

TSP在隧道超前地质预报的应用研究

冯永¹, 李永鸿², 杜文哲¹

(1. 中国地质大学研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 深圳市勘察研究院有限公司, 广东 深圳 518026)

摘要: 由于隧道施工经常遇到严重的地质灾害, 施工前进行超前地质预报是十分必要的。本文介绍了 TSP 超前地质预报系统的技术特点和基本原理, 结合工程实例探讨了在使用 TSP 过程中的一些技术问题。结果显示利用工程地质调查结论可以确定合理的探测方案和提高 TSP 的预报精度。

关键词: TSP; 地质灾害; 大水井隧道; 超前地质预报; 工程地质调查

中图分类号: P642.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)04-0348-04

Study on Application of TSP Geology Prediction in Tunnel Construction

FENG Yong¹, LI Yong-hong², DU Wen-zhe¹

(1. Graduate School of China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Shenzhen Exploration Research Institute Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518026, China)

Abstract: The geological disasters often occur in the construction of tunnel, it is necessary to adopt geology prediction before the construction. In this paper, technique characteristic and principle of TSP system are introduced and some techniques in using TSP are discussed based on an application example. It is found that the geotechnical investigation can help us decide reasonable probing program and heighten the prediction precision.

Key words: Tunnel Seismic Prediction (TSP); Geological disaster; Dashuijing tunnel; Geology prediction; Geotechnical investigation

0 前言

隧道施工地质超前预报就是利用一定的技术和手段收集隧道所在岩体的有关资料, 并运用相应的理论和规律对这些资料进行分析、研究, 从而对施工掌子面前方岩体情况或成灾可能性做出预报^[1]。超前地质预报方法有很多种, 如导坑、钻探、无损探测方法(如地震和地质雷达)。TSP(Tunnel Seismic Prediction)就是一种地震探测方法, 属于长期地质超前预报(大于 100 m), 有着探测距离远, 分辨率高, 抗干扰能力强, 对施工影响小等优点。

在湖北省恩施市大水井隧道施工中, 主要采用了从瑞士生产的最新的 TSP203 系统开展隧道超前地质预报工作。实践表明, 通过隧道所在地区主要洞体不良地质宏观预报, 在此基础上确定探测方案, 可大大提高 TSP 的预报精度。TSP 结合工程地质

类比法能较准确地识别和预测隧道掌子面前方及其周围的工程地质和水文地质情况, 可以准确的预测出前方地质情况, 为确保隧道安全施工, 确定隧道施工工艺提供可靠的依据。

1 TSP 原理和工作方法

TSP 是一种新颖、快速、有效、无损的反射地震技术, 它是为隧道超前地质预报而专门设计的, 可以在隧道施工、地下矿藏、洞穴开挖前提供帮助, 其目的在于迅速地提供在开挖周围及前方的三维空间的工程地质预报。TSP 是当前国内外最先进的隧道长期超前地质预报设备, 也是当前超前地质预报技术中的最重要手段。

TSP203 系统主要由记录单元、检波器、

收稿日期: 2005-10-21

作者简介: 冯永(1984-), 男(汉族), 在读博士研究生, 主要从事岩土体性质, 超前地质预报研究工作。

TSPwin 处理及评估软件组成。它是根据地震波的回波原理,人工制造布成一条直线的轻微震源。地震波在岩石中以球面波形式传播,当遭遇不良地质体时,一部分地震信号反射回来,一部分信号折射进入前方介质^[2]。由三维地震波接收器在计算机的监控下采集被反射返回的地震波数据。这些回波信号的传播速度、延迟时间、波形、强度和方向是与相应的不良地质体的性质和分布状况紧密相关的,通过 TSPwin 软件处理,可以获得 P 波、SH 波、SV 波的时间剖面、深度偏移剖面、提取的反射层、岩石物理力学参数、各反射层能量大小等成果,以及反射层在探测范围内的二维或三维的空间分布。

在大水井隧道地质超前预报中,我们结合了工程地质调查与推断方法,通过地表和隧道内的工程地质调查与分析,预测隧道掌子面前方的不良地质现象可能的类型、部位、规模,在此基础上确定合理的接收器位置及布置测线。实践证明 TSP 结合工程地质调查与推断方法可以取得较好的地质超前预报效果,在隧道埋深较深、构造复杂的情况下,这种预报方法具有很高的准确性。

TSP 处理成果的解释,主要遵循下述准则^[3]:

- ①正反射振幅表明硬岩层,负反射振幅表明软岩层;
- ②若 S 波反射较 P 波强,则表明岩层饱含水; V_p/V_s 增加或泊松比突然增大,常常由于流体的存在而引起;
- ④若 V_p 下降,则表明裂隙或孔隙度增加。

2 工程应用实例及效果分析

2.1 预测段地质概况

大水井隧道位于恩施市白杨坪镇马水河西岸,为上下行分离式隧道,呈近东西向展布,左幅全长 3 436 m,右幅全长 3 407.31 m,最大埋深约 330 m。本文所验证实例为 TSP 在该隧道右洞 YK181+400~181+250 段的应用情况。

工程地质调查结果表明预测段地层为大冶组(T_{1d})微风化灰色中厚~中薄层状灰岩,夹灰黑色薄层状泥灰岩,岩层产状为 $128^\circ\sim 135^\circ\angle 10^\circ\sim 20^\circ$,倾向进口方向,倾角相对平缓。该段地层的特点表现为,岩层面大多呈青灰色和灰色,强度较高,属硬质岩层,泥质充填,呈粘性胶状,可塑。从掌子面发现方解石生长晶体或石英夹层比较普遍。测试段裂隙不发育,节理发育相对比较单一,主要有 $128^\circ\angle 15^\circ$ 、 $320^\circ\angle 68^\circ$ 、 $267^\circ\angle 80^\circ$ 三组,其走向与岩层面近乎垂直。开挖断面底部岩性稍差,强度较上部有所降低。由于预测段位于褶曲轴的邻近地段,可能会有小断

层出现。从地表情况来分析,该区域为沟谷的一侧,地表溶沟、溶槽和节理较发育,覆盖层薄,雨水容易向地下径流入渗,可以形成汇水条件。

2.2 TSP 在预测段的布置

由于地震波的能量很小,所形成的反射纵波(P 波)非常微弱。要想准确的接收这部分信号,除了要求传感器有极高的灵敏度外,还必须采取最佳的接受方式和展布角度才能实现。因此在完成工程地质调查的基础上根据地表和洞内的地质情况,利用地质学相关理论确定合理传感器的安放位置,可保证尽可能多的采集探测信息,提高探测的距离和精度。

根据地质调查结果,利用构造地质学和地质力学的相关理论可以大致的确定该预测段主要结构面的走向。为了最大程度地接受到所要探测的结构面的反射回波,应使传感器的延伸方向尽可能地与主要结构面的走向延伸方向平行;除此以外,还应该保证将传感器安置在结构面与隧道掌子面前进方向夹角至少大于 90° 的隧道壁一侧。这样也可以保证接收较多的探测信息。

基于以上考虑,确定了测线的布置方案和传感器的安放位置:预报时掌子面位于 YK181+373 里程处,在 YK181+423.5 隧道左洞布置预报接收孔,接收延伸方向约 240° 。在隧道左边墙的另一水平线上从外向里布置一个传感器钻孔和 22 个炮孔,传感器钻孔距第一个炮孔 15 m,炮孔间距 1.5 m,炮孔高度 1.5 m,最后一个炮孔距掌子面 3 m,如图 1 所示。

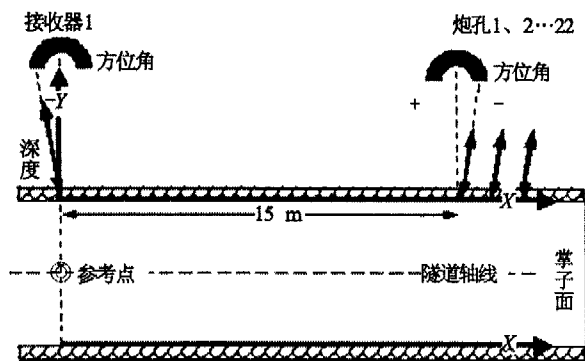


图 1 TSP203 测线布置示意图

Fig. 1 Sketch of setting for TSP203 survey line.

其它需要注意的技术问题主要有:①为使接收器能与周围岩体很好地耦合以保证采集信号的质量,采集信号前至少 12 小时应将一个保护接收器的接收器套管插入孔内,并用含两种特殊成分的不收缩水泥砂浆使其与周围岩体很好地粘结在一起;②接收器有效接收段的中点位置应与所有爆破点的中

心位置在同一条直线上,其误差不应过大;③填装炸药力求与钻孔紧密接触,必要时向孔内注水,一则保证炸药密实;二则保证炸药与钻孔有良好的耦合,减少能量的损耗。

2.3 TSP 探测结果

根据 TSP 的探测结果,在掌子面前方 150 m 范围内围岩纵波波速为 2 500~4 000 m/s,岩石密度为 2.6~2.8 g/cm³,泊松比为 0.18~0.25,弹性静态杨氏模量为 16~28 GPa,可见预测段节理比较发育。具体的探测结果如图 2~4 所示。

图 2 为软件处理的深度偏移图,由 Radon 变化所得,图中 X 代表隧道轴线方向上距检波器的距离,R 代表在测线平面上偏离隧道轴线的距离。

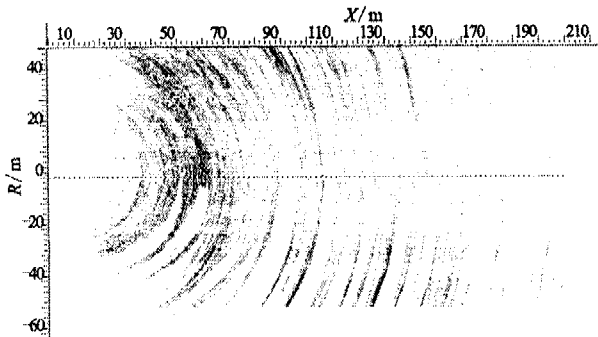


图 2 TSP 隧道超前预报深度偏移图

Fig. 2 Depth offset section of TSP.

图 3 为反射界面提取图,为深度偏移图通过以下三个步骤所得:①通过品质因子 Q 补偿地震波在传播过程中能量的扩散损失及大地的吸收作用;②评估软件在对波形轨迹扫描过程中忽略没有反射或反射微弱部分;③以隧道轴线为标准,提取及计算相对强软反射界面的位置。

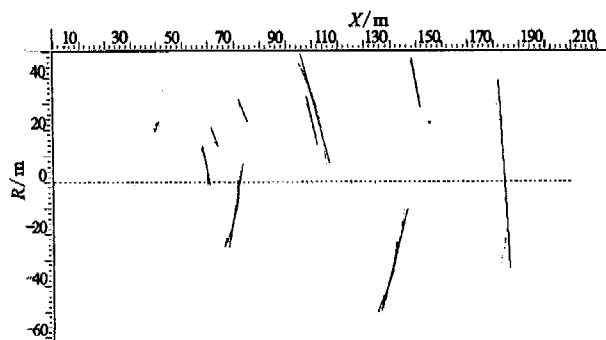


图 3 TSP 隧道超前预报反射面提取图

Fig. 3 Abstracting drawing of reflecting surface from TSP.

图 4 为二维成果图(俯视图和侧视图组成),三角符号代表的是通过纵波提取的,灰色部分为掌子面至检波器段的隧道示意图。

从以上结果可以得到,在 TSP 探测段中,

YK181+364~YK181+338 及 YK181+318~YK181+284 段明显存在较强的正负波组反射,计算的 V_p 降低,泊松比增大,静态杨氏模量降低,反映出岩层节理裂隙发育、破碎的特征,隧道 YK181+400~181+250 预报范围内存在两段相对破碎带(表 1),结合工程地质调查可做出预测段地层展示图(图 5)用以指导施工。

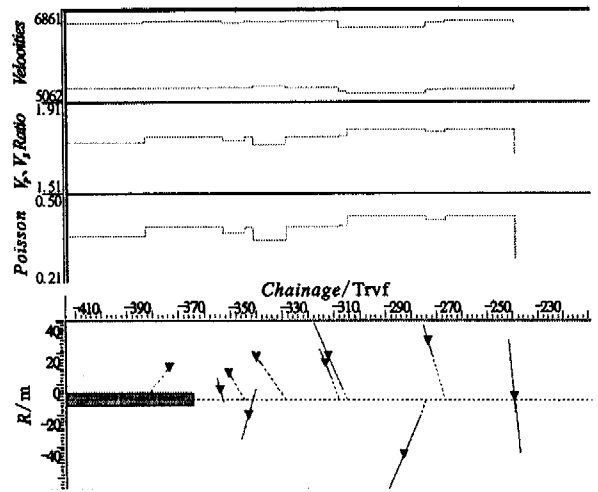


图 4 TSP 隧道超前预报二维成果图

Fig. 4 Two dimension outcomes of TSP.

工程地质调查结果表明,该段岩层虽强度较高,但岩层结构面走向与隧道走向垂直,其组合形式不利于岩体整体稳定,易发生拱顶掉块事故,开挖以后隧道应及时喷砼支护,施工时重视拱顶安全。逢雨天施工时,应加强排水措施和支护措施,提前做好安全保障。

2.4 开挖验证

开挖结果证明,181+400~YK181+370 段岩石比较完整,岩层产状为 130°~140°/15°~25°,层厚 3~8 m,地下水不发育,与预报结果基本相似;YK181+370~YK181+342 段相对破碎带出现的位置比预定的晚了 6 m,长度比预定的长 2 m,误差为 2/26=7%,基本符合预报结果;YK181+342~YK181+310 段岩体相对完整,与预报结果基本一致;YK181+317~YK181+287 段岩体相破碎,岩溶洞比较发育,该段预报位置基本正确,但破碎段长度误差为 6/34=17%;YK181+290~YK181+250 岩石相对完整,地下水不发育,这与预报结果基本一致,但在 YK181+275~YK181+263 之间有一破碎带,宽度为 0.3~1 m,延伸跃 8 m,为泥质充填,前期未预报出该破碎带。

从以上开挖结果可以看出,距掌子面 100 m 以内的预报结果比较可靠(误差小于 10%);当大于 100

表1 YK181+400~181+250段TSP超前地质预报成果表

序号	里程	长度/m	预测结果
1	YK181+364~YK181+338	26	有两组P波反射波,纵波速度降低,表明岩体完整性相对较差。
2	YK181+318~YK181+284	34	纵横波速度均变低,泊松比变大,纵波速度比也变大,表明岩体破碎。

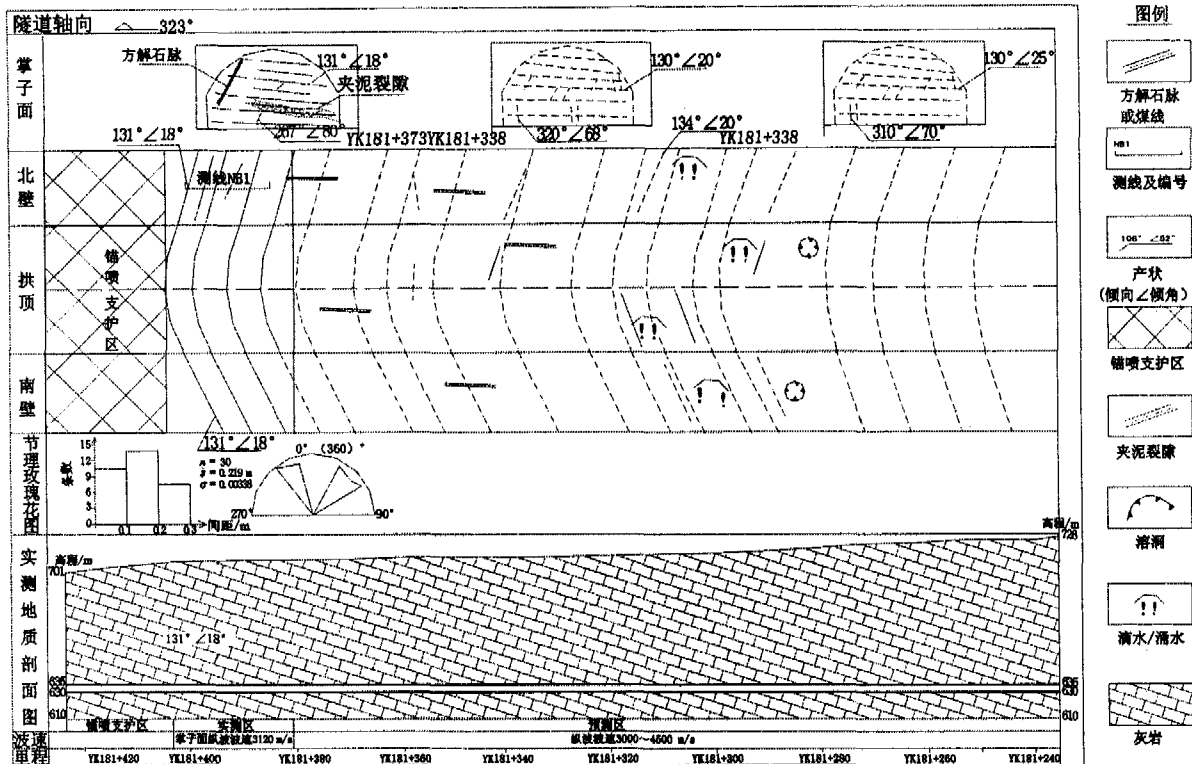


图5 预测区段地层展示图及地质剖面图

Fig.5 The spread stratum chart and geology section of prediction segment.

m时,准确程度有所下降。

3 结论

TSP隧道地震预报技术是目前先进的物探方法之一,预测距离远,操作简单,成果丰富,对施工无影响,预报范围从100 m到200 m。通过TSP超前预报,能够及时地了解掌子面前方的地质情况,为隧道施工和及时地调整支护参数提供依据,有效地控制了地质事故的发生,降低成本,提高隧道掘进的进度,将风险降低到最小。通过上述实例表明,在工程地质调查的基础之上,利用构造地质学和地质力学的理论确定探测布置方案,可以保证采集尽可能多的探测信息,提高了探测的距离和精度。工程地质调查与推断是地质超前预报方法中最为常用和可靠的方法之一,实践证明,TSP结合工程地质调查能够快速、准确地对预测段做出判断,能更好的指导施工。

目前,综合超前地质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,国

内外多采地质分析与物探相结合的方法来实现超前预报^[4]。笔者认为应在充分利用工程地质调查的基础之上,多种方法相互弥补、相互验证,采用综合的预报方法,才能取得最佳的预报效果。

[参考文献]

- [1] 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.
- [2] 赵勇,肖书安,刘志刚. TSP超前地质预报系统在隧道工程中的应用[J].铁道建筑技术,2003,(5):18-22.
- [3] 温树林,吴世林. TSP203在云南元磨高速公路隧道超前地质预报中的应用[J].云南交通科技,2002,18(6):18-24.
- [4] 李永鸿,徐光黎,等.地震反射波法技术及其在隧道超前地质预报中的应用研究[J].岩土工程学报,2005,27(10):1180-1184.
- [5] 戴前伟,何刚,冯德山. TSP-203在隧道超前预报中的应用[J].地球物理学进展,2005,20(2):460-464.
- [6] 丁恩保,凌荣华,马继平.隧道工程地质预报方法探讨[J].工程地质学报,1995,3(1):28-34.
- [7] 赵玉光,高波.论公路隧道信息化施工超前地质预报系统与地质灾害预[J].中国地质灾害与防治学报,2001,12(3):44-47.