

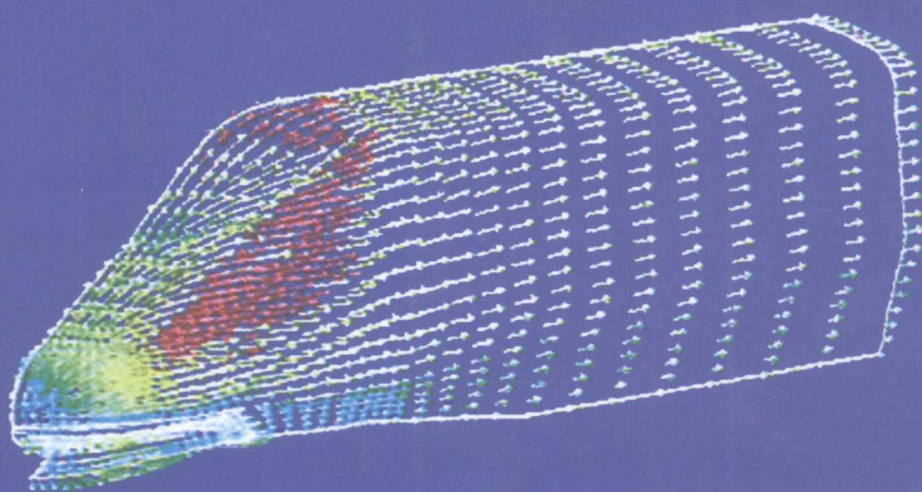
GAOSUDONGCHEZU



高速动车组

工作原理与结构特点

董锡明 编著



GONGZUOYUANLIYUJIEGOUTEDIAN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高速动车组 工作原理与结构特点

董锡明 编著

中国铁道出版社

2007年·北京

内 容 简 介

本书对高速动车组各主要系统的工作原理进行了全面系统的论述,并对相应系统的结构及特点进行了详细的介绍。包括:高速动车组的基本概念及分类;世界主要高速动车组的概况;高速动车组牵引传动;高速动车组转向架;高速动车组制动;高速动车组空气动力学与车体外形;高速动车组车体;高速动车组环境及排污;高速动车组监控与故障诊断及通信网络;高速动车组维修等。

本书可供从事动车组的设计制造人员、运用维修人员、管理人员及相关院校师生学习参考。

董锡明 著

作者简介

图书在版编目(CIP)数据

高速动车组工作原理与结构特点/董锡明编著. —北京:
中国铁道出版社, 2007. 12
ISBN 978-7-113-08416-5

I. 高… II. 董… III. ①高速列车: 动车—理论
②高速列车: 动车—车体结构 IV. U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 191822 号

书 名: 高速动车组工作原理与结构特点
作 者: 董锡明 编著

责任编辑: 聂清立

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 张立华

责任印制: 郭向伟

出版发行: 中国铁道出版社

地 址: 北京市宣武区右安门西街 8 号

网 址: www.tdpress.com

印 刷: 三河市华丰印刷厂

版 次: 2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷

开 本: 880 mm×1 230 mm 1/16 印张: 22 字数: 724 千

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 978-7-113-08416-5/U·2140

定 价: 58.00 元

邮政编码: 100054

电子信箱: 发行部 ywk@tdpress.com

总编办 zbb@tdpress.com

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电 (010) 51873170 路电 (021) 73170 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 63549504 路电 (021) 73187

前 言

2007年4月,我国铁路开始了第六次大面积提速,这次大提速的鲜明特点是投入了大量的新技术装备,其中特别引人注目的是一批具有世界先进水平的高速动车组,它们是我国铁路引进技术、消化吸收和再创新的丰硕成果。

我国铁路大批开行高速动车组,可以说是一种新生事物,是一种新型的铁路客运方式。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,究竟有哪些不同?它们的工作原理和结构又是什么样的?高速动车组的各个主要组成部分(系统)具有怎样的特点?……这些问题对于与高速动车组有关的人员是至关重要的,无疑会引起人们极大的关注。因此,急需一本全面、系统地论述和介绍高速动车组工作原理及结构特点的书籍,这样的书对于负责高速动车组引进消化的设计制造人员,高速动车组的运用、维修人员,从事高速动车组的管理人员,研究单位的研究人员以及大专院校的相关师生都是急需的。基于这样的目的,作者撰写了《高速动车组工作原理与结构特点》一书,对高速动车组各主要系统的工作原理进行了全面、系统的论述,并对相应的结构进行了详细的介绍。本书按照高速动车组的各个主要组成部分(系统)来分章节,每一章的开始部分都详细地介绍了相应系统的工作原理、结构和特点,并以较大篇幅论述了相应系统及其组成部分(子系统和部件等)的工作特点、现状与发展趋势。在每章的最后对各个国家(日本、法国和德国等)生产的高速动车组的相应系统也做了详细的介绍。

本书主要介绍200km/h及以上的电动车组。全书共分十章。第一章介绍了高速动车组的基本概念和分类,高速动车组的发展历程和发展趋势。第二章介绍了目前世界上大批量生产的高速动车组的概况,其中包括日本新干线高速动车组、法国TGV高速动车组、德国ICE高速动车组以及其他国家的高速动车组,主要有西班牙AVE S 102型高速动车组、意大利Pendolino摆式高速动车组和瑞典X2000型摆式高速动车组的概况。第三章介绍了高速动车组牵引传动系统。论述了高速动车组牵引传动系统的特点与发展,分别阐明了交流牵引电动机、变流技术、控制技术、主变压器和辅助供电系统和受电弓的基本原理与结构,并对各国高速动车组牵引传动系统,包括受电弓做了详细的介绍。第四章介绍了高速动车组的转向架技术。论述了高速动车组转向架的特点、转向架动力学性能、转向架轻量化技术、转向架悬挂技术、牵引电动机悬挂和驱动技术、车轮踏面与轴承、车体倾摆机构与径向转向架技术,并对各国高速动车组转向架,包括车体倾摆机构和径向转向架做了详细的介绍。第五章介绍了高速动车组制动系统。论述了高速动车组制动系统的基本要求、制动类别、评价指标、复合制动方式、黏着利用与防滑装置、制动控制等,并对各国高速动车组制动系统做了详细的介绍。第六章介绍了高速动车组空气动力学与车体外形。论述了高速动车组露天和隧道运行条件下的空气动力学特性,阐明了高速动车组外形的基本要求和设计方法,并对各国高速动车组的外形及空气动力学特性做了详细的介绍。第七章介绍了高速动车组的车体技术。论述了高速动车组车体结构及其轻量化技术,其中包括车体轻量化的目的和意义,车体轻量化的措施,新材料与新工艺,车体结构的变化,以及各国高速动车组车体的状况;同时,还阐明了高速动车组车体的密封技术,其中包括隧道压力波的形成及其对车体和旅客的作用,高速动车组密封性要求、密封试验和密封措施,以及各国高速动车组的密封技术;另外,还介绍了高速动车组车体连接技术,其中包括高速动车组车体连接要求,各国高速动车组密封式车钩缓冲装置、车端阻尼装置、密封式通过台等的结构。第八章介绍了高速动车组的环境及排污技术。首先介绍了高速动车组的噪声及其控制,其中包括噪声的基本概念,高速动车组的噪声及其影响,以及各国高速动车组的噪声及其控制;另外,还介绍了高速动车组的空调和通风,其中包括车内空调和通风的要求,各国高速动车组空调和通风系统;最后,介绍了高速动车组的卫生排污技术,其中包括集便装置的主要形式和各国高速动车组的卫生排污系统。第九章介绍了高速动车组的监控与诊断系统。首先论述了高速动车组运行监控,其中包括运行监控系统的组成和要求,高速动车组运行监控系统的发展概况,高速动车组运行监控系统的控制级别;其次介绍了高速动车组的故障诊断,其中包括故障诊断的基本概念,故障诊断技术与质量要求,以及高速动车组的故障诊断系统;另外还介绍了高

速动车组的通信网络，其中包括列车通信网络的作用、任务和结构，列车通信网络技术的现状与发展；最后介绍了各国高速动车组的列车监控与诊断系统。第十章介绍了高速动车组维修。论述了高速动车组维修制度，其中包括维修思想、维修制度、维修方式、维修等级等基本概念，国外技术装备维修制度的发展，机车车辆维修制度的现状与发展；另外，还阐明了高速动车组维修现状与发展趋势，其中包括维修的新观念、新发展，高速动车组计划预防修的大框架，维修制度的改革，诊断技术与信息系统等。

本书的素材一方面来自作者及其同事们近年来在这一领域内的研究成果；另一方面来自国内外发表的许多文章、资料和书籍，作者在此对他们表示诚挚的谢意。

作者感谢中国铁道科学研究院机车车辆研究所的同事们，特别要感谢铁道部机车车辆大修规程管理研究室的文礼、李忠厚、申恩福、赵中喜、闫志强、王华胜、林荣文同志，他们在我编写这本书的过程中所给予的支持与帮助。最后，还要感谢我的老伴黄厄文女士，她帮助我进行了大量的图表整理工作，使本书得以顺利完成。

高速动车组的专业范围是如此的广泛，由于作者水平所限，遗漏、谬误恐所难免，对所提出的批评指正，谨表谢意！

董锡明

2007.7 于北京

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 高速动车组基本概念及分类	1
一、高速铁路与高速动车组	1
二、高速动车组分类	2
三、高速动车组的动力配置方式	3
第二节 高速列车的发展	6
一、高速列车的发展历程	6
二、高速动车组的现状与发展趋势	7
第二章 高速动车组概况	20
第一节 日本新干线高速动车组	20
一、概 述	20
二、日本新干线高速动车组系列	23
第二节 法国高速动车组	28
一、概 述	28
二、法国高速动车组系列	30
第三节 德国高速动车组	39
一、概 述	39
二、德国高速动车组系列	41
第四节 其他国家的几种高速动车组	51
一、西班牙 AVE S 102 型高速动车组	51
二、意大利 Pendolino 摆式高速动车组	53
三、瑞典 X2000 型高速摆式动车组	55
第三章 高速牵引传动技术	58
第一节 高速动车组牵引传动系统概述	58
一、高速动车组牵引传动系统特点	58
二、高速动车组牵引传动系统发展	59
三、交流牵引电动机	61
四、变流技术	64
五、交流牵引传动控制技术	69
六、主变压器	72
七、辅助供电系统	73
八、受电弓	74
第二节 日本新干线高速动车组牵引传动系统	77
一、全部采用动力分散型配置方式	77
二、从交一直系统发展到交一直—交系统	79
三、大功率半导体器件的应用	79
四、牵引传动系统分散配置,分单元组合	80
五、交一直—交牵引传动系统的组成	80
第三节 法国高速动车组牵引传动系统	88

一、牵引动力配置方式	88
二、从交一直系统向交一直—交系统发展	89
三、TGV 牵引传动系统	89
第四节 德国高速动车组牵引传动系统	97
一、德国高速动车组的牵引动力配置方式	97
二、ICE1 和 ICE2 牵引传动和供电系统	99
三、ICE3 牵引传动和供电系统	103
四、ICE-T 型动车组牵引传动和供电系统	105
五、ICE350(AVE S 103)型动车组牵引传动和供电系统	106
六、ICE 高速动车组受电弓	108
第五节 瑞典、西班牙、意大利高速动车组牵引传动系统	110
一、瑞典 X2000 型高速动车组牵引传动系统	110
二、西班牙 AVE S 102 型高速动车组牵引传动系统	114
三、意大利 Pendolino 高速动车组牵引传动系统	114
第四章 高速转向架技术	115
第一节 高速动车组转向架概述	115
一、高速动车组转向架的特点与要求	115
二、高速动车组转向架动力学性能	115
三、高速转向架轻量化技术	122
四、高速转向架悬挂技术	123
五、牵引电动机悬挂及驱动技术	128
六、车轮踏面与车轴轴承	131
七、倾摆机构与径向转向架	133
第二节 日本新干线高速动车组转向架	138
一、概 况	138
二、转向架轻量化	138
三、转向架悬挂技术	139
四、车轴轴承	140
五、牵引电动机悬挂及驱动装置	140
第三节 法国高速动车组转向架	141
一、动力转向架	141
二、从动铰接式转向架及其相邻车之间的铰接	144
第四节 德国高速动车组转向架	151
一、ICE 高速动车组转向架主要技术参数	151
二、ICE1 动车组转向架	151
三、ICE2 动车组 SGP400 型转向架	155
四、ICE3 和 ICE350 动车组 SF500 型转向架	156
五、ICE-T 动车组 SF600 型转向架	158
第五节 西班牙、意大利、瑞典高速动车组转向架	159
一、西班牙 AVE S 102 型高速动车组转向架和车体倾摆系统	159
二、意大利 Pendolino 摆式高速动车组转向架和车体倾摆机构	161
三、瑞典 X2000 型高速摆式动车组车体倾摆系统和转向架	163
第五章 高速制动技术	170
第一节 高速动车组制动系统概述	170
一、高速动车组制动系统基本要求	170
二、高速动车组的制动类别	170

三、高速动车组制动系统评价指标	171
四、高速动车组的制动方式——复合制动	174
五、黏着利用与防滑装置	178
六、制动控制	179
第二节 日本新干线高速动车组制动系统	181
一、日本新干线高速动车组制动系统发展	181
二、复合制动系统	182
三、制动能量的分配	185
四、紧急制动	185
五、制动控制系统	186
第三节 法国高速动车组制动系统	188
一、TGV 制动系统设计基本原则	188
二、TGV 制动系统的结构与参数	189
三、第一代高速动车组 TGV-PSE 制动系统	190
四、第二代高速动车组 TGV 制动系统	190
五、第三代高速动车组 TGV-2N 制动系统	195
六、第四代高速动车组 AGV 制动系统	195
第四节 德国高速动车组制动系统	196
一、ICE 高速动车组制动系统主要参数	196
二、ICE1 型动车组制动系统	196
三、ICE2 型动车组制动系统	200
四、ICE3 型动车组制动系统	201
五、ICE-T 型动车组制动系统	202
六、ICE350 型动车组制动系统	203
第五节 瑞典、西班牙、意大利高速动车组制动系统	203
一、瑞典 X2000 型高速动车组制动系统	203
二、西班牙 AVE S 102 型高速动车组制动系统	209
三、意大利 Pendolino 型高速动车组制动系统	209
第六章 高速动车组空气动力学与外形设计	210
第一节 高速动车组的空气动力学问题	210
一、露天条件下列车空气动力学特性	210
二、隧道条件下列车空气动力学特性	214
第二节 高速动车组外形设计	216
一、高速动车组外形设计的基本要求	216
二、高速动车组外形设计	218
第三节 各国高速动车组空气动力学	222
一、日本新干线高速动车组空气动力学	222
二、法国高速动车组空气动力学	224
三、德国高速动车组空气动力学	225
四、其他国家高速动车组的空气动力学	226
第七章 高速车体技术	228
第一节 高速车体结构及其轻量化技术	228
一、车体轻量化的目的和意义	228
二、车体轻量化措施	228
三、新材料与新工艺	229
四、改变车体结构	232

171	五、日本新干线高速动车组车体轻量化	235
171	六、法国 TGV 高速动车组车体	237
171	七、德国 ICE 高速动车组车体	240
171	八、其他国家几种高速动车组车体	243
18	第二节 高速动车组车体密封技术	245
181	一、隧道压力波的形成	245
181	二、压力波的作用	245
181	三、高速动车组密封性要求	247
181	四、高速动车组的密封性能试验	247
181	五、高速动车组的密封措施	248
181	六、各国高速动车组密封技术	249
188	第三节 高速动车组车体连接技术	252
181	一、高速动车组车体连接要求	252
190	二、密接式车钩缓冲装置	252
190	三、铰接式高速动车组的车体连接装置	254
191	四、车端阻尼装置	255
191	五、密封式通过台	259
	第八章 列车环境及排污技术	262
199	第一节 高速动车组噪声及其控制	262
191	一、噪声基本概念	262
199	二、高速动车组噪声及其影响	267
191	三、日本新干线高速动车组的噪声及其控制	270
199	四、法国 TGV 高速动车组的噪声及其控制	271
199	五、德国 ICE 高速动车组的噪声及其控制	272
199	第二节 高速动车组的空调与通风	273
199	一、车内空气调节和通风的要求	273
199	二、日本新干线高速动车组空调和换气系统	275
199	三、法国高速动车组空调和通风系统	277
199	四、德国高速动车组空调和通风系统	278
199	第三节 高速动车组的卫生排污技术	280
199	一、集便装置的主要形式	281
199	二、日本新干线高速动车组卫生排污系统	282
199	三、法国高速动车组卫生排污系统	283
199	四、德国高速动车组卫生排污系统	283
	第九章 列车监控与诊断技术	285
199	第一节 高速动车组的运行监控	285
199	一、运行监控系统的组成与要求	285
199	二、高速动车组运行监控系统发展概况	285
199	三、高速动车组的运行监控系统	286
199	第二节 高速动车组的故障诊断	288
199	一、与故障诊断有关的一些基本概念	288
199	二、机车车辆诊断技术与质量要求	292
199	三、高速动车组故障诊断系统	295
199	第三节 高速动车组通信网络	298
199	一、列车通信网络的作用和主要任务	298
199	二、列车通信网络结构	299

三、列车通信网络技术的现状与发展·····	299
第四节 各国高速动车组的列车监控与诊断系统 ·····	302
一、日本新干线高速动车组的列车监控与诊断系统·····	302
二、法国高速动车组的列车监控与诊断系统·····	304
三、德国高速动车组的列车监控与诊断系统·····	311
第十章 高速动车组维修 ·····	317
第一节 维修制度 ·····	317
一、维修制度基本概念·····	317
二、维修制度的发展·····	324
三、以可靠性为中心的维修制度(RCM)·····	328
第二节 高速动车组维修现状与发展趋势 ·····	334
一、维修的新观念、新发展·····	334
二、高速动车组维修的技术现状和发展·····	335
参考文献 ·····	340

第一章 绪 论

第一节 高速动车组基本概念及分类

一、高速铁路与高速动车组

(一) 动车组定义与特点

由两辆或两辆以上带动力的车辆和客车固定编组在一起的列车称为动车组。动车组具有如下特点：

(1) 动车组是成组存在的，是由两辆或两辆以上的车辆组成在一起的列车。这一特点与车辆相仿，与机车不同。

(2) 动车组是由带动力的车辆和不带动力的客车组成，带动力的车辆称为动力车或动车，不带动力的客车称为拖车或随车。动车组带动力的特点与机车相仿，与车辆不同。

(3) 动车组是铁路客运的一种新方式，绝大多数的动车组用于客运，如今只有个别的国家(例如日本)尝试将动车组用于货运。

(4) 动车组以固定编组进行运营，运行时不能解编；往返运行不需要更换车头，只需改变操纵端。某些动车组允许多列重联。某些国家(例如德国)在动车组日常检修时也不解体，以减少列车停时，提高动车组的利用率。

(5) 世界上已运营的高速动车组绝大多数采用电力牵引的电动车组，这主要是由于能源、环保、效率和高速的需要。

(二) 高速列车与高速铁路定义

1. 高速铁路的定义

(1) 1970年日本政府第71号令的定义为：凡在一条铁路的主要区段上，列车的最高运行速度达到200 km/h及以上的干线铁路。

(2) 1985年欧洲经济委员会在日内瓦签署国际铁路干线协议规定：列车最高运行速度达到300 km/h及以上的客运专线或最高速度达到250 km/h及以上的客货混用线。

(3) 1986年国际铁路联盟(UIC)的定义是：最高速度至少达到250 km/h的专用线或最高速度达到200 km/h的既有线路。

可以看出，各个标准对高速铁路的定义不尽相同，而且随着科学技术的进步，高速的定义还会变化。目前，一般可以将铁路速度分级定义如下：100~120 km/h称为常速；120~160 km/h称为中速；160~200 km/h称为准高速或快速；200 km/h以上称为高速。

2. 高速列车的定义

以最高速度200 km/h以上运行的列车称为高速列车。高速列车可以由机车牵引客车组成的列车，也可以是动车组组成的列车，称为高速动车组。严格地说，高速列车涵义更广泛，它不但包括轮轨式列车，还应包括磁悬浮列车等。

(三) 高速铁路与既有线的衔接

为发挥铁路的网络作用，必然存在着高速铁路与既有线的衔接问题。目前，世界上有3种主要衔接方式。

1. 通达方式

高速列车由高速线下到既有线运行的通达方式。这种方式可确保高速铁路线上的列车高速运行，因而运输效率高。这种衔接方式适用于运输密度很高的高速铁路。但是为了通达目的，需要应用较多昂贵的高速列车，运输成本较高。

2. 跨线方式

既有线的快速列车上到高速线运行的跨线方式。这种方式使高速铁路上的列车以两种不同的速度运营,因而高速线上列车运营的总对数会相应减少。这种衔接方式适用于中等密度运营的高速铁路,从路网运输效率和列车等级合理配置等方面综合比较,“跨线方式”比“通达方式”更为经济。

3. 换乘方式

在高速线与既有线的连接点枢纽站进行换乘的方式。这种方式显然在列车等级的配置上最经济,但对于乘客很不方便,整个路网运输效率也不高,只适用于速度差较大的线路的衔接和运输组织。

高速线和既有线的衔接方式应该根据各国的具体国情进行选择。对于运输密度很高的高速线和线路条件较好的快速既有线的衔接采用“通达方式”,发达国家多采用这种通达方式;对于中等密度运营的高速铁路与既有线的衔接采用“跨线方式”,这种方式对于跨线列车只需配置 200 km/h 等级的列车,成本较低,并带动了既有线的提速,中等发达国家(包括中国在内)采用这种衔接方式比较经济与现实;对于高速线与既有线路速度差较大的状况,则适用于在枢纽站“换乘方式”,尤其在高速铁路建设的初期,高速铁路较少的情况,这种“换乘方式”则是必然的选择。我国应该这 3 种方式并存,按照铁路运营的经济性来进行选择,以“跨线方式”和“换乘方式”为主,在特定情况下不排斥采用“通达方式”。

二、高速动车组分类

高速动车组的分类方法很多,常用的分类方法主要有:

1. 按速度等级分类

- (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. 按牵引动力类型分类

(1) 高速电动车组:从高速铁路发展状况看来,80%以上的高速动车组都是采用电力牵引,尽管电力牵引具有较大的初始投资。这是由于电力牵引具有牵引功率大、轴重轻、经济性好、利于环保等优点。

(2) 高速内燃动车组:内燃牵引高速动车组由于其投资少、见效快、经济性好等优点,常常用于尚未电气化的高速铁路区段,或者作为发展高速铁路建设的一种过渡牵引形式。

(3) 磁悬浮动车组:磁悬浮列车是一种全新的交通运输工具,它与传统的列车有着截然不同的特点。它是利用电磁系统产生的吸引力和排斥力将列车托起,使整个列车悬浮在导轨上,并利用电磁力进行导向,利用直线电机将电能直接转换为推进力,推动列车高速前进。磁悬浮列车由于轮轨不接触,没有轮轨摩擦阻力,因而适于超高速运行,速度可达 500 km/h 以上;而且安全性好,污染小、利于环保,占地面积小,运行平稳,舒适性好等,因而具有非常好的发展前景。目前,由于磁悬浮系统与现有的轮轨系统不兼容,投资费用较高等缺点,尚处于进一步试验、试运营和积累经验的阶段。

3. 按动力配置方式分类

(1) 动力集中型高速动车组

动力集中型动车组是将动力装置集中安装于动车组的一端或两端的动力车上,仅有动力车的轮对受电机驱动。将电气设备和动力装置集中安装在动力车上。由动力车牵引列车,动力车只牵引不载客,拖车只载客不牵引。

(2) 动力分散型高速动车组

动力分散型动车组是将由电机驱动的动力轮对分散布置在所有或多组轮对上,同时将主要电气设备吊挂在车辆下部,也可以将动力装置吊挂在车辆下部。动车组的全部车辆都可以载客。

4. 按转向架连接方式分类

(1) 独立式高速动车组

独立式动车组即为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行走。

(2) 铰接式高速动车组

铰接式动车组是将车辆的车体之间用弹性铰相连接,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行走。

按照动力配置和转向架连接方式组合,可以将高速动车组分为4种类型,如图1—1所示。这4种类型的高速动车组各有其优缺点,都能满足运行速度300 km/h以上的要求。各个国家根据自身的情况和动车组的使用条件来选择适用的类型。例如德国的ICE1、ICE2型动车组采用独立式动力集中型[图1—1(a)];法国TGV型和西班牙的TALGO-350型动车组采用铰接式动力集中型[图1—1(b)];日本新干线和德国ICE3型动车组采用独立式动力分散型[图1—1(c)];法国AGV型动车组采用铰接式动力分散型[图1—1(d)]。

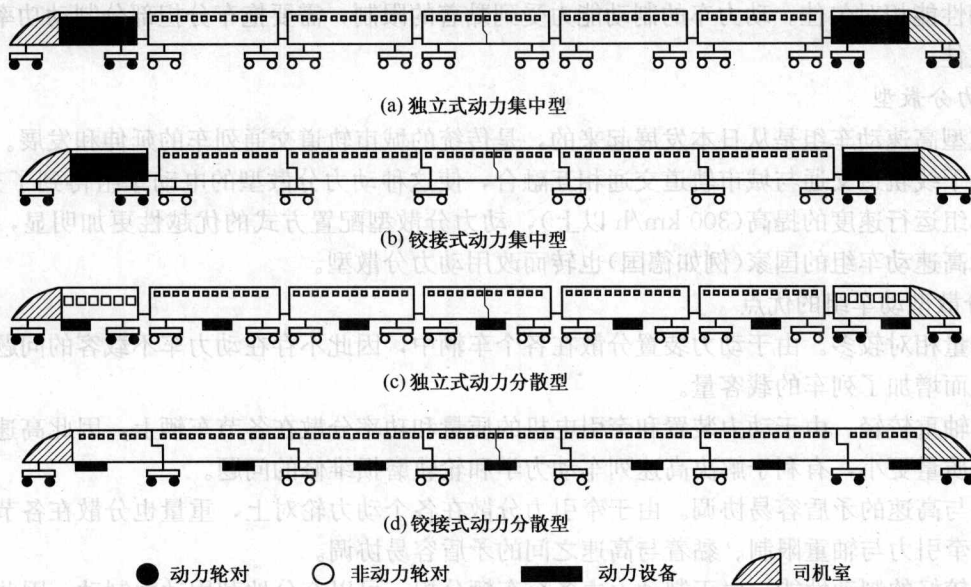


图1—1 高速列车按照动力配置和转向架连接方式分类示意图

三、高速动车组的动力配置方式

如前所述,高速动车组的动力配置方式有两种,即动力集中型和动力分散型。两种形式的发展都有其自身的历史原因和发展过程。

(一) 动力集中型

动力集中型高速动车组首先是从欧洲开始发展起来的,是传统的机车牵引列车的延伸和发展,这对于欧洲铁路货运比重较大,客货混跑的状况是十分有利的。欧洲各国凭借其先进的技术,开发动力集中型高速动车组并且获得成功。

动力集中型高速动车组的牵引力是由集中在动力车的动力轮对提供的,因此必须注意两个问题:一个是动力轴的轴重必须足够大,以能够提供所需的牵引力,否则动力车轮将产生空转,丧失牵引力,不但使电机的功率得不到发挥,反而会损伤车轮和钢轨;另一个问题是动力轴的轴重又不能过大,否则在高速运行时会产生过大的轮轨力,损坏钢轨和线路。为此,欧洲高速铁路网在有关技术规程中规定:高速列车的最大轴重不得超过166.7 kN,黏着系数低速启动时为0.2;100 km/h时为0.17;200 km/h时为0.13;300 km/h时为0.09。

1. 动力集中型动车组的优点

- (1) 可灵活编组,便于管理。因为它与传统的机车牵引列车相似,因此可以按照习惯对车辆进行编组,便于运用和维修管理。
- (2) 便于监测和维修保养。因为故障率较高的机械和电气设备集中在动力车中,因而工作环境较清洁,监测和维修保养也比较方便。
- (3) 车厢内振动小、噪声低。由于机械和电气设备都集中在动力车中,与载客拖车相隔离,因此载客车厢内振动小、噪声低、舒适性好。
- (4) 牵引动力车可以摘挂,能够使列车由高速线进入既有线,甚至可更换内燃机车,使列车直接进入非电气化铁路区段。

2. 动力集中型动车组的缺点

- (1) 载客量相对减少。由于动力车不能载客, 因此相对减少了载客量。
- (2) 轴重相对较重。由于动力车集中了全部的动力装置, 还有其他的电气和机械设备, 因此减轻质量比较困难, 造成轴重较重。
- (3) 黏着与高速的矛盾难以协调。高速列车的动力车为了牵引整个列车, 必须产生足够大的黏着牵引力, 因此动力车的轴重不能太轻, 而高速又要求列车轴重尽量轻, 两者矛盾难以协调。
- (4) 制动性能相对欠佳。动力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。

(二) 动力分散型

动力分散型高速动车组是从日本发展起来的, 是传统的城市轨道交通列车的延伸和发展。日本的铁路以客运为主, 干线轨道交通与城市轨道交通相互融合, 使这种动力分散型的电动车组得到了充分的发挥。随着高速动车组运行速度的提高(300 km/h 以上), 动力分散型配置方式的优越性更加明显, 某些传统采用动力集中型高速动车组的国家(例如德国)也转而改用动力分散型。

1. 动力分散型动车组的优点

- (1) 载客量相对较多。由于动力装置分散在各个车辆中, 因此不存在动力车不载客的问题, 各个车辆均能载客, 从而增加了列车的载客量。
- (2) 最大轴重较轻。由于动力装置和牵引电机的质量和功率分散在各节车辆上, 因此高速列车最大轴重较轻, 簧下质量更小, 有利于解决高速列车动力学和轮轨磨损维修的问题。
- (3) 黏着与高速的矛盾容易协调。由于牵引力分散在各个动力轮对上, 重量也分散在各节车辆上, 因此高速列车大牵引力与轴重限制、黏着与高速之间的矛盾容易协调。
- (4) 具有较好的制动性能。由于制动力由各个车辆分担, 可以充分地利用动力制动, 因此列车具有较好的制动性能。再生制动功率提高, 还可节省能源, 提高经济性。
- (5) 具有较低的每一座位寿命周期费用(LCC)。尽管动力分散型高速列车由于增加了动力装置和牵引电机的数量, 而使造价和维修费用有所增加, 但由于坐席的增加, 使高速列车每一坐席的平均寿命周期费用降低。

2. 动力分散型动车组的缺点

- (1) 动力分散影响车厢内的舒适度。由于动力装置吊装在车辆下部, 它们产生的振动和噪声会影响车厢内旅客的舒适度, 因此必须采用隔振降噪的措施, 具有一定的技术难度。
- (2) 动力装置的故障率相对较高。由于动力装置安装在车下, 工作环境比较恶劣, 而且要求体积小, 因此动力装置的故障率相对较高。
- (3) 与传统管理体制不相适应。列车不能灵活编组, 只能分单元编组, 因此列车不能驶入非电气化铁路运行, 并且与传统的运营、维修管理体制和习惯不相适应, 必须建立起一套新的维修体系。

(三) 动力配置方式的选择

关于高速列车动力配置方式的选择问题, 长期以来争论不休。以日本为代表的高速铁路认为动力分散型的动力配置具有无可比拟的优越性; 而西欧各国则偏向于采用动力集中型高速列车。由上述两种方式的对比可以看出, 高速列车两种配置方式各有其优缺点, 各个国家应该根据自己的具体情况进行选择。应该根据高速列车的使用条件、运用环境、客流状况, 并结合自己的运用经验和传统技术进行决策。

1. 日本铁路选择动力分散型高速动车组

日本铁路早在 20 世纪 60 年代建设了世界上第一条高速铁路, 当时技术水平较低, 采用动力分散型高速动车组相对来说技术难度要求较低; 日本地质环境较差, 土质松软, 坡度、弯道变化多, 对列车轴重要求严格, 采用动力分散型高速动车组轴重容易控制; 日本铁路货运量少、客运量大, 适于修建客运专线, 利于采用轴重较轻的动力分散型的轻型高速列车; 日本铁路是以客运为主的国家, 城市轨道交通发达, 积累了丰富的动力分散型轨道车辆方面的经验, 所以采用动力分散型高速列车可以说是轨道车辆的延伸和发展。因此, 日本铁路认为, 动力分散型高速列车具有无与伦比的优点, 其理由列于表 1—1 中 [37]。因此可以说, 日本已经将动力分散型高速列车的优越性发挥得淋漓尽致。日本铁路认为, 日本高速铁路获得的巨大成功, 与其正确地选择了高速列车的动力分散型配置方式有着很大的关系。

表 1—1 日本铁路动力分散型和动力集中型高速列车的对比

序号	项 目		动力分散型	动力集中型
1	定员	列车编组	列车所有车辆均可设置乘客车厢	动力车空间无法作为乘客车厢
2		增加的潜力	轴重轻, 可以采用大型车身和增加定员	车身大型化和增加定员受轴重和牵引力限制
3		轴重	轴重轻, 线路建设和维护费用低	动力车轴重大, 无法实现轻量化
4	簧下质量		簧下质量轻, 运行稳定性好	簧下质量大, 不利于运行稳定性
5	车轮直径		轴重轻, 可以使用小直径车轮	轴重大, 接触压力大, 无法减小轮径
6	轴距		轴距短, 曲线通过性能良好	轴距大, 曲线通过性能不良, 磨损大
7	动力装置		牵引电动机装在转向架上, 驱动装置结构简单	电动机装在车身上, 驱动装置大而复杂
8	转向架		转向架轻、体积小, 运行稳定性好	转向架重、体积大, 不利于运行稳定性
9	黏着利用	黏着稳定性	可利用多动轴的黏着特性, 牵引稳定	仅动力车可实现高黏着, 湿轨不稳定
10		动轴数量比例	根据车型不同, 分别为 50%~100%	例如 TGV (2M8T) 30%, ICE (2M14T) 13%
11	确保黏着措施		检测和控制空转和打滑, 使黏着最大	检测和控制空转和打滑, 使黏着最大
12	统		全部车轴设置接触面清扫装置 (无噪声影响)	接触面制动, 噪声大
13			瓷粉喷洒装置 (500 和 700 系, 无噪声影响)	动力车设喷沙装置, 产生噪声
14	制动方式	耐久性	常用电制动, 部件寿命长, 可频繁加减速	常用机械制动, 部件磨损大, 更换频繁
15		冗余性	机械、电制动可互相置换, 双重系统	动力车电制动系统无法由机械制动代替
16	车身压缩强度		由于牵引力分散, 可降低车身压缩强度	需要具备动力车大牵引力的高强度
17	列车质量	对于列车长度	车身和电气装置都向轻量化发展	质量集中在动力车上, 客车轻量化
18		对于每位乘客	对于每位乘客的质量轻	对于每位乘客的质量重
19	车内噪声		通过开发隔声材料, 使得差别不大	乘客车厢无动力装置噪声
20	环保措施	节省能源	经常使用再生制动, 节省能源	无法进行电力再生, 能源利用率小
21		对环境影响	由于轴重轻, 地面振动小	由于轴重大, 地面振动大
22	运用可靠性		从车组中将故障隔离, 影响较小	动力车发生故障影响大, 雨天黏着不稳
23	运用率	车站调头	能进行车站调头运行, 仅进行车厢清洁	长距离运行后, 制动部件需检修
24		日常检修	时间短 (受电器为检查重点)	时间长 (制动部件、车轮、受电器检修)
25	列车类别		既可作为直通列车, 又可作为站停列车	各站停车使用困难 (机械制动件寿命短)
26	改变列车长度		以车组为单位进行节数改变, 使性能一致	动力车性能过剩或不足
27	改变 MT 比例		能够确保最大定员人数, 选定最佳性能	客车节数变更, 运输效率降低
28	动力费用		定员多, 经常使用再生制动, 节电效果大	定员少, 使用再生制动比例小
29	费用	对于每节车辆	小型动力装置数量较多, 费用高	仅动力车设置大型动力装置, 费用低
30		对于每位乘客	列车定员人数多, 相对每位乘客费用低	列车定员人数少, 相对每位乘客费用高
31	维修费用	转向架	制动部件磨损极小, 无需日常更换	制动部件磨损大, 材料费高, 维修频繁
32		车轮	车轮磨损小	由于轴重大, 轴距宽, 车轮磨损大
33		电器装置	属静止型设备, 交流电机维修作业极少	装置数量少, 费用相对较少
34	线路维修费用		由于轴重轻, 因此对线路影响较小	由于轴重大, 线路维修费用较高
35	基础设施建设费用		轴重轻, 客运专线投资费用低	需要适应于大轴重的基础设施

2. 德国、法国高速动车组由动力集中转向动力分散

以德国和法国为代表的西欧高速铁路与日本不同。一方面, 西欧各国技术先进, 在技术方面有能力强采用传统的机车牵引车辆的动力集中方式, 解决铁路高速化的问题; 另一方面, 西欧铁路货运占有很大的比重, 采用客货通用的线路和动力集中的列车, 有利于提高机车的利用率。因此, 西欧高速铁路从开始以来都是采用动力集中型高速列车, 可以将其看成是传统的机车牵引车辆方式的延伸和发展。但是近年来, 这方面发生了根本性的变化, 德国和法国最新型的高速列车 ICE3 和 AGV 型, 相继采用了动力分散的方式。是什么原因促使他们发生这种转变呢? 以德国高速列车为例说明之。

德国从 1970 年开始进行高速铁路和高速列车的研究和试验, 1982 年开始修建高速铁路, 并在 ICE 试

验型的基础上,开发和批量生产高速列车 ICE1 型,于 1991 年投入运用。ICE1 是由 2M+14T 组成的电动车组。1992 年,为提高列车利用率而变更列车编组,将 ICE1 一分为二,改进设计成 1M+6T+1M 控制头车组成的 ICE2 型“短编组”动车组,于 1997 年交付使用。如前所述,这两种形式的高速动车组均为传统机车牵引模式的动力集中型,是为德国铁路运用的。1997 年,为建成欧洲统一的高速铁路网,由欧洲铁路联盟制订的《欧洲高速铁路联网高速列车技术条件》开始生效。文件中规定,进入欧洲高速铁路网的高速列车在满足最高速度 330 km/h,线路坡度 4‰的情况下,必须将轴重限制在 17t 以下,并要求增加座位数目等。显然,动力集中型的 ICE1 和 ICE2 满足不了这些要求,它们的轴重分别为 20.1t 和 19.4t。出于市场竞争的需要,德国生产的高速列车必须采用动力分散型。2000 年,德国重新设计的高速动车组 ICE3 交付使用,这种采用动力分散型的 ICE3 列车与 ICE1 和 ICE2 相比,增加了旅客定员数量,列车每米座位数从 1.9 个增加到 2.1 个,因此运营时具有更好的经济效益。同时,整个列车质量趋于均匀分布,因而降低了最大轴重,动轴轴重降低到 14t,并获得了更好的牵引特性。而且还提高了再生制动的利用率,制动功率达 8.2MW,最大制动力为 300kN,相当于 ICE2 的 2 倍,节省了能源,降低了盘形制动的耗损和维修费用。寿命周期费用(LCC)的研究结果如表 1—2 所示。由表可以看出,ICE3 高速动车组的功率越大,消耗能源越多,其牵引的质量和座位较多,维修费用也较高,因此 ICE3 的寿命周期费用要高出 10%左右,但由于座位增加了 20%,而使每座位的寿命周期费用减少了 9%。

表 1—2 德国高速动车组 ICE2 与 ICE3 寿命周期费用的对比

序号	项目名称	ICE2	ICE3
1	动力配置方式	动力集中型	动力分散型
2	功率 (MW)	2×4.8	16
3	质量 (空车, t)	814	900
4	可利用列车长度 (m)	306 (80%)	341 (86%)
5	全寿命 (年)	25	25
6	每年运行公里 (万 km)	55	55
7	购置费用 (%)	100 (20.2%LCC)	118 (21.5%LCC)
8	运用费用 (不包括能源费,%)	100 (47.5%LCC)	104 (44.9%LCC)
9	能源费用 (%)	100 (11.3%LCC)	125 (13.5%LCC)
10	维修费用 (%)	100 (21%LCC)	105 (20%LCC)
11	总寿命周期费用 (%)	100	110
12	平均每一座位的寿命周期费用 (%)	100	91

3. 西班牙高速动车组 TALGO 350 仍然采用动力集中型

从高速轮轨黏着与速度矛盾的协调来看,目前世界上趋向于采用动力分散型的高速动车组,尤其是载客量大、速度高(300 km/h 以上)的高速列车,动力分散型具有较为明显的优势。但也不是绝对的,应该根据每个国家的具体情况进行选择。例如西班牙高速动车组 TALGO(也称 AVE S 102),是在西班牙传统的动车组基础上发展而来的,由 Bombardier 公司与 TALGO 公司合作生产。其编组为 2M+12T,运行速度达 330 km/h,是单轮对铰接式动力集中型高速动车组。

第二节 高速列车的发展

一、高速列车的发展历程

列车在既有线上以超过 200 km/h 速度运行的尝试很早就出现过。早在 1903 年德国生产的一列试验型三相交流电动车组,就创造了 210 km/h 的速度记录;1954 年法国电力机车牵引列车创造了 243 km/h 的速度记录;1955 年法国用两节普通的电力机车在普通铁路上做高速试验时,创造了 331 km/h 的行车速度记录,这个记录保持了 20 年,直到 20 世纪 70 年代才被打破。但是,高速列车以 200 km/h 以上的速度

在高速铁路上运行,却是20世纪60年代以后出现的事。1964年日本建成了世界上第一条高速铁路(东海道新干线),并研制、使用0系高速列车,运营速度达210 km/h。日本高速铁路的巨大成功极大地刺激了欧洲各国高速铁路的发展,法国、德国、意大利、西班牙等国纷纷开始效仿,世界高速铁路如雨后春笋般地兴建,从而极大地改变了铁路当时被称为夕阳工业的面貌,至今高速铁路方兴未艾,正在高速地发展。

- (1) 1964年,世界上第一列高速动车组在日本东海道新干线投入运行,时速达210 km/h;
- (2) 1972年,法国TGV高速动车组开始试运行,其牵引动力装置为燃气轮机组,时速达317 km/h;
- (3) 1974年,法国决定在修建巴黎东南线时采用电力牵引;
- (4) 1975年,日本山阳新干线全线通车,列车最高运行速度为270 km/h;
- (5) 1976年,英国在伦敦—布列斯特间开行200 km/h的高速列车HST;
- (6) 1977年,德国高速列车在慕尼黑—奥格斯堡之间投入运营,时速为200 km/h;
- (7) 1979年,日本东海道新干线高速动车组最高速度达319 km/h;日本磁悬浮列车试验速度达517 km/h;
- (8) 1980年,德国开始研制高速动车组ICE;
- (9) 1981年,法国高速动车组TGV在巴黎东南线第一段上正式投入运营,速度为260 km/h;
- (10) 1982年,日本上越新干线全线建成通车,列车最高运营速度达240 km/h;
- (11) 1983年,法国巴黎东南高速铁路全线建成通车;
- (12) 1984年,法国大西洋高速铁路开工;
- (13) 1985年,德国开始实施曼海姆—斯图加特、汉诺威—维尔茨堡的高速铁路计划;日本东北新干线全线建成通车,最高运营速度240 km/h;
- (14) 1986年,比利时、荷兰、德国和英国决定联合修建高速铁路网;
- (15) 1988年,德国ICE高速动车组创造了406 km/h的世界速度记录;
- (16) 1990年,法国TGV高速动车组创造了515.3 km/h的世界速度记录;
- (17) 1991年,德国曼海姆—斯图加特高速铁路建成,ICE高速动车组正式投入商业运行,最高运营速度达250 km/h;
- (18) 1992年,西班牙马德里—塞维利亚高速铁路建成,AVE高速动车组投入运行;德国汉诺威—维尔茨堡高速铁路建成通车;
- (19) 1994年,英吉利海峡隧道高速铁路建成,高速列车从巴黎直驶伦敦;法国大巴黎区外环线建成,使北线、东南线、大西洋线连接成一个高速铁路网;
- (20) 1995年,韩国汉城—釜山高速铁路开工,于2004年4月1日建成通车,高速列车采用法国TGV技术,最高运营速度为300 km/h;
- (21) 1997年,日本长野新干线投入运营,动车组最高运营速度达260 km/h;
- (22) 1998年,西班牙马德里—巴塞罗那高速铁路开工建设,高速动车组最高运营速度为350 km/h;德国柏林—汉诺威高速铁路建成通车,采用高速动车组ICE3,最高运营速度达330 km/h;
- (23) 2007年,法国AGV高速动车组创造了574.8 km/h的世界速度新记录。

二、高速动车组的现状与发展趋势

目前,世界上生产高速动车组的主要国家是日本、法国和德国,这三个国家在不同的时期,针对不同的高速铁路,开发了不同形式的高速动车组,生产数量不同,运用年限不同,取得的经验也不一样。为了便于比较,表1—3列出了这三个国家生产的高速动车组主要技术参数比较。

表1—3 高速动车组主要技术参数比较

制造国别	日 本				法 国			德 国		
	300系	500系	700系	E4系	TGV-P	TGV-A	TGV-2N	ICE-1	ICE-2	ICE-3
制造开始年份	1990	1996	1997	1997	1981	1989	1996	1991	1996	1998
运营速度(km/h)	270	300	270	240	270	300	300	250	250	330