

高速铁路新技术系列教材——机车车辆
西南交通大学出版社出版基金资助

动车组车辆构造与设计

(第2版)

商跃进 董雅宏 编著

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书主要介绍动车组车辆的基本概念、结构组成、作用原理、相关理论及设计方法。全书包括动车组基础知识、转向架构造与原理、车体结构及内装设备、车端连接装置、城市轨道交通车辆、列车牵引运行原理、车辆动力性能分析与评价、车辆现代设计技术 8 章内容。

本书是高等学校轨道交通车辆专业教材，也可供铁路职业院校师生及从事轨道交通车辆工作的工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

动车组车辆构造与设计 / 商跃进, 董雅宏编著. —
2 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2019.1
高速铁路新技术系列教材. 机车车辆
ISBN 978-7-5643-6740-4

I. ①动… II. ①商… ②董… III. ①动车—车体结构—高等学校—教材②动车—设计—高等学校—教材
IV. ①U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 017775 号

高速铁路新技术系列教材——机车车辆

动车组车辆构造与设计

(第 2 版)

商跃进 董雅宏 / 编 著

责任编辑 / 李 伟
封面设计 / 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(四川省成都市二环路北一段 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 25.5 字数 638 千

版次 2019 年 1 月第 2 版

印次 2019 年 1 月第 4 次

书号 ISBN 978-7-5643-6740-4

定价 59.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

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

第 2 版前言

自 2008 年 8 月 1 日中国第一条 350 km/h 的高速铁路——京津城际铁路开通运营以来，高速铁路在我国迅猛发展。按照国家中长期铁路网规划和铁路“十三五”规划，以“八纵八横”快速客运网为主骨架的高速铁路建设全面加快推进，建成了京津、沪宁、京沪、京广、哈大等一批设计速度 350 km/h、具有世界先进水平的高速铁路，形成了比较完善的高铁技术体系。截至 2018 年 3 月 5 日，高速铁路运营里程达到 2.5 万千米，占世界高速铁路运营里程的 2/3，2025 年高速铁路运营里程将达到 3.8 万千米。通过引进消化吸收再创新，我国已系统掌握了 200~250 km/h 动车组制造技术，成功搭建了 350 km/h 动车组技术平台，2017 年 6 月研制了具有完全自主知识产权的 CR400AF 和 CR400BF 型 400 km/h 中国标准动车组。为了管好、用好和维护好这些高速动车组，必须要有一大批具有相关专业知识的工程技术人员和管理人员。

无论是从事动车组设计制造的人员，还是从事动车组运用维修的人员，尤其是大专院校的相关师生都迫切需要一本全面、系统论述动车组车辆结构和工作原理及相关分析与设计理论的书籍。为此，作者撰写了《动车组车辆构造与设计》一书，按“看长相、记名字、找关系”的思路详述动车组车辆构造与原理，按“识现象、找原因、定参数”的思路概论动车组车辆相关理论，按“照标准、选方法、搞设计”的思路讲解动车组车辆设计技术。

全书共分 8 章。第 1 章介绍了动车组的基本概念、特点和分类，动车组的发展历程和发展趋势。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、类型及各部件的结构和工作原理，并对动车组制动系统做了简要介绍。第 3 章介绍了车体结构及内装设备，论述了动车组车体结构及车体轻量化，车体的密封、噪声及其控制，车辆防火等相关技术；另外，还介绍了动车组车辆车内设备布置技术。第 4 章介绍了动车组车辆的车体连接技术，其中包括高速动车组车体连接要求，动车组密封式车钩缓冲装置、车端阻尼装置、密接式风挡等结构。第 5 章介绍了城市轨道交通车辆，其中包括地铁与轻轨（现代有轨电车）、独轨铁路、导轨交通与磁悬浮铁路。第 6 章介绍了轨道交通车辆牵引理论，主要包括牵引力、制动力和列车阻力产生的原理及与其相关的防空转装置和电子防滑器等设备的作用与工作原

理。第7章介绍了轨道交通车辆动力性能分析与评价的理论，主要包括垂向动力性能分析理论与影响因素、横向稳定性的分析理论与影响因素、曲线通过性能分析理论与影响因素、动力性能的评价方法与评价指标及径向转向架和摆式列车的相关知识。第8章介绍了车辆现代设计技术，包括车辆上所受载荷分析、车辆零部件应力确定和强度评价方法，车辆总体设计的内容与方法，螺旋弹簧等悬挂元件，车轮、车轴、构架和车体等车辆主要承载零部件的设计标准及设计方法。

本书主要侧重于动车组车辆的基本原理、基本构造、共有设备、通用理论及设计技术；力求做到内容系统全面，知识通用实用，理论通俗易懂，讲述图文并茂。

本书由兰州交通大学商跃进和董雅宏统稿，其中第8章由商跃进编写，第2章由董雅宏编写，第1章、第6章、第7章由苏程编写，第3章由曹兴潇编写，第4章由曹茹编写，第5章由李振华编写。

本书在第2版的编写过程中，更正了多位教师讲课过程中发现的第1版中的问题，并吸收了大家的意见和建议，精简突出了基本知识，增加了新的车型相关内容。

本书的编写得到了西南交通大学出版社出版基金的资助，兰州交通大学机电工程学院有关老师及西南交通大学出版社的编辑给予了大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2018年8月于兰州

第 1 版前言

高速动车组与普通客运列车（指机车牵引车辆的旅客列车）相比在结构等方面有许多不同。随着 2007 年 4 月我国铁路第六次大提速后高速动车组在我国铁路上的顺利运行，无论是从事动车组运用维修管理的人员，还是从事动车组研究的人员，尤其是大专院校的相关师生都急需一本全面、系统地论述动车组车辆结构与工作原理及相关分析与设计理论的书籍，基于这样的目的，作者撰写了《动车组车辆构造与设计》一书，从动车组车辆构造与工作原理、轨道交通车辆相关理论和轨道交通车辆设计方法三个方面进行了详细论述。

全书共分 11 章。第 1 章介绍了动车组的基本概念和分类，动车组的发展历程和发展趋势。第 2 章介绍了高速动车组的转向架技术，论述了动车组转向架的特点，动车组车辆转向架的作用、组成、类型及各部件的结构和工作原理，转向架悬挂技术、牵引电动机悬挂和驱动技术，并对动车组制动系统做了简要的介绍。第 3 章介绍了动车组车辆车体构造及车内布置，论述了动车组车体结构及车体轻量化、车体的密封、噪声及其控制、车辆防火等相关技术；另外，还介绍了动车组车辆车内设备布置技术。第 4 章介绍了动车组车辆的车体连接技术，其中包括高速动车组车体连接要求，动车组密封式车钩缓冲装置、车端阻尼装置、密封式风挡等的结构。第 5 章介绍了其他类型的动车组车辆，其中包括独轨铁路、导轨交通与磁悬浮铁路。第 6 章介绍了轨道交通车辆牵引理论，主要包括牵引力、制动力和列车阻力产生的原理和与其相关的防空转装置和电子防滑器等设备的作用与工作原理。第 7 章介绍了轨道交通车辆动力性能分析与评价的理论，主要包括垂向动力性能分析理论与影响因素、横向稳定性的分析理论与影响因素、曲线通过性能分析理论与影响因素、动力性能的评价方法与评价指标及径向转向架和摆式列车的相关知识。第 8 章介绍了轨道交通车辆结构强度分析的方法，包括车辆上所受载荷分析，车辆零部件应力确定方法和强度评价方法等。第 9 章介绍了轨道交通车辆总体设计的内容与方法。第 10 章介绍了轨道交通车辆悬挂系统设计，包括悬挂系统参数的确定方法和螺旋弹簧等悬挂元件的结构设计方法。第 11 章介绍了车辆结构强度设计，包括车体、构架、车轮和车轴等车辆主要承载零部件的设计标准及设计方法。

本书主要侧重于动车组车辆的基本原理、基本构造、共有设备、通用理论及设计方法；

力求理论联系实际，内容系统全面，图文并茂，知识性与趣味性相结合。

本书由兰州交通大学商跃进主编，其中第4章、第11章由商跃进编写，第2章由张喜全编写，第3章、第8章、第9章由左丽娟编写，第7章、第5章由朱喜锋编写，第1章、第6章、第10章由吴国祥编写。

本书在编写过程中得到了兰州交通大学机电学院领导及其他老师的大力帮助。本书的出版还得到了西南交通大学出版社出版基金的资助和该社编辑人员的大力帮助。在此，向所有为该书出版提供过支持和帮助的人们致以衷心的感谢。

由于编写时间仓促，作者水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2010年1月于兰州

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 高速铁路概述	1
1.2 动车组概述	4
1.3 动车组车辆概述	14
1.4 铁路限界与线路概述	23
复习思考题	30
第2章 转向架构造与原理	32
2.1 概 述	32
2.2 轮对轴箱装置	37
2.3 弹性悬挂装置	42
2.4 构 架	55
2.5 基础制动装置	59
2.6 驱动装置	66
2.7 典型转向架	78
复习思考题	105
第3章 车体结构及内装设备	106
3.1 车体结构	106
3.2 车体相关技术	131
3.3 车体内装与附件	140
3.4 车内设备及其总体布置	146
3.5 典型动车组总体布置	159
复习思考题	174
第4章 车端连接装置	175
4.1 概 述	175
4.2 车 钩	179
4.3 缓冲器	185
4.4 国内外典型的车钩缓冲装置	189
4.5 风挡与车端阻尼	192
4.6 典型的车端连接装置	196
复习思考题	217
第5章 城市轨道交通车辆	218

5.1 地铁和轻轨动车组	218
5.2 磁悬浮列车	221
5.3 轨道交通系统	226
5.4 单轨交通	227
复习思考题	230
第6章 列车牵引运行原理	231
6.1 列车牵引力	231
6.2 列车制动力	235
6.3 列车运行阻力	237
6.4 列车运动分析	240
复习思考题	243
第7章 车辆动力性能分析与评价	244
7.1 概 述	244
7.2 车辆浮沉振动分析	247
7.3 车辆蛇行运动分析	256
7.4 曲线通过分析	268
7.5 车辆系统动力学性能及其评价指标	287
复习思考题	294
第8章 车辆现代设计技术	295
8.1 概 述	295
8.2 动车组车辆总体设计	302
8.3 车辆动力性能仿真	323
8.4 结构强度设计基础	340
8.5 转向架零部件设计	349
8.6 动车组车辆车体设计	384
复习思考题	398
参考文献	400

第 1 章 绪 论

1.1 高速铁路概述

1.1.1 高速铁路定义

铁路运输是一种陆上运输方式，以列车在两条平行的铁轨上行驶。传统方式是钢轮行进，但广义的铁路运输还包括磁悬浮列车、缆车、索道等非钢轮行进的方式，或称轨道运输。通常根据线路允许运行的最高速度对列车做如下划分：

普通列车：最高运行速度 100 ~ 160 km/h；

快速列车：最高运行速度 160 ~ 200 km/h；

高速列车：最高运行速度 ≥ 200 km/h。

高速铁路（简称“高铁”），是指通过改造原有线路（直线化、轨距标准化），使最高营运速度达到不小于 200 km/h，或者专门修建新的“高速新线”，使营运速度达到至少 250 km/h 的铁路系统。高速铁路除了列车在营运达到一定速度标准外，车辆、路轨、操作都需要配合提升。

高速铁路之所以得到快速发展并受到世人青睐，主要是因为它具有以下特点：一是运量大，一列列车可载运近千人；二是能耗低，运送每位旅客消耗的能源仅为飞机的 1/5 ~ 1/4，汽车的 1/2；三是安全可靠，日本东海道新干线运用 50 多年未发生重大行车事故；四是舒适快捷，对于中等运程（600 ~ 700 km）的旅客，乘坐高速列车与乘坐飞机的旅行时间相当（因大部分机场均远离市中心）。

从人们节省时间的需求出发，在相同的距离情况下，如果铁路平均速度低于 100 km/h 就竞争不过公路；在 500 ~ 600 km 距离内，如果铁路平均速度低于 250 km/h 就竞争不过航空。欧洲一些国家和日本均认为，实用的最高速度在高速新线上应以 250 ~ 300 km/h 为宜；在改造的既有线上则以 200 km/h 为宜。近年来，200 km/h 以上的高速技术日臻成熟，而且运行速度纪录还在被不断刷新。1990 年 5 月 18 日，法国新一代 TGV（Train à Grande Vitesse）高速列车创造了当时 515.3 km/h 的世界铁路最高试验速度纪录，改变了人们对轮轨系统牵引工况下的最高速度限界的传统观念。2007 年 4 月 3 日，法国 TGV 高速列车又将这一试验速度纪录提高到 574.8 km/h。

1.1.2 高速铁路发展概况

世界高速铁路大致经历了探索初创、扩大发展和快速发展 3 个阶段，其中，前两个阶段

以日本和欧洲的高速铁路发展为代表，第3个阶段以中国高速铁路的快速崛起为代表。迄今为止，全球已运营的高速铁路线路里程已超过3万千米。

伴随着世界高速铁路的快速增长，高速列车试验速度也不断攀升。2007年4月，法国TGV试验列车最高速度达到574.8 km/h，创下轮轨铁路试验速度世界纪录。2008年6月，我国CRH3型高速动车组在京津城际铁路上跑出了394.3 km/h的最高试验速度；2010年9月，CRH380A型高速动车组在沪杭高速铁路运行试验中，将最高试验速度纪录改写为416.6 km/h；同年12月，CRH380A在京沪高速铁路的试验速度达到486.1 km/h，刷新中国纪录的同时，也成为世界铁路运营列车试验的第一速度。

随着高速铁路在全世界的不断延伸，逐渐形成了高速铁路建设与运营的4种模式：

(1) 日本新干线模式：即全部修建新线，旅客列车专用。

(2) 法国TGV模式：即部分修建新线，部分旧线改造，旅客列车专用。

(3) 德国ICE模式：即全部修建新线，旅客列车及货物列车混用。

(4) 英国APT模式：即既不修建新线，也不对旧线进行大量改造，主要采用由摆式车辆组成的动车组，旅客列车及货物列车混用。

1. 日本高速铁路——新干线（日语：新幹線，しんかんせん，Shinkansen）

1964年，世界上第一条高速铁路——日本东海道新干线开通运营，全程515.4 km，列车最高运行速度210 km/h；随后日本大力发展新干线（见表1.1），截至2016年3月，日本有8条投入运营的新干线，最高运营速度320 km/h，营业里程合计2765 km。

表 1.1 日本运营中的高速铁路

线路名称	起讫地点	长度 /km	最高速度 /(km/h)	最小曲线半径 /m	最大坡度 /‰	线间距 /m
东海道新干线	东京—新大阪	515.4	270	2 500	15	4.20
山阳新干线	新大阪—博多	554	300	4 000	15	4.30
东北新干线	东京—八户	594	275	4 000	15	4.30
上越新干线	东京—新潟	270	275	4 000	15	4.30
北陆新干线	高崎—长野	118	260	—	—	—

日本的既有线都是窄轨铁路，而新干线是准轨铁路。为了实现新干线与既有线之间的直通运行，日本对一些既有线进行了改造，改为准轨铁路或增加一条第三轨，成为准轨铁路。这些铁路允许速度不高，仅130~140 km/h，不属于高速铁路范畴。但是在日本称为迷你（mini）新干线，例如秋田和山形新干线。

2. 法国高速铁路——TGV（法语：Train à Grande Vitesse，TGV）

法国TGV高速列车试验速度屡创世界纪录，1981年建成欧洲第一条高速铁路——巴黎至里昂东南线，全程417 km；法国共有7条投入运营的高速铁路（见表1.2），营业里程合计

2 036 km。

表 1.2 法国运营中的高速铁路

线路名称	起讫地点	长度 /km	最高速度 / (km/h)	最小曲线半径 /m	最大坡度 /‰	线间距 /m
TGV 巴黎东南线	巴黎—里昂	427	270	3 200	35	4.20
TGV 大西洋线	巴黎—勒芒/图尔	282	300	3 200	25	4.20
TGV 东南延长线	里昂—瓦朗斯	117	300	—	—	—
TGV 北方线	巴黎—加莱	350	300	—	—	—
TGV 地中海线	瓦朗斯—马赛	250	300	7 000	35	—

3. 德国高速铁路——ICE (德语 : Inter City Express , ICE)

1991 年, 德国建成本国第一条高速铁路, 目前投入运营的新建高速铁路有 5 条 (部分线路见表 1.3), 营业里程合计 949 km, 最高运营速度 320 km/h; 德国还改建了部分既有铁路, 新建和改建高速铁路线路总长约 1 560 km。

表 1.3 德国运营中的高速铁路

起讫地点	长度/km	最高速度/(km/h)	最小曲线半径/m	最大坡度/‰	线间距/m
汉诺威—维尔茨堡	327	—	—	—	—
曼海姆—斯图加特	99	—	—	—	—
柏林—汉诺威	264	—	—	—	—
科隆—法兰克福	180	280~300	7 000 (5 100)	12.5	4.50~4.70

4. 中国高速铁路——CRH (China Railway High-Speed , CRH)

近年来, 中国高速铁路发展突飞猛进, 逐渐成为世界高速铁路的领跑者。自 2008 年开通第一条速度 350 km/h 的京津城际高速铁路以来, 我国陆续建成世界上等级最高的高速铁路——京沪高速铁路, 世界上首条高寒高速铁路——哈大高速铁路, 世界上最长的高速铁路——京广高速铁路 (全长 2 298 km) 等。截至 2015 年年底, 中国已基本建成“四横四纵”和“三个城际客运系统”高速铁路骨干网, 高速铁路营业里程达 1.9 万千米, 居世界第一位, 占世界高速铁路总里程的 60% 以上。国家“十三五”规划又指出: 将加快完善高速铁路网, 至 2020 年高速铁路营业里程将达到 3 万千米, 覆盖 80% 以上的大城市。

1) “四纵” 客运专线

(1) 北京—上海: 全长约 1 318 km, 纵贯京津沪和冀鲁皖苏 4 省, 连接环渤海和长江三角洲两大经济区。

(2) 北京—武汉—广州—深圳: 全长 2 260 km, 连接华北、华中和华南地区。

(3) 北京—沈阳—哈尔滨 (大连): 全长约 1 700 km, 连接东北和关内地区。

(4) 杭州—宁波—福州—深圳: 全长约 1 600 km, 连接长江、珠江三角洲和东南沿海地区。

2) “四横” 客运专线

- (1) 徐州—郑州—兰州：全长约 1 400 km，连接西北和华东地区。
- (2) 杭州—南昌—长沙：全长约 880 km，连接华中和华东地区。
- (3) 青岛—石家庄—太原：全长约 770 km，连接华北和华东地区。
- (4) 南京—武汉—重庆—成都（宁汉蓉）：全长约 1 600 km，连接西南和华东地区。

3) 三个城际客运系统

城际客运系统覆盖区域内主要城镇。

- (1) 环渤海地区：北京—天津。
- (2) 长江三角洲地区：南京—上海—杭州。
- (3) 珠江三角洲地区：广州—深圳、广州—珠海、广州—佛山。

1.1.3 高速铁路系统构成

铁路运输业具有安全程度高、运输速度快、运输距离长、运输能力大、运输成本低等优点，且具有污染小、潜能大、不受天气条件影响的优势，是公路、水运、航空、管道运输所无法比拟的。

铁路运输由运输、机务、车辆、工务、电务等业务部门组成，要具备较强的准确性和连贯性，各业务部门之间必须协调一致，这就要求在运输指挥方面实行统筹安排，统一领导。铁路运输业是高度集中的国家基础产业，人们常用“高、大、半”来形容，即高度集中、大联动机、半军事化。

无论普速铁路还是高速铁路，都是一个运行着的庞大的系统工程，主要由“车务、机务、工务、电务、车辆、供电”六大子系统构成。

(1) 车务段（系统）：担负车站的管理、旅客或货物的承运、列车运行组织（调度）等职能。

(2) 机务段（系统）：担负机车管理、检修、整备、列车牵引运行等职能。

(3) 工务段（系统）：担负铁路线路、桥梁、隧道的维护保养等职能。

(4) 电务段（系统）：担负通信、信号设备的维护保养等职能。

(5) 车辆段（系统）：担负客货车辆的运营检查与保养维修等职能。其中，高速铁路动车组的维护保养职能，由动车组基地（动车组检修段）担任。

(6) 供电段（系统）：担负接触网输供电和检修保养职能。

1.2 动车组概述

1.2.1 动车组的定义与类型

我们通常看到的电力机车和内燃机车，其动力装置都集中安装在机车上，在机车后面挂着许多没有动力装置的客车车厢。目前，国外的列车运行速度一般达到 200 ~ 300 km/h，光靠机车来拉已经很吃力。所以在每辆车上都装上动力装置是一个有效的解决提速问题的方法，通常将这种列车叫作动车组。

1. 动车组的定义

动车组，亦称多动力单元列车（Multiple Units, MU），它是由动车和拖车或全部动车长期固定连挂在一起运行的铁路列车。其特点是动力来源于分布在列车各个车辆上的发动机，而不是集中在机车上。动车组内有动力的车辆称为动车，没有动力的车辆称为拖车。

动车组不等于高速列车，只有动车组速度超过 250 km/h 的才能称之为高速列车，城市轨道交通列车（包括地铁等）一般都不是高速列车，但它们都属于动车组。

动车组的司机驾驶室一般都大为缩短，放在列车的两端。其结构特征是：动车组内包含可操纵的动车和各种功能的拖车，以固定编组进行运营，运用时不能解编；往返运行不需换头，只需改变操纵端；某些动车组允许重联运行。动车组以其编组灵活、方便、快捷、安全、可靠、舒适为特点备受世界各国铁路运输和城市轨道交通运输的青睐。

2. 动车组的分类

1) 按动拖比分

这是最常见的动车组分类方式。列车中，有动力的车轴所承载的车重与无动力的车轴所承载的车重之比称为动拖比。列车动拖比小于 1 : 3 为动力集中动车组；不小于 1 : 3 为动力分散动车组，其中小于 1 : 1 但不小于 1 : 3 为弱动力分散，等于和大于 1 : 1 为强动力分散。如图 1.1 所示，动力集中式的头尾两端为带司机室的动车，中部为供旅客乘坐的拖车，也有一端为带司机室并有座席的可操纵的拖车。动力分散式动车组全部或部分车辆带有动力，头车和尾车除了有司机室外也带有座席。

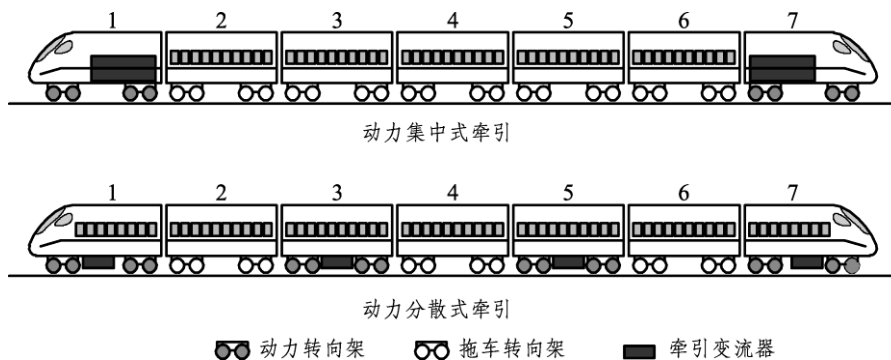


图 1.1 动车组牵引动力布置示意图

动力分散电动车组的优点是：动力装置分布在列车不同的位置上，如图 1.2 所示，能够实现较大的牵引力，编组灵活。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，动力分散电动车组适用于限速区段较多的线路。另外，列车中一节动车的牵引动力发生故障对全列车的牵引指标影响不大。动力分散的电动车组的缺点是：牵引力设备

的数量多，总质量大。动力集中的电动车组也有其优点，动力装置集中安装在2~3节车上，检查维修比较方便，电气设备的总质量小于动力分散的电动车组。动力集中布置的缺点是动车的轴重较大，对线路不利。必须指出的是，随着最高运行速度的进一步提高，尤其是当最高运行速度超过300 km/h时，世界各国的高速动车组有向动力分散方向发展的趋势。

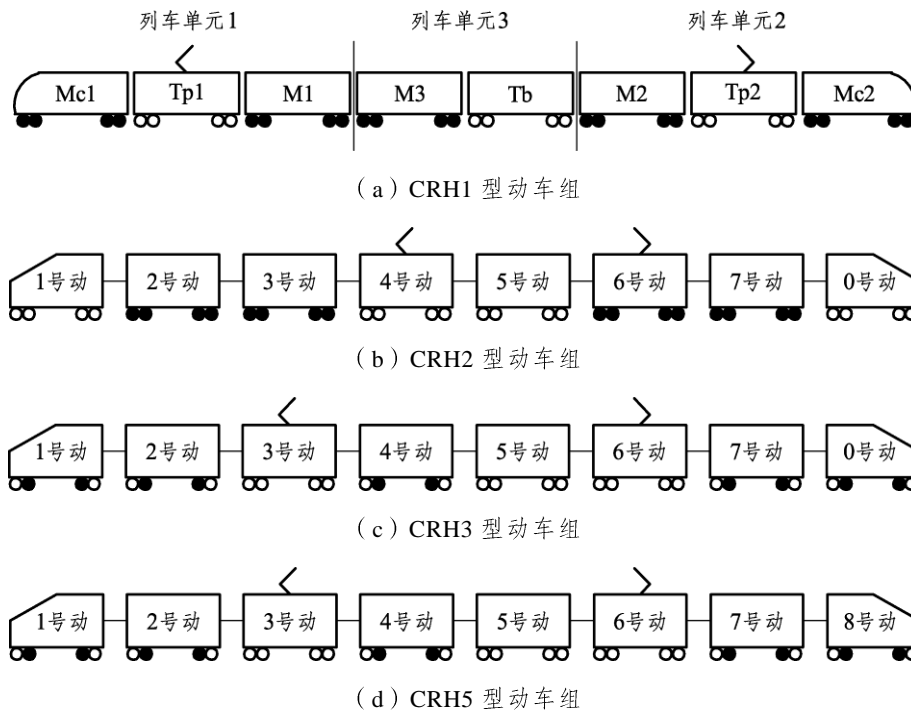


图 1.2 CRH 动车组动力布置示意图

2) 按动力装置分

用内燃机作动力，通过电传动装置或者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和液力传动两种。高速内燃动车组有日本的 181 系特快内燃动车组，由 8 节动车和 1 节拖车编成，共有 8 台 500 柴油机，总功率 3 650 kW，最高速度 120 km/h；还有英国投入运用的高速内燃动车组，两端各有 1 节内燃动车，中间有 7~8 节拖车，速度最高达 229 km/h。

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，按传动方式又可分为直-直传动、交-直传动和交-直-交流传动 3 种。世界上已运营的动车组绝大多数为电动车组，多数动车组都是用作客运，用作货运的很少。具有代表性的高速电动车组有：日本的 200 系电动车组，由 2 节控制车和 12 节动车编成，总功率 12 880 kW，最高速度 260 km/h；法国的 TGV 电动车组，由 2 节动车和 8 节拖车编成，最高速度可达 260 km/h；英国的 APT 高速电动车组，采用摆式车体，由 2 节动力集中式动车和 12 节拖车编成，总功率 6 000 kW。

3) 按服务对象分

动车组根据服务的旅客不同可分为：一是在城市之间运行，服务于长途旅行旅客的长途

高速电动车组，如日本新干线、德国 ICE、法国 TGV、我国的 CRH 动车组等；二是在城市内部运行，服务于通勤旅客的城市轨道交通动车组。城市轨道交通动车组站间距离短、行车剪密度高、客剪量大、加减速快、车厢剪量大、车门多、旅客上下车方便。如日本 8000 系斩波器控制电动车组，由 4 节动车和 2 节控制车编成，每节车有 4 个宽 1.3 m 的侧门供旅客上下。

1.2.2 动车组发展概况

20 世纪中后期以来，许多国家在客运繁忙的铁路干线上开行了大量的动车组。使用动车的比例以日本为最大，占 87%；荷兰、英国次之，分别占 83% 和 61%；法国、德国又次之，分别占 22% 和 12%。动车组称得上是铁路旅客运输的生力军。

1. 日本新干线动车组

日本新干线动车组为动力分散型，便于编组，日本各型动车组见表 1.4。其中，新干线 700 系电车于 1997 年至 2003 年间建造，是日本 JR 东海道与 JR 西日本共同开发、主要行驶于东海道与山阳新干线上作为部分希望号（のぞみ）与光号（ひかり）列车使用。700 系与 500 系速度相当，但制造和运营成本低。现时共有 67 列列车，其最高速度达 285 km/h，比 500 系的 300 km/h 稍慢。700 系列车的车嘴使用鸭嘴形设计（见图 1.3）。其中，JR 东海道的版本是在白色车身的车窗下方有一深蓝线涂装，采用 12M4T 的 16 辆编组，山阳新干线上隶属于 JR 西日本所有的车型则称为 700 系“铁道之星”（Rail Star），拥有与东海道版本截然不同的黑色车首、黄色车身线条涂装，为 6M2T 的 8 辆编组。



图 1.3 日本 700 系动车组

表 1.4 日本高速动车组

型号	投入运营时间	牵引方式	编组	头车长/m	中间车长/m	总牵引功率/kW	最高运行速度/(km/h)	定员/人
0 系	1964 年	动力分散	16 动	21.15	25	11.84	220	1 285
100 系	1985 年	动力分散	12 动 4 拖	26.05	25	11.04	230	1 321
200 系	1980 年	动力分散	12 动	25.15	25	11.04	275	885
300 系	1990 年	动力分散	10 动 6 拖	26.05	25	12	270	1 323
400 系	1991 年	动力分散	6 动 1 拖	23.075	20.5	5.04	240	399
500 系	1996 年	动力分散	16 动	27	25	18.24	300	1 324
700 系	1997 年	动力分散	12 动 4 拖	27.35	25	13.2	270	1 323
E1 系	1994 年	动力分散	6 动 6 拖	26.05	25	9.84	240	1 235

E2系	1995年	动力分散	6动2拖	25.7	25	7.2	275	630
-----	-------	------	------	------	----	-----	-----	-----



图 1.4 法国 TGV 列车

E3系	1995年	动力分散	4动1拖	23.075	20.5	4.8	275	270
-----	-------	------	------	--------	------	-----	-----	-----

2. 法国 TGV 动车组

TGV 列车属于客运列车（见图 1.4），有小部分用作邮政列车。TGV 列车驱动方式为动力集中型，前后的车辆用机车方式驱动，法国动车组参数见表 1.5。法国的高速铁路发展于 20 世纪 50 年代，第一次试验，动车组达到了 231 km/h 的速度，1955 年 3 月 28 日，电力机车 CC7107 创下了 320.6 km/h 的速度，结果第二天就被 BB9004 以 330.6 km/h 的速度超过。1967 年，SNCF 铁路公司为了满足城际快速交通的需要，开始研发真正的高速动车组，第一代产品并非是电力机车，而是命名为 TGS 的柴油机，1971 年 10 月，这列列车达到了 252 km/h 的速度，TGS 至今仍在使用。TGV 的名称出现在 1972 年，但是第一辆 TGV001 仍是柴油机，8 月 3 日的试验速度到达了 307 km/h。电力 TGV 的出现是和 1973 年的能源危机联系在一起的。1974 年，当柴油机 TGV001 正式商业运营的时候，另一项目 Z7001 通过接触网供电的 TGV 开始运行。同年 7 月，就达到了 306 km/h 的速度。1978 年 7 月，出现了今天 TGV 的雏形。随后的 TGV 始终是电力牵引，之后其商业运行的速度就从 260 km/h 增加到 280 km/h，并于 1981 年 2 月 26 日创下了 380 km/h 的速度。这一纪录直到 10 年后才被大西洋 TGV 的 515.3 km/h 超过，2007 年又创下 574.8 km/h 的铁路行驶新纪录，打破了自己保持 17 年之久的 515.3 km/h 的世界纪录。

表 1.5 法国 TGV 列车

型号	投入运营时间	最高运行速度/(km/h)	列车编组	列车长度/m	最大输出功率/kW	定员/人
TGV-PSE	1981年	270	2动8拖	200	6450	386
TGV-A	1989年	300	2动10拖	237.6	8800	485
TGV-R	1994年	300	2动8拖	200.2	8800	377
TGV-2N	1996年	300	2动8拖	200.19	8800	545

3. 德国 ICE 动车组

ICE (Inter City Express, 城际特快车) 是以德国为中心的一系列高速铁路系统与相对应的高铁专用列车系列 (见图 1.5 和表 1.6), 由西门子为首的开发团队设计制造, 德国国铁营运, 其服务范围除涵盖德国境内各主要大城市外, 还跨越邻近国家, 行经多个城市。



图 1.5 德国 ICE 列车

德国是最早制造和运用动车的国家, 制造技术一直领先。1903 年 7 月 8 日, 首先运行了由钢轨供电的动车组, 由 4 节动车和 2 节拖车编成。同年 8 月 14 日, 又运行了由接触网供电的动车组, 这是世界上第一列由接触网供电的单相交流电动车组。同年 10 月 28 日, 西门子公司制造的三相交流电动车进行了高速试验, 首创 210.2 km/h 的世界纪录。

表 1.6 德国 ICE 列车

型号	投入运营时间	投入总量 / 列	列车编组	列车长度 / m	总牵引功率 / MW	最高运行速度 / (km/h)	定员 / 人
ICE1	1991 年	59	2 动 12 拖	305	9.6	280	669
ICE2	1998 年	44	1 动 7 拖	205	4.8	280	388 + 23
ICT	1999 年	32	2 动 5 拖	184	4.0	230	374 + 24
ICE3	2002 年	37	4 动 4 拖	200	8.0	330	398 + 24
ICETD	2001 年	21	4 动	106.7	1.66	200	195

4. 国产动车组

20 世纪末, 我国从瑞典引进的 X2000 摆式电动车组在广深线运用成功, 中国铁路面对激烈的客运竞争, 也不失时机地对动车组进行了研发。

1) 自主研发的动车组

中国首列 DMU 型双层内燃动车组是唐山机车车辆厂于 1998 年自行开发研制成功的, 并于当年 6 月在南昌至九江间投入运行。到 2005 年已有 NZJ 型全双层内燃动车组、DDJ₁ 电动车组 (大白鲨号)、DJJ₁ 电动车组 (蓝箭号)、DJF₁ 电动车组 (中原之星号)、DJJ₂ 电动车组 (中华之星号) 等先后问世, 并投入运营。表 1.7 是我国自主研发的主要动车组的主要参数。

表 1.7 我国自主研发的动车组的主要参数

参数名称	动车组名称					
	“庐山”号	“新曙光”号	“神州”号	“春城”号	“蓝箭”号	“先锋”号
编组方式	M + 2T + M	M + 9T + M	M + 10T + M	M + T + M + 2T + M	M + 5T + Tc	Mc + T + M + M + T + Mc
动力方式	康明斯 QST30-G1	12V280ZJ	16V280ZJE	动力分散	动力集中	动力分散
构造速度 / (km/h)	120	180	180	120	200	200
轴重	18	21	21	18	19.5	14.5

/t	拖 车	17	16	14.5	18	15.5	14.5
自重 /t	动 车	64.7	126	135	—	—	—
	拖 车	59.4	51.9-53.9	53.9	—	—	—
车组质量/t		288	702	929	330.1	391.8	306.9
车组总长/m		102	281	309.3	158.6	172.73	152
车组总定员/人		544	1 140	1 400	600	421	424
主 要 参 数 /mm	动车长	24 825	20 600	21 750	25 770	18 316	25 500
	拖车车体 (长×宽)	25 500× 3 104	25 500× 3 104	25 500× 3 104	25 500× 3 105	25 500× 3 104	25 500× 3 104
	拖车车辆定距	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000	18 000
	拖车车顶距轨面高	4 750	4 600	4 600	4 134	3 950	4 000
起动加速度/(m/s ²)		0.23	0.255	0.214	0.2	0.28	0.4
牵引功率/kW		660×2	2 760×2	2 740×2	21 600	4 800	4 800

2) CRH 和谐号动车组

2004 年 10 月开始,我国分别引进了法国阿尔斯通的 SM3、日本川崎的 E2-1000、庞巴迪动车组和德国西门子的 ICE3 等动车组的相关技术,通过消化、吸收、再创新,研发了高速动车组。

(1) 动车组问世——CRH1、2、3、5。

2007 年 4 月 18 日起在中国铁路第六次提速调图后,通过引进国外技术、联合设计生产 CRH1、CRH2、CRH3、CRH5 等动车组(头形及编组方式分别见图 1.6 和图 1.7),主要技术特征见表 1.8。这些型号分别从日本、德国、法国等国引进先进技术,并消化吸收及国产化,成为“具有中国自主知识产权”的动车组产品系列。



(a) CRH1



(b) CRH2



(c) CRH3

(d) CRH5

图 1.6 CRH1、2、3、5 动车组头形

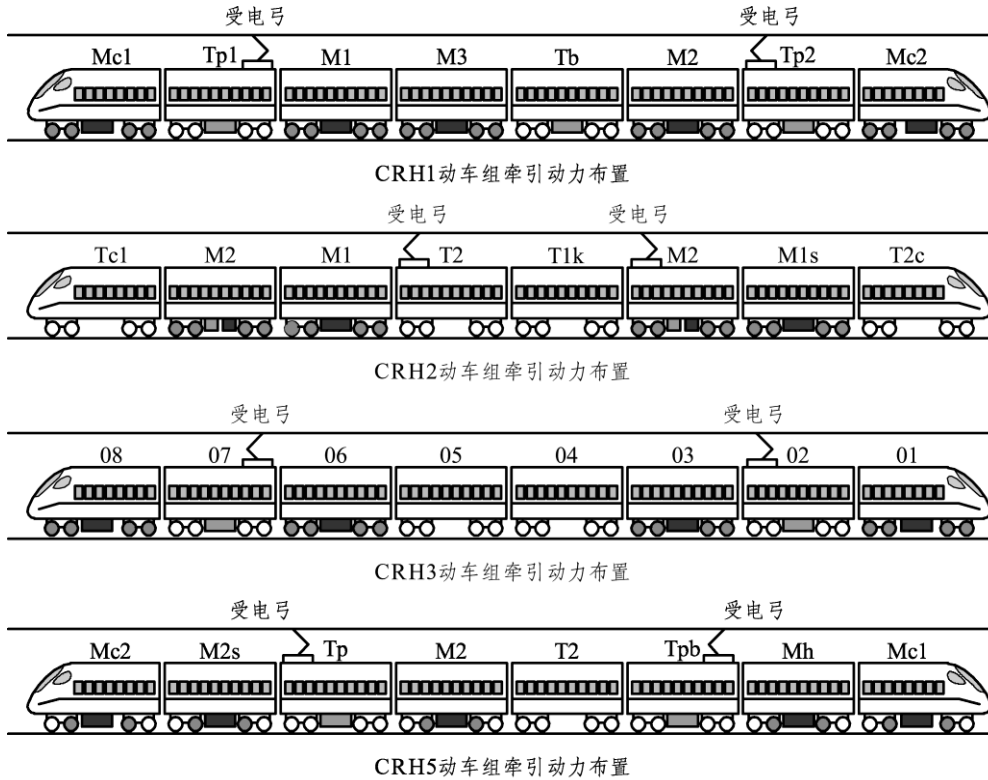


图 1.7 CRH1、2、3、5 动车组编组方式

动力转向架
 拖车转向架
 主变压器
 牵引变流器

表 1.8 CRH1、2、3、5 动车组的主要技术特征

型 号	CRH1	CRH2	CRH3	CRH5
基本编组	5M + 3T	4M + 4T	4M + 4T	5M + 3T
编组定员/人	670	609	600	606
轴重/t	16	14	17	17
运营速度/(km/h)	200	200	350	200
最高试验速度 (km/h)	250	250	385	250
牵引功率/kW	5 500	4 800	8 800	6 770
车体材质	不锈钢 + 耐候钢	大型挤压中 空铝合金	大型挤压中 空铝合金	大型挤压中 空铝合金
转向架形式	空气弹簧 拉板式定位 + 轴箱 圆弹簧	空气弹簧 转臂式定位 + 轴箱 圆弹簧	空气弹簧 转臂式定位 + 轴箱 圆弹簧	空气弹簧 拉杆式定位 + 轴箱 圆弹簧

制动形式	再生制动 + 空气盘形制动
------	---------------

① CRH1 动车组。CRH1 动车组是一种全面采用先进技术、现代化的动力分散型电动车组，由青岛四方-庞巴迪-鲍尔铁路运输设备有限公司（简称 BSP 公司）生产制造。该动车组为 8 辆编组，5 辆为动车，3 辆为拖车，运营速度为 200 km/h，最高试验速度为 250 km/h。

② CRH2 动车组。CRH2 动车组是消化吸收日本川崎 E2-1000 动车组技术经过再创新后制造的。该动车组为 8 辆编组，采用 4 动 4 拖的动力分散、交流传动方式及先进的 IGBT 元件和 VVVF 控制牵引方式，运营速度为 200 km/h，最高试验速度为 270 km/h。通过调整动车和拖车的比例，可以灵活、方便地适应 200 ~ 300 km/h 之间各速度等级的运行。

③ CRH3 动车组。CRH3 动车组是消化吸收德国为西班牙生产的 Valero E 动车组技术、经过再创新的动车组。该动车组的牵引功率达到 8 800 kW，以保证最高运行速度达到 350 km/h；牵引变流器元件为 IGBT，并配备了先进的欧洲 ETCS2 级信号系统。该动车组为 4 动 4 拖，运营速度为 350 km/h，最高试验速度为 385 km/h。

④ CRH5 动车组。CRH5 动车组是消化吸收阿尔斯通公司为芬兰国家铁路提供的 SM3 动车组技术、经过再创新后进行设计开发的。该动车组为 8 辆编组，采用 5 动 3 拖，运营速度 200 km/h，最高试验速度 250 km/h。CRH5 具备提速至 300 km/h 的条件。

⑤ CRH6 动车组。CRH6 动车组由原南车四方股份公司研发设计，2012 年在青岛下线。CRH6 动车组是为满足我国区域经济快速发展和城市群崛起对城际轨道交通的需求而研制的一种新型动车组。

(2) 动车组发展——CRH380 系列动车组

CRH380 系列高速动车组是 CRH1、2、3、5 动车组的再创新，有 CRH380A(L)、CRH380B(L)、CRH380C(L) 和 CRH380D(L) 4 种型号（头形及编组方式分别见图 1.8），其主要技术特征见表 1.9。

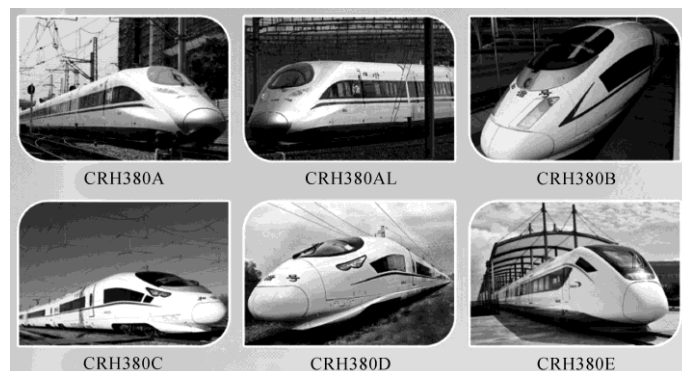


图 1.8 CRH380 系列动车组头形

表 1.9 CRH380 系列动车组的主要技术特征

车 型	CRH380A	CRH380AL	CRH380B	CRH380BL
编组辆数及动力装置	2(3M + 1T) = 6M + 2T	2(2M + 1T) + 5(2M) = 14M + 2T	2(2M + 2T) = 4M + 4T	4(2M + 2T) = 8M + 8T
车体结构	铝合金空心型材			

运营速度	350 km/h		350 km/h	
最高运营速度	350 km/h	380 km/h	380 km/h	
最高试验速度	416.6 km/h	486.1 km/h	487.3 km/h	
传动方式	交-直-交			
牵引功率	9 600 kW	21 560 kW	9 376 kW	18 725 kW
转向架	SWMB-400/SWTB-400 型 无摇枕转臂式定位空气弹簧转向架		CW400/CW400D 型 无摇枕空气弹簧转向架	
最大轴重	≤ 15 t		≤ 17 t	
制动方式	再生制动 + 直通式电空制动			
最大制动距离	≤ 6 500 m (制动 初速 350 km)	≤ 8 500 m (制动 初速 380 km)	—	—
受电弓位置	4 号车、6 号车	5 号车、13 号车	2 号车、7 号车	2 号车、7 号车、 10 号车、15 号车

① CRH380A 动车组。CRH380A 是由原南车四方机车车辆股份有限公司研制的速度 380 km/h 级别高速动车组，持续运营速度为 380 km/h，最高运营速度为 468 km/h，最高试验速度为 496 km/h 以上，编组方式见图 1.9。

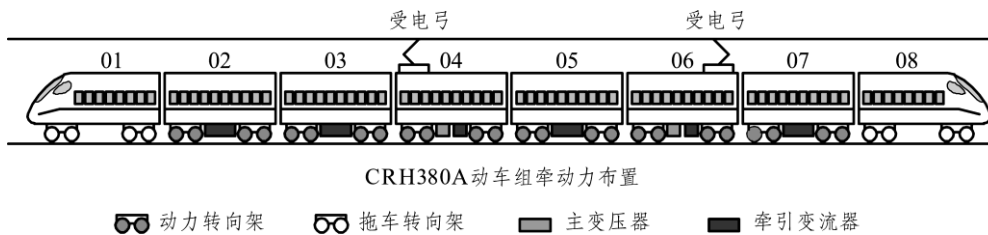


图 1.9 CRH380A 动车组牵引动力布置

② CRH380B 动车组。2010 年 9 月，原铁道部下发《关于新一代高速动车组型号、车号及座席号的通知》，将 70 列由唐山轨道客车制造，110 列由长春轨道客车制造的 CRH3-380 型动车组定型为 CRH380B 系列，其中短编组动车为 CRH380B，长编组动车为 CRH380BL。

③ CRH380C 动车组。新一代 CRH380C 型动车组以 CRH3C、CRH380BL 为基础，与 CRH380BL 相比，CRH380C 是拥有全新的长编组的动车组，持续运营速度为 350 km/h，最高运营速度为 380 km/h，最高试验速度超过了 400 km/h。CRH380C 型国产和谐号动车组如图 1.8 所示。

④ CRH380D 动车组。CRH380D 型电力动车组，是为营运新建的高速城际铁路及客运专线，由青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司 [Bombardier Sifang (Qingdao) Transportation Ltd., BST] 研发的 CRH 系列高速动车组。

(3) 动车组标准化——CR 系列动车组。

中国标准动车组，简称标动，英文代号为 CR（China Railway 的缩写，即中国铁路），中文型号为复兴号动车组列车，是指以中国标准为主导设计制造的高速动车组（在 254 项重要标准中，各种中国标准占 84%）。2013 年 12 月，中国标准动车组完成总体技术条件制定，2014 年 9 月完成方案设计，2015 年 6 月下线。其主要特点是：自主化，其核心技术完全由中国相关企业自主研发；标准化，其部件是按照中国自己的标准设计制造，而且能够实现不同的两类动车组之间互换、互用以及互联互通。

两个型号分别是四方厂生产的“海豚” CR400AF（头部玻璃平、侧面有一条凸尖线、最前部尖出如“▶”）和长客厂生产的“金凤凰” CR400BF（头部玻璃凸、侧面比较平缓、最前部如“◀”），如图 1.10 所示。2016 年 7 月 15 日，两列自主研发的中国标准动车组“金凤凰”和“海豚蓝”在郑（州）徐（州）线上，分别以 420 km/h 的速度交会而行，这是世界最高速的动车组交会试验。

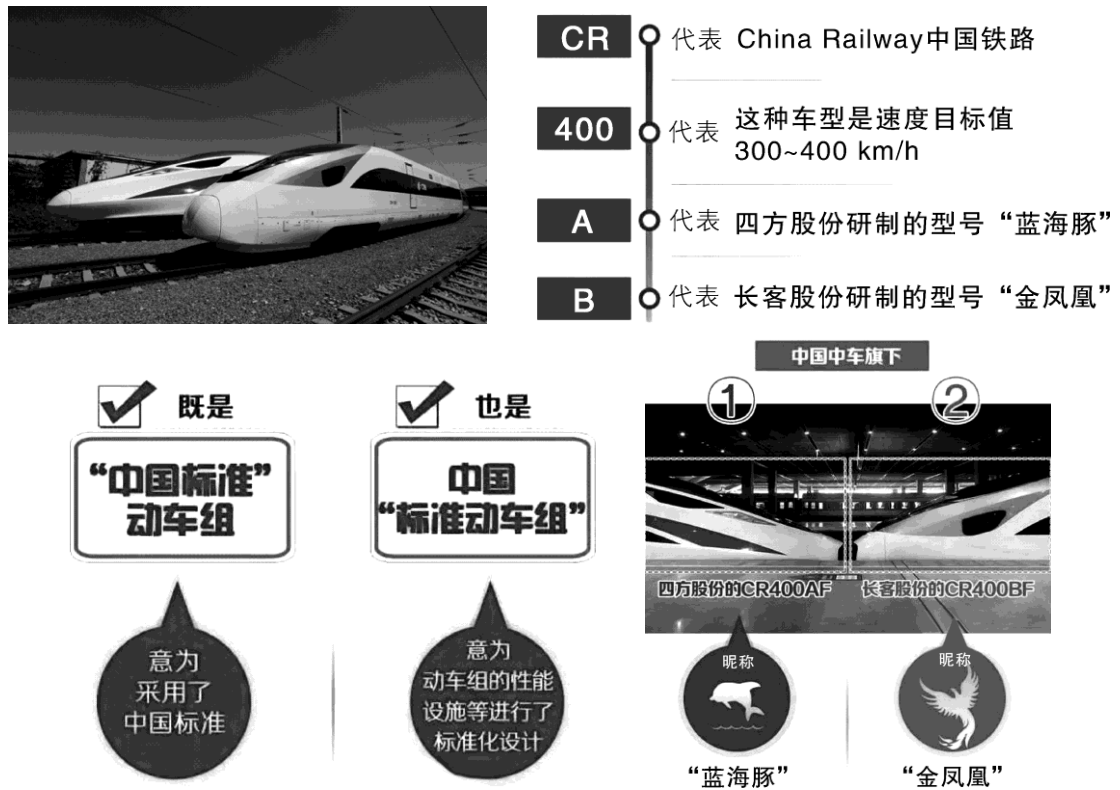


图 1.10 中国标准动车组

1.3 动车组车辆概述

1.3.1 车辆的特点、组成及类型

1. 车辆的特点

轨道车辆与其他车辆的最大不同点在于，这种车辆的车轮必须在专门为它铺设的钢轨上运行。这种特殊的轮轨关系成了轨道车辆结构上最大的特征，并由此产生出许多其他的特点：

(1) 自导向。除轨道车辆之外的各种运输工具几乎全有操纵运行方向的机构，唯独轨道车辆通过其特殊的轮轨结构，车轮即能沿轨道运行而无须专人掌握运行的方向。

(2) 低阻力。除坡道、弯道及空气对车辆的阻力之外，运行阻力主要来自走行机构中的轴与轴承以及车轮与轨面的摩擦阻力。车辆的车轮及钢轨都是含碳量偏高的钢材，轮轨接触处的变形较小，而且线路的结构状态也尽量使其运行阻力减小，故车辆运行中的摩擦阻力较小。

(3) 编成列。轨道车辆编组连挂组成列车运行，为了适应成列运行的特点，车与车之间需设连接、缓冲装置；且由于列车的惯性很大，每辆车均需设制动装置。

(4) 限尺寸。轨道车辆只能在规定的线路上行驶，无法像其他车辆那样主动避让靠近它的物体，为此要制定限界，严格限制车辆的外形尺寸，以确保运行安全。

2. 车辆组成

从结构组成来看，轨道车辆通常由车体、转向架、车辆连接装置、制动装置、车辆内部设备、车上电气系统六部分组成，如图 1.11 所示。

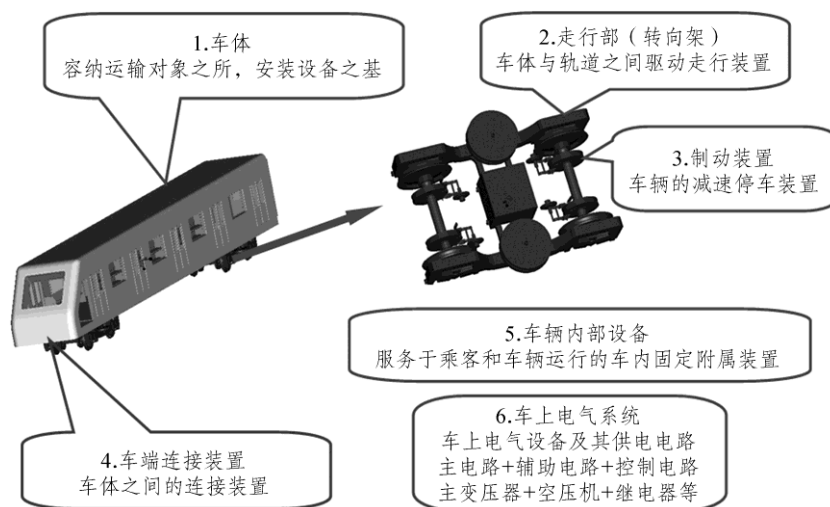


图 1.11 动车组车辆基本组成

(1) 车体。车体既是容纳乘客和司机的场所，同时又是安装与连接其他设备和部件的基础。

(2) 转向架。转向架置于车体和轨道之间，用来牵引和引导车辆沿轨道行驶，承受和传递来自车体及线路的各种载荷，并缓和其动作用力。转向架是保证列车运行品质和安全的关键部件。

(3) 车端连接装置。车辆编组成列车运行必须借助连接装置。其中，机械连接包括车钩缓冲装置和风挡等，同时还有车辆之间的电气和空气管路的连接、高压电器连接、辅助系统

和列车供电连接以及控制系统连接等。

(4) 制动装置。制动装置是保证列车安全运行所必需的装置。动车组常采用动力制动与摩擦制动的复合制动模式，制动控制系统包括动力制动控制系统（再生制动）和空气制动控制系统。

(5) 车辆电气系统。车辆电气系统包括车辆上的各种电气设备及其控制电路，按其作用和功能可分为主电路系统、辅助电路系统和控制电路系统3个部分。主电路系统又叫牵引传动系统，是车辆上的高压、大电流、大功率动力回路，其作用是将电网的电能为车辆运行所需的牵引力，在电气制动时将车辆的动能转换为电制动力。辅助电路系统是为保证车辆正常运行必须设置的辅助设备供电系统。控制电路系统分为有接点的直流电路和无接点的电子电路，控制电路的作用是控制主电路和辅助电路各电器工作，通过司机操纵主控制器和各按钮使列车正常运行或由列车自动运行控制系统控制运行。

(6) 车辆内部设备。车辆内部设备是指服务于乘客的车内固定附属装置，如车内电气、供水、通风、取暖、空调、座席、车窗、车门、行李架、旅客信息服务系统等。

3. 车辆分类

动车组中的车辆按有无牵引动力可分为有牵引动力的动车和无牵引动力的拖车；按照有无操纵控制装置可分为带驾驶室的车和不带驾驶室的车，如图 1.12 所示。

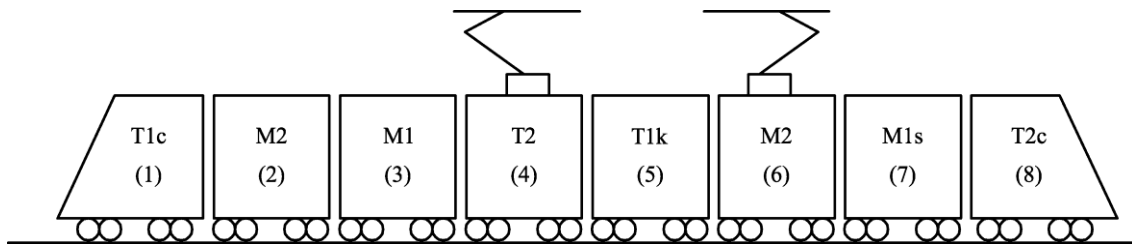


图 1.12 动车组车辆的类型

T1c, T2c—带司机室的拖车；M1, M2, M1s—动车；T1k, T2—拖车

4. 动车组车辆的主要技术特点

通过引进、消化、吸收、再创新，我国铁路已成功掌握了九大关键技术及十项主要配套技术（见图 1.13）。

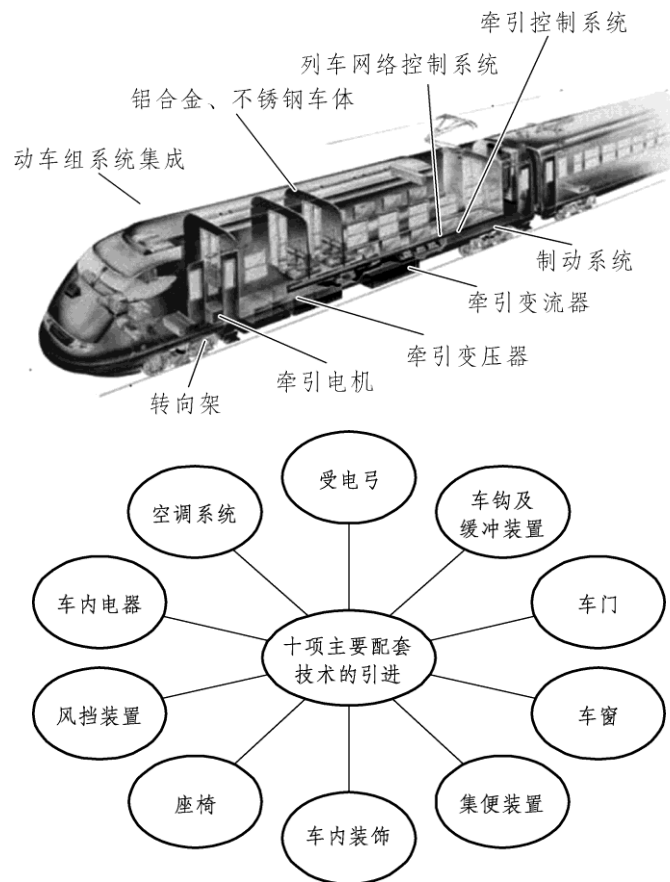


图 1.13 动车组的九大关键技术及十项主要配套技术

(1) 九大关键技术：动车组总成、车体、转向架、牵引变压器、牵引变流器、牵引电机、牵引控制系统、列车网络控制系统、制动系统。

(2) 十项配套技术：空调系统、集便装置、车门、车窗、座椅、风挡、钩缓装置、受流装置、辅助供电系统和车内装饰材料。

九大关键技术概括起来就是六大方面：

① 集成创新 CRH 系列动车组中，动车组成零部件大约有 12 000 件，拖车组成零部件也在 8 000 件左右，大概可以分为 145 个子系统，涉及电子、微电子、计算机技术、网络技术、通信技术，以及机械加工、非金属材料、电器制造等，直接参与设计制造的企业达 100 多家。

② 牵引技术。交流传动技术是世界上高速列车的核心技术之一。现在的动车组交流传动的功率可以达到 8 800 kW，而且采用世界上最先进的电流光纤激光 (IPG) 技术，共有变压器、变流器、牵引电机、牵引控制 4 个关键技术。

③ 制动技术。高速列车的制动技术涉及行车安全。高速列车对制动技术提出了严峻的挑战，因为列车的动能与速度的平方成正比，而在一定的制动距离条件下，列车的制动功率是速度的三次函数。因此，传统的空气制动能力远远不能满足需要，需要采用大功率盘形制动机，并采用复合制动方式，即空气盘形制动 + 电气动力制动 (再生制动) + 非黏着制动 (涡流制动和磁轨制动)。制动系统按速度控制制动力的大小以充分利用黏着；同时，采用高性能的防滑

装置和微机控制等。现在从 200 km/h 降到 90 km/h 左右完全采用再生制动，这一段是没有任何机械磨损的，是一个非常绿色的、环保的技术，只有当列车的速度降到 90 km/h 以下才开始实施第二阶段的机械制动。200 km/h 的列车制动距离小于 2 000 m，完全达到世界先进水平。

④ 车体技术。高速列车重要技术之一是要流线型与轻量化。随着列车运行速度的提高，空气的动力作用一方面对列车和列车运行性能产生影响；同时，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，列车头形设计非常重要，好的头形设计可以有效地减少列车表面压力、列车空气阻力、会车压力波、隧道内列车表面压力和列车风等。列车运行每牵引 1 t 质量大约要消耗 12 kW，到 300 km/h 的时候，每牵引 1 t 质量大约要消耗 16~17 kW。动车组车体质量比传统客车减轻一半，实现了轻量化要求。为了节省牵引功率，降低高速所引起的动力作用对线路结构、机车车辆结构产生的损伤，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，各国高速动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。

⑤ 走行技术。提高列车运行速度首先遇到的问题是转向架运行的稳定性和安全性，所以，提高列车运行速度应具有高性能的转向架。高速转向架要求具有高速运行的稳定性和安全性、良好的曲线通过性能以及旅客乘坐的舒适性。

⑥ 网络技术。列车控制网络系统对于高速列车安全运行起着重要的作用。因为高速列车的故障会带来严重的后果，所以必须在事故发生以前，利用先进的装备发现和预防故障。高速列车控制网络系统大致可以分为运行监控、故障检测与诊断以及通信网络 3 方面的内容。

1.3.2 车辆技术参数

车辆技术参数是指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数字，一般分性能参数与主要尺寸两大类。

1. 性能参数

(1) 轴重。轴重是指在某个运行速度范围内该轴允许负担的最大总质量，包括轮对自身质量。轴重的选择与线路、桥梁及车辆走行部的设计标准有关，应尽量降低轴重并符合运行线路的要求。其中，动力车轴重：23 t (≤ 160 km/h)，21.5 t (160~200 km/h)，20 t (≥ 200 km/h)；拖车轴重：16.5 t (≤ 160 km/h)，< 16.5 t (双层客车，200 km/h)， ≤ 15.5 t (单层客车，200 km/h)。

(2) 载重/定员。载重指车辆允许的最大装载质量和容积。总定员数应满足运输及旅客舒适度的需要，以座位或铺位计算。软座车定员单层车可为 55~65 人，双层车可为 90~100 人；硬座车定员单层车可为 75~128 人，双层车可为 95~168 人。

(3) 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指标，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。

(4) 列车运行速度。列车运行速度包括最高试验速度、最高运行速度、旅行速度和持续速度。

① 最高试验速度/最高运行速度。最高试验速度是指车辆设计时，按安全及结构强度等条件所允许的車輛最高行驶速度。最高运行速度是指車輛除满足上述安全及结构条件外，还必须满足连续以该速度运行时車輛有足够良好的运行性能时的車輛最高行驶速度。一般最高试验速度 = $1.1 \times$ 最高运行速度。

② 旅行速度。旅行速度 = 路程/时间，即平均速度。

③ 持续速度。在全功率下能长时间连续运行的最低速度称为持续速度（当运行速度低于持续速度时，电机的电流超过了持续电流，电机绕组严重发热，电机绝缘的温升过高会影响使用期限，严重时會烧毁电机）。

(6) 列车牵引力：包括轮周牵引力、车钩牵引力、持续牵引力和黏着牵引力。

① 轮周牵引力：动轮从牵引电动机获得扭矩，通过轮轨相互作用在轮周上的切向反力。

② 车钩牵引力：克服动车本身的运行阻力以后，传到车钩处用于牵引列车运行的牵引力。

③ 持续牵引力：在全功率下，对应于持续电流的引力。

④ 黏着牵引力：机车受黏着条件限制而得到的牵引力。

(7) 起动加速度。无论是电力牵引，还是内燃牵引均应满足：列车的牵引功率应保证列车达到最高运营速度时尚有大于 0.05 m/s^2 的剩余加速度。在部分动力设备不能发挥功率时，动车组应仍能保证列车正点运营要求。列车的起动加速度应满足跟踪时分的要求，其取值范围为 $0.15 \sim 0.45 \text{ m/s}^2$ 。

(8) 紧急制动距离。在平直道上，初速度为 120 km/h 时，紧急制动距离为 800 m ；初速度为 160 km/h 时，紧急制动距离为 1400 m ；初速度为 200 km/h 时，紧急制动距离为 2000 m ；初速度为 350 km/h 时，紧急制动距离为 6500 m 。

(9) 通过最小曲线半径。通过最小曲线半径指配用某种形式转向架的車輛在站场或厂、段内调车时所能安全通过的最小曲线半径。当車輛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物相碰。通过最小曲线半径：干线动车组 145 m ，单车缓行及调车 100 m 。

(10) 轴列式。轴列式简称轴式，是用数字或数字表示車輛转向架结构特点的一种简单方法。规则：以字母表述动轴数，以数字表示非动轴数；注脚“0”表示动轴为单独驱动，即每个电机驱动一根动轴。如 B_0-B_0 ，表示一辆动车，有 2 个转向架，每个转向架有 2 个单独驱动的动轴； $2-2$ ，表示一辆拖车，有 2 个转向架，每个转向架有 2 个非动轴。

2. 尺寸参数

(1) 車輛定距。車輛定距为车体支承在前、后两走行部之间的距离，若为带转向架的車輛，車輛定距又可称为转向架中心间距。車輛定距：单层客车 18000 mm ；双层客车 18000 mm 或 18500 mm 。

(2) 转向架固定轴距。不论是二轴转向架或是多轴转向架，同一转向架最前位轮轴中心线与最后位轮轴中心线之间的距离称为转向架固定轴距。

(3) 车体車輛空间尺寸。車輛全长指车钩中心线连接长度；車輛最大宽度指车体最宽部分的尺寸；車輛最大高度指車輛顶部最高点离钢轨水平面之间的距离。这些尺寸均需符合机车車輛限界的要求。车体长、宽、高，又有车体外部与内部之别，但车体内部的长、宽、高

必须满足旅客乘坐要求。车体车辆空间尺寸：车体长度 25 500 mm，车体宽度约 3 104 mm 或 3 204 mm，车辆高度单层车 4 050 mm，双层车 4 750 mm 或 4 600 mm。

(4) 车钩高。它是指车钩钩舌外侧面的中心线至轨面的距离。列车中各车辆的车钩高基本一致，是保证正常传递牵引力及列车运行时不会发生脱钩事故所必需的。我国规定既有干线用动车组两端的车钩中心线高度为 880 mm。

(5) 地板面高度。地板面高度指地板面距轨面的高度，与车钩高一样，均指新造或修竣后空车的地板面高度。它将受到两方面的制约，一方面是车辆本身某些结构高度的限制，如车钩高及转向架下心盘面的高度等；另一方面又与站台高度的标准有关。

1.3.3 车辆的方位、代码及标记

1. 车辆方位与零件编号

为了便于管理和检修同名零部件，对车辆的方向和配件位置规定了统一的确定方法。

车辆方位规定车辆一端为 1 位端，另一端为 2 位端。欧系动车组主要以牵引单元来确定各车辆端位及侧位，动车组各车辆定位标识不同；日系动车组以首尾车定位，各车辆定位标识统一；CRH 动车组车辆方位见表 1.10。

CRH 型动车组车辆同名零部件位置编号规则如下：以观察者在 1 位端面向车辆为基准，左手方向为 1 位侧，右手方向为 2 位侧。对于排列在纵向对称轴上的零部件，由 1 位端顺序向 2 位端编号，如转向架、车轴、内端门等均可按此编号；对于分布在纵向对称轴左右的零部件，按先从 1 位侧向 2 位侧、再从 1 位端向 2 位端的顺序进行编号，如车轮、轴箱、制动盘等均可按此编号；对于上下排列的零部件，按从上至下的顺序并结合左右、前后位置进行编号，如图 1.14 所示。

表 1.10 CRH 动车组车辆方位

动车组名称	车辆方位
CRH1A CRH1B	以靠近客室侧门端为 1 位端（主机厂及外方称 A 端，下同），另一端为 2 位端（B 端）
CRH1E	分为两个 8 编组的动力单元，每个单元中各车辆以靠近车头端为 1 位端（A 端），另一端为 2 位端（B 端）
CRH2	各车辆以靠近 1 号车车头方向为 1 位端，相反方向为 2 位端
CRH3C	EC（01、00）车以有司机室端为 1 位端，TC（02、07）、IC（03、06）、FC（05）车以有卫生间端为 1 位端，BC（04）车以有乘务室端为 1 位端，另一端为 2 位端
CRH5A	Mc2（01）、M2s（02）、Tp（03）、T2（05）车以靠近 01 车车头方向为 1 位端，相反方向为 2 位端；M2（04）、Tpb（06）、Mh（07）、Mc1（00）车以靠近 00 车车头方向为 1 位端，相反方向为 2 位端
CRH380A CRH380AL	各车辆以靠近 1 号车车头方向为 1 位端，相反方向为 2 位端

CRH380B	EC (01、00) 车以有司机室端为 1 位端，TC (02、07)、IC (06)、FC (03、04) 车以有卫生间端为 1 位端，BC (05) 车以有乘务室端为 1 位端，另一端为 2 位端
CRH380BL CRH380CL	EC (01、00) 车以有司机室端为 1 位端，TC (02、07、10、15)、VC (03)、IC (06、08、11、14)、FC (04、05)、SC (12、13) 车以有卫生间端为 1 位端，BC (09) 车以有乘务室端为 1 位端，另一端为 2 位端

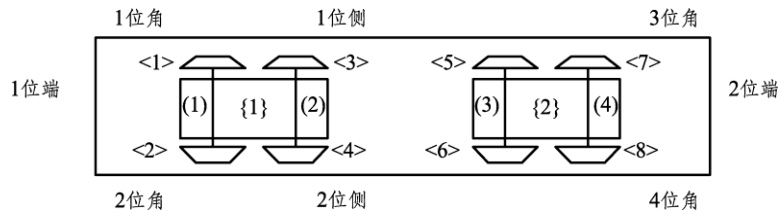
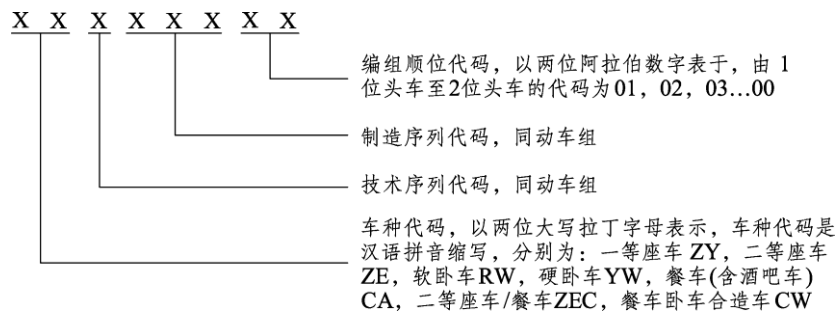
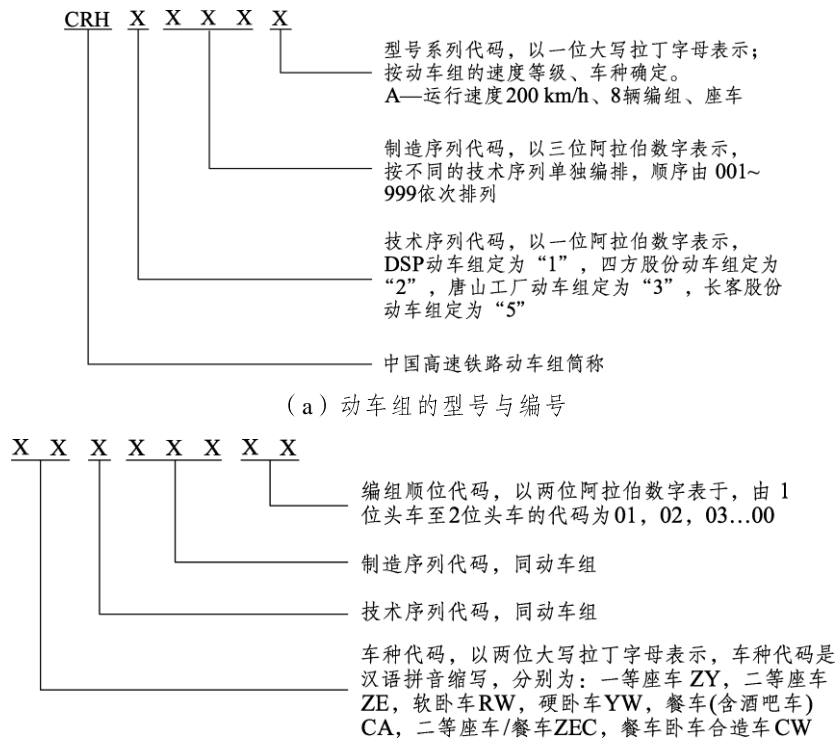


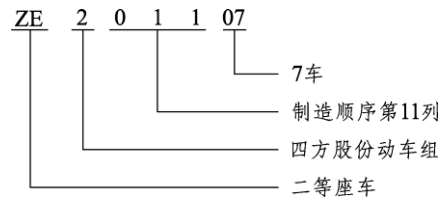
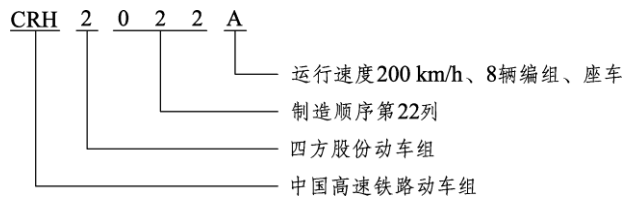
图 1.14 CRH2 型动车组车辆定位及配件位置编号示意图

{x}: 转向架位数; (x): 车轴位数; <x>: 车轮位数

2. 动车组的车型和车种编号

CRH1、2、3、5 动车组的型号和车种编号规则如图 1.15 所示。



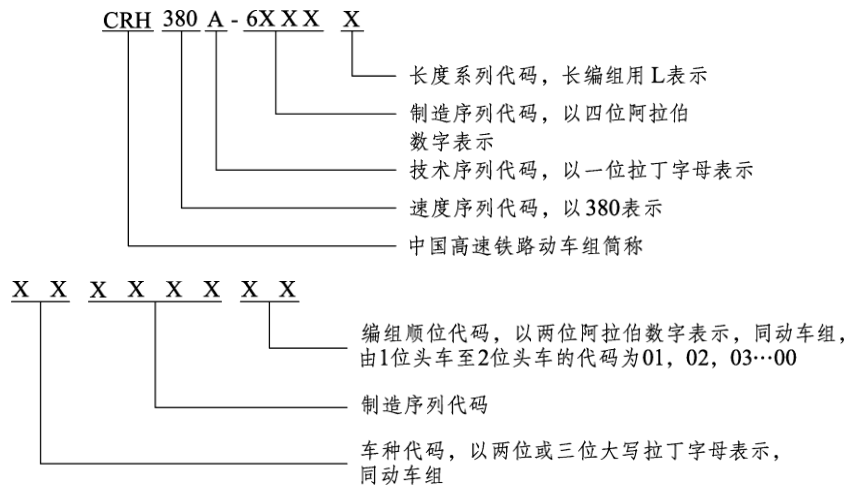


(c) 动车组的型号与编号示例

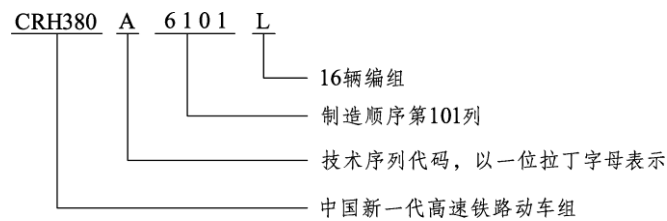
(d) 车辆的车种和编号构成示例

图 1.15 CRH1、2、3、5 动车组车型、车种标号

CRH380 系列动车组型号、车号编号规则如图 1.16 所示。



示例 1：新一代高速动车组的型号和车号



示例 2：新一代高速动车组中车辆的车种和编号

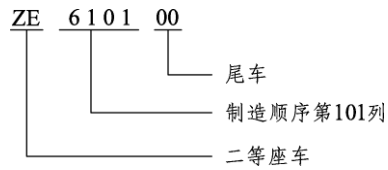
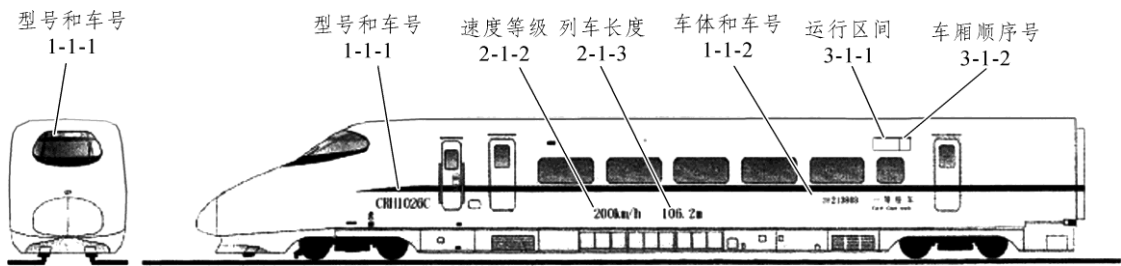


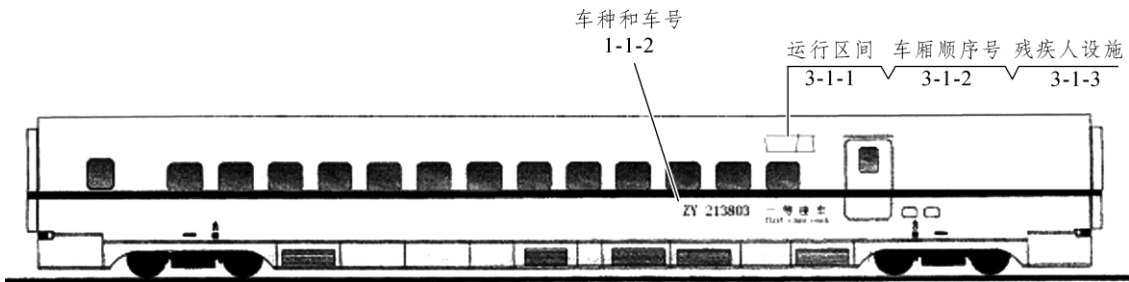
图 1.16 CRH380 系列动车组车型、车种标号

3. CRH 动车组标志规定

为了管理方便，在动车组内外部相应部位涂贴管理、工作和服务用标志。首车和尾车外部侧面标志位置示意图见图 1.17 (a)；中间车外部侧面标志位置示意图见图 1.17 (b)。



(a) 首车和尾车外部侧面标志位置示意图



(b) 中间车外部侧面标志位置示意图

图 1.17 动车组侧面侧面标志位置示意图

1.4 铁路限界与线路概述

1.4.1 铁路限界

1. 设置限界的意义及制定限界的原则

铁路限界是为防止车辆运行时与建筑物及地面设备发生接触而设置的横断面允许的极限尺寸轮廓。铁路限界由机车车辆限界（简称“车限”）和建筑限界（简称“建限”）组成，两者间相互制约与依存。建筑限界和机车车辆限界均指在平直线路上两者中心线重合时的一组尺寸约束所构成的极限轮廓，如图 1.18 所示。

铁路限界是铁路安全行车的基本保证之一，为了使列车能在一定范围的路网内通行无阻，不会因车辆外形尺寸设计不当、货物装载位置不当或建筑物与地面设备的位置不当而引起不安全的行车事故，必须用限界分别对车辆和建筑物等地面设备加以制约。因此，限界是铁路各业务部门都必须遵循的基础技术规程。限界制定得是否合理、先进，也关系到铁路运输总的经济效果。

实际的机车车辆与靠近线路中心线的建筑物之间必须留有一定的、为保证行车安全所需的空空间。这部分空间应该包括：

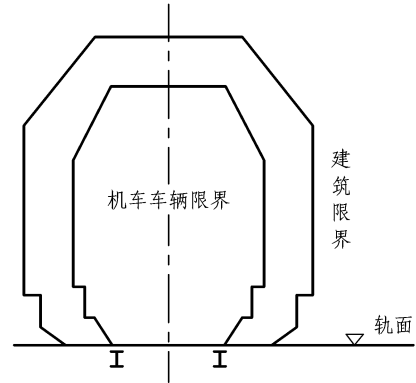


图 1.18 机车车辆限界与建筑限界

(1) 车辆制造公差引起的上下、左右方向的偏移或倾斜。

(2) 车辆在名义载荷作用下弹簧受压缩引起的下沉，以及弹簧由于性能上的误差可能引起的超量偏移或倾斜。

(3) 由于各部分磨耗或永久变形而造成的车辆下沉，特别是左右侧不均匀磨耗或变形而引起的车辆倾斜与偏转。

(4) 由于轮轨之间以及车辆自身各部分存在的横向间隙而造成车辆与线路间可能形成的偏移。

(5) 车辆在走行过程中因运动中力的作用而造成车辆相对线路的偏移。它包括曲线区段运行时实际速度与线路超高所要求的运行速度并不一致而引起的车体倾斜，以及车辆在振动时产生上下、左右各个方向的位移。

(6) 线路在列车反复作用下可能产生的变形。

(7) 运输某些特殊货物时可能会超限。

(8) 为应付可能出现的特殊情况，还应该有足够的裕留空间。

以上最后两点指的是由铁路承运的某些不宜分解的大型、重型机器设备，以及某些特大型的机器设备，如大型发电设备及化工设备等。理论上，由于机车车辆限界包括以上提到的 8 种空间的多少而可以分成 3 种不同的限界：

(1) 无偏移限界。当机车车辆限界仅考虑上述第 (1) 点内容时的限界称为无偏移限界，又可称为制造限界。此时，车限与建限之间所留空间应该很大。

(2) 静偏移限界。当机车车辆限界考虑了上述第 (1) 至第 (3) 点内容时的限界称为静偏移限界或静态限界。此时，车限与建限之间的空间可以压缩一些，只包括第 (4) 至第 (8) 点内容。

(3) 动偏移限界。当机车车辆限界考虑了第 (1) 至第 (5) 点内容时，则车限与建限之间的空间可以留得很少，这种限界称为动偏移限界或动态限界。

除上述 3 种限界外，根据制定限界的这些原则，在某些特殊的路网上还可以使用特殊的限界。如地下铁道所涉及的路网仅在一个城市范围内，而所使用的车辆形式又比较单一，故

可以通过较精确的计算把第(1)至第(6)点的内容均包括在车辆限界内, 这样的限界可称为“动态包络线限界”。又如, 高速客运专线上在考虑行车安全时必须考虑空气动力学问题, 因此复线的线间距及隧道截面面积等都比普通线路大。

2. 我国准轨机车车辆限界 (GB 146.1—83) 及其使用方法

我国准轨机车车辆限界 (GB 146.1—83) 在横向基本属于无偏移限界; 在垂向除需考虑钩高的变化外, 尚需考虑弹簧的平均静挠度及垂向均匀磨耗, 故基本属于静偏移限界。其上部限界、下部限界示于图 1.19 中。

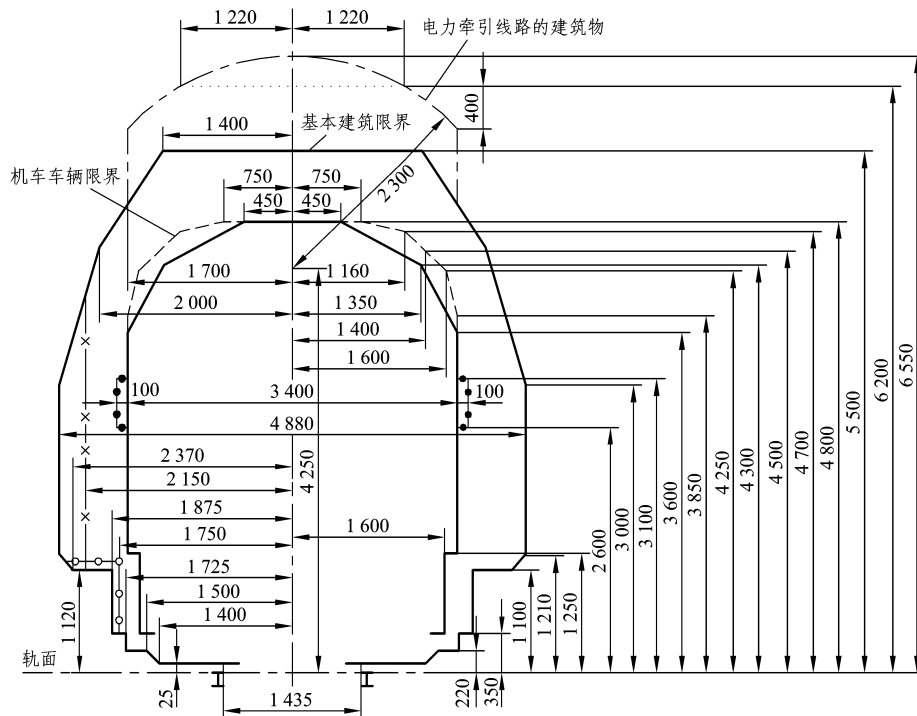


图 1.19 中国机车车辆限界和基本建筑限界

- : 电气化铁路干线上运用的电力机车;
- : 列车信号装置限界轮廓;
- ×—×—: 信号机、水鹤的建筑限界 (正线不适用);
- : 站台建筑限界 (正线不适用);
- : 适用于电力机车牵引的跨线桥、天桥和雨棚等;
-: 电力机车牵引线路的跨线桥在困难条件下的最小高度

机车车辆限界是一个和线路中心线垂直的极限横断面轮廓。机车、车辆无论是空车或重车, 无论是具有最大标准公差的新车或是具有最大标准公差和磨耗限度的旧车, 当其停放在水平直线上且在无侧向倾斜及偏移时, 除电力机车升起的受电弓外, 其他任何部分均应容纳在限界轮廓之内, 不得超越。在使用中犹如把一个直角坐标系固定在极限图中, 所有竖直高度均从轨面算起; 所有横向宽度均从中垂线向两侧计算。若一辆车在某横截面处的总宽虽不超限, 但只要某侧半宽超限即为超限。

3. UIC 动态限界简介

UIC 动态限界是为国际铁路联盟各成员国列车能够在该联盟所属范围内实现国际联运而制定的。它在动态限界的理论及实践上是目前比较完备的一个限界，它对动车、无动力装置的客车、货车分别规定了动态限界，它把车辆停车时的净空称为静态限界，把车辆运行时的净空称为车辆动态限界，并定义如下：动态限界是以线路为基准的基准轮廓线的最外各点，按车轮在线路上运行时机车车辆各部最不利的位置来考虑，如轴承在轴箱内的偏移、车体相对轴箱的偏移，以及由于受未被平衡离心力作用下弹簧倾斜或过超高（似静态位移）的影响而产生的水平移动。

1.4.2 线路构造、分类及主要技术参数

铁路线路是由路基、轨道和桥隧建筑物组成的一个整体工程。路基一般采用路堤和路堑两种基本形式，如图 1.20 所示。



(a) 路堤



(b) 路堑

图 1.20 路基

1. 线路构造

1) 线路平面构造

如图 1.21 (a) 所示，线路平面构造包括直线、曲线、缓和曲线、道岔。

(1) 直线：直线沿平面向前延伸时分为有缝线路和无缝线路两种。

(2) 曲线：对于客运专线（如秦沈客运专线）来说，区间线路的最小曲线半径为 2 800 m，不得低于 2 200 m。

(3) 缓和曲线：由于直线与圆曲线的线路构造不完全相同，为了保证行车的安全与平顺，在直线与圆曲线之间设置一段缓和曲线。缓和曲线有三次、四次、五次抛物线和三角函数 4 种线形。

(4) 道岔：一种使机车车辆从一股道转入另一股道的线路连接设备。道岔是个大家族，

最常见的是普通单开道岔，它由转辙器、连接部分、辙叉及护轨 3 个单元组成。转辙器包括基本轨、尖轨和转辙机械。

2) 线路纵断面构造

如图 1.21 (b) 所示，线路的纵断面根据地形变化，包括平道、上下坡段和竖曲线。

(1) 坡段：坡段的特征用坡段长度和坡度值表示。坡段长度 L 为坡段两端变坡点之间的距离 (m)。坡度值 i 为 i 坡段两端变坡点的高差 H_i 与坡段长度 L_i 的比值，以千分数表示，即 $i = H_i / L_i \times 1\,000 \text{‰}$ 。

(2) 变坡点：相邻两坡段的坡度变化的点。

(3) 竖曲线：在变坡点处设置圆曲线形的竖曲线，一般 I、II 级线路竖曲线半径为 10 000 m，III 级线路为 5 000 m。

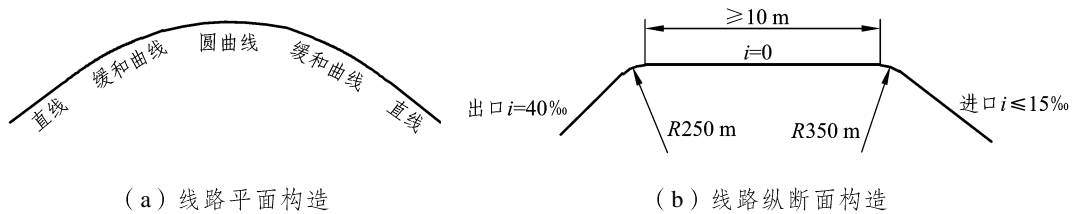


图 1.21 线路构造

2. 线路分类

1) 按运输能力分

铁路等级是铁路的基本标准，设计铁路时，首要任务就是确定铁路等级。我国铁路的等级通常分为 3 级，用罗马数字 I、II、III 表示。等级的划分是根据具体线路在路网中的作用和远期年客货运量来确定的。所谓远期年客货运量，是指具体线路在交付运营后第 10 年，其重车方向的货运量和客车对数折算的货运量之和。每天 1 对客车按 1.0 个百万吨 (Mt) 货运量折算。I 级铁路是指在路网中起到骨干作用的铁路，远期年客货运量在 20 Mt 以上。II 级铁路分两种情况：一是指在路网中起骨干作用的铁路，远期年客货运量小于 20 Mt；二是指在路网中起联络、辅助作用的铁路，远期年客货运量在 10 Mt 以上；III 级铁路是指为某一区域服务，具有地区运输性质的铁路，远期年客货运量在 10 Mt 以下。

2) 按用途分

铁路线路按用途分为正线、站线、段管线、岔线及特别用途线，如图 1.22 所示。

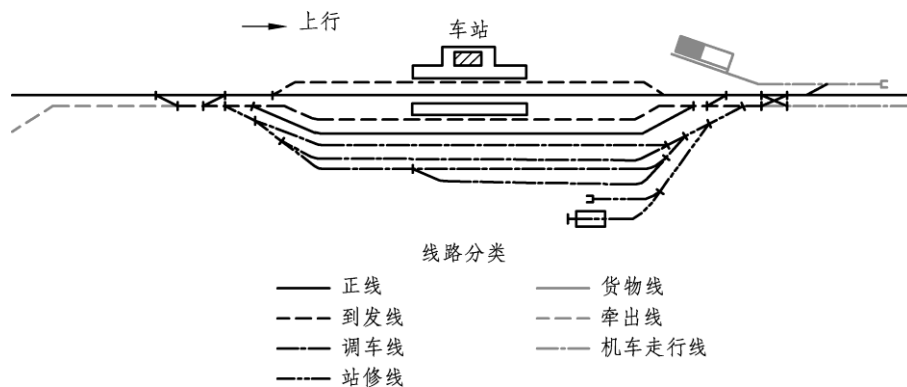


图 1.22 线路类型

(1) 正线是指连接车站并贯穿或直股伸入车站的线路。正线在通过型车站比较好辨认，其一，由于它贯穿车站，通过列车多，所以通常很光亮，磨损也很大；其二，它直接与站外区间线路连接，一般不用道岔。

(2) 站线是指站内除正线以外的到发线、调车线、牵出线、货物线及站内指定用途的其他线路。到发线用于接发客车和货车。调车线用于车列解体和编组并存放车辆。牵出线用于调车作业时将车辆牵引出去。货物线用于货物装卸作业的货车停留。站内指定用途的其他线路包括机车走行线、车辆站修线及驼峰禁溜线等。

(3) 段管线是指机务、车辆、工务、电务等段专用并由其管理的线路。

(4) 岔线是指在区间或站内接轨，通向路内外单位的专用线路。

(5) 特别用途线是指安全线和避难线。为防止列车或机车、车辆进入另一列车运行线，防止进站停车的列车驶过警冲标进入区间，在支线与正线或到发线衔接处铺设的有效长度不小于 50 m 的尽头线叫安全线。为防止在陡长的坡道上失去控制的列车发生冲突或颠覆，根据线路情况，计算确定在区间或站内设置避难线。避难线一般设计为有较大的上升坡度，以减缓失控列车的速度。

3. 线路主要技术参数

高速铁路与普通铁路的技术参数主要有：曲线半径、缓和曲线、线路坡度和竖曲线。

1) 曲线半径

线路平面曲线半径的确定，取决于铁路运输要求和所在地区自然条件等因素，曲线半径是限制行车速度的主要条件之一，应随速度的增加而相应加大。我国京津城际铁路线路最小曲线半径为 4 000 m，京沪高铁为 7 000 m。

2) 缓和曲线线形

缓和曲线线形有三次、四次、五次抛物线和三角函数 4 种。根据列车线路动力学的研究和国外高铁的运行路径经验，缓和曲线不是影响行车的决定因素，因此，传统的三次抛物曲线仍可适应高速列车运行的要求，关键是缓和曲线长度。缓和曲线的长度应根据设计速度、曲线半径和地形条件合理选用。

3) 线路坡度和竖曲线半径

高速列车质量较小，机车功率较大，可在较大线路坡度上高速运行。国外高速铁路最大线路坡度为 40‰。我国京津城际铁路线路最大坡度为 18.5‰，石太客专的线路坡度为 18‰。

高速铁路要求相邻坡度差大于 1‰ 时，设置竖曲线，以保证列车运行平稳和安全。竖曲线半径与行车速度有关，行车速度越高，竖曲线半径也应越大。我国拟建的高速铁路上，最小曲线半径应根据所处区段远期设计最高速度选用，具体为：最高速度 300~350 km/h 时，选用 25 000 m；最高速度 250 km/h 时，选用 20 000 m；最高速度 200 km/h 时，选用 15 000 m。最大竖曲线半径不应大于 40 000 m。

1.4.3 轨道结构

作为一个整体性工程结构，轨道铺设在路基之上，起着列车运行的导向作用，直接承受机车车辆及其荷载的巨大压力。在列车运行的动力作用下，它的各个组成部分必须具有足够的强度和稳定性，保证列车按照规定的最高速度，安全、平稳和不间断地运行。

1. 轨道组成

如图 1.23 所示，轨道是铁路线路的组成部分，包括钢轨、轨枕、联结零件、道床、防爬设备和道岔等。

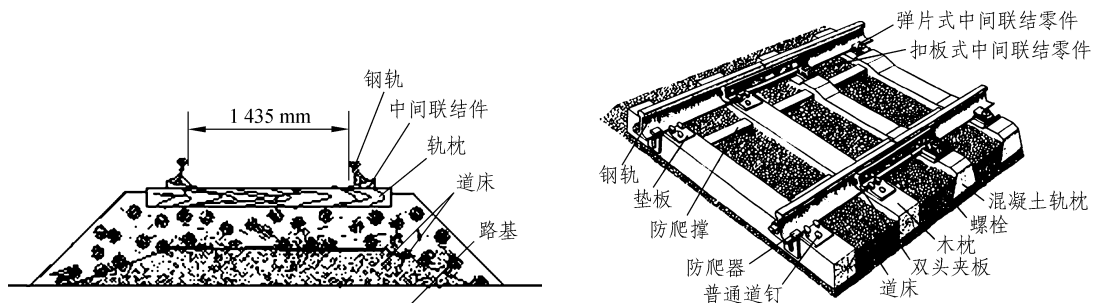


图 1.23 轨道基本组成

(1) 钢轨：其断面为工字形，用以承受机车车辆的车轮荷载，并将承受的荷载传给轨枕；同时引导车轮运行。钢轨为工字形断面，由轨头、轨腰、轨底三部分组成。

(2) 轨枕：铺设在道床和钢轨之间，用以承受从钢轨传来的力和振动，并传给道床；同时用以保持轨距和方向。

(3) 联结零件：分中间联结零件和接头联结零件两种。① 中间联结零件：钢轨与轨枕的扣件，包括普通道钉、螺纹道钉、刚性或弹性扣铁、垫板、垫层、防爬器及轨距杆等（见图 1.24）。② 接头联结零件：联结两根钢轨零件，主要有夹板、螺栓和弹簧垫圈。

(4) 道床：用碎石、卵石或砂等道砟材料或沥青砂浆灌注材料组成的轨道基础，用以将轨枕的荷载均匀地传递到路基上，以及防止轨枕的纵向和横向移动。

(5) 防爬设备是指用以提高轨道纵向阻力，防止线路爬行的附属设备，由防爬器和防爬撑组成。

(6) 道岔：连接两股相邻轨道的专用设备，主要由转辙器、辙叉和连接轨道组成。道岔的作用是为机车车辆由一股轨道转入另一股轨道提供通道。

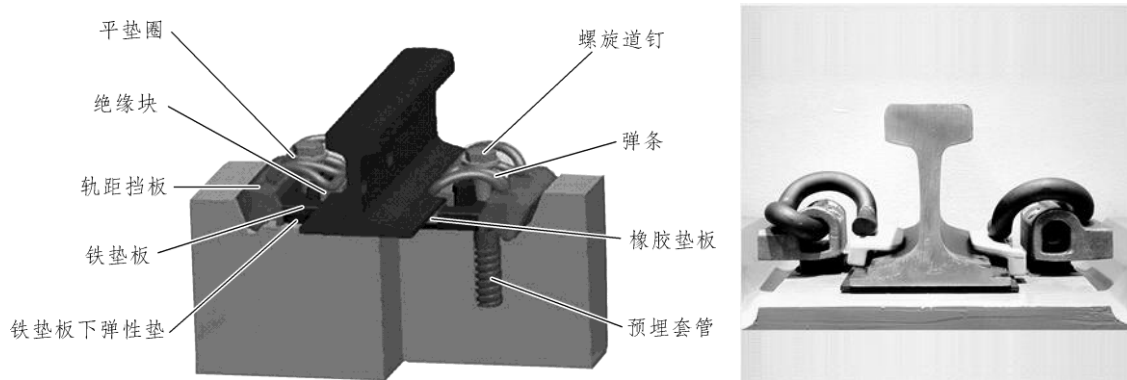


图 1.24 扣件组成

2. 轨道参数

(1) 钢轨质量。钢轨的类型和强度以 kg/m 来表示。我国现行的钢轨标准有 50 kg/m、60 kg/m、75 kg/m 3 种。每米钢轨的质量越重，它所承受的载荷越大。世界上第一条铁路的钢轨为 18 kg/m，最重的钢轨在美国，重达 77 kg/m。

(2) 轨距。轨距是钢轨头部踏面下 16 mm 范围内两股钢轨工作边之间的最小距离。我国直线轨距的标准是 1 435 mm，这也是国际标准轨距，简称“准轨”。大于者称之为“宽轨”；小于者称之为“窄轨”；1 m 者称“米轨”。现在，全世界有 30 多种不同的轨距。

(3) 外轨超高：线路曲线段，为了平衡离心力，使内外两股钢轨受力均匀，垂直磨耗均等，旅客不因离心加速度而感到不适，而将外轨抬高的高度。

(4) 轨距加宽：为防止轮对被轨道楔住或挤翻钢轨，对于小半径曲线的轨距要适当加宽 ($R \leq 350\text{m}$ 时，轨距加宽 $\leq 15\text{mm}$)，以使机车车辆能顺利通过曲线，并使钢轨与车轮间的横向力最小，减少轮轨间的磨耗。

3. 轨道类型

1) 按道床形式分

(1) 有砟轨道是指轨下基础为石质散粒道床的轨道，通常也称为碎石道床轨道。

(2) 无砟轨道是指采用混凝土、沥青混合料等整体基础取代散粒碎石道床的轨道结构。无砟轨道与有砟轨道相比，无砟轨道避免了飞溅道砟，平顺性好，稳定性好，使用寿命长，耐久性好，维修工作少，列车运行速度可达 350 km/h 以上。

2) 按钢轨长度分

(1) 有缝线路：目前的钢轨标准长度有 12.5 m 和 25 m 两种。

(2) 无缝线路：是把 25 m 标准长度的钢轨焊连而成的长钢轨线路。无缝线路分温度应力式及放散温度应力式两种。

3) 按运量分

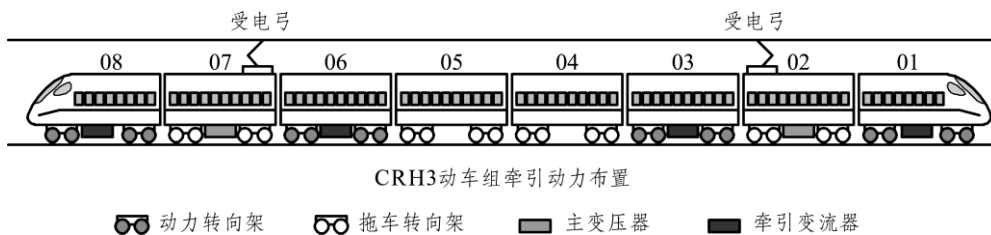
线路上部建筑按结构状态与运量的关系分为特重型、重型、次重型、中型及轻型 5 种，具体规定见表 1.11。

表 1.11 不同运量轨道参数

条件	项目	单位	特重型	重型	次重型	中型	轻型		
运营条件	年通过总体密度	Mt · km/km	> 60	60 ~ 30	30 ~ 15	15 ~ 18	< 8		
	最高运行速度	km/h	≥ 120	≥ 120	120	100	80		
轨道结构	钢轨	kg/m	≥ 70	60	50	43	43 ~ 38		
	轨枕根数	预应力混凝土枕	根/km	1 760 ~ 1 840	1 760	1 680 ~ 1 760	1 600 ~ 1 680	1 520 ~ 1 600	
		木枕	根/km	1 840	1 840	1 760 ~ 1 840	1 600 ~ 1 760	1 600	
	道床厚度	非渗水土路基	面层	cm	30	30	25	20	20
			垫层		20	20	20	20	15
	岩石、渗水土路基	cm	35	35	30	30	25		

复习思考题

1. 何谓高速铁路？有哪几种建设模式？
2. 高铁系统包括哪几大子系统？各有何主要功能？
3. 简述动车组的定义及类型。
4. 简述动车组的关键技术及配套技术。
5. 简述 CRH 系列动车组和 CRH 系列动车组的编组方式及主要技术特征。
6. 简述动车组车辆的特点及其类型。
7. 简述动车组车辆的组成及其作用。
8. 解释动车组车辆主要技术指标及其标记的含义。
9. 写出图 1.25 中动车组类型、编制方式、轴列式。若轴重为 16 t，计算其最大质量。



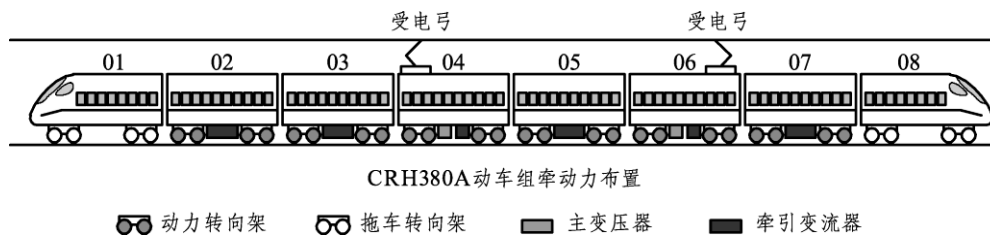


图 1.25 动车组组成

10. 何谓限界？限界包括哪几种类型？
11. 简述线路的平面构造和纵断面构造及其主要参数。
12. 轨道由哪几部分组成？主要参数是什么？轨道有哪几种类型？