

隧道综合地质超前预报技术的应用

谭伟源

(广东省建筑科学研究院 广东广州 510400)

摘要:介绍了TSP系统及探地雷达在隧道超前地质预报的基本原理。以TSP系统及探地雷达综合地质超前预报技术在厦深铁路某隧道中的应用为例,进一步验证了该综合探测技术在隧道地质预报的准确性。

关键词:TSP系统 地质超前预报 地质灾害 探地雷达

1 引言

21世纪是隧道工程和地下工程大发展的时期,由于隧道工程的复杂性和不可预见性,在现有的技术经济条件下,隧道施工中各种不良地质灾害的预测和治理则成为复杂条件下山岭公路、铁路隧道施工中面临的最主要任务,尤其是隧道施工中地质灾害的预测预报是国内外工程地质和隧道工程界关注而又没有得到很好解决的难题。

地质超前预报可以提前预测隧道工作面前方的地质条件,进一步修改、补充和完善施工阶段设计,为科学、安全地施工提供可靠的地质依据,及时采取切实有效的施工措施,避免突水、涌泥、围岩失稳等地质灾害的发生,保证隧道施工的安全。

2 隧道工程概况

厦深铁路广东段某隧道全长877m,进出口里程分别为DK247+378、DK248+255。隧道处于剥蚀丘陵区,上体自然坡度为 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$,植被较发育,线路多处穿越冲沟。丘坡表层为Qd1+e1粉质黏土,下伏燕山期花岗岩 γ^y ,全~弱风化,全风化层厚10m~18m,强风化层厚约8m。其中DK247+860~DK247+975段弹性波速较低,可能为断层破碎带。地下水较发育,有少量基岩裂隙水。

3 隧道超前地质预报技术

3.1 TSP超前地质预报系统

TSP系统是利用地震波在不均匀、不连续地质体界面产生反射,实现隧道地质超前预报的目的。地震波震源采用小药量炸药在隧道边墙的风钻孔中激发产生,激发炮孔在洞壁一侧沿直线布

置,一般采用24个炮孔激发,激发炮点的数量与采集的地震波信息量有关。地震波接收器安置在孔中,采取左右洞壁各布置一个接收器的原则。地震波在岩体中以球面波形式传播,当地震波遇到弹性波阻抗存在差异的界面时,例如断层、岩体破碎带、岩性变化或岩溶发育带等,一部分地震信号反射回来,一部分信号透射进入前方介质继续传播,在传播过程中重演着反射与透射的不断过程,陆续反射回来的地震波信号被仪器设备采集下来。地震反射波信号的旅行时间与距离成正比,与传播速度成反比,因此通过分析各种波型的传播时间、波形特征和强度变化,可以实现预报隧道掌子面前方地质条件的目的。TSP探测能较准确地预报掌子面前方的断层破碎带、软岩、岩溶陷落柱等不良地质体的性质、位置、规模,也能预报涌水量大于 $1\text{m}^3/\text{h}$ 以上的赋水地质体和老窑、老窑等采空区的性质、位置和规模;可以粗略地预报掌子面前方围岩的稳定性和围岩的级别或类别,对各种不良地质体发生塌方、突泥、突水等施工地质灾害的相对可能性进行预测。系统的检测原理如图1所示。

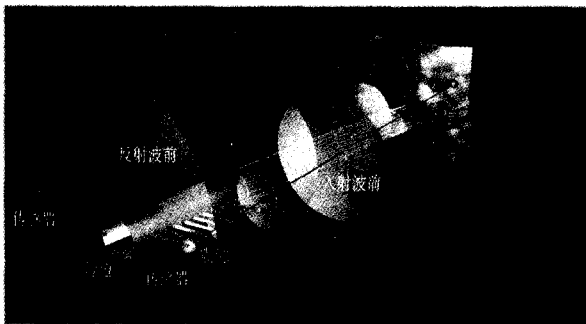
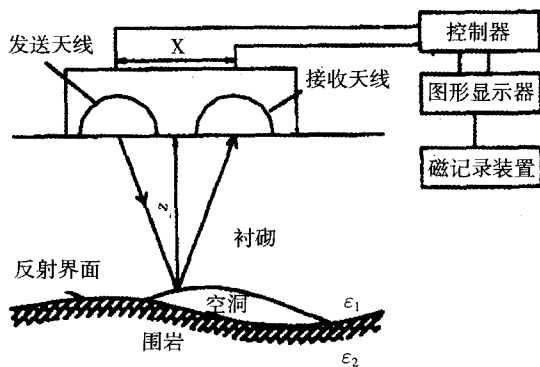


图1 TSP检测原理

3.2 探地雷达探测方法

探地雷达工作时，在隧道掌子面向围岩介质发射一定强度的高频电磁脉冲，高频电磁波以宽频带脉冲形式，通过发射天线被定向送入掌子面前方围岩，由接收天线所接收。高频电磁波在介质中传播时，其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性特性及几何形态而变化。故通过对时域波形的采集、处理和分析，可确定围岩界面或地质体的空间位置及范围。

本次地质超前预报工作使用世界领先的美国GSSI公司SIR-20型探地雷达，选用中心频率为100MHz的雷达天线对隧道掌子面前方围岩状况进行探测。



探地雷达系统主要由以下几部分组成：

(1) 控制单元：控制单元是整个雷达系统的管理器，计算机（32位处理器）对如何测量给出详细的指令。系统由控制单元控制着发射机和接收机，同时跟踪当前的位置和时间。

(2) 发射机：发射机根据控制单元的指令，产生相应频率的电信号并由发射天线将一定频率的电信号转换为电磁波信号向地下发射，其中电磁信号主要能量集中于被研究的介质方向传播。

(3) 接收机：接收机把接收天线接收到的电磁波信号转换成电信号并以数字信息方式进行存贮。

(4) 电源、光缆、通讯电缆、触发盒、测量轮等辅助元件。

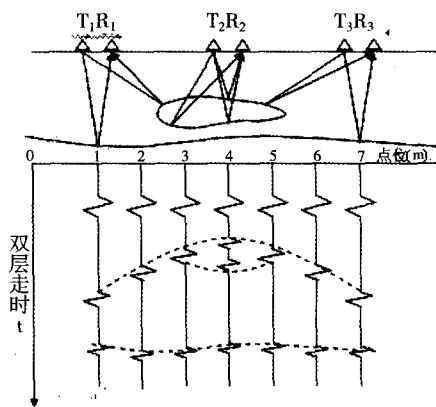


图2 探地雷达检测原理

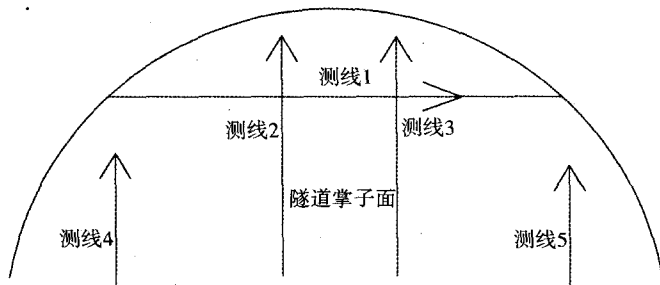


图3 隧道掌子面雷达检测测线布置示意图

4 综合预报技术的应用

本隧道的超前地质预报主要是以TSP超前地质预报系统为主，对隧道进行分阶段全过程定性分析隧道前方的围岩状况。对于隧道围岩状况较差的区域采取探地雷达方法进行进一步的探明前方的围岩状况。本次介绍的预报范围为DK247+530~DK247+650。

4.1 TSP系统预报结果

据该隧道工程施工进展情况，结合前期勘察资料 and 隧道围岩地质条件，本次TSP检测工作区在DK247+459~DK247+530段。接收器位置在DK247+459隧道位置，掌子面位置为DK247+530，沿隧道轴线方向布置24个炮。本次预报范围为DK247+530~DK247+650具体的预报结果如表1所示，物理参数与二维地质推断图如图4所示：

表1 TSP系统预报结果及开挖状况

序号	预报范围	预报结果	实际开挖情况
1	DK247 + 530 ~ DK247 + 562	各参数无明显变化, 推断围岩与掌子面相近, 节理裂隙较发育, 稳定性较差	围岩较破碎, 节理较发育
2	DK247 + 562 ~ DK247 + 580	纵横波速度、动态杨氏模量均增大, 围岩稍好, 强度有所增加	围岩局部存在小量节理, 岩体整体性较好
3	DK247 + 580 ~ DK247 + 612	横波速度略微下降, 反射层较多, 节理裂隙较发育, 局部波速比突然增大, 推断有少量裂隙水	围岩破碎, 节理较发育, 线状裂隙水, 围岩强度较低
4	DK247 + 612 ~ DK247 + 638	动态杨氏模量增大, 正反射增强, 推断围岩完整性稍好, 强度有所提高	围岩整体性较好, 局部存在小量节理
5	DK247 + 638 ~ DK247 + 650	纵波波速降低, 动态杨氏模量降低, 推断围岩强度略微降低	围岩破碎, 节理发育, 开挖时围岩小范围滑落

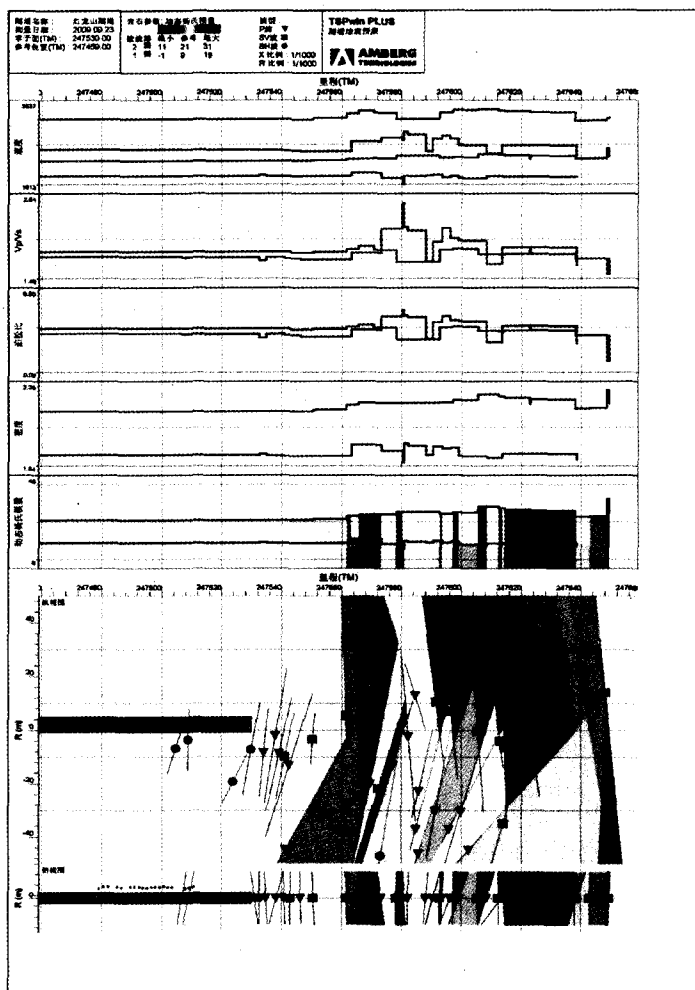


图4 DK247+530 ~ DK247+650物理参数与二维地质推断图

4.2 探地雷达预报结果

根据TSP系统的定性分析结果对于围岩状况较差的区域进行了探地雷达探测, 进一步探测围

岩的状况, 雷达测线布置如图3所示。分别在DK247 + 530、DK247 + 580及DK247 + 630掌子面进行了探测, 探测的范围约为围岩前方20m, 具体的探测结果如表2所示:

表2 TSP系统预报结果及开挖状况

序号	预报范围	预报结果
1	DK247 + 530 ~ DK247 + 550	该范围内受爆破施工影响, 靠近掌子面位置围岩松动, 节理裂隙较发育, 围岩与掌子面相近, 稳定性较差, 如图5所示
2	DK247 + 580 ~ DK247 + 600	雷达反射波杂乱及明显, 推断节理裂隙较发育且有少量裂隙水, 如图6所示
3	DK247 + 630 ~ DK247 + 650	靠近掌子面位置围岩松动, 节理裂隙较发育, 围岩与掌子面相近, 稳定性较差

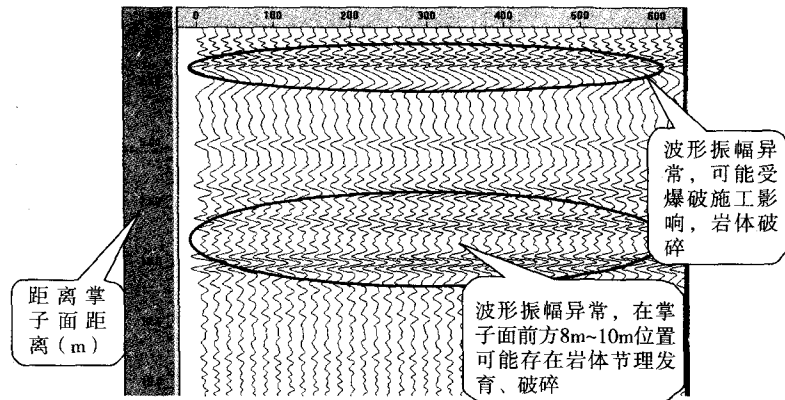


图5 DK247 + 530 ~ DK247 + 550雷达检测剖视图

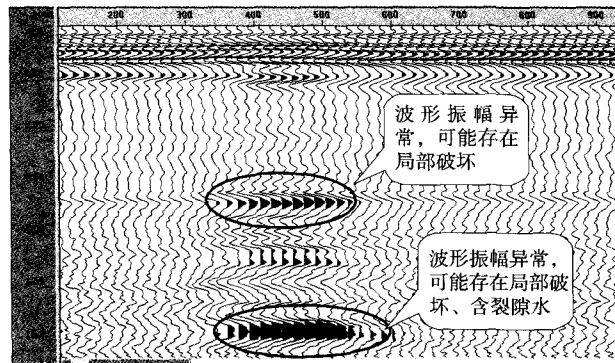


图6 DK247 + 580 ~ DK247 + 600雷达检测剖视图

4 结论

(1) 通过上述工程的隧道超前预报情况介绍, 进一步验证了TSP探测系统及探地雷达综合探测技术在隧道超前地质预报的准确性。施工方在隧道施工过程中对于不良围岩段采取了适当的加固措施及施工方法, 确保了施工安全。

(2) TSP探测系统具有长距离的定性分析围岩状况的优势, 而且不受隧道掌子面的状况影响、对于隧道的施工影响较少, 但对于灾害体的具体位置及范围的精度不高。探地雷达则要求隧道掌子面平整, 往往需要进行人工平整, 探测距

离较短, 但可通过采取多条测线的方法确定灾害体的状况。因此, 在有条件的基础上采取两种方法的结合, 可进一步提高探测精度。在隧道施工过程中也应结合地质素描、超前导坑、超前钻孔等方式进行小距离的探测, 才能取得更好的预报效果。

参考文献

- [1] 赵洪丽, 孙润智, 孟硕. TSP-202在宜万铁路红瓦屋隧道超前预报中的应用[J]. 西部探矿工程, 2008,10.
- [2] 中华人民共和国铁道部. 铁建设[2008]105号[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [3] 刘志刚, 刘秀峰. TSP(隧道地震勘探)在隧道隧洞超前预报中的应用与发展[J]. 岩石力学与工程学报, 2003,22(8).
- [4] 薄会申. 地质雷达技术实用手册[M]. 北京: 地质出版社.