Q-T曲线进行分析得知:注浆压力的上升较为明显,当其达到设计注浆量时,注浆终压达到或超过设计终压值,注浆流量降低明显,挤压-劈裂-再挤压效应明显,符合雅万高铁中方联合体管委会的要求。

#### 4.2.4 标准贯入度检测

2号隧道进口标准贯入度检测共设置了7组,标准贯入试验分两个阶段进行:

(1)预打阶段:先将贯入器打入15 cm,如锤击已达50击、贯入度未达到15 cm,记录实际的贯入度。

(2)试验阶段:将贯入器再打入30 cm,记录每打入10 cm的锤击数,累计打入30 cm的锤击数即为标贯击数N。当累计数已达50击(国外也有定为100击的),而贯入度未达到30 cm时应终止试验,记录实际的贯入度S及累计锤击数N。地基标准贯入试验结果分析与评价情况见表3。

表3 地基标准贯入试验结果分析与评价表

序号	注浆后标贯里程/m	偏距/m	贯入深度/m	注浆后标贯平均击数/击	注浆前平均标贯击数/击	注浆前标贯里程/m
1	DK74+227	右侧 4.5	33.45	83.73	29	DK74+226
2	DK74+231	左侧 2.5	33.45	51.22	40	DK74+231
3	DK74+234	右侧 1.5	33.45	45.70	—	—
4	DK74+239	左侧 0.5	46.45	47.69	—	—
5	DK74+246	左侧 2.5	46.45	72.35	—	—
6	DK74+249	右侧 8.0	44.45	40.03	40	DK74+248
7	DK74+257	右侧 2.0	46.45	40.28	—	—

桩号DK74+249、DK74+257处的2个标贯孔较其他5个标贯孔的检测数值略低,其与该段注浆完成后立即进行标贯检测有关(浆液未达到强度)。从表3可知,注浆后其标贯击数整体大于注浆前注浆范围的平均击数,符合设计及业主要求。

#### 4.2.5 孔内成像法检测

2号隧道地表注浆完成后,在洞内右侧导坑桩号DK74+239.4处、中间导坑桩号DK74+226.4处超前打设了20 m钻孔,并进行了孔内成

像检验,孔内成像结果显示:孔内泥岩的完整程度得到了较好的改善,未出现孔壁岩体破碎、渗水、缩颈、塌孔、涌砂、涌泥的情况,部分位置孔壁泛白,可以看出明显的注浆浆脉,反映出裂隙得到了较好的填充。

#### 4.2.6 开挖揭示法检测

2号隧道进口左侧导坑掌子面里程DK74+239,右侧导坑掌子面里程DK74+240.8,中间导坑掌子面里程DK74+228.8开挖揭示后发现无渗水,塌腔区域掌子面注浆浆脉较厚,新进掌子面

注浆浆脉较薄,开挖揭示后发现仍需喷射混凝土进行封闭。

#### 4.2.7 沉降数据分析

2021 年 2 月 15 日恢复了 2 号隧道进口掌子面开挖,沉降变形可控。2 号隧道进口沉降变形数据统计情况见表 4。从表 4 中可以看出:累计

变形最大的断面在桩号 DK74+231 处右侧的导坑,观测 15 d 时的累计沉降为 23.1 mm,日均沉降 1.54 mm;累计收敛 18.4 mm,日均收敛 1.23 mm;累计位移 5.9 mm,日均位移 0.39 mm。从沉降数据可以判断注浆后岩体变形稳定。

#### 4.3 综合评定

表 4 2 号隧道进口沉降变形数据统计表

点号	里程 /m	累计变形 /mm		高程 /m	累计天数 /d
		里程	偏距		
ZB74+225-Z1	DK74+225.1	-14.6	0.5	25.0	32
ZB74+225-Y-1	DK74+225.8	-3.4	-11.7	15.6	19
ZB74+226-Z1	DK74+226.6	-3.4	8.1	20.1	19
ZB74+227-Z1	DK74+228.5	1.0	2.4	4.2	18
ZB74+228-Y1	DK74+228.5	-3.1	-8.1	14.3	19
ZB74+230-Y1	DK74+231.0	-5.9	-18.4	23.1	15
ZB74+231-Y1	DK74+231.3	-0.8	-4.3	2.0	7
ZB74+231-Z1	DK74+231.4	1.1	9.5	12.0	14
ZB74+232-Z1	DK74+231.7	0.0	0.0	0.0	2
ZB74+234-Y1	DK74+234.5	0.0	0.0	0.0	8
ZB74+234-Z1	DK74+234.9	0.0	0.0	0.0	8
ZB74+235-Z1	DK74+235.1	0.0	0.0	0.0	2
ZB74+238Y-1	DK74+237.7	1.3	-6.1	5.7	8

2 号隧道进口涌泥塌方段(桩号 DK74+215~DK74+260 段)于 2021 年 10 月 17 日至 12 月 25 日完成地层注浆加固,经注浆量分析、注浆量分布分析、注浆 P-Q-T 曲线分析、标准贯入度检测、孔内成像、沉降数据分析、掌子面揭示法等进行综合分析后得到以下结果:

(1) 注浆量分析:鉴于桩号 DK74+215~DK74+226 段初支钢架未变形,在注浆压力达到 2 MPa 时出现了初支掉块现象,该段 35 个钻孔未进行施工;桩号 DK74+226~DK74+260 段设计注浆量为 4 858 m<sup>3</sup>,实际注浆量为 4 899.04 m<sup>3</sup>,注浆率达到 100.8%,地层注浆率为 21.4%,达到了设计要求。

(2) P-Q-T 曲线法:根据 P-Q-T 曲线规律可以看出该段地表的注浆符合挤密-劈裂-挤密地层加固机理,后期注浆量减小,注浆压力提升较快,地层吃浆能力逐渐减弱,地层被加固密实。

(3) 标准贯入度试验:标准贯入度试验反映出地表注浆有效地提高了地层密实度,其标准击数较原始地层有明显提高。

(4) 孔内成像检测:通过孔内成像检测在钻孔内可直观地看出浆脉,孔内泥岩的完整程度得到了较好的改善,未出现孔壁岩体破碎、渗水、缩径情况。

(5) 开挖揭示:掌子面无渗水,塌腔区域掌子面注浆浆脉层厚较厚,最厚处达 1 m,在新进掌子面处明显可以看到泥岩层与层之间存在明显的薄层浆脉。

(6) 沉降数据分析:2021 年 12 月 5 日恢复施工以来,桩号 DK74+230 断面累计观测了 17 d,其累计沉降 24.4 mm,累计收敛 22.1 mm,沉降与收敛均可控。

综合以上分析可以得出以下结论:通过对桩号 DK74+215~DK74+260 段地表注浆效果进行验证后得知地层挤密-劈裂-挤密效果明显,注浆浆脉清晰、明显,达到了预期的注浆效果。

## 5 结 语

隧道施工加固处理过程中,无论是地表加固,还是洞内超前支护均应将其视为隧道施工过程中的临时加固措施,其关键作用是确保掌子面及洞

内施工安全、有序地开展开挖、支护以及二衬工作。因此,在选用加固措施时必须以保证洞内施工为主要目的,选用适宜的施工参数和设备,而不宜增加冗余施工措施,如加密注浆孔的间、排距,增大注浆压力等,否则将会增加施工成本并造成工期不可控,甚至对掌子面造成一定的影响。另外,如施工过程中采取的措施不当,可能会对已加固的地层造成破坏,得不偿失。

#### 参考文献:

- [1] 穆腾虎. 下穿石油管道浅埋黄土隧道施工变形控制技术研究[D]. 兰州交通大学, 2021.
- [2] 范军胜. 软弱膨胀性泥岩隧道变形控制技术[J]. 四川水力发电, 2021, 40(6): 11-15, 32.
- [3] 冯存志, 杨朝帅, 孙浩琿. 太谷隧道不良地质段地表注浆效

果评定研究[J]. 低温建筑技术, 2020, 44(3): 74-78.

- [4] 龚翼, 杨尚鑫, 范军胜. 火山堆积层浅埋偏压地段隧道进洞施工技术[J]. 四川水力发电, 2021, 40(6): 54-57.
- [5] 金煜皓. 裂隙泥岩渗透注浆浆液失水效应与扩散特性研究[D]. 中国矿业大学, 2020.
- [6] 高军. 高铁隧道Ⅳ级Ⅴ级围岩全断面机械化施工掌子面高压注浆工艺试验研究[J]. 铁道技术监督, 2020, 48(1): 50-55.

#### 作者简介:

张杰(1979-),男,四川南部人,分公司质量管理部主任,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
卢立春(1975-),男,四川自贡人,水电七局国际二级职业经理人,副高级工程师,学士,从事水利水电工程基础处理技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)

(上接第5页)



图7 突涌水照片

的原则,并将该方法用于滇中某隧洞超前地质预报工作。通过对所预报的作业面前方150 m处的地质情况进行处理及成果解译,成功预报了掌子面前方的突涌水不良地质体。对现场开挖后地质情况跟踪调查取得的结果表明:TGS360Pro超前地质预报技术对于突涌水不良地质体具有较强的探测能力。该项探测技术具有快捷、高效、准确的特点,对类似工程具有重要的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 黄劭, 杜风华, 叶文. 超前地质预报技术在地铁隧道不良地质体中的应用[J]. 建筑安全, 2019, 33(7): 68-71.
- [2] 袁晨瀚. 基于TGS360Pro和GPR的岩溶隧道富水段判别方法研究[D]. 成都理工大学, 2019.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] 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, 22(3): 98-100.
- [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, 37(6): 57-60.
- [7] 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.
- [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, 10(9): 182-183.
- [9] 母丽程, 周继中, 杨森, 等. TGS360Pro数据处理中波速对预报结果的影响及其改进措施[J]. 四川水力发电, 2023, 42(增刊1): 60-65.
- [10] 王俊, 史亚龙, 刘杰, 等. TGS360Pro超前地质预报正演模拟及应用[J]. 物探化探计算技术, 2020, 10(6): 690-693.

#### 作者简介:

王开华(1985-),男,四川雅安人,副高级工程师,博士,从事工程无损检测技术研究工作;  
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工作;  
谢平(1996-),男,四川自贡人,助理工程师,从事超前地质预报与工程实体无损检测工作;  
尹秀(1979-),女,四川绵阳人,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;  
周路明(1996-),男,四川南充人,助理工程师,从事超前地质预报与工程实体无损检测工作。

(编辑:李燕辉)