

GAOSU DONGCHEZU
GAILUN

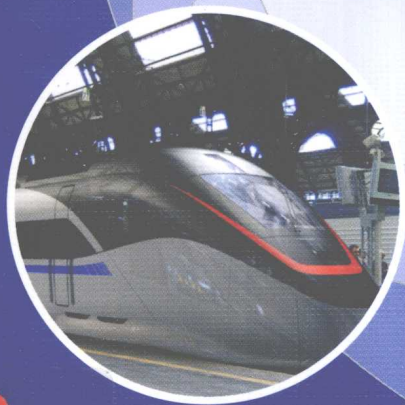


高速铁路新技术系列教材

机车车辆

高速动车组 概论

李芾 安琪 王华 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高速铁路新技术系列教材——机车车辆

高速动车组概论

李芾 安琪 王华 编著



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

高速动车组概论 / 李芾, 安琪, 王华编著. —成都: 西南交通大学出版社, 2008.7

(高速铁路新技术系列教材. 机车车辆)

ISBN 978-7-81104-937-4

I. 高… II. ①李…②安…③王… III. 高速列车: 动车—高等学校—教材 IV. U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 093522 号

高速铁路新技术系列教材——机车车辆

高速动车组概论

李芾 安琪 王华 编著

*

责任编辑 孟苏成

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川锦祝印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 11.5

字数: 287 千字 印数: 1—3 000 册

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-937-4

定价: 23.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

近年来，随着我国国民经济的飞速发展，铁路运能与运量之间的矛盾日益突出。中国铁路是世界铁路的重要组成部分，以占世界 6% 的路网长度完成了近 1/4 的世界铁路客、货运周转量。进一步挖掘铁路运能是当今中国铁路亟待解决的重要问题，而提速、重载是进一步扩大铁路运能最为有效的手段。动车组是铁路高速客运最为有效的运输工具之一。随着我国铁路装备技术水平的发展，“和谐号”CRH 系列动车组在既有线运行速度已经达到 200 km/h，部分区段最高运行速度甚至达到 250 km/h。2007 年 4 月 18 日铁路第六次提速调图后，我国既有铁路 160 km/h 及以上提速区段延展里程达到 1.4 万 km，其中，200 km/h 线路延展里程达到 6 003 km，250 km/h 线路延展里程达到 846 km。随着提速战略的不断深入，时速 350 km/h 的动车组将于 2008 年在京津城际客运专线运行。全长 1 318 km 的京沪高速铁路也已于 2008 年 4 月 18 日动工，其设计列车运行速度为 350 km/h。同时，根据“中长期铁路网规划”，至 2020 年，我国铁路客运专线里程将达到 18 000 km。铁路客运专线建设和动车组技术的飞速发展对人才培养提出了新的要求，为此，西南交通大学机车车辆工程系组织编写了《高速动车组概论》一书。

本书共八章，从世界铁路与高速铁路的发展历程入手，首先介绍了日本、法国、德国以及其他国家和地区高速铁路与高速动车组的发展历程和现状，以国产“和谐号”CRH₂型动车组为主线，兼顾其他车型，分别介绍了高速动车组总体与转向架技术、制动技术、牵引传动技术、网络系统和车辆设备，最后对高速动车组动力学与结构强度进行了概述。本书编著工作由李芾教授和安琪博士共同完成。铁道部运输局、劳动和卫生司，西南交通大学成人教育学院、铁路机车司机培训考试中心对本书的完成给予了大力支持。相关机车车辆工厂为本书的编写提供了丰富的资料。编著过程中，西南交通大学机车车辆工程系傅茂海研究员、米彩盈教授、倪文波教授、卜继玲副教授、黄运华副教授提出了大量宝贵的意见和建议，周张义博士、王宏林硕士、张良威硕士对本书的完成给予了大力协助，特此表示诚挚的谢意。此外，本书部分章节参考了铁路机车司机培训考试中心组织编写的《高速动车组技术》相关内容，借此机会向作者和本书其他参考文献的编著者表示衷心的感谢！

受作者水平和时间所限，疏漏不足之处在所难免，恳请各位读者提出宝贵的意见与建议。

编著者

2008 年 6 月于四川成都

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 世界高速铁路与高速动车组发展概况	2
第二节 高速铁路的基本特点与技术条件	10
第三节 高速铁路线路概述	11
第四节 高速铁路通信信号系统概述	18
第五节 高速铁路运输组织概述	19
第六节 高速铁路环境保护概述	21
第七节 我国铁路提速与高速化进程概述	23
第八节 我国铁路动车组发展概述	25
第二章 高速铁路运输组织	30
第一节 客运专线运输组织	30
第二节 动车组运行组织	32
第三节 动车组调度指挥	37
第四节 动车组运用工作组织	42
第三章 高速动车组总体与转向架	48
第一节 高速列车总体技术	48
第二节 高速动车组车体	54
第三节 高速动车组走行部技术	58
第四节 高速动车组车端装置	75
第五节 高速动车组牵引受流装置	87
第四章 高速动车组制动系统	90
第一节 高速动车组制动系统概述	91
第二节 高速动车组复合制动系统	99
第三节 高速动车组制动控制技术	100
第五章 高速动车组电力牵引与电力传动	103
第一节 高速动车组电力牵引传动系统概述	103
第二节 高速动车组交流传动技术	105
第三节 高速动车组牵引电动机	118

第六章 高速动车组通信网络与运行控制系统	124
第一节 高速动车组通信网络	124
第二节 高速动车组运行控制系统	131
第七章 高速动车组车辆设备	143
第一节 高速动车组基本设备	143
第二节 高速动车组旅客生活保障设备	148
第三节 高速动车组行车设备	153
第八章 高速动车组运行性能与结构强度	155
第一节 高速动车组运行性能	155
第二节 转向架结构对车辆动力学性能的影响	169
第三节 高速动车组结构强度及强度试验概述	174
参考文献	177

第一章 绪 论

1804年,英国人 R.Trevithick 发明了具有实用意义的蒸汽机车“Peny-Darran”,并在钢铁厂 15 km 的铁路上进行牵引 10 t 货物列车试验。试验虽不算完全成功,但为蒸汽机作为牵引动力应用于轨道交通运输奠定了基础。此后,蒸汽机车在欧洲国家得到了快速发展,到 1818 年,德国、法国等国家也相继试验成功蒸汽机车。最具有标志性意义的是 1825 年 9 月 25 日,世界上第一条长 34 km 的商业化运营铁路在英国的 Stockton 至 Darlington 之间开通。英国人 G. Stephenson 成功地用其发明的蒸汽机车,牵引一列编组 38 辆客车、载有 600 余名乘客的列车运行,其最高速度达 24 km/h。该列车的成功试运,开创了世界铁路运输发展的新纪元。1829 年, G. Stephenson 发明了第一台多烟管蒸汽机车“Rocket”,使蒸汽机车的功率和效率有了极大的提高。欧美国家开始大力发展铁路运输,铁路线路如雨后春笋般快速增长。自 19 世纪中后期开始,铁路以其快速、运量大及安全可靠等特点在全球范围内迅速发展,成为人类最为重要的交通运输工具之一,为世界各国的经济发展起到了十分重要的作用。20 世纪初期是世界铁路发展的巅峰时期,全球铁路总长已超过 120 万 km,客、货运周转量的 60% 以上均由铁路完成。以美国为例,1926 年其铁路的总长近 38 万 km,完成了 78% 的客运周转量和 61% 的货运周转量。

进入 20 世纪 30 年代以后,随着高速公路、航空及管道运输的相继崛起,世界交通进入了多元化的发展时期。自 1924 年世界第一条高速公路在意大利建成后,欧、美、日等国家和地区开始发展公路运输,并逐步形成路网。航空工业在第二次世界大战后开始向民用领域转移,为航空运输的发展创造了条件。与此同时,大量的原油需求为管道运输提供了发展空间。其他交通运输方式的飞速发展使铁路的客、货运量及市场份额开始大幅度下降,在客运方面尤为突出,铁路运输开始受到前所未有的严峻挑战。以美国为例,到 20 世纪 60 年代,其客、货运周转量已不足 40%;而到 80 年代,铁路客、货运周转量分别为 1% 和 38%。西欧国家的情况也基本相同,到 20 世纪 60 年代其客、货运周转量已不足 35%,而到 80 年代,客、货运周转量分别为 12% 和 23%。世界铁路从巅峰步入低谷,并大有退出历史舞台的趋势。

与高速公路和航空运输相比,铁路虽然是既节省能源又对环境污染最少的交通运输工具,但其运行速度低和旅行时间长的特点使其在与高速公路和航空运输的竞争中处于相对劣势。铁路运输要改变这一被动局面,提速势在必行。1964 年 10 月 1 日清晨 6 时,日本东京车站 9 号站台,随着发车铃声的响起,世界第一列高速列车“光”号缓缓起动,并逐渐加速到 210 km/h,朝着终点站新大阪飞驰而去。新干线列车的成功运营彻底粉碎了“铁路处于夕阳时代”的悲观论调,世界铁路从此开始步入高速时代。世界各国一般将最高运行速度在 200 km/h 以上的铁路称为高速铁路。自开通以来,日本东海道新干线客运量迅速上升,使该地区的民航几乎停运,这带来了巨大的经济效益和社会效益,高速铁路逐渐显示出其旺盛的生命力。

同日本相比,其他国家高速铁路的商业化发展则相对滞后。自20世纪80年代开始,随着环境保护意识的提高以及能源问题日渐突出,各国和地区开始大力发展一直处于低迷的铁路运输。继日本之后,法国、德国、西班牙、意大利、瑞典、韩国等国家的高速铁路相继新建或改建完成,并与既有线路联网运行,客运量增加十分明显。我国台湾地区也于2006年成功地开通了台北至高雄的高速铁路。各国和地区竞相采用各种先进技术,根据各自的具体条件选择适合本国或地区特点的高速铁路发展模式和装备技术体系,以最优的方式满足旅客出行需要。高速度给铁路运输重新带来了可观的客流和效益,同时也进一步刺激着铁路相关技术不断创新,带动了多领域、多学科共同进步。可以说,高速铁路大大推动了世界制造业的振兴与发展。

第一节 世界高速铁路与高速动车组发展概况

一、日本高速铁路——新干线 (Shinkansen)

日本的铁路始于19世纪中期。岛国日本人口密度大,能源匮乏,铁路运输在该国具有举足轻重的特殊地位,为日本经济的发展起到了重要作用。日本铁路的主要轨距是1 067 mm,全长约27 300 km。20世纪50年代,日本经济在经历了战后的萧条后迅速崛起,其东海道沿线经济发展最为迅速,东京、横滨、名古屋、京都、大阪等沿线城市聚集了全国41%的人口,工业生产值占到全国的70%,这使仅占全国路网长度2.9%的窄轨铁路东海道线需要承担路网近四分之一的客货运量,虽经电气化改造仍无法满足经济发展的需要。日本迫切需要增建新线以满足运能与运量之间的突出矛盾。经过长时间的争论与论证后,日本决定修建准轨铁路干线,新线将能够满足列车以200 km/h以上速度运行的需要,并在1964年10月10日东京奥运会开幕前通车。1959年4月20日,东海道新干线开工仪式在新丹那隧道东口举行,世界上第一条高速铁路的建设正式开始。与此同时,日本国铁也开始了车辆、信号等相关技术的研究。1964年10月1日,东海道新干线正式投入商业运营。此后,日本又相继修建了山阳、东北、上越、北陆新干线高速铁路和山形、秋田两条小型新干线,新干线高速铁路总长度为2 049.1 km,小型新干线长度为275.9 km。目前,新干线列车最高运行速度达到300 km/h,新干线客运量占到全国路网的30.3%,收入约占总收入的45%。运营40余年来,尽管地震等自然灾害频繁发生,新干线始终保持着旅客死亡事故为零的纪录,列车平均晚点保持在1 min以内。

随着新干线网络的不断扩大,为了在不同的线路条件下提高列车运行速度和乘客的舒适度,降低列车对环境的影响,相关企业与研究机构在0系(见图1.1)、100系、200系、100N系列车的基础上先后开发了300系、400系、500系(见图1.2)、700系(见图1.3)、800系、E1系、E2系(见图1.4)、E3系、E4系等新干线列车和WIN350、300X、STAR21、FASTECH E954系等试验列车,共有20余种新干线用动车组投入运用或试验。其最突出的特点是从0系开始,新干线所采用的高速列车均是以动力分散型高速动车组形式投入运用。其中0系、100系、200系、100N系和400系采用交-直电传动系统,其他列车则采用交-直-交电传动系统。

日本新干线列车经历了40余年的发展,不断采用先进技术,使高速动车组各方面的性能日益完善,新干线的发展也可以说是世界高速铁路发展的缩影。“新干线”在一定程度上已

经成为世界高速铁路的代名词，其英文音译 Shinkansen 也早已成为英语专有名词，由此可见其对世界高速铁路发展的深远影响。

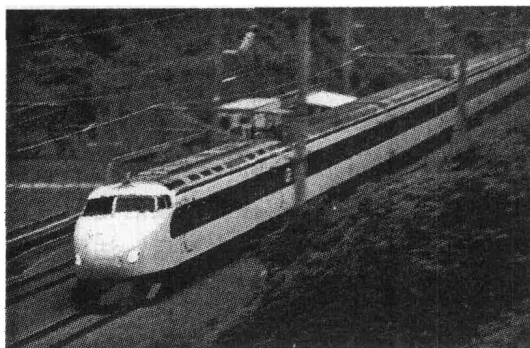


图 1.1 新干线 0 系动车组

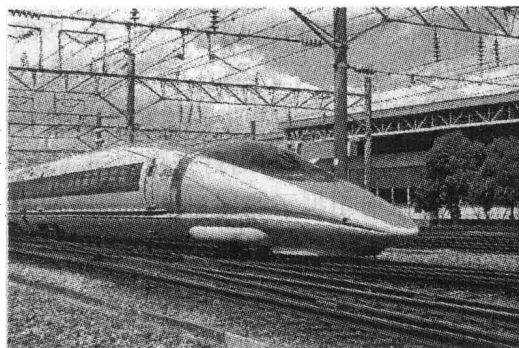


图 1.2 新干线 500 系动车组

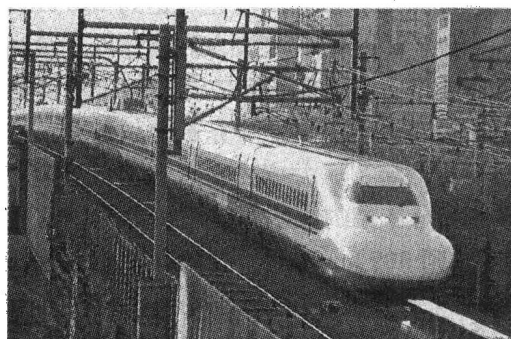


图 1.3 新干线 700 系动车组

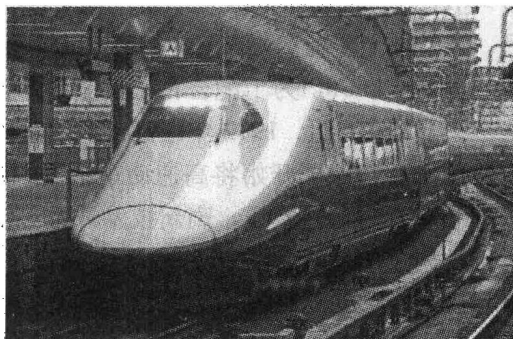


图 1.4 新干线 E2 系动车组

日本新干线高速动车组主要车型参数见表 1.1。

表 1.1 日本新干线列车基本参数

车型	0 系	100 系列	200 系	300 系	500 系	700 系	E1 系	E2 系	E3 系	E4 系
编组	16M	12M4T, 其中包括双层拖车 2 辆	12M	10M6T	16M	12M4T	6M6T 双层	6M2T 双层	4M1T 双层	4M4T 双层
定员/人	1 398	1 321	885	1 323	1 324	1 323	1 235	629	270	817
编组总重/t	967	925	758	710	700	708	760	405	237	424
编组总长/m	400.3	402.1	400.3	402.1	404	404.7	302.1	201.4	107.65	201.4
最高运行速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	220	230	240 (东北) 275 (上越)	270	300(山阳) 270(东海道)	285(山阳) 270(东海道)	240	275	275 (东北) 130 (秋田)	240
总功率/kW	11 840	11 040	11 040	12 000	18 240	13 200	9 840	7 200	4 800	6 720
供电制式	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、50 Hz	AC25 kV、50 Hz AC25 kV、60 Hz	AC25 kV、50 Hz AC20 kV、50 Hz	AC25 kV、50 Hz
制动方式	电阻制动、电磁直通空气制动	电阻制动、电气指令空气制动、涡流盘制动	电阻制动、电气指令空气制动	再生制动、涡流制动、电气指令空气制动	交流再生制动、电气指令铝合金盘形制动	再生制动、涡流制动、电气指令空气制动	交流再生制动、电气指令空气制动	交流再生制动、电气指令空气制动	交流再生制动、电气指令空气制动	交流再生制动、电气指令空气制动
制造年代	1964—1986	1985—1991	1980—1990	1990—	1995—	1997—	1994—	1995—	1995—	1997—

二、法国高速铁路与 TGV 高速列车 (Train à Grande Vitesse)

作为世界铁路运输最为发达的国家之一，早在 1955 年 3 月 29 日，法国就创造了电力机车牵引列车 331 km/h 的试验速度记录；1967 年 5 月，CC-6500 型电力机车牵引客车实现了最高速度 200 km/h 的商业运行。然而，到 20 世纪 70 年代，迅速发展的公路和航空运输使法国铁路受到了前所未有的冲击，传统铁路越来越不能适应现代社会对铁路旅客运输的需要。

自 1967 年起，法国国营铁路公司 (SNCF) 开始着手研究高速运输。1969 年，法国国营铁路公司向政府申报了修建巴黎—里昂高速铁路的可行性研究报告。在经过政府论证后，东南线高速铁路于 1976 年被宣布为公用事业，并于 1981 年实现部分通车。此后，法国相继修建了大西洋线、北方线、东南延伸线、巴黎地区联络线、地中海线等高速铁路，高速铁路路网规模达到 1 576 km，列车最高商业运行速度为 270~350 km/h。

在设计制造高速动车组方面，法国首先是尝试将航空用燃气涡轮发动机用于铁路动车组。1969 年 11 月，法国研制成功了第一代 ETG 型燃气轮动车组，最高试验速度达到 248 km/h。此后，为了提高燃气轮动车组的质量，又研制出第二代 ETG 型燃气轮动车组，最高试验速度为 260 km/h。为了配合在巴黎—里昂建设高速铁路，还研制了第三代 TGV-001 型燃气轮动车组，5 节编组，1972 年最高试验速度达到 381 km/h。1973 年，中东战争引起第一次世界石油危机后，法国开始将高速动车组技术政策转向电力牵引，并率先在欧洲实行将速度、环保意识、充分利用能源、高新技术以及经济可靠性综合考虑的技术方针。1973 年，法国研制出第一列 Z7001 电动车组，1975 年最高试验速度达到 309 km/h。自 1976 年开始，法国开始着力研究交-直传动的 TGV-PSE 动车组，并在 1981 年 9 月投入运用。此后，法国先后研制了交-直-交传动的 TGV-A、TGV-R、TGV-2N(见图 1.5)、TGV-TMST、西班牙 AVE、TGV-PBKA、TGV-K 等型号的高速动车组。其中，TGV-A 325 号车组(见图 1.6)于 1990 年 5 月在大西洋线创造了 515.3 km/h 轮轨系统高速行车的世界纪录。在保持了 17 年后，该纪录再次被打破。2007 年 4 月 3 日，法国试验动车组 V150 创造了 574.8 km/h 的高速铁路试验速度新纪录，该动车组如图 1.7 所示。为降低轴重，法国对动力分散型电动车组进行了大量研究，1988 年，Alstom 着手对动力分散型电动车组 AGV 进行研究，首列试验样车 Elisa 于 2001 年投入试验运行。在通过大量试验验证确定动车组主要技术参数后，首列 AGV 动力分散型电动车组已于 2008 年 2 月 5 日在 Alstom La Rochelle 工厂下线，并投入试验运行，该车最高运行速度可达 360 km/h，如图 1.8 所示。



图 1.5 TGV-2N 动车组

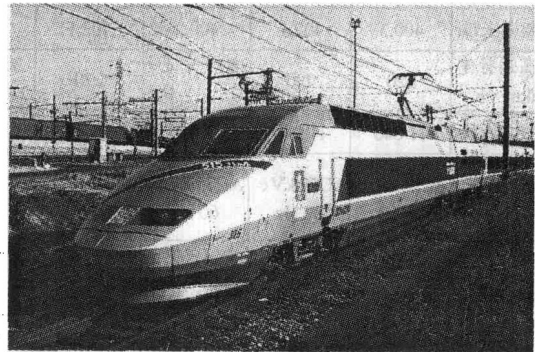


图 1.6 创造 515.3 km/h 记录的 TGV-A 325 动车组

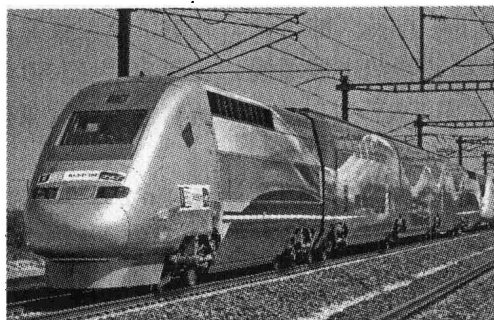


图 1.7 法国 V150 型试验动车组

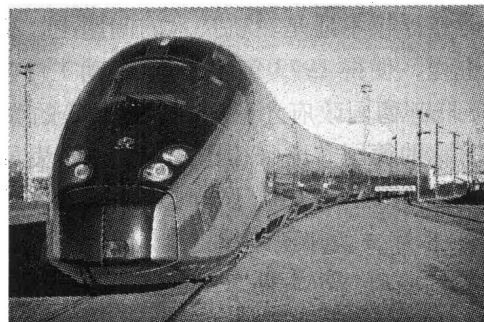


图 1.8 法国 AGV 动力分散型电动车组

法国 TGV 高速动车组主要参数见表 1.2。

表 1.2 法国 TGV 高速动车组基本参数

车型	第一代	第二代						第三代
	TGV-PSE	TGV-A	TGV-R	TGV-TMST	AVE	TGV-PBKA	TGV-K	TGV-2N
编组	L+8T+L	L+10T+L	L+8T+L	L+9T+9T+L	L+8T+L	L+8T+L	L+18T+L	L+8T+L (双层)
定员/人	368	485	377	794	329	377	1 000	545
编组总重/t	418	479	416	787	420	418	774	424
编组总长/m	200.12	237.59	200.20	393.72	200	200	387.43	200.19
最高运行速度/km·h ⁻¹	270	300	300	300	300	300	300	300
总功率/kW	6 960	8 800	8 800	12 240	8 800	8 800	13 200	8 800
供电制式	AC 25 kV、 50 Hz DC 1.5 kV AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC 25 kV、 50 Hz DC 1.5 kV	AC25 kV、 50 Hz DC 1.5 kV DC 3 kV	AC 25 kV、 50 Hz DC 3 kV DC 750 V	AC 25 kV、 50 Hz DC 3 kV	AC 25 kV、 50 Hz DC1.5 kV DC 3 kV AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC25 kV、 50 Hz	AC25 kV、 50 Hz DC 1.5 kV
制动方式	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 再生制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 再生制动 盘形制动 闸瓦制动	电阻制动 盘形制动 闸瓦制动
投入运营时间	1981	1989	1993	1994	1992	1997	2001	1996

三、德国高速铁路与 ICE 高速列车 (Inter City Express)

德国是一个铁路历史悠久的国家，其第一条铁路于 1835 年在纽伦堡—菲尔特间开通；1901 年，由西门子 (SIEMENS) 公司和哈尔斯科公司生产的电力机车创造了 162.5 km/h 的速度记录；1932 年，柏林—汉堡间运行的“汉堡飞人”内燃动车最高速度达到 165 km/h；1936 年 5 月 11 日，德国采用建设系列 05 型 Borsig 蒸汽机车牵引客车，创造了 200.4 km/h 的新速度记录；战后，德国已经开始运行最高速度为 200 km/h 的快速列车。

与大多数欧洲国家一样，德国铁路在 20 世纪 60 年代也不得不面对公路和航空运输带来的巨大压力。德国的政治家比其他欧洲国家更早地认识到了铁路的重要性：早在 1970 年，联邦德国政府技术研究部就开始组织对未来长途运输系统新技术的研究。但是在发展高速铁路

采用磁悬浮技术还是轮轨技术的问题上，德国经过了旷日持久的讨论，影响了德国铁路高速化的进程，使得 1973 年和 1976 年动工修建的两条高速新线进展缓慢。直到 20 世纪 80 年代中期，联邦德国政府才意识到以往政策的失误，而法国 TGV 列车的成功运营也刺激着素以高技术著称的德国，联邦德国政府加快了发展高速铁路的步伐。

1982 年 5 月 13 日，联邦德国铁路成立董事会，决定修建高速铁路，并于 1982 年 7 月动工。1982 年 8 月，联邦铁路投资 1 200 万马克，试制 ICE 试验型城间快车。1985 年，2 动 3 拖的 ICE/V 试验型高速电动车组试制成功，同年，其最高试验速度达到 317 km/h。1988 年 5 月，ICE/V 型试验列车在汉诺威—维尔茨堡间创造了 406.9 km/h 的高速动车组速度记录。在 ICE/V 的基础上，1985 年 12 月联邦铁路确定了 ICE 设计任务书，1986 年开始试制 ICE1 型高速动车组（见图 1.9），1990 年 7 月试制完成并于 1991 年 6 月 2 日以 280 km/h 的速度正式投入运行。

1991 年德国统一后，德国政府决定修建柏林—汉诺威的高速铁路，同时开始了第二代 ICE 高速动车组——ICE2（见图 1.10）的开发。1996 年，该型动车组投入运用。

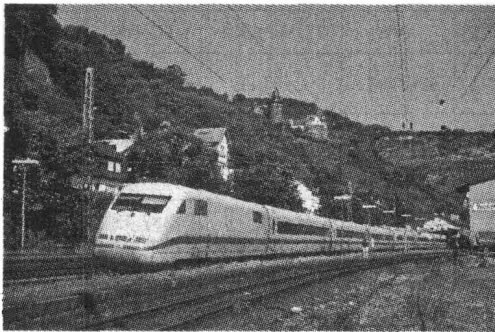


图 1.9 ICE1 动车组

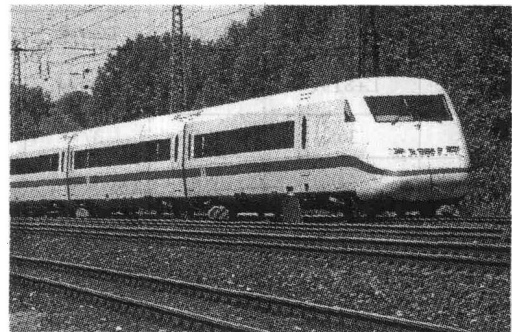


图 1.10 ICE2 动车组

德国铁路于 1995 年开始动工修建科隆—法兰克福的高速铁路，由于该线路最高运行速度提高到 300 km/h，线路最大坡度达到 40‰，既有的 ICE1、ICE2 型列车已经不能满足运行需要。为此，德国铁路于 1994 年向工业界订购了 50 列 ICE3 型动力分散电动车组（见图 1.11）。1997 年，ICE3 型电动车组投入运行。

为了在既有线路实现列车运行速度的提高，德国铁路还开发了 ICE-T（见图 1.12）和 ICE-TD 型摆式动车组。目前，运行速度达到 350 km/h 的 Velaro 高速电动车组也已研制成功。

经过近 30 年的发展，目前德国已建成柏林—汉诺威—维尔茨堡、科隆—法兰克福、曼海姆—斯图加特三条高速铁路，路网规模达到 917 km，并有多条高速铁路正在建设。

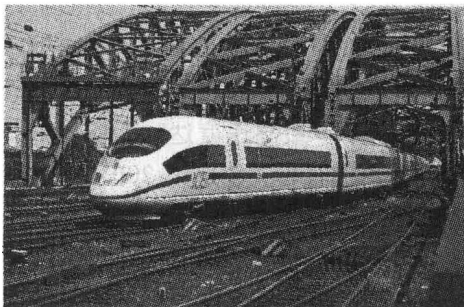


图 1.11 ICE3 动车组



图 1.12 ICE-T 动车组

德国 ICE 高速动车组主要参数见表 1.3。

表 1.3 德国 ICE 高速动车组主要参数

车型	ICE/V	ICE1	ICE2	ICE3 (403)	ICEM (406)	ICE-T
编组	2L3T、动力集中	2L12T、动力集中	1L7T、动力集中	4M4T、动力分散	4M4T、动力分散	2M5T、动力分散
定员/人	87	669	391	415 (441)*	404 (431)*	381
编组总重/t	307	835	441	443	468	402
编组总长/m	114	357.92	205.40	200.00	200.00	184.40
最高运行速度 /km·h ⁻¹	300	280	280	330	330 (220)	230
总功率/kW	8 400	9 600	4 800	8 000	8 000 (交) /4 300 (直)	4 000
供电制式	AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC 25 kV、50 Hz DC1.5 kV DC 3 kV AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz	AC 25 kV、50 Hz DC1.5 kV DC 3 kV AC15 kV、 16 $\frac{2}{3}$ Hz
制动方式	再生制动 线性涡流制动 盘形制动	再生制动 盘形制动 磁轨制动	再生制动 盘形制动 磁轨制动	再生制动 线性涡流制动 盘形制动	再生制动 线性涡流制动 盘形制动	再生制动 盘形制动 磁轨制动
投入运营时间	1982—1985	1985—	1996—	1997—	1997—	1997—

注：* ICE3 和 ICEM 型动车组在 2000 年将二等车定员增加，头等车定员减少，括号中数字是其增减后的定员。

四、其他国家高速铁路与新一代高速动车组发展概况

由于高速铁路具有良好的经济促进作用，西班牙、意大利、瑞典、韩国、比利时、荷兰、英国和美国等国家都纷纷研究高速铁路技术，先后发展了一系列的高速动车组。

意大利铁路早在 20 世纪 50 年代的 Settebello 电动车组上就获得了最高速度达 200 km/h 的运行经验，在 20 世纪 80 年代初规划建设高速铁路网的同时着手研制高速动车组。1989 年春，ETR500 型试验列车在罗马—佛罗伦萨试验时速度达到 316 km/h。随后，意大利又开发了“预生产型” ETRY500 列车，经试验后于 1991 年投入运行。随后，正式生产的 ETR500 试验列车（见图 1.13）于 1995 年开始供货并投入运用。同时，意大利铁路还开发了摆式列车 Pendolino。Fiat 公司在 1967 年就开始对摆式车体的理论和系统进行研究，1974 年试制成第一代摆式动车组 ETR401，并于 1976 年开始试用。鉴于 ETR401 在运用中的良好效果，随后，第二代 ETR450，第三代 ETR460、ETR470、ETR480 摆式列车以及动力分散型的 ETR600 动车组（见图 1.14）相继研制成功并投入运用。

瑞典铁路主要通过采用摆式列车实现高速化。瑞典铁路的主要特点是弯道多、曲线半径小。鉴于其铁路现状，瑞典国有铁路（SJ）和 ABB 公司经过多年的研究实验，研制成功了 X2000 型摆式列车，并于 1990 年投入运用。此后，瑞典还研制了 XZ、XCE 等型号的摆式列车。1994 年 4 月，瑞典国铁与我国铁道部决定合作研究利用 X2000 动车组在中国既有线路实施提速的可能性。经过研究与谈判，1996 年双方决定瑞典 ADtranz 公司为中国制造一列 X2000 动车组。1998 年 1 月 15 日，列车运抵天津新港，随即被送至中国铁道科学研究院环行线进行系统性能实验，同年 8 月在广深线完成安全评估试验，并于 1998 年 8 月 28 日正式在广深线投入运用（见图 1.15）。

西班牙在长 471 km 的马德里—塞维利亚的高速铁路主要采用从德、法两国购置的 AVE (Alta Velocidad Espanola) 动车组 (见图 1.16) 和由 S252 型电力机车牵引的 Talgo 摆式列车 (见图 1.17) 进行商业化运行。二次世界大战后, 西班牙开始着手研制 Talgo 列车, 1950 年, 由美国车辆及铸造公司制造的 Talgo 列车投入运行。在此基础上, 西班牙又先后研制了 Talgo II、Talgo III、Talgo-Pendular 等列车。1998 年 4 月, 西班牙铁路与德国 ADtranz、SIEMENS 及西班牙 Talgo 公司签订了合同, 研究开发 Talgo350 摆式列车, 样车于 2000 年底研制完成, 并于 2001 年 2 月 24 日达到 359 km/h 的最高试验速度。近年来, 西班牙还向 SIEMENS 订购了动力分散型的 Velaro 高速动车组 (见图 1.18)。

韩国于 20 世纪 90 年代初期引进了法国 TGV 高速动车组 (见图 1.19, 韩国 KTX 高速列车), 其高速铁路于 2004 年 4 月 1 日在首尔—釜山间开通运营。在此基础上, 韩国设计、制造了 HSR 高速动车组 (见图 1.20), 该车仍然为动力集中模式。为进一步提高列车运行速度, 韩国已将开发 400 km/h 动力分散型动车组列入计划。

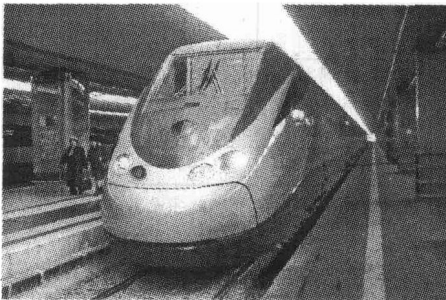


图 1.13 意大利 ETR500 高速列车

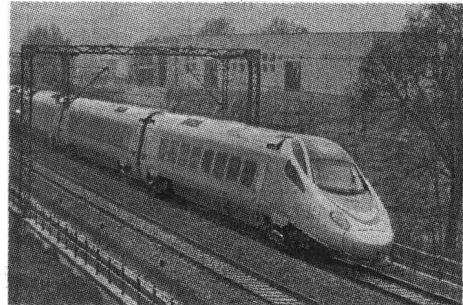


图 1.14 意大利 ETR600 高速列车

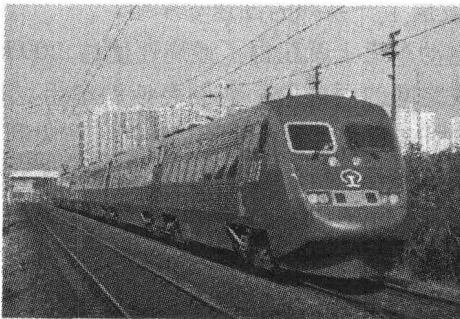


图 1.15 在广深线运用的 X2000 摆式列车



图 1.16 西班牙 AVE 高速列车

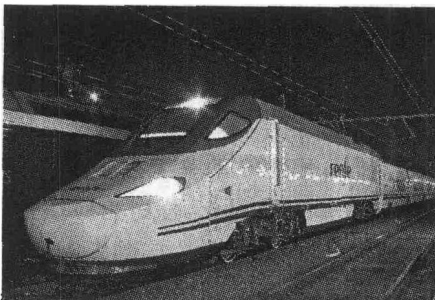


图 1.17 西班牙 Talgo 高速列车

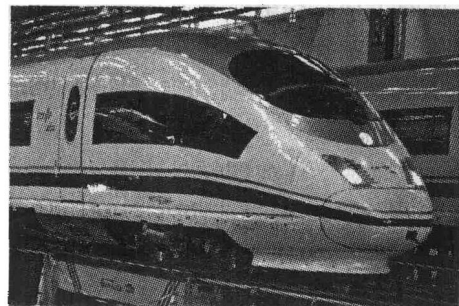


图 1.18 西班牙 Velaro 高速列车



图 1.19 韩国 KTX 高速列车

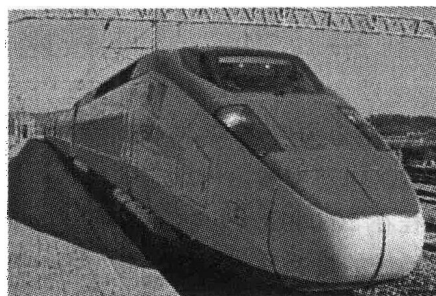


图 1.20 韩国 HSR 高速列车

意大利、瑞典、西班牙主要高速动车组基本参数如表 1.4 所示。

表 1.4 意大利、瑞典、西班牙高速动车组基本参数

国家	意大利		瑞典	西班牙	
车型	ETR500	ETR450	X2000	AVE	S252 牵引 Talgo 列车
编组	2L11T、动力集中	4M+1T+4M	1M+5T	M+8T+M	—
定员/人	600~663	386	292	329	—
编组总重/t	660	444.5	343	421.5	—
编组总长/m	329	—	140	200.144	—
最高运行速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	300	250	210	300	220
总功率/kW	8 800	5 000	4 000	8 800 (交) /5 400 (直)	5 600
供电制式	AC 25 kV、50 Hz DC 3 kV	DC 3 kV	AC 15 kV、 $16\frac{2}{3}$ Hz	AC 25 kV、50 Hz DC 3 kV	AC 25 kV、50 Hz DC 3 kV
制动方式	再生制动 电阻制动 盘形制动	电阻制动 盘形制动	再生制动 盘形制动 磁轨制动	电阻制动 闸瓦制动 盘形制动	闸瓦制动
运用年代	1989—	1988—	1990—	—	—

进入 21 世纪后, 高速铁路运行速度快、对环境影响小等优点更加突出, 各国已开始对最高运行速度达 350 km/h 以上的下一代高速动车组进行研究。SIEMENS、BOMBARDIER 等公司已完成了各自新一代动车组的方案设计, 如图 1.21、1.22 所示。此外, 阿根廷、俄罗斯等国家也已着手规划高速铁路, 并计划在 10 年内投入运营。

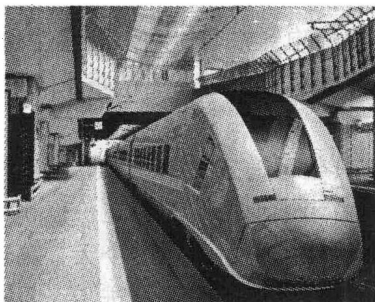


图 1.21 SIEMENS Venturio 高速动车组

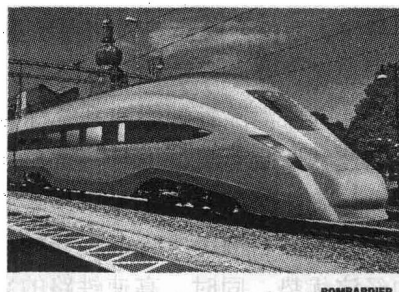


图 1.22 BOMBARDIER ZEFIRO 高速动车组

第二节 高速铁路的基本特点与技术条件

经过 40 多年的发展,高速铁路在激烈的客运市场中以其突出的优势在世界诸多经济发达的国家和地区迅速发展。世界高速铁路总里程已经突破 5 000 km,高速列车通过既有线实现的服务里程在 20 000 km 以上。高速铁路之所以在短时间内取得如此发展,其根本原因在于基于轮轨系统的高速铁路充分发挥了既先进、又实用的特点。高速铁路是当今时代发展和经济、技术进步的体现,势必在今后取得更大的进步。

从总体看,高速铁路具有以下基本特点:

(1) 高速铁路是当代高新技术的集成。高速铁路是庞大而复杂的现代化系统工程。20 世纪中后期,科学技术蓬勃发展,以计算机及其应用、微电子技术、电力电子技术、现代控制技术和新材料、复合材料技术为代表的新兴产业迅猛发展。高速铁路正是建立在这些相关领域基础上,综合协调,集成创新而取得的成果。因此,高速铁路实现了高质量及高稳定性的土建工程、性能优越的高速列车、先进可靠的列车运行控制系统、高效的运输组织和管理体系的综合。只有各子系统之间良好的配合与优化,才能实现高速铁路系统的整体最优。同时,高速铁路的发展也促进了计算机、通信、材料等相关行业的进步,使全球技术创新与进步的步伐大大加快。

(2) 高速度是高速铁路技术的核心。追求更高的速度是促使高速铁路技术兴起并获得迅猛发展的根本原因,建设高速铁路系统所采用的一切新技术都是围绕高速度展开的。综观世界高速铁路的发展历史,列车运营速度不断提高,从最初日本新干线 0 系列车的 210 km/h,到今天以 300 km/h 运行的列车奔驰在欧洲大陆,这正是铁路技术不断发展的体现。只有高速度才能缩短旅客的旅行时间,才能使铁路赢得市场。因此,高速铁路最高运行速度在轮轨系统允许范围内还将获得提高,国外厂商已经着手研制最高运行速度在 350 km/h 以上的高速列车。

(3) 系统动力学与安全问题更加突出。速度的提高是高速列车区别于普通铁路列车最根本的特征,但这也使列车轮轨间相互动力作用、列车空气动力学、列车弓网关系、车辆各部件疲劳损伤等问题更加突出。以日本新干线早期的 100 系列车为例,该动车组运行时需要同时升起 6 个受电弓,高速运行将大大加剧弓-网系统的振动,而两受电弓之间较小的距离将使振动尚未完全衰减的馈流线在短时间内再次受到激励,加剧了系统中各部件的相互作用,造成馈流线磨损严重,受电弓频繁离线也降低了车辆电气装置的寿命。同时,安全是铁路运输永恒的主题,在如此高速的情况下一旦发生事故将造成灾难性的后果。如果这些类似的问题无法得到解决,不仅会使高速铁路系统稳定性降低,还将影响到旅客的乘坐舒适性和安全性,最终将影响高速铁路的经济优势。因此,需要采用新技术、新方法对高速铁路系统进行分析,以争取在设计阶段消除各种影响系统综合性能的隐患。

(4) 高速铁路具有良好的经济优势和社会效益。与其他运输方式相比较,高速铁路具有运输能力大、安全性好、运行受气候影响小、能耗少、占用土地省、工程造价低、环境影响小等特点。在世界石油等常规能源开始显现出危机、环境污染日益严重的今天,高速铁路具有良好的经济优势。同时,高速铁路的兴建将迅速带动沿线经济的发展与进步,具有良好的社会效益。

各国主要高速铁路技术条件如表 1.5 所示。

表 1.5 各国主要高速铁路技术条件

国 家	日 本	日 本	法 国	德 国
运用线路	东海道新干线	山阳新干线	地中海线	科隆—法兰克福
投入运行时间	1964.10.1	新大阪—冈山：1972.3.15 冈山—博多：1992.3.10	2001	2002.8
营业里程/km	515.4	553.7	295	219
最高运行速度 /km·h ⁻¹	270	300	350	330
最大坡度/‰	15	15	35	40
最小曲线半径/m	2 500	4 000, 困难 3 500	7 000~7 700, 困难 6 400	3 500, 困难 3 350
线间距/m	4.2	4.3	4.8	4.5
最大允许超高 /mm	200	185/180	180	170
允许欠超高/mm	110	90	55	150
复线隧道面积/m ²	64	64	—	—
运用车型	0系、100系、300系、500系、700系	0系、100系、300系、500系、700系	TGV-2N	ICE3

第三节 高速铁路线路概述

一、高速铁路线路的基本特点

线路是列车运行的基础，高速运行的列车要求线路具有高平顺性、高稳定性、高精度、小残变和少维修性，并要有良好的环境保护性。只有这样，才能保证列车运行的高速、平稳和安全。

高速铁路线路主要具有以下基本特征：

(1) 高平顺性。轮轨相互作用的理论指出，轨道不平顺所引起的轮轨动力响应及其对行车安全性、平稳性和乘车舒适性的影响随速度的提高而增大。因此，对于高速铁路要求具有高平顺性的轨道。

(2) 高稳定性。稳定、沉降小且沉降均匀的平顺路基是高平顺性轨道的基础。其稳定性好主要需要控制路基的“变形”，并要求桥梁具有足够大的刚度。

(3) 高精度、小残变、少维修。轨道铺设的初始不平顺是运营后不平顺发生、发展、恶化的根源，因此，要求轨道初始铺设时具有高精度。同时，由于高速动车组频繁及强烈的冲击载荷作用，要保证运营后仍然具有高平顺性，则必须保证铺设时的小残余变形。只有这样，才能保证线路的少维修量。

(4) 宽大、独行的线路空间。列车高速运行时将带动周围空气流动，形成一种特定的非