



董志洪 编著

高技术铁路

与钢轨

冶金工业出版社

高技术铁路与钢轨

董志洪 编著

北 京
冶金工业出版社
2003

内 容 简 介

本书分上下两篇。上篇全面详细地介绍了以高速铁路、地下铁路和城市高架轻轨为代表的高技术铁路的发展过程和今后的发展趋势。本书通过介绍以法国的 TGV 列车、日本的子弹头列车和德国的 ICE 列车为代表的新型高速列车和磁悬浮列车的技术特点和主要技术经济参数,向读者展现了高技术铁路的迷人风采和今后广阔的发展前景。本书还介绍了世界一些国家的铁路现状和今后发展规划。

本书下篇系统地介绍了现代铁路钢轨生产技术发展情况,包括钢轨生产工艺、孔型设计、钢轨品种性能、产品质量检测,以及世界主要钢轨生产企业的基本概况和工艺设备参数等,可为我国有关企业开发高速铁路用钢轨提供技术支持。

本书可供国家政府部门、科研部门、设计部门、咨询机构的有关人员进行有关高速铁路、地下铁路、城市轨道交通等项目的决策、设计和研究时参考,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书和对相关专业在职工程技术人员进行培训的教材。

图书在版编目(CIP)数据

高技术铁路与钢轨/董志洪编著. —北京:冶金工业出版社,2003.1

ISBN 7-5024-3167-5

I. 高… II. 董… III. ①高技术—应用—铁路
②高技术—应用—钢轨 IV. ①U23 ②U213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 096191 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 李培禄 美术编辑 王耀忠 责任校对 朱 翔 责任印制 牛晓波

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003 年 1 月第 1 版,2003 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;14.5 印张;2 插页;350 千字;222 页;1—3000 册

36.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

从 20 世纪 50 年代开始,世界铁路的发展进入了一个崭新的时代。具有高新技术的铁路运输在世界范围内获得越来越多的认同,以法国的 TGV、德国的 ICE 和日本的子弹头列车为代表的新型列车的出现,向世人展示了现代化铁路的迷人风采和广阔的发展前景。

高新技术的铁路运输有着比航空、公路运输更具潜力的发展优势和生机。高新技术的铁路运输系统是现代电子技术、地下挖掘技术与日新月异的自动化技术有机结合的产物,这些技术已广泛应用于从列车的车体设计、制造到列车的运行和维护;从列车的通讯、信号自动化到列车的牵引、事故的预防等铁路现代化建设的各个方面。

世界交通运输专家学者提出 21 世纪陆路运输的主要工具是:

- (1) 高速铁路,用于城市间旅客运输;
- (2) 以地下铁路为代表的城市轨道交通系统,用于城市内的旅客运输;
- (3) 重载铁路,用于运距超过 400km 的货物运输;
- (4) 高速公路,用于短途旅客和小批量货物运输。

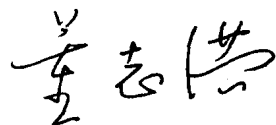
世界交通运输专家特别强调指出,21 世纪解决城市间交通问题和大城市内交通问题的最有效工具仍然是铁路,尤其是高速铁路和地下铁路,它们在运输的高速度、高效率、安全性、舒适性和大运量等诸方面,有着航空、航海和汽车运输无法比拟的优势。并预言,在 21 世纪,具有高新技术的铁路运输会有更大、更快的发展。笔者认为,随着电子技术的进步,信息高速公路和多媒体技术的普及应用,21 世纪的铁路技术必将跃上一个新水平。世界铁路技术的发展正朝着自动化牵引、高速度、大轴重和大运量的方向迈进,为此,早在 20 世纪 80 年代,发达国家的政府就责成有关部门把 21 世纪的高技术铁路发展纳入本国的经济发展规划。欧盟从成立初就首先制定了欧洲共同体国家的高速铁路路网发展计划,并拨出巨资支持高速铁路的实验研究,主要用于轮轨系统和磁悬浮系统的实用研究。

我国的铁路自 1949 年建国以来,取得了飞速发展,但总的来看,我国铁路的技术装备水平与发达国家相比还有较大的差距。加快我国铁路建设,特别是加快我国高速铁路的建设是笔者多年的夙愿。令人鼓舞的是我国第一条从秦皇岛到沈阳的快速客运铁路,已于 1999 年 8 月破土动工。我国的第一条从北京到上海的高速铁路,也已列入国家规划。本人根据到国外的实际考察和在查阅大

量有关历史文献、科技资料的基础上,编写了本书。希望本书的出版能对我国 21 世纪高速铁路的发展和城市轨道交通建设有所帮助,也能对开发高技术铁路所需材料的企业提供有益的市场前景启示。本书在编写过程中得到了国内外各钢铁企业和国内外专家的大力支持,特此向麦当劳总工程师(加拿大)、迪迪克总经理(加拿大)、小林敏研究员(日本)、德浩士研究员(法国)、包卖师总经理(德国)等学者及董志刚博士、董宇博士研究生、陈宝光先生和我的夫人李立复高级工程师对本书编写工作所给予的帮助表示感谢。

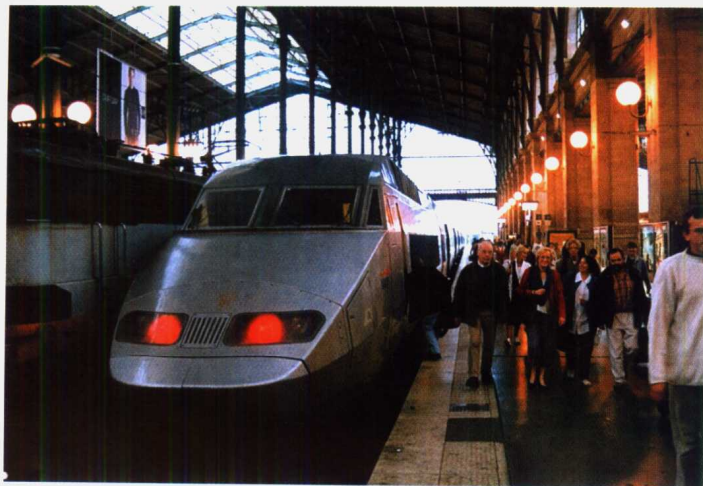
鉴于本人水平有限,书中会有不妥之处,欢迎批评指正。

并以本书献给我国 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会的伟大工程。

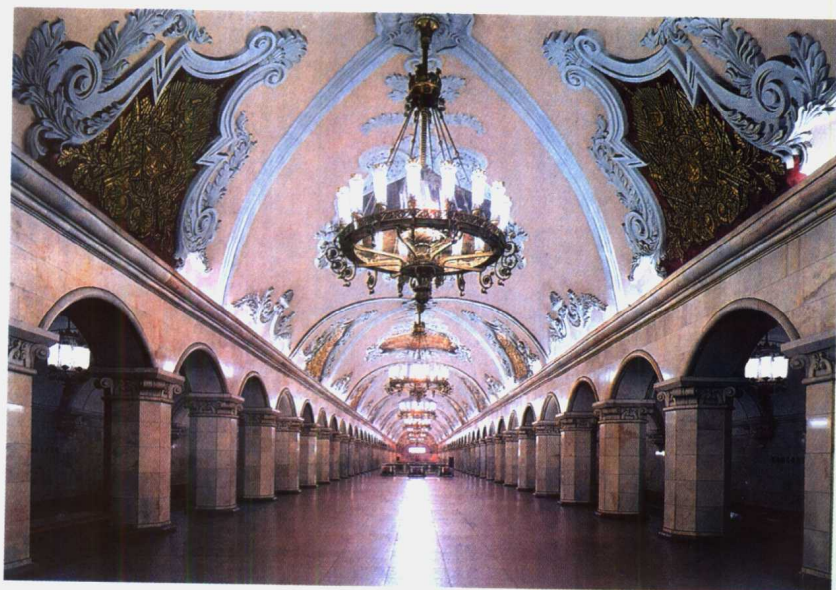


2002 年 7 月 26 日

照片3 法国 TGV 高速列车



照片4 德国 ICE 高速列车

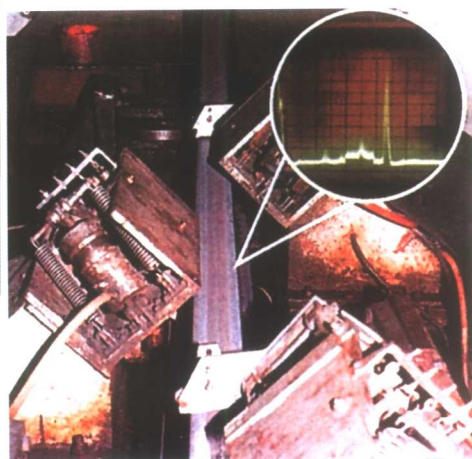
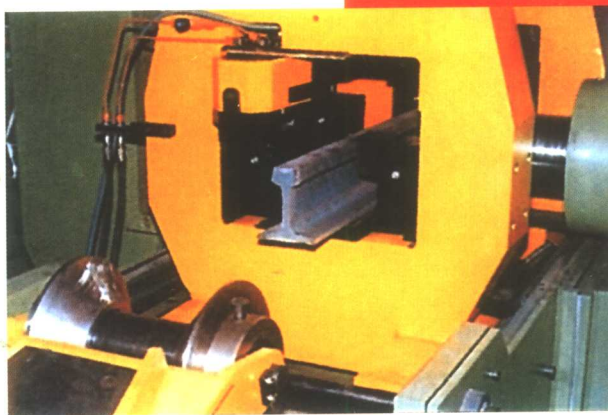


照片5 莫斯科地铁车站



照片6 我国的高速铁路机车
“中原之星”电动车组(速度
160km/h, 功率3600kW, 由株
洲电力机车厂、株洲电力机车研
究所、四方机车车辆厂联合研
制)(上图)

“先锋号”交流传动电动车组(速
度200km/h)(右图)



照片7 包钢轨梁厂钢轨检查

四面液压矫直机矫直钢轨端部(上图)
钢轨超声波探伤检查(右图)



照片8 攀钢轨梁厂钢轨加工线



照片9 马钢研制成功的270km/h
高速铁路用车轮 KGDA



照片10 江阴兴澄特种
钢铁有限公司精炼装置



作者简介

董志洪，1946年生，毕业于北京科技大学金属压力加工系轧钢专业。毕业后长期在生产第一线从事钢轨、型钢的生产技术和企业领导工作。现任中国钢铁工业协会市场部副主任，中国金属学会初轧、大中型学术委员会委员，教授级高级工程师。曾去俄罗斯、乌克兰、波兰、日本、德国、法国等国考察学习钢轨生产技术和现代冶金企业管理，曾参与我国钢铁行业“八五”、“九五”发展规划的编制和重大轧钢项目的审查工作，曾在加拿大某钢铁公司专门从事钢轨技术研究开发和质量攻关工作。出版的主要著作有《世界H型钢与钢轨生产技术》等。

目 录

上篇 铁 路

1 世界铁路与中国铁路发展概况·····	(1)
1.1 铁路与钢轨·····	(1)
1.2 铁路技术发展和现状·····	(1)
1.3 世界各国铁路火车运行的历史记录·····	(4)
2 高速铁路技术发展现状·····	(7)
2.1 轮轨系统的高速铁路·····	(7)
2.2 磁悬浮系统的高速铁路·····	(14)
3 世界一些国家的高速铁路·····	(24)
3.1 日本的高速铁路·····	(24)
3.2 法国的高速铁路·····	(35)
3.3 德国的高速铁路·····	(44)
3.4 西班牙的高速铁路·····	(47)
3.5 意大利的高速铁路·····	(49)
3.6 英国的高速铁路·····	(52)
3.7 瑞典的高速铁路·····	(53)
3.8 澳大利亚的高速铁路·····	(54)
3.9 美国的高速铁路·····	(55)
3.10 韩国的高速铁路·····	(56)
3.11 俄罗斯的高速铁路·····	(57)
3.12 中国的高速铁路·····	(57)
4 21 世纪初世界高速铁路发展计划·····	(61)
4.1 欧洲的高速铁路发展计划·····	(61)
4.2 日本的高速铁路发展计划·····	(64)
4.3 中国的高速铁路发展计划·····	(66)
5 重载铁路·····	(68)
5.1 重载铁路的定义与发展·····	(68)
5.2 南非的重载铁路·····	(68)
5.3 澳大利亚的哈默斯利(Hamersley)铁路·····	(69)
5.4 中国的重载铁路·····	(71)
6 城市轨道交通系统·····	(73)
6.1 概述·····	(73)

6.2	轨道交通系统的种类和特点	(73)
6.3	各种城市交通系统的能耗和运行成本	(74)
7	单轨铁路	(78)
7.1	单轨铁路的定义	(78)
7.2	单轨铁路的发展概况	(78)
7.3	单轨铁路的特点	(80)
7.4	跨座结构单轨铁路简介	(80)
7.5	跨座式单轨铁路的构造	(80)
7.6	悬挂式单轨铁路	(83)
7.7	东京机场的单轨铁路	(85)
8	自动化铁路	(87)
8.1	自动化铁路的发展概况	(87)
8.2	法国的自动化铁路	(87)
8.3	加拿大的自动化铁路	(89)
8.4	日本的自动化铁路	(90)
9	世界著名的地下铁路	(95)
9.1	日本的地下铁路	(95)
9.2	法国的地下铁路	(97)
9.3	俄罗斯莫斯科的地下铁路	(98)
9.4	中国的地下铁路和轨道交通系统	(98)
9.5	亚洲已建成投产和在建的地下铁路	(101)
10	海底铁路	(103)
10.1	英法之间的海底铁路	(103)
10.2	日本的青函海底铁路	(104)
10.3	丹麦的海峡隧道	(105)
10.4	关于在中国建设海底铁路的设想	(105)
11	管道输送系统	(107)
11.1	管道运输的特点	(107)
11.2	现代管道运输系统的原理	(107)
11.3	管道运输实例	(107)

下篇 钢 轨

12	钢轨发展概况	(110)
12.1	钢轨的诞生与发展	(110)
12.2	铁路发展概况	(114)
13	钢轨种类及断面特性	(117)
13.1	钢轨的种类	(117)
13.2	钢轨断面特点和发展趋势	(119)
14	钢轨生产工艺	(126)

14.1	现代钢轨生产工艺	(126)
14.2	钢轨孔型系统	(127)
14.3	钢轨孔型设计	(128)
14.4	钢轨矫直	(130)
14.5	钢轨矫直应力计算	(133)
14.6	钢轨生产过程的自动化控制	(135)
14.7	采用连铸大方坯工艺生产钢轨	(136)
14.8	钢轨中的残余应力	(143)
15	钢轨质量检测技术	(145)
15.1	钢轨表面质量的检测	(145)
15.2	钢轨内部质量的检测	(146)
15.3	钢轨外观尺寸的检测	(148)
15.4	钢轨质量在线自动化检测	(149)
16	钢轨生产技术的发展现状与未来	(150)
16.1	世界各国钢轨钢研究现状	(150)
16.2	世界各国钢轨实物性能	(150)
16.3	珠光体钢轨钢的成分、组织和性能	(154)
16.4	合金钢轨钢	(160)
16.5	面向 21 世纪铁路的新型钢轨钢	(161)
17	高速铁路用钢轨的生产	(163)
17.1	高速铁路用钢轨的断面与钢种	(163)
17.2	高速铁路对钢轨质量的要求	(163)
17.3	高速铁路用钢轨钢的生产	(164)
17.4	高速铁路用钢轨的轧制	(165)
17.5	钢轨的万能法轧制工艺	(166)
18	钢轨缺陷与伤损	(167)
18.1	钢轨的轧制缺陷	(167)
18.2	钢轨的低倍缺陷(Macrographic Defects)	(171)
18.3	钢轨伤损	(172)
18.4	焊接钢轨伤损(The Rail Defects after Welding)	(174)
19	钢轨热处理	(176)
19.1	钢轨热处理概况	(176)
19.2	钢轨热处理工艺	(177)
19.3	钢轨钢热处理工艺的选择	(178)
19.4	对热处理钢轨钢性能的评价	(181)
19.5	对钢轨钢使用性能的评价	(182)
20	钢轨的焊接	(184)
20.1	概况	(184)
20.2	钢轨焊接工艺简介	(184)

21	世界主要钢轨生产厂工艺设备概况.....	(186)
21.1	英国钢铁公司沃金顿厂.....	(186)
21.2	日本新日铁八幡厂.....	(187)
21.3	美国惠灵匹兹堡钢公司万能钢轨厂.....	(193)
21.4	德国蒂森公司 AG 厂.....	(194)
21.5	美国宾夕法尼亚钢厂.....	(195)
21.6	法国钢铁集团哈亚士厂.....	(196)
21.7	加拿大悉尼钢厂.....	(199)
21.8	乌克兰亚速钢厂.....	(202)
21.9	波兰卡特维茨大型厂.....	(203)
21.10	卢森堡罗丹厂	(205)
21.11	中国包头钢铁公司轨梁厂	(205)
21.12	中国攀枝花钢铁公司轨梁厂	(207)
21.13	中国鞍山钢铁公司大型厂	(208)
21.14	中国武汉钢铁公司大型厂	(213)
21.15	中国马鞍山钢铁股份有限公司车轮轮箍公司	(214)
21.16	中国江阴兴澄特种钢铁有限公司	(219)
	参考文献.....	(222)

上篇 铁 路

1 世界铁路与中国铁路发展概况

1.1 铁路与钢轨

世界最早的铁路大约产生在 1767 年以前,当时的铁路实际上是以马匹为动力的马车,其车轮行走在木质的轨道上。这种“铁路”大约持续了近 100 年时间,据美国铁路历史记载,在 1825~1835 年前后,在马里兰州的巴尔的摩和俄亥俄出现了以马匹为动力的“火车”。这种以马匹为动力的“火车”,当时的速度仅有 30~40km/h。

1829 年英国人史蒂文森设计的以蒸汽为动力的机车问世,以及在此之前实现的用轧制方法生产钢轨,使得阻碍铁路发展的两大难题获得解决,从而为铁路的发展创造了条件。据有关历史记载,用轧制方法生产钢轨最早出现在 1820 年。最早的公开运营的铁路是 1830 年在英国,从利物浦到曼彻斯特。这时候美国修成了从斯托克城到达林城的铁路。德国在 1835 年开始有铁路。日本则在 1872 年建成了自己的铁路。早在 1887 年美国拥有的铁路总里程就达到 24.1×10^4 km,这时候的英国拥有的铁路总里程为 3.1×10^4 km,德国拥有的铁路总里程达 3.9×10^4 km。到 1887 年,拥有铁路的国家共有 10 个。

我国的第一条铁路建于 1864 年,它是建在北京宣武门外的一条 0.5km 长的铁路。

可以这样说,19 世纪铁路的大发展,促进了人类的文明和进步,也刺激了资本主义的发展和向海外的侵略扩张。

1.2 铁路技术发展和现状

从 1830 年铁路的诞生至今已有 170 多年,现在世界上共有铁路总里程约为 140×10^4 km,遍布世界 5 大洲。不仅有普通客运、货运,而且有地下铁路、重载铁路和高速铁路。铁路的车速也已从最初以马为动力的 30~40km/h 发展到现在的 120~300km/h。火车的动力也从过去的蒸汽机车更换为内燃机车或电力机车,机车的牵引力发展到 4000kW。世界主要国家的铁路现状如表 1-1 所示。

表 1-1 世界主要国家的铁路现状

国 名	面积/km ²	人口/亿人	铁路总长/km	无缝线路/km	高速线路/km
日 本	37.7×10^4	1.25	4.7×10^4	2.1×10^4	建成 1850, 在建 4800
法 国	55.1×10^4	0.58	3.5×10^4	1.29×10^4	建成 1240, 在建 3200
德 国	35.7×10^4	0.81	4.5×10^4	4.3×10^4	建成 453, 在建 2700
意大利	30.1×10^4	0.57	2×10^4	0.67×10^4	建成 848, 在建 570
美 国	937.2×10^4	2.63	32×10^4	5.32×10^4	建成 361
俄罗斯	1783×10^4	1.48	16×10^4	5.8×10^4	建成 650
中 国	960×10^4	12	6.86×10^4	2.4×10^4	在建 404
印 度	297×10^4	9.38	7×10^4		
西班牙	30.1×10^4	0.39×10^4	1.3×10^4		建成 347
加拿大	997×10^4	0.29×10^4	9.5×10^4		
韩 国	9.923×10^4	0.4485×10^4	0.6×10^4		在建 409
澳大利亚	768×10^4	0.18×10^4	4×10^4		建成 326

注:本表数据为 2000 年以前的统计数据。

从铁路技术发展历史看,铁路发展经历了 3 个阶段。

初期发展阶段:大约从 1830 年到 1900 年前后。这一阶段以蒸汽机的发明和钢轨生产技术的进步为代表,解决了铁路发展的动力和钢轨等关键问题,促进了铁路的大发展。火车的速度得到了很大提高,从 1830 年的 46km/h 发展到 1900 年的 130km/h,成为运输能力最大、运输速度最快的陆路运输工具。在这一阶段,铁路技术的进步主要是围绕轨距尺寸而展开的。由于最初的火车是行驶在原有以马匹为动力的旧铁路线上,故其仍采用原有的轨距,即为 1422mm。这一数字的确定是通过长期马车运输的检验后,被认为是最合适的车轮间距。现在,人们通过考古发现,早在 3000 年前的马车车辙间距是 4 英尺 8 英寸(1422mm),也正是这一间距。由于火车车轮的宽度比马车车轮宽,故需要把轨道间距增加 12.7mm,这样一来,火车的轨距被定为 1435mm。与此同时,也出现了宽轨距铁路,其设计轨距为 2140mm。窄轨距铁路和宽轨距铁路之间出现了竞争,铁路设计者们也就这一问题开展辩论,通过运输实践对比,人们发现:宽轨铁路比窄轨铁路要增加铁路建设投资,增加车辆的单重,在曲线处使轮轨的摩擦力增大,并增加轨道的维护费用等。说明窄轨铁路比宽轨铁路更经济。在英国,1846 年 8 月 18 日出台了铁路轨距标准法,规定铁路轨距为 1435mm。这个法律经当时的英国国王批准并在英国实施后,也带动了世界铁路轨距的标准化。

第二阶段:大约从 1900 年到 1950 年前后。在这一阶段中,铁路技术的进步主要是围绕机车技术的进步和钢轨断面的改进两个方面进行的。首先是电力机车的出现,为铁路的发展提供了干净的动力。最早的电力机车出现在 1879 年 5 月 31 日的巴黎工业博览会上。1901 年由德国西门子公司研制出的电力机车正式问世,其车速达到 162.5km/h,这一速度突破了蒸汽机车 160km/h 的记录,创造了当时世界铁路速度的最高记录。在 1903 年 10 月 27 日,又创造了车速为 210.2km/h 的世界铁路记录。据查,到 1939 年,意大利的 ETR-200 机车的车速达到了 203km/h。与此同时,蒸汽机车的最高车速也提高到 202.7km/h,这是 1938 年 7 月 3 日在英国创造的蒸汽机车的当时世界最高记录。在德国,其飞机和汽车业在

这一时期发展很快,为对抗其对运输市场的占领,德国首先研制成功了内燃机车,在1931年6月21日由内燃机车牵引的火车车速达到230.2km/h。内燃机车的出现对发展无电地区的铁路提供了机遇。

机车车速和机车牵引力的提高,对钢轨的要求也越来越严格,特别是随着电力机车和内燃机车的出现,机车轴重的大幅度提高,要求使用更大断面的钢轨。原来蒸汽机车所用的单重仅在18~38kg/m的断面钢轨,已不足以抵抗大功率机车的磨耗,在这种形势下,1900年出现了单重为45.3kg/m的钢轨,1916年出现了单重为58.9kg/m的钢轨,1930年出现了单重为59.3kg/m的钢轨。但这些钢轨的断面形状却基本保持了1865年的T形形状。有关钢轨断面的历史演变过程见图12-2。

第三阶段:从1950年开始到现在。这一阶段是高技术铁路的飞跃发展时期,特别是1964年10月1日,世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线的问世,向世人展示了高技术铁路的发展前景,使古老的铁路又焕发出了新的生机。从20世纪60年代到现在,高技术铁路以其高的速度、高的运输效率、低的运行成本和其特有的安全舒适性,在陆海空运输中独占鳌头。

高技术铁路是以电力牵引技术为基础发展起来的,它综合了近代的通信技术、计算机技术、电子技术、自动化技术和冶金技术等学科的成果。其突出特点是高速、高效、安全。它包括了高速客运铁路、地下铁路、自动化铁路和重载铁路等领域。

从1954年开始,法国首先进行了大量的采用电力机车牵引列车的高速实验,在当年的2月21日用CC7121号电力机车牵引列车,创造了时速243km的纪录,在1955年3月28日又创造了时速331km的当时世界铁路速度的最高记录。日本在1963年3月30日在新干线的实验段创造了时速256km的记录。1974年8月10日,美国创造了时速410km的世界铁路速度的最高记录。1989年,法国的TGV线创造了时速482.4km的世界记录。1990年5月18日,法国的TGV大西洋线又创造了时速515.3km的最新最高世界铁路速度。

从20世纪60年代开始,世界铁路的技术发展趋势是高速、重载,以满足世界人口不断增加和经济快速发展的要求。不少运输和经济学专家认为,高技术铁路在21世纪将会有长足的发展。高技术铁路是以高速铁路、重载铁路和自动化铁路为代表的。近40年的高技术铁路发展历史说明,高技术铁路是21世纪世界铁路发展的主流,它具有航海、航空和汽车运输无法比拟的优势,其主要特点有以下3个方面:

(1) 运输效率高,运量大,运行的成本低。据国外有关资料介绍,高速铁路的列车密度可达到每间隔4~5min发出一列,每天可开行200~240列列车。每年可运送旅客6000~8000万人。其劳动生产率为公路运输的15倍,为航空运输的50倍,这是航空和公路运输根本无法相比的。其投资的收益率在12%以上,一般在10年之内就可以还清全部工程贷款。据日本修建新干线以后的统计,从东京到大阪,由于有新干线,每年节约旅行时间达3亿h,按其旅客的时间价值计算,可创造4000亿日元的价值,这相当于修建新干线的投资,从中可见高速铁路的社会效益的巨大。其无形的社会效益就更大,主要表现在对综合国力的提高。不少经济学家在谈到日本经济在20世纪70年代能够腾飞的原因时,均认为新干线高速铁路起到了非常巨大的作用。一般认为,高速铁路的效益比普通干线的效益至少提高20%~35%。

(2) 能耗低,有利于环境保护。据测定,每人每公里的能耗,高速铁路为569.4kJ,轿车