

第一章 动车组概述

第一节 动车组基础知识

一、定义

由若干带动力的车辆（动车）和不带动力的车辆（拖车）组成的、在正常使用寿命周期内始终以固定编组运行、不能随意更改编组的一组列车称为动车组。一般来说，由于需要双向运行，在动车组列车的两端均设有驾驶室。

二、分类

1. 按速度等级划分

- ① 准高速动车组 — 最高运行速度为 160 ~ 200 km/h；
- ② 高速动车组 — 最高运行速度为 200 ~ 400 km/h；
- ③ 超高速动车组 — 最高运行速度为 400 km/h 以上。

2. 按牵引动力类型划分

- ① 内燃动车组 — 由柴油机提供动力；
- ② 电力动车组 — 由供电接触网提供动力；
- ③ 磁悬浮动车组 — 由电磁系统提供动力。

3. 按动力配置方式划分

(1) 动力集中型动车组

动力集中型动车组是指将整列车动力集中在动车组一端或两端的车辆上，其余中间车辆不带动力（即为拖车），动力车只牵引不载客，拖车只载客不牵引。例如 ICE1、TGV-A 等。

(2) 动力分散型动车组

动力分散型动车组是指将整列车动力分散到动车组的若干车辆上，车辆有带动力的动车，也有不带动力的拖车，也可以全部车辆都带动力。动车组的全部车辆都可以载客。例如 300 系、ICE3、AGV 等，我国生产的 CRH 型动车组均属于动力分散型动车组。动力集中型动车组和动力分散型动车组的优缺点如表 1.1 所示。

表 1.1 动力集中型动车组和动力分散型动车组优缺点

类型	优点	缺点
动力集中型动车组	1. 可灵活编组，便于管理； 2. 便于监测和维修保养； 3. 车厢内振动小、噪声低；	1. 载客量相对较少； 2. 轴重相对较大； 3. 轮轨黏着力与高速的矛盾难

	4. 可进入既有线，也可进入非电气化铁路区段	以协调； 4. 制动性能相对欠佳
--	------------------------	---------------------

续表 1.1

类型	优点	缺点
动力分散型动车组	1. 载客量相对较多； 2. 最大轴重较小； 3. 轮轨黏着力与高速的矛盾容易协调； 4. 具有较好的制动性能； 5. 具有较低的每一座位寿命周期费用	1. 车厢内的舒适度较低； 2. 故障率相对较高； 3. 不能驶入非电气化铁路运行

4. 按转向架连接方式划分

(1) 独立式高速动车组

独立式动车组采用传统的车辆与转向架的连接方式，每节车辆的车体都置于两台转向架上，车辆与车辆之间用密封式车钩相连接，列车解体后车辆可独立走行。例如德国的 ICE 型动车组、日本新干线动车组。

(2) 铰接式高速动车组

铰接式动车组将两节车辆的车体用弹性铰相连接，并放置在一个共用的转向架上，因此每节车辆不能从列车上分解下来独立走行。例如法国的 TGV、AGV 动车组等。

三、基本组成

动车组有动车（M 车）、拖车（T 车）、带司机室车和不带司机室车等多种车型。按各部分具体功能划分，动车组由以下 8 部分组成（见图 1.1）。

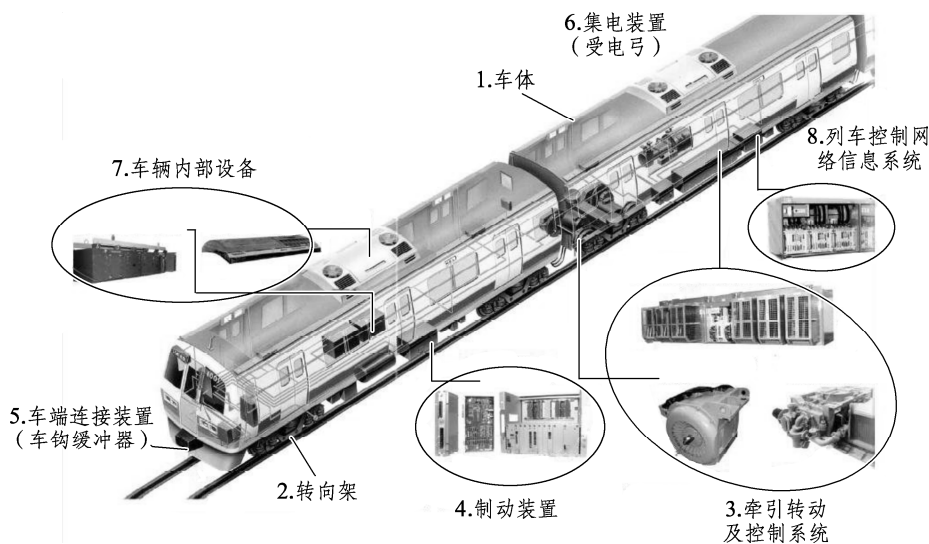


图 1.1 动车组基本组成

1. 车 体

车体分为有司机室车体和无司机室车体两种，其作用是：提供乘客乘坐空间+设备安装+纵向连接承载。

车体是容纳乘客和司机驾驶（对于有司机室的车辆）的地方，同时，又是安装与连接其他设备和部件的基础和骨架。通常车体由底架、端墙、侧墙和车顶等组成。

近代动车组车体均采用整体承载的钢结构或轻金属结构，以实现在自重最轻的条件下满足强度和刚度要求的目的。

2. 转向架

转向架有动力转向架和非动力转向架之分。其作用是：承载+导向（转向）+减振+制动而动力转向架还有驱动（牵引）。

转向架位于车辆的最下部、车体与轨道之间。它牵引和引导车辆沿着轨道行驶，并承受和传递来自车体及线路的各种载荷，同时缓和其动力作用，它是保证车辆运行品质和运行安全的关键部件。

转向架一般由构架、弹簧悬挂装置、轮对轴箱装置和基础制动装置等组成。对于动力转向架而言，还装设有驱动装置（包括牵引电动机和传动齿轮）。

3. 牵引传动及控制系统

牵引传动及控制系统的作用是：实现电能有效传递和转换+驱动列车前进+控制列车正常运行。

动车组的牵引传动及控制系统主要是指动车组的电气设备，包括动车（或拖车）上的各种电气设备及其控制电路。按其作用和功能又可分为主传动电路系统、辅助电路系统和电子与控制电路系统三部分。

主传动电路系统主要包括主变压器、变流装置和牵引电机等；辅助电路系统主要包括各种通风冷却装置；电子与控制电路系统主要包括与牵引传动系统有关的各种控制装置。

4. 制动装置

制动装置包括机械部分、空气管路部分和电气控制部分。其作用是产生一定的制动力，使列车在规定的距离或时间内减速或停车。

制动装置是保证动车组列车安全运行所必不可少的装置。不仅在动车上需要设置制动装置，而且在拖车上也要设置制动装置，这样才能使运行中的动车组按需要减速或在规定的距离内停车。现代动车组通常以再生制动为首选制动方式。

5. 车端连接装置

车端连接装置包括各种车钩缓冲装置、铰接装置和风挡等。其作用是：连接车辆成列+缓和纵向冲击+传递电力及信号。

一般车辆编组成列必须借助于连接装置，即所谓车钩。铰接式动车组通常采用铰接装置来代替车钩。

为了改善列车纵向平稳性，一般在车钩的后部装设缓冲装置，以缓和列车冲动。另外还必须借助于简便且可靠的连接头将车辆之间的电气线路和空气管路可靠地连通。

同时，为了改善列车的密封状况和减小空气阻力，需要采用密封且外表面平滑过渡的内外风挡。

牵引缓冲连接装置有如下几种形式：

- ① 全动车钩和缓冲器；
- ② 半动车钩和缓冲器；
- ③ 半永久牵引杆；
- ④ 各种形式的铰接装置。

6. 受流装置

受流装置的作用是将电流（能）顺利导入动车。

从接触导线（接触网）或导电轨（第三轨）将电流引入动车的装置称为受流装置或受流器。

受流装置按其受流方式的不同有多种形式，但高速动车组通常采用受电弓受流器，属上部受流方式，受电弓可根据需要进行升降。

在受流制式上，目前世界各国高速铁路既有采用直流供电（1 500 V、3 000 V）制式的，也有采用交流供电（ $16\frac{2}{3}$ Hz、15 kV；50 Hz、25 kV）制式的。

我国客运专线全部采用单相交流 50 Hz，25 kV 供电制式，具有如下优点：

- ① 可提高牵引电网的供电质量，降低谐波数值；
- ② 增加牵引供电距离，从而减少牵引变电所数量。

7. 车辆内部设备（或动车组辅助设备）

车辆内部设备的作用是：保证乘客乘坐安全舒适+主要设备正常工作。车辆内部设备包括服务于乘客的车体内的固定附属装置和服务于车辆运行的辅助设备。

属于前者的有：车电、通风、取暖、空调、座椅和拉手，以及旅客信息系统等。

属于后者的有：蓄电池（箱）、继电器（箱）、主控制（箱）、空气压缩机、总风缸、辅助电源装置（辅助变流器）、通风冷却装置、各种电气开关和接触器（箱）等。

8. 列车控制网络信息系统（TCMS，Train Control and Monitoring System）

列车控制网络信息系统用于对整个列车的牵引、制动和车内所有设备进行控制、监测和诊断。该系统主要由列车信息中央装置（CCU）、列车信息终端装置、列车信息显示器（含 IC 卡架）、列车总线（WTB，Wired Train Bus）、车辆总线（MVB，Multifunction Vehicle Bus）、控制总线（CAN，Controlled Area Network）、网关（GW，Gateway）以及车内各种设备的监控、诊断和显示装置等组成。

四、动车组的技术特点

1. 头型流线化

随着列车运行速度的提高，周围空气的动力作用一方面对列车和列车运行性能产生影响；另一方面，列车高速运行引起的气动现象对周围环境也产生影响。

对于高速动车组来说，列车头型设计非常重要，好的头型设计可以有效地减少运行空气阻力和列车交会压力波，并改善运行稳定性。

2. 车体结构轻量化

为了节省牵引功率，降低列车高速运行所引起的动力作用对线路结构、机车车辆结构产生的破坏作用，以及提高旅客乘坐舒适度，需要最大限度地降低高速动车组的轴重。因此，国外各国高速列车车体的主要材料是铝合金和不锈钢。从发展趋势看，铝合金将成为动车组车体的主导材料。

3. 高性能转向架技术

提高列车运行速度首先遇到的问题是转向架的运行平稳性和安全性，高速列车应具有高性能的转向架。高速转向架要具有高速运行时的稳定性，良好的曲线通过性能，以满足旅客乘坐舒适度的要求。

4. 复合制动技术

高速列车的制动能量与速度的平方成正比，传统的纯空气制动已不能满足需要。因此高速列车必须采用能提供强大制动力并能更好地利用黏着的复合制动系统。该复合制动系统通常由制动控制系统、

动力制动系统、空气制动（包括盘形制动和踏面制动）系统、微机控制的防滑器和非黏着制动装置等组成。

5. 密接式车钩缓冲装置

目前世界各国高速列车普遍采用密接式车钩连接装置，该装置两车钩连接面的纵向间隙一般都小于 2 mm，上下、左右偏移也很小，为提高列车的运行平稳性和电气线路、风管的自动连接提供了保证。

6. 交流传动技术

早期的电力牵引传动系统均采用交流一直流传动，用直流电动机驱动。由于直流电动机的单位功率重量较大，而高速列车既要大功率驱动又要求减轻轴重，从而形成难以克服的矛盾。在交流传动系统中，交流牵引电动机较传统的直流牵引电动机具有结构简单、运行可靠、体积小、重量轻及造价低等一系列优点。交流牵引电动机没有整流子结构对电动机功率的限制，牵引功率可以得到进一步提高。

7. 列车自动控制及故障诊断技术

列车自动控制系统对高速列车安全运行具有重要作用，世界各国在发展高速铁路时都十分重视列车自动控制系统的研究和开发，许多国家为高速列车控制系统研制了多种基础技术设备，例如列车超速防护系统、卫星定位系统、车载智能控制系统、车载微机自动监测和诊断系统等。

目前世界上高速列车的自动控制方式主要分为两类。一类是以设备为主、人控为辅的控制方式，以日本新干线列车采用的 ATC（列车自动控制）方式为代表；另一类是人机共用、人控为主的方式，以法国 TGV 高速列车为代表，主要采用有 TVM300 型安全防护系统及改进的 TVM430 型安全防护系统。此外，还有德国 ICE 高速列车采用的 FRS 速差式机车信号和 LZB 型双轨条交叉电缆传输式列车控制设备等。

8. 倾摆式车体技术

列车通过曲线时，未被平衡的离心加速度超过允许限度时会使乘客产生不舒适感。这种未被平衡的离心加速度与列车速度的平方成正比，由此限制了列车通过曲线时的速度。采用倾摆式车体技术可以在既有线路条件下使列车通过曲线时的速度提高约 30%。

五、动车组的主要技术参数

动车组主要技术参数是概括地说明车辆技术规格的某些指标，是从总体上表征车辆性能及结构的一些参数。一般分为性能参数与主要尺寸两大类。

1. 车辆性能参数

（1）自重、载重和容积

自重是车辆本身的全部重量，以 t 为单位，现代动车组每辆车的自重通常为 45~55 t；载重即车辆允许的正常最大装载质量，以 t 为单位；容积即表示装载空间，以 m³ 为单位。

（2）构造速度

构造速度是指车辆设计时，按安全及结构强度等条件所允许的车辆最高行驶速度。车辆实际运行速度一般不允许超过构造速度。在有些场合中，构造速度也就是设计速度。

（3）轴重

轴重是指包括轮对本身质量在内的最大总质量。轴重的选择与线路、桥梁及车辆走行部的设计标准有关。

欧洲铁路联盟规定 对于运行速度超过 250 km/h 的高速动车组,其轴重不能超过 17 t,而德国 ICE 1 动车轴重达 19.5 t,日本 E2-1000 轴重仅为 14 t。

(4) 每延米轨道载重

每延米轨道载重是车辆设计中与桥梁、线路强度密切相关的一个参数,同时又是能否充分利用站线长度、提高运输能力的一个指标。其数值是车辆总质量与车辆全长之比。对动车组而言,该参数按设计任务书规定。

(5) 能通过的最小曲线半径

能通过的最小曲线半径是指装备某种形式转向架的车辆在站场或厂、段内调车作业时所能安全通过的最小曲线半径。当车辆在此曲线区段上行驶时不得出现脱轨、倾覆等危及行车安全的事故,也不允许转向架与车体底架或与车下其他悬挂部件相碰。

(6) 轴配置(一般用轴列式表示)

轴配置表示动轴与非动轴的排列情况。而所谓轴列式是指用英文字母或数字来表示车辆走行部结构特点的一种简单方法。

通常,英文字母表示动轴数(A—一根动轴,B—两根动轴,C—三根动轴等);

数字表示从动轴数(1—一根从动轴,2—两根从动轴,3—三根从动轴等)。

通常高速动车组车辆有前后两台转向架,则其动车的轴列式可表示为 B—B;而拖车的轴列式可表示为 2—2。

(7) 最大起动加速度、剩余加速度、平均起动加速度、最大制动减速度和平均制动减速度

① 最大起动加速度是指列车在起动过程(正常定员、平直道)中所能达到的最大加速度。一般要求 $\geq 0.4 \text{ m/s}^2$ 。

② 剩余加速度是指列车速度达最大时的瞬时最大加速度。一般要求 $\geq 0.1 \text{ m/s}^2$ 。

③ 平均起动加速度是指列车速度从 0 增至某一速度(一般为 120~150 km/h)之间的平均加速度。

④ 最大制动减速度是指列车在额定载荷下,在空气制动和再生制动共同作用下所能达到的减速度的最大值。一般情况下,最大制动减速度 $\geq 1.0 \text{ m/s}^2$ 。

⑤ 平均制动减速度是指列车在额定载荷下,自最大运行速度制动减速直至停车过程中的平均减速度。

(8) 单位自重功率指标

单位自重功率指标是指整车总功率与整车自重之比。一般为 10~15 kW/t。由于列车阻力随运行速度提高而增大,因此,速度越高,该值应越大。

(9) 供电电压、最大网电流和牵引电机功率

我国电气化铁路(包括客运专线)全部采用单相交流 50 Hz, 25 kV 供电。网压在 22.5~29 kV 时列车可满功率运行,网压在 22.5~17.5 kV 的列车应线性降功率运行,网压在其他范围时应能实施保护。

最大网电流是指供电电网的最大允许电流。

牵引电机功率由列车运行工况决定,单电机功率通常为:动力集中式动车组为 1 200~1 400 kW,动力分散式动车组为 200~500 kW。

(10) 制动形式

动车组的制动形式有多种,通常有:摩擦制动,包括踏面制动和盘形制动;再生制动(即反馈制动);电阻制动;涡流制动和磁轨制动等。

(11) 座席数

座席数根据车内布置情况确定。一般情况下,普通车的座席布置为 2+3,头等车的座席布置为 2+2。我国 CRH₂ 和 CRH₃ 的总座席数分别为 610 人和 600 人。

2. 车辆主要尺寸

(1) 车辆外形尺寸

车辆外形尺寸包括车辆全长、最大宽度和最大高度等。其中,车辆全长有车钩中心线连接长度和车体长度之分;车辆宽度是指车体最宽部分的尺寸;而车辆最大高度是指车辆顶部最高点到钢轨水平面的距离。车辆最大宽度和最大高度必须符合车辆限界的要求。

(2) 车体内部的长、宽、高

车体内部的尺寸必须满足大部分旅客的乘坐要求,一般车体内部的净空高度为 2 200~2 300 mm。

(3) 车钩高(即车钩中心线距轨面高度)

车钩高是指车钩钩舌的水平中心线至轨面的高度。我国现行铁路规定新造或修竣后的空车标准车钩高度为 880 mm,而我国高速动车组和城市轨道交通车辆的车钩高度无统一标准。

(4) 地板面高度

地板面高度是指空车的地板面距轨面的高度。它受两个方面的制约:一方面,受车辆本身某些结构高度限制,如车钩和转向架;另一方面,又与站台高度的标准有关。

(5) 车辆定距

车辆定距是指车辆内部两相邻转向架中心之间的距离。

(6) 转向架固定轴距(简称轴距)

转向架固定指转向架内部两轴之间的距离。

第二节 国外高速列车简介

目前世界上拥有自主开发并已成功运用动车组的国家有日本、法国和德国,其共同之处在于列车各部件大量运用高新技术,同时又各具特色,即根据本国的运用条件和传统经验,特别是在转向架结构、车体轻量化、流线型外形、列车动力配置及构成形式、电传动及控制技术、列车信息网络等方面都具有各自的特点。其他正在发展高速铁路技术的国家和地区,如意大利、西班牙、韩国等,都是在引进这些国家的成熟技术的基础上发展起来的。

一、日本高速铁路——新干线(Shinkansen)

日本的东海道新干线于 1959 年开工建设,于 1964 年 10 月 1 日东京奥运会开幕前夕开通。该线路的成功运营,开创了世界上高速铁路的新纪元。第一列 0 系新干线列车(见图 1.2)以 210 km/h 的最高运行速度投入运用,使东京—大阪间列车运行的时间由 7 小时缩短至 3 小时 10 分钟。东海道新干线建成并成功运行,在日本产生了良好的社会效益和经济效益,对世界铁路的发展产生了重大的影响。1985 年,日本东北、上越新干线相继开通,200 系、100 系新干线列车分别以 240 km/h 和 210 km/h 的最高运行速度投入运用,100 系列车(见图 1.3)最高运行速度在 1986 年与 0 系列车一同达到 220 km/h。



图 1.2 0 系动车组



图 1.3 100 系动车组

1987 年之后，新干线网络不断扩大。为了适应不同线路的运营条件，提高运行速度，降低对环境的影响，日本持续不断地开发研制不同系列的新干线动车组，使日本高速铁路技术飞速发展。1992 年，300 系列车在东海道新干线投入运行，最高速度达到 270 km/h。该车通过采用铝合金车体、轻量化转向架和交流传动技术，使轴重大幅度降低，同时，运行速度及动力学性能得到较大提高。

随后，日本又开发了具有更好空气动力学性能的动车组，如采用半主动减振技术的 500 系（见图 1.4，最高试验速度为 350.4 km/h，运行速度为 300 km/h），采用 IGBT 变流技术的 700 系（见图 1.5，最高运行速度为 285 km/h），采用双层车体的 E4 系（运行速度为 240 km/h）和 Star 21、700 系等型号的新干线列车，并一直保持自开通运行以来无重大事故的良好记录。



图 1.4 500 系动车组



图 1.5 700 系动车组

2002 年 12 月 1 日，东北新干线盛冈—八户新建标准新干线开通运营，东日本公司采用 E2 系 1000 型动车组，每列车由 10 辆编组（8M2T）。E2 系 1000 型动车组最高设计速度达到 315 km/h，最高运行速度达到 275 km/h。我国从日本引进并联合设计生产的 200 km/h 动车组的原型即为该型动车组。

日本新干线高速动车组主要车型及主要技术参数如表 1.2 所示。

表 1.2 日本新干线动车组主要技术参数

车型	0 系	100 系	300 系	500 系	700 系	E1 系	E2 系	E3 系	E4 系
编组	16M	12M4T	10M6T	16M	12M4T	6M6T	6M2T	4M1T	4M4T
车长 (m)	400.3	402.1	402.1	404	404.7	302.1	201.4	107.65	201.4
空车重 (t)	896	857	630	620	628	692.5	365.9	219.7	424
定员 (人)	1 398	1 321	1 323	1 324	1 323	1 235	629	270	1634
最高运行速度 (km/h)	220	230	270	300	270	240	275	275	240

总功率 (kW)	11 840	11 040	12 000	18 240	13 200	9 840	7 200	4 800	6 720
电机形式	直流串激电动机	直流串激电动机	三相鼠笼式异步电动机	VVVF 逆变三相异步电动机	三相鼠笼式异步电动机	VVVF 逆变三相异步电动机	VVVF 逆变三相异步电动机	VVVF 逆变三相异步电动机	VVVF 逆变三相异步电动机
制造年代	1964—1986	1985—1991	1990—	1995—	1997—	1994—	1995—	1995—	1997—

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

作为世界上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要求。

自 1967 年起，法国国营铁路开始着手研究高速运输。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，法国成功研制了第一代 ETG 型燃气轮动车组，最高试验速度达到 248 km/h。此后，通过进一步提高燃气轮动车组质量，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—里昂间建设高速铁路，还研制了第三代 TGV-001 型燃气轮动车组，5 节编组，1972 年，其最高试验速度达到 381 km/h。然而，1973 年中东战争引起第一次世界石油危机后，法国开始将动车组技术核心转向电力牵引，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，在 1975 年，其最高试验速度达到 309 km/h。自 1976 年开始，法国开始着手研究交—直传动的 TGV-PSE 动车组（见图 1.6），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（见图 1.7）、TGV-R、TGV-2N、TGV-TMST、西班牙 AVE、TGV-PBKA、TGV-K 等动车组，新型动力分散型动车组 AGV（见图 1.8）也已研制成功，并投入试验运行，该车最高运行速度可达 360 km/h。其中，TGV-A 325 号动车组于 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。



图 1.6 TGV-PSE 动车组

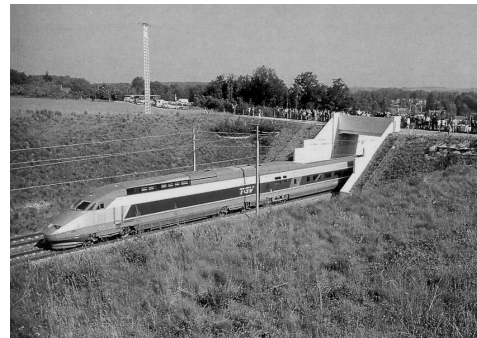


图 1.7 TGV-A 动车组



图 1.8 AGV 动车组

法国 TGV 动车组主要技术参数如表 1.3 所示。

表 1.3 法国 TGV 动车组主要技术参数

车型	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
车长 (m)	200.12	237.59	200.20	393.72	200	200	383.43	200.19
空车重 (t)	418	479	416	787	420	418	774	424
定员 (人)	368	485	377	794	329	377	1 000	545
最高运行速度 (km/h)	270	300	300	300	300	300	300	300
总功率 (kW)	6 800	8 800	8 800	12 200	8 800	8 800	13 200	8 800
电机形式	直流电机	交流同步电机	交流同步电机	交流异步电机	交流同步电机	交流同步电机	交流同步电机	交流同步电机
运用年代	1981	1989	1993	1994	1992	1997	2001	1996

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

早在 1970 年,原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。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。由于联邦铁路在市场竞争中亏损越来越大,而法国 TGV 动车组的成功运营也刺激着素以高技术著称的德国,故原联邦德国政府加快了发展高速铁路的步伐。

1982 年 5 月 13 日,原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 1200 万马克,研制 ICE (Inter City Express) 试验型城际快车。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 km/h 的当时动车组最高速度记录。

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,民主德国、联邦德国统一后,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 动车组—ICE2 的研发。1996 年,该型动车组投入运用。

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 1.10）。1997 年，ICE3 型电动车组投入运行。



图 1.9 ICE1 型动车组



图 1.10 ICE3 型动车组

为了在既有线路上提高列车运行速度，德国铁路还开发了 ICE-T（见图 1.11）和 ICE-TD 型摆式动车组（见图 1.12）。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。



图 1.11 ICET 型动车组



图 1.12 ICE-TD 型动车组

德国 ICE 高速动车组主要参数如表 1.4 所示。

表 1.4 德国 ICE 高速动车组主要参数

车型	ICE/V	ICE1	ICE2	ICE3	ICEM
编组	2L3T	2L12T	1L7T	4M4T	4M4T
车长 (m)	114	357.92	205.40	200	200
空车重 (t)	300	782	410	410	436
定员 (人)	87	669	391	415 (441)	404 (431)
最高运行速度 (km/h)	300	280	280	330	330 (220)
总功率 (kw)	8 400	9 600	4 800	8 000	8 000 (交) 4 300 (直)
电机形式	感应电机	感应电机	感应电机	感应电机	感应电机
运用年代	1982—1985	1985—1993	1996—	1997—	1997—

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 年代初计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（见图 1.14），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（见图 1.15），第三代 ETR460、ETR470、ETR480 摆式列车以及动力分散型的 ETR600 动车组相继研制成功并投入运用。



图 1.13 ETR500 型动车组



图 1.14 ETR401 型动车组



图 1.15 ETR450 型动车组