

第一章 国内外高速动车组简介

第一节 国外高速列车发展历程

一、日本

1964年10月1日，连接东京与新大阪之间的高速客运专线——东海道新干线开通运营，该线采用0系电动车组，最高运营速度210 km/h。在此之前，其他国家的铁路运营速度最高仅为160 km/h，东海道新干线成为世界上第一条商业运营的速度超过200 km/h的高速铁路。此后，日本持续进行高速铁路的建设，并根据不同线路研发和投入运营了多种型号的高速列车。由于日本的高速列车型号较多，这里仅介绍具有典型代表意义的几种。

1. 0系电动车组

0系电动车组是日本新干线首发的动车组，不仅是日本高速动车组的“鼻祖”，更是世界上第一列高速动车组。0系动车组首次采用动力分散型牵引控制系统。全列车编组方式，编组为16M，配置了8个受电弓，采用直流电机牵引，最高运营速度达到220 km/h，突破了当时世界上德、法等铁路强国列车的160 km/h。由于采用动力分散型，轴重只有16 t，0系电动车组有效地适应了日本地质松软的情况。

2. 100系电动车组

1985年，100系电动车组投入运营，最高行车速度可达230 km/h。它的最大特点是采用半导体技术并合理化设计，使列车单位质量功率提高，从而有可能编入拖车。100系电动车组采用12M4T的编组方式，并在新干线上首次使用双层客车拖车。

M——动车；T——拖车；L——机车。

3. 300 系电动车组

1992 年，300 系电动车组下线运行，编组为 10M6T，最高运营速度达到 270 km/h；同时首次采用交流传动、再生制动、流线型车头、低重心、前后 2 台受电弓等技术，轴重进一步降低至 11.4 t。轴重小成为日本动车组新的亮点，这是当时其他国家无法达到的目标。

4. 500 系电动车组

1997 年，500 系电动车组下线运行，编组为 16M，运营速度提高至 300 km/h。虽然增加了牵引系统质量，但轴重仍为 11.4 t。该系动车组还增设了陶瓷粒子喷射装置增加黏着力，使得紧急制动距离和 300 系电动车组相同。

5. N700 系电动车组

2007 年，N700 系电动车组下线运行，编组为 14M2T，运行速度 300 km/h，其中起动加速度达到 0.72 m/s^2 ，采用了数字 ATC 列车运行控制系统，使得制动更加平稳。特别是采用不同于欧洲国家的摆式列车的车体倾斜技术，通过调节左右空气弹簧的高度，让车体向曲线内侧只倾斜 1° ，列车能以 270 km/h 通过 2 500 m 曲线半径，提高了平均旅行速度。

6. E5 系电动车组

2011 年 3 月 5 日，E5 系电动车组下线运行，编组为 8M2T，采用了倾摆式技术，并引入风阻制动机构，运营速度达到 320 km/h。

7. E7 系电动车组

2014 年 3 月，E7 系电动车组下线运行，编组为 10M2T，最高运行速度 260 km/h，能有效适应日本北陆新干线复杂的地理环境，如 30 km 的连续 30‰ 坡道，接触网为 50 Hz/60 Hz 双频兼容等。该系动车组由 5 个单元构成，即使有 1 个单元失效，动车组仍可以在 30‰ 的坡道上重新起动。下坡道使用再生制动，基础制动具有在 30‰ 连续坡道上仅靠空气制动由初速度 210 km/h 安全停车的功能；采用 VVVF 控制方式，ATC 车载信号系统采用感应信号自动切换方式；设置了停电检测装置，以缩短经济制动动作时间，缩短了制动距离。

二、法 国

法国是最早致力于高速铁路运营的国家之一，在 20 世纪 60 年代初，法国的客车最高运行速度就已达到 160 km/h。但是在发展初期，法国高速列车

的牵引动力一直来源于航空用的燃气轮机,而非电机,直到 20 世纪 70 年代中期,受世界范围石油危机的影响,法国才放弃以燃气轮机为动力的高速列车,加速研制高速电动车组。1983 年 9 月 27 日,巴黎到里昂间部分高铁线路开通投入运营,采用了流线型 TGV(法语 Train à Grande Vitesse,法国的高速铁路系统)动车组,最高运营速度为 270 km/h,超过了当时日本新干线的 220 km/h。首发的 TGV-PSE 动车组采用动力集中型牵引控制系统,轴重 17 t,编组为 2L10T,由两台机车前后牵引,采用直流牵引技术,铰接式转向架,初期运营速度达到 260 km/h,两年后达到 270 km/h,2001 年达到 300 km/h。

1989 年,第二代高速列车 TGV-A 在大西洋线上运行,仍采用动力集中型,编组为 2M10T。该型列车首次采用了同步电机牵引的交流传动技术,并在制动和受流等关键技术上有重大进展,使得高速列车性能和旅客乘坐舒适度均有明显提高,同时运营费用比上一代 TGV 降低了近 20%。2007 年 4 月 3 日,在法国一段经过特殊加固的铁路线上一列名为 V150(very highspeed 150 m/s 即 540 km/h)的双层 TGV 列车,经过 14 min 的连续加速,达到了 574.8 km/h 的超高瞬时速度,创造了轮轨列车的最高速度世界纪录。

由于 TGV 运行阻力小、稳定性高、噪声低,在传统轮轨领域的技术领先于欧盟各国,1996 年,欧盟各国的国有铁路公司经联合协商后确定采用法国技术作为全欧高速列车的技术标准。

由于日本新干线 300 系以后的列车表现出轴重轻、再生制动利用充分等优点,使得欧洲也开始重新审视动力分散型的优缺点。2007 年 2 月,法国阿尔斯通公司研制出世界上第一个采用铰接式转向架、动力分散型的第四代动车组——AGV(Automotrice à grande vitesse),运行速度 360 km/h。因为 AGV 的优良特性,所以 2008 年 1 月 17 日,意大利的 ITALIO 公司与阿尔斯通公司签订了采购 25 列 11 辆编组 NTV 动车组,运营速度 360 km/h 的合同,并于 2012 年 4 月 18 日正式运营。

三、德 国

德国铁路自 20 世纪 80 年代开始发展 250 km/h 以上的高速客运列车,其高铁系统简称为 ICE 系统(Inter City Express),即“城际快车”。首先研制了名为 ICE-V 的试验样车。该车由德国西门子公司与 Adtranz 公司联合开发,于 1985 年投入试运行。在 1988 年 5 月 1 日的试验中,速度达到 406.9 km/h,创造了当时的世界纪录。

随后在 1991 年 6 月，德国第一代高速列车 ICE1 正式投入运营，主要在汉诺威—维尔茨堡、斯图加特—曼海姆 2 条高速线路上运行。ICE1 的牵引控制系统为动力集中型，14 辆或 16 辆编组，采用异步电机驱动的交流传动技术，运营速度为 280 km/h，但轴重达到 19.5 t。

1997 年，ICE2 投入运营。ICE2 也是动力集中型，相比 ICE1，ICE2 只有一节动力车，另一端为控制车，其余为拖车，并且可以两列车重联运行。

2000 年，ICE3 正式运营。ICE3 调整为动力分散型，轴重也降至 16 t，编组为 4M4T，设计最高速度 330 km/h，可重联运行。另外，为实现欧洲跨国高铁旅行的目的，德国在 ICE3 的基础上开发出了 ICE3-M 型动车组。该车型可适应交流、直流等多种供电制式，因而德国开通了多条“欧洲跨境高铁线路”，将英国、比利时、荷兰、瑞士、奥地利的铁路连接起来，乘客可以乘高铁跨越多国。

2015 年 12 月，德国第四代列车 ICE4 正式亮相，该车长 345 m，830 个座位，12 辆编组，6M6T，最高运行速度 250 km/h。虽然 ICE4 的最高运营速度较 ICE3 有所下降，但是车辆整体质量变小，载容量更大，旅行舒适度更高，效益更好。

四、意大利

意大利是欧洲最早建设高铁的国家之一，早在 20 世纪 60 年代就研究兴建高速铁路。意大利最初的建设思路是不对线路设施进行重大改造，而仅对机车车辆进行改造，以提高运行速度，降低建设费用，因此它将重点放在摆式列车的研究上。

摆式列车的原理是列车在通过曲线区段时，车体自动向曲线内侧倾斜以补偿一部分欠超高，减少乘客的不舒适度，从而可以提高列车通过曲线的速度，进而提高列车的旅行速度。在曲线区段越多的线路上，摆式列车的提速效果越好。根据车体倾摆原理的不同，摆式列车分为主动式和被动式两种。主动式是通过安装在头车转向架上的传感器发出即将进入曲线区段的信号，车载计算机进行计算、处理控制液压或电动机机构使车体倾斜。被动式摆式车体则是使车体的摆动支点远离并高于其重心，因而列车通过曲线时，车体下部向外摆，而上部向内摆。主动式摆式车体技术较复杂，但是提速效果好，可以提高曲线通过速度 30% 以上。

经过了十多年的研究，意大利终于在 1975 年研制出第一列摆式列车

ETR401 列车。由于运行效果不错，被德国、芬兰、捷克、波兰等欧洲等国纷纷引进。1988 年，第二代 Pendolino-ETR450 列车投入使用，这是第一种正式生产的摆式列车，采用直传动技术，编组为 8M1T，最高运营速度达到 250 km/h，采用铝合金车体。

1994 年，第三代 Pendolino-ETR460 列车投入运营，首次采用了 GTO 控制的交流异步电传动技术，编组为 6M3T，运行速度达到 250 km/h。

1995 年，ETR500 列车投入运营，速度达到 300 km/h，采用动力集中型，编组为 2M12T，取消了摆动式。

2008 年，ETR600 列车采用 4M3T 编组，最大速度仍为 250 km/h。

2016 年，ETR1000 列车下线运行，运行速度达到 300 km/h。

五、西班牙

西班牙高速铁路 AVE（西班牙语：Alta Velocidad Española）。1984 年，为配合在塞维利亚举行的 1992 年世界博览会，西班牙开工建设首都马德里至塞维利亚的高速铁路。该铁路于 1992 年 4 月正式开通，采用客货混跑方式，主要开行 AVE 高速列车（速度达到 300 km/h）和 TALGO 200 摆式列车（速度 160/200 km/h）以及少量 140 km/h 货车，该铁路的造价是 730 美元/千米。在 20 世纪 80 年代，相比较 TGV-大西洋铁路的 850 美元/千米以及德国高铁的 2 770 美元/千米，西班牙高速铁路是欧洲造价最低的高速铁路。

首批 AVE 列车 S100 是西班牙引进法国高速列车和德国的信号系统及交流供电技术，根据阿尔斯通公司的 TGV-A 的方案设计研发而成的，为动力集中型，编组为 2M8T，轴重 17 t，采用铰接式转向架。

2005 年，AVE S102 列车下线运行，编组为 2M12T，运行速度达到 350 km/h。

AVE S103 列车是 AVE 唯一的动力分散型高速列车，采用 4M4T 编组形式。

第二节 国外主要高速列车供应商

1. 法国阿尔斯通公司

法国阿尔斯通公司（ALSTOM）曾是全球电力基础设施和轨道交通基础

设施领域的领先企业，其创新环保的技术已成为行业的参照基准。2015年11月，阿尔斯通公司将能源业务（发电和电网）出售给通用电气（GE），现该公司完全专注于轨道交通领域，业务遍及全球60个国家的105个地区。2018年度公司销售额为73亿欧元，员工34500人。

在高速列车领域，阿尔斯通公司提供了多种产品，代表性产品是TGV列车。到目前为止，TGV已发展到第四代AGV。阿尔斯通公司的其他产品还包括Pendolino系列摆式列车、Euroduplex双层高速列车等。

2. 加拿大庞巴迪

庞巴迪（Bombardier）是一家总部位于加拿大魁北克省蒙特利尔市的国际性交通运输设备制造商，行业排名世界第一，拥有员工69500人。公司主要产品有支线飞机、公务喷气飞机、铁路及高速铁路机车、城市轨道交通设备等。

与铁路相关的部分是庞巴迪运输部（Bombardier Transportation），它是全球最大的铁路与轨道设备生产商，产品包括铁路客车、机车、转向架、车辆动力及控制系统，提供的服务包括铁路控制解决方案及完整的运输系统建造。在高速列车领域，庞巴迪生产了ZEFIRO系列高速列车，并参与了欧洲现行所有超高速列车的开发，包括德国ICE家族、意大利ETR500列车、西班牙AVE列车、法国TGV 4个不同系列的列车，同时还有美国Accla高速摆式列车和瑞典的Regina动车组（CRH1型动车组原型车）。

3. 日本川崎重工业株式会社

日本川崎重工业株式会社（Kawasaki Heavy Industries, Ltd.）简称川崎重工，创建于日本明治维新时代，发展至今已逾百年。它以造船业起家，现在的业务涉及交通运输、能源、工业设备等多领域，年销售额近8900亿日元，员工3万余人。

川崎重工下属的车辆公司是多种新干线高速列车的制造商，包括新干线700系、N700系、E2系、JR683系、efSET等。efSET高速车辆是川崎重工为适应国外运行条件标准制造的一款动车组，最高运行速度为350 km/h。

4. 德国西门子股份公司

德国西门子股份公司（SIEMENS AG）是全球电子电气工程领域的领先企业，创立于1847年，主要业务集中在工业、能源、医疗、基础设施四大业务领域，拥有员工37万人。

与铁路相关的部分是西门子交通运输系统,产品覆盖自动化及动力系统、公共交通铁路车辆、地方铁路及干线服务、整套承包系统及综合服务、铁路信号及控制系统和铁路电气化。西门子股份公司在电力机车制造领域一直处于世界领先地位,是 ICE 系列高速列车的制造商。

第三节 中国高速动车组发展历程

中国对高速铁路的研究虽然起步较日欧晚,但是经过十多年的发展,现在的中国高铁已然走在了世界前列,拥有了多个“世界第一”的头衔,成为中国一张闪亮的名片。

——世界最长营运里程,2.9 万千米。

——世界首条高寒带高铁线路,哈大高铁。

——世界上运营里程最长的高铁线路,京广高速铁路,全长 2 298 千米。

——穿越最长风区,一次性建成通车距离最长的高铁,兰新高铁,全长 1 776 千米。

——世界高铁常规线路运行试验速度最高纪录,CRH380A 型动车组,486.1 km/h。

目前,中国动车组覆盖 160 ~ 380 km/h 速度等级,种类最全,涵盖城际中高速、干线高速,能适应高寒、高温、强紫外线、高湿、强腐蚀、多风沙和高原等多种气候及自然环境。

总览中国高速动车组的发展历程,经历了 3 个发展阶段,随着时代的进程,中国动车组技术将向标准化、宜人性方向发展,从而更加成熟。

一、第一代高速动车组

从 2006 年开始,中国引进加拿大庞巴迪、日本川崎、德国西门子、法国阿尔斯通等公司的高速动车组技术,进行消化吸收再创新后生产出第一代高速动车组。第一代动车组主要由 4 个公司制造,形成中国的动车组系列,命名为“和谐号”,英文代号 CRH(China Railway Highspeed),具体分为 CRH1、CRH2、CRH3、CRH5 四种车型。各种车型根据速度、编组、客车布置形式如下:

- A——运营速度 200 ~ 250 km/h，8 辆编组，座车；
- B——运营速度 200 ~ 250 km/h，16 辆编组，座车；
- C——运营速度 300 ~ 350 km/h，8 辆编组，座车；
- D——运营速度 300 ~ 350 km/h，16 辆编组，座车；
- E——运营速度 200 ~ 250 km/h，16 辆编组，卧车；
- F——运营速度 160 km/h，8 辆编组，城际动车组；
- G——运营速度 200 ~ 250 km/h，8 辆编组、耐高寒座车；
- H——运营速度 200 ~ 250 km/h，8 辆编组，耐风沙及高寒座车。

1. CRH1 型高速动车组

CRH1 型高速动车组由青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司（简称四方庞巴迪公司）采用外方技术合资生产，包括 CRH1A、CRH1A-A、CRH1B、CRH1E、CRH1E-A 等车型。

(1) CRH1A：以 Regina 为原型设计，8 辆编组，5M3T，设计运营速度 200 km/h，最高试验速度 250 km/h。首批 40 列，编号 CRH1A-1001 ~ 1040，于 2004 年 10 月开始生产。2006 年 8 月 30 日，第一列 CRH1A 型动车组下线出厂。2007 年 4 月 18 日，CRH1A 动车组正式在广深铁路线上投入运营。

(2) CRH1B：在 CRH1A 型动车组的基础上扩编的座车动车组，采用 16 辆长编组，10M6T，设计运营速度 200 km/h，最高试验速度 250 km/h。首批 20 列，编号 CRH1B-1041 ~ 1060。CRH1B 型动车组在 2009 年 4 月起配属上海铁路局，运行上海—南京、上海南—杭州的城际线路。

(3) CRH1E：以庞巴迪新研发的 ZEFIRO 250 系列动车组为基础的卧铺动车组，采用 16 辆长编组，10M6T，设计运营速度 200 km/h，最高试验速度 250 km/h，是世界上第一种速度能达到 250 km/h 的高速卧铺动车组。首批 20 列，编号 CRH1E-1061 ~ 1080。首列 CRH1E 型动车组于 2009 年 10 月出厂，11 月 4 日开始上线运营，往返于北京—上海之间。

(4) CRH1A-A、CRH1E-A：又称新 CRH1，是基于 ZEFIRO 250 平台设计的新一代动车组。采用更为流线型的头形设计，同时车体材料由原来的不锈钢改为铝合金，改善了车体气密性，优化了转向架悬挂，提高了稳定性。2016 年 2 月 1 日，新一代 CRH1A-1169 动车组正式在广珠城际铁路载客运行。

2. CRH2 型高速动车组

CRH2 型高速动车组由中车青岛四方机车车辆股份有限公司（简称四方

股份)生产,包括采用技术引进生产的 CRH2A 车型,吸收创新后生产的 CRH2B、CRH2E、CRH2C 等车型,和自主研发生产的 CRH2G、新 CRH2E 等车型。

(1) CRH2A:原型是日本川崎重工生产的 E2 系列新干线列车,8 辆编组,经过技术引进后生产。2004 年 10 月 20 日,首批 60 列,编号 CRH2A-2001~2060,运营速度 200 km/h。

(2) CRH2B:在 CRH2A 型动车组基础上扩编至 16 节,命名为 CRH2B,并加装了半主动减振器、车端耦合减振(车端阻尼器)、头车两侧车灯,改进了空调的通风系统。首批 10 列,编号 CRH2B-2111~2120,于 2008 年 6 月 29 日起全部配属上海铁路局。2017 年 6 月,两批共 17 列,编号 CRH2B-4096~4105,CRH2B-2466~2472,全部配属武汉铁路局。

(3) CRH2C:在 CRH2A 型动车组的 200 km/h 平台基础上进行修改,把动车数量增至 6 节(6M2T)。CRH2C 型动车组第一阶段共有 30 列,编号为 CRH2C-2061~2090,于 2008 年 8 月 1 日,投入京津城际铁路运营。CRH2C 型动车组第二阶段共生产 30 列,编号为 CRH2C-2091~2110,CRH2C-2141~2150。CRH2 型动车组第二阶段在第一阶段的基础上经过多次研制,改用了加大功率的 YQ-365 型交流牵引电动机(365 kW),列车持续运营速度提高至 350 km/h,最高运营速度 380 km/h,最高试验速度达 410 km/h。另外,在车体铝合金结构、隔音减振降噪技术、转向架二系悬挂、降低阻力等方面均有所改进。首列 CRH2C 第二阶段动车组(CRH2C-2191)于 2010 年 2 月在郑西高铁投入运营。在 30 列 CRH2C 第二阶段动车组之中,最后一列(CRH2C-2150)的性质较特殊,它作为 CRH380A 型动车组的试验实体样车,改为使用下一代的新头形。

(4) CRH2E:在 CRH2B 大编组座车的基础上实行自主创新,设计 16 节长大编组的 CRH2E 型卧铺动车组。第一批订单中 CRH2E 列车有 6 列,编号为 CRH2E-2121~2126,于 2008 年 12 月 21 日正式投入运营。

(5) CRH2A(统):2013 年,四方股份对 CRH2 型动车组进行了修改,命名为 CRH2A(统),编号从 212 号开始。CRH2A(统)与以前生产的 CRH2 有很多不同之处:统型 CRH2A 取消一等座包厢;1 车为一等座车,一等座车车厢窗户使用二等座车车厢的窗户;每节车厢均设厕所;部分车厢设无障碍座位;取消首、尾两节车厢的驾驶员专用车门并改用玻璃,将驾驶室的大门改设于首、尾两节车厢的通道口;驾驶员座位由原来靠左的位置改在中间位置,驾驶台布局与 CRH380A 型动车组相同。

(6) CRH2G:CRH2G 型动车组是在 CRH2A(统)型动车组成熟技术平

台基础上,从风沙、高寒、高温、防紫外线辐射和高海拔 5 个方面进行适应性改进后设计生产的,能在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 气候环境下正常运营,并且可以抗风沙。CRH2G 型动车组还解决了高海拔适应性和紫外线老化的技术难题,能在高达 3 600 m 的高海拔地区安全运营。其主要技术参数、维修维护内容等与 CRH2A(统)型动车组基本相同。2015 年 11 月 10 日,由四方股份生产的 CRH2G 型高寒动车组,先后在哈大高铁(250 km/h)和兰新二线(200 km/h)通过了线路考核。

3. CRH3 型高速动车组

CRH3 型高速动车组以引进西门子公司先进技术的方式,由中车唐山机车车辆有限公司(简称唐车公司)生产,包括 CRH3C 车型。

CRH3C:原型为德国铁路的 ICE-3 列车(西门子 Velaro),采用动力分散式设计,每列 8 节编组,4M4T。首列该型动车组于 2008 年 8 月 1 日在京津城际铁路通车运营,其商用运营速度达 350 km/h,是当时世界日常运营速度最快的轮轨高速铁路。截至 2013 年 7 月 16 日,共生产了 80 列 CRH3C 列车,编号为 3001~3080,分别配属北京铁路局集团有限公司(20 列,编号:3001~3016、3018~3021)及广州铁路局集团有限公司(60 列,编号:3017、3022~3080)。

4. CRH5 型高速动车组

CRH5 型高速动车组由中车长春轨道客车股份有限公司(简称长客股份)生产,包括采用技术引进生产的 CRH5A 车型和自主创新生产的 CRH3A、CRH5G、CRH5E 等车型。

(1) CRH5A:采用动力分散型,以法国阿尔斯通的 Pendolino 摆式列车为基础,但取消摆式功能,车体以芬兰铁路的 SM3 动车组为原型设计生产,8 辆编组,5M3T。首列该型动车组于 2007 年 4 月 18 日在京哈线运行,具有耐寒性。

(2) CRH5G:2014 年起,适合高寒地区运营的 CRH5 被正式命名为 CRH5G。从 2017 年生产的 CRH5G-5218 号列车起,采用全新的造型、内饰和空间设计。CRH5G 型技术提升动车组搭载了我国第一款具有自主知识产权的列车网络控制系统和列车牵引系统,整车 9 项关键技术及 10 项配套技术的自主化率、国产化率达到 90% 以上,是具有自主知识产权的耐高寒抗防风沙动车组。

(3) CRH5E:16 辆编组卧铺动车组,设计速度 250 km/h,具有耐寒抗风