

现代铁路新技术丛书——列车控制

# 动车组控制技术

DONGCHEZU KONGZHI JISHU

主 编 路小娟

副主编 董海鹰 姜香菊 朱爱红

主 审 张友鹏



西南交通大学出版社  
Http://press.swjtu.edu.cn

现代铁路新技术丛书——列车控制

# 动车组控制技术

主 编 路小娟

副主编 董海鹰 姜香菊 朱爱红

主 审 张友鹏

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

-----  
**图书在版编目 ( C I P ) 数据**

动车组控制技术 / 路小娟主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.9

(现代铁路新技术丛书. 列车控制)

ISBN 978-7-5643-1312-8

I. ①动… II. ①路… III. ①动车—控制系统—高等学校—教材 IV. ①U266

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 157778 号  
-----

现代铁路新技术丛书——列车控制

**动车组控制技术**

**主编 路小娟**

<b>责任编辑</b>	牛 君
<b>特邀编辑</b>	罗在伟
<b>封面设计</b>	本格设计
<b>出版发行</b>	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
<b>发行部电话</b>	028-87600564 87600533
<b>邮政编码</b>	610031
<b>网 址</b>	<a href="http://press.swjtu.edu.cn">http://press.swjtu.edu.cn</a>
<b>印 刷</b>	成都蜀通印务有限责任公司
<b>成品尺寸</b>	185 mm×260 mm
<b>印 张</b>	18.375
<b>字 数</b>	457 千字
<b>版 次</b>	2011 年 9 月第 1 版
<b>印 次</b>	2011 年 9 月第 1 次
<b>书 号</b>	ISBN 978-7-5643-1312-8
<b>定 价</b>	32.00 元

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

近年来，我国高速铁路的快速发展，带动了相关新技术产业的升级。与此同时，以信息技术、自动化技术、制造技术和材料科学等为代表的新技术在高速列车制造、装备中得到了广泛运用，使得我国铁路运输在高速、重载等方面实现了历史性跨越。

本书的编写立足于我国动车组新技术在引进—消化—吸收—创新的不断发展变化的基础之上。主要内容涉及高速列车的电传动和制动控制技术的应用，国产原型车的介绍。本书对国产 CRH 系列动车组 CRH1、CRH2、CRH3 和 CRH5 高速列车的电传动和制动技术、列车总线及网络控制技术、辅助供电、车内辅助设备、列车牵引和制动计算进行了阐述。

本书内容全面、重点明确、线索清晰、理论基础宽泛易懂。书中各章内容具有相对独立性，可以根据需要，选取不同章节学习。每章后面都附有一定量的课后思考题与习题。

全书共分为七章，第二章和第四章由路小娟编写，第一章由董海鹰编写，第三章和第五章由姜香菊编写，第七章由朱爱红编写，第六章由董海鹰和朱爱红合编，全书由路小娟统稿。

本书得以面世，受惠于多位领导和同事的热情帮助。兰州交通大学博士生导师张友鹏教授仔细审阅了书稿，并提出了许多宝贵的指导意见，王思明教授为本书的编写提供了许多资料并指导该书的编写，自动化系的所有同事在该书的编写过程中也给予了许多帮助；北车集团长春轨道客车股份有限公司的王海和黄玮，南车四方机车车辆股份有限公司的由建宏和孙佩雄也对本书的编写给予了大力的支持和帮助；在搜集资料的过程中，作者还参考了许多行业文献和专家著作；西南交通大学出版社也对本书的编写给予了热情帮助和不吝支持。在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏、失误之处，恳请读者给予批评指正。

编 者  
2011 年 7 月

## 目 录

<b>第一章 高速列车概述</b> .....	1
第一节 高速列车分类及基本概念.....	1
第二节 国内外动车组历史进程及发展.....	4
第三节 高速列车的关键技术.....	8
第四节 国产动车组概况.....	18
复习与思考题 .....	24
<b>第二章 动车组牵引供电与传动</b> .....	25
第一节 动车组供电系统.....	25
第二节 动车组动力牵引与传动系统.....	32
第三节 动车组牵引传动控制技术.....	38
第四节 国产动车组牵引控制系统.....	66
复习与思考题 .....	92
<b>第三章 动车组制动控制系统</b> .....	93
第一节 制动系统概述.....	93
第二节 制动方式分类.....	96
第三节 动车组空气制动和电制动.....	101
第四节 动车组制动控制系统.....	113
第五节 国产动车组制动控制系统.....	119
复习与思考题 .....	143
<b>第四章 列车牵引计算与模拟</b> .....	145
第一节 列车牵引力.....	146
第二节 列车阻力计算.....	152
第三节 列车制动力计算.....	154
第四节 列车运行状态与外力的关系.....	169
第五节 列车运动中的其他技术参数.....	170
第六节 列车运行牵引计算的模拟.....	172
复习与思考题 .....	178
<b>第五章 动车组辅助供电系统</b> .....	179
第一节 动车组辅助供电系统概述.....	179

第二节 动车组辅助供电系统结构.....	182
第三节 动车组蓄电池充电机.....	185
第四节 国产动车组辅助供电系统.....	191
复习与思考题 .....	206
<b>第六章 动车组车内电气设备.....</b>	<b>207</b>
第一节 接触器与继电器.....	207
第二节 动车组照明系统.....	211
第三节 动车组火灾探测系统.....	215
第四节 动车组旅客信息系统.....	221
第五节 电开水器与电热温水箱.....	230
复习与思考题 .....	233
<b>第七章 动车组列车网络控制系统.....</b>	<b>234</b>
第一节 列车网络控制系统概述.....	234
第二节 CRH2 动车组列车信息控制系统 .....	237
第三节 CRH5 动车组列车网络控制系统 .....	249
第四节 CRH1 列车网络控制系统 .....	263
第五节 CRH3 列车网络通信系统 .....	277
复习与思考题 .....	286
<b>参考文献 .....</b>	<b>287</b>

# 第一章 高速列车概述

## 第一节 高速列车分类及基本概念

### 一、高速铁路与高速列车定义

迄今，高速铁路的定义有如下几种：

1970年，日本政府第71号令将高速铁路定义为：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。

1985年，欧洲经济委员会在日内瓦签署的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。

1986年，国际铁路联盟将高速铁路定义为：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。

可以看出，各个机构对高速铁路的定义不尽相同，随着科学技术的进步，高速铁路的定义还会变化。目前，一般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。因此，以最高速度200 km/h及以上运行的列车称为高速列车，相应的铁路称为高速铁路。

### 二、高速列车分类

高速列车的分类方法很多，从不同的角度有不同的分类方法。常用的分类方法主要有：

#### （一）按速度等级分类

按照速度等级可以分为准高速、高速和超高速列车。

##### 1. 准高速列车

最高运行速度为160~200 km/h的列车。

##### 2. 高速列车

最高运行速度为200~400 km/h的列车。

##### 3. 超高速列车

最高运行速度为400 km/h以上的列车。

## (二) 按牵引动力类型分类

高速列车按照牵引动力的类型可以分为：电力牵引高速列车、内燃牵引高速列车和磁悬浮高速列车。

### 1. 电力牵引高速列车

从高速铁路发展状况看来，尽管电力牵引具有较大的初始投资，但是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，绝大多数国家的高速列车都是采用电力牵引。

### 2. 内燃牵引高速列车

内燃牵引高速列车由于其投资少、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. 磁悬浮高速列车

磁悬浮列车是一种全新的交通运输工具，它与传统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，不存在轮轨摩擦阻力，因而适于超高速运行，速度可达 500 km/h 以上，而且安全性好，无污染、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。

## (三) 按牵引形式分类

高速列车按牵引形式可以分为：机车牵引的高速列车和高速动车组。

### 1. 机车牵引的高速列车

这是传统的牵引形式，由机车牵引车辆，不固定编组，牵引比较灵活，可一端牵引，也可两端推挽牵引。这种牵引形式一般应用于既有线改造为客货混用的高速铁路上，其运行速度一般在 200 km/h 左右。它在高速化初期被不少国家所采用，是一种投资少、见效快的牵引形式。但这种牵引形式由于机车总功率的限制，难以满足速度进一步提高的要求。

### 2. 高速动车组

动车组是一种带有可操作动力的具有固定编组的列车组。按照牵引动力类型又可分为电动车组和内燃动车组。高速动车组由于轴重轻、牵引功率大、载客量多、舒适、快捷、经济等优点，因而被绝大部分高速铁路所采用。

## (四) 按动力配置方式分类

高速列车按照列车牵引动力配置方式可以分为：动力集中型高速列车和动力分散型高速列车。



### 1. 动力集中型高速列车

动力集中型列车是将动力装置集中安装于列车的一端或两端的动力车上，仅有动力车的轮对受电机驱动，为动力轮对。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. 动力分散型高速列车

动力分散型列车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及动力装置吊挂在车辆下部。列车的全部车辆都可以载客。

## (五) 按转向架连接方式分类

高速列车按照车辆间转向架的连接方式可以分为：独立式高速列车和铰接式高速列车。

### 1. 独立式高速列车

独立式列车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. 铰接式高速列车

铰接式列车是将车辆的车体之间用弹性铰链相连接，并放置一个共用的转向架，因此每节车辆不能从列车上分解下来独立行走。

高速列车按照动力配置和转向架连接方式组合可以分为：独立式动力集中型、铰接式动力集中型、独立式动力分散型和铰接式动力分散型高速列车。

如图 1.1 所示，这四种类型的高速列车各有其优缺点，都能满足运行速度 300 km/h 以上的要求。各个国家和地区可根据自身的情况和列车的使用条件来选择适用的类型。例如，德国的 ICE1、ICE2 型列车采用独立式动力集中型，如图 1.1 (a) 所示；法国 TGV 型和西班牙的 TALGO-350 型列车采用铰接式动力集中型，如图 1.1 (b) 所示；日本新干线和德国 ICE3 型列车采用独立式动力分散型，如图 1.1 (c) 所示；法国 AGV 型列车采用铰接式动力分散型，如图 1.1 (d) 所示。

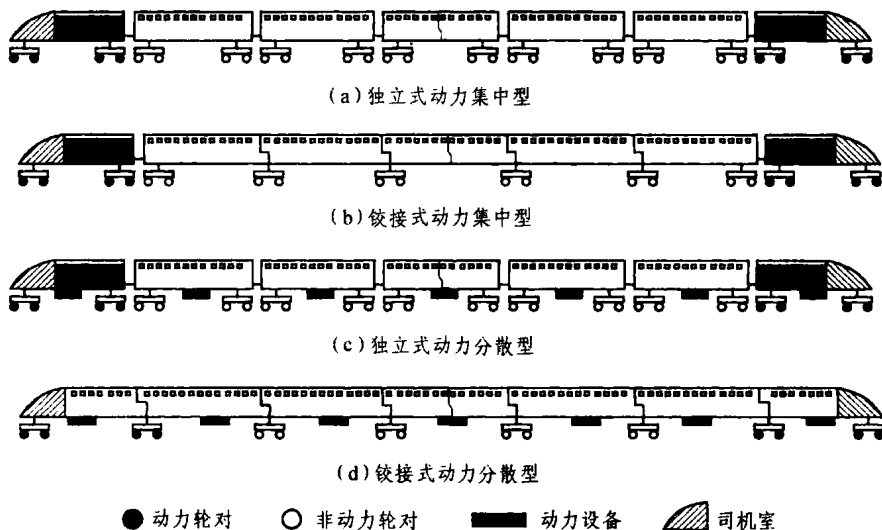


图 1.1 高速列车动力配置和转向架连接方式类型图

## 第二节 国内外动车组历史进程及发展

### 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 2 节普通的电力机车在普通铁路线上做高速试验时，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 年代才被自己打破。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。

下面列举出高速列车和高速铁路发展中的大事件，以表明其发展的历程：

1964 年，世界上第一列高速列车在日本东海道新干线投入运行，时速达 210 km/h。

1972 年，法国 TGV 高速列车开始试运行，其牵引动力装置为燃气轮机组，时速达 317 km/h。

1974 年，法国决定在修建巴黎东南线时采用电力牵引。

1975 年，日本山阳新干线全线通车，高速列车最高运行速度为 270 km/h。

1976 年，英国在伦敦—布里斯特间开行 200 km/h 的高速列车 HST。

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。

1979 年，日本东海道新干线高速列车最高速度达 319 km/h；日本磁悬浮列车试验速度达 517 km/h。

1980 年，德国开始研制高速列车 ICE。

1981 年，法国高速列车 TGV 在巴黎东南线第一段上正式投入运营，速度为 260 km/h。

1982 年，日本上越新干线全线建成通车，高速列车最高运营速度达 240 km/h。

1983 年，法国巴黎东南高速铁路全线建成通车。

1984 年，法国大西洋高速铁路开工。

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。

1986 年，比利时、荷兰、德国和英国决定联合修建高速铁路网。

1988 年，德国 ICE 高速列车创造了 406 km/h 的世界速度记录。

1990 年，法国 TGV 高速列车创造了 515.3 km/h 的世界速度记录。

1991 年，德国曼海姆—斯图加特高速铁路建成，ICE 高速列车正式投入商业运行，最高运营速度达 250 km/h。

1992年，西班牙马德里—塞维利亚高速铁路建成，AVE高速列车投入运行；德国汉诺威—维尔茨堡高速铁路建成通车。

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。

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。

1997年，日本长野新干线投入运营，高速列车最高运营速度达260 km/h。

1998年，西班牙马德里—巴塞罗那高速铁路开工建设，高速列车最高运营速度将为350 km/h；德国柏林—汉诺威高速铁路建成通车，采用高速列车ICE3，最高运营速度达330 km/h。

## 二、高速列车的现状

目前，世界上生产高速列车的主要国家是日本、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，开发了不同类型的高速列车，生产数量不同，运营年限不同，取得的经验也不一样。为了便于比较，表1.1列出了这三个国家生产的高速列车主要技术参数。

表 1.1 高速列车主要技术参数

制造国别		日本				法国			德国		
车型		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
列车组成	列车编组	10M6T	16M	12M4T	4M4T	2L8T	2L10T	2L8T	2L12T	2L7T	4M4T
	动力配置方式	2MT分散	4M分散	6M2T分散	2M2T分散	两端集中	两端集中	两端集中	两端集中	一端集中	2M2T分散
	转向架构成	20M/12T	32M	24M/8T	8M/8T	6M/7T	4M/11T	4M/9T	4M/24T	2M/14T	8M/8T
	轴构成	40M 24T	64M48M 16T	16M 16T	12M 14T	8M 22T	8M 18T	8M 48T	4M 28T	16M 16T	
	总轴数	64	64	64	32	26	30	26	56	32	32
	客车总数	16	16	16	8	8	10	8	12	7	8
	编组长度 (m)	402.10	404.00	400.80	201.40	200.12	237.59	200.19	357.92	205.40	200.00
	编组	空车 (t)	637	620	634	428	385	435	380	790	420
质量	定员 (t)	710	700	713	477	418	479	424	845	453	440
定员	编组合计 (人)	1 323	1 324	1 323	817	368	485	545	669	393	415
	一等车 (人)	200	200	200	54	108	116	197	192	105	141
	二等车 (人)	1 123	1 124	1 123	763	260	369	348	441	265	250
	单位长度定员 (人/m)	3.29	3.28	3.30	4.06	1.84	2.04	2.72	1.87	1.91	2.08
特点	连接方式	车钩	车钩	车钩	车钩	铰接	铰接	铰接	车钩	车钩	车钩
	组合运用	不能	不能	不能	能	能	能	能	不能	能	能
	其他				双层			双层			
单位定员质量 (t/人)		0.54	0.53	0.54	0.58	1.14	0.99	0.78	1.26	1.15	0.98

续表 1.1 高速列车主要技术参数

轴重	最大 (t)	11.3	11.1	11.1	15.6	17.0	17.0	17.0	19.5	19.5	15.0
	平均 (t)	11.1	10.9	11.15	14.9	16.0	16.0	16.3	15.1	14.2	
总额定功率 (kW)		12 000	18 240	13 200	6 720	6 800	8 800	8 800	9 600	4 800	8 000
单位质量功率 (kW/t)		16.90	26.06	18.50	14.09	16.27	18.37	20.75	11.36	10.60	18.18
供电制式		25kV/ 60Hz	25kV/ 60Hz	25kV/ 60Hz	25kV/ 50Hz	25kV/ 50Hz	25kV/ 50Hz	25kV/ 50Hz	15kV/ 16.2/3Hz	15kV/ 16.2/3Hz	15kV/16.32/3Hz 12kV/50Hz DC 1.5 kV DC 3 kV
整列牵引电机数 (台)		40	64	48	16	12	8	8	8	4	16
启动加速度 (m/s <sup>2</sup> )		1.6	1.6	1.6	1.65						2.52 (计算)
启动牵引力 (kN)		360				210	212.5		385	200	300
人均面积 (人/m <sup>2</sup> )		1.010	1.013	1.016	0.821		1.38	1.031	1.045	1.171	1.424
平均制动加速度 (m/s <sup>2</sup> )		2.53	3.12	2.53		3.16	3.57				
车外噪声/速度 [dB (A) / (km/h)]		<75/270	<75/300	<75/270	<75/240		<95/300		<92/300		

注: M—动车, T—拖车, L—机车。

### (一) 运行速度不断提高

高速列车的运行速度不断提高, 各国铁路在自己的线路上不断地进行最高速度的试验。

据统计, 从 1890 年到 1990 年的 100 年间, 全世界铁路共创造了 17 次行车速度记录。1964 年达到 210 km/h。此后, 列车试验速度不断被刷新: 1981 年 2 月, 法国 TGV 高速列车的试验速度达到 380 km/h, 同年 10 月, 日本建成世界上第一条高速铁路——东海道新干线时, 列车最高运行速度突破了 200 km/h 达到 380 km/h; 1988 年 5 月, 德国 ICE 高速列车把这一记录提高到 406.9 km/h; 半年后法国又创造了 482.4 km/h 的新记录; 1990 年 5 月, 法国再次刷新了自己的记录, 把高速列车的试验速度提高到 515.3 km/h。与此同时, 德国和日本还在研究磁悬浮列车, 其试验速度分别达到了 450 km/h 和 581 km/h。

高速列车在提高试验速度的基础上也在不断地提高运营速度。与日本建成世界上第一条高速铁路——东海道新干线时的列车最高运行速度 200 km/h 相比, 如今高速列车的最高运行速度已经有了很大的提高, 如表 1.1 列出的日、法、德三国目前高速列车的最高运行速度, 由表可见, 日本、法国、德国的高速列车最高运行速度均不低于 300 km/h。此外, 西班牙马德里—巴塞罗那线, 最高运营速度已达 350 km/h。

### (二) 动车组历史进程及发展

使用动车组的比重以日本为最大, 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。德国是最早制造和运用动车组的国家, 其制造技术一直领先。1903 年 7 月 8 日, 德国首先运行了由钢轨供电

的动车组，它由 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，首创时速 210.2 km/h 的历史记录。

常见的动车组有日本新干线，德国 ICE，法国 TGV，欧洲之星，瑞典 X2000，美国 ACELA，中国的蓝箭、中原之星、中华之星、新曙光、香港 KTT 等。

### (三) 我国高速列车发展的情况

从 1998 年我国第一列商用动车组在南昌铁路局运营以来，目前已有几十列动车组奔驰在全国万里铁道线上，成为铁路运输一道亮丽的风景。这主要是因为：

(1) 我国已经掌握了世界先进成熟的铁路机车车辆制造技术。法国阿尔斯通、日本川崎重工、加拿大庞巴迪、德国西门子、美国 GE、EMD 等公司，都是世界著名的铁路技术装备制造企业，他们拥有当今世界一流的时速 200 km/h 及以上动车组和大功率电力、内燃机车设计制造技术。经过艰苦努力，我国成功地实现了这些技术的转让引进，使我国铁路装备技术跻身于世界先进行列。

(2) 我国已经掌握了动车组和大功率机车的核心技术。高速动车组的总体、车体、转向架、牵引变流、牵引控制、牵引变压、牵引电机、列车网络控制和制动系统等核心技术，大功率电力机车的总体、车体、转向架、主变压器、网络控制、主变流器、驱动装置、牵引电机、制动系统等核心技术，大功率内燃机车的柴油机、主辅发电机、交流传动控制等核心技术，以及大量的配套技术，我国已经掌握。运用这些技术生产速度 200 km/h 及以上动车组和大功率机车，国产化率可达到 70% 以上。

(3) 实现了低成本引进。我国引进的动车组和大功率机车技术，价格比其他国家低得多，动车组比西班牙低 14%、比韩国低 20%，6 轴大功率机车比欧洲同类产品市场价格低 44%。之所以能够取得这样高的性价比，主要是我国充分利用了中国铁路巨大的市场优势，以及在铁道部主导下国内各企业的组合优势，再加上采取了灵活的谈判策略，实现了国家利益的最大化。

(4) 加快了我国机车车辆制造工业现代化步伐。在这次大规模的技术引进中，国内共有 10 多家机车车辆重点制造企业和几百家外国企业直接从中受益，实现了机车车辆制造水平的跨越，增强了市场竞争力，有力地推动了我国相关民族工业的发展壮大。在这些重点制造企业中，长春轨道客车股份有限公司受让阿尔斯通公司的技术，已经生产出了 CRH5 型动车组；四方机车车辆股份有限公司受让日本川崎重工的技术，生产出了 CRH2 型动车组；青岛 BSP 公司受让加拿大庞巴迪公司的技术，生产出了 CRH1 型动车组；唐山机车车辆厂受让德国西门子公司的技术，生产出了 CRH3 型动车组；大连机车车辆公司受让日本东芝公司和美国 EMD 公司的技术，生产出了 HX3 型大功率电力机车与和谐型大功率内燃机车；大同电力机车公司受让阿尔斯通公司的技术，生产出了 HX2D 型大功率电力机车；株洲电力机车公司受让德国西门子公司的技术，生产出了 HX2Z 型大功率电力机车；戚墅堰机车车辆厂受让美国 GE 公司的技术，生产出了和谐型大功率内燃机车。永济电机厂、株洲机车车辆研究所和铁道科学研究院等企业，也受让了先进的牵引电机、牵引和辅助变流器、牵引控制系统等关键技术，形成了我国铁路新的机车车辆制造产业群。

(5) 再创新工作已取得重要进展。动车组方面，正在全力推进大编组动车组、卧铺动车

组等自主创新工作，同时在速度 200 km/h 的技术平台上，自主创新研制的速度 300 km/h 动车组即将下线，将在京津、武广、京沪等客运专线上投用，成为未来我国高速客运的主力车型。大功率机车方面，在 6 轴总功率 7 200 kW 的技术平台上，正在组织实施牵引变流器、牵引电机、车体、转向架以及整车集成技术的自主创新，机车总功率可提高到 9 600 kW，成为未来牵引货物列车的主力机型。

正如一位铁路资深老专家所说，动车组的运营，不仅为我国中短途客运增加了一种新型的铁路交通工具，更重要的是它为铁路运输带来了新的活力。动车组虽然在我国真正投入商业运营的时间并不长，但其良好的发展前景已被国内外普遍看好。

国外经验表明，除了中长途运输外，在中短途运输、大城市近郊、大城市与卫星城市之间，铁路客运的作用仍然不可忽视。随着我国城市化进程的持续发展和城市化水平的不断提高，不仅城市的数量增加，城市的规模也在不断扩大，未来城际间的客运市场潜力巨大。在城市交通体系中，轨道交通以其用地省、运能大、速度快、节约能源、减少污染、运行经济、安全性好等优点，越来越受到人们的重视与青睐。

据专家预测，未来的城市轨道交通由“地铁+轻轨+市郊动车组”的模式组成，构成一个由内向外、层层分流的立体交通网络。即在市区采用地铁运输，人口相对较少的地区采用轻轨，在城市周围和市郊采用动车组。这种组合的优点是：地铁运量大，可将密集地区的人流迅速分散出去；轻轨车运行时间机动，可灵活应对不确定的客流；市郊出行距离加大，更快速的动车组可大大缩短旅途时间。

## 第三节 高速列车的关键技术

### 一、大功率电力牵引传动系统

大功率电力牵引传动系统是高速列车的原动力。高速列车由于在高速区运行时的基本阻力为空气阻力，可近似地认为基本阻力与速度的平方成正比，所需功率与速度的三次方成正比。高速列车运行速度在 300 km/h 以上时，空气阻力已占到总阻力的 90%以上，所需功率是 100 km/h 级列车的 15 倍以上。如此大幅度地增加功率，则意味着新技术的大量应用。因此，高速列车的电力牵引传动系统必须向功率大、重量轻、体积小、可靠性高和低成本方向发展，这就决定了高速列车的电力牵引传动系统必然采用先进的交流传动系统。它主要包括：牵引变流器、主变压器、牵引电机和牵引传动控制。

#### 1. 牵引变流器

牵引变流器采用新型大功率半导体器件，从最早的晶闸管发展到 GT0、IGBT、IPM，以至 IGCT。牵引变流器发展的目标是小型化、轻量化、节能、环保、可靠和经济适用。随着变流器的模块化、系列化和小型化，出现了将牵引变流器与辅助变流器和列车供电变流器统筹考虑、集成设计、制造的新趋势。牵引变流器的冷却是另一项关键技术，它要求冷却效率高、体积小、易于维修、不污染环境，目前的冷却方式主要是风冷、油冷、水冷、沸腾冷却和热

管冷却。

## 2. 主变压器

主变压器是牵引传动系统中重量、体积最大，耗损最多的部件，尤其在动力分散式高速列车中，由于要求启动加速功率和再生制动功率大，而安装空间又有限，所以主变压器损耗占到总损耗的 30%。因此减轻重量、减小体积、降低损耗，一直是主变压器技术发展的目标。近来，随着电子技术的发展和高温超导线材性能的提高，出现了两种新型变压器，即电子变压器和高温超导变压器，它们与传统的工频变压器完全不同，具有重量轻、体积小、效率高的特点。

## 3. 牵引电机

近代高速列车大多采用三相交流异步牵引电机，与直流电机相比，它具有重量轻、功率大、结构简单、运用可靠，寿命长、维修简便的特点。近代开发的永磁多极同步牵引电机，由于可实现很高的转矩密度，从而有可能实现无传动齿轮的直接驱动，与带传动装置的异步牵引电机相比，具有损耗低、重量轻、噪声小、无油泄漏等优点，很有发展前途。

## 4. 牵引传动控制

牵引传动控制的水平取决于牵引传动控制的策略和手段。牵引传动控制策略由最初的转差特性控制发展到矢量变换控制，近代又实现了电机转矩控制的新技术：直接转矩控制(DTC)和直接自控制(DSC)。这项新技术具有控制简单、性能优良和鲁棒性较强的特点。近代牵引传动控制手段普遍采用数字电路和大规模、超大规模集成电路以及微处理器、微控制器和数字信号处理器等组成的计算机控制系统，由单机个别控制向车载计算机网络发展。车载计算机网络由列车控制级、车厢控制级和功能控制级组成。

# 二、高速转向架

随着列车速度的提高，列车所需的牵引功率急剧增长，对轮轨作用力也随之加大，轮轨黏着快速降低，制动功率需要增加，从而对高速列车转向架提出了更高的要求。为了满足列车高速运行的需要，高速列车转向架必须保证具有足够的强度和刚度，高的横向稳定性和运行平稳性，良好的曲线通过能力，低的轮轨作用力，最大限度地发挥轮轨间的黏着潜力，简单、可靠、少维修的结构。为此，高速列车转向架需要解决的关键技术有：转向架轻量化技术、转向架悬挂技术、转向架驱动技术和牵引电机悬挂技术。

## 1. 转向架轻量化技术

转向架质量分为簧下质量和簧间质量，它们是影响转向架动力学性能的重要参数。簧下质量影响对轮轨的作用力，因此应尽量降低簧下质量。为此，高速列车转向架应采用整体碾钢小直径车轮、空心车轴、轻金属轴箱体、轻量化轴箱轴承和电机架悬和体悬的悬挂技术，以全面降低簧下质量。簧间质量和转动惯量影响列车横向稳定性、运行平稳性和轮轨间横向作用力，为此，动力集中式高速动力车转向架，常将质量大的电机全部悬挂在车体上，或将部分质量悬挂在车体上，以降低簧间质量和转动惯量，另外，还采用轻量化的焊接钢结构构

架, 轻金属的齿轮箱等, 甚至研制非金属材料的构架, 以降低簧间质量。动力分散式动力车转向架, 由于电机质量小, 常将电机架悬在构架的横梁上。另外, 为了降低簧间质量和转动惯量, 常采用 H 形构架, 轻量化电机, 将设备尽量集中在转向架中心附近。对于非动力转向架, 基本上都采用无端梁、无摇动台、无摇枕, 通过结构的简化实现簧下质量和簧间质量的降低。

## 2. 转向架悬挂技术

列车速度较高时, 其运行稳定性和平稳性是动力学的主要问题, 因此高速列车悬挂的主要特点是车体悬挂装置的总静挠度至少在 200 mm 以上, 其中 80% 左右分配在中央弹簧上, 同时并联垂向液压减振器; 二系弹簧采用高圆钢弹簧或空气弹簧, 并适当匹配液压减振器, 以实现垂向和横向软特性。软的二系特性将构架的振动与车体有效地隔离起来, 使列车可以平稳地运行。同时, 高速列车的转向架设计十分重视一系纵横刚度参数的匹配, 因其对转向架运行的稳定性有显著的作用, 并影响曲线通过能力和轮轨的横向作用力。另外, 随着有源悬挂和半有源悬挂技术的进展, 高速列车转向架已开始应用半有源或有源悬挂控制技术来提高列车运行舒适性。

## 3. 转向架驱动技术

高速列车转向架驱动机构由牵引电机、齿轮传动系统和联轴器组成。驱动机构必须满足大功率、高转速、轻质量和小体积等的要求, 因此采用交流传动技术, 功率大、重量轻、体积小的交流电机对改善高速列车转向架的动力学性能起到了关键作用。此外, 交流传动技术和黏着控制技术相结合, 有力地提高了黏着利用率。转向架驱动系统的结构主要有两种, 一是弹性空心轴驱动结构; 二是联轴节驱动结构。驱动电机的转矩通过弹性空心轴或联轴节传递给高速齿轮箱, 再通过高速齿轮箱传递给轮对, 因此还要根据其工作环境和负载强度, 解决好高速齿轮箱的减重、齿轮高速重载啮合以及轴承润滑和齿轮箱的密封问题。

## 4. 牵引电机悬挂技术

近代高速列车均将牵引电机悬挂在车体或构架上。电机的悬挂方式对转向架的动力特性影响十分显著。研究表明, 电机悬挂在车体上, 与悬挂在构架上相比, 转向架临界速度可明显提高 (例如 30%), 轮轨横向力大幅降低, 横向平稳性显著提高。动力集中式高速列车转向架的电机悬挂方式基本上采用体悬挂或半体悬挂, 以充分降低簧下和簧间质量, 例如法国 TGV 高速列车转向架为体悬挂结构, 德国 ICE 高速列车转向架则为半体悬挂结构。动力分散式高速列车转向架的电机悬挂方式基本上以架悬为主, 主要考虑的是结构简单, 必然要牺牲一些动力学性能, 例如日本新干线 300 系高速列车转向架为架悬结构。

# 三、高速制动技术

高速列车的制动系统是实现列车高速、安全运行的保障。列车高速运行时具有相当大的运动能量, 而高速列车的制动技术必须解决列车动能的快速转换和能量消耗问题, 并在轮轨黏着允许的条件下, 做到高速列车的可靠制停或降速。另外, 由于轮轨黏着系数随运行速度



的提高而下降,因此更增加了高速制动技术的难度。目前,高速列车制动的关键技术有:复合制动、制动控制、盘形制动、动力制动、非黏着制动和防止高速制动时车轮打滑。

### 1. 复合制动

高速列车由于所需的制动能量巨大,靠单一的制动方式不能满足要求,因此高速列车均需采用由多种制动方式组合的复合式制动方式来制动,并配以电子防滑装置,以提高轮的轨黏着利用。在动力转向架上应尽量采用动力制动(电阻制动和再生制动),再配合以盘形制动(摩擦制动);而在非动力转向架上在盘形制动以外再辅以非黏着制动(涡流轨道制动和磁轨制动)。例如,日本 300X、德国 ICE3 和法国 AGV 动力分散式高速列车的非动力转向架上,采用了涡流轨道制动来提高制动力。

### 2. 制动控制

高速列车制动系统是一个整体,动力制动、空气制动、非黏着制动等须协调一致工作,这就是制动控制系统的任务。高速列车一般都采用电气指令直通式电空制动控制系统,以微处理机为控制中心,优先采用动力制动,当动力制动力不足时,由制动控制单元发布电气指令,通过 EP 电空单元使制动缸动作,产生空气制动,补充动力制动的不足。在故障时能导向安全,并与中央诊断系统相连接。

高速列车制动空走时间是非常重要的,制动空走时间每延长 1 s,制动距离将增加 70 m。电气指令式电空制动控制与其他控制方式相比,高速时的列车空走时间最短,这是由于其制动和缓解信号均为电信号,因此其反应灵敏,动作迅速,满足高速列车缩短制动距离的要求。

### 3. 盘形制动

按照欧洲铁路联盟 UIC 的规定,高速列车行驶时,应能在盘形制动(摩擦制动)的单一作用下,在规定的制动距离内停车,其目的是在动力制动发生故障时也能保证列车运行安全。可见盘形制动仍被视为高速列车的主要制动方式。但传统的闸瓦制动,由于其在高速时对车轮轮轨的热损害愈发严重,而且制动力不足。因此,其逐渐被盘形制动所取代,即使仍有闸瓦装置,也只是作为盘形制动的补充,主要是为了清扫踏面,改善黏着。

盘形制动的制动盘和闸片在高速列车上承受着极为苛刻的工作条件,因此一方面要求高强度和耐热性,减少裂纹的发生;另一方面又要简化结构、减轻重量。制动盘的材质经历了特种铸铁、铸钢和锻钢等,已发展到碳素纤维和铝合金复合材料。其结构向无通风式、利于散热和冷却的结构发展。闸片材质的发展方向是以粉末冶金代替合成材料,以改善制动盘的受热状况。非动力转向架的车轴上可以安装多达 4 个制动盘,以降低闸片压力,从而延长制动盘和闸片的使用寿命。动车转向架一般轴重较大,制动盘的安装数量受到限制,因而工作条件比较恶劣。

### 4. 动力制动

动力制动包括电阻制动和再生制动。过去动力制动多为电阻制动,将列车动能转换成热量予以耗散。电阻制动的优点是可以在任何转矩下利用蓄电池实现励磁,从而在断电情况下也能实现制动;缺点是高速时制动力急剧下降,因而电阻制动主要用于坡道地段限制速度和停车用。近代 UIC 已明确规定了安全制动距离,即在受流失效的情况下的安全制动距离应