

面向新世纪课程教材

Textbook Series for the New Century

轨道工程

练松良 主编 王午生 主审



同济大学出版社

U213.2

2

2006

同济大学“十五”规划教材
同济大学教材、学术著作出版基金委员会资助

轨道工程

练松良 主编
王午生 主审

同济大学出版社

内 容 提 要

本书首先介绍铁路轨道的发展历史,然后系统地介绍有碴轨道和无碴轨道的结构形式与组成、道岔、轨道几何形位、轨道结构的受力分析、无缝线路及线路的维修养护、铁路与城市轨道交通的振动及噪声等,并结合近几年国内外铁路轨道技术的发展,介绍新技术和新理论。同时,根据城市轨道交通的特点,介绍有关城市轨道交通轨道结构的内容。

本书可作为交通土建专业铁路与城市轨道交通方向的本科教材;根据内容取舍,也可作为大专、高职及函授教材;还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轨道工程/练松良主编. —上海:同济大学出版社,
2006.5

面向新世纪课程教材

ISBN 7-5608-3252-0

I. 轨… II. 练… III. 轨道(铁路)—高等学校
—教材 IV. U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 019192 号

轨道工程

练松良 主编

王午生 主审

责任编辑 曹 建 责任校对 谢惠云 封面设计 李志云

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂印刷

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 22.25

字 数 445 000

印 数 1 3 100

版 次 2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-3252-0/U·272

定 价 32.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

自 1825 年第一条铁路在英国投入运营以来,至今全世界已有铁路总长超过 120 万 km。至 2002 年底,全世界已经建成高速铁路并投入运营的国家有 10 个,线路总长 5435km;在 2007 年前,世界上将还有 9 个国家及我国台湾省建成并陆续投入运营 16 条高速铁路,总长度达到 3267km。

目前,铁路和城市轨道交通在我国交通运输体系中具有重要的作用和地位,在运输市场中仍占主要份额。至 2004 年底,我国的铁路营业里程为 74408km。2004 年国务院批准的《中长期铁路发展规划》中,我国将建设“四纵四横”铁路快速客运通道以及三个城际快速客运系统,至 2020 年铁路营业里程将达到 10 万 km,铁路还需投资 2 万亿元人民币。自 1997 年开始,我国铁路已进行了 5 次提速,2006 年进行了最高时速为 200km 的第六次提速。我国的重载铁路——大秦线,目前列车的牵引重量已达 2 万 t,年运量达 2 亿 t。按照规划,大秦线将开行 4 万 t 列车,年运量达 4 亿 t,以缓解晋煤外运的紧张状态。随着我国城市化进程的发展,大城市加快了轨道交通建设的步伐,北京计划 22 条总长约 1000 km、上海计划 18 条总长约 810 km、广州计划 15 条总长约 610 km 的城市轨道交通建设。北京、上海、天津、重庆、广州、深圳、南京、武汉、成都、长春、苏州、杭州、沈阳、哈尔滨等 14 个大城市轨道交通的近期建设规划将达到 1700km 左右;青岛、西安、厦门、济南、长沙、郑州、石家庄、宁波、无锡、福州等大城市,也正在积极开展城市轨道交通建设的规划工作。这表明我国城市轨道交通即将进入一个新的历史发展阶段。

轨道结构作为铁路和城市轨道交通运输的重要基础设施,其结构性能对列车的安全、平稳运行有重要的影响。近几年来,我国客运专线建设、既有线提速改造和城市轨道交通建设等方面,新技术、新工艺和新型轨道结构不断出现。同时,轨道结构动力学、轮轨动力学、列车-轨道相互作用等方面的理论也不断完善和发展。作为用于本科教学的教材,要求能在全面反映轨道结构基本理论和专业技术的基础上,同时也能反映国内外最新的成熟理论和技术。本教材在以前本科专业教材的基础上,进一步完善了轨道结构理论,融入了新理论和新技术的发展。

本教材的目的是要求交通土建专业铁路与城市轨道交通方向的学生能对铁路轨道有一较全面的了解,并对近几年来轨道结构的新技术、新产品有所了解,使得毕业的学生能胜任铁路和城市轨道交通的设计、施工、管理、教学及科研等

方面的工作。

本教材共分八章,第一章介绍世界和我国铁路的发展,铁路轨道的起源和前期的发展;第二章介绍有碴轨道,详细叙述钢轨、扣件、钢轨接头、轨枕和道床的种类及性能;第三章介绍当今世界高速铁路重点发展的无碴轨道,世界上一些发达国家无碴轨道的结构类型;第四章介绍道岔的基本结构及高速、提速道岔;第五章介绍轨道的几何形位;第六章介绍轨道结构受力的计算和分析方法;第七章介绍无缝线路的基本原理、桥上无缝线路和超长无缝线路;第八章介绍城市轨道交通的减振降噪及城市轨道交通轨道结构类型。

全书由练松良主编,戴月辉参与了第三章和第四章的编写,刘丽波参与了第五章和第六章节的编写。

在本书编写过程中,得到了领导的支持和王午生教授的指导。上海铁路局工务处杨祖表、上海铁路城市轨道交通设计研究院刘富为本教材提供了有关资料,在此表示感谢。

限于作者水平,加之付梓仓促,本书错误与不当之处难免,欢迎各位专家及广大读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 世界和中国铁路的发展	(1)
一、世界铁路的发展	(1)
二、中国铁路的发展	(5)
第二节 轨道在铁路运输中的地位和作用	(8)
第三节 铁路轨道的发展	(9)
一、轨道结构的形成和发展	(9)
二、世界铁路的轨距.....	(14)
第二章 有碴轨道	(16)
第一节 轨道的结构形式和组成	(16)
第二节 钢 轨	(17)
一、钢轨截面设计原则及我国主型钢轨截面形状.....	(18)
二、对钢轨的材质要求.....	(21)
三、钢轨尺寸允许偏差及平直度要求	(24)
四、钢轨伤损.....	(26)
五、钢轨探伤.....	(30)
第三节 钢轨接头	(34)
一、接头联结零件.....	(34)
二、接头轨缝.....	(36)
三、接头布置.....	(36)
四、接头类型.....	(37)
五、钢轨接头不平顺及受力.....	(39)
第四节 扣 件	(40)
一、木枕扣件.....	(41)
二、混凝土轨枕扣件.....	(42)
三、国外铁路扣件类型及其主要参数.....	(45)
四、扣件的工作特性.....	(47)
第五节 轨 枕	(48)
一、木 枕.....	(49)

二、钢枕	(49)
三、混凝土轨枕	(50)
四、轨枕间距	(56)
第六节 道床	(56)
一、道床的功能	(56)
二、道碴材质、级配及清洁度	(57)
三、道床底碴材料	(59)
四、道床断面	(59)
五、道床变形	(60)
六、道床污脏	(62)
七、高速铁路轨道的道床	(62)
第七节 其他轨道部件	(64)
第八节 特殊地段的轨道过渡段	(66)
一、路桥过渡段的路基处理方法	(67)
二、过渡段轨道的常用处理方法	(68)
三、满足高速行车安全舒适的过渡段不平顺控制标准	(69)
第九节 铁路运营条件与轨道结构的关系	(71)
一、轴重的影响	(71)
二、速度的影响	(72)
三、运量的影响	(73)
第三章 无碴轨道	(75)
第一节 无碴轨道结构及国内外使用情况	(76)
一、日本新干线的无碴轨道	(76)
二、德国铁路无碴轨道	(80)
三、欧洲其他国家铁路和地区的无碴轨道	(85)
四、我国铁路无碴轨道结构	(89)
第二节 无碴轨道的扣件	(92)
一、普通型扣件	(92)
二、分开式扣件	(93)
三、减振型扣件	(96)
四、小阻力扣件	(97)
第三节 无碴轨道过渡段	(97)
一、无碴轨道与有碴轨道之间的过渡	(97)
二、路桥过渡段	(98)
三、路隧过渡段	(98)

四、道岔区与区间无碴轨道过渡段	(100)
五、路堤与路堑过渡段	(100)
第四节 无碴轨道的施工	(100)
一、板式轨道施工	(100)
二、长轨枕埋入式无碴轨道施工	(101)
三、弹性支承块承轨台无碴轨道施工	(102)
四、浮置板无碴轨道施工	(102)
第四章 道岔	(105)
第一节 道岔的种类和单开道岔的构造	(105)
一、转辙器	(107)
二、辙叉和护轨	(112)
三、连接部分	(118)
四、岔枕	(119)
第二节 道岔的几何形位	(120)
一、道岔各部分的轨距	(120)
二、辙器部分的间隔尺寸	(121)
三、导曲线支距	(122)
四、辙叉和护轨部分的间隔尺寸	(123)
五、有害空间 l_H	(125)
六、可动心轨	(126)
第三节 单开道岔总布置图	(126)
一、曲线尖轨、直线辙叉的单开道岔计算	(126)
二、直线尖轨转辙器的计算	(133)
三、可动心轨辙叉的计算	(133)
第四节 过岔速度和提速道岔, 高速道岔	(134)
一、过岔速度分析	(135)
二、提速道岔	(139)
三、无缝道岔	(141)
四、高速道岔	(141)
第五节 道岔运输和铺设机械	(144)
第五章 轨道几何形位	(147)
第一节 机车车辆基本知识	(147)
一、转向架的作用和构造	(147)
二、转向架的分类	(148)
三、轮对	(149)

四、机车车辆的运动形态与类型	(152)
第二节 轨道几何形位基本要素	(153)
一、轨 距	(154)
二、水 平	(155)
三、高 低	(156)
四、方 向	(157)
五、轨底坡	(157)
第三节 曲线轨道轨距加宽	(158)
一、机车车辆通过曲线轨道的内接方式	(159)
二、曲线轨道轨距加宽的计算原理	(160)
三、曲线轨道的容许最大轨距	(162)
第三节 曲线轨道外轨超高	(162)
一、外轨超高的计算	(162)
二、未被平衡的横向加速度、欠超高和过超高	(165)
三、曲线轨道外轨超高最大值的规定	(166)
四、曲线轨道上最高行车速度	(168)
第五节 缓和曲线	(169)
一、几何形位的要求	(169)
二、常用缓和曲线	(171)
三、国内外铁路应用的缓和曲线及其分析与比较	(172)
四、缓和曲线长度	(174)
第六节 缩短轨	(177)
一、短量的计算	(178)
二、缩短轨的数量及其配置	(179)
第七节 曲线轨道方向整正	(181)
一、圆曲线计划正矢的计算	(182)
二、缓和曲线计划正矢的计算	(184)
三、拨量的计算	(187)
四、各点拨量对前后各点曲线正矢的影响	(189)
五、计算拨量的限制条件	(189)
六、计划正矢的进一步修正	(190)
七、曲线整正的步骤与方法	(191)
第六章 轨道结构力学分析	(193)
第一节 概 述	(193)
第二节 作用于轨道上的力	(194)

一、竖向力	(194)
二、横向水平力	(196)
三、纵向水平力	(197)
第三节 轨道结构竖向受力分析及计算方法	(198)
一、轨道静力计算	(199)
二、轨道动力响应的准静态计算	(204)
三、轨道各部件的强度检算	(207)
四、轨道强度计算举例	(217)
第四节 无碴轨道弹性支承叠合梁计算	(222)
一、无碴轨道纵向计算	(222)
二、无碴轨道横向计算	(226)
第五节 曲线轨道横向受力分析	(228)
一、摩擦中心理论	(229)
二、横向水平力的限值	(231)
三、车辆安全评估	(232)
第七章 无缝线路	(235)
第一节 概 述	(235)
一、世界铁路无缝线路的发展	(235)
二、无缝线路的类型	(236)
三、无缝线路的技术经济效果	(237)
四、无缝线路关键技术的发展趋势	(238)
第二节 无缝线路温度力计算	(239)
一、温度力的计算	(239)
二、轨 温	(240)
三、最大最小温度力	(242)
第三节 线路纵向阻力和无缝线路温度力分布	(243)
一、接头阻力	(243)
二、扣件阻力	(244)
三、道床纵向阻力	(245)
四、长轨条的温度力分布	(246)
五、缓冲区轨缝的计算	(249)
第四节 无缝线路稳定性	(250)
一、概述	(250)
二、影响无缝线路稳定性的因素	(251)
三、不等波长的无缝线路稳定性计算公式	(255)

第五节 普通无缝线路设计	(262)
一、设计锁定轨温的确定	(262)
二、无缝线路结构计算	(263)
第六节 桥上无缝线路	(264)
一、梁轨相互作用原理和基本微分方程	(265)
二、附加伸缩力的计算	(266)
三、附加挠曲力的计算	(270)
四、断缝和断轨力的计算	(272)
第七节 无缝线路长钢轨纵向力的测定	(273)
第八节 超长无缝线路	(275)
一、超长无缝线路的设计	(276)
二、无缝道岔	(277)
第九节 应力放散和应力调整	(279)
一、应力放散	(280)
二、应力调整	(280)
第十节 长钢轨的焊接、运输和铺设	(281)
一、长钢轨焊接	(281)
二、长钢轨的运输与铺设	(284)
三、新线一次性铺设无缝线路	(286)
第八章 铁路和城市轨道交通的振动与噪声	(293)
第一节 振动的产生及评价标准	(293)
一、振动对人的影响	(294)
二、环境振动测量	(294)
三、振动强度标准	(295)
第二节 噪声的产生及评价标准	(297)
一、噪声对人的影响	(298)
二、噪声测量	(299)
三、噪声标准	(302)
第三节 铁路噪声的组成	(303)
第四节 轮轨噪声	(305)
一、滚动噪声	(306)
二、冲击噪声	(307)
三、波磨噪声	(308)
四、啸叫噪声	(309)
五、轮轨噪声的预测	(310)

六、轮轨噪声的估算	(313)
第五节 减振降噪措施	(314)
一、降低滚动噪声的措施	(314)
二、轮轨冲击噪声的降噪措施	(315)
三、钢轨波磨噪声的降低措施	(315)
四、啸叫噪声的降低措施	(316)
第六节 减振降噪型轨道结构	(316)
一、轨道结构的振动和噪声特点	(317)
二、轨道结构部件与一般减振降噪措施	(318)
三、城市轨道交通轨道结构钢轨扣件的选择	(319)
四、弹性支承块(枕)轨道结构	(320)
五、浮置板式轨道结构	(323)
六、其他减振降噪型轨道结构	(325)
附 录	(327)
附录一 国外铁路机构简称	(327)
附录一 国外大型养路机械公司	(328)
附录三 常用公英制转换	(328)
附录四 铁路工程汉英词汇	(328)
参考文献	(340)

第一章 绪 论

人类的活动离不开交通运输,在机械动力发明以前,所有的地面交通运输都是靠人力或畜力完成的,当时的旅行速度也就是人走和马跑的速度。由于没有机械动力,运输能力处于相当低的水平。随着生产力的发展和机械动力的发明,人们渴望速度更快、运输量更大的运输工具,于是就有新型的地面运输工具被发明和投入使用。在航运、铁路、公路、航空四大运输体系中,铁路的历史仅次于航运。铁路曾经或现在依然是许多国家的主要交通工具。在 180 年的铁路发展过程中,铁路创造了很多奇迹和“之最”,如秘鲁建成了海拔 4818m 的世界高原铁路;我国青藏线是目前世界上海拔最高、里程最长的高原铁路,在唐古拉山的最高点海拔达 5072m,多年冻土区铁路 550km;澳大利亚有一条长达 528km 的直线路段铁路;日本修建了 53.85km 的铁路海底隧道。铁路桥梁的建设也创造了诸多奇迹。

近几年来,我国运输市场竞争剧烈,随着高速公路的迅速发展,铁路的客货运有所下降,但由于铁路具有运量大、速度较快、能耗低、运价低、安全可靠、对环境污染小以及全天候运输等优点,我国的煤炭、石油、钢铁和大型设备以及中长距离(1000km 左右)的旅客运输任务主要还是由铁路来承担,所以铁路运输在我国整个运输体系中仍起着骨干作用。

第一节 世界和中国铁路的发展

一、世界铁路的发展

不同的历史时期,人们对运输工具速度的期望值不同。1825 年,英国在大林顿(Darlington)至斯托克顿(Stockton)建成世界上第一条公用商业铁路,当时的英国保守势力竭力反对修建铁路。1830 年,在利物浦(Liverpool)至曼彻斯特(Manchester)的铁路上,当机车以 22km/h 的速度牵引 17t 货物时,人们看到了铁路运输巨大的潜力,在以后的近 100 年中,铁路得到了前所未有的发展。

从 1840 年到 1913 年第一次世界大战前,由于当时高速公路和航空运输尚未发展,人们要在陆上实现快速和大运量运输只能依靠铁路,所以此阶段美国、欧洲的铁路发展突飞猛进。在此期间,世界上每年平均要修建 2 万 km 以上的铁路。在 1881—1890 年这 10 年中,美国平均每年要新建铁路 1 万 km 以上。

德国在 1866—1870 年间,曾用投资的 70%用于修建了长达 2443km 长的铁路。在第一次世界大战前,美国、英国、法国、德国、意大利、比利时、西班牙等国先后建成了本国的铁路网,铁路成了这些国家工业化的先驱,并奠定了工业化的基础。到 1913 年,美国的铁路营业里程达到了前所未有的 40.2 万 km,全世界铁路的营业里程达 110 万 km,其中 80%集中在美国、英国、法国、德国和俄罗斯五个国家。铁路垄断了陆上的交通运输,其所承担的运输量占全社会总运输量的 80%以上。

在第二次世界大战期间,欧洲各国的经济受到了战争的破坏,铁路也不例外。在此期间,铁路的行车速度大幅度降低,直到 20 世纪 50 年代中期,行车速度才恢复到战前水平,最高速度一般为 140km/h 左右,个别达到 160km/h。至于旅行速度,少数电力、内燃牵引的列车,法国、西德、美国达到 135km/h 左右,英国、意大利达到 120km/h 左右;蒸汽牵引的列车达到 110km/h。

第二次世界大战后,汽车和飞机制造业发展很快,高速公路和民用航空逐渐兴起,铁路运输业客货运量日减,营业亏损,一度被称为“夕阳产业”。但前苏联和第三世界国家,在第二次世界大战后的铁路有所发展,到 1970 年为止,全世界的铁路营业里程达 127.9 万 km。

“山穷水尽疑无路,柳暗花明又一村”,高速铁路就是为了和高速公路、民用航空竞争,才逐步发展起来的。在近 100 年来,世界上主要资本主义发达国家都经历了高速列车的研究、试验和发展应用阶段。1964 年 10 月 1 日,日本东海道新干线东京—大阪高速铁路正式开通并投入商业运营。这是世界上第一条完全按照高速行车技术条件建造的铁路,其安全运营的最高时速达 210km(0 系列)。2004 年,日本生产出 800 系列高速列车,图 1-1 所示就是日本高速铁路的 500 系



图 1-1 日本的 500 系高速列车

列高速列车。法国是创造铁路列车试验速度最高的国家。1990年5月18日，TGV-A set 325 高速试验列车速度达到 515.3 km/h,1983年，法国 TGV-PSE 电动车组投入运营，最高运行速度为 270km/h,图 1-2 所示是法国高速铁路的 TGV 列车。1989年，德国开始正式制造 ICE 高速列车，并于 1990年投入运用，图 1-3 所示是德国高速铁路的 ICE3 列车，最高速度为 330km/h。瑞典的 X2000 列车是目前世界上先进的主动侧倾式摆式列车，如图 1-4 所示。由于一般既有线的平面条件较差(曲线半径较小)，使用 X2000 列车可提高列车的通过曲线速度，同时不降低旅客的舒适度。X2000 最高试验速度为 275km/h,最高运行速度为 200km/h。

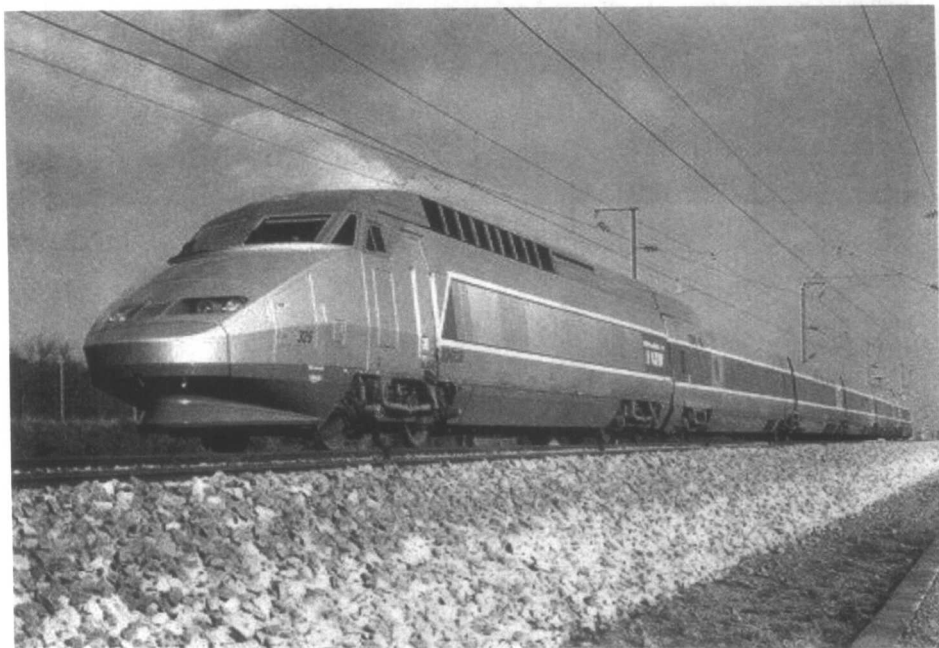


图 1-2 法国的 TGV 高速列车

到目前为止，高速铁路也是在一些经济发达的国家建成并投入运行。至 2002 年底，世界上已建成的高速铁路约 5 435km,在建 3 267km,时速达到 200km/h 以上的铁路已超过 1 万 km。高速行车的铁路可概括为三种类型，一为客运专线型，如日本、法国的高速铁路；二为客货共线型，如德国和意大利的高速铁路；三为客货共线摆式列车型，是在既有铁路上开行摆式列车以实现高速，瑞典、意大利、西班牙、英国、日本等国的部分干线采用了这种运行方式。

在发展高速铁路的同时，美国、加拿大、澳大利亚、巴西和南非等国大力发展重载铁路。以往没有重载铁路的统一标准，1986年10月在加拿大温哥华召开

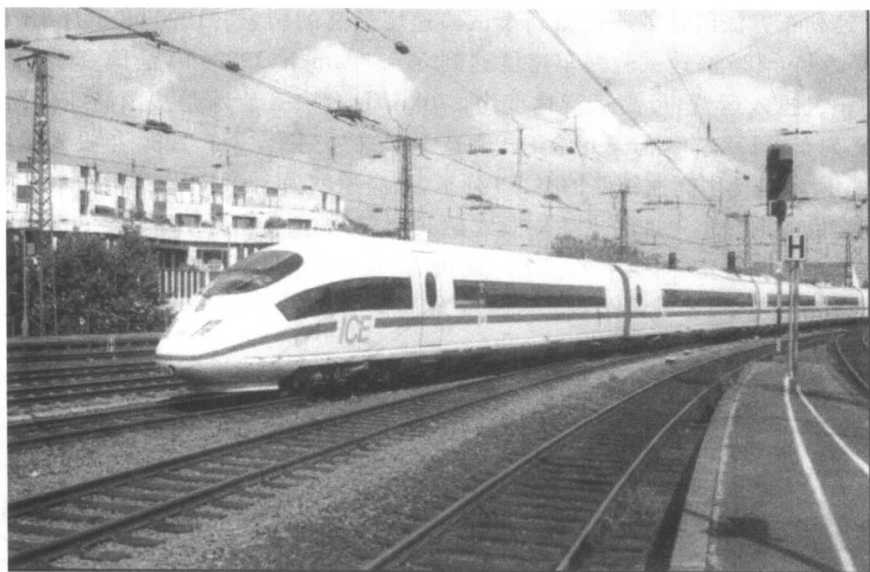


图 1-3 德国的 ICE3 高速列车



图 1-4 瑞典的 X2000 列车

的第三届重载运输会议上确定,凡属重载运输,必须满足以下三个条件中的两个,即年运量不少于 20Mt 的线路,列车牵引重量达 5000t 以上,列车轴重 25t 以上。由于美国、加拿大、澳大利亚、巴西和南非这些国家幅员辽阔,有大量的矿石、原材料和粮食需要运输,所以重载列车得到了较大的发展。这些国家重载运输特点是,列车运行密度低,列车牵引重量大,车辆轴重大,如美国铁路车辆的最大轴重达 36t,以缩短列车长度。图 1-5 是美国联合太平洋铁路公司(Union Pacific Railroad Company)的双层集装箱重载列车。



图 1-5 美国联合太平洋铁路公司的双层集装箱重载列车

二、中国铁路的发展

1876 年,英国商人未经中国清朝政府批准,在上海擅自修建从上海至吴淞 14.5km 长的铁路,这是中国大陆首次建造的铁路,比英国第一条铁路晚 51 年,但通车后 16 个月就被清政府拆除,路材被运往台湾。1881 年开始修建唐山至胥各庄铁路,从而揭开了中国自主修建铁路的序幕。到 1894 年中日甲午战争前夕,近 20 年的时间里仅修建约 400 多 km 铁路。中国杰出的铁路工程专家詹天佑(1861—1919),1905 年主持修建了我国第一条由中国人自行设计施工的官办干线铁路——京张铁路,为中国人争了一口气,展示了中国人民的伟大和智慧。自 1876 年至 1949 年的 70 余年中,全国铁路只有 21810km,其中只有 11000km