

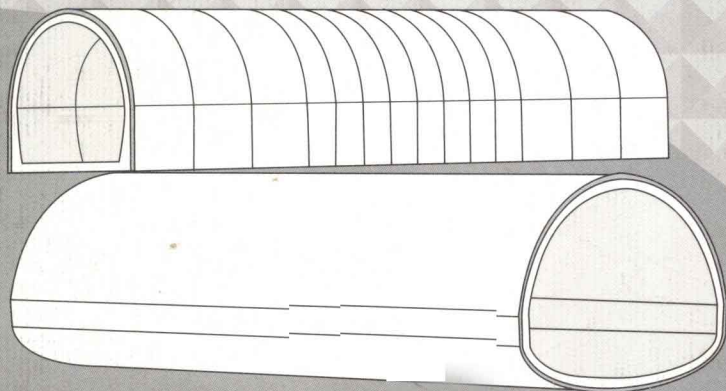
CHENGSHI CHAOXIAO JINGJU LITI JIAOCHA SUIDAO

主 编 / 乔明佳

副主编 / 王庆渝 吴 巧 姜德义 叶大华

SHEJI YU SHIGONG GUANJIAN JISHU

城市超小净距立体交叉隧道 设计与施工关键技术



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

CHENGSHI CHAOXIAO JINGJU LITI JIAOCHA SUIDAO

主 编 / 乔明佳

副主编 / 王庆渝 吴 巧 姜德义 叶大华

SHEJI YU SHIGONG GUANJIAN JISHU

城市超小净距立体交叉隧道

设计与施工关键技术

重庆路桥公司
重庆市设计院
重 庆 大 学
中铁八局一公司



主 编

乔明佳

副主编

王庆渝 吴 巧 姜德义 叶大华

编 委

朱自力 陈 玉 程建林 杨 方

吴明生 谢圣纲 张忠卫

重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市超小净距立体交叉隧道设计与施工关键技术/乔明佳主编. —重庆:重庆大学出版社,2012.2

ISBN 978-7-5624-6335-1

I. ①城… II. ①乔… III. ①城市隧道—隧道工程—工程施工 IV. ①U459.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 185217 号

城市超小净距立体交叉隧道 设计与施工关键技术

重庆路桥公司

重庆市设计院

重庆大学

中铁八局一公司

主 编 乔明佳

副主编 王庆渝 吴 巧 姜德义 叶大华

策划编辑:张 婷

责任编辑:李定群 姚 胜 版式设计:张 婷

责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

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

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:8.25 字数:167千 插页:8开1页

2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-6335-1 定价:39.00元

内 容 简 介

本书采用理论分析、数值模拟、现场监测等方法,结合工程实例,论述了浅埋软岩超小净距立体交叉隧道设计与施工技术;阐述了浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道加强段围岩稳定性的判定,浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道加强段的支护设计与优化,城市隧道不同开挖方法的对比和交叉加强段爆破开挖方案的选择,浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道信息化施工技术的实施,新建隧道对既有隧道结构的影响与可靠性评价以及新建隧道投入运营对既有隧道结构长期影响的分析与判定。

本书内容翔实、结构系统,是一本由工程实践支撑的前沿性论著。

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

前 言

CHENGSHI CHAOXIAOJINGJU LITIJIAOCHASUIDAO SHEJI
YU SHIGONG GUANJIAN JISHU

随着我国国民经济的快速发展,城市交通量不断增加,地下空间的开发利用成为城市化的必然需要,越来越多的道路工程将投入建设,交通岩土工程蓬勃发展。在城市公路隧道的建设中,新建隧道与既有隧道由于条件限制往往距离较近,难免会出现新旧隧道小净距交叉的工程,此类工程存在着诸多的施工难度。

隧道建设是百年大计,确保小净距交叉隧道的设计、施工安全可靠,采用高科技设备、选择切实可行的监测手段,确保既有隧道结构的正常使用和拟建隧道的顺利掘进,对我国交通建设和城市地下空间的开发利用,具有重要的现实意义。其在工程实践中将会创造巨大的社会效益和经济效益。

新建隧道跨越既有隧道,会对既有隧道产生一定的影响,研究浅埋软岩超小净距交叉隧道工程的设计与施工关键技术,将成为工程实践重要的理论支撑。本书以重庆市高九路至华村立交连接段华村隧道工程为依托,对工程设计与施工技术进行全面论述。华村隧道与嘉华隧道在空间上形成小净距交叉,两隧道交叉处最小岩层厚度仅0.423 m。目前,国内类似工程的设计与施工还很少见,因此,该工程的浅埋软岩超小净距立体交叉隧道设计与施工关键技术研究具有前沿性,对类似工程的实施有一定的借鉴作用。

本书具体内容有:浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道加强段围岩稳定性的判定、浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道加强段的支护参数设计与优化、浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道不同开挖方法的对比以及交叉加强段爆破开挖方案的选择、浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道信息化施工技术的实施、新隧道的修建对既有隧道结构的影响及可靠性评价,以及新建隧道投入运营对既有隧道结构长期影响的分析与判定。

本书理论上强调实用性,实践上注重可操作性,内容翔实、科学系统,是一本具有一定前沿性及较大现实意义的论著。本书可作为高等院校隧道工程专业的教材、地下工程专业的教学参考书,也可供从事地下工程的工程技术人员在设计与施工中参考。

本书中如有不足或错误,敬请批评指正。

作 者

2011年2月

1 绪 论

1.1 小净距立体交叉隧道是一种新的结构形式	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 超小净距立体交叉隧道的发展现状及存在的问题	2
1.2.2 爆破震动作用下结构的力学响应及可靠度的研究现状	4
1.2.3 隧道信息化施工技术研究现状	6
1.3 论著的主要特点	8
1.3.1 论著的主要内容	8
1.3.2 论著的编写方法	8

2 城市超小净距立体交叉隧道工程概述

2.1 工程简介	9
2.2 地质概况	11
2.3 工程地质评价	11

3 立体交叉隧道围岩稳定性数值模拟分析

3.1 计算模型	13
3.2 结果及分析	14
3.2.1 模型评价	14
3.2.2 变形分析	16
3.2.3 主应力场分析	18
3.2.4 塑性区分析	19
3.2.5 边锚杆轴力图分析	19
3.3 嘉华隧道二次衬砌安全度评价	21
3.3.1 计算模型	21
3.3.2 计算结果及分析	22

4 华村隧道立体交叉段总体设计

4.1 净断面的确定	25
4.1.1 华村隧道 I、J 线开挖对嘉华隧道衬砌结构的影响	26
4.1.2 确保嘉华隧道衬砌结构安全的措施	26
4.2 华村隧道立体交叉段衬砌结构及支护参数的拟定	27
4.2.1 边墙及拱部支护参数设计	27
4.2.2 底部支护参数的特殊设计	29
4.2.3 华村隧道交叉段支护衬砌断面	29
4.3 立体交叉段开挖方式的选择	32
4.3.1 上下台阶法与双侧壁导坑开挖方式的比较	32
4.3.2 采用上下台阶法施工	33

5 基于 ABAQUS 新建隧道施工和运营对既有隧道结构力学响应分析

5.1 有限元软件 ABAQUS 程序算法原理	34
5.1.1 ABAQUS 有限元软件简介	34
5.1.2 ABAQUS 分析模型	34
5.1.3 有限元基本方程	36
5.2 计算模型	36
5.2.1 有限元模型	37
5.2.2 边界条件	37
5.2.3 计算参数	38
5.2.4 计算分步	38
5.3 数值模拟结果分析	39
5.3.1 初始地应力	39
5.3.2 嘉华隧道交叉段开挖后的变形	40
5.3.3 华村隧道交叉段开挖后的变形	41
5.3.4 华村隧道爆破施工数值模拟	45
5.4 华村隧道运营车载数值模拟分析	51
5.5 嘉华隧道混凝土衬砌结构振动加速度测试	52
5.5.1 加速度传感器的选择	52
5.5.2 测点布置及测试方案	53
5.5.3 动态测试数据分析与处理	53

6 既有隧道衬砌结构动力可靠性研究

6.1 爆破地震作用下结构的破坏准则与破坏机制	58
6.1.1 结构的破坏准则	58
6.1.2 结构的破坏机制	59
6.2 爆破地震作用下既有隧道衬砌结构的动力可靠度分析	62
6.2.1 随机过程的交叉问题	62
6.2.2 基于泊松过程法的随机结构的首次超越可靠性分析	64
6.2.3 基于瑞雷分布法和正态分布法的动力可靠性计算	65
6.2.4 基于首次超越破坏准则结构动力可靠性分析	66

7 城市超小净距立体交叉隧道施工技术

7.1 华村隧道施工特点概述	70
7.2 华村隧道施工方法研究	71
7.2.1 施工方案的制订	71
7.2.2 施工控制要点	71
7.2.3 施工方法的比选	72
7.3 施工及开挖方案经济性分析	75
7.3.1 华村隧道盾构法与新奥法施工经济性比选	75
7.3.2 立体交叉段隧道新奥法开挖方案施工经济性比选	76
7.4 新建隧道与既有隧道交叉段的钻爆设计与施工	77
7.4.1 上台阶参数的确定	77
7.4.2 采用凸形断面掘进	77
7.4.3 爆破参数的确定	78
7.4.4 隧道爆破安全允许振速的建议值	79
7.4.5 上台阶施工	80
7.5 初期支护及二次衬砌施工技术研究	84
7.5.1 初期支护施工	84
7.5.2 二次衬砌钢模板台车的研制	86
7.6 华村隧道的加固措施	88
7.7 信息法施工	89

8 城市超小净距交叉隧道信息化施工技术研究

8.1 隧道信息化施工技术概述	91
8.1.1 隧道信息化施工方法	91
8.1.2 隧道信息化施工特点	92
8.2 新建隧道新奥法施工常规量测	93
8.2.1 常规量测的原理及方法	93
8.2.2 数据处理及应用	94
8.2.3 量测数据分析	95
8.2.4 数据分析结果	101
8.2.5 信息化施工对城市超小净距交叉段施工的重要性	101

9 新建隧道施工爆破地震波监测

9.1 爆破地震波的基本理论	103
9.1.1 爆破地震波的形成和种类	104
9.1.2 爆破地震波的相关参数	104
9.1.3 爆破地震波的能量	104
9.1.4 爆破地震波的辐射半径	105
9.1.5 爆破地震波的振幅	105
9.1.6 爆破地震波的周期和频率	107
9.2 爆破地震波的安全评判标准	108
9.2.1 我国原有的安全判据	108
9.2.2 现有安全判据	108
9.3 爆破地震波测试系统	109
9.3.1 测试目的	109
9.3.2 测试系统	110
9.3.3 测试参数	112
9.3.4 数据分析	112
9.4 爆破地震波监测结果分析	113
9.4.1 监测数据	113
9.4.2 数据分析原理	113
9.4.3 爆破地震波振动数据回归分析	115
9.4.4 爆破地震频率分析	116

9.5 爆破参数优化调整及爆破振动控制技术	116
9.5.1 爆破参数优化	116
9.5.2 爆破振动控制技术	116
9.5.3 控制循环进尺	117
9.5.4 布置减振孔与减振带	117
9.6 对新建隧道施工爆破地震波监测的评价	117
参考文献	118
后记	121

1 绪 论

1.1 小净距立体交叉隧道是一种新的结构形式

近年来,随着我国交通基础设施建设规模的逐步扩大,公路建设迅猛发展,隧道里程占路线总里程的比例越来越大。为了保持我国经济持续稳定的增长,国家实施西部大开发战略,因此面临设计及修建大量的铁路、公路隧道。城市地下空间的开发利用是中国城市化的必然需要。另一方面,随着西部城市交通的持续建设,道路网络的不断完善,城市地下空间开发利用的规模也不断扩大,使得新建隧道邻近或上穿既有公路隧道或铁路隧道及其他各种地下建(构)筑物的现象越来越多。如何确保小净距交叉隧道的设计、施工安全,确保已建地下空间设施的正常使用和拟建隧道的顺利掘进,对我国交通建设和城市地下空间开发利用,具有非常重要的指导作用,并显得非常必要和紧迫,在工程实践中将会创造巨大的社会效益和经济效益。

小净距立体交叉隧道是近几年衍生出的一种新的结构形式,由于不受地形条件及总体线路线型的限制,造价较低,这种形式的隧道数量正逐渐增多。采用小净距立体交叉隧道方案,不仅能很好地满足特殊地质及地形条件、总体路线线型的特殊要求,而且有利于公路整体线型规划和优化,具有显著的经济、社会、环境效益。但小净距立体交叉隧道设计、施工还存在较多关键技术需要解决,诸如合理施工方法、监控基准、立体交叉影响,等等。早期的隧道建设,主要涉及平面交叉,对于隧道平面交叉的研究已取得了许多成果。随着地下空间的进一步开发和利用,同时地下设施的不断增多使得后建的或网络化扩建的隧道不得不以立交方式穿越邻近已有隧道或其他地下结构设施,且建(构)筑物的间距愈来愈小。国际上已经出现了许多近距离交叉的隧道方案,如苏联采用盾构法在靠近哈尔科夫的既有地铁区间隧道下方修建地下隧道工程;俄罗斯也采用盾构法修建了双洞双层隧道;意大利—瑞士高速公路项目中修建了一段水平平行逐渐过渡到上下平行的双孔隧道;日本利用矿山法修建了双层重叠公路隧道。国内近几年出现了一些隧道间距非常小的工程实例,如采用矿山法修建的深圳地铁一期工程国贸与老街站间的区间隧道,采用了左右线上下重叠的结构形式;上海地铁二号线与一号线在人民公园站附近交叉,走向基本正交,两隧道间垂直净距约1 m;上海外滩观光隧道从地铁二号线的两条隧道上方斜向穿越,行人隧道底部与地铁隧道顶部的最小净距约为

1.2 m。上海的这些工程实例,其工程地质均为软土,可以采用国际通用的盾构法施工。重庆的华村隧道交叉段工程地质为岩石,掘进方式有所不同。新隧道的建设,从既有隧道(嘉华隧道)的上面穿过,这不可避免会对既有隧道产生不良影响。研究城市超小净距交叉隧道工程的设计与施工关键技术以及修建隧道对既有隧道结构的影响,对工程实践具有重要的指导意义。

目前,国内类似的工程实例还很少。由于城市双线隧道(华村隧道)与城市大跨度双线隧道(嘉华隧道)超小净距立体交叉,两隧道交叉处最小岩层厚度仅0.423 m,此项工程在隧道修建史上应该说是罕见的,属国内领先。因此本著作系对该工程的城市超小净距立体交叉隧道设计、施工关键技术进行全面论述。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 超小净距立体交叉隧道的发展现状及存在的问题

随着交通需求的急剧增加,国内外修建的大跨度(净宽大于15 m)隧道的数量越来越多。目前,公路隧道建设走在世界前列的国家有:瑞典、挪威、奥地利、韩国和日本。20世纪80年代后期,韩国进行了大规模的以首尔为中心的四车道高速公路改扩建为八车道高速公路,于是不可避免的出现四车道高速公路大跨度隧道,其中最早完工的是1992年开始建设的清溪隧道,左右线平均长度为500 m,挖掘断面积 186.42 m^2 ,净宽17.94 m,拱高9.785 m,采用三心圆扁平拱式断面。日本早期修建的第二东名公路三车道隧道,断面积 $113\sim 170\text{ m}^2$ 。近期为适应140 km/h高速度的要求而设计的名神高速公路三车道公路隧道,其断面积达 $170\sim 230\text{ m}^2$ 。日本横滨市帷子河隧道开挖断面积达 225 m^2 ,为日本泥土隧道中断面最大者。再如美国贝克山单孔隧道,断面积高达 467 m^2 。

我国也在二车道建设过程中积累了宝贵经验,利用这些经验去指导三车道隧道建设,但是我国大跨度隧道建设的经验与技术相对落后于上述几个国家。从20世纪60年代开始修建断面积超过 100 m^2 的大断面铁路隧道,其中断面面积在 200 m^2 以上的已经出现多座。20世纪80年代后随着隧道技术的发展,以及公路标准和运量的增大,大跨度公路隧道的数目急剧增多,如重庆的铁山坪三车道隧道,最大开挖断面 120 m^2 ;四川的大梅沙三车道隧道,洞口段开挖断面大于 170 m^2 ;贵州省凯里市的大阁山隧道为市政道路四车道隧道,长496 m,最大开挖宽度为21.04 m,最大开挖高度为11.45 m;杭州市的三车道高速公路黄鹤山隧道,最大开挖宽度为16.368 m,最大开挖高度为11.64 m。铁路隧道方面,目前跨度较大的是位于云南省大关县的内昆线三线铁路车站隧道——曾家坪一号隧道,长2563 m,其中269 m为三线隧道,最大开挖宽度为20.68 m,最大开挖

高度为 13.83 m。

20 世纪 80 年代,同济大学用平面应力模型研究了大跨度矮墙洞室的开挖方法对洞室稳定性的影响;1995 年,西南交通大学王明年、何川等人做了三车道隧道模型试验研究及有限元分析;1998 年,王明年通过大比例尺模型试验和有限元方法对三车道公路隧道在不同构造应力作用下的力学行为进行了深入研究,研究表明构造应力对三车道公路隧道的承载能力、破坏形态、位移规律都有很大影响。但我国在四车道公路隧道围岩稳定性分析、施工开挖方法和支护衬砌工艺研究上尚处于起步阶段。

日本及欧美等隧道修建技术是比较发达的国家,从 20 世纪 70 年代开始就对小净距隧道进行了相关研究,日本铁道技术学会于 20 世纪 70 年代初发表了《关于平行隧道研究的报告》,T. 川等结合田真新镇干线公路上的尾山大理隧道对小净距隧道设计、开挖方式进行了系统研究;Hiroshi KURIYAMA 等人结合福岗市地铁 3 号线对岩柱加固方法、监控量测进行了研究,并进行了三维数值模拟分析;Solim. E (1993) 利用平面应变和三维有限元对小净距隧道进行了开挖模拟。在小净距隧道近接施工问题上的研究,日本走在了世界前列。

在我国,小净距隧道尚为新型隧道结构形式,铁路隧道采用这种结构形式较早,已建成的小净距铁路隧道如内昆线青山隧道,湘黔铁路娄底至怀化段复线新坪渠隧道、新坪口隧道,宝成复线须家河隧道等。

在公路隧道方面,近年来开始采用小净距隧道。表 1.1 为部分小净距隧道概况。

表 1.1 部分小净距公路隧道

隧道名称	净距/m	隧址	围岩级别
招宝山隧道	3.50	宁波	Ⅲ、Ⅳ级围岩
董家山隧道	3.75	都汶高速	Ⅲ~Ⅴ级围岩
金期山隧道	5.08	京福高速	Ⅲ、Ⅳ级围岩
里洋隧道	5.86	京福国道	Ⅳ、Ⅴ级围岩
丰泽街隧道	6.44	泉州市	Ⅲ级围岩

这些工程隧道的建成,为我国公路小净距隧道的设计和施工积累了初步的经验。通过对这些项目的科研、设计与施工技术展开了一些研究工作,研究内容集中在爆破震动控制、量测以及对开挖的数值模拟等方面,取得了一些初步成果。

1.2.2 爆破震动作用下结构的力学响应及可靠度的研究现状

应用可靠性理论、推行结构概率设计方法以取代传统的安全系数设计法是当今国内外结构设计发展的必然趋势。在结构可靠性研究领域,经过世界各国学者的努力,已取得了非常多的研究成果。地下结构可靠性研究,由于其涉及的参数较多,有相当的研究难度。虽然如此,近几十年来,经过国内外学者的不懈努力,也取得了相当多的研究成果。

20世纪40年代,美国学者赖斯 S. O. Rice 研究了动力反应与某一固定界限交叉的问题,首次建立了在给定时间内交叉次数及其期望值的数学表达式。在1944年和1945年先后提出了两个关于首次超越概率的著名公式,为首次超越破坏的动力可靠性理论奠定了基础。

20世纪50年代,动力可靠性理论主要集中于讨论基于首次超越破坏机制和疲劳破坏机制的各种近似计算方法,主要是基于各种近似假设而得到的近似解析解。1951年,西格特(A. J. Siebert)等人在 Rice 理论上,提出了当结构反应为连续 Markov 过程时的首次超越破坏概率的计算方法,导出了首次超越破坏概率的 Laplace 变换。1959年,赫尔姆西特龙(C. W. Helmstrom)应用 Siebert 的方法求得了包络过程的首次超越问题的解析解。同年, Coleman 基于反应是平稳过程以及在给定时间内与某一固定界限的交差次数为泊松过程的假设对几种边界问题导出了交差次数和首次超越概率的表达式,即著名的 Poisson 过程法,这一方法是一种常用的计算方法也是许多修正方法赖以建立的基础。此后, Rosenbluth 和 Bustament, Caughey 和 Gray 等人都用不同的方法得到了同样的结果。

结构动力可靠性理论是建立在结构随机振动理论上, Rosenbluth 等在1962年提出了抗震结构的安全概率问题,并将其归结为首次超越破坏机制的范畴。但是,对抗震结构可靠性的系统研究,是始于1968年康耐尔(Cornell)提出的一套地震危险性分析模型之后。随着振动理论和结构可靠性理论的日趋完善,国内外一些学者也开始用基于随机振动理论的可靠性分析方法进行地震作用下的结构易损性和安全性评价。

20世纪80年代初, Lai 和 Vanmarcke, Ang 和 Wen 以及 Shah 和 Dong, 分别采用数字模拟和解析相结合的方法、非线性随机振动的方法和数字模拟方法对钢结构和钢筋混凝土结构的地震安全度或可靠性提出了分析方法。Lai 等对多自由度剪切梁体系的弹塑性随机振动解法,提出了一个半经验的修正方法,给出抗震结构总安全度的分析公式,并考虑了地面运动功率谱、结构动力性质和动力分析方法的变异性对结构反应的影响。Shah 等采用地震动功率谱密度函数生成人工波,通过数字模拟计算多自由度非弹性结构的地震反应。Ang 和 Wen 等提出了地震危险性分析的断层破裂模型、随机地震反应分析的一阶非线性微分方程恢复力模型的等

效线性化方法,以及钢筋混凝土结构的双参数破坏模型。1984年,Shinozuka等在核电厂钢筋混凝土壳结构安全评价的可靠性分析中,用三维有限元模型代表壳体结构,地震地面运动理想化为零均值的平稳高斯过程,用金井清谱描述地震,以临界单元的极限状态概率代表整个结构的极限状态概率,用荷载组合理论和随机振动理论来分析在各种静荷载和动荷载及其组合作用下结构的极限状态概率。后来,Tzavelis将这种方法应用到框剪结构中。

此后,一些学者在经典的动力可靠性理论上,除考虑动力荷载的随机性外还考虑了结构的不确定性。1987年,Wen和Chen在文献中提出了一个快速积分法,用来求解确定结构和荷载参数下的结构地震可靠性,这一方法可以同时考虑结构和荷载参数不确定性,用一次二阶矩法求解地震可靠性。1988年,J-M. Jaw和H. H. Hwang在剪力墙结构的地震破坏分析一文中,用Monte Carlo模拟法分析剪力墙结构的非线性地震反应,分析中考虑了地震地面运动和结构的若干重要参数的不确定性,给出在不同延伸系数极限状态下结构的易损性曲线。1991年,A. Longinow,A. H-S. Ang, L. A. Twisdal等人在研究人防工程结构可靠度时,就动载作用下防护结构可靠性的设计理论做了大量工作,提出了RDBF可靠性设计方法。

与国外相比,我国在可靠性方面的工作起步晚一些。国内对静力可靠性的研究工作始于20世纪50年代,最初是用数理统计方法确定超载系数和材料强度系数。1976年原国家建设委员会下达了开展建筑结构安全度与荷载组合课题的研究任务,成立了工业与民用建筑规范系列的编委会和专题研究组,参考国际上的研究成果,进行了大量的工作,经过参加单位近十年的努力,《建筑结构设计统一标准》GBJ 68—84于1985年起试行。在这一标准的推动下,我国对20世纪70年代制定的结构设计标准进行了大规模的修订,目前绝大部分结构设计标准均已修订,采用概率极限状态设计法,使我国在这一领域处于国际先进行列。在结构动力可靠性研究方面,提出了结构抗力的四种界限,即确定性界限、随机界限、模糊界限和模糊随机界限,建立了抗震结构可靠性的相应分析方法,对抗震结构发生各种破坏等级和倒塌的概率进行了研究,对一些高层建筑、高耸建筑及框架轻板建筑动力可靠性进行了分析,并建立了抗风结构的动力可靠性分析方法。在岩土可靠性问题研究方面,我国是从20世纪70年代末才开始的。中国力学学会岩土力学专业委员会于1983年初在同济大学举行了《概率论与统计学在岩土工程中的应用》专题学术座谈会,从而推动了这一问题的研究。此后,在地基承载力、边坡稳定、地基沉降、桩基等方面取得了重大成果。

我国的研究者在动力可靠性方面取得了较多成果,王光远、胡幸贤等的研究工作为我国抗震结构的动力可靠性分析奠定了基础,他们将地震地面运动模拟为平稳或平稳化随机过程,研究了结构随机反应的分析方法及振型耦合等问题。1984年,高小旺等进行了多层砖房的抗震可靠性分析,采用了一次二阶矩方法,将地震

作用和结构抗力视为随机变量,根据地震危险性分析的结果推得了结构基底剪力的概率分布,并研究了砖墙抗剪强度的概率分布及其统计参数,评估了8度地震区(带)构造柱多层砖房的倒塌破坏概率。邬瑞峰等也用一次二阶矩法计算了带构造柱多层砖房的抗震可靠性。韦承基按 Monte Carlo 法和直接动力法计算结构反应,用一次二阶矩法分析了钢筋混凝土结构的可靠性,采用极限变形位移角作为结构的破坏准则。1985年,江近仁等采用非平稳地震地面运动平稳化、非线性结构线性化方法求解结构的反应统计量,基于 Wen 的一阶非线性微分方程模型提出了砖结构恢复力模型,并据此模型计算不同变形水平时的非线性反应谱,用最小误差谱来确定最佳的等效线性化参数;在动力分析中,不仅考虑了荷载的随机性而且考虑了参数的不确定性和分析方法的误差对结构反应的影响;采用最大位移和累积耗能参数破坏准则,对砖结构的可靠性进行了具体分析。

对于多自由度的大型结构,在时域内分析计算结构随机动力响应的研究在国际上仍处于探索阶段。1993年周建等采用首次穿越破坏准则分析了地下管道结构的动力可靠性,但将周围土体简化为弹簧。1998年周健与胡晓燕对上海软土地下建筑物进行了抗震稳定性分析。河海大学历经多年的研究,基于三维随机有限元法,对结构的自振频率统计特性的计算方法进行了研究。刘汉龙等将地震模拟为不规则的随机波,在随机振动理论的基础上建立了土体随机地震反应分析方法,避免了在确定性分析时选择不同的地震波得出不同地震反应结果的缺陷,进一步还可进行动力可靠性分析。严松宏采用最大随机地震响应和首次超破坏理论分析了隧道抗震动力可靠度,得到了隧道在七度地震作用下的地震动力可靠概率和失效概率。马方兴将爆破地震动加速度时程作为随机过程,对建筑结构物进行了随机振动反应理论分析,确定了爆破地震作用下建筑结构物的破坏准则,并得到了爆破地震作用下计算结构动力可靠度的方法。

1.2.3 隧道信息化施工技术研究现状

“信息化方法”起源于20世纪40年代晚期,随着当时“现代”土力学理论的发展,人们摸索出了一种集预测、监控、评价和修正为一体的设计方法。

自20世纪60年代起,以尽可能不恶化围岩中的应力分布为前提,在施工过程中密切监测围岩变形和应力等,通过调整支护措施来控制变形,以达到最大限度地发挥围岩本身自承能力的新奥法(NATM-New Austrian Tunneling Method)使隧道施工技术得以发展。新奥法是奥地利拉布西维兹(L. V. Rabcewicz)教授等在长期从事隧道施工实践中,从岩石力学的观点出发而提出的一种合理的施工方法,是采用喷锚技术、施工测试等并与岩石力学理论构成的一个体系而形成的一种新的工程施工方法。

20世纪70年代,随着计算机技术的大力发展,很多学者对岩土计算理论尤其

是岩土工程反演理论进行了研究,并取得了较多成果。近年来,由于量测技术、计算机技术的发展和渗透,地下工程结构体系的信息设计和施工方法有了很大的发展。20世纪90年代,“信息化方法”获得了广泛地应用,其原理也被扩展。“信息化方法”作为一种设计、施工方法已经被许多规范认同,如欧洲规范(Eurocode)。诸多学者也更加重视,甚至大力倡导信息化方法。1999年,Terzaghi教授的亲密同事Ralph Peck博士和Alan Powderham博士在《施工反思》(*Rethinking Construction*)书中写到,“信息化方法”具有天生的解决复杂问题的能力,虽然事实上已经取得了很多成功的范例,人们在项目开始仍极少考虑信息化途径。他们呼吁将信息化方法提到项目各方(业主、承包商及咨询工程师)的议事日程上。ISSMGE(国际土力学及岩土工程学会)副主席Brandl博士也大力倡导信息化方法,称之为“解决目前理论与实际日益脱节”的有效办法。国际隧协1992—1995执行主席Eisenstein教授在《城市隧道的挑战与进展》书中认为,“信息化方法特别适于隧道工程”。

西安矿业学院的刘怀恒教授在1978年开发出“岩石力学平面非线性有限元分析程序NCAP-2D”;同济大学的黄伟、杨林德教授于20世纪80年代初期开发了“锚喷支护地下洞室非线性有限元分析程序”;中国人民解放军总参工程兵第四设计研究所的李世辉于1985年开发出“典型工程类比隧道力学分析边界元程序BMP-84”;同济大学的朱合华教授于1997年推出了“地下工程施工模拟通用正反分析计算软件”;东北大学的王泳嘉、刘连峰开发了“3D离散元软件TRUDEC”。这些研究不仅促进了岩土力学的发展,也有力地激起隧道信息化设计施工划时代的变化。国外,如日本的樱井(S. Sakurai)提出的位移—应变反馈确定初始地应力与地层弹性参数值的有限单元法、结合工程实践提出的确定围岩极限张应变值的原理和方法,以及评估隧道稳定性的方法和标准(Hazard Warning Level);大冢正幸在提出的位移预报法中涉及初始地应力的反演确定,对圆形洞室的粘弹性问题提出了解析解法;美国学者古德曼(R. E. Goodman)在20世纪70年代出版的岩石力学专著中已提到可依据位移量反算初始地应力;意大利学者(G. Gioda)提出了可同时确定初始地应力和地层特性参数的优化反演分析理论。

目前,欧洲及日本等已纷纷开始研制和开发的隧道工程动态设计系统是建立在现代信息技术及信息化设计施工思想基础上的,其中有的已开始产业化应用。过去我国在隧道施工中,基本上也是按照“信息化设计施工”的思想进行设计和施工的。但因获取信息手段发展的迟缓、信息传输系统的不完善以及隧道施工环境和管理体制的限制等原因并未实现真正意义上的“信息化”。但最近一段时间,由于信息技术、通信技术以及各种获取信息手段和方法的迅速发展,特别是设计施工体制的改革以及适应未来“设计施工总承包(Design-Build Contract)”体制的实施要求,给真正实现隧道工程“信息化设计施工”创造了良好的条件和基础。

1.3 论著的主要特点

本著作以重庆市新建的华村隧道与既有嘉华隧道的立体交叉加强段工程为依托,总结了浅埋软岩超小净距立体交叉城市隧道的设计施工关键技术。

1.3.1 论著的主要内容

(1)城市超小净距立体交叉隧道围岩稳定性的评判;

(2)城市超小净距立体交叉隧道设计技术及优化设计;

(3)新建隧道的修建对既有隧道结构的影响与可靠性的评价,以及新建隧道投入运营后车载对既有隧道结构的影响;

(4)城市超小净距立体交叉隧道的不同开挖方法对比分析、交叉加强段爆破开挖方案的选择以及优化设计;

(5)城市超小净距立体交叉隧道信息化施工技术,其中主要阐述隧道监控量测、施工爆破地震波监测等。

1.3.2 论著的编写方法

根据以上主要内容,本论著采用理论分析、数值模拟、现场试验等相结合的综合方法进行相关论述。

在具体作法上,结合现场条件进行有关工程设计参数的现场试验,以便获得现场有关参数,为设计与施工提供现场数据,建立多种交叉隧道数值模型,分别对开挖方法与围岩稳定性的关系、爆破施工对既有隧道的影响、信息化施工技术的应用和新建隧道与既有隧道的相互关系等问题予以阐述。