

基于动态围岩分类的高速公路 隧道围岩稳定性评价方法

刘宝许 乔兰 李长洪

北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083

摘要 针对高速公路隧道工程施工的特点, 基于动态化的围岩分类, 采用多种方法对隧道围岩进行地质跟踪调查与预测. 通过综合分析和优化处理上述信息, 从而对公路隧道动态稳定性进行评价, 为高速公路隧道工程稳定状况的评判提供了一种简单易行的方法.

关键词 动态分类; 围岩稳定; 高速公路; 隧道; 地质雷达

分类号 U452.1*2

隧道工程在施工过程中导致工程失稳是一个复杂的系统工程, 它是一个由多种介质组成的高度复杂的动态系统. 隧道稳定性呈现出一个随时间演化发展的动态过程, 该动态行为受到各种因素的共同作用, 众多因素耦合在一起; 在隧道稳定性的动态演化中这些因素的重要程度会随施工的进行时刻发生转化, 并且相互影响、相互作用, 因而很难用数学方法进行准确的描述^[1-4]. 隧道工程施工过程和运行期间的稳定性目前都有相应的评价方法, 但多是基于经验和定性评价. 鉴于高速公路隧道工程施工过程中的复杂性及使用标准的差异, 应该寻求一种对隧道系统动态行为进行描述的定量评价方法, 以确保隧道支护结构体系在施工和运行过程中的稳定性. 基于动态围岩分类的公路隧道稳定性评价, 就是在隧道施工过程中现场测定影响隧道稳定性的各种因素, 并将这些信息动态优化集成, 进而评价隧道工程的稳定性^[5-8].

1 工程概况

隧道位于京承高速公路承德段, 为上下行分离式隧道. 隧道路线经过区域地势北高南低, 高程 323~659 m, 最大相对高差 236 m, 斜坡坡度较

陡, 山间有“V”型侵蚀冲沟. 工作区范围内及勘探深度内地层主要有厚层石英粗面质熔结角砾凝灰岩、石英粗面质角砾凝灰岩夹中厚层石英岩组成, 土层主要为坡积土和山间冲沟洪积土. 工作区的地质构造发育, 其断裂走向为北东—南西为主; 由于受到附近古火山群的影响, 工作区中环状小断裂发育. 工作区地下水位埋藏较深, 约为 6.4~78.2 m, 水位沿隧道方向呈中间高两边地形势. 隧道岩块物理力学指标为: 石英粗面质角砾凝灰岩, 天然密度 2.565 g/cm³, 吸水率 2%, 单轴饱和抗压强度 22.3 MPa, 软化系数 0.52, 纵波速度 2 700 m/s, 饱和抗剪强度 11 MPa, 内摩擦角 ϕ 为 35°; 石英粗面质角砾熔结凝灰岩, 天然密度 2.593 g/cm³, 吸水率 1.4%, 单轴饱和抗压强度 83 MPa, 软化系数 0.98, 纵波速度 4 230 m/s, 饱和抗剪强度 21 MPa, 内摩擦角 ϕ 为 31°.

2 隧道围岩类型与隧道设计概况

2.1 隧道围岩类型

京承高速公路的隧道工程由河北省交通规划设计院勘察完成, 依据《公路隧道设计规范》、《公路工程地质勘察规程》、《公路隧道勘测规程》^[9,10], 结合工程地质测绘、钻探和物探勘测结果, 隧道围岩分为三类, 其中 II 类围岩 320 m, III 类围岩 2 175 m, IV 类围岩 1 220 m, 隧道左右幅合计总长 3 175 m.

收稿日期: 2004-04-29 修回日期: 2004-07-12

基金项目: 国家自然科学基金(No.50074002)

作者简介: 刘宝许(1975—), 男, 博士研究生

2.2 隧道设计与施工方案

隧道采用“新奥法”原理设计,施工中应尽量减少对围岩的扰动破坏程度,充分发挥围岩的自承能力.隧道采用复合式衬砌,以锚杆加固、挂钢筋网、喷混凝土、格栅钢架支撑等为初期支护,模筑混凝土或钢筋混凝土为二次支护,并在两层衬砌之间铺设防水板.隧道开挖轮廓预留变形量为:II类围岩 15 cm,III类围岩 10 cm,IV类围岩 7 cm.隧道净宽 12.25 m,断面采用曲墙带仰拱断面形式(II、III类围岩带仰拱,IV类围岩不带仰拱),曲墙与顶拱为同一半径,半径为 6.35 m,仰拱半径为 13.25 m.隧道处于基本烈度 6 度地震区,按烈度 7 度地震区设防,隧道衬砌结构采用曲墙喷锚带仰拱的复合式衬砌^[11].

3 现场地质跟踪调查

3.1 围岩综合信息的现场测试与核定

施工隧道工作过程中,钻孔、爆破、掘进、出渣、喷锚、初期支护等工序交替循环进行,在现场实验隧道施工地质调查中课题组采用了一些快速、简明的辅助性测试手段^[12-15],这有利于迅速判定当前隧道掘进周期内围岩类别的真实情况.

(1)现场采用便于操作的点荷载仪,系统测定围岩的点荷载强度和回弹值,进而快速求得岩石的抗拉和抗压强度等数据,用于量化判定岩石强度等级.

(2)现场测定洞壁岩石质量指标(RQD).借鉴黄润秋教授^[14,15]的做法:在洞壁施测的若干典型节理网路图(2m×2m)内每隔 10°引出一条测线作为假想的钻孔轴线,由这些轴线上节理发育情况,就可以计算分割出长度大于 10 cm 的岩块与测线总长度之比值作为反映岩体质量好坏的 RQD 值;根据上述原理计算出每条测线的 RQD 值后,就可以求得所有测线的平均 RQD,从而得到综合反映测点岩体结构的“测网 RQD”.

(3)现场测定洞壁体积节理数 J_v ,用于量化评价节理裂隙发育程度和构造影响程度.Palmstrom 认为 $J_v = \sum \frac{1}{d} + \frac{N_r}{5}$,式中 d 为第 i 组节理裂隙间距,m, N_r 为随机节理裂隙数. J_v 与 RQD 的关系为 $RQD = 115 - 3.3J_v$.

(4)现场量测隧道地下水流量,用于判断地下水对隧道围岩稳定性的影响程度.需要测量每 10 m 长隧道涌水量以及节理水压力与最大主应力

的比值,通过这两个指标来评价地下水条件对隧道围岩稳定性的影响程度.

(5)现场确定开挖周期内岩体隧道开挖质量指标 Q ,用于量化评价隧道的稳定性.指标 Q 的数值按下式确定:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_c}{J_r} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

式中, J_n 为节理组数, J_c 为节理粗糙度系数, J_r 为节理蚀变影响系数, J_w 节理水折减系数.

3.2 地质雷达探测

为了对隧道围岩情况做出全面准确的了解,现场应用美国 GSSI 公司生产的 SIR-2 型地质雷达系统对实验隧道围岩进行地质雷达探测.地质雷达技术运用了瞬态电磁场的基本原理,地质雷达利用高频电磁波以宽频带短脉冲形式,由地面通过天线发射纳秒级宽频域无载波窄脉冲,通过在时域上接收雷达的散射及被测目标的反射信号区分不同的介质层面,以精确标定不同层面物质的深度,并可有效地探测出埋藏在介质中不同于周围介电常数的洞穴、裂隙、断层、软地层等目标^[16,17].

本次地质雷达探测目的是探测出掌子面前方 20m 范围内岩石的破碎程度及节理裂隙、断层发育及含水量等情况,将现场获取的围岩综合信息和地质雷达探测结果综合对比分析,对结果进行优化,在此基础上做出隧道围岩的动态分类,从而达到围岩稳定性动态评价的目的.地质雷达探测采用了 100 MHz 探测天线,对所探测地质体垂向探测最大解释深度为 15 m,推测深度为 25 m.从实测剖面图上看,岩石中反射波的能量对比适中,异常反映较清晰,剖面图像可作为记录时间、速度判层的依据,从而推断出隧道掘进工作面前方 20 m 以内岩体中不良地质体变化的规律.

图 1 是节理裂隙和岩层层面较发育的雷达波.其波形主要特征:断层界面反射强烈,反射面附近波幅显著增强,反射波的同相轴错断,破碎面上反射波高频部分衰减很快.经开挖后证实,掌子面前方有数条小断层切割隧道,节理发育、岩石破碎.图 2 是掌子面前方有较多裂隙水的雷达波,图 3 是掌子面前方有断层破碎带的雷达波,图 4 是掌子面前方有松散体和间歇性空洞存在的雷达波,这些情况经后来实际开挖后均得到了证实.利用探测雷达波的成果指导施工方及时采取相应的对策,多次避免了险情发生.

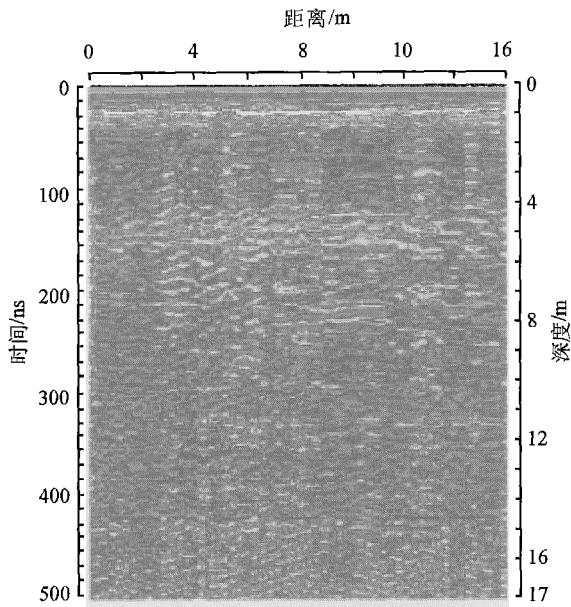


图1 节理裂隙、岩层层面发育的雷达波

Fig.1 Radar wave of the joint developed intensively and the terrain developed in the heading face ahead

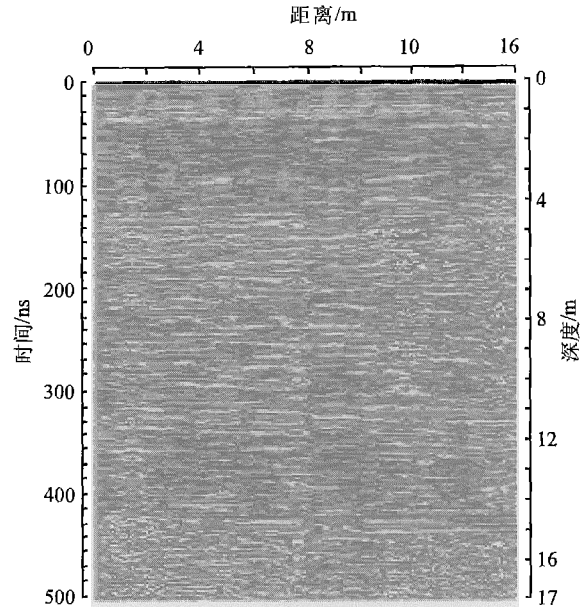


图2 有裂隙含水区的雷达波

Fig.2 Radar wave of the water zone in the heading face ahead

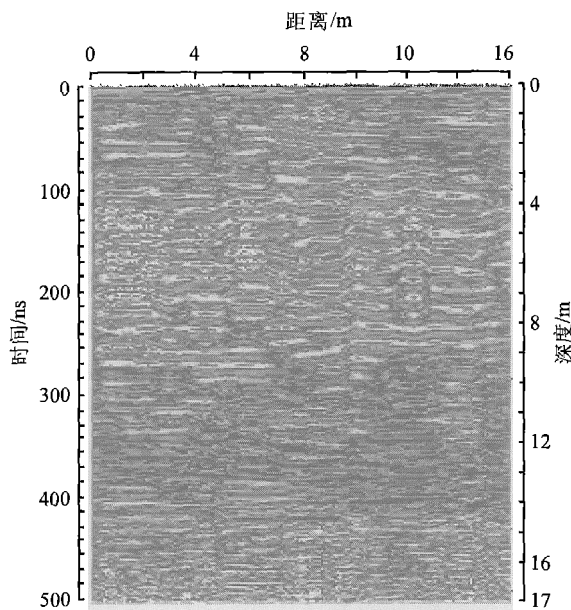


图3 掌子面前方有断层破碎带的雷达波

Fig.3 Radar wave of the fault fracture zone in the heading face ahead

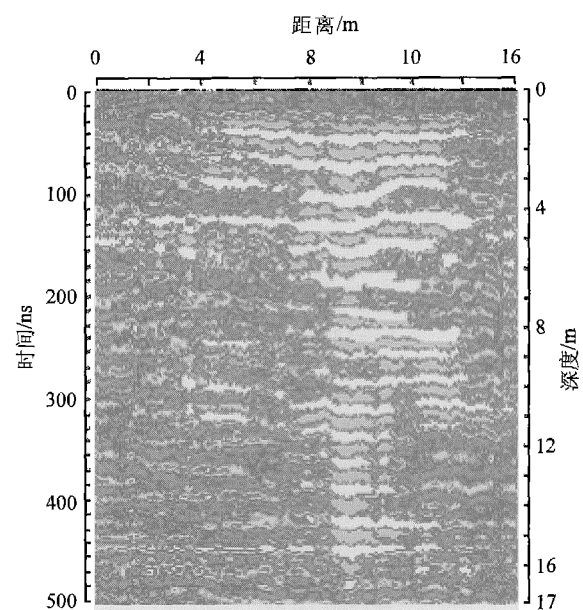


图4 掌子面前方有松散体和间歇性空洞存在的雷达波

Fig.4 Radar wave of the intermittent cave in the heading face ahead

4 基于动态围岩分类的隧道稳定性评价

在京承高速公路某隧道中按前述方法现场及时地对各回次掘进后隧道展开地质跟踪与核实工作,对隧道围岩的类别作了动态划分,施工阶段隧道围岩类别重新划分结果见下表1.

从表1中可以看出,隧道施工阶段围岩类别测定结果与原来勘查设计部门的预测结果相比

有较大出入,施工阶段测定的稳定性较差的II类围岩由原来所占的8.7%降为3.8%,III类围岩由原来

表1 隧道围岩类别划分对比表

Table 1 CoMParison of Rock Surrounding Sort

围岩类别	勘查设计阶段		实际施工阶段	
	长度/m	比例/%	长度/m	比例/%
II	320	8.7	140	3.8
III	2 175	58.5	680	18.3
IV	1 220	32.8	1 935	52.1
V	0	0	960	25.8

来所占的58.5%降为18.3%,稳定性较好的IV类围岩由原来的32.8%上升为52.1%,而原设计没有V类围岩,经过现场测定V类围岩实际应该占25.8%。从以上可以得出,实际施工过程中隧道的围岩稳定性总体上比勘察、设计阶段所预测的情况要好得多,勘察设计阶段II,III类等围岩稳定性比较差的隧道长度占总长度的67.2%,经过现场实际测定后这一比例下降到22.1%,而IV,V隧道围岩稳定性比较好的隧道长度由32.8%上升到77.9%。

5 结论

(1) 通过现场围岩类别的动态测定来复核原来围岩的设计类别,并把测定结果(信息)反馈到设计中,从而进一步修改和完善原设计的支护参数,并进而指导后续的施工,这样使得设计和施工更符合或接近现场实际,也能够适应多变的地质条件和各种不同的施工条件。

(2) 将围岩类别跟踪调研测试结果及时、迅速地反馈给业主、施工、监理单位和现场设计代表,以便达成共识和及时调整与优化施工方案,提高了效率。由于及时掌握了围岩的动态,并采取相应的措施,从而大大减少了灾害事故发生率及工程返工时间。

(3) 在隧道施工和支护工程中,及时地掌握了围岩的真实状态,了解了围岩的松弛范围,能够客观、真实为隧道围岩的稳定性做出综合评价。

(4) 对隧道工程施工进行动态围岩类别的测定,使隧道工程的设计和施工运作纳入科学的动态管理中,使隧道工程始终处于良好的运行状态,确保地下工程的顺利实施,以保证高水平、高

质量的完成隧道工程施工。

参 考 文 献

- [1] 张勇,华安增.基于信息扩散理论的隧道系统动态稳定性分析.中国矿业大学学报,2003,32(3):263
- [2] 刘占魁,刘宝许.隧道工程监控技术与位移反分析测点优化布置.包头钢铁学院学报,2002,13(1):1
- [3] 干昆蓉.地下工程围岩稳定性分析方法存在的问题与思考.现代隧道技术,2003,40(6):16
- [4] 吴梦军,陈彰贵,许锡宾,等.公路隧道围岩稳定性研究现状与展望.重庆交通学院学报,2003,22(2):24
- [5] 张勇,张子新,华安增.高速公路隧道的围岩变形特性.中南公路工程,2001,26(3):12
- [6] 赵玉光.地下工程开挖与支护安全监控量测及地质灾害动态预测与防治.中国地质灾害与预防学报,2001,12(3):36
- [7] 朱合华,丁文其.地下结构施工过程的动态仿真模拟分析.岩石力学与工程学报,1999,18(5):558
- [8] 靳小光,王兰生,卫宏.公路隧道围岩变形监测及其应用.中国地质灾害与防治学报,2000,12(1):19
- [9] JTJ 026—90,公路隧道设计规范.北京:人民交通出版社,1990.52
- [10] TB 10003—2001 铁路隧道设计规范.北京:中国铁道出版社,2001.10
- [11] 河北省交通规划设计院.京承高速公路工程地质勘察报告.2003.15
- [12] Hoek E, Brown E T. 岩石地下工程.连志升,译.北京:冶金出版社,1986.35
- [13] 蔡美锋,何满朝,刘东燕.岩石力学与工程.北京:科学出版社,2002.180
- [14] 黄润秋.长江三峡工程大跨度地下厂房围岩稳定性研究报告.1999.31
- [15] 黄润秋,陈尚桥,黄家渝,等.重庆市浅埋地下洞室安全顶板厚度研究.工程地质学报,1998,6(2):120
- [16] 吴俊,毛海河,应松.地质雷达在公路隧道短期地质超前预报中的应用.岩土力学,2003,24(1):154
- [17] 高才坤,郭士明.采用地质雷达进行隧道掌子面前方地质情况预报.水力发电,2000(3):11

Evaluation method of engineering construction stability for expressway tunnels based on dynamic classification of wall rock

LIU Baoxu, QIAO Lan, LI Changhong

Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology, Beijing, 100083, china

ABSTRACT According to the engineering construction characteristic of freeway tunnels, some methods were adopted to investigate and predict the geological condition of tunnel wall rock on the basis of dynamic wall rock classification. The information obtained by these methods was integratively analyzed and optimized so as to evaluate the dynamic stability of expressway tunnels. The results of practical application show that this evaluation method is simple and effective.

KEY WORDS dynamic classification; rock surrounding stability; expressway tunnel; ground probing radar