

TST在隧道超前地质预报中的应用

尹培林

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

【摘要】 桃园隧道位于广州增从至从化高速公路中段从化境内, 隧道地质构造复杂, 岩体破碎, 为了确保施工安全, 减少和避免地质灾害的发生, 采用了 TST 技术进行了超前地质预报。应用结果表明 TST 技术采用空间观测系统有效地提高了速度分析精度和构造定位精度, 应用二维滤波技术有效地消除了面波和侧向回波, 保证了预报结果的真实可靠。

【关键词】 TST 技术; 超前预报; 二维滤波; 隧道

【中图分类号】 U212.22

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001-6864(2011)02-0098-03

APPLICATION OF TST APPROACH TO THE ADVANCED GEOLOGICAL PREDICTION FOR TUNNEL

YIN Peilin

(School of Civil Engineering and Transportation, South China Univ. of Tech.,
Guangzhou 510640, China)

Abstract Taoyuan tunnel is located in the middle of Zengcheng-Conghua expressway in Conghua, the geological structure of the Taoyuan Tunnel is complex and the rock is fragmented. Therefore, to insure the safety of the construction and to eliminate geological hazard, the advanced prediction technology of TST is applied. And many applications have shown that TST could guarantee the reliability of the prediction through the use of spatial observation and F-K filtering technology. The spatial observation can effectively improve the precision of the velocity analysis and structure location. And the F-K filtering of TST can eliminate the surface wave and lateral echo wave.

Key words TST approach; advanced prediction; 2-D filtering; tunnel

隧道工程作为一种地质工程, 隧道设计和施工前的工程地质勘察, 虽然在一定程度上对隧道的地质状况进行了预测和预报, 但由于岩体的复杂性, 勘察资料与隧道开挖后的实际情况可能会有较大的出入。正由于勘察资料无法完全准确反映施工掌子面前方的地质条件, 施工带有很大盲目性, 由于开挖而诱发的各类地质灾害具有不可选择性、复杂性、特殊性及突发性, 因而常常成为制约隧道修建的最主要因素。因此, 隧道施工地质超前预报是隧道施工过程中必不可少的一个十分重要的环节。

1 TST 技术原理

1.1 超前地质预报方法的选择

隧道地质超前预报分为地质方法和地球物理方法, 地质方法包括地质素描、超前地质钻孔等, 超前地质钻孔一般由施工单位实施, 预报距离大概在 5~10m, 适合短距离预报。地球物理方法包括地震法、电磁法等, 电磁法更适合中短距离的对工程重点部位进

行探测预报, 是一种超前地质预报的辅助措施, 目前超前地质预报以地震反射波法为主。地震法中包括 TSP、TGP、TRT、TST 等各种方法, 其中前三个基于反射理论, 90年代初开始使用 TSP 法, 近年来发现该方法存在主观臆造成分, 如用各个方向的回波当成掌子面正前方的回波, 人工指定围岩速度等, 预报不准确。近几年国外提出的 TRT 法, 对斜交地质体有误判和漏判。国内的 TGP 法与 TSP 是相似的, 缺陷是不能区分不同方向的地震回波, 不能准确地确定掌子面前方围岩的波速, 不能正确地进行纵横波分离等问题, 影响到预报的可靠性和准确性。而 TST 法则是基于逆散射理论, 逆散射理论之所以更好一方面是因为反射理论的适用于反射面远大于波长的情况, 但是在隧道的狭小观测空间内, 反射面通常小于波长, 因为波长通常有几米到十几米; 其次, 反射理论约定反射角等于入射角, 对于斜交断层接收不到反射波, 必然会漏报。而使用逆散射理论, 在界面尺度远小于波长时使用瑞利散

射理论。散射理论中散射波是方向分布,在很广的范围内都可以收到,不会漏掉斜交构造和孤立体。散射理论具有普遍性,反射理论仅是散射面无穷大时的一种特殊情况,散射理论具有更高的分辨率。另一方面,反射与散射理论对于地震记录的理解是截然不同的。反射理论认为地震记录是发射点与接收点中间剖面的反射,而散射理论认为地震记录是发射点与接收点间椭圆面内散射信号的等时程叠加,散射理论与反射理论的资料处理方法是不同的,而以射线为基本单元,用叠加能量最大化原理确定扫描速度,用偏移成像作为主要处理方法。偏移成像是先进的地震资料处理技术,可以充分运用地震资料的运动学和动力学信息,特别适合于散射理论应用。应该引起注意的是偏移成像技术需要提供准确的速度分布和真实的回波资料,才能保证偏移成像位置的可靠性,而 TSP203、TGP206 不能提供可靠的波速,因而偏移图像位置不真实。TST 技术在准确的速度和滤除干扰波的条件下进行偏移成像,同时获得地质构造的偏移图像和围岩波速分布图像,保证预报的准确。

1.2 TST 技术的特点

TST 技术基于地震散射场理论,观测系统采用空间布置方式,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,并由地震检波器同步接收。隧道是一个处于山体等庞大的地质体内部,当在隧道侧壁围岩中激发地震波后,在其中激发的弹性波会向四面八方传播,检波器接收到的回波也来至前后、上下、左右各个方向,特别是浅埋隧道地表的反射比前方地质构造的反射还要强。在进行超前预报时应该首先滤除上下、左右的侧向波和隧道面波、直达波,只保留掌子面前方的回波,才能保证超前预报的真实性和可靠性,避免虚报误报。检波器每个分量所接收到的波是不同方向回波的纵波和横波在该分量上投影的叠加,纵横波的分离不能依靠检波器的不同分量进行。TST 技术采用 F-K 和 T-P 变换进行波场识别与分离,利用不同方向回波视速度不同的特点,在独特的二维阵列式观测系统基础上,通过方向滤波算法,能够有效滤除侧向、顶板、底板、面波等干扰,只保留掌子面前方回波,使预报结果只是针对掌子面的前方,保证了预报结果的真实可靠,避免了虚报误报,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。散射信号的传播时间与散射界面的距离成正比,因此在准确获得围岩波速的情况下,能作为地质体位置的直接测量方法。

1.3 桃园隧道的工程概况及 TST 观测系统

桃园 1 号隧道为上、下行分离的四车道高速公路

隧道,位于增从高速公路第 10 合同段,隧道地理位置位于广州市从化市温泉镇桃园中田村,呈 $323^{\circ} \sim 327^{\circ}$ 方向横穿桃园山,止于从化市温泉镇桃园螺洞村螺洞庙。桃园 1 号隧道起桩号为 ZK54+918~ZK55+373 全长 455m,隧道沿线地貌单元为构造剥蚀丘陵地貌,海拔高度一般为 91.2~211.2m,相对高差坡度较陡,进口 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 为主,出口 30° 为主。区内植被较发育,水土保持较好。下伏基岩主要为侏罗系(J3)凝灰岩,进、出口小溪水位均低于隧道底标高。根据工程地质调绘、钻探及室内实验结果,主要有第四系破残积层及下伏基岩凝灰岩,破残积层主要发育于山体上部,厚度变化较大,基岩为侏罗系(J3)凝灰岩。桃园 1 号隧道围岩以 IV 级为主,洞身围岩为中风化凝灰岩,岩体较破碎,呈镶嵌碎裂结构。

本次预报掌子面处为强风化凝灰岩,岩石风化强烈,岩芯呈半岩半土状、碎块状,遇水易软化、崩解,部分碎块硅化较强,夹中风化岩块。本次超前地质预报的掌子面桩号为 YK55+16Q 隧道采用上下台阶法开挖,围岩为微~中风化凝灰岩,局部为微风化凝灰岩,稳定性较差,节理裂隙较发育,掌子面局部渗水,设计围岩级别为 IV 级。使用的 TST 系统硬件主要由地震信号采集器、地震信号分离器、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采用了重庆地质仪器厂生产的 DZQ48 型高分辨地震仪,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,详见 TST 系统硬件组成如图 1 所示。

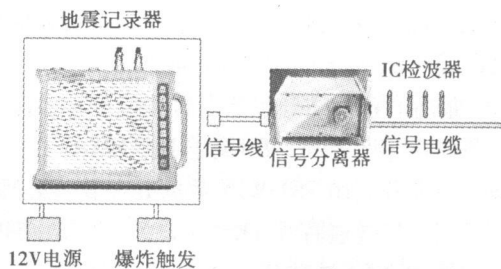


图1 TST系统硬件组成

TST 采用阵列观测方式,检波器和炮点布置在一个平面内,纵横分布成阵列,外业工作时,现场观测系统的布置如下:①检波器 12 个,布置在两侧壁内,每侧 6 个,间距 4.0m,埋深 2m,且 S6 和 S7 应尽量靠近掌子面;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 4m,其余 2 个间距 24.0m,埋深 1.8~2.0m,炸药量 400g 这 6 个震源应不能浅于 1.8m,否则可能破坏隧道初支。③成孔采用直径 50mm 风钻成孔,成孔后置入直径 45mm 的 PVC 管道,

防止塌孔;单发毫秒电雷管,采用启爆器控制启爆。④采用炮泥耦合和封堵,详见图 2

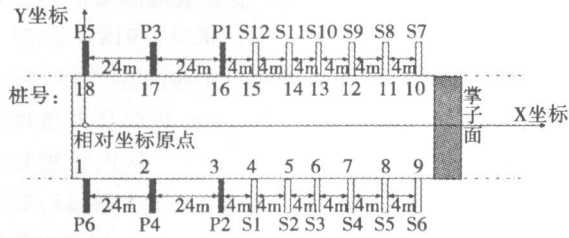


图2 TST激发与接收方式

具体方法如下:根据地质构造的走向情况,在隧道的左、右两侧边墙激发地震波,同时在隧道的两侧边墙布置 12个检波器(地震加速度传感器)接收,采集数据时,检波器只接收来自掌子面前方纵波分量和横向的剪切波分量的混合波,采用方向滤波算法滤除横向剪切波,只保留来自掌子面前方纵波分量,采样间隔可设置为 62.5μs 记录长度设置为 451.125ms(7218个采样数),以保证采集到更高频率的地震信号,确保探测的分辨率,最大预报距离为 150~200m。

2 桃园隧道 TST 超前预报结果及地质解释

TST 超前预报技术能有效地进行三维波场识别和消除侧向回波和面波,能准确地确定围岩波速分布,保证偏移图像的真实可靠,这是该技术最突出的特点。TST 系统数据处理过程主要包括: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、地震波场方向滤波、围岩波速分析、地质体偏移成像、综合地质解释等工作,具体实现过程通过数据处理软件系统 TSTWIN 完成。其中最关键的技术是围岩波速分析、波场的三维识别与方向滤波和构造偏移成像三部分,这也是 TST 技术优于其他超前地质预报方法的核心部分。最后的预报结果包括围岩波速分布和深度偏移图像两部分,相互印证,便于综合地质解释。

按上述流程利用 TSTWIN 数据处理软件处理后,可得到桃园 1号隧道右线 YK55+160~YK55+310地质体偏移图像、围岩波速分布图分别见图 3图 4

TST 的波速与偏移图像的地质解释遵从如下原理,波速图像中的横坐标表示预报里程,纵坐标为波速大小。围岩波速的分布表征了掌子面前方岩体的力学性状的变化,波速高表示岩体结构完整致密,弹性模量高;波速低代表岩体破碎,裂隙发育。构造偏移图像横坐标为里程,纵坐标为距隧道轴线的水平距离。偏移图像展现地质结构的特征和地层性质的变化。蓝色条纹表示岩体由硬变软的界面,红色条纹表示由软变硬的界面,蓝-红-蓝组合表明存在断裂或不良地质构造带。对岩体含水性的预报要结合水文地质资料,如果隧道标高在地下水位之下,则可判定断裂带和破

碎岩体富含地下水,如果隧道标高在地下水位之上,则断裂带和破碎岩体仅可能含少量水或季节性含水。

利用上述地质预报成果图并结合地质资料分析,可得出如下预报结果:桃园 1号隧道右线 YK55+160~YK55+310段的地质情况分为 3段,第 1段从 YK55+160到 YK55+212 围岩波速稍低,推测围岩为中~微风化凝灰岩,局部有渗水,裂隙较发育,局部岩体较破碎,未发现明显赋水现象,稳定性和完整性稍差;第 2段从 YK55+212到 YK55+272 围岩波速稍高,推测为中风化凝灰岩,局部为微风化凝灰岩,局部有渗水。

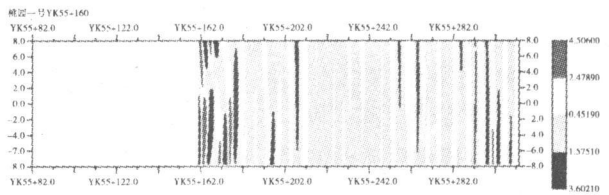


图3 地质偏移图像

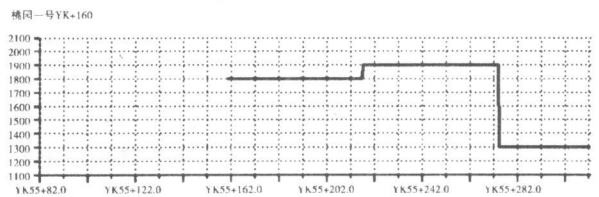


图4 围岩波速分布图

第 3段从 YK55+272到 YK55+310 围岩波速较低,推测为全~强风化凝灰岩,岩体裂隙发育,稳定性和完整性较差。在 YK55+302附近存在蓝红蓝组合,表明围岩情况较差,为全~强风化凝灰岩交界面,存在断裂带或破碎带的可能性较大,稳定性和完整性较差,应注意施工质量岩体裂隙发育。

3 结语

本次预报采用了 TST 技术对隧道前方地质情况进行了探测和预报,对岩石破碎地带、节理裂隙发育及岩石风化状况进行了判定,预报结果和开挖实际情况基本一致,为施工方超前支护及安全施工起到了良好的技术指导。

参考文献

[1] 谯勉江,莫裕科,刘洪炼,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

[2] 赵永贵,蒋辉. 隧道地质超前地质预报技术现状分析与新进展 [J]. 公路隧道, 2010(1): 1-7

[3] 曾昭璜. 隧道地震反射法超前预报 [J]. 地球物理学报, 1994, 37(2): 218-230.

[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

粉喷桩技术在加固松软土地基中应用

张延杰, 王旭, 蒋代军, 王宇泉

(兰州交通大学土木工程学院, 兰州 730070)

【摘要】 兰渝高速铁路在陇南车站的站场工程, 路基要通过松软土地基。由于松软土地基天然承载力低, 采用了粉喷桩复合地基进行处理。通过现场粉喷桩单桩复合地基静载试验, 确定复合地基承载力, 推算复合地基复合模量, 并对该种地基处理方法进行评述, 为粉喷桩在松软土地基中的应用积累了工程经验。

【关键词】 松软土; 粉喷桩复合地基; 静载荷试验; 承载特性

【中图分类号】 TU 472

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001-6864(2011)02-0101-03

APPLICATION OF D/M PILE IN REINFORCEMENT OF LOOSE SOFT SOIL FOUNDATION

ZHANG Yan-jie, WANG Xu, JIANG Da-jun, WANG Yu-quan

(College of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong Univ., Lanzhou 730070, China)

Abstract The subgrade in Longnan station of Lanzhou-Chongqing high-speed railway is constructed on loose soft soil. Due to lack of bearing capacity, the dry-cement jet mixing piles are used in the foundation treatment of loose soft soil. Through the in-situ test for single D/M pile composite foundation, the static loading, the bearing capacity of the composite foundation is defined, the composite modulus is also calculated, and the foundation treatment method is discussed to provide references for similar project.

Key words loose soft soil, D/M pile composite foundation, static loading test, bearing performance

粉喷桩是加固饱和软粘土地基的一种成熟方法, 是利用水泥、石灰等材料作为固化剂的主剂, 通过特制的深层搅拌机械, 在地基中就将原状软弱土和固化剂(粉体状)强制搅拌, 利用固化剂和土体之间产生的一系列物理—化学反应, 形成一种半刚性的桩体。桩体与桩间土通过一褥垫层共同承受上部荷载, 组成复合地基^[1,2]。

在新建的兰渝高速铁路陇南车站站场工程, 路基基底潮湿, 黄土饱和度一般在 60% ~ 80% 之间, 处理比较困难, 常用的处理方法有振冲法、素混凝土挤密桩法和旋喷桩法等。设计采用先进的粉喷桩处理, 桩体固化剂为 P042.5 普通硅酸盐水泥, 水泥掺量为 17%。粉喷桩桩径为 0.5m, 桩间距分别为 1.4、1.6m, 桩长为 5、8、10m, 桩位布置方式为正三角形。处理后地基承载力不低于 180kPa。

1 地质条件

工点范围内地层为第四系全新统洪积砂质黄土、细角砾土, 第三系冲积砂质黄土、细角砾土、粗角砾土。岩性特征详述如下。

1.1 第四系全新统 (Q_4)

(1) 砂质黄土 (Q_4^{pl3}): 分布于上郭家沟泥石流堆积区后缘、新庄村, 上郭家前泥石流堆积区较薄, 厚约 6~9m, 新庄村附近土层较厚, 约 10~15m。棕黄色, 成分以粉粒为主, 土质不均, 有小砾石零星分布, 针状孔隙发育。黏性差。稍密—中密, 稍湿—潮湿。II 级普通土, $\sigma_0 = 120\text{kPa}$ 具 II 级自重湿陷性, 为松软土。

(2) 细角砾土 (Q_4^{pl6}): 主要分布于上郭家沟沟心、王家沟泥石流洪积扇, 沟心厚约 5~7m, 洪积扇细角砾土厚度大于 20m。灰黄色, 成分以千枚岩、灰岩为主, 颗粒磨圆度差, 呈棱角状或尖棱状, 分选一般, 粒径 2~20mm 的约占 50~60%, 大于 20mm 的约占 10%, 余为砂土充填。稍密—中密, 潮湿, 水位以下饱和。 σ_0

预报中的应用 [J]. 工程勘察, 2010 (7): 89-94

[5] 何振起, 李海, 梁彦忠. 利用地震反射法进行隧道施工地质超前预报 [J]. 铁道工程学报, 2000 (4): 81-85

[收稿日期] 2010-09-20

[作者简介] 尹培林 (1986-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 从事隧道工程设计理论研究等工作。