

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

武汉

廣 寧

岳陽

广州

李小和◎主编

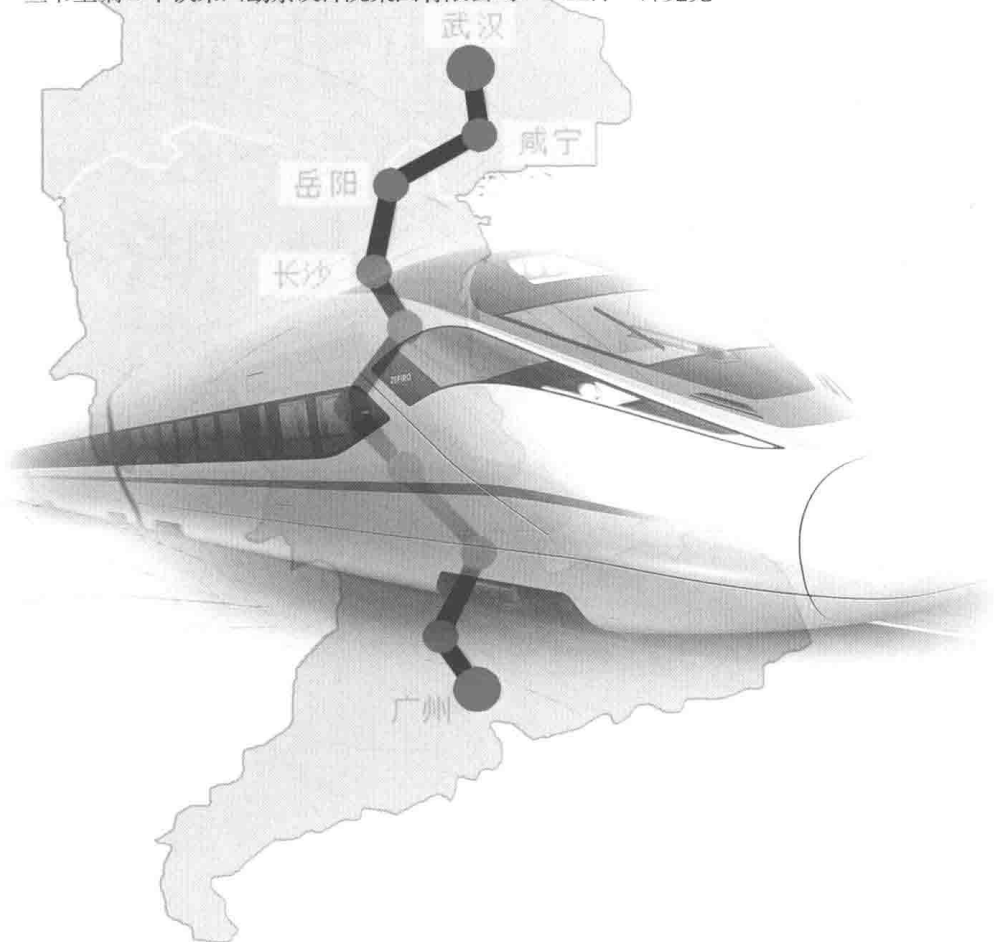
ZHONGGUO DIYITIAO CHANGDA GAOSU TIELU GANXIAN
 (WUGUANG GAOTIE) JISHU CHUANGXIN GONGCHENG CONGSHU
 LUJI GONGCHENG

长江出版传媒 湖北科学技术出版社

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



路基工程

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

李小和◎主编



图书在版编目 (C I P) 数据

路基工程 / 李小和主编. -- 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 978-7-5352-8183-8

I. ①路… II. ①李… III. ①高速铁路—铁路路基—铁路施工 IV. ①U213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 178914 号

策 划: 何 龙 刘 玲
责任编辑: 李海宁 邓子林

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

25.75 印张 4 插页 630 千字

2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

定价: 188.00 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：李小和

副主编：郭建湖 詹学启

参 编：韦随庆 陈 占 周 飞

赵 勇 庞吉鸿 袁从军

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 11h 缩短至 3.5h 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。在此过程中,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。

中铁第四勘察设计院在该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。

苏再秋

2015年5月

前 言

武广高速铁路沿线地形地质条件复杂,设计时速 350km、全线无砟轨道,其中路基全长 320.409km,占线路总长的 33.1%,是目前世界上一次建成的路基长度最长的高速铁路。路基是轨道的基础,为了保证高速行车条件下路基稳定、轨道平顺、旅客舒适,对路基的强度、变形和耐久性等都提出了极高的要求。在国内缺乏高速铁路建设经验、技术储备尚有不足的情况下,高速铁路路基设计和建造这一土木工程技术面临新的历史性挑战。

中铁第四勘察设计院集团有限公司(以下简称铁四院)在设计过程中,全面展开了高速铁路无砟轨道路基技术及应用的研究,系统解决了无砟轨道路基结构、路基填料与填筑、高标准沉降控制、过渡段路基、路基长期动力稳定性等方面的关键技术问题,形成了具有我国自主知识产权、设计时速 350km 无砟轨道路基成套技术,科学地制定了高速铁路路基的技术标准,创造性地完成了武广高速铁路路基设计。武广高速铁路于 2009 年底顺利建成通车,已经受了 6 年多的高速、高密度运行考验,路基工程满足要求,质量优良。

本书全面反映了高速铁路路基按构筑物进行设计的新技术理念,系统介绍了高速铁路路基结构、填料、变形控制、过渡段、接口工程、边坡工程与排水工程等的设计理论、方法、技术要求,以及相关施工工艺、检测、评估等。其中路基按构筑物进行设计的新设计方法;路基与“四电”附属工程的集成设计;“塹堤式”浸水路基;集勘察、设计、施工、评估、管理等一体的路基沉降控制体系;路基的长期动力稳定性评估与控制;“桩帽式”CFG 桩复合地基;桩网结构;填料设计与关键填筑工艺优化;A、B 组填料的工厂化生产技术;软岩改良土设计与施工成套技术;过渡段路基设计与施工技术;复杂地形地质条件下的

过渡段路基结构设计;结构物间短路基过渡段等,均属国内外高速铁路路基设计与建造的创新技术。此外,本书还详细介绍了综合运营维护、绿色景观、运营安全等一体的边坡加固与防护技术,保障路基长期稳定性要求的系统排水设计等。

本书由李小和、郭建湖、詹学启编著,在编写过程中,得到了院总工程师、设计大师王玉泽的悉心指导;得到了铁四院顾湘生、赵新益,中南大学王永和、湖南大学卿启湘,西南交通大学罗强等同仁的大力支持相助;编写时参考和引用了有关文献、论文、规范规程、科研报告和设计资料,在此一并致谢。

本书内容丰富,信息量大,可作为从事高速铁路路基建设、设计、施工、咨询、监理人员,高校教师、学生的参考书。

由于编者水平有限,书中不足之处敬请广大读者指正。

编者

2015年10月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 项目概况	1
1.1.1 武广高速铁路线路概况	1
1.1.2 武广高速铁路自然地理概况	2
1.1.3 武广高速铁路路基工程施工概况	2
1.2 武广高速铁路路基工程概况	3
1.2.1 路基工程主要技术标准	3
1.2.2 路基工程主要设计类型	7
1.2.3 路基工程主要设计与工程量	7
1.3 武广高速铁路路基工程主要特点	9
1.3.1 高速铁路路基工程与 I 级干线铁路的区别	9
1.3.2 武广高速铁路路基工程设计特点	10
第 2 章 武广高速铁路路基结构与技术要求	16
2.1 各国无砟轨道路基主要技术标准	16
2.1.1 德国无砟轨道路基技术	16
2.1.2 日本无砟轨道技术	19
2.1.3 其他国家无砟轨道技术应用	22
2.1.4 国内无砟轨道路基应用概况	23
2.2 路基结构设计原理与内容	23
2.2.1 路基结构应具有的功能与特点	23
2.2.2 满足强度与变形控制的基床结构设计	24
2.2.3 路堑基床换填深度确定原则	25
2.2.4 路基填筑材料与检测参数确定	25
2.2.5 强度与变形控制的无砟轨道路基结构设计方法	26
2.2.6 无砟轨道路基基床结构设计检算分析实例	31

2.3 武广高速铁路无砟轨道路基结构设计	34
2.3.1 区间直线地段线间距的确定	34
2.3.2 无砟轨道路基面宽度的确定	34
2.3.3 武广高速铁路无砟轨道路基一般土质路基结构形式	35
2.3.4 武广高速铁路无砟轨道路基基床结构形式与路基标准横断面形式	39
2.3.5 武广高速铁路红黏土路基基床结构形式与技术要求	40

第3章 武广高速铁路路基填料设计与填筑施工工艺

3.1 武广高速铁路沿线路基填料分布与设计方案	43
3.1.1 武广高速铁路沿线路基填料分布种类	43
3.1.2 武广高速铁路路基压实质量检测标准	48
3.2 武广高速铁路路基块石类 A、B 组填料颗粒改良与填筑工艺	57
3.2.1 块石类 A、B 组填料的破碎制备工艺	57
3.2.2 块石类 A、B 组填料颗粒粒径控制	58
3.2.3 填筑工艺试验	59
3.2.4 试验检测结果分析	61
3.3 路基基底褥垫层工艺设计与施工	65
3.3.1 褥垫层材料构成及配合比	65
3.3.2 工艺试验检测内容	66
3.3.3 褥垫层施工工艺	67
3.3.4 试验成果分析	68
3.4 软质岩改良土填筑技术	70
3.4.1 国内外软质岩填料使用标准	70
3.4.2 软岩风化物路基填料的适用性分析	72
3.4.3 软质改良土填料的掺入料与配比	78
3.4.4 软岩风化物改良土填料的工程特性	81
3.4.5 软质改良土填料的填筑工艺	83
3.4.6 软岩风化物化学改良土填筑质量检测	89
3.4.7 软岩风化物化学改良土填筑路基的长期稳定性	91
3.5 级配碎石与路基过渡段填筑工艺技术	94
3.5.1 级配碎石技术要求	94
3.5.2 无砟轨道过渡段路基施工工艺流程	95
3.5.3 路基过渡段填筑施工工艺技术	97

第4章 武广高速铁路路基变形控制设计

4.1 综述	101
4.1.1 高速铁路路基变形控制特点	101

4.1.2	高速铁路路基沉降变形控制设计理念	102
4.1.3	路基基底沉降变形控制的主要措施	105
4.2	武广高速铁路路基各类地基土沉降计算或估算	110
4.2.1	地基土类型与分布特征	110
4.2.2	地基土沉降计算理论研究现状及计算方法	111
4.2.3	高速铁路路基沉降计算或估算方法概述	114
4.3	路基沉降控制设计	130
4.3.1	路基沉降变形影响因素及对策分析	130
4.3.2	路基本体沉降控制	132
4.3.3	地基沉降控制	135
4.3.4	路基不均匀沉降控制	147
4.3.5	工程案例	150
4.4	施工中路基沉降控制措施	155
4.4.1	建立施工前地基、地质条件的核查制度	155
4.4.2	地基加固处理施工的控制与检测	156
4.4.3	路基填筑施工控制与检测	159
4.4.4	路基沉降监测与评估	160
4.5	路基沉降监测与分析评估	161
4.5.1	武广高速铁路变形监测任务与要求	161
4.5.2	路基观测点与监测断面布置	162
4.5.3	监测元器件的埋设与保护	176
4.5.4	路基变形监测技术要求	184
4.5.5	路基变形分析与评估	190
4.5.6	路基变形监测分析与评估系统软件介绍	199

第5章 武广高速铁路路基边坡加固防护设计

5.1	综述	206
5.1.1	路基边坡类型	206
5.1.2	路基边坡岩土特点	208
5.1.3	路基边坡设计思路与原则	209
5.1.4	路基边坡设计技术特点	211
5.2	路基边坡防护与加固设计	214
5.2.1	路基工程概况	214
5.2.2	支挡工程设计	216
5.2.3	边坡绿色防护设计	221
5.3	特殊或不良地质路基边坡变形特点及处治措施	227
5.3.1	灰岩残积红黏土边坡	227
5.3.2	软土与松软土边坡	232

5.3.3 “红层”边坡	235
5.3.4 煤系地层边坡	236
5.3.5 不利结构面(顺层)边坡	239
5.3.6 可溶岩边坡	243
5.3.7 陡坡(或斜坡)路基边坡	244
5.3.8 花岗岩全风化层边坡	246
5.3.9 浸水路基边坡	248

第6章 武广高速铁路过渡段路基设计 252

6.1 过渡段路基技术国内外研究发展概况	252
6.1.1 国外路桥(涵)过渡段结构形式	253
6.1.2 我国高速铁路过渡段路基技术标准的发展	259
6.2 武广高速铁路过渡段路基设计技术	265
6.2.1 一般过渡段设计技术	266
6.2.2 构筑物间短路基组合过渡段设计技术	276
6.2.3 过渡段路基地基加固设计及其技术要求	284
6.3 过渡段路基的强度特征与力学参数现场实测	285
6.3.1 测试内容与测试方法	285
6.3.2 测试原理与测试步骤	286
6.3.3 测试工点概况与测试点布置	288
6.3.4 测试成果与分析	290
6.4 过渡段路基的动响应特征	299
6.4.1 测试内容与测试方法	299
6.4.2 测试工点与元件布置	300
6.4.3 现场动态测试概况	303
6.4.4 动响应测试成果与动响应特征分析	304

第7章 武广高速铁路路基接口工程 315

7.1 路基接口工程的功能与主要设计内容	315
7.1.1 路基接口工程的重要性与特点	315
7.1.2 武广高速铁路路基接口设计主要内容	318
7.2 路基与相关工程附属构筑物横向接口设计	319
7.2.1 横向接口设计内容与要求	319
7.2.2 各附属构筑物在路基上的横断面布置	319
7.2.3 通信、信号电缆与路基横向接口	323
7.2.4 电力电缆横向接口设计	325
7.3 路基附属构筑物纵向接口设计	327

7.3.1	纵向接口设计内容与原则	327
7.3.2	路基与桥梁附属构筑物纵向接口设计	328
7.3.3	路基与隧道附属构筑物纵向接口设计	332
7.3.4	桥隧间短路基接口设计	336
7.3.5	综合接地电缆纵向接口设计	342
7.3.6	电力电缆纵向接口设计	342
7.3.7	联络线与正线附属构筑物接口设计	342
7.4	接触网供网系统与路基接口设计	343
7.4.1	设计内容与原则	343
7.4.2	路堤地段接触网供网系统与路基接口设计	344
7.4.3	路堑地段接触网供网系统与路基接口设计	345
7.4.4	各附属结构物的结构与技术要求	346
7.5	路基接口工程施工技术	349
7.5.1	路基接口工程施工应遵循的原则	349
7.5.2	接口工程各附属构筑物施工技术	351
7.5.3	质量控制要求	357
7.5.4	提高施工质量的措施	357
第 8 章	武广高速铁路路基防排水工程	359
8.1	路基防排水工程的功能与特点	359
8.1.1	高速铁路路基防排水设计重要性目的	359
8.1.2	高速铁路路基防排水工程的作用与功能	360
8.1.3	武广高速铁路路基防排水工程的设计特点	361
8.2	武广高速铁路路基防排水工程设计技术原则	364
8.2.1	主要设计原则	364
8.2.2	技术要求	365
8.3	武广高速铁路路基防排水工程设计内容与措施	365
8.3.1	路基面防排水	366
8.3.2	地表截排水设计	368
8.3.3	路基地下疏排水	378
8.3.4	过渡段路基排水	387
8.4	武广高速铁路路基防排水工程的新技术、新材料	391
8.4.1	新结构、新技术	392
8.4.2	防排水新材料	393
8.5	路基防排水系统与环境	395
8.5.1	主要环境问题	395
8.5.2	相应措施与对策	396
参考文献		397

第 1 章

概 述

1.1 项目概况

1.1.1 武广高速铁路线路概况



图 1.1 武广高速铁路线路平面示意图

武汉至广州高铁(DK1188+000~DK2220+158)正线全长 968.326 km,主要包含武汉天兴洲工程(武广部分)、武广客专乌花段(含乌韶、韶花段)、广州枢纽工程和枢纽相关工程。枢纽相关工程包括武汉枢纽、长沙(株洲)枢纽、衡阳枢纽、广州枢纽,含武汉动车段、广州动车段,沿线设有武汉站、咸宁站、赤壁站、岳阳站、汨罗站、长沙站、株洲站、衡山站、衡阳站、耒阳站、郴州站、乐昌站、韶关站、英德站、清远站、广州北站、广州站共 17 个车站(图 1.1)。除武广客专韶花段(DK1989+500~DK2167+000,计 159.240 km)由中铁第二勘察设计院集团有限公司(以下简称“铁二院”)负责设计外,其余均由铁四院设计。

武汉至广州高铁正线路基全长 320.409 km,占线路总长的 33.1%,其中各区段的正线路基长度详见表 1.1。

另外,还有联络线、动车段等相关工程路基总长度 30.573 km。

表 1.1 武广高铁正线路基长度一览表

区段	单位	武乌段	乌龙泉至局界	局界至韶关	韶花段	花广段
起迄里程	—	DK1188~ DK1232	DK1232~ DK1341+416	DK1341+416~ DK1989+500	DK1989+500~ DK2167+000	DK2167+000~ DK2220+158
正线路基长度	km	6.404	41.775	224.900	42.494	4.836

1.1.2 武广高速铁路自然地理概况

武广高速铁路北起江汉平原,穿越湘鄂交界的五尖大山进入洞庭湖盆地,之后行经长沙、株洲、衡阳三大红层盆地,进入湘南中高丘陵区,线路过郴州后穿越南岭瑶山山脉进入韶关断陷盆地,然后顺北江西岸南行,穿越粤北低山丘陵区或河谷区,进入珠江三角洲平原。沿线一般海拔标高为 170~462 m,最大山岭标高为湘粤交界的南岭瑶山山脉,海拔标高为 997 m,沿线地势起伏,丘(山)谷相间。沿线为亚热带气候区,年平均降雨量在 1 000 mm 以上。

沿线地层岩性从元古界至新生界第四系地层出露齐全。耒阳以北地层主要为:冷家溪群、板溪群及震旦系板岩、粉砂质板岩、千枚状板岩,浅变质石英砂岩、长石石英砂岩,白垩系一下第三系棕红色钙、泥质粉砂岩、砂砾岩、泥岩等软质岩;耒阳至沙口段以及花都一带以泥盆系、石炭系灰岩、白云质灰岩、泥质灰岩、含砾石英砂岩、页岩、泥质细砂岩等地层为主。沿线不良岩土类型繁多,主要有:软土、松软土、膨胀岩土、砂类土、花岗岩全风化层、灰岩残积红黏土、液化土和岩溶化灰岩、软质岩等。沿线路基填料匮乏。

其中乌龙泉至韶关段岩溶路基长度为 77.66 km,占路基全长近 30%;临湘至岳阳、长沙至耒阳近 250 km 线路范围内地层岩性以白垩系一下第三系泥质粉砂岩、砂砾岩、含砾砂岩,以及元古界砂质板岩、泥质板岩、千枚板岩、绢云母板岩等软质岩为主,软质岩全强风化物路堑挖方约占总挖方量 80%,缺乏满足客运专线要求的合格填料;乌龙泉至临湘、耒阳至韶关近 300 km 线路范围内多以红黏土为主。

1.1.3 武广高速铁路路基工程施工概况

武广高铁建设总工期 54 个月,其中施工期 49 个月,联调联试 5 个月,2009 年 12 月 26 日建成通车,其关键工程节点工期如下:

(1)2005 年 5 月,武汉工程试验段开工建设。

(2)2005 年 6 月 23 日,铁道部在长沙浏阳河工地召开武广高铁开工动员大会。

(3)2006 年 3 月,乌龙泉到花都段线下土建工程开工建设。

(4)路基工程。2005 年 9 月路基工程陆续开始施工,2008 年 5 月路基主体工程基本完成。

(5)联调联试及动态检测。2009 年 1 月 6 日武汉综合试验段开始综合试验,2009 年 6 月 27 日开始试验段北起点至长沙第一区段的联调联试,10 月 31 日完成五个区段联调联试。2009 年 11 月 7 日、8 日和 11 日,采用单列和重联 CRH2 型动车组进行了武汉—广州北 CTCS-3 级列控系统的拉通试验。

(6)2009 年 12 月 9 日全线试运行成功,重联动车组试运行最高时速达到 394.2 km/h,于 2009 年 12 月 26 日正式交付运行,到 2015 年安全运营已 6 年,状况良好。

1.2 武广高速铁路路基工程概况

1.2.1 路基工程主要技术标准

1.2.1.1 路基面宽度

根据国内外高速铁路路基横断面宽度设置应考虑的因素以及铁四院多年来的研究成果,无砟轨道路基横断面应满足路基稳定、养护维修、安全界限、线间距、轨道结构形式、通信信号和电力电缆槽布置、接触网立柱基础的设置要求,并符合技术可靠、经济合理的要求。

武广高速铁路无砟轨道路基接触网立柱内缘至线路中心最小间距为 3 m,立柱基础宽 0.7 m,满足通信信号电缆铺设要求的电缆槽宽 0.72 m,满足结构要求的护肩宽 8 cm,线间距 5 m,因此,双线直线地段路基面宽应为 13.6 m,由于采用无砟轨道,曲线地段可不另外进行路基面加宽。路基面设梯形路拱,两线轨道板支承层范围内为平坡,混凝土支承层边缘至路肩设置不小于 4%的横向排水坡,并采用 0.07 m 厚的沥青混凝土封闭(弱~微风化硬质岩路堑不设此封闭层)。不同轨道类型及时速标准的路基面宽度见表 1.2。

表 1.2 路基面宽度表

设计速度与线别		土质路基		石质路基	线间距 (m)	路肩宽 (m)	道床厚 (m)
		路堤 (m)	路堑 (m)	硬质岩 石路堑			
350 km/h 无砟轨道	双线	13.6	13.6	13.6	5.0	1.3	—
250 km/h 有砟轨道	双线	13.4	13.4	13.4	4.6	1.4	0.35
200 km/h 有砟轨道	单线	8.2	8.7	8.2	4.3	1.0	0.30(土质)
	双线	12.9	13.4	12.9			0.35(硬质岩)
120~160 km/h I 级铁路	单线	7.8	7.7	7.7	4.2(4.0)	路堤 0.8 路堤 0.6	0.50(土质)
	双线	12.2 (12.0)	11.9 (11.7)	11.9 (11.7)			0.35(硬质岩)

说明:(1)表中时速 120~160 km/h 铁路路基面宽度不包括预留电缆槽;

(2)表中有砟轨道路基面宽度不含曲线地段加宽值。

1.2.1.2 路基设计荷载

1)轨道及列车荷载换算土柱

路基面以上,单线轨道及列车荷载换算土柱高度见表 1.3,其中 200~250 km/h、350 km/h标准铁路采用 ZK 活载,120~160 km/h 标准铁路采用中—活载。