

## 弹性波法超前地质预报对隧道富水裂隙带的探测反映

张 聪

中铁第五勘察设计院集团有限公司, 北京 102600

[摘要] 隧道施工过程中开展超前地质预报, 对掌子面前方地质环境进行探测预报, 对准确预报不良地质体的位置, 指导提前做好相应的应对措施减小风险灾害发生的概率有极其重要的意义。文章以实际工程为依托, 针对围岩富水裂隙带, 总结出有针对性的探测反映特征, 与实际工程开挖情况进行对比验证其可靠性。为今后类似的隧道工程超前地质预报工作提供参考。

[关键词] 富水裂隙带; 弹性波法超前地质预报; 风险控制; 隧道施工

DOI: 10.33142/aem.v2i7.2598

中图分类号: U452.11

文献标识码: A

### The Reflection of the Advanced Geological Prediction of the Elastic Wave Method on the Tunnel Water-rich Fissure Zone

ZHANG Cong

China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Beijing, 102600, China

**Abstract:** In the process of tunnel construction, it is of great significance to carry out advanced geological forecast, to detect and forecast the geological environment in front of the palm surface, to accurately predict the location of bad geological bodies, and to guide the corresponding countermeasures in advance to reduce the probability of risk and disaster. Based on the actual project, aiming at the water rich fracture zone of surrounding rock, the paper summarizes the targeted detection reflection characteristics, and verifies its reliability by comparing with the actual engineering excavation situation. It provides a reference for similar tunnel engineering geological prediction in the future.

**Keywords:** water-rich fissure zone; advanced geological prediction by elastic wave method; risk control; tunnel construction

#### 引言

在隧道及地下工程中, 地质环境和水文地质条件复杂多变, 前期勘察受勘察成本、工期和技术手段的限制, 难以准确全面的揭示实际地质情况, 实际施工过程中, 经常会遇到溶洞、暗河、突水、突泥等与水有关的地质灾害。裂隙水对隧道施工过程中隧道的稳定性影响较大, 实际施工中如何准确预报施工掌子面前方水情况尤为重要, 已经成为当前隧道施工与控制过程中亟待解决的问题。

#### 1 工程概况

##### 1.1 工程概况

林家岙隧道全长 4933m, 位于浙江中东部, 行政区划隶属于台州市黄岩区。进口里程 LDgK3+722, 地面高程 25.3m, 出口里程 LDgK8+655, 地面高程 21.4m, 隧道最大埋深 462m。隧道区内地层主要为第四系全新统残坡积粉质黏土、碎石土, 下伏基岩为侏罗系上统西山头组凝灰岩、凝灰质砂岩、流纹岩等, 大地构造上属华南褶皱系, 为加里东期褶皱回旋之年轻地台。次级构造单元为临海-台州拗陷, 隧道测区区域构造以断裂变形为主, 褶皱构造不发育。在断层破碎带附近, 往往发育密集的网状节理, LDgK7+411 附近凝灰岩节理裂隙很密集, 对拟建隧道影响较大。

隧道区施工过程中可能遇到的主要工程地质问题有: 有涌水、突泥、塌方、掉块。隧道浅埋段、断层破碎带、节理密集带, 岩体破碎, 隧道工程地质条件较差, 物探解析低阻带, 可能地下水富集, 施工易发生涌水、突泥。

##### 1.2 区域地质背景

线路区在大地构造上属华南褶皱系, 为加里东期褶皱回旋之年轻地台, 中生代岩浆活动强烈。次级构造单元为临海-台州拗陷, 线路通过地区构造复杂, 由于凝灰岩及侵入岩质地坚硬, 故在遭到区域性挤压应力作用后, 常常产生断裂, 而不易产生明显的褶皱构造。隧道测区区域构造以断裂变形为主, 褶皱构造不发育。隧道区发育有多组剪节理, 节理一般无充填, 界里面平直, 断层破碎带附近多发育有密集的网状节理, 对拟建隧道影响较大。

### 1.3 水文地质

隧址区内地下水主要为基岩裂隙水，裂隙水存在于基岩破碎地段的节理、风化裂隙或破碎带中，分布不均匀，且本区位于地下水排泄区而大气降水多以地表径流排向区外，地下水补给来源相对贫乏，基岩裂隙水总体水量较小，在断层带、节理密集带，侵入接触带等段落水量较大。

## 2 弹性波法超前地质预报方案

### 2.1 TETSP 方法原理

TETSP-2 是应用地震波在传播过程中遇到异常地质情况（存在波阻抗差异）时会在异常地质表面发生反射的原理对隧道进行超前预报，结合隧道的特点，设计了线性的观测系统便于分离超前方向的反射波场。地震波是由指定爆破位置进行小型爆破产生的爆破弹性波，爆破点一般是沿隧洞壁成直线排列，保证爆破点高度相同，人为爆破制造 24 个规则排列的轻微人工震源。这些震源发出的地震波在遇到断裂破碎界面、岩溶陷落柱等不良界面时，将产生反射波。

### 2.2 采用的仪器

本次探测采用 TETSP-2 超前地质预报系统。

系统主要组成及其技术特性：

①记录单元：12 道，24 位 A/D 转换。

②接收器：采用三分量电子加速度地震检波器，灵敏度为 1000mV/g±5%，频率范围为 1~5000Hz，共振频率 9000Hz，横向灵敏度>1%，操作温度 0℃~60℃。

③TETSP 超前地质预报处理软件：数据采集、处理及评估为一体。

### 2.3 仪器参数及数据采集

数据采集时，采用 X-Y-Z 三分量同时接收，采样间隔 41 μs，记录长度 451.125ms（8192 采样数）。

### 2.4 数据处理

在波形处理后，从地震波形记录中拾取纵波波至和横波波至，根据爆炸点与检波器的距离可分别计算各段围岩的纵波速度  $V_p$  和横波速度  $V_s$ ， $V_p$  和  $V_s$  值的大小综合反映了围岩的物理力学性质，根据  $V_p$  和  $V_s$  值可直接计算动力学参数，即计算动弹性模量  $E_d$ 、动剪切模量  $G_d$  和泊松比  $\mu_d$ ，计算式如下：

$$E_d = \rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2);$$

$$G_d = \rho V_s^2$$

$$\mu_d = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2 (V_p^2 - V_s^2)$$

其中， $\rho$  为围岩的密度。

处理的最终成果包括 P 波、SH 波、SV 波的时间剖面、提取的反射层以及反射层二维分布

## 3 探测结果与开挖论证

### 3.1 设计围岩情况

LDgK5+460~LDgK5+660 段，前期勘察设计围岩情况为凝灰岩，块状构造；节理较发育，岩体呈巨块或大块状结构。围岩级别 II 级，稳定性较好，风险等级小。

### 3.2 探测预报情况

表 1 超前探测结果

起止里程	长度	基本工程地质条件及分析推断	特别工程地段
LDgK5+464~ LDgK5+516	52	纵波波速约 3800m/s，横波波速约 2200m/s，密度约 2.44g/cm <sup>3</sup> ，泊松比约 0.25。各项围岩参数平稳，无突变起伏变化，参数较掌子面处无变化，反射界面若干，结合地质调查资料综合推测此段范围内围岩均质性较好，岩体较破碎，节理裂隙不发育，裂隙水不发育，表现为围岩干燥或湿润，偶有局部渗水现象，围岩稳定性较好。	

(续表)

起止里程	长度	基本工程地质条件及分析推断	特别工程地段
LDgK5+516~ LDgK5+563	47	纵波波速约 3440~3530m/s, 横波波速约 1690~2020m/s, 密度约 2.37~2.39g/cm <sup>3</sup> , 泊松比约 0.24~0.35。V <sub>P</sub> 、V <sub>S</sub> 、密度、杨氏模量较前段明显突降, 其中 V <sub>P</sub> 、密度突降后较平稳, 突变情况较少, 起伏变化不大, V <sub>S</sub> 、杨氏模量突降后起伏变化较大, 突变情况较多, 泊松比较前段突升, 前半段较平稳, 后半段突变情况较多, 起伏变化较大, 反射界面多且密集, 且以横波反射为主, 综合推测此段范围内围岩均质性一般, 岩体较破碎, 节理裂隙较发育, 裂隙水较发育, 表现为渗水或滴水现象较普遍, 局部股状水, 围岩稳定性较差。应注意 LDgK5+544、LDgK5+547、LDgK5+550、LDgK5+553、LDgK5+555 附近的软弱反射界面, 围岩局部较差, 可能发育软弱夹层。施工中应注意拱顶及洞壁围岩的塌落、掉块, 及时做好支护措施。	LDgK5+543~LDgK5+550 段, V <sub>S</sub> 、杨氏模量突降明显且参数起伏变化较大, 推测此段范围内围岩岩体破碎, 节理裂隙发育, 可能发育有软弱夹层, 裂隙水较发育, 围岩稳定性较其它范围差。



图 1 围岩参数图

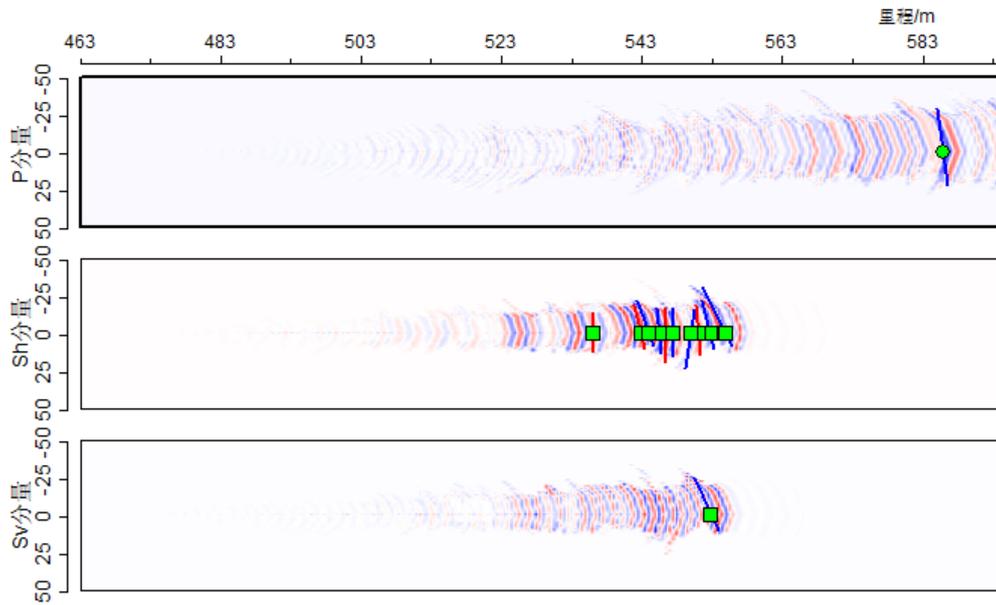


图2 反射界面图

### 3.3 实际开挖情况

施工开挖至 LDgK5+540 附近掌子面、拱顶股状涌水,水量较大,水压不大,围岩较破碎,节理裂隙发育,开挖至 LDgK5+550 附近后出水现象消失,围岩恢复干燥或湿润情况,偶有局部渗水现象,结合预报推定 LDgK5+540~LDgK5+550 段出水为裂隙水, LDgK5+540~LDgK5+550 为富水裂隙带。

### 4 结论

富水裂隙带由于节理裂隙发育,在弹性波探测数据中横波泊松衰减较多,表现为突降明显成阶梯状。

裂隙中富水,在探测结果中显示为横波反射较纵波反射界面明显,且以弱反射界面为主。

泊松比突升且起伏变化较大,参数不稳定时,多为前方围岩存在含水构造,施工中应重点注意,提前采取措施验证,预防突泥突水事故的发生。

#### [参考文献]

- [1] 胡辉荣,于贵. TSP203Plus 超前地质预报系统在高竹顶隧道断层中的应用[J]. 铁道工程学报, 2011(5): 1-6.
- [2] 李术才,刘斌,孙怀凤. 隧道施工超前地质预报研究现状及发展趋势[J]. 岩石力学与工程学报, 2014(6): 1090-1113.
- [3] 郭靖. 金台铁路清潭头大桥桥址岩溶发育规律探讨[J]. 铁道建筑技术, 2016(11): 52-56.
- [4] 邹伟,雪飞胜,沈进喜. TSP203 超前地质预报系统在客运专线高风险隧道中的应用[J]. 长沙铁道学院学报(社会科学版), 2012(13): 210-213.

作者简介: 张聪 (1988.12-), 男, 毕业院校: 石家庄铁道大学, 现就职单位: 中铁第五勘察设计院集团有限公司。