维普资讯 http://www.cqvip.com

TSP203在雪峰山隧道施工地质超前预报中的应用研究

黄 戡[1,2],彭建国[1],丁国华[2],陈韶光[2],龚道平[2]
(1.中南大学土木建筑学院,长沙 410000;2.湖南省交通规划勘察设计院,长沙 410008)

[摘 要]介绍了地质超前预报的研究进展和TSP203的工作原理、数据处理、解译技术及其在雪峰山隧道施工地质超前预报中的应用。通过对比分析验证了预报结果的准确性,展示了TSP203探测系统在隧道施工地质超前预报中的广阔前景。

[关键词]隧道 TSP203 地质超前预报 数据处理 解译技术
[中图分类号]TU621 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2006)05-0103-04

施工前对地质情况的了解,对于隧道建设有十分重要的作用。纵观国内外隧道施工期地质超前预报技术方法的发展,基本上经历了下列发展阶段:地质法阶段—超前平行导坑法阶段—超前水平钻孔阶段—超前钻孔声波测井及跨孔声波透射阶段—波反射法阶段。

TSP从上世纪90年代初问世以来,已经在数百项大型工程中应用并取得了全世界的认可。在瑞士的Vereina铁路隧道中,它准确的预测出隧道里程(TM)1430m处存在不稳定的蛇纹岩层;在日本的Gorigamine高速铁路隧道中成功的预测出掌子面前方岩性由坚硬的英安岩过渡到稍软弱的凝灰岩再到软弱的页岩的位置。在南韩的Anmin公路隧道中准确预报出隧道掌子面前方不同于开挖段风化岩层的较坚硬岩层和断层构造的位置。

1 TSP203简介

TSP203超前地质预报系统是专门为隧道和地下工程超前地质预报研制开发的先进设备。该系统实现了从信息采集、数据处理、结果解译的高度智能化。它具有实用范围广,探测时间短,对隧道施工干扰小,探测、解译距离远,分辨率高的优点。其探测距离为250~500m,有效解译距离为150m,最高分辨率达1m,探测空间为三维,软件解释非常方便。

1.1 TSP203的工作原理

TSP203采用了回声测量原理:地震波在指定的震源点(通常在隧道的左边墙或右边墙,大约24个炮点布成一条直线)用小药量激发产生;地震波在岩石中以球面波形式传播;当地震波遇到岩石物性界面(即波阻抗差异界面,例如断层、岩石破碎带和岩性变化等)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;反射的地震信号将被高灵敏度的地震检波器接收;反射信号的旅行时间和反射界面的距离成正比,故而能提供一种直接的测量。

TSP203超前地质预报系统的现场布置及测试过程由一系列炮点、两个三维接收传感器(X、Y、Z方向)、接收机及数据处理系统组成(见图1)。

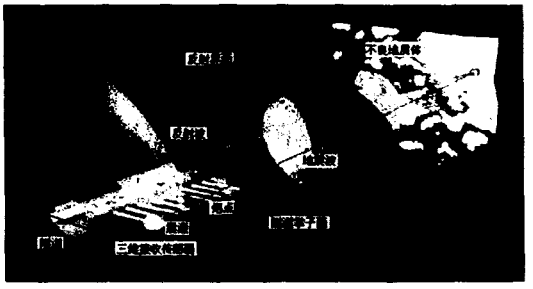

图1 TSP203探测系统的原理

1.2 TSP203的数据处理

TSP203主要由两大部分组成:仪器系统和软件系统。

本次探测采用的仪器系统主要包括:(1)可卸载的PⅢ笔记本电脑;(2)记录单元:24位A/D转换,道数为1~12,采样间隔为62.5μs,带宽为

[收稿日期]2006-03-10;[修订日期]2006-08-26;[责任编辑]陈仁俊。
基金项目:交通部西部课题科研基金资助项目(2003-318-798-02)
[第一作者简介]黄戡(1979-),男,2004年毕业于中南大学,获硕士学位,在读博士生,主要从事地下工程关键技术研究和隧道工程勘察设计等方面的技术研究工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

8000Hz，记录长度为 7218 采样点，动态范围为 120dB；(3)三分量加速度地震检波器：灵敏度为 1000mV/g ±5%，频率范围为 0.5 ~ 5000Hz，横向灵敏度 >1%，工作环境温度 0 ~ 65℃。

软件系统采用 MS Windows 作为软件平台，TSP-win 处理及评估软件具有高度智能化，有自动和高级两种处理方式可供选择。其数据处理流程主要包括：(1)初步选定原始波形(X、Y、Z)；(2)选定波谱分析窗口；(3)对原始波形进行波谱分析；(4)进行带通滤波处理：输入波谱图梯形四个顶点横坐标，滤掉其余部分波形图，保留梯形面积的波形图；(5)调节、选择、检取初至波；(6)确定纵横波初至波的位置：尽量手动调直；(7)将各炮点的资料进行能量平衡；(8)经 Q 值评价提取反射波：设计时间距离坐标的起始位置；(9)分离纵、横波：可设计各种波的距离、范围、坐标、尺寸；(10)波速分析：生成纵、横波的结果显示成像图，红色表示波丛软岩到硬岩，蓝色表示波丛硬岩到软岩；(11)深度偏移：从二维速度模型出发将时间断面转换到实际空间，得到深度偏移图；(12)拾取放射面：根据选择的主要反射界面个数提取反射界面。其流程图如下(见图 2)。

1.3 TSP203 的解译准则

TSP203 处理成果的解译遵循下述准则：①波形中间出现正反射振幅表明硬岩层，出现负反射振幅表明软岩层；②若 S 波反射较 P 波强，则表明岩层富含水；③V_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 Vp 下降，则表明裂隙或孔隙度增加；⑤出现较高的反射振幅、较大的反射系数和较小的弹性阻抗，表示反射界面的岩石密度和波速较高。

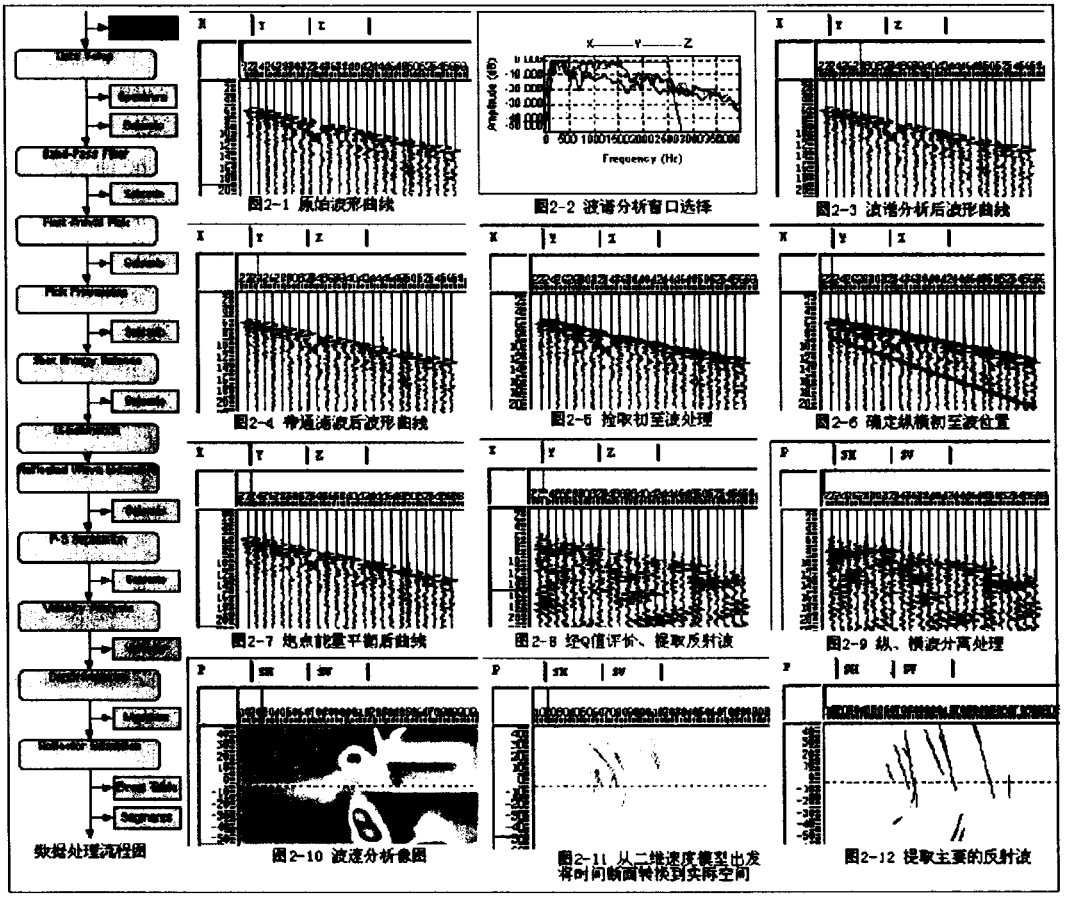

图 2 TSP203 探测系统数据处理流程图

2 工程应用

雪峰山隧道为上(海)瑞(丽)高速公路邵阳至怀化段最大的控制性工程，是交通部立项的已开工兴建的全国最长的高速公路隧道。该隧道采用上下行分离的双洞隧道，左线隧道全长 6946m，右线隧道全长 6956m。隧道穿过的山体为单脊山峰——中间最高，两端逐渐变低，隧道最大埋深约 850m，约 50% 的地段隧道埋深大于 450m。隧道横穿雪峰山主脉，属侵蚀深切中山地貌，主要沟溪有 5 条，大致

维普资讯 http://www.cqvip.com

与隧道平行或小角度斜交。隧道区有山顶倒转背斜和王公店——锅塘冲复式向斜两个大的褶皱。规模较大的断层共有8条,对隧道有影响的共有5条,均为逆断层。主要有5组节理,其中4组与隧道轴线平行或大角度相交的剪节理延伸长度大,另一组与隧道平行或小角度相交的张节理将影响隧道围岩的稳定性。据勘察揭露隧道穿越的地层主要有:亚粘土,碎石、块石土,变质砂岩和砂质板岩。

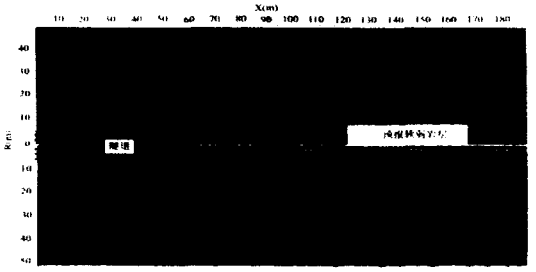

图3　深度偏移剖面(上-P波,下-SH波)

雪峰山隧道主要采用短期地质超前预报和TSP203长期地质超前预报相结合的预报方法。短期地质超前预报又称跟踪预报,它是在长期地质超前预报的基础上进行更加准确的预报,是正确指导施工必须采取的工作步骤,主要采用的手段有:掌子面编录预测法、水平超前钻孔法和地质雷达法。本文主要介绍采用TSP203对隧道施工进行长期地质超前预报。根据雪峰山隧道工程施工进展情况,结合前期勘察设计资料和隧道围岩地质条件,我们采用TSP203在隧道的左线ZK96+120~ZK96+191,右线YK95+929~YK96+030和YK96+035~YK96+168进行了3次地质超前预报,其探测结果经数据处理后的示意图:(见图4、图5)

图4　提取的反射层

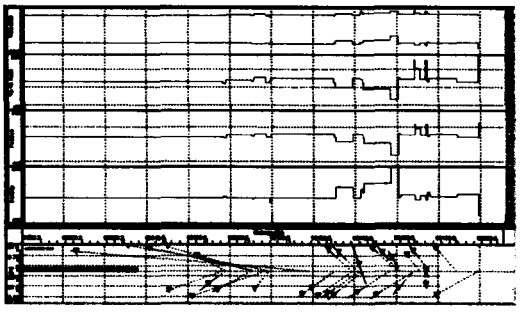

图5　2D结果显示

根据TSP203处理成果,围岩纵波平均速度,密度,泊松比等参数和勘察设计资料以及现场地质调查,掌子面前方一定距离范围内,其综合地质超前预报如下(见表1):

表1　地质超前预报成果推断表

次数	序号	里程桩号	长度(m)	推断结果	围岩类别
第一次	1	YK95+929~968	39	F8断层破碎带	Ⅱ
	2	YK95+968~995	27	强风化硅质板岩,节理较发育,较完整	Ⅲ
	3	YK95+995~YK96+015	20	强风化硅质板岩,节理裂隙很发育(密集带),岩石破碎	Ⅱ
	4	YK96+015~030	15	强风化硅质板岩,节理较发育,岩石完整	Ⅲ
第二次	1	YK96+035~091	56	弱风化硅质板岩,节理发育,岩石较完整	Ⅲ
	2	YK96+091~099	8	弱风化硅质板岩,破碎带发育,含水	Ⅱ
	3	YK96+099~156	57	微风化硅质板岩,岩石坚硬,完整,其中YK96+130~+139岩石破碎,含水	Ⅳ
	4	YK96+156~168	12	软硬相间,岩石较破碎	Ⅲ
第三次	1	ZK96+120~151	31	微风化硅化板岩,节理发育,岩石较完整	Ⅳ
	2	ZK96+151~177	26	风化节理裂隙发育,岩石软、破碎,含水	Ⅲ
	3	ZK96+177~18	47	微风化硅化砂质板岩,节理发育,岩石完整	Ⅳ
	4	ZK96+184~19	17	岩石软弱破碎	Ⅱ

3　成果验证

通过对雪峰山隧道进行的3次地质超前预报,结合勘察设计资料,并对开挖隧道掌子面围岩情况进行了跟踪调查,其结果对比如下(见表2):

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 2 勘察设计、超前预报、施工情况对比表

里程桩号	勘察设计		超前预报		施工情况	
	地质概况	岩类	地质概况	岩类	地质概况	岩类
YK95 +929 ~968	强风化砂质板岩,F_8断层破碎带,岩石破碎,含水性弱	Ⅱ	断层破碎带	Ⅱ	F8 断层破碎带	Ⅱ
YK95 +968 ~995			节理较发育,岩石较完整	Ⅲ	节理较发育,岩石较完整	Ⅲ
YK95 +995 ~015			节理很发育,岩石破碎	Ⅱ	节理很发育,岩石破碎	Ⅱ
YK96 +015 ~030			节理较发育,岩石较完整	Ⅲ	节理较发育,岩石较完整	Ⅲ
YK96 +035 ~091	强风化砂质板岩,节理裂隙发育,岩石破碎,含水较丰富	Ⅲ	节理较发育,岩石较完整	Ⅲ	节理较发育,岩石较完整	Ⅲ
YK96 +091 ~099			破碎带发育,含水	Ⅱ	破碎带发育,线状流水	Ⅱ
YK96 +099 ~156			岩石完整,局部含水	Ⅳ	岩石完整,局部拱顶滴水	Ⅳ
YK96 +156 ~168			软硬相间,岩石较破碎	Ⅲ	软硬夹层,岩石较破碎	Ⅱ
K96 +120 ~151	硅化砂质板岩,中厚层状,硬质岩,节理裂隙发育,含少量砾,局部含水	Ⅳ	节理发育,岩石较完整	Ⅳ	节理发育,岩石较完整	Ⅳ
ZK96 +151 ~177			节理发育,岩石破碎,含水	Ⅲ	岩石破碎,局部拱顶滴水	Ⅲ
ZK96 +177 ~184			节理发育,岩石较完整	Ⅳ	节理发育,岩石较完整	Ⅳ
ZK96 +184 ~191			岩石软弱破碎	Ⅱ	破碎带发育,岩石软弱	Ⅱ

从超前预报与实际施工的地质情况对比分析看,采用 TSP203 探测系统所得预报结果准确,效果明显。

5 结 语

地质超前预报法实际上也是一种地质因素定性分析方法,所不同的是它主要依靠洞室开挖之前的地质勘测资料和超前探测,在地下洞室开挖之前对其安全稳定性进行提早和超前预报,为即将进行的开挖施工技术决策提供依据。该方法是针对地下工程的隐蔽性和预见性的具体特点提出的,具有较大的工程应用价值,应作为地下工程首先开展的安全预报方法。通过对雪峰山隧道进行的掌子面连续跟踪调查,验证其预报结果与施工开挖情况非常吻合。因此,TSP203 探测系统是一种很好的对隧道施工进行长期地质超前预报方法。

[参考文献]

[1] 于宁,朱合华,等公路隧道施工中的地质灾害及相应措施的分析[J]. 地下空间,2003,23(2):119 ~123.

[2] 隧道施工开挖工作面前方不良地质预报[R]. 地质物探试验研究中心,1995.

[3] 隧道施工掌子面前方不良地质地震反射法超前预报研究试验阶段报告[R]. 铁道部第一勘测设计院,1990.

[4] 弹性波反射法在隧道施工超前预报中的应用[R]. 铁道部第一勘测设计院,1997.

[5] 何振起. 隧道施工掌子面前方不良地质预报[M]. 地球物理与中国建设. 北京:地质出版社,1997.34.

[6] 刘志刚,赵勇,等. 隧道施工地质工作方法[J]. 石家庄铁道学院学报. 2000,(4).

[7] 刘志刚隧道地震勘探(TSP)在工程中的应用[J]铁道建筑技术 2001,(5),1 ~3.

[8] 李忠. TSP202 探测系统在新保纳隧道地质超前预报中的应用研究[J]. 地质与勘探,2002,(1):86 ~89.

[9] Shen H M. Experimetal study of electromagnetic missiles[J]. Proc SPIE, 1988,873:339 ~346.

[10] Amberg Measuring Technique Ltd. Operation Manual 19.61[M]. June 2001

[11] Gerd Sattel,et al. Prediction ahead of the Face[J]. Tunnels&Tunneling, April 1996,P24 ~30

[12] Amberg Measuring Technique Ltd. SoftwaveManual 19.62[M]. June 2001

APPLICATION OF TSP203 FOR GEOLOGICAL ADVANCED PREDICTION IN XUE FENG SHAN TUNNEL

HUANG Kan[1,2], Peng Jian - guo[1], DING Guo - hua[2], CHEN Shao - guang[2], GONG Dao - ping[2]

(1. *Colleage of civel Engineering , Central South University, Changsha* 410000;

2. *Hunan Provincial Communications Planning , Survey & Design Institute; ChangSha* 410008)

Abstract: The autor introduces the study of geological advanced prediction as well as the principle , deal with date and explain technique of TSP203 in this paper, and application of TSP203 for geological advanced prediction in XUE FENG SHAN tunnel as well. It is proved that the advanced prediction results are properly with analyze of all kinds of prediction methods, It is showed that geological advanced prediction is very useful in construction of tunnel in the futrue.

Key words: tunnel, TSP203, advanced prediction, deal with date, explain technique