



中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

洪开荣 等 编著

Key Technologies for Construction
of Expressway Tunnels in Mountainous Areas

山区高速公路隧道施工 关键技术



人民交通出版社
China Communications Press

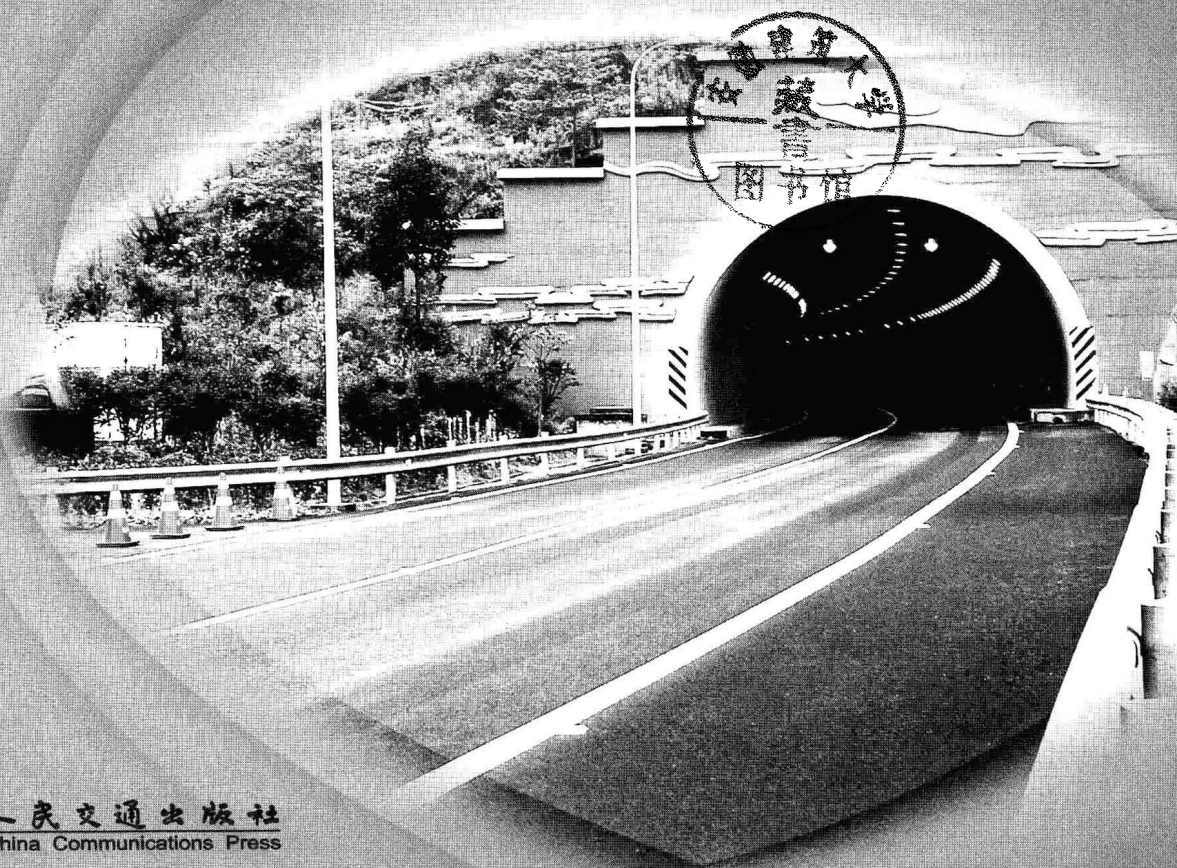


中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

洪开荣 等 编著

Key Technologies for Construction
of Expressway Tunnels in Mountainous Areas

山区高速公路隧道施工 关键技术



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书以山区高速公路数百座隧道的施工技术为基础,通过对大量工程建设中的数据、经验和教训的系统分析,全面客观地对山区高速公路隧道施工关键技术进行梳理、总结和提升,并加以系统阐述而成。

全书共分 13 章,结合重庆市地质情况,论述了山区高速公路隧道施工中的洞口工程施工、浅埋地层大跨隧道施工、断层破碎带施工、水平岩层施工、岩溶及采空区施工、煤层瓦斯隧道施工及塌方处理等关键技术,并包括双连拱隧道、小净距隧道、运营通道施工等内容,内容全面、系统、创新,提出了诸多宝贵的理念、原则和要点,逐渐形成较完整的山区高速公路隧道施工关键技术。

本书可供我国从事山区隧道及地下工程修建的设计、施工、科研技术人员以及广大师生学习和参考,亦可供非山区铁路、市政、公路隧道相关人员及国外同行参阅和交流。

图书在版编目(CIP)数据

山区高速公路隧道施工关键技术/洪开荣等编著.

—北京:人民交通出版社,2011.5

ISBN 978-7-114-08969-5

I. ①山… II. ①洪… III. ①山区道路:高速公路—隧道施工—施工技术 IV. ①U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 047526 号

书 名:山区高速公路隧道施工关键技术

著 作 者:洪开荣

责任编辑:刘彩云

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:787 × 1092 1/16

印 张:32.75

字 数:737 千

版 次:2011 年 5 月 第 1 版

印 次:2011 年 5 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08969-5

定 价:88.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

山区高速公路隧道施工关键技术

编审委员会

主 编:洪开荣

副主编:李祖伟

编 委(按姓氏笔画顺序):

于明华	方俊波	王明胜	卢子奇	卢智强
孙振川	孙立东	孙国庆	陈庆怀	李治国
李丰果	杜国平	杜小平	杨立新	李 国
李永生	罗 杰	钟 宁	郭得福	韩国令
温新亮	管泽英	蔡振宇		

审 稿(按姓氏笔画顺序):

方维鹏	吴鸣冈	李才儒	杨盛双	肖了林
陈文义	罗 琼	卓 越	夏安琳	韩忠存

参编单位:

中国中铁隧道集团有限公司

重庆高速公路集团有限公司



山区高速公路隧道施工关键技术

序

随着隧道修建技术的不断发展和不断增长的经济需求,公路隧道的发展趋势是隧道越修越长、越修越宽;穿越的地质越来越复杂,所需要的技术越来越难、越复杂。公路隧道洞门的设计也越来越丰富多彩。针对不同的隧道结构形式,根据宜近不宜连的特性,常采用小净距隧道代替连拱隧道,或在连拱隧道中采用复合式中隔墙代替整体性中隔墙等。以上山区高速公路隧道建设及技术的发展,在重庆市山区高速公路隧道修建上体现得特别明显。

重庆市辖区位于两江交汇、千山万岭、峰峦叠嶂之中,交通被山水所挡,严重影响了辖区人民生活水平的提高,政府急百姓之所急,决心在地质条件极其复杂,除黄土与冻土外,冒着高地应力、大变形、大滑坡、危岩、崩塌、岩溶、涌水、瓦斯、煤层等多种不良地质风险,进行以高速公路为主导的交通建设。经过二十多年的发展,在重庆市建设单位与施工单位的共同努力下,克服建设过程中的许多技术难题和想象不到的困难,建成了许多难度极大的山区高速公路隧道,而且运营良好。这些隧道工程的建成,不仅是建设单位与施工单位的宝贵财富,同样也是我国隧道界的财富。中铁隧道集团参与了该地区许多重、长、大、难隧道的建设。我很高兴地看到,重庆市高速公路建设集团和中铁隧道集团,不但重视建设中的技术创新与管理,而且重视技术总结与推广,组织技术力量全面审视和总结该地区的隧道工程技术,出版这本著作,这种高度责任感的精神,值得隧道及地下工程学术界和建设管理者借鉴。

本书是在重庆市建成的数千座隧道及地下工程的基础上,由洪开荣、李祖伟两位同志组织中铁隧道集团公司及重庆高速公路建设集团公司数十名施工技术人员、建设管理人员及专家学者历时两年之久,将隧道施工中的经验与教训、理念与创新进行全面总结而成。本书客观再现重庆山区高速公路隧道地质复杂、工程浩大、修建艰巨、技术难度高的特

征,写出了一本能开拓思路、很有应用与创新价值的书,我从内心感到高兴,因为这样的书是来自于工程实践,资料真实、宝贵。

本书主要论述了高速公路隧道施工中的洞口及洞口段施工、浅埋地层大跨隧道施工、断层破碎带施工、水平岩层施工、岩溶及采空区施工、煤层瓦斯隧道施工及塌方处理等关键技术,还包括双连拱隧道整治、小净距隧道、运营通道施工等内容,真实阐述了在复杂地质条件、高环保要求下隧道施工理念、方法和要点。并通过具有代表性的工程实例进行解析,具有全新的理论指导作用和技术适用性。

隧道修建是门实践性很强的专业,只停留在理论研究、计算分析的层面,是无法从根本上提高和解决实际问题的,必须有高层次人才深入到工程第一线,结合工程实际解决关键技术难题,才能实现重大突破。本书的作者洪开荣、李祖伟既是此方面的践行者,又是这方面的带头人,他们在施工管理中不仅重视施工技术的创新,而且重视理论与实践相结合,并通过实践创新理论与理念;强调工程技术人员,既要干好在建工程,又要善于进行工程技术总结与创新,多思索、勤动笔。因为实践是发现真知的源泉,许多宝贵的结论和新的观点大多出自工程现场。

总之,本书作者做了许多开创性的工作,针对重庆地区复杂的地质条件,从许多不同的隧道施工方法中,提炼出可供借鉴的关键性技术,具有较强的参考价值。本书的鲜明特色是内容新颖,理论密切结合工程实践,其理论、观点和方法都是建立在作者长期工程实践的基础上,并集中反映了作者理论研究和工程实践的成果。我相信本书的出版,必将对读者大有裨益,对今后我国隧道及地下工程的设计和施工进步产生重要的推动作用!

中国工程院院士

2011 年春



山区高速公路隧道施工关键技术

前 言

在山岭重丘地区修建高等级公路,为缩短公路里程,改善线形及保护环境,昔日那种“逢山尽量绕着走”的做法将被公路隧道代替。并且,随着建设技术的发展,在复杂山区隧道中采用钻爆法施工的关键技术取得了较大突破,为修建长大公路隧道及克服各种复杂地质条件提供了技术支持。

重庆市辖区的地质结构复杂,素有“地质博物馆”之称,特别是重庆市两翼地区:一是两翼地区属典型的山区,山重水复、地形险峻;二是地质灾害多,几乎云集了所有山区地质灾害,经常有危岩、断层、老窑积水、突泥涌水、有毒有害气体、高地应力等地质病害作祟,给施工安全带来了极大风险;三是两翼地区生态脆弱,环境保护难度大,因而该地区的高速公路建设,特别是隧道工程建设的难度可想而知。然而,面对隧道建设中各类复杂的地质问题,所有技术人员以严谨科学的态度,迎难而上,凭着强烈的责任心和创新的精神,“优质、文明、和谐、规范”的建设理念以及科学的建设和管理水平,有针对性、开创性地工作,一一破解了这些难题。

中铁隧道集团有限公司基本上参与了重庆地区所有长大高速公路隧道的修建,推动并引领了重庆市高速公路隧道修建技术的迅猛发展。以我集团参战修建的白云隧道为例:左右双洞均超过7 000m的白云隧道,穿越了构造溶蚀侵蚀中低山脉,隧道最大埋深达到了800m,施工中遭遇了断层、突水涌泥、瓦斯等多种不良地质,这样的地段占隧道的30%左右。施工中,我们及时采取了各种合理有效的防治措施,灵活采用了预注浆、后注浆、补注浆等手段,使得隧道在通过长48m的溶洞溶蚀段、1 173m的涌水段、785m的有毒气体突出段的施工过程中,没有发生一起重大灾害安全事故,并取得了单洞月进尺平均达284m的好成绩。

本书是一些常年在建设一线的管理、设计、科研技术人员,经过不断

创新、完善、总结多年来的山区高速公路隧道设计施工经验,历时两年完成的,是重庆山区高速公路隧道施工领域第一部全面系统、具有创新的学术专著!

本书共分13章,第1章概述,介绍了重庆市的地理位置及其在我国西部的交通地位、高速公路发展现状及地形地貌地质特征,重点介绍了重庆市高速公路隧道的主要特点、施工重难点及技术应对措施。第2章洞口工程施工技术,介绍了洞门、明洞、边仰坡施工方法及施工要点,较为系统地论述了不同地质体中洞口段隧道施工方法及措施。第3章浅埋软弱地层大跨隧道施工技术,在介绍不同施工方法的同时,重点论述了浅埋软弱地层中大跨隧道施工的几项关键性技术——超前地质预测预报技术、工作面稳定技术及监控量测技术等,同时介绍了几项有针对性的辅助工法。第4章断层及破碎带施工技术,在论述断层及破碎带地质危害的前提下,重点说明了隧道施工所应采取的技术对策,同时强调了应加强超前地质预测预报工作,重视遇大变形及突水涌泥应急预案编写及演练工作。第5章水平岩层施工技术,通过水平岩层隧道变形破坏形态及规律分析,重点论述了水平岩层隧道超前支护、水平岩层隧道控制爆破开挖等几项施工关键性技术。第6章岩溶及采空区施工技术,针对岩溶及采空区的形态特征及分类,重点介绍了岩溶及采空区的处置及安全施工技术。第7章煤层瓦斯及有害气体隧道施工技术,论述了瓦斯隧道超前探测及预报、石门揭煤、瓦斯监测、施工通风、施工机械设备配置、结构处理、安全措施及应急预案等几项关键性技术。第8章双连拱隧道施工技术,在介绍公路双连拱隧道基本特征及分类的基础上,论述了其不同的施工方法,并重点介绍了导洞及中隔墙施工、隧道结构防排水及渗漏水治理等两项关键性施工技术。第9章小净距隧道施工技术,在介绍公路小净距隧道基本特征及分类的基础上,论述了其不同的施工方法,并重点介绍了小净距隧道中夹岩加固、爆破震动控制、施工监测等三项关键性施工技术。第10章运营通风通道施工,对陡坡斜井和竖井施工方案优化、提升系统选型及布置进行了分析,并重点论述了二者的开挖、支护方案及其他关键技术。第11章隧道塌方处理,在对隧道塌方原因分析的基础上,依据施工经验,论述了隧道塌方处理原则及方案、塌方处理注意事项及经验教训,强调了塌方发生前信息化施工的重要性。第12章典型隧道施工组织案例,重点介绍了重庆高速公路隧道——白云隧道的施工组织方案。第13章科技创新成果,介绍了中铁隧道集团在参与重庆高速公路施工过程中的有关科技创新成果。



这部历经两年、经过反复总结、提炼完成的《山区高速公路隧道施工关键技术》，主要阐释了山区高速公路隧道的工程思维与工程方法，我们期望其能够指导国内隧道规划、设计、施工、管理技术人员的工作，并成为引导隧道修建技术的发展、促使隧道技术人员不断进步的重要参考著作。

本书在编写过程中得到了许多基层技术人员的支持与帮助，在此一并向他们致以诚挚的感谢！

这本著作篇幅较大，参与人员较多，不可避免会有错漏，有些提法也可能需要大家一起讨论，敬请提出并指正。

洪开荣

2011年1月20日

山区高速公路隧道施工关键技术

作者简介



洪开荣(1965—),男,1990年获硕士学位,现为北京交通大学博士研究生,教授级高级工程师,中铁隧道集团有限公司总工程师,盾构及掘进技术国家重点实验室主任。现任中国土木工程学会隧道及地下工程分会常务理事、秘书长,中国岩石力学与工程学会常务理事,《隧道建设》编委会副主任。

洪开荣长期从事隧道及地下工程的技术研究和管理工 作,先后主持了太平驿引水隧洞的岩爆防治技术、我国首座地下储气洞库修建技术、高速铁路特长水下隧道修建技术、城市地铁大型暗挖车站修建技术等重大课题的研究工作,尤其在 我国盾构及施工技术方面的研究与开发、应用上具有突出贡献。先后参加了我国铁路、公路、水电、地铁与市政等重难点隧道工程建设,公开发表论文 20 余篇,出版专著 3 部。获国家科技进步二等奖一项、省部级科技进步奖特等奖两项、一等奖一项,获第七届詹天佑青年奖和第九届詹天佑成就奖,2006 年获国务院政府特殊津贴。

山区高速公路隧道施工关键技术

目 录

第1章 概述	1
1.1 重庆市的地理位置及在西部的交通地位	2
1.2 重庆市高速公路现状	2
1.3 重庆市高速公路发展规划	3
1.4 重庆市区域地形地貌及地质概况	6
1.4.1 区域地形总体特征	6
1.4.2 区域地貌基本格局	6
1.4.3 区域地质概况	7
1.4.4 水资源及气候特点	10
1.5 重庆市高速公路及其隧道工程主要特点	10
1.5.1 桥隧比例高、长大隧道多	10
1.5.2 隧道地质复杂,不良地质多	10
1.5.3 隧道进出口多处于不良地质中	13
1.5.4 大跨、连拱、小净距隧道应用广泛	13
1.5.5 水资源及环境保护要求高	14
1.6 重庆市高速公路隧道施工重难点工程及技术应对措施	15
1.6.1 洞口工程施工	15
1.6.2 浅埋软弱地层大跨隧道施工	16
1.6.3 断层及破碎带隧道施工	18
1.6.4 水平岩层隧道施工	19
1.6.5 岩溶及采空区隧道施工	20
1.6.6 煤层瓦斯及有害气体隧道施工	23
1.6.7 双连拱隧道施工	25
1.6.8 小净距隧道施工	26

1.6.9 运营通风通道施工	27
1.6.10 隧道塌方处理	29
第2章 洞口工程施工技术	32
2.1 洞门工程	32
2.1.1 洞门作用	32
2.1.2 洞门结构形式分类与景观	33
2.1.3 洞门施工	37
2.2 明洞工程	40
2.2.1 明洞分类	40
2.2.2 明洞施工	41
2.3 边仰坡施工	44
2.3.1 施工方法	44
2.3.2 施工工艺流程	45
2.3.3 施工控制要点	45
2.4 洞口段施工	46
2.4.1 洞口段施工原则	46
2.4.2 洞口段施工方法选择	47
2.4.3 浅埋洞口段施工	49
2.4.4 扁平、大跨洞口段施工	55
2.4.5 偏压、顺层洞口段施工	57
2.4.6 滑坡体、岩堆体洞口段施工	61
2.4.7 陡峭岩壁段(桥隧相连)洞口施工	66
2.5 工程实例	67
2.5.1 方斗山隧道洞门施工	67
2.5.2 羊角隧道偏压浅埋洞口段施工	70
第3章 浅埋软弱地层大跨隧道施工技术	74
3.1 隧道施工关键技术	74
3.1.1 开挖方法及其适用性	74
3.1.2 初期支护	82
3.1.3 工作面稳定技术	92
3.1.4 仰拱和二次衬砌施工技术	93
3.1.5 监控量测技术	96
3.2 隧道施工辅助工法	99
3.2.1 管井井点降水	99



3.2.2 注浆技术	102
3.2.3 超前支护技术	105
3.2.4 地面垂直旋喷技术	112
3.3 工程实例	114
第4章 断层及破碎带施工技术	118
4.1 断层及破碎带地质危害	119
4.2 断层及破碎带施工对策	119
4.2.1 施工原则	119
4.2.2 施工对策	119
4.3 断层破碎带超前地质预报	121
4.3.1 地质预测预报内容	121
4.3.2 施工超前预报分类	122
4.3.3 地质预测预报流程	122
4.3.4 预报要点	124
4.3.5 设备配置要求	124
4.3.6 探测技术	125
4.4 超前加固及支护	133
4.4.1 超前小导管施工	133
4.4.2 超前锚杆	134
4.4.3 超前大管棚	134
4.4.4 帷幕注浆	134
4.4.5 径向注浆施工	134
4.5 开挖方法	134
4.5.1 台阶法施工	134
4.5.2 双侧壁导坑法施工	134
4.5.3 CD 法施工	135
4.5.4 CRD 法施工	135
4.6 隧道变形和涌水应急处理措施及预案	135
4.6.1 控制变形应急处理措施及预案	135
4.6.2 突泥涌水应急处理措施及预案	136
4.6.3 应急避难措施及救援预案	138
4.7 工程实例	140
4.7.1 渝湘高速公路大黔段鹰嘴岩隧道 F2 断层施工	140
4.7.2 石忠高速公路方斗山隧道 F4 断层破碎带安全快速施工	144

第5章 水平岩层施工技术	148
5.1 水平岩层隧道变形破坏形态及规律	148
5.1.1 水平岩层隧道围岩破坏形态	148
5.1.2 水平岩层隧道顶板变形原因分析	149
5.1.3 水平岩层隧道围岩稳定性影响因素	150
5.1.4 水平岩层隧道变形破坏规律	151
5.2 水平岩层隧道施工关键技术	151
5.3 水平岩层隧道超前支护	153
5.3.1 超前小导管注浆支护	153
5.3.2 超前锚杆支护	153
5.4 水平岩层隧道控制爆破开挖	155
5.4.1 水平岩层施工开挖方案	156
5.4.2 水平岩层控制爆破原则	156
5.4.3 水平岩层减震控制爆破设计	156
5.4.4 水平岩层隧道钻爆施工超欠挖控制	161
5.5 水平岩层隧道支护	163
5.5.1 水平岩层隧道支护施工总原则	163
5.5.2 水平岩层隧道支护施工	164
5.6 工程实例	169
5.6.1 奉云高速公路凤凰梁隧道水平岩层施工	169
5.6.2 黔彭二级公路亮垭子隧道水平岩层施工	172
第6章 岩溶及采空区施工技术	175
6.1 岩溶施工技术	175
6.1.1 岩溶形态特征及分类	175
6.1.2 岩溶对隧道施工及环境的主要影响	178
6.1.3 岩溶隧道施工处理原则	181
6.1.4 隧道岩溶段(采空区)信息化施工技术	182
6.1.5 隧道岩溶处置及安全施工技术	188
6.2 采空区施工技术	201
6.2.1 采空区形态特征及分类	201
6.2.2 采空区对隧道施工造成的主要影响	202
6.2.3 采空区隧道施工处理原则	203
6.2.4 隧道采空区的处置及安全施工技术	203
6.3 工程实例	207



6.3.1 某隧道岩溶处治施工技术	207
6.3.2 玉峰山隧道岩溶地层施工技术	209
6.3.3 某隧道采空区施工处治技术	217
第7章 煤层瓦斯及有害气体隧道施工技术	224
7.1 隧道煤层瓦斯	224
7.1.1 瓦斯概念、性状及危害	224
7.1.2 瓦斯喷出、煤(岩)与瓦斯突出	225
7.1.3 瓦斯隧道其他有害气体的主要性状及危害	225
7.1.4 瓦斯隧道分类及瓦斯地段等级划分	228
7.2 瓦斯超前探测及预报	228
7.2.1 瓦斯隧道超前地质预报的主要内容	228
7.2.2 瓦斯地层岩性预测预报	229
7.2.3 地质构造预测预报	230
7.2.4 瓦斯涌出量及压力预测预报	231
7.2.5 瓦斯突出危险性分析预测	231
7.2.6 突出危险程度分级	234
7.3 石门揭煤	234
7.3.1 揭煤防突综合措施实施程序	234
7.3.2 防突措施的制订	237
7.3.3 揭煤防突措施施工流程	238
7.3.4 石门揭煤防突技术	238
7.3.5 石门揭煤爆破开挖技术	240
7.4 瓦斯监测	242
7.4.1 人工监测	242
7.4.2 自动监测	244
7.5 施工通风	247
7.5.1 公路隧道施工环境控制标准	247
7.5.2 公路瓦斯隧道施工通风方式	247
7.5.3 公路隧道施工通风计算	249
7.5.4 公路瓦斯隧道施工通风设备选择	251
7.5.5 公路隧道施工通风管理	252
7.5.6 隧道瓦斯及有害气体的处治措施	253
7.6 机械设备的配置	254
7.6.1 设备配套原则及技术要求	254

7.6.2	瓦斯隧道挖、装、运及施工通风设备的机械配套	254
7.6.3	供配电	259
7.7	结构处理	261
7.7.1	瓦斯地段结构处理措施	261
7.7.2	对初期支护及模筑混凝土的施工要求	261
7.7.3	气密性混凝土衬砌施工缝处理及质量控制	262
7.8	安全措施及应急预案	263
7.8.1	施工安全技术措施	263
7.8.2	电气及设备安全	264
7.8.3	照明安全及人员管理	265
7.8.4	煤层及煤尘防爆防燃措施	266
7.8.5	瓦斯爆炸应急预案	268
7.9	工程实例	270
7.9.1	玉峰山隧道穿越煤层施工技术	270
7.9.2	玉峰山隧道硫化氢气体施工技术	273
第8章	双连拱隧道施工技术	279
8.1	公路双连拱隧道基本特征及分类	279
8.1.1	公路双连拱隧道基本特征	279
8.1.2	公路双连拱隧道分类	280
8.1.3	双连拱隧道适用范围	281
8.1.4	公路连拱隧道与分离式及小净距隧道特征对比	282
8.2	公路双连拱隧道施工方案	283
8.2.1	施工方案的确定	283
8.2.2	三导洞施工方法	284
8.2.3	中导洞施工方法	288
8.2.4	无导洞施工方法	291
8.3	公路双连拱隧道导洞及中隔墙施工技术	295
8.3.1	导洞施工	295
8.3.2	中隔墙施工	298
8.4	公路双连拱隧道结构防排水及渗漏水治理	302
8.4.1	隧道防排水	302
8.4.2	连拱隧道中隔墙防排水	305
8.4.3	公路连拱隧道中隔墙渗漏水治理	309
8.5	工程实例	313

8.5.1 重庆渝宜高速公路金竹林双连拱隧道施工(非中隧集团施工)	313
8.5.2 渝宜高速公路简箕湾双连拱隧道施工(非中隧集团施工)	317
8.5.3 金竹林隧道渗漏水治理(中隧集团施工)	318
第9章 小净距隧道施工技术	320
9.1 公路小净距隧道基本特征及分类	321
9.1.1 公路小净距隧道的基本特征	321
9.1.2 公路小净距隧道之间相互影响	322
9.1.3 公路小净距隧道分类	322
9.1.4 三种隧道形式的比较	323
9.2 公路小净距隧道施工方案	324
9.2.1 小净距隧道施工基本原则	324
9.2.2 公路小净距隧道施工方案的选择	325
9.2.3 公路小净距隧道施工方案	326
9.3 公路小净距隧道关键性施工技术	333
9.3.1 中夹岩加固技术	333
9.3.2 爆破震动控制技术	337
9.3.3 施工监测技术	342
9.4 工程实例	346
9.4.1 重庆渝湘高速公路武隆小净距隧道施工(非中隧集团施工)	346
9.4.2 重庆渝宜高速公路张家山小净距隧道施工(非中隧集团施工)	349
9.4.3 重庆绕城高速公路放施家梁小净距隧道施工(中隧集团施工)	354
第10章 运营通风通道施工	359
10.1 陡坡斜井	359
10.1.1 设计方案的优化	359
10.1.2 井口提升系统布置	363
10.1.3 提升设备选型	366
10.1.4 轨道及信号	368
10.1.5 开挖及初期支护施工	368
10.1.6 二次衬砌施工	370
10.1.7 曲线段施工	376
10.1.8 斜井反向开挖	377
10.1.9 辅助施工措施	378
10.1.10 排水及通风	378
10.1.11 溜车原因分析及防控措施	379