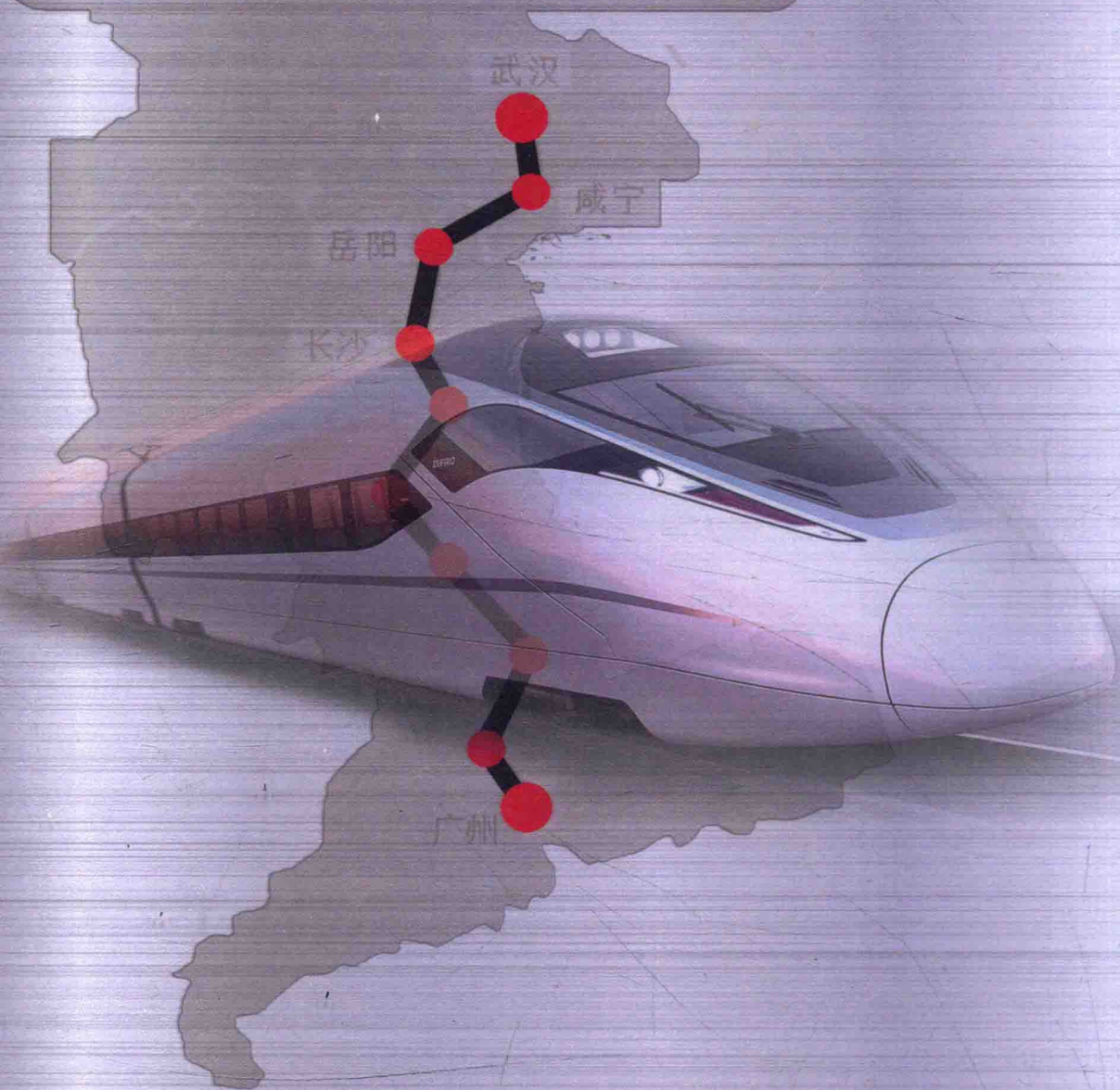


十二五国家重点出版物出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

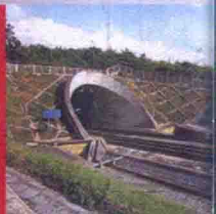
中国第一条长大高速铁路干线(武广高铁)技术创新工程丛书



隧道工程

ZHONGGUO DIYITIAO CHANGDA GAOSU TIELU GANXIAN
(WUGUANG GAOTIE) JISHU CHUANGXIN GONGCHENG CONGSHU
SUIDAO GONGCHENG

肖明清◎主编



十二五国家重点出版物出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

中国第一条长大高速铁路干线(武广高铁)技术创新工程丛书

丛书主编◎中铁第四勘察设计院集团有限公司 王玉泽 许克亮



隧道工程

ZHONGGUO DIYITIAO CHANGDA GAOSU TIELU GANXIAN
(WUGUANG GAOTIE) JISHU CHUANGXIN GONGCHENG CONGSHU
SUIDAO GONGCHENG

肖明清◎主编



图书在版编目 (C I P) 数据

隧道工程 / 肖明清主编. -- 武汉 : 湖北科学技术出版社, 2015.12

(中国第一条长大高速铁路干线(武广高铁)技术创新工程丛书)

ISBN 978-7-5352-8186-9

I. ①隧… II. ①肖… III. ①高速铁路—铁路隧道—隧道施工 IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 178788 号

策 划: 何 龙 刘 玲
责任编辑: 兰季平

· 责任校对: 蒋静
封面设计: 戴旻

出版发行: 湖北科学技术出版社
地 址: 武汉市雄楚大街 268 号
(湖北出版文化城 B 座 12-13 层)
网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

电话: 027-87679468
邮编: 430070

印 刷: 武汉市金港彩印有限公司

邮编: 430023

督 印: 刘春尧

787×1092 1/16
2015 年 12 月第 1 版

26 印张 4 插页 620 千字
2015 年 12 月第 1 次印刷
定价: 178.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

丛书编委会

主任：蒋再秋

副主任：王玉泽

主编：王玉泽 许克亮

主审：何华武

委员：何 龙 罗世东 李小和 肖明清 戚广枫

石先明 孙 立 黄小钢 黄 盾 盛 晖

徐 川 刘一平 金福海 赵新益 李文胜

潘国华 彭永忠 温建明 张孟彬 刘文兵

王华成 梅志山

本书编委会

主 编：肖明清

副主编：王克金

编 委：管鸿浩 唐 璽 赵文成 马 涛

韩高升 王华夏

序

武广高铁(也称武广客运专线)是武汉至广州的铁路客运专线,位于湖北、湖南、广东三省境内,属京广高速铁路南段,其承东启西,属路网骨干,是我国铁路“四纵四横”快速客运网的重要组成部分。其自武汉站引出,向南经湖北咸宁、湖南岳阳、长沙、株洲、衡阳、郴州、广东韶关、清远、佛山等市,终于广州南站,正线全长 968.3km。

修建武广高铁,可实现京广线南段客货分线运输,有效而彻底地解决京广线武广段运能紧张的局面,可使粤汉间铁路旅行时间由 11 小时缩短至 3.5 小时左右。同时,武广高铁也是武汉城市圈、长株潭城市群及珠江三角洲都市圈间联系的现代化、大能力的快速交通纽带,对沿线国民经济的发展具有极大的推进作用,社会影响深远。

武广高铁是一条跨越华中、华南两大区域的行经山区的高速铁路,是我国长大高速铁路干线代表作之一,因其有线路长、规模大、标准高、技术新、工程复杂,且类型齐全等综合特点,而以“长大高新、复杂齐全”著称于世,是中国高速铁路发展的里程碑。

自 2002 年开始研究,至 2009 年 12 月底全线开通,前后历时 8 年。此过程中,先后成功解决复杂路段选线设计、路桥隧结构物沉降控制、无砟轨道设计、精密控制测量、长大隧道防灾救援、综合交通枢纽规划与设计、特大型站房设计、四电系统集成、联调联试等一系列技术难题。

武广高铁集高铁技术之大成,是我国当时一次性建设里程最长、运营速度最快的高速铁路,其顺利开通运营,使我国高铁技术水平“整体达到国际一流、部分项目国际领先”的新高度。

武广高铁是我国铁路快速发展的最新成果,是继京津城际铁路之后我国高速铁路发展的又一新标杆,是国家综合实力的体现,是改革开放成果的缩影。总结其成功经验,主要得益于以下几点:一是结合武广高铁需要切实开展了大量有针对性的科研、试验和攻关,取得了大量的科研成果和雄厚的技术积淀;二是借力国际资源,部分工程开展中外联合咨询;三是集中优势资源处置相关难题。

武广高铁成功建设,感受成功之余,也感悟到高铁设计应在系统性、前瞻性、包容性上再下功夫,系统提高设计跨专业整合集成能力,体会到后续高铁应秉持“高铁质量高于一切,高铁安全高于一切”的理念,全面推进系统仿真设计,实现物联智能高铁技术。

中国铁建第四勘测设计院在项目建成后,立即组织技术力量,对武广高铁勘察设计情况开展全面总结。现以此为基础,按《总体工程设计》《轨道工程》《路基工程》《桥梁工程》《隧道工程》《电气化及电力工程》《信号、通信及信息系统工程》《站房工程》《动车设备及综合维修工程》《环保工程》共十册,集成丛书出版,或许对有志于从事高铁工程设计的工程技术人员有所帮助。

潘再秋

2015年5月

前 言

武广高铁正线共有隧道 226 座,总长 178.04km,其中最长山岭隧道为大瑶山一号隧道,位于广东省乐昌市境内,全长 10 081m;浏阳河隧道位于长沙市区,为矿山法施工水下隧道,建筑长度 10 115m。作为我国第一条长大高速铁路,武广高铁线路长、地形多样、地质条件复杂,给隧道建设带来了极大的挑战。

针对高速铁路隧道的设计起点高、技术新、难度大的特点,设计人员在消化吸收国外经验教训的基础上,结合我国的具体国情,从气动效应、防排水、支护结构、防灾疏散等方面进行了系统的研究与技术创新。在隧道气动效应方面,解决了三个主要技术问题。即合理确定了隧道内净空有效面积,开发了集美观、功能于一体的帽檐斜切式新型洞门及洞口缓冲结构,通过掺加合成纤维或设置护面钢筋,有效提高了Ⅱ、Ⅲ级围岩素混凝土二次衬砌抗风压疲劳性能。在隧道防排水及与结构的关系处理方面,主要解决了两个技术问题:一是开发了大断面抗水压衬砌结构及配套防水技术,二是系统优化了高速铁路隧道防排水措施,有利于运营期对排水系统的维护。在支护结构方面,综合考虑运营设施布置以及列车振动和隧道内空气压力频繁变化对衬砌结构产生疲劳损伤的不利影响,合理确定了隧道衬砌内轮廓和支护参数。在防灾疏散方面,在浏阳河水下隧道设置了我国铁路第一个防灾疏散定点,在大瑶山隧道群设置了我国铁路第一个半明半暗式紧急救援站。在研究及设计过程中,共计完成专题研究报告 6 套,完成科研开发课题 4 项。

本书共分 8 章,较为系统地介绍了高速铁路隧道设计内容。第 1 章简要回顾了铁路隧道的发展史,高速铁路隧道与普速铁路隧道的差异、自身特点及

创新点;第2章从理论分析角度阐述了国内高速铁路隧道空气动力学效应研究及成果,通过对比分析,提出了适用于国内高铁隧道的有效净空面积;第3章主要介绍隧道内横断面布置,重点研究了高速铁路隧道对轨下结构的影响,从而选择合理的轨下结构型式,确定了隧道内轮廓;第4章根据不同地层参数,结合结构耐久性研究成果,提出了适用于高速铁路隧道的支护参数;第5章对隧道防排水系统进行了介绍,首次提出了排水管路分区段、可维护的理念,明确了管路的检查及维护要求;第6章介绍了高速铁路隧道新型洞门及缓冲结构的研发与设计情况,阐述了隧道洞口位置的选择及各类洞门型式的适用性;第7章分析了隧道灾害的类型,重点针对水下隧道和长大隧道群提出了相应的防灾疏散技术;第8章从施工安全方面论述了隧道施工采取的方法、预支护措施、监控量测及地质预报等,并首次在铁路隧道施工方法中进行了铣挖法研究及实验,提出了铣挖法施工工艺的适用条件。

本书主要依托武广高铁隧道研究与设计资料进行编制,同时借鉴了国内同期类似工程设计、施工、管理经验以及部分资料,在此表示感谢!

由于编者水平所限,不足之处请读者批评、指正。

编者

2015年5月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 铁路隧道及高速铁路的发展	1
1.1.1 隧道基础分类	1
1.1.2 铁路隧道长度分类	1
1.1.3 铁路隧道发展历史与现状	2
1.2 高速铁路隧道与普速铁路隧道的区别	3
1.2.1 空气动力学效应显著	3
1.2.2 隧道断面大、施工难度大	4
1.2.3 运营环境要求高	4
1.2.4 运营养护难度大	4
1.3 武广高铁乌(龙泉)韶(关)段概况	5
1.3.1 地形地貌	5
1.3.2 工程地质与水文地质	5
1.3.3 气象特征	7
1.3.4 隧道分布	7
1.4 武广高铁隧道设计技术特点与创新	8
1.4.1 气	8
1.4.2 水	9
1.4.3 岩土	9
1.4.4 防灾救援与疏散	10
第 2 章 隧道空气动力学效应与净空面积	11
2.1 隧道空气动力学效应概述	11
2.1.1 隧道空气动力学问题的国内外研究现状	12
2.1.2 隧道空气动力学问题的研究手段	19
2.1.3 高速铁路隧道气动效应的解决方法	25
2.2 瞬变压力及乘车舒适性	28

2.2.1	压力舒适度标准	28
2.2.2	压力舒适度影响因素	30
2.3	洞口微压波及对周边环境的影响	33
2.3.1	微压波的产生机理	33
2.3.2	隧道长度对气动效应的影响	35
2.3.3	阻塞比对气动效应的影响	39
2.4	列车空气阻力	42
2.4.1	隧道长度对列车空气阻力影响的国内外研究现状	42
2.4.2	中长隧道中单列列车空气阻力计算方法研究	42
2.4.3	中长隧道中单列动车组空气阻力计算及敏感度分析	46
2.4.4	结论	49
2.5	气动荷载	50
2.5.1	气动荷载对洞内设施的影响	50
2.5.2	压力最值在纵断面上位置分析(隧道断面积 100m ²)	50
2.5.3	隧道内纵向最大压力分析	60
2.6	隧道净空面积	65
2.6.1	高速铁路隧道限界	65
2.6.2	世界各国及地区高速铁路隧道净空面积	66
2.6.3	国内高速铁路隧道净空面积研究	66
2.6.4	隧道建筑限界研究中的几个问题	69
2.6.5	国内高速铁路隧道净空面积的选择	72
2.7	隧道内气动效应测试	74
2.7.1	测试目的与内容	74
2.7.2	评判标准	75
2.7.3	测试主要结论	76

第 3 章 隧道断面布置及内轮廓

3.1	概述	77
3.1.1	隧道断面分类	77
3.1.2	高速铁路隧道断面设计需考虑的因素	77
3.2	各国及地区高速铁路隧道断面	78
3.2.1	德国高速铁路隧道	78
3.2.2	西班牙马德里—巴塞罗那高速铁路隧道	79
3.2.3	中国台湾南北高速铁路隧道	79
3.2.4	日本新干线高速铁路隧道	80
3.2.5	法国高速铁路隧道	81
3.2.6	韩国高速铁路隧道	82
3.3	我国高速铁路隧道断面布置与内轮廓	82

3.3.1	隧道轨上断面布置	82
3.3.2	隧道轨下断面布置	85
3.3.3	高速铁路隧道仰拱填充厚度的研究	86
3.3.4	高速铁路隧道内轮廓	92
第 4 章	隧道结构设计	93
4.1	概述	93
4.1.1	隧道衬砌结构分类及高速铁路隧道衬砌要求	93
4.1.2	武广高铁隧道支护结构参数	94
4.2	暗挖隧道结构设计	97
4.2.1	暗挖隧道复合式衬砌概念及分类	97
4.2.2	初期支护体系	97
4.2.3	二次衬砌结构设计	123
4.3	明挖隧道结构设计	152
4.3.1	明洞适用条件及类型	152
4.3.2	明洞结构设计	154
4.3.3	明洞构造要求	158
4.4	辅助坑道结构设计	159
4.4.1	辅助坑道的类型和设置原则	159
4.4.2	武广高铁隧道长大隧道辅助坑道的设置	162
4.5	隧道结构的耐久性设计	167
4.5.1	隧道结构耐久性的概念	167
4.5.2	铁路工程耐久性设计的原则	168
4.5.3	影响高速铁路隧道衬砌结构耐久性的因素	168
4.5.4	复合式衬砌结构耐久性设计	171
4.5.5	考虑环境作用的复合式衬砌结构设计方法的研究	173
第 5 章	隧道防排水设计	179
5.1	防排水标准	179
5.1.1	国内外地下工程与隧道防水等级标准	179
5.1.2	武广高速铁路隧道防排水标准	183
5.2	隧道防排水的原则及分类	184
5.2.1	隧道防排水设计原则	184
5.2.2	隧道防排水类型的选择	185
5.3	隧道防排水措施	188
5.3.1	排水型衬砌的防排水措施	188
5.3.2	防水型衬砌的防排水措施	217

5.3.3	明洞防排水设计	240
5.3.4	特殊地段隧道的防排水设计	242
5.4	防排水系统的运营维护	243
5.4.1	防排水系统的工后检查	243
5.4.2	隧道排水系统沉积堵塞现象	244
5.4.3	隧道排水通路的检查与疏通	245
5.4.4	隧道排水系统维护方法	245
5.4.5	隧道防水系统维护措施	246
第 6 章	高速铁路隧道洞口洞门及缓冲结构设计	247
6.1	隧道洞门设计	247
6.1.1	概述	247
6.1.2	隧道洞口位置的选定	247
6.1.3	洞门的型式及其适用性	248
6.1.4	洞门结构设计	251
6.1.5	洞口防排水设计	255
6.1.6	洞口景观设计	260
6.1.7	隧道的铭牌与号标	262
6.1.8	隧道进洞及洞门主体施工	265
6.1.9	洞口设计实例	267
6.2	洞口缓冲结构	271
6.2.1	缓冲结构设置条件及标准	271
6.2.2	缓冲结构设计	272
6.2.3	武广高铁缓冲结构设置及调查情况	292
第 7 章	隧道防灾及疏散救援设计	294
7.1	隧道灾害类型	294
7.2	隧道火灾特征	295
7.2.1	隧道特性及相关分析	295
7.2.2	火灾原因分析	295
7.2.3	火灾规模	297
7.2.4	隧道内烟气分布规律	299
7.2.5	疏散标准及疏散时间	310
7.3	国内外长大隧道防灾设计	313
7.3.1	国外长大隧道防灾设计	313
7.3.2	国内长大隧道防灾设计	316
7.4	武广高铁隧道防灾疏散救援设计	320

7.4.1	隧道防灾设计原则及通用防灾疏散救援措施	320
7.4.2	大瑶山隧道群防灾疏散救援设计	327
7.4.3	浏阳河隧道防灾疏散救援设计	334
第 8 章	隧道施工	339
8.1	隧道施工组织设计	339
8.1.1	施工组织设计基本内容	339
8.1.2	安全管理方针	340
8.1.3	质量控制目标	341
8.1.4	工期保障措施	342
8.1.5	环境保护	343
8.1.6	经济效益	343
8.2	暗挖隧道预支护措施设计及实施工艺	343
8.2.1	长管棚预支护措施设计	344
8.2.2	小导管预支护措施设计	348
8.2.3	超前锚杆支护	349
8.2.4	围岩注浆加固措施设计	350
8.3	暗挖隧道开挖方法	353
8.3.1	高速铁路隧道光面爆破技术及控制要点	354
8.3.2	全断面施工方法	356
8.3.3	台阶法施工	357
8.3.4	双侧壁导坑法	361
8.3.5	中隔壁法和交叉中隔壁法	364
8.3.6	铣挖法	367
8.4	暗挖隧道支护与质量控制技术	370
8.4.1	隧道初期支护	370
8.4.2	隧道二次衬砌施工	372
8.4.3	耐久性混凝土质量控制技术	373
8.5	隧道施工安全辅助措施	374
8.5.1	监控量测	374
8.5.2	地质预测预报	376
8.6	特殊围岩隧道施工	386
8.6.1	瓦斯	386
8.6.2	岩溶	389
8.6.3	高地应力	392
8.7	隧道快速施工机械配套建议	394
8.7.1	提高隧道施工机械配套程度的必要性	394
8.7.2	影响隧道安全快速施工的制约因素	394
8.7.3	隧道安全快速施工机械配套建议	395
	参考文献	396

第 1 章 概 述

1.1 铁路隧道及高速铁路的发展

1.1.1 隧道基础分类

隧道是修筑于地表下且内净空面积不小于 2m^2 的条状建筑物。根据其使用功能可分为铁路隧道、公路隧道、城市交通隧道、地铁隧道、输水隧道、输气隧道、皮带运输隧道等；根据其施工方法可分为矿山法（目前也习惯称为钻爆法或新奥法）、掘进机法（包括盾构法和岩石掘进机法）、沉管法、明挖法、顶进法等；根据其所在位置可分为山岭隧道、水下隧道和城市隧道三大类，其中以山岭隧道修建最多，分布最广。

山岭隧道：为缩短距离和避免大坡道而从山岭或丘陵下穿越的称为山岭隧道，山岭隧道一般埋深较大，多采用矿山法或掘进机法施工，洞口地段也经常采用明挖法施工。

水下隧道：为穿越湖泊、河流或海峡而从水下通过的称为水下隧道，水下隧道施工方法较为广泛，可根据周边环境、地质、水文、埋深等条件选择施工方法，包括沉管法、盾构法、矿山法、围堰明挖法等。

城市隧道：为适应铁路通过城市或为缓解地面交通压力等需要而在城市地下修建的称为城市隧道，城市隧道一般埋深较浅，施工方法包括明挖法、盾构法、矿山法等。

1.1.2 铁路隧道长度分类

我国铁路隧道设计规范根据隧道长度的不同将其划分为特长隧道、长隧道、中长隧道、短隧道，具体如下。

特长隧道：全长 $10\,000\text{m}$ 以上；

长隧道：全长 $3\,000\text{m}$ 以上至 $10\,000\text{m}$ ；

中长隧道：全长 500m 以上至 $3\,000\text{m}$ ；

短隧道：全长 500m 及以下。

1.1.3 铁路隧道发展历史与现状

自英国于 1826 年起在蒸汽机车牵引的铁路上开始修建长 770m 的泰勒山单线隧道和长 2 474m 的维多利亚双线隧道以来,各国相继修建了大量铁路隧道。我国铁路隧道发展经历了如下阶段。

(1)初期阶段:于 1887—1889 年在中国台湾台北至基隆窄轨铁路上修建的狮球岭隧道,长 261m,是中国的第一座铁路隧道。在 1950 年以前,全国共建成标准轨距铁路隧道 238 座,总长度 89km。

(2)慢速发展阶段:在 1950—1984 年期间,铁路线路一般采取牺牲线形展线而达到减少桥隧的目的,非必要条件,一般不设置桥隧,所以线形等级较低,隧道发展缓慢,该阶段共建成标准轨距铁路隧道 4 247 座,总长度 2 014.5km。

(3)中速发展阶段:1981 年 11 月 1 日,全长 14.295km 的京广铁路衡广复线大瑶山隧道开工建设,1988 年 11 月 26 日隧道建成通车。大瑶山隧道长度位居当时国内第一、世界第十,获国家科技进步奖特等奖,隧道全面运用新奥法原理施工,开创了我国隧道建设的新篇章。大瑶山隧道的开工建设是我国铁路隧道建设的重要里程碑,标志着隧道建设观念的重要转变,在沿河傍山等地形、地质不利地段,隧道方案逐步成为主导线路方案的重要基础。

(4)高速发展阶段:进入 21 世纪以来,我国铁路隧道进入了高速发展阶段。截至 2007 年底,我国已运营的铁路隧道 5 941 座,总长度约 3 750km,在建隧道总长度约 4 700km。截至 2011 年,投入运营的长度超过 15km 的隧道有 3 座,分别为石(家庄)太(原)客运专线太行山隧道(左线长 27 839m、右线长 27 848m)、兰(州)武(威)二线乌沙岭隧道(长 20 050m)、西(安)康铁路秦岭隧道(长 18 456m);在建的长度超过 20km 的隧道有 7 座,分别为青(海)藏铁路西格段关角隧道(长 32 645m)、兰(州)渝(重庆)铁路西秦岭隧道(长 28 236m)、山西中南部铁路南吕梁山隧道(长 23 474m)、南疆线吐(鲁番)库(尔勒)段中天山隧道(长 22 449m)、向(塘)莆(田)铁路青云山隧道(长 22 175m)、张(家口)唐(山)铁路燕山隧道(长 21 167m)、太(原)银(川)铁路吕梁山隧道(长 20 785m)。

2005 年 6 月武广高铁大瑶山隧道群的开工建设是高速铁路隧道建设的起点和标志,武广高铁起点武汉,终点广州,运营里程 1 068.6km,其中隧道共计 226 座,177.598km,包括长达 10km 的浏阳河水下隧道和全长约 24.5km 的大瑶山隧道群。随着高铁时代的来临,大量高速铁路的建设也为隧道技术发展提供了极好的机遇,据 2009 年统计资料显示,我国在建及建成运营的高铁隧道里程约 3 730km。

(5)高速铁路现状:目前把列车最高运行速度达到 200km/h 及其以上的铁路称为高速铁路,高速铁路是铁路运输现代化的重要标志,高速铁路以电力为能源,全封闭运行。高速铁路具有能耗低、污染小、速度快、运量大、安全可靠等其他运输方式不具备的优点,代表着当今铁路的发展方向。

世界上首条投入商业运作的高速铁路是日本的东海道新干线,1964 年东京奥运会前

夕正式营运,第一代新干线列车主要由川崎重工业建造,行驶在东京—名古屋—京都—新大阪的东海道新干线,最高营运速度 200km/h 以上,经济和社会效益显著,随后日本陆续修建了山阳新干线(1975,270km/h)、上越新干线(1982,240km/h)、东北新干线(1985,240km/h)、长野新干线(1997,260km/h)。20 世纪 60 年代后期,法国、德国、意大利等国家相继开展高速铁路研究,并于 20 世纪 70 年代初开始修建高速铁路。

我国一直密切跟踪世界高速铁路技术的发展,20 世纪 80~90 年代结合京沪高速铁路开始了大量的研究工作。2004 年初,国务院批复了《中长期铁路网规划》,到 2020 年全国铁路营业里程达到 10 万 km,其中规划了“四纵四横”铁路快速客运通道以及城际快速客运系统,建设时速超过 200km/h 的客运专线 1.2 万 km 以上。另外,胶济、郑徐、浙赣、武九、兰青、青藏线西格段等既有线路提速改造及增建二线项目和新建太中银、沪通、龙厦等铁路的客车速度目标值也达到 200km。今后,我国的路网规模和路网质量都将上升一个新的台阶。

1.2 高速铁路隧道与普速铁路隧道的区别

1.2.1 空气动力学效应显著

列车高速过隧道及在隧道内交会引发的空气动力问题(压力波、空气阻力、列车风、微压波等)对行车安全、环境和旅客舒适性均有不良影响,是高速铁路隧道设计中必须考虑的重要问题。

隧道为长条状结构,隧道的边壁限制了隧道内空气的侧向流动和向上流动,普速列车进入隧道后,对隧道内原有空气进行挤压,由于周边受限,形成活塞效应,将洞内空气从出口端推出,并在列车尾端形成负压,将进口外空气吸入隧道内,在隧道内形成活塞风,而当列车高速进入隧道时,由于列车速度快,列车前进速度远远大于从洞口排出的空气速度,从而使得隧道内列车前方的空气受压缩,气压升高。随着列车继续前进,在车后留下空间,致使空气向此空间补充,气压随之降低。因此列车通过隧道时,隧道内某一点的空气压力将会产生从上升到下降即从压缩到膨胀这样一个瞬变过程。该瞬变过程引起隧道内和列车内的压力变化,成为瞬变压力。当一定时间内(一般采用 3~4s 度量)的压力变化超过某一数值时,将直接影响司乘人员的舒适度。最大瞬变压力变化与列车本身参数(如密封指数、车头形状、列车长度、摩擦系数等)、行车速度、阻塞比(列车断面积与隧道净空面积的比值)、隧道长度等因素相关。当列车本身参数、行车速度等确定时,瞬变压力一般通过扩大隧道净空面积来进行缓解,部分情况下也可以通过设置横通道、竖井等附属结构物来缓解。高速铁路双线隧道净空面积一般大于 80m²,时速 350km 的铁路隧道净空面积则需要采用 100m²,远大于普速铁路隧道净空面积。

另外,列车头部进入隧道时,强烈冲击隧道中的静止空气柱,形成压缩波,并以声速向隧道出口方向运动,当压缩波到达隧道出口处时,即向进口反射成膨胀波,与此同时,一个