

高等学校高速铁路系列教材



动车组

工程

主 编 ◎石广田 曹兴潇

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

动车组工程 / 石广田, 曹兴潇主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2021.11
高等学校高速铁路系列教材
ISBN 978-7-5643-8351-0

I. ①动… II. ①石… ②曹… III. ①高速动车—高等学校—教材 IV. ①U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 230082 号

高等学校高速铁路系列教材

Dongchezu Gongcheng

动车组工程

主 编 / 石广田 曹兴潇

责任编辑 / 何明飞

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031)

发行部电话: 028-87600564 028-87600533

网址: <http://www.xnjdcbs.com>

印刷: 四川森林印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 16.5 字数 409 千

版次 2021 年 11 月第 1 版 印次 2021 年 11 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-8351-0

定价 60.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

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 】 >>>>

PREFACCE

2021年3月,中共中央国务院印发了《国家综合立体交通网规划纲要》,规划到2035年,国家综合立体交通网实体线网总规模合计70万千米左右,其中铁路20万千米左右,高速铁路7万千米(含部分城际铁路),形成有“八纵八横”高速铁路主通道为骨架、区域性高速铁路衔接的高速铁路网。随着高铁运营里程的增加,动车组投入使用量也不断提升,2006年7月,国内首列国产化速度200 km/h动车组下线,2017年,“复兴号”正式开跑。截止到2019年,我国投入使用动车组达到2.93万辆。随着动车组配属的不断增加,不论是从事动车组运用维修的管理人员,还是从事动车组设计的研究人员,尤其是大中专院校的师生,都急需一本系统全面论述动车组结构和工作原理的教材或技术参考书。基于这样的背景,作者在广泛搜集高速动车组技术资料的基础上,通过整合优化、归纳整理,编写了《动车组工程》一书。

本书包含8个章节,以“和谐号”系列动车组为基础,结合最新的“复兴号”动车组技术,从动车组机械部分的构造原

理、制动系统、信息传输和旅客信息系统、控制与诊断系统几方面进行了详细的论述。第1章介绍了高速铁路和动车组的发展历程,重点分析了动车组车辆的结构特点、组成、类型和技术参数。第2章介绍了动车组的转向架技术,论述了转向架的

作用、组成、类型和零部件的结构和工作原理。第3章介绍了动车组的车体结构和车内设备,分析了动车组的车体典型结构、设备布置、司机室和车体相关技术。第4章介绍了动车组的车端连接技术,包括车端连接装置的组成及要求,密接式车钩缓冲装置和密接式风挡的结构与工作原理。第5章论述了动车组空气制动系统的组成和工作原理。第6章介绍了动车组的信息传输系统。第7章介绍了动车组旅客信息系统的组成和工作原理。第8章介绍了动车组控制与诊断系统的组成和工作原理。

本书由兰州交通大学石广田和曹兴潇担任主编，其中第 1 章和第 6 章由石广田编写，第 2 章、第 4 章由曹兴潇编写，第 3 章和第 7 章由黄志丹编写，第 5 章和第 8 章由张涛编写，全书由石广田和曹兴潇统稿。

本书的编写得到了兰州交通大学机电工程学院领导和老师的大力支持，特别感谢兰州交通大学商跃进教授、左丽娟副教授、张小安副教授和刘万选老师在本书编写过程给予的指导和帮助。

由于编写时间仓促，作者水平有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2020 年 10 月于兰州

【 目 录 】 >>>>

CONTENTS

1	高速动车组基础知识	001
1.1	高速铁路简介	001
1.2	动车组简介	005
1.3	动车组车辆概述	015
1.4	高速铁路限界及线路构造特点	019
	复习思考题	026
2	转向架基本结构与原理	027
2.1	转向架的特点、组成及分类	027
2.2	轮对轴箱装置	031
2.3	弹性悬挂装置	036
2.4	构 架	048
2.5	基础制动装置	049
2.6	驱动装置	054
2.7	典型动车组转向架	059
	复习思考题	066
3	动车组车体结构及设备布置	067
3.1	动车组车体结构	067
3.2	车体相关技术	068
3.3	典型动车组的车体承载结构	078
3.4	动车组总体布置	089
3.5	动车组司机室	098
	复习思考题	108
4	动车组车端连接装置	109
4.1	概 述	109
4.2	车 钩	112
4.3	缓冲器	119
4.4	风挡和车端阻尼	123
4.5	典型动车组车端连接装置	125

复习思考题	144
-------------	-----

5	电空制动系统	145
	5.1 概 述	145
	5.2 供风系统设备及制动控制原理	146
	5.3 制动功能及参数	158
	5.4 制动距离计算	168
	5.5 空气消耗量计算	168
	复习思考题	169
6	信息传输	170
	6.1 概 述	170
	6.2 信息传输协议	170
	6.3 列车通信网络	174
	6.4 车厢通信网络	177
	6.5 设备通信网络	191
	6.6 人机交互接口	192
	6.7 诊断系统	196
	复习思考题	198
7	旅客信息系统	199
	7.1 概 述	199
	7.2 系统组成和系统设备	199
	复习思考题	210
8	动车组控制和诊断系统	211
	8.1 概 述	211
	8.2 列车控制技术基础知识	216
	8.3 动车组控制与诊断系统	225
	8.4 列车自动控制/防护 (ATC/P)	234
	8.5 列车运行监控记录装置	240
	复习思考题	251
	参考文献	252

自 1825 年,世界上第一条铁路在英国诞生以来,为了增加铁路运输的竞争力,适应社会、经济、文化、环境的发展,提高列车的运行速度一直是铁路行业的主旋律。从 20 世纪开始,发达国家,包括德国、法国、日本、瑞典等国都进行了大量有关高速列车的研究工作。目前,世界上已经有中国、日本、德国、法国、瑞典、英国、意大利、俄罗斯等 16 个国家和地区建成运营高速铁路。据国际铁路联盟统计,截至 2013 年 11 月 1 日,世界其他国家和地区高速铁路总营业里程 11 605 km,在建高铁规模 4 883 km,规划建设高铁 12 570 km。高速铁路技术已经成为一个国家交通技术发展水平的重要指标,也衡量着一个国家科技现代化的水平。

1.1 高速铁路简介

铁路列车按照国际上铁路线路允许运行的最高速度可划分为普通列车、快速列车和高速列车;其中普通列车的最高运行速度为 100~160 km/h,快速列车的最高运行速度为 160~200 km/h,高速列车的最高运行速度既有改造线路大于 200 km/h 或新建线路大于 250 km/h。因此高速铁路一般是指最高运行速度不低于 200 km/h 的铁路。

1.1.1 世界高速铁路的发展

世界上第一条高速铁路始建于 1964 年的日本,即东海道高速铁路新干线,简称日本新干线,最高运营速度达到了 210 km/h。这条高速铁路线的建成解决了当时日本很多的运输问题,极大地推动了日本的发展,带来了举世瞩目经济和社会效益。随后法、德、日等国也在高速技术上取得了新突破:1983 年,法国 TGV 投入使用,最高运营速度 270 km/h;1988 年德国 ICE 试验速度达到 406 km/h;1990 年法国 TGV 列车最高试验速度达到 515.3 km/h,创下了当时的世界最高纪录;2007 年 4 月 3 日,法国阿尔斯通公司制造的 V150 列车,创造了 574.7 km/h 的新纪录,这意味着列车在铁路轨道上可以以超过普通货物运输飞机的速度(500~550 km/h)运行。

随着列车速度的不断提高,各项技术的不断完善,高速铁路的发展给人类带来极大的便利,与此同时,高速列车与交通运输行业中的其他运输工具相比,对人类生存环境的影响较小。上述优势使得高速铁路在世界范围内得到了极大的发展。

纵观世界高速铁路建设和发展历程,大约可划分为 3 个阶段:

1. 20 世纪 60 年代至 80 年代末期

这一时期，在世界上经济技术最发达的一些国家（如日本、法国、德国、意大利等）的共同推动下，世界高速铁路得到了快速的发展，因此带来了高速铁路建设在世界范围内的第一次高潮，多条高速铁路被建设并投入运营，主要代表线路见表 1.1。

表 1.1 第一阶段高速铁路代表线路

国家	高速铁路技术代表	总里程
意大利	罗马—佛罗伦萨线	3 198 km
德国	汉诺威—维尔茨堡高速新线	
法国	大西洋 TGV 线；东南 TGV 线	
日本	上越、东北、山阳和东海道新干线	

2. 20 世纪 80 年代末至 90 年代中期

通过高速铁路建设的第一次高潮的推动，在 20 世纪 80 年代末期，高速铁路在世界各国得到了高度重视，也形成了高速铁路建设的第二次高潮，涉及更多的国家，同时也将欧洲的很多国家通过高速铁路连接在了一起。这一时期的代表线路见表 1.2。

表 1.2 第二阶段高速铁路代表线路

国家	时间	高速铁路技术代表	备注
瑞典	1991 年	X2000 型号的摆式列车运营	
西班牙	1992 年	马德里—塞维利亚高速铁路线	德国、法国的技术
英国/法国	1994 年	吉利海峡隧道	第一条高速铁路国际连接线
法国	1997 年	“欧洲之星”运营	连接德国、荷兰、比利时和法国

3. 20 世纪 90 年代中期形成至今

20 世纪 90 年代中期，高速铁路的建设几乎涉及整个世界，包括大洋洲、北美洲、亚洲以及整个欧洲地区。除了上述高速铁路技术较强的发达国家外，世界范围内的很多国家也开始建设高速铁路新干线；在欧洲地区，欧洲中部和东部国家也同时配合欧洲高速铁路网的建设，铁路运输形成了一片繁荣的景象。

1.1.2 我国高速铁路的发展

高速铁路是 20 世纪交通运输行业发展过程中取得的重大成就，也是铁路发展的趋势。高速铁路具有速度快、安全性高，舒适度良好等特点，而我国的地域广阔、人口众多、资源相对匮乏，因此大力发展高速铁路能够很好地解决我国的一些实际困难。

与发达国家相比，我国的高速铁路建设起步较晚，但从 21 世纪开始，我国的高速铁路建设发展得十分迅速。1990 年，铁道部在全国人大会议期间提交讨论了《京沪高速铁路线路方

案构想报告》，首次正式提出了在我国建设高速铁路的构想，开始了我国高速铁路的研究工作。第八个五年计划期间对高速铁路进行了早期研究，但没有实质性的进展。1998年5月，广深铁路通过电气化完成了提速改造，将最高速度提高到了200 km/h；同年8月，我国从瑞典租赁的X2000摆式高速动车组在广深铁路上运行，我国由此开始研究摆式列车在既有线路上提速的可能性，在整个线路中，采用了国际先进水平的技术以及设备，广深铁路的提速改造完成，宣告我国也正式开始了由既有线路改造踏入高速铁路。1998年6月，我国第一款高速铁路机车韶山8型电力机车在京广线区段进行了试验运行，试验速度达到了240 km/h，这一车速也创下了当时的“中国铁路第一速”。

1997年开始，我国铁路运输进行了六次客货列车大提速，1999年我国建设了我国的第一条高速铁路（也是我国高速铁路的前期实验段）：秦沈客运专线，即秦皇岛至沈阳的秦沈客运专线，设计速度为250 km/h。2004年开始，我国提出了对国外高速铁路技术“引进、吸收、消化、改造、创新”的思路，通过铁路从业人员的努力奋斗，仅仅5年的时间，已完成国外30年的高速铁路发展历程。目前我国已掌握速度200~350 km/h的高速动车组、线路设备、自动控制系统等一系列技术，使我国的高速铁路技术已达到国际领先水平。2010年10月26日，在沪杭高速铁路运营线路上，高速列车的速度达到486.1 km/h的试验速度，刷新了世界铁路在运营线路上运行的最高速度记录。我国通过不断加大高速铁路相关基础设施建设的投入，我国在技术发展、开工建设、运营里程等各方面都处于国际领先地位，也确保了我国宏观经济的稳步增长。

中国高速铁路发展的特点是起步晚、发展快。京津城际高速铁路在2008年开通运营，使北京与天津两大直辖市之间的运行时间由原来的2小时缩短为30分钟左右。2011年6月30日，全长1318 km的京沪高速铁路完成了通车，设计速度350 km/h，初期运营速度300 km/h，京沪高速铁路也是世界上一次建成的里程最长的高速铁路。2012年12月1日，世界上第一条新建高寒高速铁路——哈大高速铁路正式通车运营。2012年12月26日，世界上干线最长的高速铁路——京广高速铁路全线贯通运营，全长达到了2298 km。

至2020年，中国高铁运营里程已达3.8万千米。“四纵四横”高铁网已提前建成运营，“八纵八横”高铁网建设全面展开。根据中国国家铁路集团有限公司对外公布的《新时代交通强国铁路先行规划纲要》，到2035年，我国将建成服务安全优质、保障坚强有力、实力国际领先的现代化铁路强国。中国铁路网将达到20万千米左右，其中高铁约7万千米。到2050年，全面建成更高水平的现代化铁路强国。

1.1.3 高速铁路的总体特征

高速铁路是世界上最庞大、最复杂、最先进的现代运输方式，有着其他运输方式无法比拟的优势。整个高速铁路的建设涉及多个领域的相关高新技术，是一项多学科、多专业、多门类的综合技术，包括计算机，电子技术，新型材料的应用等高新技术，同时吸收应用机械、化工、材料、工艺、电子、信息、控制、节能、卫星通信、空气动力学、环境保护等众多专业。通过对众多高新技术的综合集成，进而形成一种能与既有铁路路网兼容的新型快速交通运输系统。高速铁路解决了普通铁路的缺点，相对其他运输方式有一定的优势。

1. 安全好

安全性是所有交通运输行业首先考虑的因素。虽然交通运输不能达到 100% 的安全，但高速铁路普遍采用线路全封闭和运行控制自动化，并且具有一系列完善的安全保障体系，在很大程度上提高了高速铁路的安全可靠性。同时，高速铁路上装有高新的诊断监测系统，能够预防自然灾害的自动报警装置，具有科学的养护维修制度等一系列的安全防御措施，极大地提高了运营时的安全性。因此，高速铁路是目前世界上最为安全的现代高速交通运输方式之一。

2. 运能大

据不完全统计，高速铁路年均单向输送将达到 1.17 亿人次。四车道高速公路年均单向输送能力为 8 700 万人次。航空运输采用大型客机的年单向输送能力只能达到 1 500 万 ~ 1 800 万人次。高速铁路的运能远大于其他交通运输工具。

3. 速度快

速度是交通运输过程中比较优越的主要指标之一，而高速是高速铁路的核心技术。如我国武广客运专线动车组的运行速度达到了 350 km/h，是高速公路小汽车运行速度的 3 倍，喷气客机的 1/3 和短途飞机的 1/2。

4. 能耗低

能耗的高低是评价交通运输方式优劣的重要经济技术指标之一。在能源紧缺的当今世界，能源不足是困扰各国经济发展的重大问题之一。我国的能源消费大，能源也相对短缺，节能降耗也是我国经济发展的国策之一。高速铁路使用的是二次能源——电力，使得高速铁路在节约能源方面具有明显的优势。

5. 污染轻

环境保护是人类生存和发展的全球性问题，交通运输与生态环境有着十分密切的关系。在交通运输过程中，对环境的污染主要体现在废气污染和噪声污染。高速铁路主要采用电气化和集便器等设施设备，基本上消除了粉尘、油烟和其他废气（物）对环境的污染。随着科技的发展，人们已逐渐认识到了噪声污染对环境的影响以及对人体的危害，各国在高速铁路的修建过程中，采取了一系列的降噪措施，如两侧修建隔音墙等。在各类快速交通工具中，高速铁路产生的噪声较小，因此各国已加大高速铁路和城市轨道交通发展。

6. 占地少

我国虽然国土面积广阔，但人口众多，因此人均耕地低于世界各国平均水平；保护耕地和节约使用土地是我国走可持续发展道路的重要国策之一。作为陆上交通运输工具，修建过程中需要占用大量的土地。一般情况下，双线高速铁路路基面宽 3.6 ~ 14 m，4 车道的高速公路路基面宽 26 m；在土地占用率方面，高速铁路也具有十分明显的优势，如一个大型飞机场包括跑道、滑行道、停机坪、候机大楼设施，占用土地面积大，并且大多是市郊良田。而在高速铁路线路中，桥架结构、隧道等铁路工程所占比例极高，能够很大程度地减少土地的占用率。

7. 造价低

在国家的基础工程建设中，能否得到快速的发展，工程造价的高低也是影响因素之一。与普通铁路的修建相比，高速铁路的工程造价比较高，但高速铁路的优势却十分明显。与其他交通运输方式相比，修建一条高速公路或民航机场的单位造价高于高速铁路。

8. 舒适度高

随着人们物质生活水平的提高，出行时的舒适情况现已被人们所重视。高速铁路线路具有高平顺性、高稳定性、曲线半径大等特点，列车在运行过程中相对平稳，速度快但振动很小。在车内设施的制造中，使用的新型材料使得动车组内部具有宽敞明亮，设施先进，装备齐全，乘坐舒适，活动半径大等特点，上述特点也是其他交通运输工具所欠缺的。

9. 效益好

高速铁路带来的直接经济效益十分明显。目前高速铁路的修建完全改变了传统铁路普遍存在的投资大，回收周期长，运营效益低的共性问题。例如，法国 TGV 东南线自 1983 年全线通车以来，在 1984 年就实现盈利，运营 10 年后即收回全部的投资。高速铁路的修建也改变了交通拥堵、事故频发、环境污染等问题，为后续的处理与改善节省了大量的费用，并且我国高速铁路的建设主要集中在目前运能十分紧张、人口密度大、经济发展快的大中城市间，因此可实现短期内回收投资。

1.2 动车组简介

动车组是一种由动车（有动力）和拖车（无动力）组成的自带动力、两端均可操作驾驶、整列一体化设计的一组列车。动车组集成了当今世界的许多高新技术，主要应用的技术包括轮轨技术、交流传动、制动控制、列车运行控制、信息工程、空气动力学工程、人体工程、环境工程、可靠性与安全性技术等多个专业领域的研究成果。高速动车组也是高速铁路的标志性装置之一。

1.2.1 动车组的分类

动车组常见的分类方式有动力配置方式、牵引动力类型、速度等级和转向架与车体的连接方式等。

1. 按动力配置方式分类

所谓动力配置方式是指在动车组编组中，根据动力车的数量和所处的位置进行分类。按照动车组动力配置方式可将动车组分为动力集中型和动力分散型动车组。

(1) 动力集中型动车组。

动车组中两端为动力车（或一端为动力车，另一端为控制车）、中间为拖车的配置，称为动力集中型配置，如图 1.1（a）所示。其特点是两端的动力车均为一个完整的动力单元，与传统的机车相似，动力车只牵引，不载客。如法国大西洋线高速列车（TGV-A），在列车编组中两端是动力车，中间是 10 节拖车，即 2 动+10 拖（简称 2M10T）；德国 ICE-2 型高速动车

组在编组中一端是动力车，另一端是控制车，中间是 6 节拖车，即 1 动+6 拖+1 控制车（简称 1M6T1Tc）。控制车的特征是带司机室操作室，外形设计成流线型，不带动力单元，可以容纳司乘人员和旅客，我国的 CR200J 复兴号动车组动力配置与此类似。

（2）动力分散型动车组。

动车组编组中全部为动力车，或一部分为动力车，另一部分为拖车的配置，称为动力分散型配置，如图 1.1（b）所示。其特点是两节或两节以上的车辆组成一个动力单元，电动机驱动的动力轮对分散配置在所有车下或部分车下，将动力单元中的变压器或变流器等设备吊挂在不同车下，也可将动力装置吊挂在车辆下部，使动车组轴重比较均匀，整列车动车组可由若干个动力单元组成。例如，我国目前生产的 CRH 系列动车组全部采用动力分散型动车组。国外如日本也全部采用动力分散型动车组。法国的 AGV 和德国的 ICE-3 型高速列车也都是动力分散型动车组。

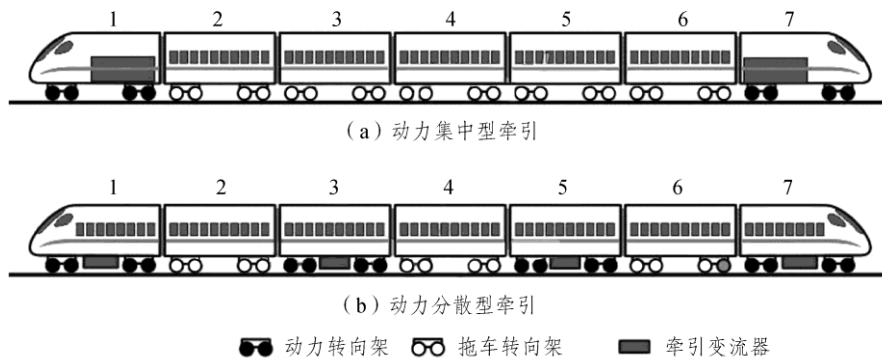


图 1.1 动车组动力配置方式

动力分散电动车组的优点是能够实现较大的牵引力，由于采用动力制动的轮对多，制动效率高，且调速性能好，制动减速度大，动力分散型电动车组适用于限速区段较多的线路。同时由于将牵引传动系统的设备质量分散到各个车辆上，降低了动车组的最大轴重。动力分散的电动车组的缺点是牵引设备数量多，总质量大。车辆下部吊装的动力设备所产生的振动和噪声会影响车厢内的舒适度，增加隔振降噪的成本。

动力集中型电动车组的优点是故障率相对较高的机械和电气设备集中在 2~3 节车上，便于监测和维修保养。机械和电气设备与载客车厢相隔离，对车厢内噪声和振动影响小，与传统机车牵引的列车类似，可以灵活编组，便于运用和维修管理。动力集中布置的缺点是动车的轴重大，而高速动车组要求列车的轴重尽量轻。动车头车的制动能力受到黏着的限制，需要拖车分担部分制动功率，因此列车的制动性能欠佳。

2. 按牵引动力类型分类

按照牵引动力的类型可以将动车组分为电力动车组和内燃动车组。

（1）电动车组。

靠电气化铁路接触网供电，由牵引电动机驱动的动车组，叫电动车组（Electric Multiple Unit, EMU）。电动车组按电流制分为直流和交流两种，按照传动方式又可分为直-直传动、交-直传动和交-直-交传动 3 种。由于电力牵引具有牵引功率大、轴重量轻、经济好、利于环保等优

点。因此，从世界各国高速铁路的发展状况来看，80%以上的高速动车组都是采用电力牵引。

(2) 内燃动车组。

用内燃机作动力，通过电力传动或液力传动装置驱动动轮的动车组，叫内燃动车组(Diesel Multiple Unit, DMU)。内燃动车组按传动方式又分为电力传动或液力传动两种。内燃动车组由于其投资少，见效快等优点，常常用于尚未电气化的高速铁路区段，或者作为发展铁路建设的一种过渡牵引形式。

3. 按速度等级分类

按照速度等级可以分为普速、快速、高速和超高速动车组。

(1) 普速动车组：运行速度为 120 ~ 160 km/h。

(2) 快速动车组：运行速度为 160 ~ 200 km/h。

(3) 高速动车组：运行速度为 200 ~ 400 km/h。

(4) 超高速动车组：运行速度大于 400 km/h。

4. 转向架与车体的连接方式分类

(1) 独立式动车组：转向架和车体采用传统的连接方式，每节车的车体都由两台转向架支撑，车辆与车辆之间通过车端连接装置相连接，动车组解编后车辆可以独立行走。

(2) 铰接式动车组：是将动车组车体与车体之间采用弹性铰相连接，在两个车体连接处共用一台转向架，因此每节车辆不能从动车组中解编下来独立行走。

(3) 倾摆式动车组：是指动车组在曲线线路中通过时，车体可以向曲线内侧倾摆的动车组。倾摆式动车组可应用在既有线路的提速。

1.2.2 动车组发展概况

1. 国外高速动车组概况

(1) 日本高速动车组。

1964 年 10 月 1 日，世界上的第一条高速铁路——东海道新干线在日本成功运营，其运行速度达到了 210 km/h。它采用专门用于客运的电气化双线铁路，标准轨距，代表了当时世界上最高水平的高速铁路技术。东海道新干线的运营标志着世界高速铁路由初期的试验阶段正式进入商业运营阶段。这条新干线的主要特点体现在安全、快速、准时、舒适、运输能力大、环境污染轻、节省能源和土地资源等方面，因此得到了政府和公众的支持。1971 年，日本国会审议通过了《全国铁道新干线建设法》；1975 年，山阳新干线通车营业，列车最高速度为 270 km/h；1985 年，东北新干线通车营业，列车最高速度 240 km/h；1982 年，上越新干线通车营业，列车最高速度为 240 km/h；1997 年，北陆新干线通车营业，列车最高速度为 260 km/h。

日本在新干线上运营的高速列车全部采用电动车组的形式。从 0 系高速动车组开始，日本相继研制开发了第一代 100 系、100N 系、200 系、E1 (Max) 系、400 系，第二代 300 系、500 系、E2 系和 700 系等高速列车动车组。日本高速列车主要采用动力分散型动车组，其轴重小，增强了列车运营的安全性。