



普通高等教育“十五”国家级规划教材



高速铁路技术 (第二版)

李向国 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十五”国家级规划教材

高速铁路技术

(第二版)

李向国 主编
王海龙 主审

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

高速铁路是20世纪交通运输领域的重大成果,已成为世界各国铁路发展的总趋势。本书比较全面、系统而又概要地阐述了高速铁路的基本知识、基本概念和基本原理。

本书共分十一章。第一章绪论;第二章高速铁路线路;第三章高速铁路路基;第四章高速铁路轨道;第五章高速铁路桥梁;第六章高速铁路隧道;第七章高速列车及牵引供电;第八章高速铁路信号与通信;第九章高速铁路车站、枢纽与运输组织;第十章高速铁路防灾安全监控与环境保护;第十一章磁悬浮铁路。

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材,可作为高等学校土木、交通类等专业的教学用书,也可供有关工程技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路技术/李向国主编. —北京:中国铁道出版社,2008.7
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 978-7-113-09008-1

I. 高… II. 李… III. 高速铁路-技术-高等学校-教材 IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 094233 号

书 名:高速铁路技术(第二版)
作 者:李向国

策划编辑:李丽娟
责任编辑:李丽娟 电话:51873135
封面设计:冯龙彬
责任校对:孙 玫
责任印制:金洪泽 陆 宁

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054)
印 刷:北京鑫正大印刷有限公司
版 次:2005年9月第1版 2008年7月第2版 2008年7月第4次印刷
开 本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:13.5 字数:335 千
书 号:ISBN 978-7-113-09008-1/TU · 941
定 价:26.50 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。

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

第二版前言

国务院于2004年批准了《中长期铁路网规划》，确立了我国铁路宏伟的建设蓝图：到2020年，全国铁路营业里程达到10万km，主要繁忙干线实现客货分线，复线率和电气化率达到50%，运输能力满足国民经济和社会发展需要，主要技术装备达到或接近国际先进水平。根据《中长期铁路网规划》，我国铁路主要通道将建设客运专线1.2万km以上，环渤海地区、长江三角洲地区、珠江三角洲地区将建设城际客运系统，同时既有线提速改造达到2万km，形成我国铁路快速客运网，为广大旅客提供更加安全、快捷、舒适的服务。中国铁路客运面貌将为之一新，高速化、快速化势不可挡。

建设中国自己的高速铁路，是几代中国铁路人的梦想。十多年来，我国一直密切跟踪世界高速铁路技术的发展，开展了大量的研究工作。2008年4月18日，世人瞩目的京沪高速铁路正式开工建设。

本书是在2005年出版的普通高等教育“十五”国家级规划教材《高速铁路技术》的基础上结合最新研究成果全面修订而成，由李向国主编，王海龙主审。参加编写与修订的有李向国（第一、二、四、九、十一章），舒玉（第三章），李阳、许建军（第五章），张昀青（第六章），李绍明（第七章），耿增朝、韩志军（第八章），马超（第十章），周泉、李木松、朱亮亮参与了本次教材的修订工作。同时本书出版得到石家庄铁道学院教材建设基金的资助。

当前正是我国高速铁路蓬勃发展的时期，由于本书所涉及的专业和内容非常广泛，同时编者的学术水平及实践经验有限，不当和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2008年6月

第一版前言

高速铁路是 20 世纪交通运输领域的重大成果,是一个专业面极广、技术先进成熟的庞大系统工程,是人类的共同财富。不断提高铁路的运行速度,让铁路尽快赶超发达国家的水平,适应社会发展和人民生活水平提高,是中国铁路人孜孜以求的夙愿。根据国务院批准的《中长期铁路网规划》,到 2020 年,我国铁路将建成以京沪、京广、京哈、沪甬深及徐兰、杭长、青太及沪汉蓉“四纵四横”客运专线为主体,城际客运专线为扩充的快速客运专线 1.2 万 km,客货混跑快速线路 2 万 km,形成我国铁路快速客运网,为广大旅客提供更加安全、快捷、舒适的服务。

本教材根据土木、交通类专业人才培养目标的要求而编写,比较全面、系统而又概要地阐述了高速铁路的基本知识、基本概念和基本原理。

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材,由石家庄铁道学院李向国主编,王明生主审。参加编写的有李向国(第一、二、四、九章),任德亮(第七、十一章),张力霆(第三章),满洪高、林玉森(第五章),宋玉香、张昀青(第六章),王希良(第八章),马超、杨茜(第十章)。于炳炎、赵慧丽、张晓东、窦慧娟、牛红凯、黄守刚参与了本教材大纲的讨论和部分编写工作。岳渠德、陈进杰、牛学勤、杨广庆对书稿提出了许多宝贵的意见和建议,仅此致谢。

在编写本书过程中,大量地参考了国内外许多文献资料。由于参考的文献资料较多,只能就其中主要的文献列于书后。在此谨向所有文献资料的作者表示衷心的感谢和敬意。

由于本书所涉及的内容多为高新技术,各方面的技术都处在不断发展变化之中,同时限于时间和编者的水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 高速铁路发展动态	1
第二节 高速铁路主要技术特征	5
第三节 高速铁路主要技术经济优势	8
第四节 中国需要高速铁路	12
复习思考题	14
第二章 高速铁路线路	15
第一节 高速铁路线路平面设计	15
第二节 高速铁路线路纵断面设计	28
复习思考题	32
第三章 高速铁路路基	33
第一节 高速铁路路基特点	33
第二节 高速铁路路基设计荷载	35
第三节 高速铁路路基横断面	38
第四节 高速铁路路基基床	41
第五节 高速铁路路堤	44
第六节 高速铁路路基的地基条件	47
第七节 高速铁路路基与桥梁过渡段	49
复习思考题	57
第四章 高速铁路轨道	58
第一节 高速铁路对轨道的基本要求	58
第二节 高速铁路轨道设计荷载	61
第三节 有砟轨道结构	64
第四节 无砟轨道结构	72
第五节 高速道岔	81
第六节 一次铺设跨区间无缝线路	84
复习思考题	88
第五章 高速铁路桥梁	89
第一节 概 述	89
第二节 高速铁路桥梁设计荷载	90
第三节 结构变形、变位和自振频率的限值	94
第四节 桥面布置与结构形式	96
第五节 高速铁路大跨度桥梁	100
复习思考题	105

第六章 高速铁路隧道	106
第一节 概 述.....	106
第二节 高速铁路的隧道—列车空气动力学效应.....	107
第三节 高速铁路的隧道横断面.....	112
第四节 降低微压波的技术措施.....	117
复习思考题.....	120
第七章 高速列车及牵引供电	121
第一节 高速列车的分类与发展概况.....	121
第二节 高速列车关键技术.....	132
第三节 高速铁路牵引供电系统.....	137
第四节 摆式列车技术.....	140
复习思考题.....	145
第八章 高速铁路信号与通信	146
第一节 高速铁路信号技术.....	146
第二节 高速铁路通信技术.....	152
复习思考题.....	157
第九章 高速铁路车站、枢纽与运输组织	158
第一节 概 述.....	158
第二节 高速铁路车站布置图.....	160
第三节 高速铁路引入既有枢纽的方式.....	165
第四节 动车段(所、场)与综合维修基地在车站的设置.....	167
第五节 高速铁路运输组织.....	170
复习思考题.....	173
第十章 高速铁路防灾安全监控与环境保护	174
第一节 概 述.....	174
第二节 高速铁路防灾安全监控系统.....	175
第三节 高速铁路噪声及其控制.....	183
第四节 高速铁路振动及其控制.....	188
第五节 高速铁路对其他环境的影响及其防护.....	190
复习思考题.....	193
第十一章 磁悬浮铁路	194
第一节 磁悬浮铁路发展概况.....	194
第二节 磁悬浮系统分类.....	197
第三节 磁悬浮列车工作原理.....	199
第四节 磁悬浮铁路线路设计.....	205
复习思考题.....	208
参考文献	209

第一章

绪论

第一节 高速铁路发展动态

20 世纪 60 年代以来,高速铁路在世界发达国家崛起,百年铁路重振雄风,传统铁路再展新姿,铁路发展进入了一个崭新的阶段。高速铁路的蓬勃发展,在世界范围内引发了一场深刻的交通革命。

一、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,达到了 311 km/h。1964 年 10 月日本东海道新干线最高运行速度达到了 210 km/h,旅行速度也达到了 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 18 日,法国 TGV-A 型高速列车把试验速度提高到 515.3 km/h(图 1-1),2007 年 4 月 3 日法国再次刷新了自己的纪录,TGV 最新型“V150”超高速列车行驶试验速度达到 574.8 km/h,创下了有轨铁路行驶世界纪录(图 1-2)。与此同时,德国和日本还在研究试验非轮轨接触式的磁浮列车,2003 年 12 月 2 日,日本磁浮列车试验速度达到了 581 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 的客运线路,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(1 067 mm 窄轨距)旅客列车速度已普遍达到 130 km/h,计划达到 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待可望达到并突破 350 km/h。

近年来,由于国民经济的发展和人民生活水平的不断提高,我国也开始重视提高旅客列车的速度。2002 年最高试验速度达到了 321.5 km/h(最近已突破 350 km/h),目前我国既有线最高运行速度达到 250 km/h。世界高速铁路建设方兴未艾,中国高速铁路奋力崛起。

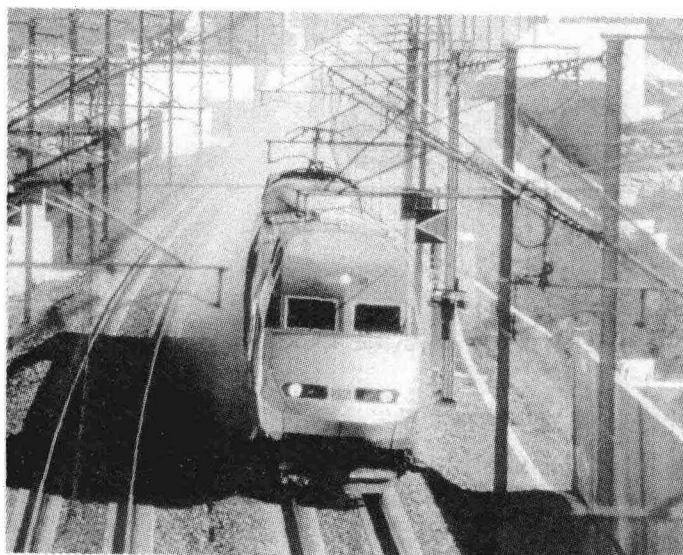


图 1-1 创造 515.3 km/h 的法国 TGV-A 型高速列车试验运行实况

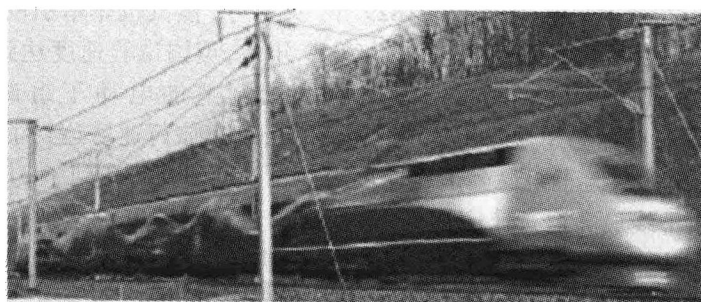


图 1-2 创下了有轨铁路行驶世界纪录法国 TGV“V150”型超高速列车试验运行实况

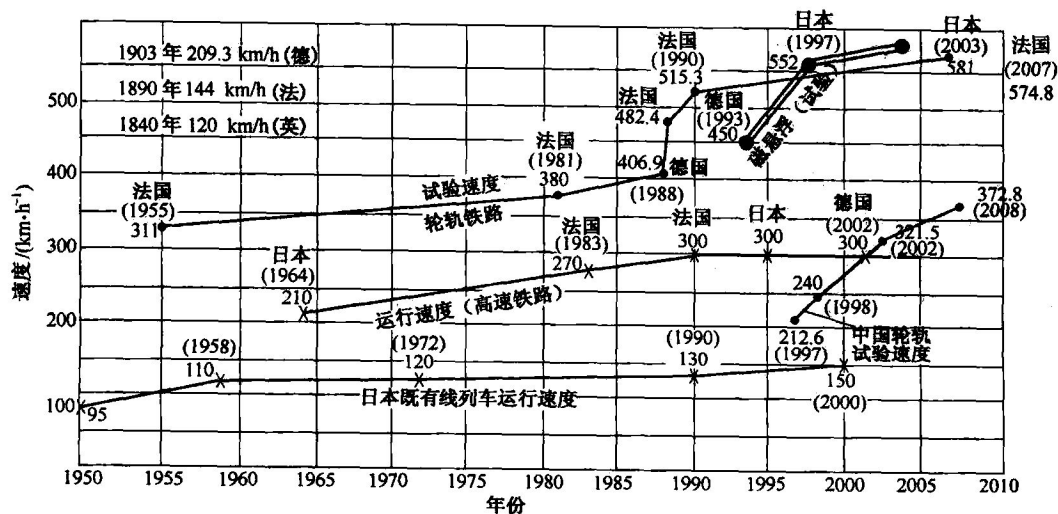


图 1-3 铁路列车试验速度与运行速度的演变图

铁路列车试验速度和运行速度的演变见图 1-3。

二、高速铁路的定义及建设管理模式

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《全国新干线铁路整備法》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 及其以上的铁路为高速铁路。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。

高速铁路建设管理模式,各国因国情不同而异,大致有四种类型:一是新建高速铁路双线,专门用于旅客快速运输,如日本新干线和法国高速铁路,均为客运专线,白天行车,夜间维修;二是新建高速铁路双线,实行客货共线运行,如意大利罗马—佛罗伦萨高速铁路,客运速度 250 km/h,货运速度 120 km/h;三是部分新建高速线与部分既有线混合运行,如德国柏林—汉诺威线,承担着客运和货运任务;四是在既有线上使用摆式列车运行,这在欧洲国家多见,在美国“东北走廊”行驶的摆式列车速度为 240 km/h。

三、世界高速铁路发展概况

自以日本新干线、法国 TGV 为代表的高速铁路投入运营以来,它以安全可靠、技术创新、优质服务等特色为铁路的发展带来了新的机遇,为国民经济的发展带来了巨大动力。高速铁路的成功,有力地促进了国家经济的增长和社会进步,促进了沿线经济发展。高速铁路的发展规划,不仅在欧洲、亚洲得到推广,目前在美洲和澳大利亚也在进行推广。

目前世界上投入运营的速度不小于 250 km/h 的高速铁路总长达 8 000 km 以上,拥有高速铁路的国家和地区主要有德国、法国、西班牙、意大利、荷兰、比利时、英国、日本、韩国、中国内地和台湾。

在亚洲,1964 年 10 月 1 日,世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线建成通车,当时最高运行速度为 210 km/h,使东京—大阪的运行时间从 6 h 30 min 缩短到 3 h。日本接着又相继修建了山阳、东北、上越、北陆、山形、秋田等新干线,形成了纵贯日本国土的新干线网(2 175 km),被誉为“经济起飞的脊梁”,并有新建新干线和改造既有线的计划。2004 年 4 月 1 日,韩国汉城—釜山的高速铁路(412 km)开通运营,最高行速是 300 km/h。中国台湾台北—高雄的高速铁路(345 km)已投入运营。印度也在开展高速铁路建设的前期工作。

欧洲高速铁路建设有一个比较完整的规划,根据这个规划,2020 年将形成一个新建高速铁路 10 000 km,改造既有线 15 000 km,遍及全欧洲并连接主要国家首都的高速铁路网。欧洲是目前高速铁路投入运营最多的地区。截止到 2002 年末,欧洲高速铁路已有 3 260 km 投入运营,预计 2010 年将达到 6 000 km。欧洲高速铁路始于法国,法国 1981 年开通了 TGV 东南线(417 km),1989 年开通了 TGV 大西洋线(282 km),1993 年开通了 TGV 北方线(333 km),1994 年开通了 TGV 东南延伸线(148 km),1996 年开通了 TGV 巴黎地区联络线(128 km)。2001 年 6 月 10 日,TGV 地中海线(295 km)又开通运营,完成了纵贯法国的高速铁路干线。自 2003 年 6 月起,TGV 地中海线的部分区间(约 40 km)开始了最高速度为 320 km/h 的运行。

在德国,汉诺威—维尔茨堡铁路(新线长 326 km)和曼海姆—斯图加特铁路(新线长

99 km)于1991年投入运营,运行速度为280 km/h。此后,汉诺威—柏林铁路(264 km)于1998年投入运营(其中有170 km的高速区段)。2002年8月1日,德国科隆—法兰克福高速线(219 km)开通运营,运行速度为300 km/h,是德国第一条客运专用线。在这条线上运行的第三代ICE3型高速列车最高运行速度为330 km/h,允许列车晚点时列车以此速度赶点运行。2003年,德国联邦交通网计划确定修建连接南北的柏林—慕尼黑的高速线(高速新线+既有线改造),现在正在建设当中。

意大利在1970年立项建设罗马—佛罗伦萨高速铁路(236 km),1987年建成,初期列车速度为180 km/h,1992年提高到250 km/h。同时意大利已制定了一项高速铁路网长期发展计划,将用2条高速线构成T字形、全长1300 km的高速铁路网骨架。西班牙在新建马德里—塞维利亚(471 km)高速线取得巨大成功后,又开工建设马德里—巴塞罗那高速线(全长651 km,设计最高速度350 km/h)。比利时和荷兰等国也正在建设高速铁路,其中比利时的布鲁塞尔—法国边境的高速线(88 km)已于1997年12月开通,通向德国科隆到列日的高速线在2002年12月也已开通运营。英国是铁路发源地,第一条高速新线是CTRL(连接英伦海峡的隧道线路),其第一区间(74 km)已于2003年9月16日开通,最高速度为300 km/h,在通往因站房漂亮而负盛名的伦敦圣潘库拉斯站的第二区间(39 km)目前也已开通运营。除了西欧各国正在建设高速铁路网外,东欧、南部欧洲等国也在积极进行既有线基础设施提速改造。

如今,一贯比较重视发展航空和公路运输的美国也开始拟订高速铁路的建设计划。美国加利福尼亚州已决定在州内建设1131.3 km长的高速铁路;佛罗里达州则通过立法准备在州内建设匹兹堡—坦帕—奥兰多的高速铁路。

澳大利亚铁路的重载运输驰名于世,近年也委托TMG国际公司对墨尔本—布里斯班(2000 km)东海岸铁路的轮轨高速进行论证。

四、非黏着铁路

传统的黏着铁路因为牵引力受轮轨黏着条件等的限制,很难实现500 km/h的最高速度,为此需研制新的运输工具。

1. 气垫车

20世纪60~70年代,最早着手研制的是气垫车。气垫车一般用燃气轮作动力产生高压喷气,在导轨与车辆间形成气垫使车辆浮起,并用喷气机驱动车辆前进,英、法两国研制十年,制成试验车。法国试验的飞行列车,车长26 m,质量20 t,可载客80人,用530 kW的燃气轮机产生气垫,用2956 kW的动力驱动,在18 km的高架轨道试验线上试运转时,最高时速达422 km。1974年能源危机时,为紧缩开支,且因喷气机污染环境,噪声太大,取消了研究计划。

前苏联、美国都曾对气垫车进行过研究,因未取得显著成就而停顿。20世纪70年代起,技术先进的国家,都先后停止了对气垫车的进一步探索,转而研制磁悬浮车。

2. 磁悬浮车

根据磁悬浮车上采用的电磁铁种类,磁悬浮车一般分为两大类,一类为常导吸引型,一类为超导排斥型,两种磁悬浮车技术都日臻成熟。关于磁悬浮铁路的内容参见本书第十一章。

3. 管道悬浮

地面高速运输要克服巨大的空气阻力,当速度超过500 km/h后,空气阻力将非常大,所以产生了管道磁浮线路的设想。将磁浮车系统置于空气稀薄的管道中,时速几乎可以无限制地提高,美国兰德公司为此设想了一种管道高速运输系统。

该设想的轮廓是:由纽约到洛杉矶修建一条长 3 950 km 的横贯美国东西的地下隧道,隧道内形成约 0.1 kPa(相当于 1‰个大气压)的真空,将磁浮系统安装在隧道内,悬浮力和驱动力都由超导电磁形成。速度受 3 950 km 的加速与减速距离限制,3 950 km 的一半用于加速,一半用于减速,中间速度最高为 22 500 km/h。即使采用中速 13 000 km/h,平均速度为 6 750 km/h,由纽约到洛杉矶也只要 36 min 30 s 的旅行时间。隧道当然不宜转弯,转弯时曲线半径需达 700 ~ 800 km。20 世纪 80 年代估算,隧道造价要 1 850 亿美元,包括磁浮系统总费用约需 2 500 亿美元。

为叙述方便,在后面的章节中,若无特殊说明,本书中“高速铁路”均指轮轨接触式高速铁路。

第二节 高速铁路主要技术特征

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,并且在世界诸多经济发达的国家和地区也迅速扩展。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速铁路的概念,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。

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 1-4 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

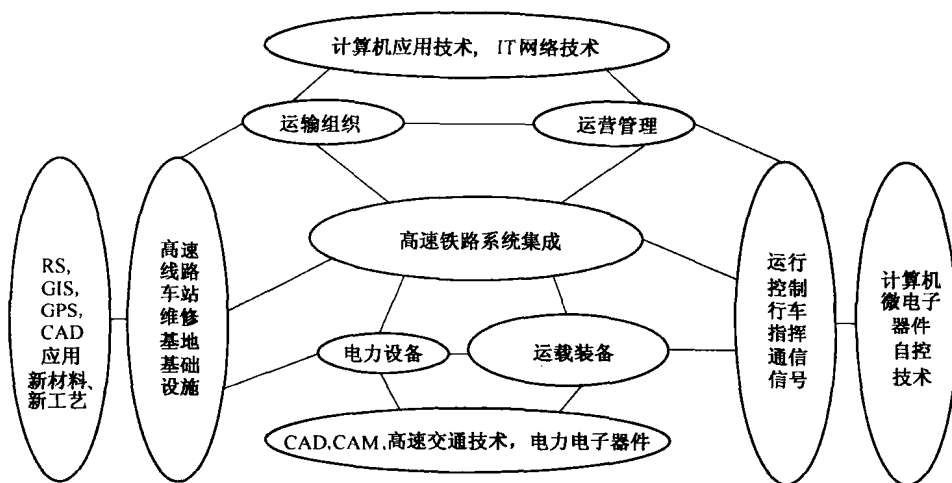


图 1-4 高新技术综合集成的高速铁路总示意图

一的经营管理目标,彼此相容,完整结合,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

铁路没有速度优势就失去了竞争的基础。高速铁路的速度目标值是由常速铁路发展到高速铁路最主要的区别。列车运行速度属于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、成本效益等也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:20 世纪 60 年代第一代高速列车速度为 230 km/h,20 世纪 80 年代初第二代高速列车速度达到 270 km/h,20 世纪 90 年代第三代高速列车速度已达到并超过了 300 km/h。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,而关心旅行时间的长短。只有提高旅行速度才能给旅客带来实惠。要提高旅行速度不是轻而易举的,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,列车旅行速度最能反映铁路的水平。当今,世界高速铁路区段旅行速度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。重视提高旅行速度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。

三、系统间相互作用发生了质变

高速铁路虽然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。过去用于常速铁路行之有效的规范标准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需重新认定。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时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速铁路复杂。

四、系统动力学问题更加突出

高速铁路系统动力学问题包括如下几方面的内容。

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,发生的振动与冲击越强,致振的敏感因素越宽。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,突出的问题有: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,将影响受电效能及安全等。所以动力响应是涉及高速行车技术深层次的基本问题,必须认真处理。

2. 高速列车运行中的惯性问题

高速列车运行中的惯性问题直接影响旅客的安全与舒适。例如,对于舒适度,人体承受振动的能力与振动频率密切相关,根据试验结果,人体对频率在 10 Hz 以下的低频振动更为敏感,此时,振动加速度达到 $0.1g$ 人就感到不舒服。列车运行加速或减速时,旅客均要承受纵向惯性力的作用,通常也以加速度衡量。加速时由于受到牵引功率的限制,一般准静态(平均)加速度值都不超过 $0.05g$,所以加速时在正常操纵下,不会给旅客带来不适感。但制动时为确保列车安全,减速距离较短,如列车速度为 300 km/h 时,紧急制动距离小于 $3\ 700\text{ m}$,其准静态(平均)减速度低于 $0.1g$,考虑车辆制动时动作不一致将有冲动现象发生,瞬时减速度将接近 $0.3g$,这时旅客将感到不适,所以紧急制动只能在非常情况下使用。在一般常用制动情况下,当制动参数取 0.8 或 0.5 并操纵得当时,其减速度分别为 $0.075g$ 及 $0.05g$ 。所以,为保证列车行驶时旅客的舒适度必须重视运动中的惯性问题。这应从线路基本参数、列车性能及操纵技术上予以保证。

3. 高速列车空气动力学问题

(1) 列车空气阻力问题

地面交通系统都有一个难以避免的共性问题,这就是空气动力学问题。在地表大气层中,交通载体所受到的空气阻力、竖向力、横向力和压力波等都与速度平方成正比,随着速度的提高而急剧增加,从而成为提高地面高速交通速度主要的制约因素。高速列车时速超过 200 km 就必须认真研究这一问题。为减缓空气动力的影响,通过大比例风洞模型试验及三维有限元空气动力学理论分析,筛选设计方案,可做出技术经济合理抉择。在一定速度下,高速列车空气阻力及其他空气动力作用取决于列车的外形、列车的截面及外表面的光滑平顺度。所以,在列车的总体设计及车体设计中都必须周密处置,使整列车具有良好的气动性能。

(2) 列车内部空气密封问题

高速运行的列车,由于各种气动效应影响使列车内外压差增大。若列车密封性差,则必将引起车内气压的变化超过一定范围,将引起人体各种不适感。所以,对车窗、车门、车辆间的连接风挡都要求具有良好的密封性。

(3) 线间距问题

两列相对行驶的高速列车在线路上会车时,各种空气动力作用比单列车行驶时强烈,并将影响列车运行的平稳性与车内人员的舒适感。这种影响在其他条件一定的情况下,与高速铁路的线间距成反比。高速铁路的线间距应根据车速、车宽、列车头形系数、车体密封程度、车窗玻璃承压能力等因素来考虑。如果在高速线上有各种不同类型列车运行,应顾及性能较差列车的承受能力。

(4) 隧道断面选择问题

对于有限界面的隧道而言,高速铁路的空气动力学作用将比在明线环境条件强烈,在一定速度下,其幅值主要与隧道断面的堵塞比密切相关。所以,列车速度越高,隧道断面应越大。对长隧道来说还必须考虑隧道内空气有较通畅的导流途径以缓解其动力效应。

五、对高速铁路主要子系统的基本要求

1. 高速铁路的基础设施

高速铁路的基础设施是确保高速行车的基础。高速铁路与常速铁路相比最大的区别在于线路高平顺度特性方面。高平顺性最终体现是在轨道上,无论轨道是在路基上或在桥梁上,无论是何种类型的轨道,都要求它不仅在空间上要具有平缓的线形,而在时间上还必须具有稳固的高保持性。由此决定了高速铁路基础设施各主要组成部分——路基、桥梁、隧道等的主要技术参数与技术规定,必须互相协调,使之整体上满足高速行车在运动学、动力学、空气动力学及运输质量方面的各项技术指标。所有基础设施在运营管理方面还必须具备高可靠度与可维修、少维修的条件,以降低成本及提高效能。

2. 高速列车

高速列车是高速铁路的运输载体,是实现高速铁路功能的关键。为确保高速行车主要功能指标的落实,高速列车在车型、牵引、制动、减振、列控、检测、供电等一系列专业技术上都要取得重大突破。建立在轮轨系基础上的各型高速列车吸取了当代相关高新技术,已做出为世人瞩目的成就。但为满足更高的目标需求,仍在不断更新换代,其技术发展永无止境。

3. 高速铁路的运行控制、行车指挥及运营管理

高速铁路运行控制、行车指挥及运营管理各系统是确保高速铁路列车运行安全有序、发挥效率与效益的核心体系。虽然高速铁路与常速铁路相似,其主要软硬技术都由区间轨道电路、自动闭塞、车站计算机联锁等所构成的调度系统支持,但由于运行速度大幅度的提高,列车密度增加,行车组织节奏明显增快,高速铁路的运行控制及调度系统应更加完备,运输组织与运营管理体系应更加严密。高速铁路调度指挥系统是以行车调度为核心,集动车底调度、电力调度、综合维修调度、客运服务调度、防灾安全监控为一体的综合自动化系统,该系统应能确保高速高密行车的安全与效能。高速铁路的经营管理从模式、体制到运作方法都要适应新的形势,必须结合国情与路情做出切合实际的选择,以促进高速铁路效能发挥。

第三节 高速铁路主要技术经济优势

高速铁路之所以受到各国政府的普遍重视决非偶然,它克服了普通铁路速度较低的不足,与高速公路的汽车运输和中长途航空运输相比较,在下列各项技术经济指标中具有一定优势。

一、速度快

速度是高速铁路的技术核心,也是其主要的技术经济优势所在。迄今,高速铁路是陆上运行距离最长、运行速度最高的交通运输方式。近几年相继建成的高速铁路,其最高运行速度都在 300 km/h 左右,即将突破 350 km/h。

旅客出行在途中所花费的时间由三部分组成:一是由出发地(家)至始发站(港)的走行(或短途运输方式的运行)时间及等待时间;二是所乘坐的交通运输方式由发站(港)至到站(港)的旅行时间;三是由到站(港)至目的地(家)的走行(或短途运输方式运行)时间。不同的交通运输方式,其第一和第三部分时间(以下简称附加时间)是不同的。一般坐飞机,附加时间较长,而汽车就比较短,但对一定距离而言飞机的飞行时间要短于汽车的运行时间。就公路、铁路和航空而言,所谓某种交通运输方式的优势距离,即为旅客出行花费的总时间比其他交通运行方式都少的距离范围。速度越高,附加时间越少,其优势距离范围就越大。

当代大交通系统中,高速公路、航空运输与铁路并存,且都在迅速发展。旅客选择运输工具主要出于对速度、安全、经济及舒适度的综合比较。随着经济的发展,生活水平的提高和社

会活动节奏的加快,人们将进一步增强旅行的时间价值观念,对交通运输工具速度的要求将更为迫切。如果旅客出行的附加时间以高速公路为零,高速铁路为 1.0 h,航空为 2.5 h(上飞机前 1.5 h,下飞机后 1.0 h),汽车平均运行速度取 120 km/h,飞机飞行速度取 700 km/h,高速铁路最高运行速度分别取 210 km/h、250 km/h、300 km/h 和 350 km/h,从旅客总的旅行时间进行比较,其有利吸引范围为:

小汽车:优势距离在 200 km 以内。

航 空:优势距离在 1 000 km 以上。

高速列车:速度为 210 km/h,优势距离仅为 300 ~ 500 km;

速度为 250 km/h,优势距离为 250 ~ 600 km;

速度为 300 km/h 时,优势距离为 200 ~ 800 km;

速度为 350 km/h 时,优势距离为 180 ~ 1 100 km (图 1-5)。

旅客出行选择交通运输方式,除考虑时间节省(优势距离)外,还需综合考虑票价、舒适性、安全因素等。如果加上安全、舒适及票价等因素,高速铁路的有利吸引范围还将有所扩展,即使速度目标定为 300 km/h,上限也将在 1 000 km 以上。

二、运 能 大

高速铁路旅客列车最小行车间隔可达到 3 min,列车密度可达 20 列/h,每列车载客人也比较多,如采用动力分散方式及双层客车,其列车定员可达 1 200 ~ 1 500 人/列,理论上每小时的输送能力可以达到 $2 \times 24\,000 \sim 2 \times 30\,000$ 人。四车道的高速公路每小时的输送能力约为 $2 \times 4\,800$ 人,2 条跑道的机场每小时的吞吐能力约为 $2 \times 6\,000$ 人。可见高速铁路的运输能力是高速公路和民用航空等现代交通运输方式不可比的。我国拟建的京沪高速铁路,追踪列车间隔时间暂按 3 min 设计,长编组高速列车定员为 1 200 人/列,每年可完成 $2 \times 6\,500$ 万人的输送任务,且还有进一步扩大其运输能力的空间。京沪高速铁路远期运量将达 $2 \times 5\,500$ 万人/年以上,这是其他现代交通运输方式难以胜任的。

三、安全性高

安全是人们出行选择交通运输方式最关心的因素。尽管各种现代交通运输方式都竭力提高自身的安全性能,但交通事故仍时有发生。日本每 10 亿人·km 死亡人数既有铁路为 1.97 人,汽车为 18.9 人。欧洲铁路共同体 14 个成员国,每年因公路交通事故死亡 54 000 人,伤 170 万人,超过铁路的 125 倍。美国死于高速公路交通事故者每年约 5 万人,死伤人数则高达 200 多万人。据研究,我国交通运输中每 1 亿人·km 交通事故死伤人数公路为死亡 10.5 人,重伤 24.88 人;民航为死亡 0.1 人,受伤 0.01 人;铁路为 0.29 人,重伤 0.72 人。每 1 人·km 交通事故造成的损失公路为 0.064 9 元;民航为 0.000 5 元;铁路为 0.001 8 元。

高速铁路采用了先进的列车运行控制系统,能保证前后两列车有必要的安全距离,防止列

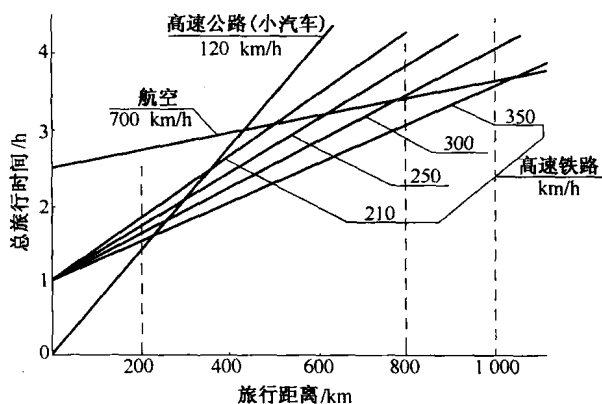


图 1-5 旅客出行总旅行时间比较图

车追尾及正面冲撞事故。几乎与行车有关的固定设施与移动设备,都有信息化程度很高的诊断与监测设备,并有科学的养护维修制度。对一些有可能危及行车安全的自然灾害,设有预报预警装置。所有这些构成了高速铁路现代化的、完善的安全保障系统。这一系统可以防止人为的过失、设备故障及自然灾害等突发事件引起的事故。高速铁路在国外已有近 44 年运营实践,除德国 1998 年 6 月 3 日发生的翻车事故(死亡 101 人)和日本 2004 年 10 月 23 日在新瀉地震中首次出现了运行中的新干线列车发生脱轨的严重事故(无人员死亡)外,未发生其他乘客伤亡事故。相比之下,高速铁路是当今最安全的现代高速交通运输方式。

四、准确性高

高速铁路的安全保障系统不但保证了高速列车运行安全,也使铁路运输全天候的优势得到了更充分的发挥。除可能危及行车安全的自然灾害外,几乎不受大气和气候条件的影响,24 h 内都可安全地正常运行。

随着生活节奏的加快,人们除了时间价值观念日益增强外,还对交通运输的准确性提出了更高的要求。航空运输受气候影响,航班很难做到准点,有时还会停航。国外高速公路经常发生堵塞,行车延误在所难免。由于高速铁路事故率几乎为零,再加上全天候都可正常运行,因此高速列车始终是在一个十分稳定的系统中运行,其正点率非常高。日本东海道新干线列车平均晚点不到 0.3 min,几乎与钟表一样的准。这是其他任何一种现代交通运输方式都做不到的。西班牙 AVE 高速列车晚点 5 min,就要向旅客退回全部票款。这也是其他任何一种现代交通运输方式不敢承诺的。

五、能耗少

交通运输是能源消耗的大户,能耗标准是评价交通运输方式优劣的重要技术指标。研究表明:若以普通铁路每人公里消耗的能源为 1 单位,则高速铁路为 1.3,公共汽车为 1.5,小汽车为 8.8,飞机为 9.8。高速铁路大约是小汽车和飞机的 1/5。高速铁路使用的是二次能源——电力,而汽车、飞机使用的是不可再生的一次能源——汽油。随着水电和核电的发展,高速铁路在能源消耗方面的优势还将更加突出。这也是在当今石油能源紧张的情况下,选择发展高速铁路的原因之一。

六、占地少

交通运输,尤其是陆上交通运输,由于要修建道路和停车场,需要占用大量的土地,而且大部分是耕地。双线高速铁路路基面宽 9.6 ~ 14 m,而 4 车道的高速公路路基面宽达 26 m。双线铁路连同两侧排水沟用地在内,每千米用地约 70 亩;4 车道的高速公路每千米用地要 105 亩。高速铁路占地只有 4 车道的高速公路的 2/3,而每小时可完成的运量却是 4 车道高速公路的 4 倍以上。一个大型飞机场,包括跑道、滑行道、停机坪、候机大楼及其他设施,面积大,又多为市郊良田。500 km 的法国 TGV 高速铁路相当于一个大型机场用地。

七、工程投资低

工程投资是制约某种现代交通运输方式能否得到迅速发展的重要因素。高速铁路的工程投资要高于普通铁路,但并不比高速公路高。例如,法国高速铁路基础设施造价要比 4 车道的高速公路节约 17%。有人估计在美国城区修建高速铁路其造价仅为高速公路的 1/4 ~ 1/5。