

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



桥梁工程

罗世东◎主编

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



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

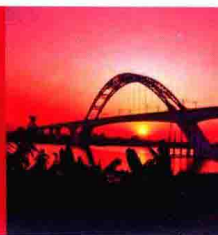
丛书主编◎中铁第四勘察设计院集团有限公司 王玉泽 许克亮



桥梁工程

罗世东◎主编

WUHAN GAOSU TIELU GANXIAN
ANGXIN GONGCHENG CONGSHU
ONGCHENG



长江出版传媒 湖北科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

桥梁工程 / 罗世东主编. -- 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 978-7-5352-8185-2

I. ①桥… II. ①罗… III. ①高速铁路—铁路桥—桥梁施工 IV. ①U448.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 178899 号

策 划: 何 龙 刘 玲
责任编辑: 严 冰

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

26.75 印张 4 插页 630 千字
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 黄小刚 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：罗世东

副主编：徐 勇 金福海

参 编：王新国 王德志 潘茂盛 陈 勇 廖祖江

史 娣 蔡德强 文望青 严爱国 文功启

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。

齐再秋

2015年5月

前 言

高速铁路桥梁技术,从研究、设计、建设到运营,在武汉至广州我国第一条时速 350km/h 高速铁路桥梁上首次得到全面实践。时至今日,我国时速 300km/h 以上高速铁路已达 10000km 以上,其中桥梁占线路长达 55% 以上。武汉至广州高速铁路于 2009 年底建成通车以来,经运营实践检验,高速铁路桥梁技术已经在北京至上海等 20 多个项目中得到成功应用,标志着中国高速铁路桥梁技术已取得巨大进步,跻身世界先进行列。

中铁第四勘察设计院集团有限公司从 1990 年开始系统研究高速铁路桥梁设计技术,参与了京沪(北京至上海)、武广(武汉至广州)、郑西(郑州至西安)、郑武(郑州至武汉)、广深港(广州至香港)、沪宁(上海至南京)、沪杭(上海至杭州)、宁杭(南京至杭州)、杭甬(杭州至宁波)、杭长(杭州至长沙)、郑徐(郑州至徐州)、合福(合肥至福州)、合宁(合肥至南京)、合武(合肥至武汉)、温福(温州至福州)、甬温(宁波至温州)、厦深(厦门至深圳)、向莆(向塘至莆田)、贵广(贵阳至广州)、昌九(南昌至九江)、汉宜(武汉至宜昌)、广珠城际(广州至珠海)等多条高速铁路的桥梁设计,积累了丰富的高速铁路桥梁设计技术经验,这些经验与真知灼见通过本书阐述,相信读者会受益匪浅。

本书旨在既全面反映高速铁路桥梁设计技术思想,又着重阐述典型桥梁桥式结构技术方案,特别是在世界范围内高速铁路桥梁设计首次采用的创新技术。书中比较详细阐述了以下创新技术。

(1) 梁式桥及各种大跨度桥梁结构静动力特性对高速行车的适应性、桥上设置无缝钢轨和无砟条件下的各种变形控制、高性能混凝土后期徐变变形控制、桩基工程后期沉降控制等创新技术。

(2)简支梁首次采用单箱与多箱侧立面弧线箱梁和6片式T梁技术,以及首次采用节段拼装式预应力混凝土双箱梁技术,使得简支梁跨度突破世界高速铁路简支梁跨度先例达到64m。

(3)大跨度混凝土连续刚构桥梁结构,为实现桥上无砟轨道能够高速行驶,利用现场施工材料进行模型梁收缩徐变变形理论与规律分析研究,采用体外后拉预应力索,控制二期恒载铺设,有效地控制了混凝土结构的后期徐变变形,使得高速铁路无砟轨道混凝土桥梁跨度首次达到最大双主跨185m。首次采用的预应力混凝土V形连续刚构和T形刚构,能够最大限度地降低桥梁高度,能够实现桥梁转体施工。

(4)为高速铁路桥梁作前期研究的提篮式钢管混凝土简支系杆拱桥,自从武广高速铁路桥梁使用以来,已经在中国多个高速铁路项目上比较广泛地采用。双肋钢桁拱桥、自锚上承式混凝土拱桥及椭圆钢箱混凝土推力拱桥等桥式结构技术,都是在特定环境中首次采用的创新技术。

(5)梁、拱、索,采用不同的形式组合起来控制变形和共同受力,力求充分发挥各自结构受力的特点,限制结构变形在可控或允许的范围,特别是指结构的后期变形(若不可控将会带来诸多的苦恼)。这种创新的组合桥式结构可以提高桥梁的整体刚度,实现桥面梁变形的平顺性而满足高速行驶要求;可以改善结构的受力峰值而使结构受力更趋合理,特别是避免因桥梁施工过程中受力大于运营期间承载能力而设计。

混凝土连续梁与拱组合的桥式结构使得铁路混凝土连续梁跨度达到180m甚至更大跨度,混凝土连续刚构与拱组合的桥式结构使得铁路混凝土刚构梁跨度达到275m,这种创新的组合桥式结构技术已经被广泛地应用在多条高速铁路项目中。还有V形连续刚构与拱、斜拉索与连续刚构、连续梁与刚架拱,以及连续钢桁梁与拱等各种创新组合桥式结构技术。

(6)斜拉桥在世界高速铁路桥梁中应用已有成功的经验,相对而言,采用大跨度斜拉桥比较少。大跨度斜拉桥加劲梁一般采用钢桁梁,四线铁路时,由于钢桁梁横截面较宽,横向受力较大引起钢桁杆件杆端附加弯矩较大而影响

钢桁杆件设计。为了解决这一技术问题,通过受力分析与试验研究,创新采用了宽幅双主桁钢桁梁斜拉桥,与传统的斜拉桥钢桁梁形式不同,仅设置桥面水平K撑和三角形双主桁,无竖向K撑、无中间竖向吊杆、无需增加主桁设置。既较好地改善了钢桁梁的受力,又达到了经济性的目的。首次采用主跨钢箱梁与边辅跨混凝土梁结合的四线铁路独塔弯斜拉桥,既较好地解决了弯斜拉桥与高速行车的适应性问题,又解决了四线铁路弯斜拉桥跨越城市高架高速公路和交叉分布的城市道路。此外,矮塔预应力混凝土弯斜拉桥的创新应用,较好地解决了高速铁路进入市区立体交叉问题等。

(7)道岔区轨道对桥梁有更加严格的要求,也是高速铁路道岔区桥梁所特有的技术。道岔区一般采用变宽度或等宽度框架桥和连续梁桥,由于梁跨柔度对桥上道岔尖轨位移有影响,这样控制了桥梁跨度不能太大。通过创新采用连续梁与拱组合,使得道岔区桥梁跨度突破成为世界最大跨度102m。还有值得一提的是高速铁路大型枢纽咽喉区道岔群需要用桥梁来实现高架,为解决这一技术难题,创新采用单线箱梁正置或斜置与箱梁顶桥面板连续技术,结合采用变线宽度异型连续梁技术,实现双线铁路变线成多达几十股铁道的咽喉区道岔群桥梁设计,这是世界高速铁路没有过的,在中国高速铁路桥梁技术中得以应用。

(8)创新采用桥梁支座标准的先进理念,这个理念在高速铁路桥梁支座中首次采用结构钢、天然橡胶、封闭铜环和耐磨性能更高的滑板材料,从而提高了支座结构的使用应力,提高了支座使用耐久性,减轻了支座重量。

参与本书编写的都是具有丰富高速铁路桥梁设计经验的项目主管总工程师和工程师们。第1章、第7章由徐勇编写,第2章由王新国编写,第3章由王德志编写,第4章由潘茂盛、文功启编写,第5章由陈勇编写,第6章由廖祖江编写,第8章由史娣、蔡德强编写,第9章由潘茂盛编写,第10章由文望青编写,第11章由严爱国编写。全书由徐勇、金福海统稿,罗世东主持编写、审定。

承蒙饶少臣、瞿国钊、黄纳新、刘振标、王小莉、陶志列、陈新、彭文成、张文

华、许三平、郑水清、尹书军、赵昱、凌玉芳、寇延春、张朝霞、雷素敏、陈玉、任征、杨光、杨勇、王斌、严定国、曾敏、张杰、夏正春、马明、郭向荣等提供了相关资料。

本书未完全列出所有引用的参考资料,对这些参考资料的提供者表示衷心感谢,还要感谢所有为本书做出无私贡献者。

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

限于编者水平,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高速铁路桥梁设计概论	1
1.1.1 简支梁桥式结构设计选型	1
1.1.2 大跨度桥式结构设计应用	2
1.1.3 桥面布置与构造措施	3
1.1.4 高速铁路桥梁变形控制概论	7
1.1.5 高速铁路桥梁动力特性与列车走行性分析技术简要	9
1.2 桥梁结构混凝土收缩徐变概论	10
1.2.1 徐变影响因素综述	10
1.2.2 徐变系数采用的计算方法与棱柱体试件测试	11
1.2.3 高性能混凝土试验及模型梁徐变测试	14
1.3 桥梁下部结构刚度论述	16
1.3.1 纵向刚度限值	16
1.3.2 横向刚度限值	16
1.4 武广高速铁路桥梁工程简述	20
1.4.1 桥梁基础	21
1.4.2 墩台	21
1.4.3 大跨度桥梁	22
1.4.4 支座	23
第 2 章 简支梁式桥	24
2.1 综述	24
2.1.1 简支梁结构	25
2.2 简支 T 梁设计	29
2.2.1 截面主要尺寸	29
2.2.2 设计主要参数	30
2.2.3 桥面布置	30

2.2.4	横向连接	31
2.2.5	横向分布系数研究	31
2.2.6	主要计算成果	32
2.3	简支箱梁设计	32
2.3.1	桥面布置	32
2.3.2	高速铁路简支箱梁截面式样	33
2.3.3	高速铁路简支箱梁结构尺寸	34
2.3.4	主要计算成果	38
2.3.5	动力特性计算结果	42
2.3.6	静载试验	42
2.4	40m、64m 跨度简支箱梁	44
2.4.1	移动支架拼架法 64m 跨度简支箱梁	44
2.4.2	下承式移动模架现浇施工 40m 跨度简支箱梁	48
2.5	简支钢桁梁	49
2.5.1	主桁结构	49
2.5.2	桥面结构	53
2.5.3	80m 钢—混全结合桥面简支钢桁梁	55

第 3 章 连续梁与刚构桥

59

3.1	综述	59
3.1.1	连续梁与刚构桥技术指标与应用	59
3.1.2	结构受力及施工特点	62
3.1.3	常见问题设计措施	63
3.2	连续梁设计	64
3.2.1	长联连续梁——(45+65+14×80+65+45)m 连续梁	64
3.2.2	长大弯连续梁——(48+7×80+48)m 连续梁	69
3.2.3	大跨弯连续梁——(70+120+70)m 连续梁	72
3.2.4	(64+4×116+64)m 预应力混凝土连续梁	77
3.2.5	(75+4×135+75)m 预应力混凝土连续梁	80
3.3	连续刚构	82
3.3.1	(112+168+168+104)m 连续刚构	82
3.3.2	(108+2×185+115.5)m 连续刚构	90
3.3.3	(94+168+94)m 连续刚构	94
3.4	V 形墩连续刚构	97
3.4.1	(48+80+48)m V 形墩连续刚构	97
3.5	T 形刚构设计	101
3.5.1	(70+70)mT 构桥	101
3.5.2	(115+115)mT 构桥	103

第 4 章 拱式桥梁	106
4.1 综述	106
4.1.1 高速铁路拱桥设计需关注的问题	106
4.1.2 拱桥在高速铁路中的应用	108
4.2 简支提篮式钢管混凝土拱桥	109
4.2.1 尼尔森体系提篮拱桥结构特点	109
4.2.2 跨度 112m 提篮系杆拱桥设计	111
4.2.3 主要工程数量	115
4.3 跨度 140m 下承式钢箱系杆拱桥	115
4.3.1 140m 下承式钢箱系杆拱桥特点	115
4.3.2 跨度 140m 下承式系杆拱桥设计	116
4.4 连续钢箱叠合拱桥	122
4.4.1 连续钢箱叠合拱桥特点	122
4.4.2 连续钢箱叠合拱桥设计	122
4.5 跨度(99+242+99)m 四线连续钢桁拱桥	132
4.5.1 四线连续钢桁拱桥特点	132
4.5.2 四线连续钢桁拱桥设计	133
4.6 跨度(85.75+286+85.75)m 双肋钢桁架拱桥	137
4.6.1 双肋钢桁架拱桥特点	137
4.6.2 双肋钢桁架拱桥设计	137
4.7 跨度(88+160+88)m 自锚上承式混凝土拱桥	149
4.7.1 自锚上承式混凝土拱桥特点	149
4.7.2 自锚上承式混凝土拱桥设计	149
4.8 钢箱推力拱桥	156
4.8.1 钢箱推力拱桥特点	156
4.8.2 钢箱推力拱桥设计	157
第 5 章 组合桥式桥梁	167
5.1 综述	167
5.1.1 组合桥式桥梁的构思	167
5.1.2 国内、外组合桥式桥梁典型案例	168
5.1.3 我国高速铁路组合桥式桥梁的主要类型及主要受力特点	170
5.2 预应力混凝土连续梁钢管混凝土柔性拱组合桥设计	171
5.2.1 高速铁路连续梁拱	171
5.2.2 (90+180+90)m 连续梁拱桥	174
5.3 连续钢桁梁柔性拱桥	178
5.3.1 工程特点	178
5.3.2 钢筋混凝土简支槽形梁不结合桥面连续钢桁梁柔性拱	179

5.3.3	双主跨连续钢桁梁柔性拱桥	183
5.3.4	无下加劲弦连续钢桁梁柔性拱桥	194
5.4	V形连续刚构钢管柔性拱桥	199
5.4.1	工程特点	199
5.4.2	结构构造	200
5.4.3	钢结构防腐及防护	201
5.4.4	施工方法	201
5.4.5	计算成果	201
5.4.6	拱的效应分析	203
5.4.7	结构敏感性分析	204
5.4.8	模型试验	204
5.4.9	主要工程数量	205
5.5	独塔斜拉连续刚构组合桥	206
5.5.1	工程特点	206
5.5.2	结构构造	206
5.5.3	主要施工方案	209
5.5.4	结构计算	209
5.5.5	结构体系研究	211
5.5.6	技术特点	214
5.5.7	主要工程数量	215
5.6	连续混凝土梁钢箱刚架系杆拱组合桥	215
5.6.1	工程特点	215
5.6.2	结构构造	217
5.6.3	主要施工方法	218
5.6.4	主要计算结果	219
5.6.5	技术特点	219
5.6.6	主要工程数量	220
5.7	连续钢箱梁钢管混凝土刚架系杆拱组合桥	220
5.7.1	工程特点	220
5.7.2	结构构造	222
5.7.3	主要施工方法	224
5.7.4	四线桥主要计算成果	224
5.7.5	主要技术特点	226
5.7.6	主要工程数量	227

第6章 斜拉桥

6.1	综述	228
6.1.1	斜拉桥与高速铁路的适应性	228
6.1.2	高速铁路斜拉桥的发展	229
6.1.3	高速铁路斜拉桥设计特点	229

6.2 独塔钢箱混合弯梁斜拉桥	231
6.2.1 工程特点	231
6.2.2 工程概况	231
6.2.3 结构设计	232
6.2.4 主要计算成果	235
6.2.5 主要技术特点	236
6.2.6 有限元应力仿真分析	237
6.2.7 钢箱梁局部稳定性分析	238
6.2.8 抗风性能研究	243
6.3 宽幅双主桁钢桁斜拉桥	245
6.3.1 工程特点	245
6.3.2 总体设计	246
6.3.3 宽桁关键技术研究	248
6.3.4 疲劳四线系数研究	253
6.3.5 承载能力分析	256
6.3.6 车桥动力响应分析	258
6.3.7 抗震分析	258
6.3.8 主要工程数量	264
6.4 (32+80+112)m 转体斜拉桥	264
6.4.1 工程特点	264
6.4.2 结构设计及受力特点	265
6.4.3 主要计算成果	269
6.4.4 主要施工步骤	269
6.4.5 局部应力分析及模型试验研究	269
6.4.6 抗风性能研究	271
6.4.7 主要工程数量	273
6.5 (74.8+86+168+86+74.8)m 矮塔弯斜拉桥	274
6.5.1 工程特点	274
6.5.2 工程概况	274
6.5.3 结构体系设计	274
6.5.4 主要结构构造	274
6.5.5 主要计算成果	275
6.5.6 锁定装置	276
6.5.7 主要工程数量	277

第7章 道岔区桥梁

278

7.1 综述	278
7.1.1 道岔区桥梁设计的原则与技术要求	279
7.1.2 连续梁桥上无缝道岔受力与变形的一般规律	280
7.1.3 典型道岔及桥梁布置	280

7.1.4 高速道岔主要参数	282
7.2 道岔区连续梁设计	283
7.2.1 跨度 $6 \times 32\text{m}$ 渡线等截面连续梁	283
7.2.2 跨度 $5 \times 32\text{m}$ 岔线变截面连续梁	283
7.2.3 跨度 $(32+40+64+40+32)\text{m}$ 渡线连续梁	284
7.3 道岔区框架设计	286
7.4 道岔区跨度 $(3 \times 32+102)\text{m}$ 连续梁拱设计	286
7.4.1 工程特点	286
7.4.2 主要技术要求	288
7.4.3 关键技术	288
7.4.4 结构体系及受力特点	288
7.4.5 主要计算成果	291
7.4.6 施工步骤	293
7.5 大面积咽喉区桥梁	293
7.5.1 咽喉区正线和到发线的桥梁的布置原则	293
7.5.2 梁部结构	294
7.5.3 下部结构布置	294

第8章 车站桥梁

296

8.1 综述	296
8.1.1 高速铁路高架车站桥梁发展的必要性	296
8.1.2 桥梁与建筑合建的几种结构形式	296
8.1.3 高速铁路“桥建合建”车站桥梁的设计原则	299
8.2 条状梁式体系“桥建合建”结构——武汉站	299
8.2.1 工程概况	299
8.2.2 整体结构体系的构建	301
8.3 梁格板式体系“桥建合建”结构——广州南站	304
8.3.1 工程概况	304
8.3.2 整体结构体系的构建	304
8.3.3 “桥建合建”结构体系的设计原则	306
8.3.4 “桥建合建”结构列车振动影响分析与控制研究	307
8.3.5 设计总结	308
8.4 框架体系“桥建合建”结构——杭州东站	308
8.4.1 工程概况	308
8.4.2 结构体系及受力特点	310
8.4.3 主要计算方法	312
8.4.4 结构特点	318