

2009年全国公路隧道学术会议 论文集

中国公路学会隧道工程分会 编
甘肃省交通运输厅



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

2009年全国公路隧道学术会议 论文集

中国公路学会隧道工程分会 编
甘肃省交通运输厅



重庆大学出版社

内 容 提 要

本论文集是为2009年9月在甘肃省兰州市召开的“2009年全国公路隧道学术会议”而出版的题论文集。该论文集共收录论文110篇,内容涉及公路隧道的技术研究、公路隧道的设计、公路隧道的施工和机电技术与交通工程。本论文集可供隧道管理、技术人员及有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

2009年全国公路隧道学术会议论文集/中国公路学会
隧道工程分会,甘肃省交通运输厅编. —重庆:重庆大学
出版社,2009.8

ISBN 978-7-5624-5059-7

I. 2… II. ①中…②甘… III. 公路隧道—学术会议—
文集 IV. U459.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第139991号

2009年全国公路隧道学术会议论文集

中国公路学会隧道工程分会 编
甘 肃 省 交 通 运 输 厅

责任编辑:刘颖果 郭一之 版式设计:刘颖果
责任校对:夏 宇 责任印制:张 策

*

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:787×1092 1/16 印张:45 字数:1123千

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数:1—700

ISBN 978-7-5624-5059-7 定价:98.00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

研 究

隧道结构健康监测系统理念及其技术应用探讨	汪 波 何 川 吴德兴(3)
寒区公路隧道防冻保暖技术及其发展趋势	夏才初 张国柱 曹诗定 肖素光(13)
通渝深埋隧道岩芯饼裂特征与地应力研究	徐林生 张鹏勇(20)
天恒山高含水量土质隧道不设系统锚杆的试验研究	陈建勋 王 超 盖青山 吴科峰(24)
贺家庄黄土隧道系统锚杆作用的理论与试验研究	郭 军 王明年 喻 渝(33)
隧道原位扩建成特大断面隧道的扩建方案优化研究	胡居义 黄伦海(40)
背后空洞对公路隧道衬砌结构安全影响分析	刘海京 郑佳艳 林 志 涂 耘(47)
公路隧道地裂缝形成机制分析	毛新虎 姚精选 杨引申(54)
对北京地区公路隧道软弱围岩不同施工方法的定性分析	齐 琳(60)
新七道梁特长隧道洞口段的设防地震动参数研究	王伟锋 石玉成 卢育霞(70)
公路隧道洞口段地震动力响应规律研究	贾佳欣 周佳媚(77)
雅泸高速菩萨岗隧道抗震性能分析	易震宇 蒋武军 傅立新(82)
乌鞘岭特长隧道浅埋段明洞地震响应分析	舒春生(87)
锦屏水电站交通辅助洞深埋隧洞岩爆规律及其对策	刘光福 蒋思新 汪 波(94)
浏阳河水下隧道合理覆盖层厚度探讨	吴梦军 谢 锋(103)
不均匀沉降作用下连拱隧道衬砌裂缝仿真分析	金文良(108)
新建隧道下穿既有高速公路三维有限元分析	邹育麟 何 川 汪 波(117)
八达岭过境线隧道开挖下穿高速公路的数值模拟与施工监测	周文旭 高文学 张 羽 李冬峰 高海鹏(124)
软弱围岩隧道施工过程力学分析	陈林杰 梁 波 黄友林(130)
中寨子浅埋偏压隧道盖挖法施工全过程数值模拟	张兆杰(137)
偏压地形软弱围岩隧道开挖优先顺序及支护结构优化研究	谢 锋 汪 洋 李文刚(146)
大断面公路隧道围岩力学特征及施工工法数值分析	宋艳彬 马 杰(151)
某连拱隧道穿越坡积层数值模拟分析	熊齐成 冯 升 伍毅敏(159)
应力恢复法测试二衬内力的探讨	罗仁立 王晓彤 谢东武(168)

超前预加固工法在大断面软岩隧道中的应用研究	吴占瑞	漆泰岳	刘江峰(173)
武汉长江隧道结构安全风险分析及应对保护建议	杨智勇	黄宏伟	李长杰 胡群芳(178)
软弱结构面隧道安全系数分析	王建华	陈力华(185)	
石家山特长隧道涌水量预测	丁建强(189)		
隧道工程经济指标分析的启示	覃慧安(195)		

设 计

甘肃黄土公路隧道设计与施工技术	袁永新(203)
穿越活动断层隧道抗断铰接设计	林 志 蒋树屏 李 鹏(211)
永古高速公路乌鞘岭隧道 F_4, F_5 断层设计	杨志雄(217)
梧村山无中墙连拱隧道段的设计与施工技术研究	胡学兵 蒋树屏(224)
双向 6 车道复合式曲中墙双连拱蕨菜坡隧道初步设计	余 禹 李 围(232)
3 车道连拱隧道桥隧相连斜交进洞方案比选	刘继国 郭小红 梁 巍(238)
隧道施工中的动态设计问题探讨	任尚强(244)
广南路隧道锚杆布设方式优化研究	田志宇 李海清 王 联 邓 刚(250)
山岭隧道抗震减震技术研究	钟 兴 周建春(257)
隧道洞口斜交偏压陡峻地形设计技术	廖沛源 袁 松 周佳媚(261)
公路隧道无仰坡洞口设计及施工关键技术	朱 俊 彭 明 刘小勇(268)
小洋山隧道洞门优化设计	孙忠成(273)
阳坡里隧道纵穿滑坡体段变形破坏机理与综合防治设计	王永刚(278)
下穿高速公路填方路堤青溪隧洞设计及施工监控量测	龚尔民 苟德明 周 森(284)
隔界河至德钦公路石就棚洞设计	白国权 李德宏(289)
遮光棚在高速公路隧道设计中的应用初探	王长春 万明富 张兆杰 尹正风(297)
高海拔寒区隧道冻害机理及防治设计的研究	雷振武(301)
云南省公路隧道结构支护参数优化设计	刘永华 林 志(308)
阿尔及利亚极软岩 3 车道大断面公路隧道设计	史彦文(314)
南宁市南湖水底隧道创新设计	唐宝珠 蒋中贵(319)
矮寨Ⅲ号隧道设计与施工方案	谢 笛(326)
隧道路面变形破坏原因分析及处治设计	秦之富 程崇国 刘永华(333)
水洞山—石鼓特长隧道群土建工程设计	梁淦波(337)
关子隧道防排水设计	艾 杰 李玉平(344)
古浪黄土隧道防排水设计	张彤炜 庞小冲(348)
大坂山高寒隧道渗漏水处治及保温设计与施工	郑佳艳 刘海京 林 志(353)
阿尔及利亚东西高速公路隧道防排水设计与国内的对比分析	曹校勇 师 伟 韩常领 徐 智(357)

施 工

山西公路隧道修筑关键技术探讨	郜玉兰	毛新虎(365)
武罐公路隧道群的工程特点	刘一华	(374)
黔灵山大跨度、小净距隧道施工技术	宋星光	(386)
盖挖法在飞鸾岭隧道浅埋段施工中的应用	陈海锋	何 军(395)
盘龙山隧道扩挖关键技术	韦远飞	林国进(402)
龙头山特大断面隧道衬砌技术	石满刚	李英杰(406)
摩天岭特长隧道快速掘进施工技术	张文明	(411)
黄土隧道围岩及地基处理技术	韩友续	(418)
平定高速公路软弱黄土隧道施工技术实践与分析	刘立星	(424)
东塘沟偏压隧道洞口修建技术	林立彬	(430)
西白岩隧道右洞强风化破碎层进洞技术	高 飞	(437)
秦岭终南山公路隧道3号竖井反井法施工技术	赵超志	顾仲飞
公路隧道穿越煤系地层相关地质灾害处治技术探讨	赵队家	毛新虎(446)
赛里木湖隧道穿越富水断层带施工措施探讨	余 顺	林 志
平阳隧道出口滑塌体分析及综合处治	王芳其	孙建国
龙潭隧道炭质页岩地层初期支护侵限处治	陈光明	叶志华(462)
秦岭关隧道初期支护发生变形侵限处理措施	李 华	(469)
深切沙帽坡隧道两侧边墙岩溶管道系统处治	孙建国	王芳其(474)
隧道支护结构围岩压力远程在线监测技术	汤晓辉	袁成海
信息化施工技术在某浅埋偏压大跨公路隧道出口处的运用	杨正成	李荣华(486)
工程物探在石家山隧道地质勘察中的应用	马树平	桑黎明(491)
振弦式传感器在隧道结构安全监测中的应用	王海英	金晓臻
三维无尺变形测量在隧道监控量测中的应用	程 瑶	刘海鹏(496)
岩溶地质条件下穿岩洞隧道施工监控量测技术	喻 东	(501)
基于现场监控量测的飞田隧道围岩稳定性研究	贾军政	李 围
周边位移量测在济晋高速公路隧道工程中的应用	陈 磊	李 成(507)
南峰隧道和善岭隧道现场监控量测技术	许 佳	姚海波
洪福隧道瓦斯防治技术探讨	张志波	柳建国
姚家山隧道病害分析及施工技术	刘 波	(514)
乌鞘岭隧道地应力特征及对施工的影响	王玉文	聂玉文
芋家垭隧道地震受损调查分析与修复加固	谢永利	李宁军(522)
寒区隧道施工缝衬背供热排水防冻方法	宋心琳	吴国芝
包家山隧道3号斜井涌水治理	李 荣	(534)
	刘德平	王彩勤(538)
	胡建芳	王永刚(545)
	苏生瑞	包乾宗
	刘平录	马双科(550)
	伍毅敏	王红玉(554)
	胡 平	朱绪飞
	朱 钰	(561)

公路隧道通风照明设计细则编制概述	蒋树屏	屈志豪	涂耘	邓欣	陈建忠	(567)
胶州湾特长海底隧道通风方案研究	邓欣	屈志豪	涂耘			(577)
壁龛式射流通风在关虎山特长隧道的应用					易震宇	(584)
通风微分方程在隧道通风中的应用				李鸿博	李靖	(591)
隧道轴流风机并联应用时的启动安全性分析					刘建明	(596)
方斗山隧道地下风机房施工技术				辛国平	刘汉红	(603)
公路隧道照明调光控制模型研究	周健	李江洪	王小军	杨洋	郭兴隆	(609)
公路隧道洞口减光措施分析与设计			刘明高	马杰	洪锦	(617)
前义坪隧道 LED 照明应用研究						
	赵安军	穆一经	吕玉军	肖新卫	王征征	刘长乐(624)
用数码相机法测试隧道洞外亮度 $L_{20}(S)$					李科	(629)
山区高速公路隧道群运营监控模式探讨			王少飞	涂耘	吴小丽	(633)
武汉长江隧道运营安全监测与养护研究		豆海涛	黄宏伟	李长杰	胡群芳	(640)
高速公路单行隧道安全监控与事故救援方案分析与设计					胡文娟	(647)
台湾公路隧道控制策略及绩效评估方法				王超深	周娜	(652)
高速公路隧道节能型供配电系统研究及应用		赵清碧	张琦	腾钢	吴小丽	(657)
公路隧道供配电方案选择优化					党轲	(665)
EnerSys 智能化电力监控系统在三峡专用公路隧道工程中的实践						
		朱琳	胡建斌	于娟	钟丽伟	(675)
高寒区乌鞘岭特长隧道消防系统设计					徐蓓青	(688)
基于 CFD 的特长公路隧道防灾救援关键技术研究			杨秀军	颜静仪	孙继洋	(692)
雪峰山公路隧道双波长火灾探测器设计与应用					尤三伟	(697)
某公路隧道火灾事故整治浅析				李泳伸	李海清	(702)

CONTENTS

Research

- Discussion on ideas and technique application of tunnel structure health monitoring system
..... Wang Bo He Chuan Wu Dexing(3)
- Antifreezing-heat retaining technique and development trend for highway tunnels in frigid areas
..... Xia Caichu Zhang Guozhu and so on(13)
- Study on characteristic of rock cake and geostatic stress in Tongyu deep buried tunnel
..... Xu Linsheng Zhang Pengyong(20)
- Experimental research on Tianhengshan tunnel of high moisture content soil without systematic bolts
..... Chen Jianxun Wang Chao and so on(24)
- Study on anchoring effect of systematic bolts in Hejiazhuang loess tunnel
..... Guo Jun Wang Mingnian Yu Yu(33)
- Research on optimization extension form from tunnel original position to super large section tunnel
..... Hu Juyi Huang Lunhai(40)
- Study on influence of lining structure safety by back voids of tunnel
..... Liu Haijing Zheng Jiayan and so on(47)
- Analysis on factors of ground fissure in highway tunnel
..... Mao Xinhua Yao Jingxuan Yang Yinchuan(54)
- Qualitative analysis of different construction methods for softening surrounding rock of highway tunnel
in Peijing Qi Lin(60)
- Study on earthquake dynamic parameters for portal section of Xinqidaoliang extra-long tunnel
..... Wang Weifeng Shi Yucheng Lu Yuxia(70)
- Study on seismic dynamic response of portal section for highway tunnel
..... Jia Jiaxin Zhou Jiamei(77)
- Analysis of earthquake performance for Pushagang tunnel
..... Yi Zhenyu Jiang Wujun Fu Lixin(82)
- Seismic influence analysis on shallow buried section of Wushaoling extra-long tunnel
..... Shu Chunsheng(87)

- Rules and countermeasures of rock-burst for deeply-embedded tunnel
..... Liu Guangfu Jiang Sixin Wang Bo(94)
- Study on reasonable covering thickness for Liuyang river underwater tunnel
..... Wu Mengjun Xie Feng(103)
- Numerical simulation of lining crack of double arch tunnel for differential settlement
..... Jin Wenliang(108)
- Study of 3D numerical simulation on building tunnel passing existing freeway
..... Zou Yulin He Chuan Wang Bo(117)
- Numerical simulation and construction monitoring on Badaling transit tunnel crossing freeway
..... Zhou Wenxu Gao Wenxue and so on(124)
- Analysis on construction mechanics in tunnel of weak surrounding rock
..... Chen Linjie Liang Bo Huang Youlin(130)
- Numerical simulation on construction process of casing arch excavation method in Zhongzhaizi tunnel
..... Zhang Zhaojie(137)
- Study of priority order and lining structure optimization on unsymmetrical pressure and weak
rock tunneling Xie Feng Wang Yang Li Wengang(146)
- Mechanical characteristics of large section highway tunnel and numerical analysis of corresponding
construction methods Song Yanbin Ma Jie(151)
- Numerical simulation for double arch tunnel crossing slope wash layer
..... Xiong Qicheng Feng Sheng Wu Yimin(159)
- Discussion on internal force test of tunnel secondary lining by stress restoration method
..... Luo Renli Wang Xiaoxing Xie Dongwu(168)
- Study on advance pre-reinforcement method applied in large cross section and soft rock tunnel
..... Wu Zhanrui Qi Taiyue Liu Jiangfeng(173)
- Study on risk analysis of structural safety and protection for Yangtze river tunnel in Wuhan city
..... Yang Zhiyong Huang Hongwei and so on(178)
- Analysis for safety factor of tunnel with weak intercalation Wang Jianhua Chen Lihua(185)
- Forecast of surging water volume for Shijiashan extra-long tunnel Ding Jianqiang(189)
- Analysis of economic index for tunnel engineering Tan Huian(195)

Design

- Study on design and construction technique of loess highway tunnel in Gansu province
..... Yuan Yongxin(203)
- Resist-breaking articulated design for tunnels crossing active fault
..... Lin Zhi Jiang Shuping Li Peng(211)
- Design of faults for Wushaoling tunnel Yang Zhixiong(217)

- Research on design and construction technique for Wucunshan double arch tunnel without middle wall Hu Xuebing Jiang Shuping(224)
- Preliminary design of Juecaipo double arch tunnel with 6 lanes Yu Yu Li Wei(232)
- Comparison and choice of skew tunneling schemes on three lanes double arch tunnel connecting bridge Liu Jiguo Guo Xiaohong Liang Wei(238)
- Study on dynamic design problems in tunnel construction Ren Shangqiang(244)
- Research on optimization of bolt setting mode at Guangyuan-Nanchong freeway Tian Zhiyu Li Haiqing and so on(250)
- Study on technique of anti-seismic and shock absorption for mountain tunnel Zhong Xing Zhou Jianchun(257)
- Design technique on tunnel portal in skew-eccentric pressed-escarpment terrain Liao Peiyuan Yuan Song Zhou Jiamei(261)
- Key technique of design and construction on portal without invert slope for highway tunnel Zhu Jun Peng Ming Liu Xiaoyong(268)
- Optimization design on portal of Xiaoyangshan tunnel Sun Zhongcheng(273)
- Deformation failure mechanism and comprehensive controlling design on Yangpoli tunnel crossing landslide section Wang Yonggang(278)
- Design and monitoring of Qingxi tunnel crossing freeway fill embankment Gong Ermin Gou Deming Zhou Sen(284)
- Design of Shijiu shed tunnel Bai Guoquan Li Dehong(289)
- Application of skylight visors in design of freeway tunnel Wang Changchun Wan Mingfu and so on(297)
- Mechanism and controlling design of frigid failure in high altitude-cold area tunnel Lei Zhenwu(301)
- Optimal design on structure supporting parameters of highway tunnels in Yunnan Province Liu Yonghua Lin Zhi(308)
- Design and study of highway tunnel on large section and three lanes of special incompetent rock in Algeria Shi Yanwen(314)
- Innovatory design of Nanhu underwater tunnel in Nanning city Tang Baozhu Jiang Zhonggui(319)
- Schemes of design and construction on Aizhai No. 3 tunnel Xie Di(326)
- Analysis and treatment for deformation failure of tunnel pavement Qin Zhifu Chen Chongguo Liu Yonghua(333)
- Design of civil engineering on Shuijianshan-Shigu extra-long highway tunnels Liang Ganbo(337)
- Design for waterproof and drainage of Guangzi tunnel Ai Jie Li Yuping(344)

- Design of waterproof and drainage for Gulang loess tunnel Zhang Tongwei Pang Xiaochong(348)
- Treatment of leakage water and design-construction of heat protection for Dabanshan tunnel in plateau-cold area Zheng Jiayan Liu Haijing Lin Zhi(353)
- Comparison on design of waterproof and drainage for China-France freeway tunnels Cao Xiaoyong Shi Wei and so on(357)

Construction

- Construction technique of highway tunnel in Shanxi province Gao Yulan Mao Xinhua(365)
- Engineering characteristic of tunnel group for Wudu-Guangzigou freeway Liu Yihua(374)
- Construction technique of large span and closely-spaced tunnel Song Xingguang(386)
- Application of cover cutting method in shallow buried section of Feiluanling tunnel Chen Haifeng He Jun(395)
- Key technique for enlargement of Panlongshan tunnel Wei Yuanfei Lin Guojin(402)
- Lining technique of extra-large section for Longtoushan tunnel ... Shi Mangang Li Yingjie(406)
- Construction technique of quick tunneling for Motianling extra-long tunnel Zhang Wenming(411)
- Treatment technique of surrounding rock and ground base for loess tunnel Han Youxu(418)
- Practice and analysis of construction technique for tunnels of soft loess soil on Pingliang-Dingxi freeway Liu Lixing(424)
- Construction technique on unsymmetrical pressure portal of Dongtanggou tunnel Lin Libin(430)
- Construction technique on portal decayed rock formation of Xibaiyan tunnel Gao Fei(437)
- Construction technique on back well method of ventilation shaft for Qinling Zhongnanshan highway tunnel Zhao Chaozhi Gu Zhongfei Qi Xiaoyong(441)
- Study of treatment technique on geological disaster of highway tunnel through coal measures seam Zhao Duijia Mao Xinhua(446)
- Discussion on construction measures of Sailimu tunnel crossing rich water-fault zone Yu Shun Lin Zhi Liu Yonghua(451)
- Analysis and comprehensive treatment for landslide mass of Pingyan tunnel exit Wang Fangqi Sun Jianguo Huang Lunhai(456)
- Treatment of preliminary support intrusion for carbonaceous shale stratum of Longtan tunnel Chen Guangming Ye Zhihua(462)
- Processing measures of primary support deformation in Qinlingguan tunnel Li Hua(469)
- Treatment of karst cave system for Shamaopo tunnel Sun Jianguo Wang Fangqi(474)

Remote on-line monitoring for pressure of surrounding rock on supporting structure in tunnels	Tang Xiaohui Yuan Chenghai WuYimin(479)
Application of information construction technique in shallow-buried unsymmetrical-pressure large-span highway tunnel	Yang Zhengcheng Li Ronghua(486)
Application of geophysical exploration in geological examination of Shijiashan tunnel	Ma Shuping Sang Liming(491)
Application of vibrating wire sensor in tunnel monitoring	Wang Haiying Jin Xiaozhen and so on(496)
Application of 3D deformation measurement in monitoring of tunnels	Yu Dong(501)
Technique of construction monitoring on Chuanyandong tunnel in karst area	Jia Junzheng Li Wei and so on(507)
Study on surrounding rock stability of Feitian tunnel based on site monitoring measurement	Xu Jia Yao Haibo and so on(514)
Application of displacement monitoring in Jiyuan-Jincheng freeway tunnels	Wang Yuwen Nie Yuwen and so on(522)
Site monitoring technique on Nanfeng and Shanling tunnels	Song Xinling Wu Guozhi Zeng Shuiquan(527)
Discussion on technique of gas prevention in Hongfu tunnel	Li Rong(534)
Disease analysis and construction technique for Yaojiashan tunnel	Liu Deping Wang Caiqin(538)
Geostatic stress characteristic and construction influence for Wushaoling tunnel	Hu Jianfang Wang Yonggang(545)
Investigation analysis on damage caused by Wenchuan earthquake in Yujiaya tunnel and its restoration and reinforcement	Su Shengrui Bao Qianzong and so on(550)
Anti-freezing method by drainage ensured by heating at back of secondary lining for construction joints of tunnel in cold area	Wu Yimin Wang Hongyu(554)
Treatment of surging water on inclined shaft of Baojiashan tunnel	Hu Ping Zhu Xufei Zhu Yu(561)

Mechanical-electrical technique and traffic engineering

Compulation on detailed rules of ventilation and lighting for highway tunnel	Jiang Shuping Qu Zhihao and so on(567)
Research on ventilation schemes of extra-long sub-sea tunnel in Jiaozhou bay	Deng Xin Qu Zhihao Tu Yun(577)
Application of niche jet ventilation in Guanhushan extra-long tunnel	Yi Zhenyu(584)

- Application of ventilation differentiation equation in tunnel ventilation
..... Li Hongbo Li Jing(591)
- Analysis on activating safety of axial fan in tunnel Liu Jianming(596)
- Construction technique on underground wind machine shop of Fangdoushan tunnel
..... Xin Guoping Liu Hanhong(603)
- Research on control model of lighting regulation for highway tunnel
..... Zhou Jian Li Jianghong and so on(609)
- Analysis and design for reducing light countermeasures of highway tunnel portal
..... Liu Minggao Ma Jie Hong Jin(617)
- Application of LED lighting in Qianyingping tunnel Zhao Anjun Mu Yijing and so on(624)
- Test on brightness of tunnel portal $L_{20}(S)$ by digital camera Li Ke(629)
- Discussion on operation monitoring mode of tunnel group at mountainous region freeway
..... Wang Shaofei Tu Yun Wu Xiaoli(633)
- Study on monitoring and maintenance of operation safety for Yangtze river tunnel in Wuhan city
..... Dou Haitao Huang Hongwei and so on(640)
- Analysis and design on schemes of security monitoring and accident rescue in one-way tunnel
of freeway Hu Wenjuan(647)
- Control strategy and performance evaluation method on highway tunnel in Taiwan
..... Wang Chaoshen Zhou Na(652)
- Research and application on economization energy power supply-distribution system for freeway
tunnel Zhao Qingbi Zhang Qi and so on(657)
- Optimization choice on schemes of power supply-distribution for highway tunnel
..... Dang Zhou(665)
- Intelligent energy management system applied to Sanxia special highway tunnels
..... Zhu Lin Hu Jianbin and so on(675)
- Design of fire fighting system for Wushaoling extra-long tunnel in cold area Xu Beiqing(688)
- Study on anti-calamity and rescue technique of extra-long highway tunnel by CFD
..... Yang Xiujun Yan Jingyi Sun Jiyang(692)
- Design and application of fire detector in Xuefengshan highway tunnel You Sanwei(697)
- Analysis of repair for fire accident of a highway tunnel Li Yongshen Li Haiqing(702)

研 究

隧道结构健康监测系统理念及其技术应用探讨

汪 波¹ 何 川¹ 吴德兴^{1,2}

(1 西南交通大学地下工程系 成都 610031;

2 浙江省交通规划设计研究院 杭州 310006)

摘 要 近年来,随着传感器技术、信息采集技术及测试分析技术的迅猛发展,基于各种监测手段的实时、连续性的结构健康监测系统在土木工程领域中竞相展开,并在诸如桥梁、水利等工程领域得到广泛应用。在地下工程领域中,由于围岩-结构自身的复杂性,结构受力状态的不确定性,长期以来对于隧道结构健康监测的研究鲜有问津。文章从 SHM 应用现状出发,建立了 TSHMS 系统及其组成,并依托具体工程实现了基于应力监测的 TSHMS 系统,以期为依托隧道营运期间安全性提供有力保障的同时,也试图将结构健康监测概念引入到地下工程中,并为在同类工程中实施起到相应的示范作用。

关键词 隧道 结构健康 监测 系统

1 问题提出

近年来,随着我国交通建设事业的迅猛发展及西部大开发的逐渐深入,高速公路隧道的总延长不断增加,各类长大及复杂地质环境条件下公路隧道大量出现,我国已经成为世界上隧道工程数量最多、最复杂、发展最快的国家,同时我国特殊的地域条件决定了公路隧道建设也将进入一个新的发展时期,一大批特长公路隧道将逐步开工建设,将把我国修建公路隧道的技术水平推向一个新的高度。

目前,我国公路隧道普遍采用新奥法设计施工技术,隧道主体结构以锚喷支护和模筑混凝土复合衬砌为主流形式。在具体施工过程中,开挖步骤、锚喷支护和模筑混凝土的施设时机往往因施工单位的技术水平、围岩和环境条件出现极大的差异,而导致同样的主体结构具有不同水平的安全储备^[1]。依据国家有关部门已经颁布的相关规范与标准^[2~5],隧道结构物在建成之后,在合适的设计、施工和维修管理条件下,应具有良好的承载性、耐久性和满足耐久性要求的使用寿命。但隧道结构物由于其自身的特殊性,在施工及营运过程中将受到诸如地质、地形、气候条件和设计、施工、运营过程中各种因素的影响,致使其在长期使用过程中出现了各种各样的病害。公路隧道由于其断面大,衬砌结构种类的形式多,地质条件和施工技术复杂,设计时对地质条件的认识不够全面,设计计算理论和方法不够成熟,加上隧道本身的材料老化以及造价、营运期间的监控和维护管理不能及时到位等方面的原因,在我国公路隧道大规模建设的同时,既有公路隧道和竣工后刚营运的公路隧道出现了较为突出的病害问题,如成渝高速公路龙泉山隧道衬砌混凝土纵向、斜向裂缝发育(严重地段衬砌变位错台),渗漏水十分严重^[6];四川巴朋公路铁山隧道出现衬砌开裂、错台、掉块、渗水等病害,危及到行车安全,被迫关闭交

通^[7,8];重庆市万州与开县交界处大垭口隧道出现了衬砌开裂和渗漏水现象^[9]等。

上述这些隧道病害不但使隧道结构的稳定性受到一定程度的破坏,安全可靠性降低,影响了其作为快速安全交通通道的使用功能,同时未达隧道结构设计基准期就急需大修,花费了大量的资金,这显然是与建设隧道的初衷相违背^[1]。

针对隧道出现的上述病害,反思现今我国在建的特长隧道:如何在现今的隧道建设中进一步完善隧道主体结构的检查及监测方法,如何在病害出现之初就能发现并及时做出预警报告,如何依据隧道的监测数据对隧道的健康状况做出适度的评价等一系列问题,都有待于进一步的深入研究。因此,针对上述问题并结合典型特长公路隧道的施工过程,对各类长大及复杂地质环境条件下的隧道主体结构展开从施工到运营期结构健康全过程监测技术的研究具有重要的现实意义^[10]。

2 隧道结构健康监测系统基本概念

2.1 结构健康监测系统隧道工程中应用现状

近年来,随着传感器技术、信息采集技术、数据处理技术、计算机技术的迅猛发展,结构健康监测(Structural Health Monitoring,简称 SHM)虽已经应用于土木工程的各个领域,但世界范围内对于结构健康监测的研究尚均处于刚刚起步阶段,目前比较通行的定义是由 Housner^[11]于 1997 年提出的:利用现场无损传感技术,通过包括结构响应在内的结构系统特性分析,达到检测结构损伤或退化的目的。虽然这个定义在国内被广泛接受^[35],但在国际上尚未成为一个权威性的定义。

鉴于 SHM 在大型基础工程中的广阔应用前景,各国都已经在积极开展该项技术的应用研究,并在航空航天、桥梁、建筑物等各领域取得了阶段性成功,部分成果已经应用到了工程实践中^[12]。相比而言,结构健康监测在隧道领域的发展,则明显滞后于桥梁等领域。

近年来,我国隧道工程由于施工、地质、地下水侵蚀等因素引起锚杆失效、钢筋锈蚀、混凝土质量劣化等,从而导致衬砌结构在长期使用过程中出现了各种各样的病害,使隧道结构的稳定性受到一定程度的破坏,衬砌结构的安全可靠性降低,造成危及行车安全的重大问题后,对于营运隧道主体结构的健康检测逐渐得到重视,但现行的对于隧道结构健康状况评估多是传统意义上的通过人工目测检查或借助于便携式仪器测量得到的信息进行。由于传统检测方法存在诸多缺点和限制,它们无法直接有效地应用于大型隧道工程的健康状况检查,因此有必要建立和发展一个针对各类长大及复杂地质环境条件下的从施工到运营期一体化结构长期安全监测系统,即隧道工程中的 SHM。但截至目前,对于隧道建成后运营期间结构安全性的健康监测研究却鲜有问津,这主要与隧道工程实际应用中受到诸多不利因素的控制有关:首先,隧道工程中的不确定性因素和复杂的工作环境对结构的安全性监控造成了很多不利影响,导致了目前隧道工程中整体监测的许多困难;其次,对隧道在使用年限内工作特性的变化缺乏深入研究,对既有隧道结构功能状态的判定和评价难以建立客观统一的标准等;再次,以新奥法为代表的现行隧道结构体系,并不是单纯的钢筋混凝土结构,围岩在隧道结构健康中扮演着重要的角色,上述特征导致对隧道结构安全性评价带有很大的模糊性;最后,也与前期对隧道结构健康的关注不足有关^[10]。