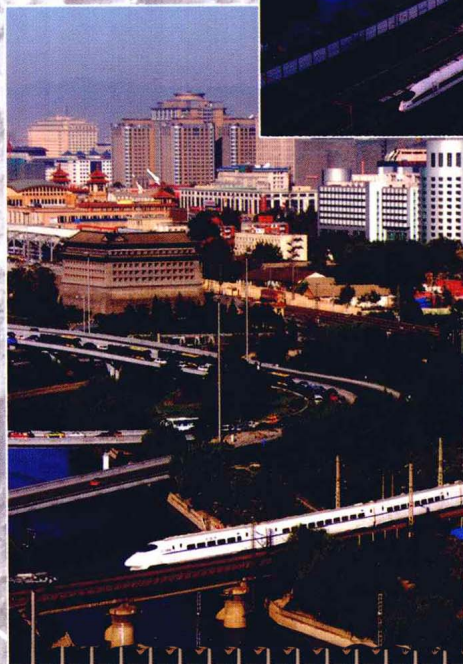




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

铁路规划与设计

吴小萍 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等学校土木工程专业新编系列教材

铁路规划与设计

吴小萍 主编

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书内容包括交通运输科技发展战略、交通运输规划理论和方法、铁路路网规划与项目可行性研究、城际轨道交通土地利用的协调评价、绿色交通优化决策理论与方法、铁路线路计算机辅助设计、高速铁路的规划与线路设计特点、地理信息和决策支持系统在铁路工程中的应用。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是面向土木工程和交通工程等专业的教学用书,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路规划与设计/吴小萍主编. —北京:中国铁道出版社,2010.11

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-113-11693-4

I. ①铁… II. ①吴… III. ①铁路线路—规划—高等学校—教材
②铁路线路—设计—高等学校—教材 IV. ①U212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 151847 号

书 名: 铁路规划与设计

作 者: 吴小萍 主编

责任编辑: 李丽娟

电话: (010) 51873135

教材网址: www.tdjaocai.com

封面设计: 薛小卉

责任校对: 孙 玫

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京新魏印刷厂

版 次: 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 19.5 字数: 492 千

书 号: ISBN 978-7-113-11693-4

定 价: 38.00 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联系调换。

电 话: 市电 (010) 51873170, 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504, 路电 (021) 73187

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是面向土木工程和交通工程等专业的教学用书,也可供相关科技人员参考。主要讲授铁路规划与线路设计的理论方法以及相关的技术决策问题,及作者及其课题组多年研究并在实践中得到推广应用的成果。

轨道交通是一个庞大的系统工程,必须从可持续发展的战略高度考虑它的投资效益、环境效益和景观效益。因此,探索如何制定交通与社会、经济、资源环境间协调发展的科学规划及其设计方法,是该领域的一个重大研究课题。面对我国铁路交通基础工程设施的建设,如何处理好基础性、系统性和先进性之间的关系,将铁路规划与设计的精华介绍给学生,提高本科生和研究生的培养质量,是我们编写这本教材书的主要宗旨。该教材作为讲义在我校土木工程专业教学中已连续应用7届,能充分调动学生的学习积极性,激发学生的潜能和创新思维,强化了操作技能培养,实现了师生互动式的交流和合作,课程的教学质量和教学效果明显提高。我们在教材的编写中体现了如下的指导思想:

1. 突出一个“新”字,拉近与现代科学发展的距离。这里所指的“新”,首先是对书的核心部分,即基本知识、基本理论和基本技能赋予新的内容,以现代化的眼光进行审视和更新。使其与现代交通科学的发展息息相通,这是书的主体。其次是以适当的方式让基础内容与学科发展前沿相接,突出本学科当前发展的趋势、研究的热点。

2. 注重启发性,培养创新和开拓精神。在内容的编排和取舍上,注意授“鱼”和“渔”的关系,使学生的知识学活,不因循守旧,敢于创新。此外,对每章后的“思考题”,力求精心安排,少而精,尽量做到能触类旁通,举一反三,思维活跃。

3. 在内容的取舍和编排上突出重点。本书注重交通规划设计和交通环境与信息技术的相互渗透,在章节安排上除了将绿色交通优化决策理论与方法单列一章外,还增加了有关专题讨论。将本应属于决策支持系统、地理信息系统、环境工程学的有关内容,有机地渗透进交通工程学中来,正确地反映信息技术、环境科学在其发展中所起的巨大作用及其相互促进的关系。

在中南大学道路与铁道工程国家重点学科老一辈专家詹振炎教授、陈秀方教授等带领下,经过近30年的不断改革与创新,中南大学“铁路规划与设计”课程建设依托高速铁路建造技术国家工程实验室和道路与铁道工程国家重点学科,追踪学科最新成果、最新动态,在教学和科研等方面取得了一系列的成果,并被评为我校双语教学精品课程。

在教材的编写过程中,我们参阅了大量的中外图书和文献,其中由中南大学詹振炎主编的《道路规划与设计原理》和《铁路选线设计的现代理论和方法》,吴小萍撰写的《可持续发展战略指导下的轨道交通规划与设计》,西南交通大学邓域才主编的《铁路规划与机助设计》以及北京交通大学阚叔愚主编的《铁路设计理论和技术》是本书编写时参考的主要图书。在体系上,本教材继承了《铁路设计理论和技术》和《铁路规划与机助设计》、《道路规划与设计原理》的体系结构,但在内容的编写上本教材采用了最新的数据资料。全书既是一个统一的整体,各章的内容又具有相对的独立性。

本书由中南大学吴小萍主编,具体章节编写如下:第二、三、四章由西南交通大学帅斌编

写;第七章由中南大学王卫东编写;其余章节由吴小萍和罗克奇(R. K. Luo)编写;廖翌君参加了英文教材及文献的翻译校对工作;吴小萍课题组研究生梅盛、乔勇强、彭沙沙、刘国龙、李月光、陶克、李云、杨钦杰、崔秀龙、成伟光、杨绪成等和西南交通大学的多位研究生为本书的编写做了大量搜集资料、整理书稿等工作。全书由吴小萍统一审校完成。

感谢英国伦敦大学交通研究中心主任 Benjamin Heydecker 为本书作序。感谢英国伦敦大学交通研究中心、英国伯明翰大学铁路研究中心的指导和帮助。

本书在编写过程中,得到了中南大学土木建筑学院、教务处、研究生院领导和全体老师、吴小萍课题组全体研究生的关心和支持,在此深表感谢。此外,在编写过程中,作者还参考了大量的有关教材、论著和资料,在此谨向原编著者表示衷心感谢。

由于编著者水平的局限,书中难免有疏漏、不妥甚至错误之处,恳请读者不吝指正。

编者
2010年7月

目 录

第一章 铁路科技发展概况	1
第一节 铁路科技发展趋势.....	1
第二节 高速铁路建设和城市建设中的主要技术问题.....	6
第三节 当前铁路规划与线路设计方面的主要研究课题讨论	10
思考题	16
参考文献	16
第二章 交通运输科技发展战略	17
第一节 交通运输现代化	17
第二节 交通运输主要技术政策	27
第三节 交通运输发展规划	34
思考题	43
参考文献	43
第三章 交通运输规划理论和方法	44
第一节 交通运输需求预测理论与方法	44
第二节 交通运输分配理论及模型	83
第三节 交通运输网络规划理论与方法	93
第四节 交通运输规划决策支持系统.....	105
思考题.....	118
参考文献.....	118
第四章 铁路路网规划与项目可行性研究	119
第一节 铁路路网规划.....	119
第二节 项目可行性研究概述.....	122
第三节 客货运量的调查和预测.....	127
第四节 经济评价的基础数据.....	139
第五节 铁路建设项目的经济评价.....	148
思考题.....	166
参考文献.....	166
第五章 城际轨道交通与土地利用的协调评价	167
第一节 协调评价的基础理论.....	167

第二节 城际轨道交通与土地利用的相互关系·····	171
第三节 城际轨道交通与土地利用协调评价指标·····	179
第四节 几种主要的协调评价方法梗概·····	184
思考题·····	187
参考文献·····	187
第六章 绿色交通优化决策理论与方法·····	188
第一节 绿色交通与绿色选线概要·····	188
第二节 铁路建设项目融资方案论证·····	195
第三节 铁路建设项目环境影响评价·····	202
第四节 铁路绿色选线·····	206
第五节 铁路建设项目社会经济环境影响评价·····	214
第六节 铁路建设项目后评价·····	224
思考题·····	231
参考文献·····	231
第七章 铁路线路计算机辅助设计·····	233
第一节 单线铁路线路平面计算机辅助设计·····	234
第二节 双线铁路的Ⅱ线交点坐标计算·····	239
第三节 I、Ⅱ线平面曲线断链及单绕段断链的计算·····	242
第四节 双线线间距的计算·····	244
第五节 线路平面中线绘制·····	247
第六节 线路纵断面图计算机辅助设计·····	250
第七节 路基横断面机助设计·····	250
思考题·····	262
参考文献·····	262
第八章 有关专题讨论·····	263
第一节 高速铁路规划与设计特点·····	263
第二节 铁路线路方案优选的关键技术问题·····	268
第三节 地理信息系统及其在铁路工程的应用·····	268
第四节 决策支持系统及其在铁路工程中的应用·····	275
第五节 铁路规划设计中的环境评价和景观设计·····	288
思考题·····	303
参考文献·····	304

第一章

铁路科技发展概况

第一节 铁路科技发展趋势

20 世纪中期后,由于汽车工业和航空工业的蓬勃发展,世界各国都把交通建设的重点放到公路和航空运输上,于是曾出现了铁路投资下降、基础设施得不到改善的局面,使铁路处于落后阶段并被称为是“夕阳”产业。随着产业发展的高度化、专业化,运量急剧增加,而公路和航空的运输又有其自身的局限性,使不断增长的运量需求无法得到满足。于是,人们开始重新认识运量大、安全、正点、环境污染少的铁路运输的作用。高速铁路正是在这个背景下发展起来的。

一、快速、高速客运技术

客运快速化、高速化是近半个世纪以来世界铁路客运发展的一个重要趋势。1964 年日本东海道新干线开通运营,旅客列车的最高速度达到 210 km/h,开始了铁路高速化的进程。20 世纪 80~90 年代,法国、德国、意大利和西班牙相继建成了各具特点的高速铁路。目前,韩国、澳大利亚、英国、俄罗斯、美国、加拿大、巴西、捷克等国家和我国正在计划或已经开始动工修建高速铁路。世界高速旅客列车的最高运行速度已达到 300 km/h,并将进一步提高到 350 km/h。

高速铁路运输系统是当代世界铁路的重大技术成就,是铁路系统采用现代高新技术创新的产物,它极大地推动了铁路科学技术发展和装备水平的提高。高速铁路运输系统技术创新主要包括铁路新型大功率牵引动力,高可靠性的一流技术和设备,车载微机控制的列车牵引、制动和智能诊断技术,高舒适度、轻量化、高密封性能、符合最佳空气动力学设计的车体,优质稳定的高速线路设计和施工技术,安全可靠的列车运行和制动控制技术,高度自动化的综合调度和运营管理技术,全面系统的安全保证技术和低噪声、轻污染的环保技术措施等等,以及先进的制造和生产工艺技术。

二、快捷、重载货运技术

快捷、重载货物运输技术是世界铁路货运发展的两个重要方向。

1. 快捷货运技术

铁路快捷货物运输是利用先进的运输组织手段,提高货物列车行车速度,改善货物运输服务质量的一种快速货物运输形式。快捷货物运输自 20 世纪 80 年代起在世界各主要路网逐步发展起来,现已成为开拓铁路运输新领域的重要产品。快捷货物运输按速度等级划分为快速货物运输,其最高速度一般为 110~140 km/h;特快货物运输,其最高速度一般为 140~160 km/h;高速货物运输,其最高速度达到 200 km/h 以上,如法国高速邮政列车。

在铁路快捷货物运输方面,走在前列并具有代表性的是法国和德国。德国铁路为了加强与公路的竞争,从 1991 年 6 月起利用既有线与新投入运营的高速铁路套跑的办法开行城市间

特快货物列车,最高速度达到 160 km/h。1995 年开始,德国铁路在全国最重要的 23 个经济中心之间每天开行 70 列联合运输快速直达货物列车(IKE),运送集装箱、流动式货物和半挂车,列车最高速度达到 100 km/h 和 120 km/h。法国国营铁路于 1987 年 5 月 31 日在里尔—马赛 1 100 km 的线路开行了第一列最高运行速度达到 160 km/h 的特快货物列车,这也是世界上第一列以常规运行方式使最高速度达到 160 km/h 的货物列车。运送公路挂车和集装箱的快速货物列车最高运行速度为 120 km/h,鲜活特快货物列车的最高运行速度达 140 km/h。这些列车都在夜间开行,它们的运行等级优先于其他等级的列车,甚至优先于夜间开行的旅客列车。

另外,随着欧洲高速铁路网的不断扩展,法国和德国铁路近年来研究和试验扩大在欧洲范围内利用高速列车运送货物的可行性,并进行了有益的实践。

2. 重载货运技术

重载货物运输是世界铁路发展的另一个重要趋势,它利用铁路现代化技术装备,大幅度增加货物列车编组辆数,提高列车重量,采用一台或多台大功率内燃机或电力机车牵引的组织方式,有效地提高铁路的运输效率和效益,形成了以美国、加拿大铁路为代表的重载单元列车和以前苏联铁路为代表的超长超重组列车两种形式。

重载运输的主要技术创新包括:大功率内燃机或电力机车及走行机构,防空转和防滑系统,双机或多机牵引及其无线同步遥控技术,轴重大,自重轻的大型货车及其低动力作用的转向架,高强度车钩,大容量缓冲器,性能优异的列车制动装置,重型钢轨和与之配套的道岔技术,以及重载线路优化及养护维修技术。

三、运营管理和服务的信息化

1. 综合运营管理自动化系统

发达国家自 20 世纪 60 年代开始开发铁路信息系统。在货物运输方面,美国南太平洋铁路公司于 1970 年率先应用了综合运营管理系统(TOPS)成为铁路管理和全面应用计算机的重要里程碑。以后,加拿大和英国铁路先后引进 TOPS 技术并加以改进,分别开发了各自的铁路运营管理自动化系统(TRACS 和 BRTOPS),而更多的国家开发了各种用途的专用系统,如整车货物列车信息系统、集装箱运输管理系统、货车维修管理系统等。20 世纪 80 年代,发达国家先后建成了能力强大的铁路公用综合数据通信网。利用这种强大的计算机数据通信网络的支持,发达国家又进一步改进和扩充完善了运营管理自动化系统,把原来单独建立的专用系统接入这种网络,使铁路运营管理自动化系统向综合化发展,进一步优化了信息资源的配置和合理利用,增强了系统功能,扩大了应用范围。

新一代的运营管理自动化系统大致有以下三种特征:

- (1)从运营管理型发展为面向市场和用户的管理和服务型;
- (2)货运信息系统扩充延伸到物流链的各个环节;
- (3)大幅度提高了软技术含量。

2. 旅客综合服务信息系统

近年来,旅客信息服务的发展趋势是实现列车旅客信息系统和地面旅客信息系统的一体化,为旅客提供整个旅途中的全面的信息服务。其主要表现是:

(1)信息服务内容更加广泛。除列车车次、票价、到发时间等传统服务信息外,还向旅客提供与旅行有关的各种信息,如与其他交通工具及城市公共交通工具的接续信息、气象预报、旅

馆接待、预定车位和购物指南等信息。

(2) 信息服务手段多样化,并向社会进行延伸服务。除较普及的各类电子显示器之外,已经开始使用电话声讯、多媒体和计算机互连网络,用户可以借此问询和办理客票预定业务。

(3) 发展旅客综合服务信息系统。这种系统可以为旅客提供查询、客票预定和售票等一切服务,并直接用于客运收入统计,进行市场分析,为预测提供依据,成为铁路开发新的运输产品,改进运输计划,进行宏观决策的重要手段。

(4) 发展融合铁路及城市轨道交通、公共汽车等多种运输工具运行信息于一体的交通运行时刻表问讯系统,这是能根据旅客出行定向和对交通工具的选择进行动态信息服务的智能系统。目前这种系统正在开发和不断的完善中。

四、行车安全保障系统

为保证行车安全,国外铁路开发了各种层次的安全技术,从普通铁路的安全保障技术到高速铁路的安全保障技术,使行车安全保障系统不断完善。高速铁路列车速度高,对行车安全的要求更为严格,因此其行车安全保障系统最为完善、最先进,最具有代表性。

日本新干线高速铁路在其 40 多年的发展历程中,没有发生一起旅客死亡事故,安全保障系统功不可没。日本在新干线开通以前,就在既有线列车上装备了列车自动控制系统(ATC)。1972 年新干线冈山枢纽开始使用计算机辅助的运营管理系统(COMTRAC),这是一个功能较为完备的综合系统,包括运行图的生成与变更,车辆的运用与乘务员的调配,列车运行控制和运行监视,旅客引导信息控制等运营管理功能,以及电力调度,车辆、接触网、线路状况检查和灾害监测等功能。东日本铁路公司 1995 年 11 月投入运用的新一代 COSMOS 系统,利用先进的网络技术将几乎所有与运营和安全相关的系统综合为一个系统,是一种全新概念上的铁路安全、维护与运营系统,共有计划生成、运营管理、维护作业管理、设备管理、电力控制、中央信息监视、车辆管理和车站作业管理 8 个子系统。法国 TGV 高速铁路安全保障系统以 TVM430 列控系统为核心,依靠车一地之间可靠的通信将列车、沿线设备和控制中心联系起来,其车载设备包括 TVM430 列控系统、故障监测和各种监测设备;控制中心主要包括行车调度、电力调度和中央维护监督三部分,通过网络传递信息。德国 ICE 高速列车与法国 TGV 的安全保障系统类似,其主要特点是利用功能强大的车载故障监测和诊断系统,通过无线通信与地面维修中心构成集行车控制、故障监测、维护等功能于一体的行车安全保障系统。

五、机车车辆关键技术

1. 三相交流传动技术成为主导

交流传动比直流传动具有极大的优越性。近几十年来电传动技术的不断创新,是电力和内燃机车及动车技术进步的主要标志。最新型的三相交流传动技术采用微机、全数字控制、脉宽调制技术和由专家系统构成的诊断装置,能高速高性能地控制 GTO 可关断晶闸管,把直流变成幅值和频率同时调节的正弦波电流供给交流异步电机,使其按牵引特征运行。三相交流传动技术的成熟发展,进一步推动了电力和内燃机车的机电一体化趋势。全面采用微机控制技术,用多功能车载微机网络系统实现牵引力/制动力调节,防空转/防滑行控制,空电联合制动控制,功率因数补偿控制,设备技术诊断、监测、显示等综合自动化功能,已是高速列车和新型机车、动车的主要特征。

2. 摆式车体技术

摆式列车利用车体倾摆机构、自动控制技术和车辆动态控制技术等行驶在既有线上,既可提高速度,又能保证乘客的舒适度。与新建高速客运线相比,可大大节省基础设施的建设投资。摆式车体依摆动方式的不同分为两类:一类是以西班牙的 Talgo 和日本 381 系为代表的无源(被动式或自然式)摆式车体,车体利用通过曲线时产生的离心力自然倾摆,其倾摆角度一般为 3.5° ,最高为 5° ,能把常规列车的曲线运行速度提高 $14\% \sim 16\%$;另一类是以意大利的 Pendolino、瑞典的 X2000 和日本的 2000 系为代表的有源(主动式或强迫式)摆式车体,车体由曲线检测装置、车载计算机控制倾摆传动机构倾摆,其倾摆角度一般为 8° ,最大 10° ,能把常规列车通过曲线的速度提高 $30\% \sim 35\%$ 。现在摆式车体列车作为即有线提速的有效手段,已为世界广泛接受,被许多国家列为多曲线既有线路提速改造的主要对策之一。

六、轨道结构强化技术

提高列车速度和增加轴重,都加大了列车作用在轨道上的荷载,加剧了线路的变形和零部件的损坏,增加了维修工作量,同时高密度、大运量的运输方式又减少了线路维修作业时间。因此,世界各国纷纷采用新技术强化轨道结构,以减少线路维修。其主要技术特征是:高标准的坚实路基,稳定可靠的现代化轨道结构,跨区间超长无缝线路和保持轨道平顺的状态维修技术。

1. 高标准的路基

路基是轨道的基础,只有路基稳定不变形,才能保证轨道稳定、不变形或少变形,才能减少线路维修工作量。日本第一条高速铁路东海道新干线在修建时,投入大量资金进行病害整治,才保证了列车按设计要求正常运行。

为了使路基坚固、稳定,一些发达国家在总结长期运行实践和深入科学研究的基础上提出在路基和道床之间铺设“基床表层”作为路基保护层,取得了良好的效果。通过研究,国外总结的对路基的作用和要求是:增强线路强度,使路基坚固、稳定,并具有一定的刚度,使列车通过时产生的弹性变形控制在一定的范围内;使扩散作用到基床上面的动应力不超出基床的承受力而致使基床软化,防止发生翻浆冒泥等基床病害,并保护基床肩部表面不被雨水冲刷;满足对防冻的特殊要求。实践证明,这些结论是正确的,“基床表层”对于保证列车高速运行,防止基床病害确实起到了重要作用。

2. 新型轨下基础

目前国外集中先进技术的高速铁路的轨道结构基础主要有两种形式,即以法国 TGV 为代表的有砟轨道结构和以日本山阳、东北、上越等新干线为代表的板式结构。

为了减少由于列车荷载造成轨道的永久变形,减少平时的轨道维修工作量,日本铁道接受东海新干道基床(轨下基础)标准不高的经验教训,开发应用了板式轨道,即所谓的省力化轨道。他们认为,虽然板式轨道的修建费是有砟道床的 2 倍,但施工容易,能减少轨道变形,减少轨道维修量和维修费用,所以日本铁路积极在高速铁路上推广,并且研制了 4 种形式的板式轨道。德国也在高速铁路上试验与板式轨道相似的多种无砟轨道。总之,这些都是以少维修或不维修为目的的。

法国目前有砟轨道仍然是高速铁路轨道结构的主体,TGV 铁路利用有砟轨道结构试验时创造了 515.3 km/h 的世界纪录。TGV 铁路的轨道结构采用 60 kg/m (UIC)钢轨、超长无缝线路、U41 型双块式混凝土轨枕、“纳布拉”扣件。

3. 超长无缝线路

超长无缝线路即轨条长度跨越区间,轨条与道岔直接连接起来的无缝线路。超长无缝线路由于取消了钢轨接头,从而减小了车辆簧下质量的垂直振动加速度,减少了接头冲击对轨道部件的损坏,改善了轨道的平顺性,可以实现少维修;超长无缝线路取消了伸缩区,在很长范围内,钢轨不因温度变化而伸缩,轨节长,防爬力大,改善了钢轨纵向力分布不均的条件,从而增加了列车运行的安全性和稳定性。

由于超长无缝线路能改善行车条件,实现轨道的少维修,因此受到各国铁路的广泛重视并得到积极采用。法国在巴黎—里昂—马赛、巴黎—勒芒、巴黎—莫城的高速铁路上,大量采用超长无缝线路贯通区间,其中最长的达 50 km。德国是无缝线路铺设率最高的国家,目前他们的区间无缝线路与车站道岔焊接,与无缝线路直接焊接在一起的有 11 万组岔道。另外,各国的无缝线路大多铺设在以客运为主的铁路线上。

4. 轨道维修的科学管理

国外铁路的研究及经验证明,在线路方面直接影响行车速度的主要因素是线路的平、纵断面和线路的平顺性。日本铁道线路专家佐藤吉彦在一次国际会议上指出:“日本东海道新干线花费的运营开支最少却能实现大量高速列车安全运行的秘密在于建立了较科学的轨道不平顺维修管理系统。”法国 TGV 高速铁路的成功经验也证明,若提高和保持轨道结构的平顺性,便可以满足 300 km/h 高速行车对线路的要求。因此,国外铁路近年来特别重视对轨道的诊断检测、高度机械化的维修以及自动化的科学管理,以使铁道轨道始终保持平顺状态,提高旅客舒适度,缩短列车运行时分。

近年来发达国家在轨道维修管理现代化方面正在实现三个转变:

- (1)从定性和传统经验管理向量化科学管理转变。
- (2)对轨道状态和质量的检测从静态检测向动态检测、综合检测转变。
- (3)轨道管理系统从分散的单独系统向覆盖全路的综合化、网络化、智能化系统转变。

七、通信、信号一体化

1. 铁路通信向综合业务数字网方向发展

综合业务数字网(ISDN)能使电话业务和非电话业务(数据、图像、电文和传真等)在同一网络内传送。铁路 ISDN 提供的通信业务,包括各种自动化管理和监控,铁路管理机关、车站、列车、现场及家庭的各种通信。目前发达国家正在积极开发和建设铁路 ISDN。

2. 无线通信进入信号领域,铁路信号向综合化发展,通信、信号实现一体化。

近几十年来,便携式无线通信的广泛采用,使铁路通信范围得到了极大的延伸。新型的无线通信设备普遍引入了数据传输功能。从 20 世纪 80 年代开始,移动无线通信大踏步进入具有故障—安全要求的信号技术领域,正在改变技术界认为无线传输不可靠、不安全的传统观念,预示着信号系统的重大创新。目前铁路信号的一个重要趋势就是技术从线路侧向列车转移。在高速铁路上,绝大多数线路已经取消地面信号机,以车内信号系统代替地面信号,列车的运行从完全由司机操纵发展为对列车速度自动监督或自动控制,并且这种趋势正在向既有线发展。

20 世纪 80 年代以来,发达国家的铁路信号系统从以继电技术为主全面向采用微电子技术为基础的系统发展。这些新型信号系统在性能、可靠性、安全性、可扩充性、经济性以及集约一体化方面较旧系统都有大幅度提高,而且一般都具有自诊断能力,可维修性能大为提高,具有很强的管理功能。但是,由于各种系统基本上都是单独发展、各自完善的,系统功能之间的

横向联系和不同管理层之间的垂直联系仍然很少。计算机数字技术及网络通信技术的发展,使这种联系成为可能,并使之构成集多种功能于一体、信息资源共享、网络化的综合系统,使通信、信号向一体化发展。

纵观世界铁路的科技发展,我们可以深切地体会到世界铁路技术创新的日新月异,感受到技术创新为铁路发展带来的勃勃生机。21 世纪的铁路必将以更加现代化的手段服务于社会,为人类的进步和发展作出新的贡献。

第二节 高速铁路建设和城市建设中的主要技术问题

一、我国高速铁路基础设施建设应解决的技术问题

(一)桥梁荷载

桥梁荷载是从既有线到高速铁路始终存在争议的问题,也是在高速铁路基础设施技术标准讨论中没有采纳国际标准的项目。桥梁荷载是进行桥梁设计的依据,各国铁路都根据运输条件确定荷载标准。对高速铁路而言,除日本按轴重 19 t 确定自己的荷载图式外,其他国家均采用 UIC 荷载图式,如德国、法国、英国、西班牙、韩国等。意大利采用 1.1 UIC。我国台湾省因为是高速专线,采用修正后的 UIC 标准,相当于 0.9 UIC。桥梁设计的荷载包括静载和动载。静载的依据是荷载图式,动载则是根据经验,在静载基础上乘以动载系数,而动载系数根据经验确定。我国通常的做法是荷载图式取值偏小而动载系数取值较大,在既有线上这种做法的结果与 UIC 相当而偏低。对于高速铁路而言,各国均采用 UIC 标准且经过几十年的运营实践,证明 UIC 标准是先进和成熟的,特别是德国在 2003 年最新版的标准中仍然采用 UIC 图式和经过验证的计算方法,从理论和实践上均证明了 UIC 标准是成熟可靠的。

另外,秦沈客运专线是我国第一条专门用于客运的铁路,桥梁设计荷载采用 0.8 UIC。在对常用跨度桥梁动力特性及列车走行性能进行分析研究时,除分析日本 E2 及德国 ICE 高速列车外,还对国内机车车辆用动力集中电动车组和 SS₈ 牵引高速车辆的列车类型进行检算,采用最大轴重 21 t,而实际运行的 SS₈ 机车轴重 220 kN,神州号动力集中列车机车轴重 230 kN。在研究高速铁路的轮轨关系时,强调高速列车轴重不会超过 17 t,中速车轴重不会超过 19 t,但在运营初期,由轴重 230 kN 的机车牵引中速车上高速线运行的可能性是存在的。

(二)工后沉降

工后沉降是指路堤建成后铺轨时的路基剩余沉降。为使列车安全、高速、舒适运行,并尽可能地减少养护维修工作量,严格控制路基变形和工后沉降十分重要。

我国《高速铁路设计规范(试行)》规定设计行车速度为 250 km/h 时,一般地段路基工后总沉降量为 10 cm,桥台台尾过渡段路基工后沉降不大于 5 cm,沉降速率小于 3 cm/年;设计行车速度为 300 km/h 或 350 km/h 时,以上相应标准为 5 cm、3 cm、2 cm/年。

其他国家高速铁路对工后沉降都有严格的要求。法国提出工后沉降应小于 2 cm,并且在最后一次捣固和运行第一列高速列车之前,沉降应完全稳定。德国认为在列车开始运行后,路基工后总沉降不应大于 1 cm,每年沉降总量不应超过 2 mm,并应避免在短距离内发生不均匀沉降,在桥台附近不应有任何不均匀沉降。据资料介绍,日本在第一条高速铁路以后,工后总沉降已按 3 cm 控制,对使用连续梁和无砟轨道的地段,工后沉降的控制更为严格。

2003 年 9 月在与以上三国在技术咨询的交流中,他们都认为工后沉降是完全可以控制的,特别是桥梁墩台的沉降必须严格控制。根据各国的实践,桥梁墩台在铺轨后都未发生沉降

问题。德国专家以台湾高速铁路为例,台湾高速铁路约有 150 km 的地质条件与沪宁段类似,通过详细的地质勘探、增加桩长和施工监测分析等措施,有效控制了工后沉降,而且在高架桥上采用了无砟轨道。上海磁悬浮铁路也成功地控制了工后沉降。

尽管我国目前对工后沉降暂时取得了一致意见,但这个标准是否科学、合理,还有待进一步的理论分析和实践检验,同时设计和施工部门都要克服畏难情绪,认真采取措施,确保控制沉降。

(三) 结构寿命

传统的混凝土结构使用寿命一般认为都在 50 年以上,实际上各国都未达到这个水平,而且由于各种环境条件的影响,一般混凝土结构寿命实际都在 30~40 年左右。近 20 年来,各国掀起了以耐久性为基本要求的高性能混凝土的发展研究,并提出了“按服务年限或按耐久性设计混凝土”的理念。

我国此项工作起步较晚。目前的做法是待工程验收后,设计部门和工程承包方就认为完成了任务,不再承担使用期间的破坏修复、重建等相关义务与责任,因此造成大量工程因耐久性不足引起的由国家或建设方承担的经济损失。

1997 年《中华人民共和国建筑法》颁布,1998 年开始实施。2000 年 1 月 31 日国务院颁发了《建设工程质量管理条例》、《中华人民共和国国务院第 279 号令》,首次以法律和政令的形式规定了“设计文件应符合国家规定的设计深度要求,注明合理使用年限,建设工程实行质量保修制度”。

为了配合《中华人民共和国建筑法》和《建设工程质量管理条例》的实施,国家发布了《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001),规定了建筑结构的设计使用年限,其中“特别重要的混凝土结构”使用寿命为 100 年。很明显,高速铁路是非常重要的工程项目,必须按 100 年设计。

但是,实现这个目标是一个庞大的系统工程。以桥梁结构为例,确保使用寿命 100 年的主要措施有:严格控制墩台沉降特别是不均匀沉降,避免梁体承受不正常荷载;降低运营荷载下的桥梁应力幅值,延长其疲劳寿命;在设计中对桥梁结构进行优化;采用高性能混凝土等。如果设计和建设理念不改变,任何一个环节工作不到位都可能影响这个目标的实现。

因此,高速铁路的主要结构物在设计中均应注明使用寿命,建立大型结构建设终生责任制和保修制度。

(四) 连续梁

简支梁和连续梁是中、小跨度梁的主要形式。连续梁是超静定结构,具有结构刚度大,弯矩分布均匀,跨中挠度小,抗震性能好,在支点处连续,桥面连接处折角小等优点,有利于高速行驶。

各国初期修建的高速铁路连续梁数量较少,但随着投入运营的高速铁路数量越来越多,连续梁比简支梁的优越性表现得更加明显,因此各国家和地区高速铁路连续梁数量所占比例也越来越大。法国 300 km/h 的高速铁路 80%~90% 采用连续梁。法国还明确提出,20 m 跨度以下的简支梁由于存在共振和动力作用过大的问题,因此一般不采用简支梁而采用箱梁和框架结构;30 m 左右的桥梁一般采用多跨框架结构;跨度在 40~80 m 的桥梁采用预应力混凝土和组合结构连续梁;更大跨度则可采用预应力混凝土连续梁、下承式钢桁梁和拱桥。德国 1991 年建成的汉诺威—维尔茨堡和曼海姆—斯图加特两条高速线基本上是采用简支梁,而随后修建的科隆—法兰克福高速线,连续梁数量已多于简支梁。韩国高速铁路连续梁占 90% 以

上。台湾高速铁路 345 km, 其中桥梁占 242 km; 而桥梁中连续梁占 157 km, 占桥梁的 65%。我国高速铁路应该明确要求优先采用连续结构。

(五) 无砟轨道

无砟轨道结构因其高平顺性和少(免)维修的优点, 在国外高速铁路获得了越来越广的应用, 其铺设范围已从桥梁、隧道发展到土质路基和道岔区。无砟轨道结构在高速铁路上的大量铺设已成为发展趋势。日本明确表示 350 km/h 的高速铁路应采用无砟轨道。日本除在 1964 年开通的东海道新干线未采用无砟轨道外, 20 世纪 70 年代修建的高速铁路中无砟轨道已达 60% 以上, 20 世纪 90 年代则达 80% 以上。德国建议高速铁路采用无砟轨道, 认为当运营速度超过 300 km/h 时, 有砟轨道会出现道砟粉化现象, 需要经常维修。由于维修成本增加, 其最终成本要比无砟轨道高。德国初期修建的高速铁路无砟轨道仅占 30%, 而 1998 年开通的柏林—汉诺威线, 无砟轨道则达到 80% 以上。台湾高速铁路无砟轨道长 155 km, 占 45%。荷兰高速铁路土质条件不好, 软土较多, 但也积极采用无砟轨道。法国是以有砟轨道为主的国家, 目前也在铺设无砟轨道, 在技术咨询中他们推荐高速铁路采用无砟轨道。

我国对无砟轨道的研究始于 20 世纪 60 年代, 与国外的研究几乎同时起步。初期曾试铺过多种形式, 其后正式推广应用的仅有支承块式无砟轨道, 总铺设长度曾达到 300 km。经过几十年的努力, 我国在无砟轨道的结构设计、施工方法、轨道基础的技术要求等方面积累了宝贵的经验。1994 年以后, 随着高速铁路可行性研究的推进和客运专线的建设, 无砟轨道在我国重新得以关注, 推荐了长枕埋入式、弹性支承块式和板式等 3 种无砟轨道结构形式, 并在秦沈客运专线的沙河、狗河和双河 3 座特大桥进行了铺设, 经静、动态检测, 效果良好。

(六) 轮轨关系

正确处理固定设备和移动设备的关系是实现高速行车的关键, 而轮轨之间是极为复杂的系统工程, 现在仍有一个很重要的问题没有引起足够重视。

在既有线上, 标准轨距是 1 435 mm, 轮对内侧距是 $1\ 353\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$, 这种匹配关系在 120 km/h 以下的线路上基本适应, 在这种匹配关系时, 轮轨游间为 16 mm。当列车速度超过 120 km/h 时, 由于游间较大, 容易引起蛇形运动。欧洲铁路联盟的国家标准轨距 1 435 mm, 轮对内侧距 $1\ 360\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, 经过多年运营的实践, 这种匹配关系是科学、合理和安全的。我国应该如何确定这个标准, 应进行深入的研究。

另外, 如何选定轨底坡也是一个重要的问题。我国既有线的轨底坡是 1/40, 这是根据轮踏面的锥度确定的。在高速铁路道岔的交流中, 法国道岔采用 1/20 的轨底坡, 与区间正线一致, 法方还提供了试验资料, 认为这是最合理的轨底坡, 1/40 轨底坡的动力响应测试结果表明比没有轨底坡还差。德国采用 1/40 的轨底坡。两个国家的结论完全不同。而我国缺乏对这个问题的研究, 在理论根据不够充分的情况下, 只能暂按 1/40 设置轨底坡。但为安全起见, 需要进一步开展研究。

(七) 开通速度

开通速度是整个工程设计、建设水平的总检验。多年来我国铁路建设基本按限额设计、限期开通、现状交接的模式运作, 留下不少隐患。在开通速度上, 则体现为因陋就简、先通后备、低速连通。例如一些大干线, 设计速度为 120 km/h, 但由于修建工期短、开通时间限定, 在质量没有达到要求的情况下就以 45 km/h 的低速开通, 大量未完工程、配套工程和施工质量未达标工程都在临管期间完成, 实质上是粗放型管理。这种方式带来的问题是突出严重的。例如京九线压缩一半工期, 开通速度仅 45 km/h, 开通时存在大量病害, 运营部门又投入大量资

金进行整治。郑州铁路局管辖京九线仅 68 km,投入运营 7 年,已投入 8 000 多万元整治线路病害。南昆线是更为严重的实例,开通至今仍需每天封锁区间整治病害,不仅严重限制了运输能力,而且病害也不可能彻底整治,留下了隐患。这样的实例数不胜数,容易形成恶性循环。

在建设高速铁路的过程中要摒弃很多不适应高速的理念,开通速度即为一例。国外修建高速铁路十分重要而且成功的经验就是严格要求,一次达标,开通速度就是设计速度。开通时如果遗留病害,开通后是不可能彻底整治的,开通后整治病害最高只能达到开通的水平,而且不可能更高。根据轨道不平顺研究的成果,线路不平顺一旦形成既有记忆功能,例如新线铺设无缝线路在钢轨接头处势必出现接头病害,即使在通车几年后换铺无缝线路,线路病害仍在原钢轨接头处出现。所以高速铁路要坚持技术标准,确保一次建成,一次达标。

二、城市建设中的主要技术问题

(一)施工期间涉及城市建设中的问题

1. 噪声和振动

施工过程中,产生噪声和振动的污染源主要是各种施工机械,如各种大型挖土机、空压机、钻孔机、打桩机,拆迁工程和道路破碎作业等。施工噪声和振动会给地铁沿线的敏感建筑物以及市民的生活带来明显影响。

2. 扬尘污染

施工期间由于地表植被遭破坏,土层裸露,在风力的作用下粉尘扬起,同时各种施工车辆运输时将产生大量的二次扬尘,因此施工过程中的扬尘不容忽视,它将加剧城市的大气污染,恶化城市的大气环境质量。另外粉尘飘落在建筑物、花圃、树木枝叶上,影响市容。

3. 占用城市道路,影响市政工程

施工占用城市道路,给城市居民的生活带来不便。施工会大大减少原有道路车辆的通过能力,使原有城市车流变化,打乱了城市正常交通运输的布局,引起周围或邻近路段交通拥挤甚至堵塞现象。施工不可避免地将影响城市市政工程中地面和地下各种管线和管道,如给排水管道、煤气管道、热力管道、通讯电力管线等,一定程度上影响市民的正常生活。

4. 水土流失

地下路段明挖法施工开挖断面大,会产生大量的弃土。在雨季时,开挖断面自然形成储水的场所,易引起边坡坍塌,影响施工进度和道路畅通。尤其是暴雨引发地面径流,冲刷着施工断面裸露着的土层和松散结构的施工地坪,这些被冲刷污染的大气降水,形成含有垃圾杂物、泥土、砂石、油污的混浊泥水,是一种不可忽视的污染源。

5. 影响市容

施工中的工程排水、施工垃圾、施工运输车辆和施工人员宿营地产生的各种污染物都将给市政排水系统和城市的绿化树木、街头建筑小品、市容环境卫生、城市景观带来一定的影响和破坏。

(二)运营期间城市建设中的问题

1. 促进城市经济发展

城市轨道交通的建设,极大地提高了城市人流物流的交流速度,促进沿线两侧的物业开发,从而促进了城市的经济发展,为城市建设的发展创造了有利条件。

2. 缓解城市交通压力

大容量的轨道交通在很大程度上可以缓解城市的交通压力,改善城市日益严重的交通堵

塞,而且由于改善了地面交通秩序,也相应的减少了地面交通事故的发生率,促进社会和谐稳定,有利于经济发展。

3. 改善城市环境质量

轨道交通的运营减少了汽车尾气的排放,改善了城市环境质量。城市轨道交通是电力牵引,不产生类似公交车辆排放的有害尾气 CO、HC、NO₂ 等。另外,目前城市环境噪声主要来源于交通噪声,城市轨道交通的运行,将有助于城市交通噪声的改善。

4. 节省城市用地

轨道交通是城市立体交通,充分利用地下和地面空间,减少了由于发展交通而引发的大量拆迁安置费用。

5. 节约出行时间,提高劳动生产率

节约出行时间的经济效益是指乘客在乘坐交通工具节约的时间内,为社会创造的价值而产生的效益。根据研究成果,乘坐地铁舒适度提高(与公共电汽车对比),可使劳动生产率提高 5.6% 左右。

6. 美化城市景观

轨道交通架空构筑物 and 车站造型成为道路新的景观,美化了城市生活环境,成为城市的一件件艺术品。

第三节 当前铁路规划与线路设计方面的主要研究课题讨论

一、铁路规划方面主要研究课题

(一) 城市快速轨道交通规划

城市快速轨道交通线网规划(以下简称“线网规划”)是一项城市总体规划的专项(专业)规划,在世界范围内都是一个新鲜的课题。我国对城市快速轨道交通线网规划的研究起步较早,但受到理论体系的制约,进行现代意义上的城市快速轨道交通线网规划却是 20 世纪 90 年代后期才开始的。北京市城建设计研究院自 1996 年以来为广州、南京、青岛、天津、济南等城市主编“城市快速轨道交通线网规划”,通过几年的探索和实践,提出了一套完整的内容体系和方法体系,并得到国内城市交通学界的热烈反应和广泛认可。

1. 线网规划中主要研究问题

(1) 城市总体规划

在我国城市规划体系中,城市总体规划是一切规划研究的指导性纲领规划,所有专项规划都应在城市总体规划意图框架下完成。线网规划是《城市总体规划》下的专项规划,同时今天的轨道规划对城市土地利用格局、交通特征和发展战略、经济发展等方面都会产生强大的引导作用。如果轨道交通规划与城市总体规划意图发生偏差,可能引起整个规划体系的混乱,或者是线网规划本身不可行。因此,线网规划必须依据和支持总体规划,尤其在土地利用、交通发展战略、经济发展战略三个方面应与城市总体规划一致。

(2) 可实施规划研究

衡量线网规划优劣关键的标准是这个规划能否实施。城市快速轨道交通是技术非常复杂和专业的系统,而其规划的可实施性受多方面技术因素的制约,比如修建计划、车辆基地配置、运营组织可行性、三维的线路设计、换乘站形式、联络线建设等许多因素均能直接决定规划能否实施,因此线网规划可实施性的研究是专业要求非常高的规划。目前一些线网规划由于种