

TST 技术在某隧道超前地质预报中的应用

马小锋¹, 乔东华¹, 任国宏², 王朋朋¹

(1. 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司, 贵州贵阳 550001;

2. 中铁隧道股份有限公司, 河南郑州 450003)

【摘要】 兴义 I 号隧道位于汕昆高速公路贵州境内, 隧道岩溶发育, 地质构造复杂, 岩体破碎。为了确保施工安全, 减少和避免地质灾害发生, 采用了 TST 技术对隧道进行超前预报。结果表明: TST 技术采用空间观测系统和最大能量扫描技术有效地提高了速度分析精度和构造定位精度, 应用二维方向滤波技术有效地消除了侧向回波和面波, 成功地解决了断层、破碎带及含水带的地质超前预报问题, 为该技术在隧道施工地质灾害的预报中提供了很好的指导意义。

【关键词】 隧道; 超前预报; TST 技术; 速度分析; 二维滤波

【中图分类号】 U452.1+1

【文献标识码】 B

1 兴义 I 号隧道简介

兴义 I 号隧道位于汕昆高速公路贵州境内, 隧址位于扬子地台与华南地台的接壤部位, 隶属扬子地台西南边界地带。隧址区出露地层主要为三叠系下统永宁镇组下段 (T_1y^4) 白云质灰岩、泥灰岩; 表覆第四系坡积粘土夹少量角砾。

隧道为单洞双车道小净距短隧道。右洞起讫桩号为: K90+020~K90+345, 全长 325 m; 左洞起讫桩号为: ZK90+020~ZK90+325, 全长 305 m。隧道围岩主要以 IV、III 为主, 穿越白云质灰岩和泥灰岩, 存在岩溶、裂隙水, 施工时出现淋雨状或涌水状出水。

综上所述, 兴义 I 号隧道地质条件复杂, 岩溶发育, 地下水丰富, 岩体破碎, 施工中容易引发工程灾害。因而在施工中开展地质超前预报, 目的是探明隧道掌子面前方软弱岩层的分布、节理裂隙发育带、岩溶与涌水、突泥等不利地质条件, 判定不良地质体的位置、形式、规模及其对施工的影响程度, 提出预防措施与建议, 以便指导施工, 保证工程的安全和质量。

2 超前预报方法的选择和 TST 的技术特点

目前国内外应用的隧道地质超前预报方法有陆地声纳、负视速度法、HSP 水平剖面方法、TSP203、TGP206、TRT、TST 等, 都属于地震法超前预报技术, 以地震反射或散射理论为基础, 通过隧道内的地震观测反演掌子面前方的地质情况。要达到准确、可靠预报的目标, 必须有科学的观测方案、可靠的资料处理方法、有效的反演方法和合理的技术流程, 这些就构成了超前预报的技术核心, 也称超前预报的理论问题。这些核心问题中最关键的是如何区分不同方向的回波, 分离出前方回波, 及如何可靠地确定前方围岩速度分布, 准确确定地质界面位置两个问题^[1]。TST 技术 (Tunnel Seismic Tomography) 是隧道地震 CT 成像技术的简称, 它在深入地研究地下三维波场特征的基础上, 从观测方案、三维波场分离、围岩波速分析、散射波场原理、偏移成像等方面进行了理论研究, 成功地解决了超前预报的核心理论技

术问题, 成就了国际领先水平^[2]。主要技术特点如下:

(1) 观测方式设计的原则满足三方面的技术要求: 一是满足围岩速度分析的要求; 二是满足三维波场识别、反向滤波的要求; 三是尽量减少面波干扰。按上述要求, TST 的观测方式布置成二维阵列方式 (图 1), 检波器和炮点布置在一个平面内, 纵向长 40~60 m, 横向宽 15~20 m, 分布成阵列, 具有不同的横向偏移距, 在满足速度分析和波场分离两项要求的前提下最为简捷。

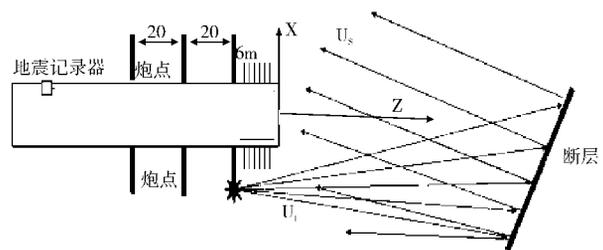


图 1 TST 二维阵列观测方式示意

(2) TST 技术采用以线性波场分离为主的 F-K 或 T-P 变换方法更适合超前预报的特点, 进行波场识别与分离的效果更好。

(3) 隧道掌子面前方围岩波速的准确确定十分重要, 不但关系到对围岩工程类别的判断, 更重要的是直接影响到地质对象的准确定位。TST 使用偏移叠加能根据最大化原理确定最优偏移速度, 效果很好。

(4) 目前的超前预报中应用的理论主要为反射理论, 如 TSP203、TGP206、TRT 等, 仅 TST 技术使用散射理论。散射理论比反射理论具有更高的分辨率, 减少斜交构造和孤立体

[定稿日期] 2010-11-24

[作者简介] 马小锋 (1981~), 男, 助理工程师, 硕士, 从事隧道设计、检测与管理工作。

的漏报几率。

(5) 目前的超前预报技术中, TSP203、TRT、TGP206、TST 等技术都使用偏移成像技术, 但是像 TSP203、TRT、TGP206 等技术不能提供准确的速度, 无法保证地质界面位置的准确定位。如果偏移成像之前不能正确地进行波场分离, 不能滤除干扰波, 则偏移图像中不可避免地包含虚假成分, 造成误报^[1]。TST 技术成功地解决了波速分析和波场分离两个重要问题, 保证了预报结果的准确可靠。

3 兴义 I 号隧道的 TST 现场采集系统

根据 TST 技术的要求, 兴义 I 号隧道超前预报的现场采集布置参见图 2。

- (1) 检波器 12 个, 布置在两侧壁内, 每侧 6 个, 间距 4 m, 埋深 1.8 ~ 2.0 m, 靠近掌子面;
- (2) 爆炸震源 6 个, 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 ~ 2.0 m, 炸药量 450 g, 远离掌子面;
- (3) 成孔采用 60 风钻成孔, 单发毫秒雷管, 采用启爆器控制启爆;
- (4) 采用炮泥耦合和封堵。

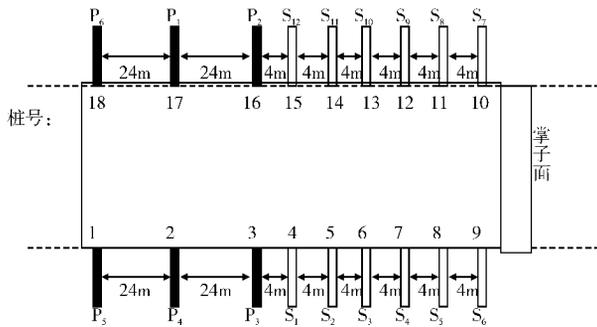


图 2 兴义 I 号隧道 TST 观测系统现场布置

本次超前预报使用的 TST 硬件系统主要由地震记录器、信号分离器、拉拔式 IC 加速度检波器及信号电缆组成。信号分离器承担检波器直流供电和交直流信号分离的作用, IC 检波器是具有内置放大器的压电晶体检波器, 传输距离可达 250 m, 爆炸作为地震波信号震源。各部装置连接参见图 3。

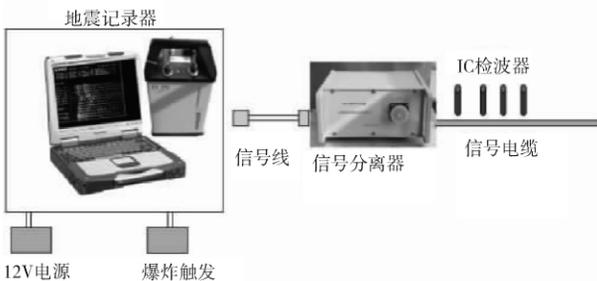


图 3 TST 系统硬件组成与连接

4 TST 超前预报的资料处理过程

TST 超前预报技术的资料处理主要经过下列几个环节, 首先是对接收点和激发点的坐标进行输入和编辑; 接下来是采用 F-K 二维方向滤波技术滤除侧向和后向回波及面波,

提取前方回波; 第三是使用不同横向偏移距的前方回波进行速度扫描, 依据叠加能量最大化判定原理确定各段围岩的最优波速分布; 最后, 使用前方回波记录和速度分布进行地质构造的偏移成像。TST 提供的预报结果包括构造偏移图像和围岩波速分布图两部分, 它们相互印证, 便于分析构造和围岩类别划分及综合地质解释。据此, 再结合地质资料进行解释和预报。上述处理过程中关键的技术有三个, 分别是三维波场的识别与方向滤波、围岩波速分析和构造偏移成像三部分^[2]。

TST 超前预报的解释根据处理结果提供的地质偏移图像和速度分布曲线, 再结合地质资料进行解释预报。

5 兴义 I 号隧道超前地质预报结果

以兴义 I 号隧道超前地质预报右洞 K90 + 242 ~ K90 + 345 段为例, 本次观测共得到有效观测记录 6 炮 72 道, 处理后得到兴义 I 号隧道右线出口 K90 + 242 ~ K90 + 345 地质体偏移图像、围岩波速曲线图参见图 4、图 5。

TST 地质构造偏移成像图中, 横坐标为隧道里程, 纵坐标为隧道横向距离。

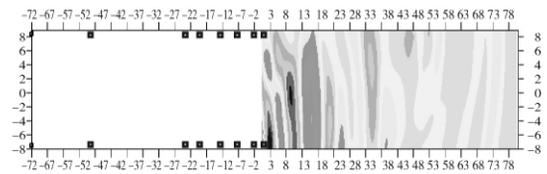


图 4 兴义 I 号隧道偏移成像成果

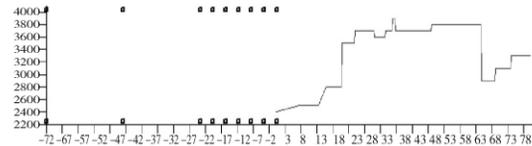


图 5 兴义 I 号隧道围岩速度曲线分布

利用上述成果图并结合地质资料分析得出以下预报结果: 兴义 I 号隧道进口右线 K90 + 242 ~ K90 + 345 段的地质情况可分成三段:

第一段从 K90 + 242 ~ K90 + 263, 从围岩速度分布曲线上可以看出波速偏低; 从隧道偏移成像图上可以看出该段存在明显的界面密集带, 节理裂隙极发育, 特别是 K90 + 256 ~ K90 + 263 处出现一反射界面, 推测该位置围岩岩性或岩质可能发生变化, 节理发育, 建议围岩级别为 IV 级;

第二段从 K90 + 263 ~ K90 + 306, 波速较高, 岩质较坚硬, 节理裂隙发育, 为中 ~ 弱风化基岩, 建议围岩级别为 II 级;

第三段从 K90 + 306 ~ K90 + 345, 波速明显降低, 为强风化基岩, 岩质偏软, 稳定性较差, 建议围岩级别为 IV 级。

结合地质资料及预报结果整体来看, 预报段地下水不发育, 且无溶蚀迹象。

详细情况见表 1。

表 1 TST 法隧道地质超前预报结果表

桩号里程	长度 (m)	波速 (m/s)	预报结果
K90 + 242 ~ K90 + 263	20	2400 ~ 2800	波速偏低,节理裂隙极发育,K90 + 256 ~ K90 + 263 处出现一反射界面,推测该位置围岩岩性或岩质可能发生变化。
K90 + 263 ~ K90 + 306	43	2800 ~ 3500	波速较高,完整性较好,岩质坚硬,节理裂隙较发育,为中~弱风化基岩。
K90 + 306 ~ K90 + 345	39	2800 ~ 3200	波速明显降低,为强风化基岩,岩质偏软,节理裂隙较发育,稳定性较差。

综合分析,本次超前地质预报隧洞段(K90 + 242 ~ K90 + 345)总体上围岩节理裂隙较发育,未发现构造断层及溶洞发育等重大不良地质。

其中掌子面前方 K90 + 256 至 K90 + 263 附近重点关注围岩岩性或岩质可能发生变化,提前做好支护。

实际开挖验证,K90 + 260 围岩发生变化,岩质变硬,节理裂隙较发育,另外,K90 + 308 围岩岩质变软,节理裂隙比前段有了明显的发育,稳定性开始变差。

6 结束语

本次隧道超前地质预报采用 TST 技术,基本查明了预报范围内的地质情况,探明了隧道掌子面前方岩性及软弱岩层的分布范围和规模以及节理裂隙发育情况,并且通过开挖验证得到了证实。

TST 技术在兴义 I 号隧道超前地质预报中的成功应用,指导了施工,对隧道支护参数的及时调整提供了依据,从而确保了隧道的安全。

参 考 文 献

- [1] 赵永贵,蒋辉. TSP203 超前预报技术的缺陷与 TST 技术的应用[J]. 工程地球物理学, 2008, 5(3): 266 - 273
- [2] 赵永贵. 中国工程地球物理研究的进展与未来[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 301 - 304
- [3] 刘志刚,赵勇. 隧道隧洞施工地质技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001
- [4] 曲海锋,刘志刚,朱合华. 隧道信息化施工中综合超前地质预报技术[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(6)

(上接第 209 页) 前后存在两个明显拐点,拐点范围内沉降速度较大,两拐点间范围随埋深增大而增大,变形速度随埋深增大而减小。掌子面未达到考察断面前的先期沉降值以及其他施工步引起的沉降值随埋深增大而减小。

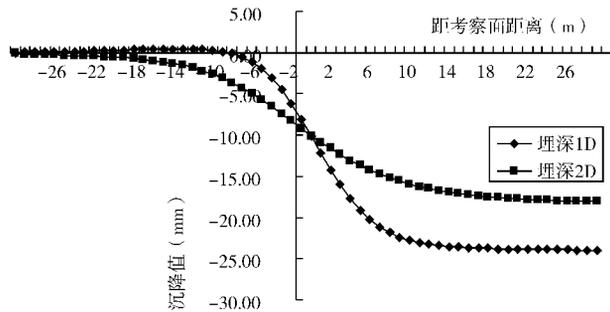


图 4 地表沉降随开挖变化

4 结 论

(1) 数值模拟结果表明,纵向沉降曲线在考察断面前后存在两个明显拐点,拐点范围内沉降速度较大,两拐点间范围随埋深增大而增大,变形速度随埋深增大而减小,后期沉

降值趋于稳定。掌子面未达到考察断面前的先期沉降值以及其它施工步引起的沉降值随埋深增大而减小。

(2) 随隧道间距的增大,地表横向沉降槽由“U”形渐变为“W”形,基本对称于两隧道连线的中垂线。随着隧道埋深和间距的增大,最大地表沉降值减小。

(3) 浅埋暗挖的施工方法应用于城市轻轨暗挖区间,不仅需要严格遵守“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的 18 字方针,采用足够的复合式衬砌结构和合理的辅助支护方案,更需要信息化量测反馈设计和施工,以便及时调整支护方案和参数,有效的控制地表沉降。

参 考 文 献

- [1] 孔恒. 城市地铁隧道浅埋暗挖法地层预加固机理及其研究[D]. 北京交通大学, 2003
- [2] 王梦恕. 隧道工程浅埋暗挖法施工要点[J]. 隧道建设, 2006, 26(6): 3 - 6
- [3] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003