

GAOSU TIELU JISHU

高速铁路技术

铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组

WWW.TDPRESS.COM.CN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

U238/2

2005

高速铁路技术

铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书共分八章,内容包括:高速铁路的崛起,高速铁路线路,高速列车,高速铁路牵引供电系统,高速铁路的信号与通信系统,防灾安全监控系统,环境保护,高速铁路的运输组织等。跨专业、跨学科,系统地论述了高速铁路技术领域的众多方面。集当今我国高速铁路研究、开发、引进技术之大成。

可供科研、设计、制造、施工、运营、教学部门的研究开发人员、工程技术人员、管理工作及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路技术/铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组编.

北京:中国铁道出版社,2004.3

ISBN 7-113-05713-6

I. 高… II. 京… III. 高速铁路—技术 IV. U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 006685 号

书 名:高速铁路技术

作 者:铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组

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)

责任编辑:梁兆煜

封面设计:蔡 涛

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张:34.75 字数:876千

版 本:2005年3月第1版 2005年3月第1次印刷

印 数:0001~4000册

书 号:ISBN 7-113-05713-6/U·1618

定 价:80.00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,请与本社发行部调换。

序

交通运输的发展与人类社会的进步密切相关。18世纪前,以风力、畜力和人力为动力的舟、车曾是人们的主要交通运输方式。第一次产业革命后,火车、汽车和飞机相继出现,逐步形成了多式多样的现代交通运输体系,并带来了20世纪的文明。经济的发展、社会的进步要求有更高的交通运输速度,以加快社会活动节奏,扩大人际间的交往。由于铁路在速度和其他技术经济指标上的优势,19世纪后半叶至20世纪初,铁路得到了大发展,并促进了社会、经济的进步;凡经过铁路建设大潮的国家,其经济都得到了长足发展,并演变为当今的发达国家。

第二次世界大战后,随着各国经济的复苏,人们已不满足于已有的交通运输速度。自20世纪50年代开始,汽车工业得到了大发展,高速公路异军突起;60年代超音速巨型客机出现,航空运输日新月异。铁路逐步失去了在速度上的优势,旅客运输每况愈下。在时间就是效率,时间就是财富的当今社会,人们对交通运输的速度要求越来越高,速度被视为现代交通运输质量的核心,成为社会的客观需求。速度也是各种现代交通运输方式最重要的技术指标,是带动技术进步的龙头,是其赖以生存和发展的基本条件。运输市场的竞争,尤其是旅客运输市场的竞争在很大程度上就是速度的竞争。20世纪后半叶,旅客运输的高速化逐步成为一股势不可挡的世界潮流,冲击着各国交通运输结构;同时刺激着各种现代交通运输方式改进性能、提高速度,以适应旅客运输市场竞争的需要。现代交通运输方式的发展史,从某种意义上讲就是围绕提高速度的技术开发史。

交通运输过分依赖公路和航空的结果是道路堵塞、车祸频繁、空难不断、环境恶化……。人们呼唤一种速度较高、安全可靠、环保型的公共交通运输方式的出现。自1964年10月1日日本东海道新干线投入运营以来,高速铁路就迅速展示出了运行速度高、运输能力大、安全性能好、能源消耗低、污染环境轻、全天候运行等一系列的技术经济优势,以崭新的态势开拓着客运市场,并以优质的客运服务和良好的运营成绩告诉人们:高速铁路是最理想的当代高速交通运输方式,是旅客运输高速化的发展方向。随之法国、德国、意大利、西班牙、比利时等国也相继建成高速铁路共计5400余公里;正在建设或即将开工建设的高速铁路近6000公里,分布于10多个国家和地区;正在进行前期研究、筹划立项的高速铁路有数十条之多,计8000余公里。

高速铁路经过近40年的发展,作为陆上高速交通运输方式,倍受人们的青睐。不仅发达国家,也不乏发展中国家,都把发展高速铁路作为建设或改善国际、国内主要运输通道,加强人际交往,促进经济、社会发展和科技进步的重要手段。高速铁路在不断延伸,21世纪将形成国际性的高速铁路网,并逐步改变着陆上旅客运输过分依赖公路的格局。

2020年前我国将全面建设小康社会。城市化的进程加快,人民物质文化生活水平不断提高,人员流动及人际间的交流更加频繁,使得运输需求,尤其是旅客运输的需求大幅度增长;社会节奏加快,时间价值观念增强,促使旅客运输高速化逐步融入世界潮流。我国铁路客流集中的线路也正是货运繁忙的线路,为适应运输市场发展的需求,修建第二双线,实行客货分线运输势在必行。铁路客流的特点是量大、集中、行程长,基本国情及客流特点决定了我国主要应发展大容量、环保型、适应性强的公共交通体系,高速铁路就是这样的公共交通体系中的佼佼者。在我国,发展高速铁路是交通运输领域贯彻可持续发展战略、优化交通运输结构的重要手

段;是铁路高层次、大幅度扩大运输能力及提升运输质量的重要途径;是铁路跨越式发展必经之路。我国需要高速铁路;高速铁路在我国必将充分发挥其技术经济优势,给中国人民以丰厚的回报。

高速铁路虽源于普通铁路,但又全方位地突破了普通铁路的概念。高速铁路是当代高新技术的集成,并有其自身的技术特征。围绕“高速度、高密度、高安全性”,可构成不同的高速铁路技术体系,如日本的新干线、法国的 TGV、德国的 ICE 等都各具特色。因此,各国发展高速铁路都必须根据自身的具体条件及运营要求,研究确定相应的技术体系,以收到事半功倍的效果。我国自 20 世纪 90 年代初就涉足高速铁路技术领域。广深准高速铁路建设、既有线四次大提速以及秦沈客运专线的建设,为我国发展高速铁路探索了路子、积累了经验、锻炼了队伍;高速铁路工程的前期研究,取得了上百项研究成果,在充分吸取国外先进、成熟、经济、适用及可靠技术的基础上,博采众长,初步形成了适合中国客流特点,满足运营要求,并具有中国特点的高速铁路技术体系的思路与雏形。我国发展高速铁路已有了一定的技术储备。

《高速铁路技术》一书,将国外高速铁路最新技术和国内的研究成果融为一体,按运、机、工、电、安全、环保等专业设置,较为系统和详细地论述了高速铁路所涉及的理论与技术,是目前国内高速铁路领域较为系统和全面的技术书籍。参加本书编撰工作的都是长期直接参与高速铁路技术研究的各专业领域的科技人员。《高速铁路技术》的出版将为我国高速铁路领域的科研、设计、制造、施工、教学及运营提供理论工具,必将在传播高速铁路知识、促进我国高速铁路发展、提高我国高速铁路技术水平等方面起到积极的推动作用。

作者

2004 年 4 月

前 言

高速铁路是当代高新技术的集成,是庞大而复杂的系统工程。然而,高速铁路技术体系的构成不是惟一的,日本、法国、德国等主要高速铁路国家都有自己独特的高速铁路技术体系。因此,各国发展高速铁路都必须根据自身的具体条件,事先研究确定相应的技术体系,以收到事半功倍的效果。我国对高速铁路技术的研究与开发已历时十余年。自1990年以来,国家和铁道部列了近300项研究项目,动员了国内,尤其是路内各有关单位的科技人员协同攻关,取得了上百项研究成果。在充分研究吸收国外先进、实用技术,博采众长的基础上,初步形成了适合我国客流特点、满足运营要求,并具有中国特点的高速铁路技术体系方案。

1997年铁道部科技司和高速办联合发文,成立了“铁道科学研究院高速铁路技术总体组”(以下简称总体组)。总体组由铁道科学研究院选定专人组成,包括铁道建筑、机车车辆、通信信号、材料与工艺、运输及经济等专业人员。高速铁路技术系统的最大特点就是各专业、各子系统之间互相关联、相互依存。若高速铁路是由各专业、各子系统采用的最先进技术 and 最高标准堆积而成,而相互难以匹配,必然造价昂贵,运行状态不佳,非但不是世界一流,甚至难以投入运营。因此,须深入研究各专业、各子系统间的接口条件,使其协调配合,并达到最佳匹配。只有这样,才能使高速铁路这个庞大的系统安全、高速、高密、高效、稳定、经济地运行。这也是成立总体组的初衷。总体组成立以来,除承担相应的研究任务外,还广泛收集整理国内外高速铁路方面的研究成果及相关的文献资料。然而现有的国内外文献多系一些组成高速铁路技术系统的单项专业技术资料;国内正式出版的几本有关高速铁路的书籍,基本上系资料性及概念性的读物。可以说迄今还缺少一本系统而完整地综合论述高速铁路技术的书籍。

总体组成立后,不少从事高速铁路技术研究与开发的科技人员、工程设计人员等向我们询问有关技术问题,尤其是一些跨专业的相关技术问题。使我们联想到:如果有一本全面而系统论述高速铁路技术的书籍,必将为科研、设计、制造、施工、教学及运营提供极大的方便,进而萌发了编写此书的意愿。高速铁路已是成熟技术,在国外已有近40年建设及运营经验;近十几年来国内的研究开发已涉及高速铁路技术各个方面。总体组基本掌握相关信息,这就为编写此书提供了充分的技术支持。

有幸以总体组成员的身份加入高速铁路技术研发队伍,我们当中大多已年逾花甲,为我国高速铁路建设和高速铁路技术的发展而工作的时日已有限,愿以此书作为在总体组工作几年来的“技术总结”,奉献给社会,奉献给铁道事业,奉献给广大读者。《高速铁路技术》一书如能在传播高速铁路知识、促进我国高速铁路发展、提高我国高速铁路技术水平方面起到作用,哪怕是微小的作用,我们将感到莫大欣慰。

《高速铁路技术》一书是一本跨专业、跨学科的综合技术书籍,参加编写工作的除总体组成员外,还有铁道科学研究院对高速铁路技术有较深研究的部分研究人员,计31人。其中(以承担的章节先后为序):

第一章 由何邦模、周宏业、周述琼、吴玉树 编写;

第二章 由黄建蓓、冯毅杰、周神根、罗强(西南交大)、张焯、殷宁俊、潘家英、曾树谷、林之

珉、顾培雄、卢耀荣、罗林、王厚雄、王建宇、徐鹤寿 编写；

第三章 由臧其吉、缪忠海、马大炜 编写；

第四章 由吴德范、韩通新 编写；

第五章 由杨悌惠、朱成言 编写；

第六章 由穆恩生、黄建苒 编写；

第七章 由贾国荃、张 晨、邵龙海 编写；

第八章 由何邦模、李群仁 编写。

每章的第一作者负责全章的修定稿，王澜、禹志阳等参加了后期修定稿工作。

成书过程历时2年有余，部分章节几易其稿。定稿后，京沪高速铁路的设计方案及相关技术标准和参数有所变化，因此，涉及京沪高速铁路的若干论述可能有所出入。但这不影响其理论体系的正确性。编写过程中得到了铁道部高速办及铁科院的领导和专家的大力支持，得到了中国铁道出版社的具体帮助，在此一并致谢。

科学技术日新月异，永无止境。高速铁路技术亦是如此。在我们编写过程中不但有新的高速铁路开工建设及投入运营，还涌现出了大量的技术成果。人们对客观世界的认识总是有限的，加之我们水平的限制，本书疏漏及谬误之处一定甚多，望读者不吝赐教。

高速铁路建设方兴未艾，高速铁路技术如日中天。21世纪高速铁路将在世界范围内得到更加广泛的发展，铁路将重现昔日的辉煌。要解决13亿人的交通问题，根据中国的国情只能是发展大容量、高速度、少占地、投资省的公共交通体系。高速铁路就是构成这一体系的佼佼者。中国需要高速铁路；高速铁路在中国必将充分施展其技术经济优势，给社会以丰厚的回报。

铁道科学研究院高速铁路技术研究总体组

2004.04

目 录

第一章 高速铁路的崛起	1
第一节 高速铁路的出现	1
第二节 高速铁路的主要技术特征	6
第三节 高速铁路的主要技术经济优势	11
第四节 发展中的高速铁路	15
第五节 摆式列车技术及其运用前景	23
第二章 高速铁路线路	33
第一节 适应列车高速度、高密度运行的线路特征	33
第二节 线型变化平缓的线路平纵断面	36
第三节 稳定性好、刚度均匀的路基	46
第四节 刚度大、耐久性好的桥梁	65
第五节 高平顺、高稳定性的轨道结构	80
第六节 高平顺性轨道的监控管理	106
第七节 宽大、独行的线路空间	123
第八节 新型优质的建筑材料	136
第九节 先期建设综合试验段	140
第十节 高速铁路线路施工要点	145
第三章 高速列车	149
第一节 高速列车的分类及发展概述	150
第二节 高速列车的牵引动力系统	166
第三节 高速列车制动系统	227
第四节 高速列车的走行部及高速动力学	249
第五节 高速列车空气动力学与车体外型设计	280
第六节 高速列车结构轻量化技术	289
第七节 高速列车车内环境及卫生排污技术	294
第八节 高速列车的车辆连接	301
第九节 高速列车控制、监测与诊断系统	309
第十节 高速列车轻量化材料、减振材料、密封及制动材料	317
第十一节 高速列车的维修	320
第四章 高速铁路牵引供电系统	330
第一节 牵引供电概论	330
第二节 高速铁路接触网	336
第三节 高速铁路的受流技术	342
第四节 牵引供电系统的仿真计算简介	348

第五章 高速铁路的信号与通信系统	356
第一节 列车运行自动控制系统	357
第二节 高速铁路行车指挥系统	383
第三节 高速铁路计算机联锁系统	397
第四节 铁路专用通信系统	411
第六章 防灾安全监控系统	447
第一节 高速铁路安全保障体系的基本构成	447
第二节 京沪高速铁路防灾安全监控系统总体方案	449
第三节 固定设施诊断与监控系统	451
第四节 移动设备诊断与监控系统	455
第五节 自然灾害监测	457
第六节 防灾安全监控系统的信息流程	461
第七节 国外高速铁路防灾安全监控系统简介	464
第七章 环境保护	478
第一节 噪 声	478
第二节 振 动	486
第三节 电磁辐射	491
第四节 微气压波	495
第五节 旅客垃圾的收集与分拣处理	497
第八章 高速铁路的运输组织	500
第一节 高速铁路的运营特点	500
第二节 高速铁路的市场预测	505
第三节 高速铁路的客流组织	515
第四节 高速铁路的列车运行图	520
第五节 高速铁路的区间通过能力	526
第六节 高速铁路的调度指挥	530
第七节 高速铁路的社会成本	538
参考文献	545

第一章 高速铁路的崛起

交通运输的速度是与经济、社会发展水平相适应的。现代交通运输的发展史在一定意义上就是以提高速度为核心的技术开发史。

旅客运输的高速化已成为一种世界潮流,冲击着各国交通运输结构。速度已成为各种交通运输方式参与市场竞争的主要手段。高速铁路伴随着经济、科技、社会发展的步伐应运而生。铁路与其他交通运输方式相比,有着许多技术经济上的优势,曾有过辉煌的发展历史。高速铁路的出现和迅速崛起,使铁路固有的优势得以充分发挥,为铁路的发展注入了新鲜血液。加之各国的发展受能源、环保、资源及土地的合理利用等问题的困扰,促使人们把解决交通运输问题的目光转向了铁路,尤其是高速铁路。

基本国情及客流特点决定了我国主要应发展大容量、低能耗、少占地、适应性强的公共交通体系,高速铁路就是这样的公共交通体系中的佼佼者。高速铁路在我国有广阔的发展空间,并将以丰厚的经济效益和社会效益回报全社会。

高速铁路是当代高新技术的集成,与常规铁路的不同之处在于系统间的相互作用有着本质的不同,系统动力学对高速铁路技术提出了一系列新的要求。高速铁路技术如日中天,高速铁路建设方兴未艾,21世纪陆上高速交通运输将是高速铁路的天下,铁路必将重展英姿。

本章作为全书的开篇,重点论述了高速铁路产生的历史背景,高速铁路的定义及类型,与常规铁路相比其主要的技术特征,与其他交通运输方式相比所具有的技术经济优势;介绍了各国高速铁路的现状与特点,展望了21世纪的发展前景。摆式列车是一种比较独特的技术,有的国家把它用在既有线,也有的用于高速线。作为进一步提高列车速度的手段,为使读者对其有所了解,本章也简要地介绍了摆式列车的技术特征和运用前景。

第一节 高速铁路的出现

一、提高交通运输速度是社会发展的需求

(一) 交通运输速度与社会发展

交通运输的发展与人类社会的进步是密切相关的。作为古代的主要交通运输方式一是舟,二是车。世界早期文明都与大河密切相关。如中国及其文化发源于黄河流域;古埃及及其文化发源于尼罗河;巴比伦文化发源于底格里斯和幼发拉底两河流域;印度及其文化发源于恒河流域。河流提供了人类生存的水源,也提供了以舟作为运载工具、以人力和风力为动力的交通运输条件。河流是早期文明和人类活动的主要依托,古代城镇多建于河流沿岸。为更充分地发挥水路交通的作用,贯通相关水域,便有了人工开挖的运河。如中国的京杭大运河,美国的伊利运河以及国际上有名的巴拿马运河和苏伊士运河。

随着社会的发展,为进一步扩大交往,仅仅依靠舟船受到很大限制,于是人们便开始筑路造车。以人、畜为动力的车辆,有近3 000年的历史,曾是陆上主要的交通运输方式。

生产力的发展,社会的进步呼唤速度更快、容量更大的现代交通运输方式,并为现代交通

运输方式的发展提供了技术条件和市场;而现代交通运输的发展又大大促进了生产力的发展和社会进步。

18世纪下半叶,瓦特发明了蒸汽机,开始第一次产业革命。1807年出了蒸汽机驱动的轮船,1825年在英国出现了以蒸汽机车牵引的第一条铁路,揭开了现代交通运输的序幕。1885年德国人制成了以内燃机驱动的汽车,1903年美国莱特兄弟驾驶以内燃机为动力的双翼飞机飞行成功,形成了多式多样的水陆空现代交通运输体系,并带来了20世纪的文明。20世纪先进的科学技术装备了各种现代交通运输方式,使其性能有了很大改进,速度也有了很大提高。

18世纪以前,人类社会节奏不如现在快,由于受生产力和技术的限制,人们对交通运输的速度要求不高,以人、畜为动力的舟、车其技术上的改进主要是围绕造型上的美观、工艺上的精湛、装饰上的华丽,而不是速度的提高。在时间就是效率,时间就是财富的当今社会,人们对交通运输的速度要求越来越高,速度被视为现代交通运输质量的核心,成为社会的客观需求。

(二) 旅客运输的高速化

铁路诞生后,由于其舒适性好、运输能力大、速度相对较高,而得到了大发展;仅美国营业里程就曾达到40余万公里,日开行旅客列车15 000余列。铁路在交通运输中扮演了最重要的角色,是最受欢迎的旅行交通运输方式之一。

第二次世界大战后,随着各国经济的复苏,人们已不满足于已有的交通运输速度。自20世纪50年代开始,汽车工业得到了大发展,高速公路异军突起;60年代超音速巨型客运飞机出现,航空运输日新月异。现代社会对交通运输速度的要求,集中反映在旅客运输上。旅客运输的高速化已成为一种世界潮流,冲击着各国交通运输结构;同时刺激着各种现代交通运输方式改进性能、提高速度。铁路运输在速度上的优势逐步变成了劣势:长途客运不如飞机快,短途客运又不如汽车机动灵活。因而铁路旅客运输每况愈下,一度沦为“夕阳产业”。为适应旅客运输高速化的潮流,重新占领失去的旅客运输市场,铁路惟一的出路是大力提高列车的运行速度。

(三) 列车速度的演变

自有铁路以来,人们就在不断致力于提高列车的运行速度。1825年出现在英国的第一条铁路,其列车最高运行速度只有24 km/h,1829年“火箭号”蒸汽机车牵引的列车最高运行速度就达到了47 km/h,几乎提高了1倍。19世纪40年代,英国试验速度达到120 km/h,1890年法国将试验速度提高到144 km/h,1903年德国制造的电动车组试验速度达到了209.3 km/h。这时期英国西海岸铁路用蒸汽机车牵引的列车旅行速度达到了101 km/h。1955年法国电力机车牵引的试验车组最高运行速度突破了300 km/h(达到311 km/h)。1964年10月日本东海道新干线最高运行速度突破了200 km/h达到了210 km/h,旅行速度达到了160 km/h。此后列车试验速度不断刷新:1981年2月法国TGV试验速度达到380 km/h,1988年5月德国ICE把这一速度提高到406.9 km/h,半年后法国人创造了482.4 km/h的新纪录;1990年5月法国再次刷新了自己的纪录,把试验速度提高到510.6 km/h和515.3 km/h。与此同时,德国和日本还在研究试验非轨轮接触式的磁浮列车,其试验速度分别达到了450 km/h和552 km/h。

在列车试验速度扶摇直上的同时,为适应社会发展的需要及提高竞争能力,列车的运行速度和旅行速度也在不断提高。1963年,世界铁路就有13 000 km的客运线,其旅客列车最高运行速度达到了140~160 km/h。至1994年,已有25个国家旅客列车最高运行速度达到或超过140 km/h,旅行速度超过100 km/h。日本既有线(窄轨1 067 mm)旅客列车速度已普遍达到130 km/h,并正在向160 km/h迈进,计划21世纪初达到200 km/h。日本、法国、德国、西班牙和

意大利高速列车最高运行速度分别达到了 300 km/h、320 km/h、300 km/h、300 km/h 和 250 km/h；旅行速度分别达到了 242.5 km/h、245.6 km/h、192.4 km/h、217.9 km/h 和 163.7 km/h。高速列车最高运行速度近期可望达到并突破 350 km/h。

近 10 年来,由于社会主义市场经济的发展和运输市场竞争的加剧,我国也开始重视提高旅客列车的速度。最高试验速度达到了 321.5 km/h,最高运行速度达到 200 km/h,旅行速度超过了 100 km/h。但与发达国家相比,还有很大差距。

铁路列车试验速度和运行速度的演变见图 1.1.1;国外铁路最高运行速度见表 1.1.1。

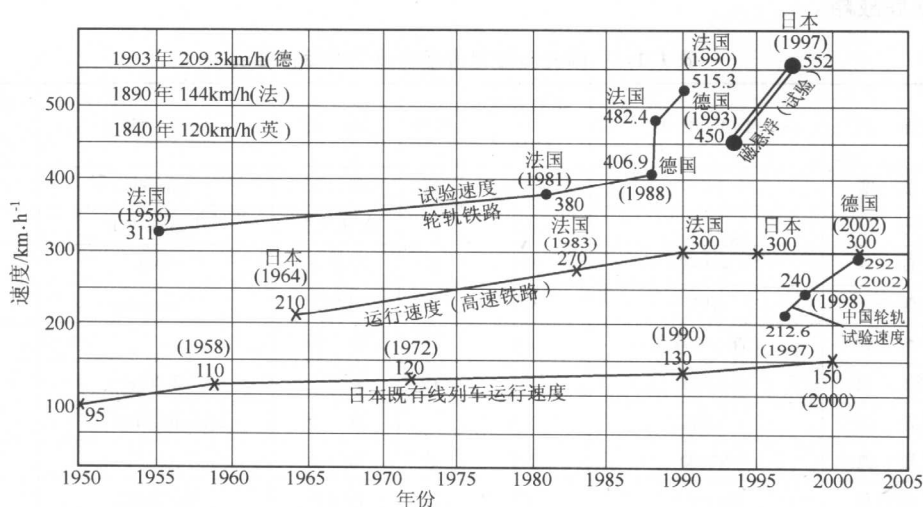


图 1.1.1 铁路列车试验速度与运行速度的演变图

注:2002 年 11 月我国列车试验速度已达到 321.5 km/h。

(四) 速度是参与市场竞争的主要手段

在市场经济条件下,商机稍纵即逝,要求物资在运输途中的时间愈短愈好。与之相适应的人际交往更是来去匆匆,旅客运输高速化已是不可阻挡的潮流。运输市场的竞争,最主要的就是速度的竞争。各种运输方式要想在运输市场站稳脚跟,必须把速度作为参与市场竞争的主要手段,努力提高自身的运行速度。这正是第二次世界大战后,高速公路异军突起、高速铁路方兴未艾的社会背景。

铁路行业提高速度一般采取了双管齐下的策略:一是既有线提速;一是修建高速铁路。美国 Amtrak 公司以提高列车速度,提高服务质量为核心,推出了 Acela 新商标,第一条华盛顿—波士顿高速铁路已投入运营。俄罗斯 20 世纪 90 年代中期就制订了 2010 年前快速铁路旅客运输发展纲要,计划在有稳定客流的 5 800 km 主要干线上,把旅客列车速度提高到 140、160 和 200 km/h;全部提速工程完成以后,快速区段平均旅行速度将达到 90 km/h 以上;与此同时,还制订了高速铁路发展规划,莫斯科—圣彼得堡高速客运专线是规划中的第一条。德国在以速度为主导,长期致力于既有技术技术改造的同时,于 1991 年建成了两条最高运行速度达 280 km/h 的高速铁路,目前 ICE S 型列车的最高速度已达 330 km/h;ICE T 摆式列车最高运行速度为 230 km/h,自 1997 年开始已逐步投入运营;IC 城间列车最高运行速度可达 200 km/h;目前德国已建成高速铁路 775 km,加上改造的既有线,高速铁路网总长为 2 536 km,高速列车的运

行范围已超过4 000 km。英国铁路将全面提高主要既有干线的客货列车速度;为实现欧洲高速铁路网计划,将在福克斯通至伦敦间(长109 km)修建高速铁路,并开行欧洲之星高速列车。法国铁路把发展客运专线和高速铁路、大力提高旅客列车速度作为重大战略,至1991年已有客运专线2 395 km;目前高速铁路达1 577 km,已有2 855 km的线路允许速度达到或超过220 km/h;在连续运行1 000 km的试验中,平均速度达到了317.5 km/h;高速列车的运行范围达6 686 km。日本已建成高速铁路2 049 km,为使国民出行更加快捷,提出了“全国一日交通圈”的目标;不仅要提高新干线和既有线的速度,还要通过隧道和桥梁把4个岛屿连接起来,使全国的地方中心城市、中等城市间旅客一天往返,货物一天送达。此外,印度铁路把扩编、提速作为客运发展战略。

表 1.1.1 国外高速和快速线路最高运行速度

序号	国别	列车型号	最高速度 /km·h ⁻¹	序号	国别	列车型号	最高速度 /km·h ⁻¹
1	法国	TGV	320	14	瑞士	Eurocity	160
2	德国	ICE	300	15	南斯拉夫	Rapide 121	160
3	日本	500系	300	16	摩洛哥	TNR	160
4	西班牙	AVE	300	17	加拿大	Metropolis	153
5	意大利	ETR-450等	250	18	韩国		150
6	英国	IC225	201	19	爱尔兰	2 Zuge	145
7	美国	Acela	240	20	芬兰	Intercity EP78等	140
8	瑞典	X2000	200	21	荷兰		140
9	奥地利	Supercity	200	22	葡萄牙	Alta Rapido	140
10	俄罗斯	ER200, Zug159	200	23	丹麦	Lytog	140
11	澳大利亚	Riverina XPT	160	24	埃及		140
12	波兰	6Zuge, EC Sobieski	160	25	印度	Shatabdi Express	140
13	比利时		160				

注:表中前5个国家仅列出高速线的指标。

我国铁路“九五”期间开展了提速工程,基本形成了“四纵两横”的提速网络。提速后,全路旅客列车平均旅行速度由1995年的49 km/h提高到了2000年的56.8 km/h,个别列车的直达速度已突破100 km/h。由于速度的提高,遏制了客运下滑的趋势,旅客周转量5年里增加了872亿人公里,2000年达到4 415亿人公里,创造了历史最高水平。提速后运输收入也大幅度增加,为提前一年扭亏增盈打下了基础。提速在我国铁路上已取得了举世瞩目的成绩。根据运输市场的发展与变化,我国新颁布的《铁路主要技术政策》把旅客运输的高速化、快速化及普遍提高列车速度作为铁路技术发展的主要方向。

国内外铁路的发展历史和趋势都说明速度是参与市场竞争的主要手段,是交通企业赖以生存和发展的最基本的因素。

二、第一条高速铁路的诞生

(一) 高速铁路是社会发展的产物

速度是交通运输主要的质量指标,也是最重要的技术指标,是现代交通运输方式赖以生存和发展的基本条件。现代交通运输方式的发展史,从某种意义上讲就是围绕提高速度的技术

开发史。

经济的发展、社会的进步要求有更高的交通运输速度,以加快社会活动节奏,扩大人际间的交往。由于火车速度高于轮船和马车,19世纪后半叶和20世纪初,铁路得到了很大发展,并促进了社会和经济的发展;凡经过铁路发展大潮的国家,其经济都得到了大发展,并演变为当今的发达国家。

第二次世界大战后,社会和经济得到了迅速发展,人们的物质文化生活水平不断提高,对交通运输的质量需求,尤其是对速度的需求越来越高。20世纪60年代以来,世界上出现了石油能源危机,公路堵塞、车祸频繁、空难迭起、环境恶化……,人们呼唤一种速度高、安全可靠、不污染环境的公共交通运输方式的出现。在这种社会需求的环境下,铁路部门加快了提高行车速度的步伐,高速铁路应运而生。

(二) 世界上第一条高速铁路

战后日本经济发展迅速,包括东京、横滨、名古屋、大阪等大城市的东海道经济带,工业生产趋于高度集中,人口迅速增加,进入20世纪50年代就感到社会、经济的发展受制于交通运输。当时既有铁路能力饱和,旅客列车严重超员。日本一些有识之士借鉴西欧高速行车试验的经验与成就,充分估计了国内制造速度达到200 km/h以上的列车的可能性,力排众议,推荐修建东海道新干线方案。1958年12月,日本政府正式批准该方案,1964年10月1日投入运营。东海道新干线全长515.4 km,列车最高运行速度210 km/h,东京—新大阪间运行3 h 10 min(后来缩短到2 h 56 min),实际耗资3 800亿日元(其中288亿日元由世界银行贷款,偿还期20年)。由于新干线列车的旅行速度比原铁路提高1倍,再加上票价较飞机便宜,从而吸引了大量旅客,迫使东京—名古屋间的飞机航班停运——这是世界上铁路在与航空竞争中首次取胜的实例。东海道新干线以其先进的技术装备和成功的运营经验为世人所仰慕,日本誉之为“经济起飞的脊骨”。东海道新干线的出现开创了高速铁路的新纪元,预示着铁路将再展雄姿;它的出现顺应了旅客运输高速化的潮流,尤其是法国TGV在利用传统技术和降低工程造价上获得成功,更增强了许多国家发展高速铁路的信心。

三、高速铁路的定义及类型

高速铁路是一个具有国际性和时代性的概念。1970年5月,日本在第71号法律《全国新干线铁路整备法》中规定:“列车在主要区间能以200 km/h以上速度运行的干线铁道称为高速铁路。”这是世界上第一个以国家法律条文的形式给高速铁路下的定义。1985年5月,联合国欧洲经济委员会将高速铁路的列车最高运行速度规定为:客运专线300 km/h,客货混线250 km/h。1986年1月,国际铁路联盟秘书长勃莱认为,高速列车最高运行速度至少应达到200 km/h。因此,国际上目前公认列车最高运行速度达到200 km/h及其以上的铁路叫高速铁路。

20世纪70年代曾有人认为:当列车速度超过300~350 km/h后,从线路、接触网、环境保护、能源利用、设备检修及经济有利性等方面来综合评价,将难以继续采用传统的轮轨接触运输方式。日本曾提出过370 km/h是轮轨方式极限速度的试验结论。但1988年联邦德国ICE列车试验速度达到406.9 km/h,1990年5月法国创造515.3 km/h的纪录,用事实推翻了70年代轮轨极限速度的结论。目前高速列车的最高运行速度已达到320 km/h,可望近期突破350 km/h。可见,随着科学技术的发展和客观条件的变化,有关高速铁路的定义将不断更新。

目前世界上有三种类型的高速铁路：一是既有线客货混运型，最高运行速度200 km/h，如俄罗斯、英国等；二是新建客货混运型，最高运行速度250 km/h，如德国、意大利等；三是新建客运专线型，最高运行速度可达300 km/h及其以上，如日本、法国、德国、西班牙、韩国等。高速列车按动力配置方式分为动力分散型和动力集中型，按转向架形式分为绞接式和独立式。较为典型的如日本各系高速列车，属动力分散型、独立转向架；法国的TGV高速列车，属动力集中型，绞接式转向架；德国的ICE高速列车，属动力集中型，独立转向架。

第二节 高速铁路的主要技术特征

高速铁路在激烈的客运市场竞争中以其突出的优势，不但在其发祥地日、法、德等国家已占据了城际干线地面交通的主导地位，并在世界诸多经济发达的国家和地区迅速扩展。时至今日，高速铁路新线总长已逾5 000 km。由于高速铁路与既有干线固有的兼容性，高速列车通过既有线服务的里程已扩展至20 000 km以上。高速铁路在不长的时期内之所以能取得如此的发展势头，根本原因是基于轮轨系的高速技术充分发挥了既先进又实用的特点，特别是在中长距离的交通中的独特优势。实践表明，高速铁路已是当代科学技术进步与经济发展的象征。高速铁路虽然源于传统铁路，但借助于多项高新技术已全面突破了常规铁路的概念，已形成一种能与既有路网兼容的新型交通系统。高速铁路在运营过程中更新换代，其技术还在不断发展与完善。为了深刻认识高速铁路特点，本节将从总体角度出发剖析其主要技术特征。

一、高速铁路是当代高新技术的集成

在世界上，高速铁路的诞生是继航天行业之后，最庞大复杂的现代化系统工程。它所涉及的学科之多、专业之广已充分反映了系统的综合性。20世纪后期科学技术蓬勃发展，迅速转化为生产力的三大技术有：计算机及其应用；微电子技术、电力电子器件的实用化与遥控自控技术的成熟；新材料、复合材料的推广。高速铁路绝非依靠单一先进技术所能成功，它正是建立在这些相关领域高新技术基础之上，综合协调，集成创新的成果。因此，高速铁路实现了由高质量及高稳定的铁路基础设施、性能优越的高速列车、先进可靠的列车运行控制系统、高效的运输组织与运营管理体系等综合集成，如图1.2.1所示。系统协调的科学性，则是根据铁路行业总的要求，各子系统均围绕整体统一的经营管理目标，彼此相容，完整结合。

高速铁路在实施中，从规划设计开始就把各项基础设施、运载装备、通信信号、运输组织及经营管理等子系统纳入整个大系统工程之中统筹运作。为实现总体目标，采用了多项关键技术。虽然这些新技术分别隶属于各有关的子系统，但其主要技术指标、性能参数是相互依存、相互制约的，均须经详细研究、反复论证与修订，才能保证实现大系统综合集成特性的要求，达到整个系统的合理与优化。

二、高速度是高速铁路高新技术的核心

不言而喻，高速铁路的速度目标值是由常规铁路发展到高速铁路最主要的区别。按照铁道部现行的规定，列车速度的级别划分见表1.2.1。

表 1.2.1 列车速度级别划分表

序号	列车最高运行速度/km·h ⁻¹	列车级别
1	$v \leq 120$	普速列车
2	$120 < v \leq 200$	快速列车
3	$v > 200$	高速列车

列车运行速度是属第一层次的系统目标,只有将速度目标值确定之后才能选定线路的设计参数、列车总体技术条件、列车运行控制及通信信号系统。当然,运量规模、行车密度、运输组织、成本效益等均属第一层次系统目标,但是在各种交通运输方式中,速度始终是技术发展的核心,它是技术进步的具体体现,所以速度目标应是第一位的。自 20 世纪后半叶以来,铁路旅客列车速度连续跃上三大台阶,60 年代第一代高速列车,速度为 230 km/h,80 年代初第二代高速列车速度达到 270 km/h,至 90 年代第三代高速列车速度已达到并超过了 300 km/h。到 21 世纪初,将要有 350 km/h 的高速列车问世。列车最高运行速度随着时代的进步不断提高,它体现了铁路的等级及其技术发展水平。但是对社会而言,旅客出行一般并不十分关注列车的最高速度,而关心旅行时间的缩短。只有提高旅速才能给旅客带来实惠。要提高旅速不是轻而易举的,这不仅只是列车的性能,还要看沿线的环境与条件,线路设计优劣,配套设施是否完善,还涉及行车组织及运营管理等,所以从整个系统来分析,列车旅速最能反映铁路的水平。当今,世界高速铁路区段旅速与最高行车速度之比最高的可超过 0.8,而最低的不及 0.6。重视提高旅速与最高速度之比也有利于获得良好的运营效果。所以说,高速铁路第一层次的技术核心指标是速度,它不仅是最高运行速度,还应包括高速列车的旅行速度。

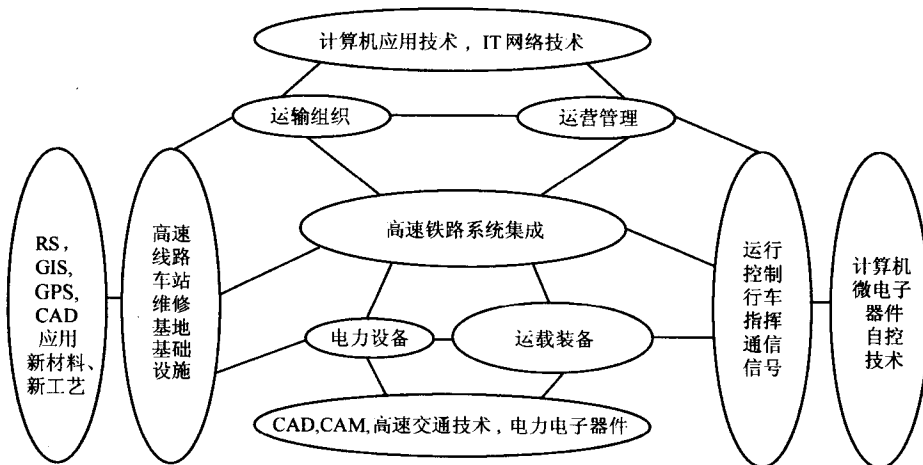


图 1.2.1 高新技术综合集成的高速铁路总示意图

三、系统间相互作用发生了质变

众所周知,常规铁路是一个庞大的综合系统,在长期的实践中,铁路行业的技术进步已获得科学的积累,至今已形成了技术管理规程、系列规范、各种标准、各项规定等一整套可操作的法规,使具有复杂系统集成特性的铁路系统,有据可循、有序运作。在当今铁路系统中,运、机、工、电、辆各子系统的日常工作可各司其职,正常运转。然而,高速铁路情况大不相同,虽然它仍受铁路行业传统影响,但由于行车速度至少提高 1 倍以上,将引发铁路行业各系统及其相互关系的质变。过去用于常规铁路行之有效的法规不能照搬于高速铁路。高速铁路从可行性研究、规划、设计、施工、制造到运营管理,都要超前、系统地进行研究才能付诸实施。随着速度的提高,各子系统原有的规律和相互间关系将转化为强作用而须重新认定。系统中某项参数或标准选择不慎都将引发连锁反应。例如,线路参数、路基密实度或桥梁刚度选择不合理,不仅是线路质量问题,还将影响列车运行的平稳性及可靠性,也干扰运输组织、行车指挥。反之,确

定列车主要参数及性能也必须考虑线路参数与控制系统方案,否则最终都要制约整个系统效能的发挥。系统之间的关系远比常规铁路复杂。所以,在筹划高速铁路之初,必须从总体上估计到这一庞大系统更加复杂的综合特性,认真研究并协调各子系统主要技术参数变异的合理范围,重视新系统的强耦联特性。

四、系统动力学问题更加突出

前面已经阐明了高速铁路整体的主要技术特征,并说明了高速铁路与常规铁路在本质上的差异,下面将着重从总体上分析发生本质差异的基本原因,俾便更深刻地认识对高速铁路技术系统提出的新课题。纵观世界,凡能独立自主建设高速铁路的国家,在筹划立项之初,对高速铁路的重大技术与经济问题都进行了全面的研究。特别是在确定基本功能与主要技术参数时,都根据各自的条件结合其国情与路情做了周密的调查,进行必要的理论研究与试验分析。其中,高速铁路系统动力学问题是这一切的根由。

(一) 高速铁路系统动力学问题

1. 高速列车的振动与冲击问题

高速列车在线路上行驶,速度越高,激励车—线—桥系统发生的振动与冲击越强,致振的敏感因素越宽。振动与冲击的频响函数关系,主要取决于参振系统各自的动力学特性,它包括其内在的物理力学参量、相互间发生接触或约束的几何参量与物理参量。很明显,相互接触的物体其相对速度越高,在研究动载作用时应考察的截止频率越高,而可能发生的强作用点就越多。一般而言,振动与冲击动力响应的物理量(位移、速度、加速度)幅值是与速度的平方成正比的。在频域范围内,应考察的频率不仅取决于激励频率的高低,还与系统的固有频率密切相关。激励频率与速度成正比,与接触表面沿速度方向上的几何变异之波长成反比。由此可见,高速铁路的基础设施及运载装备不但应具备优良的固有特性,还必须在界面上彼此都要保有均匀、平顺、光滑的特征。这是建立高速铁路各子系统都必须遵守的共性准则。

系统振动与冲击力学分析,最主要的目的是协调各子系统组成部分的特性参数,保证系统功能优化。对于高速铁路来说,最重要的是确保列车持续、安全、平稳运行。因此,必须预见在各种速度工况下系统的动力响应。突出的问题如:轮轨间接触力的变化,将影响列车牵引与制动的实现、轮轨的磨损与疲劳、运行的安全指标;车—线—桥系统的动力反应,将影响结构功能与列车平稳运行;弓网系统的振动,将影响授电效能及安全。所以动力响应是涉及高速行车技术深层次的基本问题,须认真处理。

2. 高速列车运行中的惯性问题

在系统振动与冲击的动力学分析中,主要着重于研究列车以常速在直线线路上运行的动力反应。实际上对更为复杂的问题,如列车起动或制动时的变速运行工况,通过平面曲线或变坡段竖曲线上运行及高速过岔等问题,只能简化为刚体动力学或弹性联接的多体动力学来分析。其基本点是在理想状态下分析选定系统的固有特征及界面特性,对更复杂的某些非稳态问题着重研究列车的走行性能,限定在低频域内研究列车运行中的惯性问题。预见高速列车运行中可能发生的纵向及横向加速度,前者与列车的牵引制动性能、列车的操纵及线路纵断面有关,后者主要受线路平面设计参数制约。

高速列车运行中的惯性问题直接影响旅客的安全与舒适。对于安全性来说,列车速度在300 km/h以下时,安全条件阈值一般宽于舒适度的要求,即只要满足了乘客舒适度就能保证安