

● 高等学校教材

# 铁道工程

—— 张晓东 主编 ——

TIEDAO GONGCHENG

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

## 内 容 简 介

本书根据我国铁路建设事业快速发展对人才的需求,适应高等院校铁路相关专业开设铁道工程课程的需要而编写。全书针对客货共线铁路和高速铁路,全面、系统而又简明扼要地阐述了铁路线路、路基、轨道和车站的基本知识、基本概念和基本原理。

全书内容共分十二章。第一章为绪论,主要介绍铁路运输的总体概况,包括铁路的性质与地位、国内外发展概况和发展趋势;第二至三章为铁路选线设计部分,包括铁路运输能力、主要技术标准、铁路的线形与定线方法等;第四至七章为路基工程部分,包括路基本体,路基排水、防护与加固设施,以及特殊路基的构造和基础设计理论与方法等;第八至十一章为轨道工程部分,包括铁路轨道的构造、几何形位以及无缝线路;第十二章介绍了铁路车站的相关概念和知识。

本书主要供铁路特色高等学校土木工程专业桥梁、隧道、岩土、道路等专业方向,以及交通运输类、交通土建类和工程管理类等铁路相关专业本科生使用,也可供其他本、专科学校相关专业开设铁路特色课程使用。本书也可作为有关工程技术人员参考、学习的资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

铁道工程/张晓东主编. —北京:中国铁道出版社,2011.12

高等学校教材

ISBN 978-7-113-14018-2

I. ①铁… II. ①张… III. ①铁路工程—高等学校—教材 IV. ①U2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 255662 号

高等学校教材

书 名:铁道工程  
作 者:张晓东 主编

---

责任编辑:程东海 编辑部电话:010-51873135 电子信箱:whm\_haiming@163.com  
封面设计:郑春鹏  
责任校对:孙 玫  
责任印制:陆 宁

---

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市兴达印务有限公司

版 次:2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:19 字数:476千

书 号:ISBN 978-7-113-14018-2

定 价:39.00元

---

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电 话:(010)51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

# 前 言

随着《中长期铁路网规划》的加快实施,我国铁路进入了快速发展的新时期,大规模、高标准的铁路建设已全面展开。根据规划,到2020年,全国铁路营业里程将达到12万km以上,基本形成布局合理、结构清晰、功能完善、衔接顺畅的铁路网络,运输能力满足国民经济和社会发展需要,主要技术装备将达到或接近国际先进水平。加快推进大规模、高标准的铁路建设,管好、用好现代化铁路,是我国铁路面临的双重重大任务。完成这两大任务,需要更多、更好的铁路特色专业人才作为支撑。为适应铁路发展对人才的需要,铁路特色院校在扩大铁道工程专业方向学生培养规模的同时,也愈加重视相关专业学生铁道工程知识与能力的培养;同时,其他本、专科学校也在土木类、交通类以及工程管理、工程力学、安全工程、测绘工程等专业,增设了铁道工程课程,满足学生学习铁道工程知识、服务铁路建设和管理的需要。为此,编写了这本《铁道工程》教材,该教材全面、系统而又简明扼要地阐述了铁道工程专业领域的铁路线路、路基、轨道和站场等的基本知识、基本概念和基本原理,适合铁路相关专业开设32~48学时铁道工程课程需要。

本教材以传统的铁路选线设计、铁路路基、铁路轨道等教材基本内容为基础,针对本教材定位特点,适当调整内容结构扩大知识涵盖面、减少或简化理论内容,侧重基本概念和基本知识。鉴于近年来我国高速铁路理论研究与工程实践取得的巨大成果,以及高速铁路广阔的发展前景,本教材在继承和发展传统的铁道工程知识理论体系的基础上,将高速铁路技术理论经归纳和提炼后纳入其中,力争构成有机统一、系统完整的铁道工程教学内容体系。

本书由石家庄铁道大学张晓东担任主编,北京交通大学梁青槐教授担任主审。第一、二、三、十一章由张晓东编写,第四、五、七章由赵慧丽编写,第六章由赵慧丽、黄琳编写,第八章由马超编写,第九、十章由王建西编写,第十二章由张晓东、牛红凯编写。全书由张晓东统稿和定稿。

在本书编写中,参阅了大量相关专业资料和文献,并选用了有关教材和规范的部分内容,在此,谨向各位作者致以诚挚的敬意和感谢。

书中疏漏或错误之处,恳请读者予以批评指正。

编 者

2011年11月

# 目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁路运输的特点与地位	1
第二节 铁路发展概况	3
第三节 本课程的主要内容	17
复习思考题	17
第二章 铁路运输能力与主要技术标准	18
第一节 铁路运量与设计年度	18
第二节 铁路能力计算	20
第三节 列车牵引计算	25
第四节 铁路等级与主要技术标准	37
复习思考题	44
第三章 铁路线形及定线	45
第一节 区间线路平面线形	45
第二节 区间线路纵断面线形	58
第三节 桥涵、隧道及车站路段线形	68
第四节 铁路定线	71
第五节 线路平面图和纵断面图	79
复习思考题	82
第四章 路基本体	83
第一节 路基工程概述	83
第二节 路基横断面	89
第三节 路基基床	101
第四节 基床以下路堤及地基	106
第五节 路 堑	110
第六节 路基边坡稳定性	113
第七节 路基与其他结构物过渡段	116
复习思考题	121
第五章 路基排水与防护设备	122
第一节 路基排水设备	122

第二节 路基防护设备·····	128
复习思考题·····	137
<b>第六章 路基支挡结构·····</b>	<b>138</b>
第一节 重力式挡土墙·····	138
第二节 加筋土挡土墙·····	146
第三节 锚杆挡土墙·····	148
第四节 锚定板挡土墙·····	152
第五节 土钉墙·····	153
第六节 其他支挡结构·····	155
复习思考题·····	158
<b>第七章 特殊路基·····</b>	<b>159</b>
第一节 软土地区路基·····	159
第二节 膨胀土(岩)地区路基·····	165
第三节 黄土地区路基·····	168
第四节 冻土地区路基·····	170
第五节 盐渍土地区路基·····	172
第六节 特殊条件下的路基·····	174
复习思考题·····	177
<b>第八章 轨道结构·····</b>	<b>178</b>
第一节 概 述·····	178
第二节 钢 轨·····	178
第三节 轨 枕·····	184
第四节 连接零件·····	188
第五节 有砟道床·····	196
第六节 无砟轨道结构·····	199
第七节 轨道结构的合理配套·····	213
复习思考题·····	214
<b>第九章 轨道几何形位·····</b>	<b>215</b>
第一节 机车车辆走行部基本知识·····	215
第二节 直线轨道的几何形位·····	218
第三节 曲线轨道的几何形位·····	224
复习思考题·····	231
<b>第十章 道 岔·····</b>	<b>232</b>
第一节 道岔的种类·····	232
第二节 单开道岔的构造·····	233

第三节 单开道岔的几何形位与总体布置·····	240
第四节 过岔速度与高速道岔·····	246
复习思考题·····	251
<b>第十一章 无缝线路·····</b>	<b>252</b>
第一节 概 述·····	252
第二节 无缝线路的温度力·····	253
第三节 无缝线路的稳定性·····	259
第四节 无缝线路设计·····	264
第五节 跨区间无缝线路·····	269
复习思考题·····	272
<b>第十二章 铁路车站·····</b>	<b>273</b>
第一节 车站线路·····	273
第二节 会让站、越行站及中间站 ·····	279
第三节 区段站、编组站及枢纽 ·····	281
第四节 客运站、货运站 ·····	286
第五节 高速铁路车站·····	292
复习思考题·····	294
<b>参考文献·····</b>	<b>296</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 铁路运输的特点与地位

### 一、铁路运输的技术经济特征

铁路是指机车牵引车辆或使用装有动力装置的车辆行驶于轨道上的交通方式。铁路运输是现代交通运输的基本方式之一。

现代运输业由铁路、水运、公路、航空和管道等五种运输方式组成。公路运输覆盖面广、机动灵活,在广大城乡集散客货的面上运输中非公路莫属,是短途运输的主力;航空运输速度快、受地形限制小,但能耗大、成本高、运力有限,主要担负中长途高级客流和贵重货物的快速运送任务;水运投资省、运力大、成本低、能耗少,经济性好于其他各种运输方式,但水运受自然条件限制较大,连续性差,速度慢,水运在能源、原材料等大宗货物运输以及远洋运输中有重要地位;管道运输投资省、运力大、建设周期短、占地极少、安全性能好、运输成本低,是输送油、气和散状粉末状固体的最佳运输方式。

铁路运输与其他运输方式相比较,具有能源利用效率高、环境污染小、运输能力大、成本低、安全可靠、占地少、受气候等自然条件影响小等特点。

(1)运输能力。单线铁路单向年最大货物运输能力可达1 800万t,复线可达5 500万t。大秦铁路2008年运量达3.4亿t,2010年5月16日创造日运量122.03万t历史最高纪录,而四车道的公路年运输能力一般为(300~500)万t。相比较,铁路的运输能力比航空、公路运输要高,但低于水运和管道运输。

(2)速度。铁路的送达速度一般高于水运和公路运输,低于航空运输,但在短途运输方面,其送达速度低于公路运输。随着高速铁路发展,列车运行速度大幅提高,考虑旅客往返机场的路程时间,高速铁路与航空运输相比,速度上劣势已显著缩小。

(3)安全性。据各国在交通死亡事故方面的统计,每10亿人公里死亡人数,法国铁路为0.18人、航空为0.26人、公路为16人;美国铁路为0.4人、私人轿车为7人。我国的客运事故率铁路为0.001 81~0.001 01、公路为0.064 40、航空为0.007 40、水路为0.023 70;货运事故率铁路为0.000 04、公路为0.002 10~0.001 05、航空为0.000 30、水路为0.001 03。1995~2002年各种运输方式的交通事故统计数据表明,铁路与公路的事故次数比为1:246、事故损失比为1:44.48。高速铁路由于在全封闭环境中自动化运行,又有一系列完善的安全保障系统,所以其安全程度更高。

(4)运输的经常性和灵活性。铁路运输较少受气象、季节等自然条件的影响,能保证运行的不间断性、均衡性;铁路运输的计划性也很强,运行准时可靠。所以铁路是经常性最强的一种运输方式。但是,铁路受轨道的限制,灵活性较差,必须有其他运输方式为其集散客货。

(5)建设投资。铁路技术设备(线路、机车车辆、车站等)需要的建设投资额较大、建设周期较长。据测算,时速100 km的铁路每公里造价在1 000万元左右,时速200 km的铁路每公里造价约3 000万~4 000万元。京沪高速铁路总长1 300 km,总投资2 200亿元,其中基建投

资1 000亿元。

(6)运输成本。铁路的单位运输成本比公路运输和航空运输的低,但比水运和管道运输高。据测算,铁路每万换算吨公里的平均运输成本大约为汽车的1/17倍,相对航空运输的成本就更低。瑞士和德国两家研究所曾经联合对欧洲17国一年的运输外部成本进行了评估,结论是:交通事故和环境污染的外部成本高达5 300亿欧元,其中公路占92%、民航占6%、铁路仅占2%;铁路、公共汽车、民航、小汽车单位客运周转量的外部成本之比为1:1.9:2.4:4.4,铁路远远低于任何一种运输方式;铁路、水运、公路、民航单位货运周转量的外部成本之比为1:0.9:4.6:10.8,铁路的成本与水运相当。

(7)土地资源利用效率。交通运输是占用土地最多的行业之一。在五种交通运输方式中,水运和管道运输的土地利用效率最高,铁路与民航土地利用效率基本相当,公路运输是各种运输方式中土地利用效率最低的。完成单位换算周转量占用土地,在国外公路一般是铁路的5~10倍,我国则达25倍。可见,在有效利用土地资源方面,铁路相对于公路具有明显优势。

(8)能源消耗。铁路机车车辆与轨道间的摩擦阻力小于汽车与地面的摩擦阻力,使能耗较低,而且内燃和电力机车热效率较高。据统计,铁路、公路、航空单位运输量平均能耗比约为1:8:11。铁路、公路、航空完成单位运输量的能耗比,客运为1:3:5.2;货运为1:1.3:3。我国铁路能耗在国家交通运输总能耗中仅占18%,而完成的换算周转量达50%以上。从节能降耗方面分析,据测算,我国铁路以交通行业不足1/5的能源消耗,完成了超过全社会1/2的运输量。

(9)对环境的影响。交通对环境的影响主要包括交通事故、交通工具运营中的噪音、交通工具废气排放造成的大气污染、交通线路和设施对自然景观的破坏等。德国研究表明,铁路、航空、公共汽车、小汽车对环境的综合影响比约为1:2:1.5:4.5。从污染程度看,根据统计结果,客运造成的单位污染强度,铁路是航空的20%~40%,是公路的10%左右,货运造成的单位污染强度,铁路为公路的10%;按照完成单位运输周转量造成的环境成本测算,航空和公路客运分别是铁路客运的2.3倍、3.3倍,航空和公路货运分别是铁路货运的15.2倍、4.9倍。铁路的噪声只是公路的1/2至3/4。

综上所述,铁路运输从技术特征、经济特征和资源利用特征等方面,都具有较好的比较优势。随着全球经济向低碳模式的转变,现代铁路运输的优势将愈加突出。

## 二、铁路运输在我国经济与社会发展中的地位和作用

交通运输业是国民经济中一个重要而又特殊的物质生产部门,在我国产业部门分类中属于第三产业的流通部门。它是联系生产、分配、交换与消费等各社会经济活动环节的纽带,人民生活、文化交流以及国防事业的发展也无不依赖于交通运输。它既是保证社会生产、经济生活及其他各个领域正常进行的基本前提,又是促进经济和社会快速发展的重要基础和条件。因此,交通运输是重要的基础性、先导性产业。

铁路作为现代交通运输的基本方式之一,是国民经济的大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具,在我国经济社会发展中具有重要作用。我国发展交通运输应以铁路为重点。

中国的国情和铁路行业自身的特点,决定了铁路在我国综合交通体系中处于骨干地位,是国民经济的大动脉。我国疆域辽阔、内陆深广、人口众多,区域经济发展不平衡,产业布局与资源分布极为不对称等特点形成了高强度的区域间客货流量,决定了区域干线交通运输网络在



综合运输网络中的重要性。铁路运量大、运行成本低,既在大宗、大流量的中长以上距离的客货运输方面具有绝对优势,而且在大流量、高密度的城际中短途旅客运输业具有很强的竞争优势,这些客观条件决定了铁路成为最适合我国国情的运输方式。据统计,我国铁路完成货物周转量占全社会货物周转量的 1/2 以上,居公路、水路、民航等各种运输方式之首。旅客周转量占全社会旅客周转量的 1/3 以上,仅次于公路,位居第二。

铁路作为国家重要基础设施和大众化交通工具,对统筹城乡和区域发展、促进各地区、各民族的沟通与联系具有重要作用。我国中西部地区能源矿产资源丰富、国土面积广阔,但经济发展相对落后,而东部地区人口稠密、经济发达,但能源、矿产等资源相对短缺;在我国,农业的基础薄弱,农村发展滞后,城乡之间仍存在较大差距。运力强大、方便快捷的铁路通道,可以缩短各区域间和城乡间的时空距离,促进各区域之间、城乡之间人、物、资金、信息等要素的快速流动,形成东中西优势互补、城乡协调发展的良好的局面。

目前,我国正处在可持续发展的关键阶段,交通运输对土地、能源等资源的依赖性强,对环境影响大。铁路具有占地少、能耗低、污染小的比较优势,加快铁路发展,对于优化我国交通运输体系结构,以较小的资源和环境代价,支撑全社会的运输需求,建立资源节约型和环境友好型的发展模式具有特殊意义。

高速铁路的发展,以其更突出的快速度、大运能、低能耗、轻污染等一系列的技术优势,适应了现代社会经济发展的新需求,使铁路运输焕发出新的活力,必将在经济与社会发展中发挥更重要的作用。

## 第二节 铁路发展概况

### 一、世界铁路的由来与发展

1825年9月27日,英国在达林顿(Darlington)至斯托克顿(Stockton)之间建成开通世界上第一条公用商业铁路,标志着铁路运输业的开端。在其近200年的发展过程中,大致经历了兴建、高速发展、停滞衰退和复兴四个阶段。

#### 1. 兴建时期

铁路一出现,即以其运能大、高速、经济的特点,受到人们的重视。随后,各资本主义国家陆续开始兴建铁路。到1840年,随着机车制造渐臻完善和轨道基本改进定型,列车运行速度提高,铁路建设速度也逐渐加快。19世纪50年代初期,亚、非、拉地区也开始出现了铁路。到1860年,世界铁路的营业里程已达到了105 000 km。

#### 2. 高速发展时期

从19世纪中期到第一次世界大战(1913年)前,由于当时公路和航空运输尚未发展,陆上快速、大运量运输只能依靠铁路,因此成为世界铁路高速发展的时期。在此期间,世界每年平均修建铁路2万km以上,全世界有60多个国家和地区建成铁路并开始营业。铁路发展最快的主要资本主义国家将大部分投资用于修建铁路,大部分钢产量用于轧制钢轨。19世纪末叶,帝国主义国家为了对殖民地国家的侵略和掠夺,开始在殖民地、半殖民地国家修建铁路。到1913年,世界铁路营业里程达到了110万km,其中80%集中在英、美、德、法、俄五国。当时铁路成了具有垄断地位的交通工具,承担的运输量高达80%以上。这个时期在铁路建筑技术和铁路机车制造技术方面也获得了新的发展,如铁路隧道开凿技术方面,1872~1881年建成的圣哥达隧道,长15 km,首次采用上导坑先拱后墙法施工;在铁路机车制造方面,蒸汽机车

的性能日趋完善,同时电力机车和内燃机车先后于 1879 年和 1892 年研制成功。

### 3. 停滞衰退时期

第一次世界大战后,到 20 世纪 60 年代初期,在主要资本主义国家,因铁路之间、铁路与公路、水运之间的竞争,尤其是二战后公路和航空运输的迅速发展,铁路客货运量锐减,铁路运输逐渐出现萧条景象,铁路基本停止发展,美、英、德、法、意等国甚至开始封闭或拆除部分铁路,有些国家不得不将铁路收归国有。但与此同时,殖民地、半殖民地国家的铁路发展较快,铁路营业里程有所增长。1940 年世界铁路营业里程 135.6 万 km,到 1970 年,世界铁路营业里程为 127.9 万 km。在这个时期内,因与铁路公路和航空等运输方式的剧烈竞争,促使铁路提高了行车速度和改进了铁路客、货运输的服务设施,开始采用内燃机车和电力机车来代替落后的蒸汽机车。

### 4. 复兴时期

20 世纪 60 年代后期开始,世界铁路的发展又出现了复苏,铁路作为陆上运输的骨干地位被重新确认。其主要原因是:铁路建设与运营的各种新技术的采用,铁路竞争能力提高;20 世纪 70 年代世界能源危机加剧,铁路能耗较低的优势得以发挥;社会经济发展,城市间客运量和大宗货运量急剧增加,对铁路这种大运输能力的交通工具的需求增大。

1964 年 10 月 1 日,日本建成世界第一条高速铁路——东海道新干线,并以时速 210 km 投入商业运营,给传统铁路注入了新的活力。高速成为铁路现代化的重要标志。此后,法、英、美等国和原联邦德国都开始修建行驶高速列车的高速铁路。2007 年 3 月 13 日,法国“v150”列车成功创造了 574.8 km/h 的高速轮轨铁路世界最高时速。在发展高速铁路的同时,世界上一些有大宗煤炭或其他矿产货物运输任务的国家开始开行重载列车,行驶这种列车的铁路称为重载铁路。客运的高速化和货运的重载化成为世界铁路发展的趋势。

根据 2008 年底资料,世界上有铁路运营国家和地区计约 140 个,铁路总营业里程约 120 万 km(未含城市轨道交通系统)。铁路营业里程最长的 10 个国家分别是:美国 27.1 万 km,俄罗斯 8.7 万 km,中国(不含中国大陆和台湾省地方铁路 1 108 km)8.0 万 km,印度 6.3 万 km,澳大利亚 4.0 万 km,加拿大 5.8 万 km,德国 4.5 万 km,阿根廷 3.4 万 km,法国 3.2 万 km,巴西 2.9 万 km。世界电气化铁路总里程已达 24 万 km,约为世界铁路总营业里程的 20%。

## 二、世界铁路发展的趋势与动态

铁路作为陆上运输的主力军,在长达一个多世纪的时间里居于垄断地位。但随着汽车、航空和管道运输的迅速发展,铁路不断受到的冲击。为了适应社会和经济发展的需要,各国铁路竞相采用高新技术,不断提高客运列车速度和货物运输能力。客运的高速化和货运的重载化,成为世界铁路发展的总体发展趋势。高速和重载技术不仅带动了铁路整体技术的迅猛发展,使铁路这一传统产业向现代化产业转变,而且成为一个国家铁路科技和运输技术综合水平的重要标志。

### (一) 高速铁路

速度是交通运输,尤其是旅客运输最重要的技术指标,也是主要的质量指标。铁路自诞生以来就不断致力于提高列车运行速度。高速铁路作为一种安全可靠、快捷舒适、超大运量、低碳环保的运输方式,已成为世界铁路发展的重要趋势。

## 1. 高速铁路的定义

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。根据国际铁路联盟(UIC)的定义,高速铁路是指通过改造既有线路,使营运速度达到200 km/h以上,或者专门修建新的“高速新线”,使营运速度达到250 km/h以上的铁路系统。我国《高速铁路设计规范(试行)》(TB 10621—2009)定义,新建铁路旅客列车设计最高行车速度达到250 km/h及以上的铁路为高速铁路。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。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。

## 2. 高速铁路的主要技术特征

### (1) 高速铁路是当代高新技术的集成

高速铁路是继航天行业之后,最庞大复杂的现代化系统工程。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。高速铁路绝非依靠单一先进技术所能成功,而是建立在众多相关领域高新技术基础之上,综合协调,集成创新的成果,如图1-1所示。

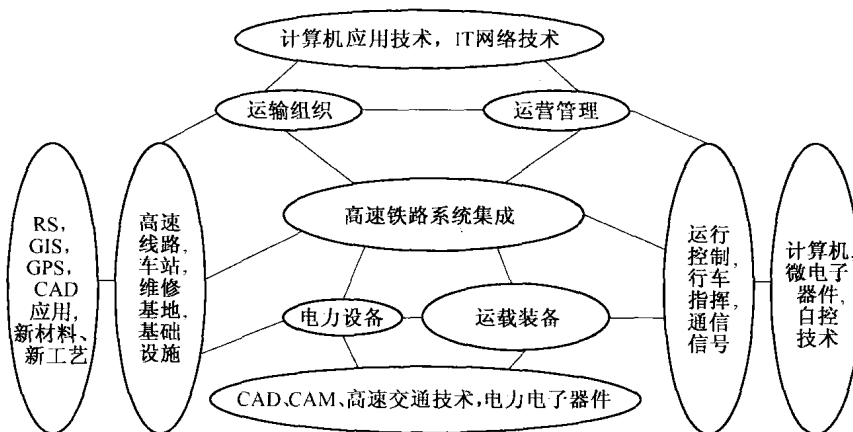


图 1-1 高新技术综合集成的高速铁路总示意图

### (2) 高速度是高速铁路高新技术的核心

速度是由常规铁路发展到高速铁路最主要的特征,也是高速铁路技术发展的核心,属于第一层次的系统目标。但是,要提高旅行速度不是轻而易举的,这不仅依赖于列车的性能,还取决于沿线的环境与条件、线路设计优劣、配套设施是否完善,并且涉及行车组织及运营管理,因此,从整个系统来看,列车旅行速度最能反映铁路的技术水平,也是铁路技术进步的具体体现。

### (3) 系统间相互作用发生了质变

高速铁路由于行车速度的大幅度提高,将引发铁路各系统及其相互关系的质变,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。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。

#### (4) 系统动力学问题更加突出

高速度引起的系统动力学问题包括:影响高速列车持续、安全、平稳运行的振动与冲击问题;列车高速运行中直接影响旅客的安全与舒适的惯性问题;高速列车空气动力学问题,如制约地面高速交通速度提高的主要因素——列车空气阻力问题、高速行车中可能引起人体各种不适感的列车内部空气密封问题、由列车运行的平稳性与车内人员的舒适感限制的线间距问题、与空气动力学效应有关的隧道断面选择问题等。

### 3. 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。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,也无论是何种类型的轨道,都要求它不仅在空间要具有平缓的线形,而且在时间上还必须具备稳固的高保持性。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率。

#### (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。

#### (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。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,运输组织与经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作出切合实际的选择,以促进高速铁路效能发挥。

### 4. 世界高速铁路的发展概况

世界上第一条高速铁路是日本 1964 年 10 月 1 日开通的东海道新干线,全长 515.4 km,当时最高运行速度达 210 km/h,它的建成通车标志着世界高速铁路新纪元的到来。

世界高速铁路的发展,大致经历了三个阶段。第一阶段,从 20 世纪 60 年代至 80 年代,为高速铁路发展初期。继日本首条高速铁路建成之后,法国、意大利、德国等国也纷纷开始研究修建高速铁路。这一时期,建成高速铁路近 3 000 km。

第二阶段从 20 世纪 80 年代末至 90 年代中期,在欧洲形成修建高速铁路的热潮,法国、德国、意大利、西班牙、比利时、荷兰、瑞典、英国等欧洲大部分国家,大规模修建本国或跨国界高速铁路,逐步形成了欧洲高速铁路网络。这次高速铁路的建设高潮,不仅仅是铁路提高内部企业效益的需要,更多的是国家能源、环境、交通政策的需要。这一时期建成高速铁路约 1 500 km。

第三阶段为 20 世纪 90 年代后期至今,世界范围内掀起了建设高速铁路的热潮,有人称之为第三次浪潮。研究修建高速铁路的国家迅速扩展,亚洲(韩国、中国)、北美洲(美国)、澳洲(澳大利亚)相继修建了高速铁路。这一阶段的主要特征体现在:一是修建高速铁路得到了各

国政府的大力支持,一般都有了全国性的整体修建规划,并按照规划逐步实施;二是修建高速铁路的企业经济效益和社会效益,得到了更广层面的共识,特别是修建高速铁路能够节约能源、减少土地使用面积、减少环境污染、交通安全等方面的社会效益显著,以及能够促进沿线地区经济发展、加快产业结构的调整等。

目前,全世界有高速铁路运营的有日本、法国、德国、英国、意大利、西班牙、韩国、比利时、丹麦、瑞典、中国等十多个国家,时速 250 km 及以上的高速铁路营业里程已超过 1.5 万 km,正在修建和规划修建高速铁路的国家和地区达 20 多个,北美、澳洲、亚洲及整个欧洲出现“铁路复兴运动”,美国、加拿大、印度、俄罗斯、捷克等国都积极筹建高速铁路。有数据显示,除我国外,目前世界其他国家在建和规划的高速铁路有近 2.5 万 km,有些国家和地区已形成高速铁路网。1998 年 10 月在德国召开的第三次世界高速铁路大会上学者就预言,21 世纪将成为高速铁路大发展的世纪。

日本是世界上第一个建成高速铁路的国家。继第一条高速铁路——日本东海道新干线后,又修建了山阳、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,总长 2 175 km,被誉为“经济起飞的脊梁”。日本正在实施扩大全国高速铁路网建设规划。

1981 年开通运营的巴黎—里昂 TGV 东南线,是欧洲第一条高速铁路客运专线。此后法国又陆续建成了其他一些高速线(现在统称 LGV 高速线),在这些线路上运行的是 TGV 系列高速列车,列车最高运行时速从最初的 260 km 提高到 300 km。法国国内已经形成运营线路总里程达到 4 500 km 的 4 条高速走廊。1972 年的试验运行中,TGV 创造了当时的 318 km 的高速轮轨时速。从此 TGV 一直牢牢占据高速轮轨的速度桂冠,1990 年 5 月 18 日,它创造出了令世界震惊的高速度:515.3 km 的时速,直到 2007 年再次创下 578.4 km/h 的当今世界铁路最高试验速度。

德国 ICE(InterCity-Express 的简称)的研究开始于 1979 年,其原理和制式与法国 TGV 有很大相似之处,目前的最高时速是 1988 年创下的时速 409 km。德国高速铁路主要采用的是客货混运运输组织模式,已建成总长约 2 620 km 的高速运输走廊,其中包括新建列车允许最高运行时速 280 km(科隆—法兰克福线为 300 km)的长 802 km 的客运专线,按最高运行时速 200 km 进行技术改造的长 1 200 km 的既有线和最高运行时速达到 160 km 的快速线。目前,纽伦堡—慕尼黑新的高速线已建成开通运营。同时,德国准备改造其他一些既有线,以实现列车高速运行。

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。目前,意大利已建成总长 438 km 的 2 条高速线,分别开行最高时速 259 km 和 300 km 的高速列车;都灵—里昂(法国)250 km 和维罗那—慕尼黑(德国)409 km 的高速新线正在修建中,这两条线路按照列车最高运行时速 300 km 双线、客货列车混运设计。西班牙既有铁路网是宽轨线路,已建成总运营里程 1 026 km 的 3 条准轨高速铁路,开行 AVE 系列高速列车,最高运行时速 350 km。现在,西班牙正在实施扩大全国高速铁路网的规划。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)第一区间(74 km)已于 2003 年 9 月 16 日开通,最高速度为 300 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。除了西欧各国正在建设高速铁路网外,东欧、南部欧洲各国也在积极进行既有有线基础设施提速改造。

如今,当日本人、欧洲人甚至是中国人习惯了风驰电掣的高速列车时,一贯比较重视发展

航空和公路运输的美国也提出了雄心勃勃的高铁计划,希望像一百多年前火车在美国风靡一时一样,让美国的客运高铁重新振兴。一股高铁热正席卷美国,按照规划,美国将致力于打造 13 条高速铁路,涉及的州多达 30 多个。

中国的高速铁路建设始 2003 年建成通车的中国第一条快速铁路客运专线——秦沈客运专线,该线全线设计时速达到 200~250 km,“中华之星”电力动车组创造了 321.5 km/h 的当时“中国铁路第一速”。秦沈客运专线可以认为是中国高速铁路的雏形,它的建设和投入运营,带动了中国铁路综合技术水平的大幅度提高,中国开始向高速铁路时代迈进。2004 年,中国制定了《中长期铁路网规划》,提出超过 1.2 万 km 的快速客运专线网建设规划(2008 年调整为 1.6 万 km)。大规模、高水平铁路建设全面展开,一大批高速铁路、客运专线相继建成并通车。至 2011 年 6 月 30 日京沪高速铁路正式开通运营,中国投入运营的高速铁路已达 6 920 km。2010 年 12 月 3 日,中国国产新一代高速动车组在京沪高速铁路上创造了 486.1 km/h 的世界铁路运营试验最高速度。目前,中国已成为世界上高速铁路系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运营速度最高、在建规模最大的国家,中国铁路的快速客运网正在初步形成。

顺便指出,因为传统的轮轨式铁路牵引力受轮轨黏着条件的限制,一般认为很难实现 500 km/h 的最高速度。要实现路上交通的更高速度,需研制新的运输工具。磁悬浮(Maglev)是当今世界最新的地面交通运输技术,其摆脱了轮轨关系的束缚,速度、运量、功率、轴重、舒适度和安全等达到了更好的结合,日本的超导斥力型磁悬浮列车 MLU、德国的超导吸力型磁悬浮列车 TR 和日本超导吸力型磁悬浮列车 HSST 都达到了工程实用化程度。我国引进德国技术修建的上海磁悬浮铁路示范运营线于 2003 年 1 月正式运营,速度可达 432 km/h,是世界上第一条高速磁悬浮铁路运营线。为减少随列车速度增大而增大的空气阻力对列车速度提高的限制,人们设想了一种更新的交通型式——管道磁浮列车,设想其时速可以上千甚至过万。我国西南交通大学牵引动力国家重点实验室已开展了相关研究。

## (二)重载铁路

### 1. 铁路重载运输的概念

铁路重载运输是指行驶列车重量大、轴重大的货车或行车密度和运量特大的铁路运输。重载化的目的是为了继续保持铁路在大宗、散装货物运输市场的优势,大幅度提高运输效率、降低运输成本。

为了推动世界重载运输的发展,国际重载协会先后在 1986 年、1994 年、2005 年 3 次修订了重载铁路标准。2005 年国际重载协会修订的重载铁路新标准是满足下列 3 条中的 2 条,即为重载铁路:①列车重量不小于 8 000 t;②轴重达 27 t 以上;③在长度不小于 150 km 线路上年运量不低于 4 000 万 t。

世界各国铁路由于运营条件、技术装备水平不同,采用的重载列车运输型式和组织方式各有特点。目前,国内外铁路开行的重载列车组织形式主要以下三种:

(1)单元式重载列车。单元式重载列车是以固定的机车车辆编组成为一个运输单元,在装卸车站间循环直达运行,运输货物品种单一、运量大而集中。这种重载运输方式运用范围广,以北美铁路为代表,美国、加拿大、澳大利亚等国均采用此方式,我国大秦重载运煤专线上也有重载单元列车开行。

(2)整列式重载列车。整列式重载列车是采用普通列车的组织方法,由大功率单机或多机牵引,由不同型式和载重的货车车辆混合编组,达到规定载重量标准的列车。在我国繁忙干线上开行的重载列车主要为这种模式,其他国家应用较少。

(3)组合式重载列车。组合式重载列车是由两列及以上普通货物列车首尾相接、合并组成的列车。我国大秦线运行的 20 000 t 重载列车采用该形式。世界范围内应用不太广泛。

重载运输对铁路技术装备提出了更高的要求。铁路工务设备上,要强化重载线路和桥梁的承载能力,使其具有高度的耐久性、可靠性和平顺性;铁路供电设备上,要根据重载列车牵引重量标准、列车追踪间隔时分等对牵引供电的需求来设计变电所容量和供电臂长度,保持供电区间长度和行车区间大小的适配关系;铁路机务设备上,开行重载列车必须采用大功率的电力或内燃机车,牵引机车应采用电空制动方式、无线遥控同步运转的 LOCOTROL 分布式动力系统等技术方法及技术设备,同时还应具有能牵引或顶送重载列车的调车机车;在车辆设备上,重载货车通常采用载重量大、强度高、自重系数小的大型四轴货车,货车车体大量采用耐腐蚀的钢结构和铝合金材料,高强度、低自重、浴盆式车体,低动力作用的转向架或径向转向架,装备新型的空气制动装置、高强度车钩和大容量高性能缓冲器,采用耐候钢、低合金钢及铝合金等轻型高强度的车体结构材料,以及采取改进车体承载形式和优化结构设计的手段来降低车辆自重,通过车辆结构合理优化货车动力作用。

重载铁路不仅代表了铁路货运领域的先进生产力,而且带来了高的劳动生产率和巨大经济效益。北美铁路是重载运输发展最早的地区,20 世纪 70 年代末美国一级铁路开始了重载运输,由于大力发展重载运输技术,以 1980 年为指数 100% 计算,1999 年北美一级铁路生产率(即每一美元运营成本所获得的吨英里周转量)提高了 171%,货车平均容量提高了 15.1%,事故率降低了 64%,运行成本下降了 65%,在北美货运市场的占有份额大大增加。澳大利亚的纽曼矿山铁路 1973 年开始研究采用重载运输技术,劳动生产率逐年提高,成本逐年下降,2000 年与 1980 年相比,燃油消耗下降 43%,每百万吨矿石运输所需人力从 30 人减少到 5 人,机车车辆无故障运行时间由 300 万 km 上升到 920 万 km,可靠性上升 3 倍,机车车辆利用率提高了 36%,车轮、钢轨寿命提高了 3~5 倍。瑞典铁路北部的挪威至瑞典矿山铁路 1997 年开行重载列车后,年运量从 2 000 万 t 提高到 3 000 万 t,运输成本降低了 35%,铁路在运输市场上的竞争能力大大提升。

## 2. 世界铁路重载运输的发展动态

世界铁路重载运输是从 20 世纪 50 年代开始出现并逐渐发展起来;20 世纪 60 年代中后期,重载铁路运输因其运能大、效率高、运输成本低而受到世界各国的广泛重视,重载运输开始取得实质性进展,特别是在一些幅员辽阔、资源丰富,煤炭和矿石等大宗货物运量占有较大比重的国家,如美国、加拿大、巴西、澳大利亚、南非、瑞典等国家,相继在运输大宗散装货物的主要方向上开创了固定车底单元列车循环运输方式;20 世纪 80 年代以后,由于新材料、新工艺、电力、电子、计算机控制和信息技术等现代高新技术在铁路上的广泛应用,特别是在牵引动力,车辆大型化、轻量化,同步操作和制动技术等方面的突破,铁路重载运输技术及装备水平有了很大提高。

目前,国外已开行重载列车的有美国、加拿大、澳大利亚、巴西、俄罗斯、南非、瑞典、印度等国家,重载列车牵引重量一般为(1~3)万 t,最大轴重已达到 35 t,美国目前正在研究 40 t 轴重的重载列车。

美国是世界重载运输首创国,当前美国拥有铁路里程 23 万 km,居世界首位。列车平均牵引质量达 9 632 t,货物平均运距 1 199 km。其中开展重载运输的 I 级线路约 16 万 km。重载铁路煤炭运量占铁路全部货运量的 45%,占全美国煤炭运量的 65%,提供全美国 50% 电力。

双层集装箱重载列车全面开行。美国最大的一级铁路公司联合太平洋铁路(UP)公司营业里程 5.4 万 km, 其所有列车平均牵引质量达 14 900 t, 一般重载列车牵引质量普遍达到 (2~3) 万 t, 其复线年货运量在 2 亿 t 以上。1967 年 10 月, 美国诺克福西方铁路公司(N&W) 在韦尔什—朴次茅斯间开行重载列车, 编组 500 辆、6 台内燃机车、全长 6 500 m、总重达 44 066 t。

加拿大铁路约 5.7 万 km, 采用重载运输后铁路占货运市场份额达 30%, 占全部出口运量的 40%。加拿大典型单元重载列车为 3×3 236.2 kW 交流传动内燃机车+124 辆轴重 33 t 货车, 牵引质量 16 000 t, 平均速度 70 km/h, 最高速度 85 km/h; 典型集装箱重载列车为 2×3 236.2 kW 交流传动内燃机车+9 000 t 列车, 50% 是双层集装箱平车, 货运成本仅 1.6 美分/(t·km), 平均速度 75 km/h, 最高速度 100 km/h。

澳大利亚重载运输产值占 GDP 的 1.7%, 货运量占货运市场的 40%, 年增长率达 4.5% 左右。哈默利斯铁矿铁路重载列车一般编组为 226 辆货车, 牵引重量为 28 000 t。2001 年 6 月 21 日, 澳大利亚在纽曼山—海德兰铁路线上, 试验开行了编组达 682 辆货车的重载列车, 总长 7 353 m, 牵引重量达 99 734 t, 净载重为 82 000 t, 全列只有 1 名司机, 另外 7 台机车由 GE 公司生产的哈里斯机车遥控系统控制, 创造了重载列车新的试验纪录。

南非在一些以运送矿石、煤炭为主的线路上, 开行由 6~7 台内燃机车牵引 200 余辆车辆、载重 2 万 t 的重载列车, 列车全长 2.2 km。1989 年 8 月, 南非铁路在锡申—萨尔达尼亚间开行重载列车, 创造了开行重载列车的 4 项纪录: 列车长度最长——7 300 m, 编组车辆数最多——660 辆, 列车牵引质量最大——71 232 t, 行驶距离长——861.5 km。

目前, 俄罗斯、印度等一些国家在重载运输方面也在奋起直追, 并已取得了良好成绩。前苏联莫斯科铁路局于 1979 年初开始试验、组织超长列车的运行, 作为在通过能力接近饱和的区段挖掘潜力提高输送能力的一种措施。从开行第一列 6 000 t 运煤重载列车起, 列车重量增加, 以至达到 3.4 万 t。俄罗斯铁路正在全国积极推进重载运输。俄罗斯重载运输的特征是行驶超长超重列车、组织合并列车, 发展直达运输。

目前, 不仅在幅员辽阔的大陆性国家的重载线路上大量开行重载列车, 而且在传统以客运为主的欧洲客货混运干线铁路上也开始开行重载列车。德国铁路从 2003 年开始在客货混运的既有线路(如汉堡—萨尔兹特)上开行轴重 25 t、牵引重量 6 000 t 的重载列车, 最高运行速度 80 km/h(重车), 同时开行 200~250 km/h 速度的旅客列车; 2005 年 9 月开始, 法国南部铁路正式开行 25 t 轴重的运送石材的重载列车; 芬兰铁路正在研究开行 30 t 轴重的重载列车。欧盟经研究认为: 欧洲铁路客运非常发达, 但欧洲铁路货运同样也很繁忙, 货运量占全世界铁路货运总量的 30%, 而且每年还以 4.4%~7.5% 的速度增加, 欧洲铁路的货运量中有 30% 重载运输潜力。2001 年以欧洲铁路为主体的国际铁路联盟(UIC)已加入国际重载运输协会(IHHA)。

美国也已在东北走廊既有高速铁路上开行 30 t 轴重重载列车。2003 年美国在东北走廊高速铁路的巴尔的摩和 Rerryville 间开行 240 km/h 的 Acela 高速列车的同时, 还开行轴重为 30 t、平均速度为 80 km/h 的重载列车。Acela 高速列车的动力车轴重为 25.5 t, 高速客车轴重为 15.9 t。这是世界既有有线高速铁路同时开行重载货物列车轴重最大的一条铁路, 其年货运量达 3 700 万 t, 年客运量 2 650 万人, 每天开行 122 列客货列车。



### 三、中国铁路发展与规划

#### (一) 中国铁路的发展历程

##### 1. 旧中国的铁路建设

有关铁路信息和知识开始传入中国,大约是在 1840 年鸦片战争前后。当时中国的爱国有识之士,如林则徐、魏源、徐继畲等人先后著书立说,介绍铁路知识。特别是太平天国干王洪任轩于 1859 年所著《资政新篇》中,强调近代交通运输对巩固政权和建设国家的重要性,提出了发展交通运输的创议。但这一理想由于太平天国的失败而未能实现。在这期间,帝国主义列强纷纷谋求在中国修建铁路,以便把他们的侵略势力从中国沿海伸向内地,并为此展开了种种活动,如 1865 年英商在北京宣武门外修建了一条长约 0.5 km 的窄轨铁路,清政府以“见者骇怪”为理由,命令拆除。

1876 年,中国土地上出现了第一条铁路,这就是英国怡和洋行采取欺骗手段擅自修筑的上海至吴淞之间修建约 15 km 长轨距为 762 mm 的窄轨铁路。这条铁路经营了一年多时间,就被清政府赎回拆除了。五年后,在清政府洋务派的主持下,于 1880 年开始修建唐山至胥各庄(今丰南)铁路,从而揭开了中国自主修建铁路的序幕。这条铁路 1881 年竣工,长 9 km,轨距为 1 435 mm,以后广泛采用,成为我国铁路的标准轨距。开通时只允许用骡马牵引,1882 年改用机车牵引,这台机车是由旧锅炉改制而成,时速 32 km,可牵引 100 多吨,是我国制造的第一台蒸汽机车。此后又在台湾修筑了台北到基隆港和到新竹的铁路。但由于清政府的昏庸愚昧和闭关锁国的政策,早期修建铁路的阻力很大,到 1894 年中日甲午战争前夕,近二十年的时间里仅修建约 400 多公里铁路。

1894 年,清政府在中日甲午战争中战败后,割地赔款,国力大损,帝国主义国家接连发动侵华战争,迫使清政府割地赔款,订立种种不平等条约,在我国划分势力范围,攫取中国的铁路权益。他们或强行擅筑,或假借“合办”,或通过贷款控制,中国路权被吞噬和瓜分,形成帝国主义掠夺中国路权的第一次高潮。他们按照各自的需要,分别设计和修建了一批铁路,标准不一,装备杂乱,造成了中国铁路的混乱和落后局面。用中国劳动人民血汗修建起来的铁路,成了帝国主义对我国进行经济掠夺和军事侵略的工具,铁路过处,主权尽失。在全国舆论“保路”“赎路”的压力下,清政府才自行筹款,修建了京张、株萍等少量铁路。到 1911 年清帝退位时,全国铁路通车里程约 7 800 km。其中帝国主义直接修建经营的约占 41%;帝国主义通过贷款控制的约占 39%;国有铁路,包括中国自力更生修建的京张铁路和商办铁路及赎回的京汉、广三等铁路仅占 20%左右。

国民党统治时期,先后建成了粤汉路株(洲)韶(关)段、陇海、同蒲、江南(南京至芜湖)、淮南(田家庵—裕溪口)等铁路。1931 年“九一八”事变后,日本帝国主义侵占东北,为了经济掠夺和军事侵略,先后修建了吉(林)长(春)、四(平)辑(安)、图(们)佳(木斯)、锦(州)承(德)、叶(柏寿)赤(峰)等铁路。到 1937 年抗日战争爆发前夕,东北铁路通车里程达 8 300 km,全国铁路通车里程达 19 000 km。

抗日战争时期,铁路员工利用撤退时拆卸的铁路器材,修建了湘桂路的衡(阳)来(宾)段、黔桂路的柳(州)都(匀)段、叙(府)昆(明)路的昆沾(益)段,以及宝(鸡)天(水)线、綦江线(猴儿沱至三江)。抗战末期(1945)年,在国民党统治区内勉强通车的铁路只剩下 1 409 km。

旧中国的铁路,自 1881 年兴建唐胥铁路到 1949 年全国解放前夕,通车里程仅为 21 800 km(台湾省未计入)。在这 69 年间,平均每年修建铁路 320 km,发展速度非常缓慢。

旧中国的铁路,多为帝国主义为其侵略服务而修建,分布极不合理,铁路集中于薄弱地区