

2008年全国隧道监控量测与反分析专题研讨会

论文集

中国公路学会隧道工程分会
中国土木工程学会隧道及地下工程分会
中国岩石力学与工程学会地下工程分会 编



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

2008 年全国隧道监控量测与 反分析专题研讨会 论文集

中国公路学会隧道工程分会
中国土木工程学会隧道及地下工程分会 编
中国岩石力学与工程学会地下工程分会

重庆交通科研设计院
国家山区公路工程技術研究中心 承办
《公路交通技术》杂志

中铁隧道集团有限公司
辽宁丹东前阳工程测试仪器厂 协办
江苏海岩工程材料仪器有限公司
隧道建设与养护技术交通行业重点实验室

重庆大学出版社

内 容 提 要

本论文集为2008年隧道监控量测与反分析专题研讨会论文集。该论文集共收录论文49篇,内容涉及隧道围岩稳定性研究与分析,隧道现场监控量测技术及数据分析,隧道反分析数值计算及工程应用,地质超前预报等。本论文集可供从事隧道施工、管理的技术人员及有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2008年全国隧道监控量测与反分析专题研讨会论文集/
中国公路学会隧道工程分会,中国土木工程学会隧道及
地下工程分会,中国岩石力学与工程学会地下工程分会
编. —重庆:重庆大学出版社,2008. 10
ISBN 978-7-5624-4662-0

I. 2… II. ①中…②中…③中… III. 隧道工程—工程
技术—学术会议—文集 IV. U45-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第153111号

2008年全国隧道监控量测与反分析专题研讨会论文集

中国公路学会隧道工程分会
中国土木工程学会隧道及地下工程分会 编
中国岩石力学与工程学会地下工程分会
责任编辑:刘颖果 贾兴文 版式设计:刘颖果
责任校对:夏宇 责任印制:赵晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:张鸽盛
社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内
邮编:400030
电话:(023) 65102378 65105781
传真:(023) 65103686 65105565
网址:<http://www.cqup.com.cn>
邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)
全国新华书店经销
自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1792 1/16 印张:19.5 字数:487千
2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷
印数:1—700
ISBN 978-7-5624-4662-0 定价:70.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

目 录

大断面隧道施工稳定性研究及其应用	旷文涛 漆泰岳 周 捷 吴占瑞(1)
分离式隧道围岩变形特征分析与探讨	靳晓光(6)
模糊综合评判法在隧道施工灾害中的应用	梁 波 吴连波(14)
基于 MATLAB 的隧道变形小波神经网络预测系统设计	管秋兰 李元海 林 志(22)
既有线下八达岭过境线隧道施工数值模拟分析	高文学 赵 鑫 张 羽 王晓宏 揭庆芳(29)
盾构隧道施工穿越既有线三维数值模拟	张飞进(34)
近接隧道施工工序优化的数值模拟研究	刘传利 漆泰岳 谭代明 琚国全(39)
龙头山大跨度公路隧道动态施工围岩稳定性数值分析	李 军 刘 瑞 侯庆军(43)
隧道拱顶存在脱空的数值分析	关淑萍 李江林(49)
隧道设计中数值方法的思考	王建宇(56)
扁平特大断面公路隧道结构支护参数优化探讨	黄成造 严宗雪 骆 晓 周丁恒(64)
隧道损伤围岩的蠕变特性研究	黄湖星 徐林生(71)
后云台山隧道围岩力学试验研究	李 浩 徐永福 张志泉(75)
八达岭过境线隧道洞口段施工监测技术与分析	赵 鑫 高文学 张 羽 王晓宏 揭庆芳(82)
某小净距隧道的现场监控量测与分析	韩友续 王永刚 李 华 王者超(87)
小净距隧道爆破振动监控量测技术研究	田志宇 李玉文 李海清 王 联(93)
某隧道地表沉降监控量测实例分析	王运金 彭爱红 涂久根(100)
八字岭分岔隧道设计施工优化与现场监测研究	王汉鹏 张庆松 李术才(106)
长冲隧道台阶法施工的现场监控量测研究	王 震 徐林生(111)
基于监控量测技术实现马金岭隧道的动态设计与施工	张 胜 刘志楠(115)
三线并行盾构隧道施工影响现场监测研究	韦良文 陈越峰 张庆贺(121)
财神梁隧道不同开挖方法下的围岩变形监测与稳定性研究	陈 松 徐林生 史爱民(127)
通透肋式异型结构龙瀑隧道的监控量测技术	张 胜 刘志楠(131)
锦屏水电辅助洞施工监测技术	刘光福(138)
明月峡公路隧道下穿拱桥桥台的施工设计及监控量测	李泳伸(146)
八字岭分岔隧道锚杆轴力现场监控量测与分析	周 峰 郭小红 刘继国(152)
黄土隧道中取消系统锚杆的现场试验研究	陈建勋 姜久纯 王梦恕(162)

- 隧道洞内地质观察方法及应用技术探讨 万 利 杨仲尼 丁 琦 张长安(170)
- 特殊地形条件下公路隧道施工的过程分析 张志刚 蒋勇军 刘洪洲 王廷伯(174)
- 隧道变形监测信息处理方法综述 靳晓光 黄 亮(179)
- 隧道实现动态反馈设计与信息化施工基础条件探讨 李志厚 陈树汪 雷 华(190)
- 考虑松动圈的卡尔曼滤波与有限元耦合反分析法在围岩稳定性分析中的应用
..... 蔡志伟 蒋树屏 李星平 张长亮(196)
- 粘弹性动态增量反分析在隧道工程中的应用 刘学增 俞文生 苏京伟(201)
- 位移增量反演分析法在隧道工程中的运用 谢 锋 秦 峰 林 志 陈少华(206)
- 小净距隧道位移反分析与探讨 靳晓光 秦 峰 陈少华(212)
- 基于现场监控量测的隧道围岩分级方法及其在猫儿岭隧道中的应用
..... 张长亮 蒋树屏 蔡志伟 李星平(217)
- 基于边界元法的位移反分析在关山隧道中的应用 景 韧 王永刚 唐学军(226)
- 公路隧道施工安全监测可视化信息系统分析与设计 林 志 李元海 刘庆方(231)
- 隧道施工监控量测信息管理软件开发研究 李星平 蒋树屏 秦之富(236)
- 公路隧道施工监控量测中几个问题的探讨 陈建勋 胡 健(242)
- 济晋高速公路隧道监测的组织与管理 王玉文 邱自萍 谢永利 李宁军(248)
- 基于数字电台的无线遥测系统在棚洞工程监测中的运用 孙建国(253)
- 巴赛特测斜仪技术在隧道轮廓变形监测中的应用 闫超平 杨家松 陈寿根(257)
- 公路隧道施工超前地质预报方法探讨 王连成 钟 鸣 汪 洋 涂 耘(266)
- 海底隧道高陡倾角断层超前地质预报
..... 薛翊国 李术才 李树忱 张庆松 张霄 赵岩(272)
- 多波多分量地震探测在隧道超前地质预报中的应用
..... 靳晓光 汪立新 朱登礼 孙宗杰(278)
- 结构面追踪法超前预报 蔡连初(284)
- 武隆隧道不良地质超前探测预报研究 孙立东 吴万佳 王心飞(288)
- 挪威隧道施工方法浅析 卓国平 陈寿根(294)

CONTENTS

Research on construction stability of large cross section tunnel and its application	Kuang Wentao Qi Taiyue Zhou Jie Wu Zhanrui(1)
Analysis and research on deformation characteristic of surrounding rock to separating tunnels	Jin Xiaoguang(6)
Application for method of fuzzy-synthesis evaluation in tunnel construction disaster	Liang Bo Wu Lianbo(14)
Design on wavelet neural network forecasting system of tunnel deformation based MATLAB	Guan Qiulan Li Yuanhai Lin Zhi(22)
Numerical simulation and analysis on construction method of excavation tunnel under bed of existing railway	Gao Wenxue Zhao Xin Zhang Yu Wang Xiaohong Jie Qingfang(29)
Numerical simulation on shield tunnel passed through existion railway	Zhang Feijin(34)
Research of numerical simulation on process optimization of neighborhood tunnel construction	Liu Chuanli Qi Taiyue Tan Daiming Ju Guoquan(39)
Numerical analysis on stability of surrounding rock during dynamic construction process of Longtoushan large-span tunnel	Li Jun Liu Rui Hou Qingjun(43)
Numerical simulation on cavity of tunnel arch crown	Guan Shuping Li Jianglin(49)
Study of numerical method for tunnel design	Wang Jianyu(56)
Discussion on optimization of support parameter for highway tunnel with extra-large cross-section and large span	Huang Chengzao Yan Zongxue Luo Xiao Zhou Dingheng(64)
Study on creep characteristics for injury surrounding rock of tunnel	Huang Huxing Xu Linsheng(71)
Study on mechanical experimentation of surrounding rock for Houyuntaishan tunnel	Li Hao Xu Yongfu Zhang Zhiquan(75)
Construction monitoring and analysis on Badaling highway tunnel	Zhao Xin Gao Wenxue Zhang Yu Wang Xiaohong Jie Qingfang(82)
Site monitoring and analysis for neighborhood tunnels	Han Youxu Wang Yonggang Li Hua Wang Zhechao(87)
Research on monitoring technique of blasting vibration for neighborhood tunnel	Tian Zhiyu Li Yuwen Li Haiqing Wang Lian(93)

- Analysis of monitoring measurement on ground surface settlement of highway tunnel
..... Wang Yunjin Peng Aihong Tu Jiugen(100)
- Research on optimization construction and site monitoring for Baziling fork tunnel
..... Wang Hanpeng Zhang Qingsong Li Shucui(106)
- Study on site monitoring of bench construction in Changchong tunnel
..... Wang Zhen Xu Linsheng(111)
- Dynamic design and construction of Majinling tunnel based on monitoring technique
..... Zhang Sheng Liu Zhinan(115)
- Field monitoring for construction interaction of three parallel shield tunnels
..... Wei Liangwen Chen Yuefeng Zhang Qinghe(121)
- Research on surrounding rock deformation monitoring and stability for different excavation
methods in Caishenliang tunnel Chen Song Xu Linsheng Shi Aimin(127)
- Monitoring measurement technique of heterogeneity transparent rib structure Lonpu tunnel
..... Zhang Sheng Liu Zhinan(131)
- Monitoring technique on construction of Jinpin water-electricity auxiliary tunnel
..... Liu Guangfu(138)
- Construction design and monitoring on bed passed through Mingyuxia highway tunnel
..... Li Yongshen(146)
- Site monitoring and analysis on bolt axis force of Baziling branch tunnel
..... Zhou Feng Guo Xiaohong Liu Jiguo(152)
- Site experiment and research on abolition of system bolts in loess tunnel
..... Chen Jianxun Jiang Jiuchun Wang Mengshu(162)
- Study on geological observation method and application technique inside tunnel
..... Wan Li Yang Zhongni Ding Qi Zhang Chang'an(170)
- Analysis on construction process of highway tunnel with special topographic condition
..... Zhang Zhigang Jiang Yongjun Liu Hongzhou Wang Tingbo(174)
- Information processing method for deformation monitoring of tunnels
..... Jin Xiaoguang Huang Liang(179)
- Research on dynamic feedback design and information construction condition of tunnels
..... Li Zhihou Chen Shuwang Lei Hua(190)
- Application of Kalman filtering and FEM coupling back analysis method considering broken
zone in stability analysis of surrounding rock
..... Cai Zhiwei Jiang Shuping Li Xingping Zhang Changliang(196)
- Dynamic viscoelastic incremental back analysis on staged construction and its application
to tunnel engineering Liu Xuezheng Yu Wensheng Su Jingwei(201)
- Displacement increment inversion analysis method applied to tunnel engineering
..... Xie Feng Qin Feng Lin Zhi Chen Shaohua(206)
- Displacement back-analysis and research of neighbourhood tunnel
..... Jin Xiaoguang Qin Feng Chen Shaohua(212)

- Classification method of surrounding rock based on site monitoring applied to Maoerling tunnel
 Zhang Changliang Jiang Shuping Cai Zhiwei Li Xingping(217)
- Displacement back analysis based on boundary element method applied to Guanshan tunnel
 Jing Ren Wang Yonggang Tang Xuejun(226)
- Analysis and design on GIS-based management information system of safety monitoring
 during construction of tunnels Lin Zhi Li Yuanhai Liu Qingfang(231)
- Development study on information management software of construction monitoring for tunnels
 Li Xingping Jiang Shuping Qin Zhifu(236)
- Problems on monitoring measurement of highway tunnel construction
 Chen Jianxun Hu Jian(242)
- Management of construction monitoring measurement for Shandong-Shanxi freeway tunnels
 Wang Yuwen Qiu Ziping Xie Yongli Li Ningjun(248)
- Radio remote monitoring system applied to monitoring of shed tunnel engineering
 Sun Jianguo(253)
- Bassett technique applied to monitoring of tunnel outline deformation
 Yan Chaoping Yang Jiasong Chen Shougen(257)
- Advance geology prediction for construction of highway tunnel
 Wang Liancheng Zhong Ming Wang Yang Tu Yun(266)
- Advanced geology prediction about high-steep dip fault in sea floor tunnel
 Xue Yiguo Li Shucai Li Shuchen Zhang Qingsong Zhang Xiao Zhao Yan(272)
- Seismical method applied to advance geology prediction of tunnels
 Jin Xiaoguang Wang Lixin Zhu Dengli Sun Zongjie(278)
- Advance geology prediction of structure tracing profile Cai Lianchu(284)
- Study on poor geological advance prediction of Wulong tunnel
 Sun Lidong Wu Wanjia Wang Xinfei(288)
- Norwegian tunneling method Zhuo GuoPing Chen Shougen(294)

大断面隧道施工稳定性研究及其应用

旷文涛 漆泰岳 周 捷 吴占瑞

(西南交通大学土木工程学院 成都 610031)

摘 要 基于正交试验原理,把正交设计试验方法与数值模拟有机结合用于大断面隧道施工稳定性研究。以掌子面最大纵向位移和拱顶围岩最大变形为评价指标,对大断面隧道各施工参数对其稳定性影响的敏感性进行分析。形成了基于正交试验原理的大断面隧道施工参数的优化设计方法,并且在武广客运专线浏阳河隧道中得到了成功应用。

关键词 大断面隧道 施工稳定性 正交设计 数值模拟

1 引 言

数值模拟试验方案可以采用简单对比法、全面试验法。但是简单对比法提供的信息不够丰富,全面试验法在许多情况下难以实现。当因素较多时,既要考虑试验次数少,又要得出可靠的结论,这就要求采用科学方法对试验进行安排,以提高效率。朱万成等^[1]提出数值模拟时,基于正交试验原理,把正交设计方法与数值模拟有机地结合。实践证明,基于正交试验原理的数值模拟计算方案是多因素试验的有效方法。

目前对大断面隧道的研究还很少,对其施工稳定性的研究也很肤浅。大断面隧道施工稳定性有多个影响因素,本文基于正交试验原理安排数值模拟计算方案。根据优化计算方案,对大断面隧道,根据不同的施工参数进行施工动态数值模拟,得到各因素对其稳定性影响的敏感性。施工时,根据各因素的敏感性和现场实际条件选取最优施工方案,为大断面隧道施工提供理论指导。

2 大断面隧道施工稳定性研究

2.1 大断面隧道施工稳定性影响因素

大跨度隧道围岩稳定性影响因素很复杂,包括地质、设计、施工等方面的因素。地质因素:如岩体的结构状态、岩石的基本性质、地下水状态及初始应力状态等;设计因素:如洞室断面形状、断面尺寸、支护措施、埋深以及与之相应的地应力水平等;施工因素:施工方法以及采取的一些加固措施,如开挖步长、掌子面加固方式等。

地质因素是由隧道所在位置确定的,支护参数、隧道尺寸等也已在设计时确定了。为了保证大断面隧道施工时拱周和掌子面围岩稳定性,就必须选取合理的施工参数。大断面隧道常用的施工加固措施如下:

- ①选取合理的隧道开挖方式及临时仰拱设置形式。
- ②打设玻璃纤维增强塑料(GFRP)锚杆加固掌子面。
- ③对隧道掌子面轮廓线以外围岩进行超前预加固。

④选取合理的开挖步长。

⑤选取合理的时间对开挖面进行支护。

通过数值模拟试验,比较分析各种施工参数下的施工稳定性,得到各施工参数对施工稳定性的敏感性,选取最有利的施工参数。由于施工参数比较多,必须选取合理的试验方法。正交试验方法能以较少的试验次数得到理想的结果,从而提高数值模拟效率。基于正交试验原理安排试验方案,得到技术可行的最优施工方案。

2.2 大断面隧道施工稳定性判据^[2]

隧道围岩位移的发生和发展是隧道力学行为动态的综合反映^[3],且位移可方便地通过专门测量仪器测得。不管隧道的作用机理如何复杂,其经受各种作用后的反应可以用位移体现出来。通过周边位移观测以了解隧道的力学动态,是比较直观也易于实施的办法。所以根据围岩位移变化和发展判断隧道的稳定性是合理的。从围岩变形方面讲,围岩稳定就是围岩的最大位移不能超过极限位移。

对于大断面隧道,无论从断面大小、形状,还是受力变形特征来讲,其与普通隧道有明显的不同。由于围岩自稳高度有限,大断面隧道施工时掌子面围岩的稳定性十分重要。所以大断面隧道施工稳定性研究内容包括拱周围岩稳定性和掌子面围岩稳定性。

选取掌子面位移、拱顶(和拱底)围岩最大变形作为大断面隧道施工稳定性判据。在正交数值模拟的结果分析时,以其相应的位移作为评价指标。

3 数值模拟计算的正交设计

基于正交试验原理^[4],数值模拟计算的基本过程如下:

(1)明确试验目的,确定评价指标

在大断面隧道施工稳定性研究中,数值模拟的目的就是为了确保施工时围岩稳定性。根据大断面隧道施工稳定性判据研究,在数值模拟的结果分析时,可以掌子面纵向最大位移、拱顶和拱底最大变形为评价指标。

(2)选因素,挑水平

大断面隧道施工稳定性的因素很多,在选择因素时,选取主要因素,兼顾次要因素。开挖方式及台阶仰拱设置、支护施作时间等因素,按照施工单位的实际情况选取。因此正交试验时,可以选取的因素有掌子面超前预加固长度和密度、轮廓线外的超前预加固方式、开挖步长等。因素的水平选取应结合现场实际情况选取。

(3)选取正交表、安排试验

数值模拟时,选取或者构造需要的因素、水平数的正交表格。然后按照各号试验对应的施工参数安排试验,计算各种方案对应的围岩位移。

(4)试验结果分析

由于数值模拟不存在传统意义的试验误差^[5],所以按照极差分析数据结果。通过计算大断面隧道施工参数在各水平下隧道拱顶最大变形、掌子面纵向最大变形的平均值及其极差,分清各施工参数对考核指标影响的敏感性。然后采用综合平衡法,选取最优的施工参数作为施工依据。

(5)验证试验

根据正交试验选取的最优施工参数,建立分析模型,得到隧道拱顶最大变形和掌子面纵向

最大位移,从而验证其施工稳定性。

4 应用实例

4.1 工程概况

浏阳河隧道位于长沙市星沙区,下穿浏阳河河底,与浏阳河河道走向夹角为 50° ;隧道穿越段河床宽210 m左右,勘察期间水面宽约200 m,水深7 m左右。河道内有采砂船来往,满载300~1 000 t。河堤处隧道埋深30.5~36.9 m,河底段隧道埋深为19.1~23.8 m。下穿浏阳河河底段隧道穿越地层主要为弱风化泥质粉砂岩、砂质泥岩等遇水易软化岩层,紫红色,中厚—厚层状。根据已完成的勘探成果综合比较分析,隧道围岩划分等级为V级。隧道岩体相对较为完整,隧道洞顶弱风化岩体厚度一般为14.0~20.0 m,且渗透系数较小,仅有0.000 87~0.016 4 m/d,具有较好的阻隔水能力。过浏阳河隧道段的隧道毛洞最大尺寸为:宽 $\times$ 高=13.48 m $\times$ 15 m。

为了控制开挖过程中隧道的稳定性,以隧道洞顶最大变形、掌子面纵向最大位移作为施工安全性评价指标,对浏阳河隧道施工稳定性进行研究。

4.2 正交试验

(1) 选取因素和水平

由于该隧道在整个工程中的重要性,在选取因素和水平时,共考虑了掌子面超前预加固长度与密度、隧道掌子面轮廓线以外的超前预加固方式、开挖步长4个因素,见表1。

表1 数值试验因素方案

因素 水平	掌子面超前加固 密度(A)	掌子面超前加固 长度(B)/m	掌子面轮廓线外超前 加固方式(C)	开挖步长 (D)/m
1	4	5	大管棚	0.6
2	8	10	小管棚	1.2
3	12	18	大管棚+小管棚	1.8

(2) 安排试验方案

这里有4个因素、3个水平,如果采用全面试验法,共需要进行 $3^4=81$ 组试验。为了使试验次数尽量少,同时得到比较科学、合理的结果,基于正交试验原理,选取 $L_9(3^4)$ 表安排试验,见表2。

表2 正交试验设计及结果

试验号	掌子面超前 加固密度	掌子面超前 加固长度	掌子面轮廓线外超 前加固方式	开挖步长	拱顶最大 变形/mm	掌子面最大 位移/mm
1	1	1	1	1	30.074	27.166
2	1	2	2	2	31.845	24.343
3	1	3	3	3	30.408	22.540
4	2	1	2	3	32.203	26.446
5	2	2	3	1	29.685	26.583
6	2	3	1	2	30.679	25.805

续表

试验号	掌子面超前 加固密度	掌子面超前 加固长度	掌子面轮廓线外 超前加固方式	开挖步长	拱顶最大 变形/mm	掌子面最大 位移/mm
7	3	1	3	2	29.964	26.846
8	3	2	1	3	31.254	25.784
9	3	3	2	1	31.551	27.266

4.3 计算模型建立^[6]

土体参数根据勘察报告中的数据选取,材料为弹塑性模型,采用 DP 屈服准则。运用大型岩土分析软件 FLAC-3D 进行分析。模型宽度 100 m,上至地表,下部取 17.42 m,模型高度 50.15 m,纵向取 36 m,即宽×高×深= $X \times Z \times Y = 100 \text{ m} \times 50.15 \text{ m} \times 36 \text{ m}$,单元网格数为 49 920 个,节点数为 53 741 个。采用相应的单元对支护进行模拟,同时模拟整个动态开挖过程。数值模拟模型如图 1 所示。

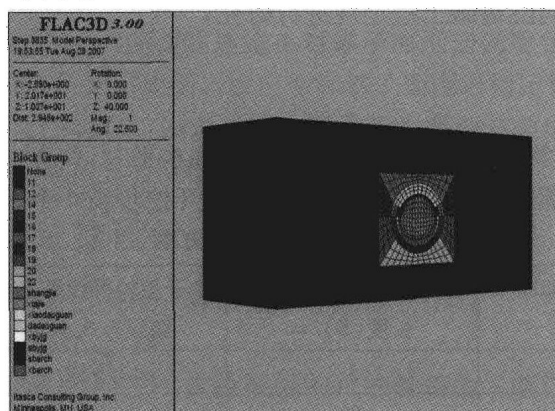


图 1 数值模拟模型

4.4 结果分析

对试验进行极差分析^[7],见表 3。

表 3 各因素对各指标的影响

因 素		掌子面超前 加固密度	掌子面超前 加固长度	掌子面轮廓线外 超前加固方式	开挖步长
拱顶围 岩最大 变形 /mm	I	30.776	30.747	30.669	30.437
	II	30.856	30.928	31.866	30.829
	III	30.923	30.879	30.019	31.295
	R	0.147	0.181	1.847	0.858
掌子面 最大纵 向位移 /mm	I	24.683	26.819	26.251	27.005
	II	26.278	25.570	26.018	25.665
	III	26.632	25.203	25.323	24.923
	R	1.949	1.616	0.928	2.082

从极差分析可知:

各施工参数对拱顶围岩最大变形的敏感性顺序为:CDBA。其中,掌子面超前加固长度、密度对洞顶围岩变形没有多大影响。

各施工参数对掌子面最大纵向位移的敏感性顺序为:DABC。

综合分析得出如下结论:各施工参数对掌子面的稳定都有比较大的影响;掌子面的超前加固密度和长度对掌子面的稳定性影响很大,对拱顶围岩最大变形没有多大影响;开挖步长越大,掌子面越稳定,隧道拱顶变形越大;隧道轮廓线外的超前加固对拱顶围岩最大变形影响很大,对掌子面稳定也有比较大的影响;小管棚比大管棚在控制拱顶围岩变形方面作用明显。

采用综合平衡法,结合现场实际情况,选取最优施工参数为:开挖步长为 1.8 m,掌子面超前加固密度为每 4 m² 一根,加固长度取为 5 m + 18 m(GFRP)锚杆(插花布置),大小管棚。

4.5 验证试验

根据最优施工参数建立数值分析模型,得到隧道掌子面纵向最大位移为 23.895 mm,拱顶围岩最大变形 30.480 mm。

5 结 论

基于正交试验原理,对大断面隧道施工稳定性进行了研究,主要结论如下:

①该方法在武广客运专线浏阳河隧道施工参数选取中成功应用。需要 9 次试验,只相当于全面试验方法试验次数的 1/9,就得到了最优施工参数,从而大大提高了数值模拟分析效率。

②各施工参数对掌子面稳定性都有比较大的影响,其中影响显著的是开挖步长、掌子面超前加固长度和密度;对拱顶围岩变形影响显著的是掌子面轮廓线外超前加固方式和开挖步长。同时,由于开挖步长越大掌子面越稳定,但是拱顶变形越大,所以开挖步长必须控制在合理范围内。

③小管棚在控制拱顶围岩变形的作用上优于大管棚,但在实际施工过程中,大管棚对控制洞顶围岩的坍塌变形和掌子面稳定方面效果更明显。

④基于正交试验原理的大断面隧道施工参数的优化设计方法对其他大断面隧道有借鉴意义。

参考文献

- [1] 朱万成,唐春安,黄明利. 基于正交试验原理的锚喷参数设计系统及其应用[J]. 岩土力学,1999,20(2).
- [2] 邢厚俊. 对客运专线铁路隧道施工稳定性判据的思考[J]. 铁道建筑,2006(12).
- [3] 朱永全. 隧道稳定性位移判别准则[J]. 中国铁道科学,2001,22(6).
- [4] 赵选民. 试验设计方法[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [5] 徐超,叶观宝. 应用正交试验设计进行数值模型参数的敏感性分析[J]. 水文地质工程地质,2004(1):95-97.
- [6] H. Hakami. Rock characterization facility (RCE) shaft numerical computations using FLAC [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001(38):56-59.
- [7] 张向东,岳嫺,等. 正交试验设计在基坑工程数值模拟中的应用[J]. 科学技术与工程,2007,7(14).

分离式隧道围岩变形特征分析与探讨

靳晓光

(重庆大学土木工程学院 重庆 400030)

摘 要 总结不同地区3座分离式隧道不同级别围岩的变形特征及规律,分析其原因和与其影响因素的相关性,为分离式隧道围岩变形特征研究提供参考。

关键词 分离式隧道 围岩变形 影响因素

1 研究隧道工程概况

1.1 二郎山隧道

二郎山隧道是国道318线西段川藏公路的咽喉,是成都进入藏区的第一道关隘。主隧道全长4 176 m,隧道最大埋深760 m。工程按山岭重丘三级公路标准建设,单洞双车道对向行驶,设计行车速度30 km/h;主隧道横断面建筑限界为最大高度7.0 m,底宽9.0 m;平面线型为直线,隧道纵断面为人字坡,采用平导通风。

1.2 华蓥山隧道

华蓥山隧道是广(广安)渝(重庆)高速公路华蓥至邻水段的重点工程,左轴线长4 705.95 m(ZK32+693.05~ZK37+399),右轴线长4 684 m(YK32+700~YK37+384)。隧址区地处新华夏系川东褶皱带之华蓥山复背斜中段,东与邻水向斜接壤,西与天池向斜相接,地质条件极为复杂,其主要工程地质问题有岩溶涌突水、煤层及煤层采空区、瓦斯、大断层、高地应力地区等。构造总体走向为NE31°~36°,由龙王洞背斜、滴水岩向斜、仰天窝背斜等组成。隧道横断面设计为马蹄形,净宽10.57 m,拱高7.03 m。

1.3 西山坪隧道

西山坪隧道是渝(重庆)合(合川)高速公路的重点工程,为双洞双车道公路隧道,左轴线长2 510 m(LK33+750~LK36+260),右轴线长2 485 m(K33+750~K36+235)。隧址区地处新华夏系川东褶皱带,系华蓥山复背斜向南的延伸——温塘峡背斜,其西接澄江向斜与观音峡背斜相峙,构造总体走向为N45°E。隧道区位处温塘峡背斜的北端,在隧道穿越段其南东翼岩层产状为120°∠50°~83°,核部及西北翼岩层产状为295°∠4°~13°。

2 围岩变形特征

2.1 二郎山隧道

二郎山隧道不同级别围岩的变形位移统计特征见表1。

表1 二郎山隧道主洞围岩变形位移特征

围岩级别	洞壁变形位移回归终值/mm			平均值/mm 收敛/下沉
	桩号	周边收敛	拱顶下沉	
II	K259 + 795 ~ K260 + 155	1.44 ~ 7.93	10.20 ~ 37.80	1.90/13.65
	K260 + 299 ~ + 471	0.62 ~ 1.13	9.12 ~ 11.70	
	K260 + 791 ~ + 845	1.13	4.00 ~ 15.50	
	K260 + 995 ~ K261 + 255	0.32 ~ 1.53	4.56 ~ 16.30	
III	K259 + 652 ~ + 795	1.80 ~ 7.64	28.10 ~ 39.30	4.472/17.49
	K260 + 471 ~ + 514	0.73	11.68	
	K260 + 554 ~ + 791	0.62 ~ 1.12	8.43 ~ 10.10	
	K260 + 895 ~ + 995	1.34 ~ 1.94	7.23 ~ 9.92	
	K261 + 993 ~ + K262 + 469	12.60 ~ 16.20	18.45 ~ 30.20	
IV	K261 + 255 ~ + 392	14.60 ~ 49.10		25.24/32.96
	K262 + 499 ~ + 642		37.25	
	K262 + 682 ~ + 789	23.80 ~ 39.60	23.97	
	K262 + 885 ~ K263 + 113	7.04 ~ 17.30	17.80 ~ 57.50	
V	K259 + 116 ~ + 172	11.71	46.75	27.55/47.70
	K259 + 602 ~ + 642	8.01	26.39	
	K262 + 469 ~ + 499	12.52	32.43	
	K262 + 789 ~ + 885	14.30 ~ 16.20	27.45	
	K263 + 113 ~ + 192	25.50 ~ 155	102 ~ 109	

可以看出,随隧道围岩级别的升高(II→III→IV→V),对应的周边收敛(拱顶下沉)位移平均值依次为1.90/13.65 mm→4.472/17.49 mm→25.24/32.96 mm→27.55/47.70 mm。由此可见,高地应力区隧道围岩类别的位移判据大致为:a. II级围岩,收敛位移<2 mm,拱顶下沉位移<15 mm;b. III级围岩,收敛位移2~5 mm,拱顶下沉位移15~20 mm;c. IV+V级围岩,收敛位移一般25~30 mm,拱顶下沉位移30~50 mm。

2.2 华蓥山隧道

华蓥山隧道不同级别围岩监测净空收敛回归结果见表2,代表性量测断面回归结果见表3。

表2 华蓥山隧道不同级别围岩监测净空收敛回归结果

围岩级别	回归方程式类型	参数取值范围				最终位移量/mm	
		内 空		拱 顶		内 空	拱 顶
		A	B	A	B		
V	$u = A(e^{-\frac{Bt_0}{2}} - e^{-Bt})$	2.811 ~ 5.357	0.063 ~ 0.124	2.367 ~ 5.867	0.049 ~ 0.117	2.75 ~ 5.25	2.32 ~ 5.75
IV	$u = \frac{t}{A + Bt}$	1.240 ~ 3.252	0.197 ~ 0.337	2.164 ~ 5.594	0.176 ~ 0.499	2.97 ~ 5.10	2.00 ~ 5.69
III	$u = Ae^{-\frac{B}{t}}$	1.779 ~ 4.889	1.769 ~ 3.293	1.324 ~ 2.657	1.494 ~ 2.399	1.78 ~ 4.89	1.32 ~ 2.66
II	$u = \frac{t}{A + Bt}$	0.971 ~ 3.352	0.306 ~ 0.735	2.169 ~ 3.943	0.539 ~ 0.836	1.36 ~ 3.26	1.20 ~ 1.85

表3 华蓥山隧道代表性量测断面回归结果

测线名称	围岩级别	回归方程式		回归精度 SD		最终位移量/mm	
		内 空	拱 顶	内 空	拱 顶	内 空	拱 顶
YK37 + 215	V	$u = 4.19 - 4.28e^{-0.089t}$	$u = 3.28 - 3.36e^{-0.093t}$	0.018 8	0.019 8	4.19	3.28
YK37 + 195	IV	$u = \frac{t}{2.136 + 0.256t}$	$u = \frac{t}{2.481 + 0.320t}$	0.009 0	0.016 9	3.91	3.13
ZK37 + 120	III	$u = 3.321e^{-\frac{2.918}{t}}$	$u = 2.636e^{-\frac{2.449}{t}}$	0.029 9	0.015 6	3.32	2.64
ZK37 + 000	II	$u = \frac{t}{2.415 + 0.414t}$	$u = \frac{t}{3.077 + 0.556t}$	0.012 8	0.003 9	2.416	1.80

2.3 西山坪隧道

西山坪隧道不同级别围岩监测净空收敛回归结果见表4,代表性量测断面回归结果见表5。

表4 西山坪隧道净空收敛回归统计结果

围岩级别		V		IV		III	
回归方程类型		内 空	拱 顶	内 空	拱 顶	内 空	拱 顶
		$u = \frac{t}{A + Bt}$	$u = Ae^{-\frac{B}{t}}$	$u = Ae^{-\frac{B}{t}}$		$u = Ae^{-\frac{B}{t}}$	
A, B 统计	A	0.12 ~ 0.24	43.5 ~ 51.04	10.20 ~ 20.94	7.50 ~ 25.2	1.25 ~ 6.8	1.70 ~ 6.0
	B	0.02 ~ 0.05	2.55 ~ 2.90	1.10 ~ 1.62	1.2 ~ 2.40	0.75 ~ 2.0	0.72 ~ 1.6

表5 断面回归方程

断面里程	围岩级别	回归方程		最终位移量/mm	
		内 空	拱 顶	内 空	拱 顶
LK36 + 174	V	$u = \frac{t}{0.14 + 0.02t}$	$u = 44.80e^{-\frac{2.81}{t}}$	41.67	37.24
LK34 + 961	IV	$u = 19.94e^{-\frac{1.59}{t}}$	$u = 25.25e^{-\frac{2.06}{t}}$	17.22	20.89
RK33 + 980	III	$u = 6.77e^{-\frac{1.97}{t}}$	$u = 5.65e^{-\frac{11.42}{t}}$	5.40	1.52

可以看出,华蓥山隧道和西山坪隧道不同级别的围岩变形回归方程基本一致,但华蓥山隧道围岩位移较小,而西山坪隧道围岩位移较大。二郎山隧道除Ⅱ级围岩外,其他级别的围岩变形量较大。

3 趋于稳定的时间统计

在二郎山隧道工程实践中,选择了近50个有代表性且监测资料较齐全的断面,以总收敛量(计算值)的80%计算值为准值,除以断面最近(或平均)收敛变化速率,从而得到变化趋于

稳定的时间,即二次支护的最佳统计时间。统计分析表明,不同围岩级别的二次支护最佳时间分别为:a.Ⅱ级围岩 52~99 d,中值为 77 d;b.Ⅲ级围岩为 55~89 d,中值为 72 d;c.Ⅳ级围岩 45~51 d,中值为 47 d;d.Ⅴ级围岩 30~42 d,中值为 38 d。

在华蓥山隧道工程中,统计得出不同围岩级别的二次支护最佳时间分别为:a.Ⅱ级围岩 38~61 d,中值为 49.5 d;b.Ⅲ级围岩为 46~77 d,中值为 61.5 d;c.Ⅲ类围岩 55~92 d,中值为 73.5 d;d.Ⅳ级围岩 66~100 d,中值为 83 d。

在西山坪隧道工程中,统计得出不同围岩级别的二次支护最佳时间分别为:a.Ⅲ级围岩 15~25 d,中值为 20 d;b.Ⅳ级围岩为 20~30 d,中值为 25 d;c.Ⅴ级围岩 30~40 d,中值为 35 d。

可以看出,华蓥山隧道和西山坪隧道相同级别围岩变形趋于稳定的时间差别较大,但其规律相同,即围岩越好,变形趋于稳定的时间越短。而二郎山隧道不同,虽然好的围岩变形量小,但趋于稳定的时间长。初步分析认为,造成这一原因可能与隧道所处的地应力条件有关。3座隧道的地应力大小依次为:二郎山隧道>华蓥山隧道>西山坪隧道,地应力越高,好的围岩释放应力的时间越长,趋于稳定的时间越长。华蓥山隧道的地应力水平还没有达到二郎山隧道的水平,没有改变围岩变形的一般规律,但趋于稳定的时间增长了。

4 围岩变形影响因素

这里以川藏公路二郎山隧道为例,分析围岩变形与其影响因素的相关性。二郎山隧道围岩变形位移特征主要与以下因素有关。

4.1 与围岩级别的关系

隧道围岩变形与围岩级别有明显的对应关系。从Ⅱ级围岩到Ⅴ级围岩,围岩变形位移增大,其位移相对稳定时间也愈长。

(1) 变形量与围岩级别的关系

二郎山公路隧道周边收敛、拱顶下沉位移与围岩类别有一定的对应关系。典型断面收敛位移与围岩级别的特征如图 1 所示。

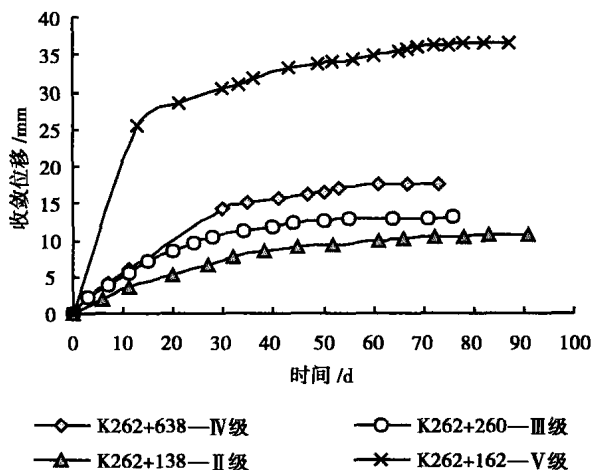


图 1 隧道周边收敛与围岩级别的关系

(2) 变形速率与围岩级别的关系

综合分析研究表明,隧道围岩级别不同,其变形速率及速率变化过程也不一样。隧道Ⅴ,