

文章编号: 1001-7291(2013)01-0029-03

文献标识码: B

# TST超前地质预报技术在巨城隧道工程中的应用

周鹏, 苏海峰

(中建市政建设有限公司, 北京市 100161)

**摘要:** 在隧道施工中, 为掌握掌子面前方地质情况, 保证施工安全, 通常采用地质超前预报手段对前方围岩、地下水等情况进行探测。结合某公路隧道工程实例详细地阐述了TST超前地质预报的原理及实际应用情况。通过TST预报技术, 该隧道成功地预报了一处大型溶洞, 确保了施工安全。

**关键词:** 隧道; 超前地质预报; TST技术

## 1 工程概况

巨城隧道为阳泉至娘子关一级公路双向分离式长隧道, 左线长为1450 m, 右线长为1415 m。隧道设计速度为60 km/h, 为双向四车道, 双洞单向行车。隧道主洞建筑界限宽度为9.75 m, 高度为5.0 m。隧道内轮廓净空面积为62.31 m<sup>2</sup>。隧址区地层上部为第四纪风积层、冲洪积层覆盖, 下伏基岩为石炭系砂

岩及奥陶系灰岩, 围岩级别主要有Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级。依据地勘结果, 本隧道水文地质条件简单, 不会出现大规模的涌水或突水问题。隧道洞身穿越了三个岩溶发育区和一个断层破碎带, 在施工过程中存在较大风险。为了防止隧道发生坍塌事故, 确保施工安全, 在进行不良地质洞身段施工前, 要进行超前地质预报工作。图1为TST系统组件示意图。

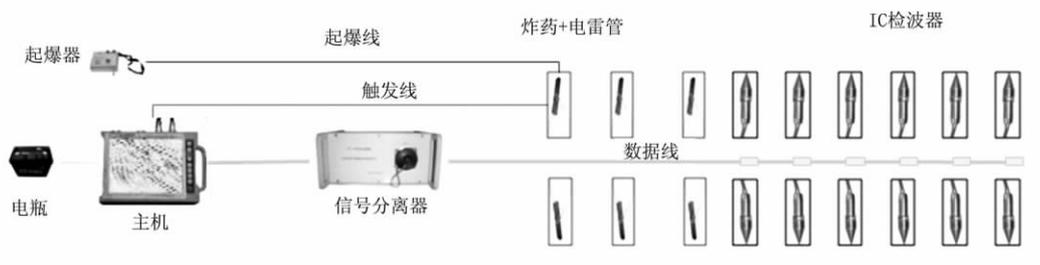


图1 TST系统组件示意图

## 2 TST超前地质预报原理

TST技术是隧道散射地震CT成像技术的简称, 其观测系统采用空间布置, 接收与激发系统布置在隧道两侧围岩中。地震波由小规模爆破产生, 并由地震检波器接收。当地震波传播中遇到岩石强度变化大(如物理特性和岩石类型的变化、断层带、破裂区的出现)的波阻抗界面时, 部分地震波的能量被散射回来。TST可有效地判别和滤除侧面和上下地层的地震回波, 仅保留掌子面前方回波, 并能同时获得掌子

面前方围岩的准确波速和地质体的位置图像。

TST系统硬件主要由地震信号采集器、地震信号记录器、检波器及联结系统、爆炸装置等几部分组成。其中地震信号采集器12通道, 24位A/D转换, 最小采样间隔25 s, 最大采样长度16 K。检波器为内置IC放大器的压电晶体带阻尼检波器, 频带1 Hz~4 000 Hz。

## 3 TST超前地质预报流程及操作要点

### 3.1 TST超前地质预报的基本程序

\* 收稿日期: 2012-10-09

钻孔布置——施工钻孔——安装检波器——布线——安装炸药——引爆炸药——数据采集——数据分析——报告提交——指导施工。

### 3.2 TST 超前地质预报操作要点

如图2所示, TST 观测系统的布置如下: ① 检波器 12 个 (S1 ~ S12), 布置在两侧壁内, 每侧 6 个, 间距 4.0 m, 埋深 1.8 m; ② 爆炸震源 6 个 (P1 ~ P6), 布置在两侧壁内, 每侧 3 个, 每侧第 1 个炮孔距最近检波器 4 m, 其余 2 个间距 24 m, 埋深 1.8 m ~ 2.0 m。③ 检波器孔和炮孔均采用 50 风钻成孔。④ 炸药量半卷, 电雷管启爆。⑤ 采用炮泥耦合和封堵。

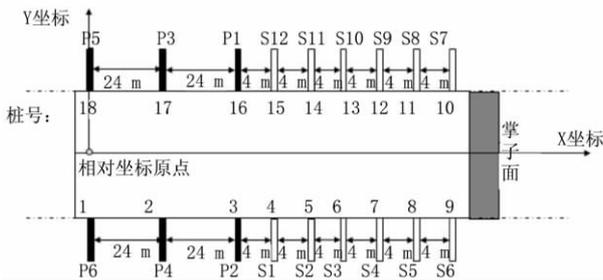


图2 TST 激发与接收方式

#### 3.2.1 测试前的准备工作

(1) 保证满足 TST 操作的隧道空间, 即至少有 72 m 无障碍的 (台阶等)、没有施作二次衬砌的隧道空间, 为避免探测时的干扰, 施测时隧道中要确保没有其他振动源。测试地点应准备封堵炮眼用的炮泥。

#### (2) 爆破物品的准备

① 的炮线, 即连接雷管与触发器之间的一般胶质导线, 长度大于 65 m。

② 雷管, 要求为瞬发电雷管 (工业用 8 号雷管)。

③ 炸药, 要求为 2 号岩石乳化炸药。

④ 发爆器, 要求电力充足。

#### (3) 钻孔

数据采集前, 提前完成钻孔工作。因此, 需要准备钻孔机 (风钻) 及配套的钻头 ( $\Phi 50$  mm)。具体布置如下:

接收器孔: 从距掌子面最近处开始, 每侧布设 6 个接收点孔, 间距 4 m。若围岩无水或水量较小, 则接收孔下倾  $3^\circ \sim 5^\circ$ , 孔深 1.8 m (必须保证深度, 且切勿过 2 m), 内置接收传感器。接收器与孔壁的耦合必须紧密, 使用粘土耦合。钻孔完成后应注意保护, 防止塌孔。

爆破孔: 从最后 1 个接收孔开始布设爆破孔。距

接收孔最近的爆破孔与接收孔距 4 m, 其后 2 个炮孔距前 1 个炮孔间距 24 m。每侧洞壁布置 3 个爆破孔, 孔深 1.8 m 以上 (孔深应尽量一致, 且必须保证深度), 炮孔保持水平角度即可。钻孔完成后应注意保护, 防止塌孔。

(4) 炮孔和接收器孔钻孔完毕后用水冲洗干净。

(5) 安放接收器, 连接好 TST 各数据采集线。

#### 3.2.2 起爆、采集数据

在炮孔内依次安放炸药、雷管, 按照记录人员的要求顺序起爆, 根据爆破效果及采集的数据随时调整炸药的用量。爆破要求: 遵守《爆破安全规则》的规定, 使用瞬发电雷管; 炸药量应大于 200 m 探测距离要求, 一般 150 g 左右, 最多不大于 450 g; 应保证炸药与炮孔严密耦合, 炸药装入后炮泥封堵。

#### 3.2.3 数据分析

采集的 TST 数据, 通过专业软件进行处理, 首先进行地震记录数据格式转换、地震记录选取、地震数据预处理、观测系统几何位置编辑等预处理, 然后进行地震波场方向滤波、围岩波速分析以及地质体偏移成像, 得到地质体偏移图像和速度分布, 从而推断掌子面前方的围岩、地质构造、不良地质等情况, 并指导隧道施工。

## 4 TST 超前预报应用实例

### 4.1 超前地质预报实例

本次预报的隧道里程段为右线 Yk3 + 840 - Yk3 + 750, 得到有效观测记录 5 炮 60 道, 通过 TST 解译软件处理后得到巨城隧道右线出口 Yk3 + 840 掌子面前方 90 m 内的地质体偏移图像、围岩地震波速分布曲线如图 3、图 4 所示。

图 3 所示 TST 地质构造偏移成像图中, 横坐标为隧道里程, 掌子面坐标为 Yk3 + 840; 纵坐标为隧道水平横向幅宽距离。图中蓝色条纹表示岩体由硬变软的界面, 红色表示由软变硬的界面, 先蓝后红的组合表明存在岩体破碎带。

图 4 所示为围岩波速分布曲线, 可以反映岩体力学性状的分布。图中横坐标表示隧道里程, 纵坐标表示围岩波速值。波速高表示围岩完整、弹性模量高; 波速低表示岩体破碎, 弹性模量低。波速分布图与地质构造图像有很好的对应性。构造偏移图像中反射条纹密集的地段, 结构复杂、构造发育, 在波速分布图中对应位置为低波速带; 构造条纹少的地段, 围岩均匀致密, 在波速分布图中对应高波速带。

### 4.2 TST 超前地质预报结论

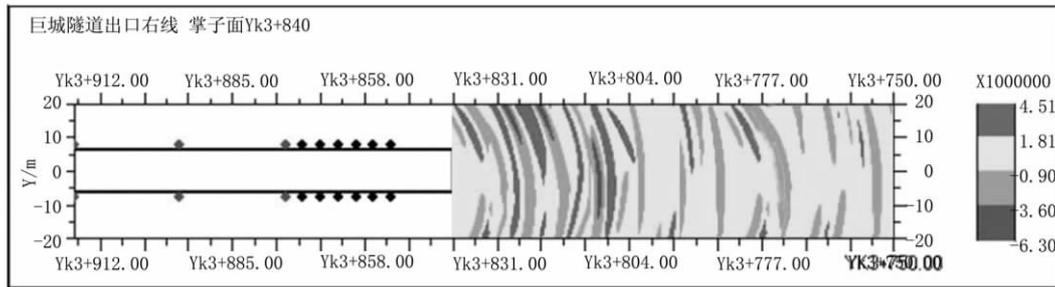


图3 隧道掌子面前方地质构造偏移成像示意图

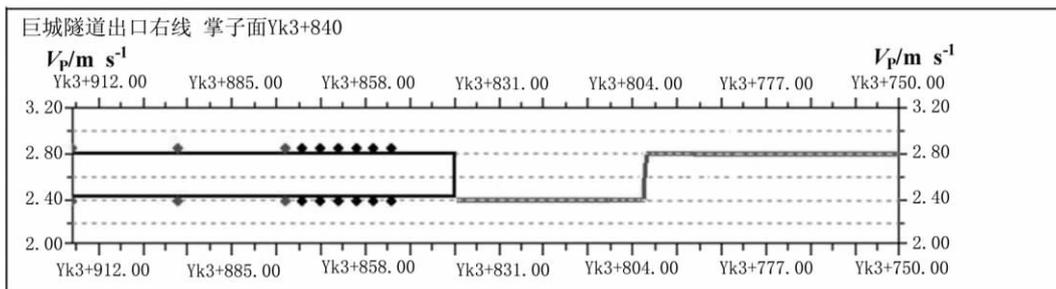


图4 隧道围岩地震波速分布曲线示意图

本次隧道超前地质预报的详细成果及结论如表1:

表1 TST地质超前预报结果

桩号里程	Yk3 + 840 ~ Yk3 + 800	Yk3 + 800 ~ Yk3 + 750
长度 (m)	40	50
波速 (VP) km/s	2.4	2.8
围岩级别	V	IV
地质预报结果	该段围岩波速稍低, 岩体节理裂隙发育, 岩体完整性差, 且可能存在较大范围的岩溶发育区, 属中—强风化岩。	该段围岩波速稍高, 围岩裂隙较发育, 稳定性和完整性稍差, 属中风化岩。



图5 Yk3 + 837 处溶洞

### 4.3 开挖验证

在右线洞身开挖至 Yk3 + 840 ~ Yk3 + 750 里程段, 洞身围岩与设计围岩 (III级) 相差较大, 实际为中—强风化灰岩、泥岩, 岩体破碎, 围岩自稳性差。并且, 在 Yk3 + 837 处发现一大型溶洞, 向隧道拱顶方向延伸发育, 溶洞直径为 3 m, 洞深约 20 m, 溶洞内有填充物, 见图5。

### 5 小结

本文结合某隧道工程实例阐述了 TST 超前地质预报的原理以及实际应用情况。通过工程实践证明, TST 超前地质预报这种探测方法可行, 能够较准确的预报和掌握掌子面前方地质情况, 确保了隧道施工安全。

### 参 考 文 献

- [1] JTG C20—2011 公路工程地质勘察规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [2] JTG/T F60—2009 公路隧道施工技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [3] 谯勉江等. TST 技术在石棉隧道超前地质预报中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2009, 6 (2): 196-202.
- [4] 肖启航, 谢朝娟. TST 技术在贵州高速公路顶效隧道超前地质预报中的应用 [J]. 工程勘察, 2010, 7: 89-94.
- [5] 赵永贵. 国内外隧道超前预报技术评析与推介 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22 (4): 1344-1352.
- [6] 胡兴等. TST 技术在隧道围岩超前预报中的应用 [J]. 建筑技术, 2009, 40 (9): 849-851.