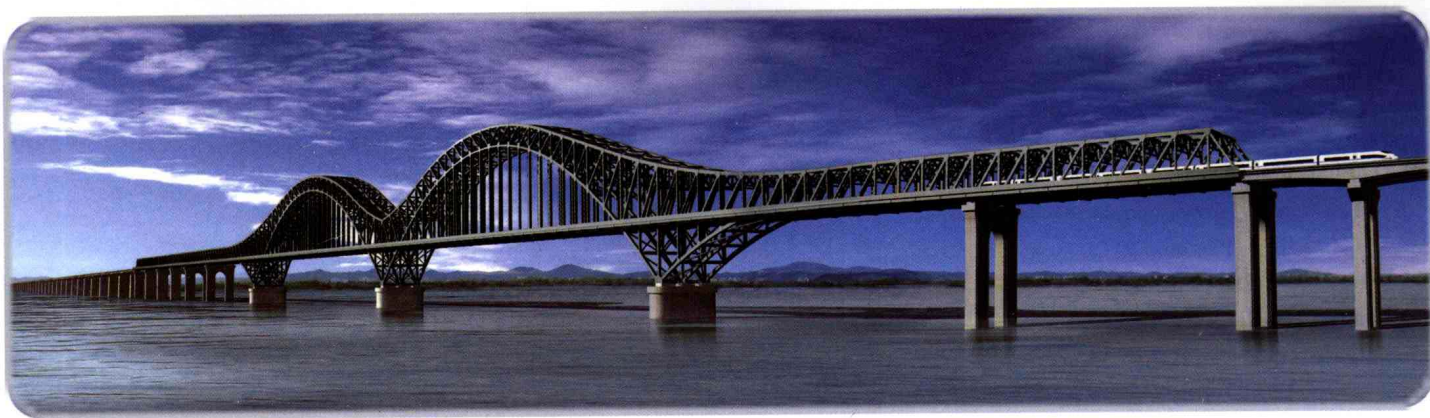




2008 中国高速铁路 桥梁技术国际交流会

2008 China International High-speed Railway Bridge Technology Exchange Collection

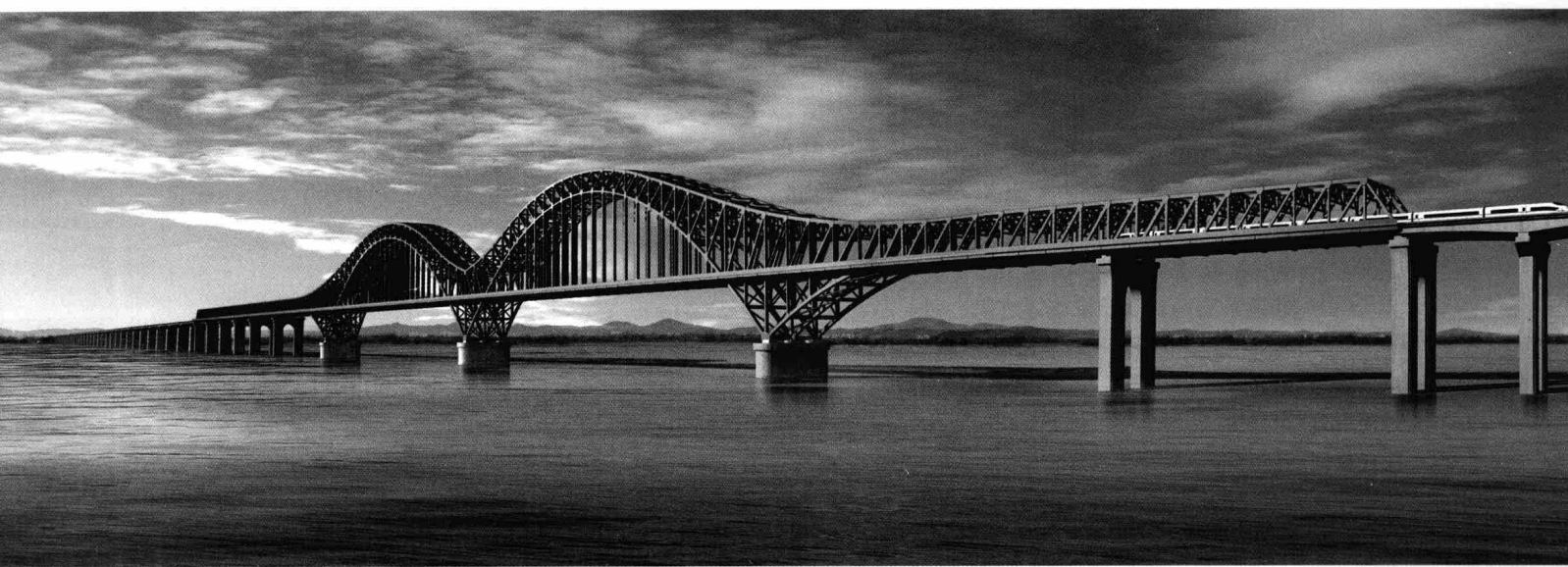
论文集

(上册)

铁道部工程设计鉴定中心 编
铁道第三勘察设计院集团有限公司

2008 中国高速铁路桥梁技术 国际交流会论文集

铁道部工程设计鉴定中心 编
铁道第三勘察设计院集团有限公司



中国铁道出版社

2008·北京

内 容 简 介

本书收录了2008年中国高速铁路桥梁技术国际交流会优秀论文72篇,共分桥梁设计综述、工程设计与研究、工程施工、维护与咨询管理等四部分。这些论文都是国内外有关高速铁路桥梁研究、设计、施工和维修管理方面的经验总结,具有较高的学术价值,也具有很高的实用价值,对我国客运专线(高速铁路)桥梁建设有很好的借鉴和参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

2008 中国高速铁路桥梁技术国际交流会论文集. 上册/铁道部工程设计鉴定中心,铁道第三勘察设计院集团有限公司编. 北京:中国铁道出版社,2008.7
ISBN 978-7-113-08996-2

I. 2… II. ①铁…②铁… III. 高速铁路—铁路桥—桥梁工程—中国—文集
IV. U448.13-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 087852 号

书 名:2008 中国高速铁路桥梁技术国际交流会论文集

作 者:铁道部工程设计鉴定中心
铁道第三勘察设计院集团有限公司

责任编辑:傅希刚 洪学英 电话:010-51873142

封面设计:崔丽芳

责任校对:张玉华

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(北京宣武区右安门西街8号,邮政编码:100054)

印 刷:北京佳信达艺术印刷有限公司

版 次:2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

开 本:880mm×1230mm 1/16 印张:43.75 字数:1282千

书 号:ISBN 978-7-113-08996-2/TU·940

定 价:280.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

联系电话:市电(010)51873170 路电(021)73172

2008 中国高速铁路桥梁技术国际交流会

主办单位

铁道部工程设计鉴定中心
铁道部国际合作司

承办单位

铁道第三勘察设计院集团有限公司

协办单位

京津城际铁路有限责任公司
中铁大桥局集团有限公司

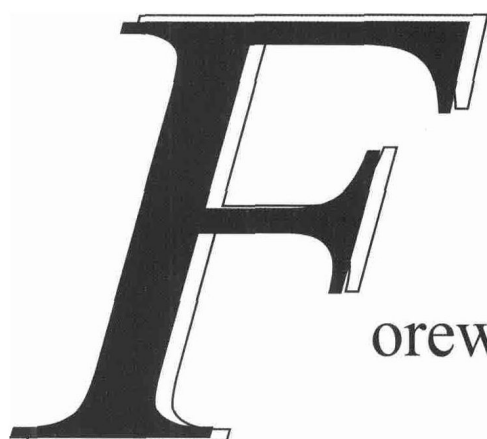
编辑委员会

主 编：郑 健

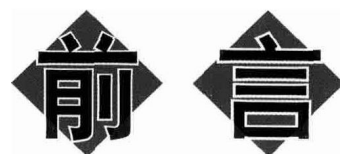
副主编：乔 健 孙树礼

编 委：王召祐 郭珠远 李义兵 罗世东 高宗余 徐升桥
李敬增 陈克坚 吴少海 盛黎明 方根男 王应良
孟 莎 沈 平 苏 伟 王 祯 周四思

编辑组：程相茹 郑茜瀛 张成志 曹淑荣 张 滨 佟继安



Foreword



当前，中国高速铁路桥梁建设正处在一个快速发展的历史时期，在建或拟建的高速铁路、客运专线项目正如火如荼地进行。为加强技术交流，不断积累经验，推动高速铁路桥梁技术向前发展，铁道部于2008年4月在天津组织召开了中国高速铁路桥梁技术国际交流会议，经过筹备组的精心组织，征集了大量有关高速铁路桥梁的论文，现精选出其中72篇未曾发表的论文结集出版。这些论文的内容涉及桥梁设计综述、工程设计与研究、工程施工、维护与咨询管理等四个方面。

本论文集收录的国内学术论文，全面深入探讨和总结了近几年来高速铁路桥梁科技创新取得的成就与关键技术。相信本论文集的出版，有益于拓展广大工程技术人员的视野，增强“以人为本、服务运输、强本简末、系统优化、着眼发展”的铁路建设新理念，不断提高桥梁技术和建设管理水平。



Contents



桥梁设计综述 Summary of Bridge Design

中国高速铁路桥梁的技术路线和实践	乔 健, 张红旭, 陈良江/1
Technical Line and Practice of China High-Speed Railway Bridges	
.....	Qiao Jian, Zhang Hongxu, Chen Liangjiang/12
京沪高速铁路桥梁工程	孙树礼/24
Bridge Engineering of Beijing-Shanghai High Speed Railway	Sun Shuli/31
广珠城际桥梁设计标准及应用综述	罗世东/40
Design Standards of Bridges for Guangzhou-Zhuhai Intercity Railway and Application Overview	
.....	Luo Shidong/59
客运专线常用跨度桥梁的设计与发展	徐升桥, 邓运清/81
The Design and Development of Common-Span Passenger Dedicated Railway Bridges	
.....	Xu Shengqiao, Deng Yunqing/87
现代桥梁工程工业化技术与巅峰桥梁工程	孙峻岭, 戈纳特 - 欧马/94
Advanced Segmental Precast/Prefabrication Technology and Its Application in Major Bridge Engineering	
.....	John J. Sun, Gernot Komar/104
向着技术更加优化的高速铁路桥梁迈进	Jean Charles Vollery, Daniel Dutoit/114
Towards Fully Optimized High-Speed Railways Viaducts	Jean Charles Vollery, Daniel Dutoit/126
台湾高铁土木标设计管理议题探讨	黄培宇, 苏子正, 林楚儒/138
Design Management of Taiwan High Speed Rail Civil Contracts	
.....	Pei-Yu Huang, Tze-Jeng Su, Chu-Ru Lin/145
桥梁景观	Stephen Fairhurst/154

浅谈铁路桥梁美学	张 雷 /158
----------------	----------

工 程 设 计 与 研 究 Engineering Design and Research

高速列车和桥梁之间相互作用的高模态振动测量和预测	藤野阳三/163
车桥动力相互作用分析在中国高速铁路桥梁设计中的应用	夏 禾,张 楠,郭薇薇,杜宪亭,王少钦,余 竹/173
Application of Train-Bridge-Interaction Analysis to Bridge Design of High-Speed Railways in China	Xia He, Zhang Nan, Guo Weiwei, Du Xianting, Wang Shaoqin, Yu Zhu/192
高速铁路特殊桥梁设计	蔡发耀/211
中国铁路客运专线大跨度钢桥设计实践	高宗余/218
Design Practice of Long-Span Steel Bridges on Chinese Railway Dedicated Passenger Line	Gao Zongyu/226
高速铁路钢系杆拱设计研究	陈 列,郭建勋,袁 明/235
Design and Study of Steel Tied-Arch Bridge on High-Speed Railway	Chen Lie, Guo Jianxun, Yuan Ming/245
郑西客运专线新渭南高架站桥梁设计	陈 堃/256
The Viaduct Design in New Weinan Elevated Station on Zhengzhou-Xi'an Passenger Dedicated Line ...	Chen Kun/265
高速铁路桥梁支座系统	Agostino Marioni/275
Bearing Systems for High Speed Railway Bridges	Agostino Marioni/283
哈大客运专线沈哈段桥梁设计	刘彦明/293
哈大客运专线沈哈段道岔区桥梁设计	何 涛/298
客运专线 138 m 钢箱叠拱结构设计	刘彦明,陈 侃/305
高烈度地震区桥梁的抗震设计	张小坤/313
郑西客运专线新渭南高架车站桥梁方案设计	陈 堃/317
预应力混凝土变宽箱梁三维有限元分析	何 涛/323
郑西客运专线陕西境桥梁设计简介	王 胜,阎希文,钱耀峰/327
福州至厦门铁路桥梁设计主要技术特点	陈 列 /332
武广客运专线桥隧相连地段常用跨度桥梁运架方案设计研究	陈 列/337
武广客运专线韶关至花都段桥梁设计主要技术特点	陈 列/343
厦深铁路韩江特大桥道岔区变宽度大跨连续梁总体设计	姚峻生,许智焰,任 伟,陈 列/348

郑西客运专线无砟轨道桥梁设计及思考	陈克坚,徐 勇,白崎成/354
福厦铁路跨越乌龙江长联大跨连续梁桥设计	何庭国,袁 明,陈 列,戴晓春/360
福厦线八担立交特大桥 128 m 连续梁设计	任 伟,姚峻生,游励晖,陈 列/365
关于郑西线(57.4 + 96 + 57.4)m 连续梁支座处理方法的探讨	王 聪,戴胜勇,徐 勇/369
客运专线无砟悬臂浇筑连续梁线形控制探讨	刘名君,曾永平,戴胜勇,钟亚伟,郭一民/373
高速铁路四线双桁钢桁连续梁横向结构体系设计	艾宗良,戴胜勇/378
高速铁路四线钢桁梁桥桥面系结构设计	杨善奎,戴胜勇,艾宗良/384
京津城际铁路大跨度连续梁徐变及线形监控	张文建,郑景文/390
高速铁路新型大跨径下承拱桥研究与实践	薛照钧/400
高速铁路以桥代路新形式	薛照钧/405
城际铁路双箱单室整孔简支箱梁空间分析	罗世东,林文泉/411
V 形连续刚构—拱组合桥设计研究	罗世东,瞿国钊/417
新广州站东平水道桥主桥设计	冯光明/423
福厦线闽江桥主桥设计	冯光明/428
时速 250 km 客运专线(城际铁路)简支箱梁通用参考图设计简介	王新国,桂 婷/433
铁路客运专线预制梁场的规划设计研究	徐惠纯,姜丽雯/441
客运专线先张法预应力混凝土箱梁实践	邓运清,徐升桥,刘玉亮/447
下承式钢桁结合梁桥设计研究	彭岚平,徐升桥,高静青/455
组合曲线梁桥的应力应变重分布分析	石现峰,宣 言,王军文/465
铁路连续梁桥与公路连续梁桥设计的对比分析	薛宇光,雷俊卿/472
客运专线简支箱梁设计特点与施工中应注意的问题	李国强/479
提速铁路混凝土梁桥横向减振新探	张传东/484
提速铁路轻型桥墩横向特性实测数据研究	陈 卓/489
客运专线铁路桩基承台受力分析	周友权,赵会东/494
湿陷性黄土区桥梁桩基承载能力分析和探讨	钱耀锋,王 胜/499
自重湿陷性黄土场地桩基设计的一些探讨	王树强,王先龙,刘争宏/505

工程施工 Construction

武汉天兴洲公铁两用长江大桥主桥施工技术介绍	潘东发/511
Introduction of Construction Technology of the Wuhan Tianxingzhou Rail-cum-Road Bridge Across Yangtze River	Pan Dongfa/517

客运专线中等跨度预应力混凝土箱梁造桥机节段预制拼装技术研究	孙世豪,党海军,周光忠/525
高速铁路客运专线预制箱梁液压缩放内模	蔡 泓/530
时速 250 km 双线组合箱梁预制工艺研究	周亚宇,唐 可,金海霆/537
复杂地段 96 m 双线钢桁架梁顶推施工技术研究	尚庆保,何映春/544
西江特大桥主桥深水基础施工技术	江 洪/552
合宁铁路 32 m/900 t 级先张法预应力混凝土双线箱梁预制施工技术	王 强/560
湿陷性黄土地基上存放客运专线预制箱梁的地基处理技术	张俊兵,张宇宁/576
客运专线连续刚构柔性拱组合桥 V 形墩施工工艺仿真分析	胡国伟,张宇宁/581
合武客运专线悬灌连续梁施工技术	张建国,曹玉坤,丁忠鸣,胡柱奎/587
900 t 架桥机垂直自举连续顶升安装技术	房会彬,杜伯森,张文格/595
京广线第六次提速桥涵改造的原则及实施方案	刘 杰,吴克聪/601
运用成套同步顶升技术解决既有线上跨桥梁净空不足的施工技术	邹常进,张 骏,程海根/606

维护与咨询管理 Maintenance and Management Advisory

京津城际铁路桥梁建设管理	王志坚/613
Construction Management of Bridges on Beijing-Tianjin Intercity Railway	Wang Zhijian/616
实践技术创新 提升管理水平 建设一流沿海铁路桥梁	朱慧刚/620
Practicing Technical Innovation, Raising Level of Management Build the First Rate of Railway Bridges along the Coast	Zhu Huigang/626
武广铁路客运专线桥梁咨询成果简介	陈章连,廖水生,李应红,王瑞园,王庭正,朱 东,鄢 勇/635
Brief Introduction to the Consultation Achievements of Bridges on the Passenger Special Line of Wuhan-Guangzhou Railway	Chen Zhanglian, Liao Shuisheng, Li Yinghong, Wang Ruiyuan, Wang Tingzheng, Zhu Dong, Yan Yong/645
基础交通网络修复系统	法国法西奈集团旗下 ADVITAM 公司/657
Infrastructure Network Rehabilitation	Alexandre CHAPERON-ADVITAM/666
高速铁路桥梁检查及维护	/675
Inspection and Maintenance of Bridges on HSR	/682
浅谈高速铁路桥梁工程的质量管理	刘智刚/689

中国高速铁路桥梁的技术路线和实践

乔 健, 张红旭, 陈良江

(铁道部工程设计鉴定中心)

摘 要: 简要回顾了中国铁路桥梁技术标准和实践的发展历程, 按活载标准和行车速度简述了我国不同区域高速铁路的特点, 对于大量采用的常用跨度混凝土简支梁桥的技术发展以及采用无砟轨道对桥梁的控制条件进行了技术归纳, 列举了目前中国铁路及高速铁路桥梁在技术创新和桥梁跨度方面的新成果。

关键词: 高速铁路; 桥梁; 技术路线; 实践

1 概 述

铁路桥梁建设标准与国家的经济发展密切相关。中国自 20 世纪 50 年代以来, 尤其是 80 年代改革开放以来, 建设的铁路桥梁无论在数量上, 还是在设计理论、制造工艺、架设技术方面, 都取得了长足的发展, 在各个不同时期均表现出不同的特点。

20 世纪 50 年代初期, 中国沿袭日本、俄罗斯、美国、德国、法国等国在中国设计和建造桥梁的经验, 续建和修复了战争期间破坏的桥梁, 通过学习和仿照前苏联建造铁路桥梁的模式, 形成了中国铁路桥梁的设计和建设规程、规范。这一时期建设的铁路以货物运输为主的客货混运方式发展, 以长大列货物列车为主控制设计, 桥梁则注重承载能力。桥梁的结构形式一般为中小跨度的混凝土简支桥梁和较大跨度的钢梁桥。

进入 20 世纪 90 年代后, 铁路的运输结构随着国民经济的发展而出现了新的格局, 客运比重加大, 因而建设了广深准高速铁路, 主要干线实施提速, 并修建了秦沈客运专线, 对桥梁结构也提出了适应运行速度和乘坐舒适度的要求。

近十年来, 中国铁路遇到了铁路建设的黄金机遇期, 制定和实施中国铁路发展“十一五”规划, 前所未有的大规模铁路建设在中国大地全面展开。已经开工建设和即将修建的“四纵四横”铁路、客运专线网和三个城际客运系统, 客运专线及铁路网将长达 12 000 km 以上。

为跨越山谷、河流、道路的需要并受路基沉降控制以及节约耕地原则, 客运专线大量采用高架桥的结构形式, 据初步统计, 桥梁长度将超过线路长度的 50%, 特别是经济发达地区, 如北京至天津城际铁路、北京至上海高速铁路、广州—深圳—香港铁路的桥梁比例更是高达 80% 以上。

高速铁路桥梁除了要发展跨越能力以及与普通速度铁路桥梁一样要考虑强度、抗裂性、刚度外, 还须考虑舒适度和变形控制, 这些因素的考虑标志着中国高速铁路桥梁的发展跨入了世界现代桥梁发展先进行列。

学仿真分析,以及参考世界各国高速铁路梁型的尺度,确定当年建设的秦沈客运专线 24 m、32 m 简支桥梁的高跨比采用约 1/12,竖向刚度均保持在 1/4 000 左右。各种梁型的动力学特征如表 1。

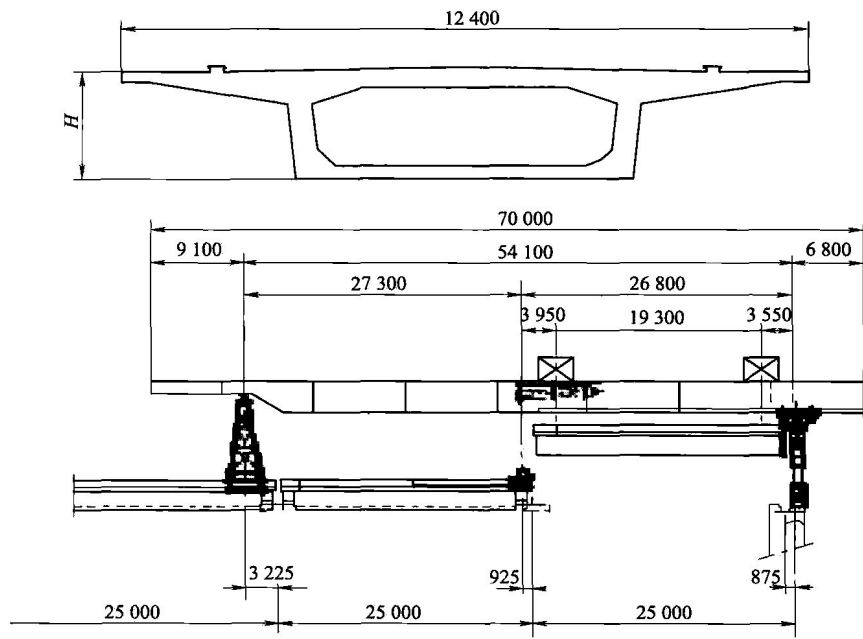


图 2 箱形梁横断面示意及运架设备(单位:mm)

表 1 秦皇岛至沈阳铁路上采用梁型的舒适度指标

跨 度 (m)	类 型	梁 高 (m)	舒 适 度			
			v = 160 km/h	v = 200 km/h	v = 250 km/h	v = 300 km/h
12	双线四片式 T 梁	1.3	优	良	良	良
16	双线四片式 T 梁	1.6	良	良	良	良
20	并置式单线箱梁	1.8	良	良	合格	合格
20	并置式单线箱梁,单线桥墩	1.8	良	良	合格	良
20	双线整孔箱梁	1.8	良	优	良	合格
20	双线整孔箱梁,墩高 16 m	1.8	良	良	合格	良
24	并置式单线箱梁	2.0	良	良	合格	合格
24	并置式单线箱梁,单线桥墩	2.0	良	良	合格	合格
24	板式无砟轨道单线箱梁	2.2	良	良	良	合格
24	双线整孔箱梁	2.0	良	优	良	合格
24	双线整孔箱梁,墩高 16 m	2.0	良	良	良	合格
24	板式无砟轨道双线箱梁	2.2	良	优	良	合格
24	长枕埋入式无砟轨道双线箱梁	2.2	良	优	合格	合格
32	并置式单线箱梁	2.7	良	良	合格	合格
32	并置式单线箱梁,单线桥墩	2.7	良	良	合格	良
32	板式无砟轨道单线箱梁	2.8	良	良	良	
32	双线整孔箱梁	2.6	良	良	良	
32	双线整孔箱梁,墩高 16 m	2.6	良	良	良	

在进一步研究高速铁路桥梁设计标准过程中,调整了梁的刚度,确定梁的高跨比采用约 $1/10$,竖向刚度均保持在 $1/6\,000$ 左右,进而开展了全国各高速铁路桥梁梁型的设计和建造。中国各种荷载标准箱形梁横断面示意如图 3~图 5。

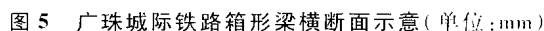
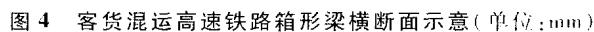
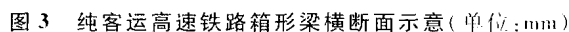




表 2 中国高速铁路跨度 32 m 箱梁技术标准

代表性线路	京津城际	合宁线	昌九城际	广珠城际	秦沈线
设计荷载	0.8UIC	中—活载(UIC)	0.8UIC	0.6UIC	0.8UIC
设计速度(km/h)	350	250	250	200	250
全长(m)	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6
梁高(m)	3.05	2.8	2.6	2.2	2.6
顶宽(m)	13.4	13.0	13.0	11.6	12.4
箱底宽(m)	5.5	5.74	6.5	6.0	6.0
跨中腹板厚(m)	0.45	0.48	0.24 (三腹板)	0.25 (三腹板)	0.45
每孔混凝土数量(m ³)	327.6	315.2	270.0	241.73	288.8
静活载作用下挠度	1/5 147	1/3 940	1/3 889	1/3 360	1/3 333
徐变拱度(mm)	5.9	9.0	6.12	5.1	
竖向自振频率(Hz)	4.66	4.36	3.95	4.83	

4 高速铁路桥梁的实践和发展

(1)混凝土简支梁桥

对于高速铁路上常用的混凝土梁跨度,曾研究过是采用连续梁还是采用简支梁。考虑到中国平原地区地质的软弱和不均匀性、其沉降对桥梁的影响,以及高速铁路桥梁数量巨大,如不采用标准化、工厂化的施工,将难以在较短的时间内建成高速铁路,所以铁道部决定常用跨度桥梁采用大规模工厂化施工的简支混凝土梁桥。

简支混凝土桥梁在设计中的控制因素已不仅是强度、抗裂性、刚度等,还要考虑列车过桥时旅客的舒适程度及变形控制。通过秦沈线高速列车的行车试验并经过动力学仿真模拟,调整了高速铁路混凝土简支箱形梁桥的设计参数。

中国高速铁路桥梁上广泛采用了无砟轨道结构,对桥梁的各种变形要求较为严格,其收缩徐变的终值控制标准以毫米为单位计。混凝土简支箱形梁设计时对于收缩徐变的控制除对混凝土材料进行控制外,还利用了混凝土收缩徐变是弹性变形的函数概念,控制梁体的弹性变形以达到控制收缩徐变的目的。采用控制混凝土梁体恒载状态上、下部混凝土应力差的方式控制梁体竖向的收缩徐变值,使梁体竖向收缩徐变量值满足铺设无砟轨道及运行的需要。各年代混凝土梁的上、下部应力差值见表 3。

表 3 各时代混凝土梁体跨中截面上、下部应力差

图 号	年代	活载	跨度(m)	梁高(m)	上缘应力(MPa)	下缘应力(MPa)	上、下缘应力差(MPa)
大 138	1958	中—26 级	32	2.5	6.29	8.02	1.73
大(65)138	1965	中—26 级	32	2.5	5.77	11.86	6.09
大(65)138	1965	中—22 级	32	2.5	6.24	8.37	2.13
参标桥 006A	1970	中—22 级	32	2.5	5.54	11.76	6.22
参标桥 2019	1976	中—活载	32	2.5	5.45	9.82	4.37
专桥 2059	1990	中—活载	32	2.5	5.72	9.55	3.83
专桥(01)2051	2001	中—活载	32	2.5	6.93	12.35	5.42

续上表

图 号	年代	活载	跨度(m)	梁高(m)	上缘应力(MPa)	下缘应力(MPa)	上、下缘应力差(MPa)
通桥(2005)2101	2005	中—活载	32	2.5	7.12	11.65	4.53
通桥(2005)2201	2005	中—活载	32	2.7	6.93	10.68	3.75
专桥秦沈(施)21	1999	ZK 活载	24.0	2.0	2.91	5.63	2.72
通桥(2005)2221	2005	中—活载	31.5	2.8	4.08	6.64	2.56
通桥(2005)2322	2005	ZK 活载	31.5	3.05	2.75	5.57	2.82

在预应力施加方案上,中国虽然大量采用后张法预应力混凝土梁,但考虑到先张法预应力混凝土梁具有更好的耐久性,在建设高原冻土地带的青藏铁路时,开展了折线配筋先张法 T 梁的研制。目前,高速铁路先张法箱形梁已在合肥至南京铁路研制成功,跨度达到 32 m。

在混凝土简支梁的跨度方面,大跨混凝土简支梁桥在较高桥墩的工点上有其桥式的合理性和经济性,正在建设的石太、温福、武广等客运专线均有采用此种桥式的工点。最大跨度为温福线的双线 64 m 混凝土简支箱形梁桥式。



图 6 先张法 32 m 箱梁试验

(2) 预应力混凝土连续梁桥

由于受到大吨位支座发展的限制,预应力混凝土连续梁的跨度曾长期在 100 m 左右徘徊,随着桥梁计算机分析、设计和施工技术的发展及大吨位支座的创新,混凝土连续梁的跨度不断发展。即将开通的京津城际铁路,跨越北京五环路的混凝土连续梁主跨达 128 m,正在建设的福州至厦门铁路乌龙江特大桥混凝土连续梁主跨达到 144 m,是中国高速铁路预应力混凝土连续梁之最。值得一提的是,京津城际铁路跨越北京五环路特大桥,桥上铺设无砟轨道,要求梁体后期徐变变形控制在 10 mm 以内。



图 7 跨北京五环路 128 m 混凝土连续梁桥

(3) 预应力混凝土连续刚构桥

由于大跨度主墩上没有支座,不受大吨位支座研发的限制,桥墩和梁体可以协调受力,故发展迅猛,相继建成和在建了一批此类桥梁,南昆铁路清水河桥主跨为 128 m,遂渝铁路嘉陵江桥主跨为 168 m。正在建设的襄渝铁路牛角坪特大桥主桥跨度达 192 m,是目前铁路混凝土连续刚构最大跨度的桥,广珠城际容桂水道大桥主桥跨度达 185 m,是目前高速铁路混凝土连续刚构最大跨度的桥,控制恒载状态结构的弹性变位达到控制混凝土收缩徐变的竖向值仍是此类桥梁的课题。

大跨度混凝土连续结构中关于竖向预应力的应用是一个值得研究的问题,如果依赖竖向预应力来控制梁体的主拉应力,因为竖向预应力筋较短,随着时间的推移很容易部分或全部丧失预应力,梁体的主拉应力失控,则梁体下挠和开裂将不可避免。故高速铁路和一般大跨度铁路桥梁均不依赖竖向预应力控制梁体主拉应力。

另一个值得注意的问题是桥跨发展到如此跨度,温度联长太长时,则温度力难以控制,不得不将长联的部分采用连续梁,即刚构连续梁组合结构,内昆线李子沟桥就是其灵活应用之例子。



图 8 遂渝线新北碛嘉陵江桥

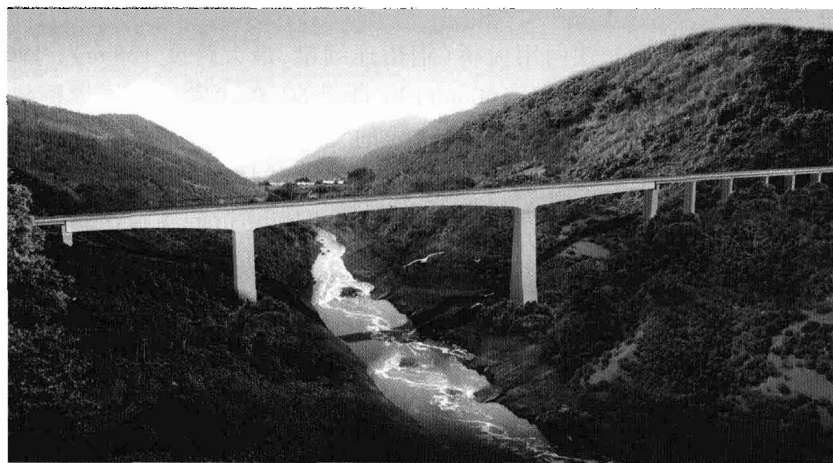


图 9 襄渝铁路牛角坪特大桥

(4) 预应力混凝土梁拱、斜拉等组合桥

目前我国铁路已铺设无砟轨道的混凝土连续梁最大跨度为 128 m,混凝土刚构桥跨度达到 168 m,为了控制混凝土收缩徐变变形,除研究混凝土材料性能外,尚可以从梁体刚度方面进行控制,增加梁体高度是行之有效的办法之一。但随着跨度的加大,如果继续采用加大梁高来控制连续梁的徐变变

形,则既不经济也不现实。因此,可以采用增加辅助、组合结构控制梁体在恒载下的弹性变形(混凝土梁体的上、下部应力差),从而达到控制竖向徐变变形的目的。在混凝土连续梁(刚构)上增加拱、索等辅助结构,对控制恒载下的梁体应力可以取到较好的效果,从而使预应力混凝土梁(刚构)向大跨度发展。比较典型的实例有北京至天津城际跨北京四环路环线特大桥,主桥采用 $(60+128+60)$ m 连续梁钢管混凝土拱组合结构;广珠城际铁路跨越西江的西江特大桥主桥采用 $(100+2\times 210+100)$ m 独塔斜拉连续刚构组合结构;广珠城际铁路小榄水道特大桥主桥采用 $(100+220+100)$ m 的 V 形连续刚构—拱组合结构;宜万铁路宜昌长江大桥采用主跨 275 m 混凝土刚构拱桥。

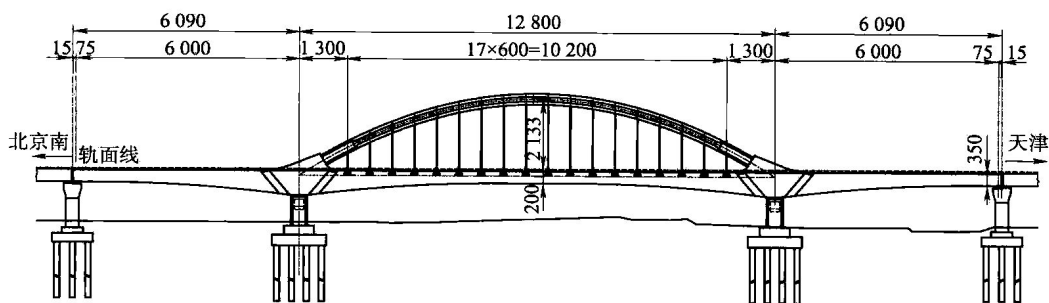


图 10 混凝土连续结构上加拱的桥式示意

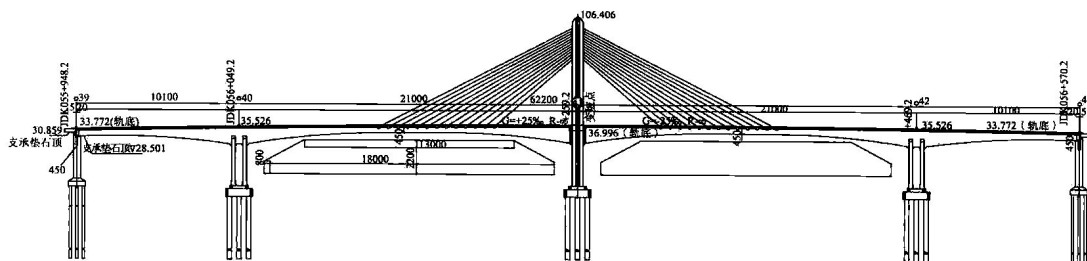


图 11 混凝土连续结构上加斜拉索的桥式示意

(5) 钢 桥

1957 年中国建成了武汉长江公铁两用大桥(钢桁连续梁,最大跨度 128 m); 1969 年建成了南京长江公铁两用大桥(钢桁连续梁,最大跨度 160 m); 20 世纪 60 年代发展的栓焊桥技术在成昆铁路线上成功应用后,结束了铆接钢桥的历史。1993 年建成的九江长江公铁两用大桥(钢桁连续梁主跨加拱,最大跨度 216 m)、2000 年建成的芜湖长江公铁两用大桥(斜拉加劲钢桁梁桥,最大跨度 312 m)和 2006 年建成的万州长江大桥(钢桁拱,最大跨度 360 m)及正在建造的高速铁路大胜关和天兴洲铁路



图 12 万州长江大桥