

动车组系列培训教材·机械师

动车组

DONGCHEZU

供电牵引系统与设备

宋雷鸣 主编
吴 鑫 副主编



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

动车组系列培训教材·机械师

动车组供电牵引 系统与设备

宋雷鸣 主 编
吴 鑫 副主编

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是铁道部动车组上岗理论培训教材,分两部分,共6章。第一部分为基础篇,包括第1~2章,第1章介绍了动车组供电牵引系统的基本概念及涉及的一些基本问题;第2章介绍交流异步电机的基本原理、结构及特性,以及交流异步电机变频调速的基本概念与原理。第二部分包括第3~6章,分别介绍CRH₁、CRH₂、CRH₃、CRH₅型动车组供电牵引系统的工作原理、系统构成与作用,以及主要设备。

本书可作为铁路动车组机械师上岗理论培训教材,也可供高职院校动车、轨道交通类学生和相关工程技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

动车组供电牵引系统与设备/宋雷鸣主编. —北京:北京交通大学出版社,2012.8
(2013.7重印)

(动车组系列培训教材·机械师)

ISBN 978-7-5121-1136-3

I. ①动… II. ①宋… III. ①动车-牵引供电系统-技术培训-教材 ②动车-牵引供电系统-供电装置-技术培训-教材 IV. ①U266.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第194087号

责任编辑:陈跃琴 特邀编辑:范跃琼

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

地 址:北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印 刷 者:北京交大印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:16.75 字数:418千字

版 次:2012年9月第1版 2013年7月第2次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-1136-3/U·107

印 数:2 001~4 000册 定价:33.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

《动车组系列培训教材·机械师》

编 委 会

顾 问 王梦恕 施仲衡
主 任 孙守光
副主任 刘志明 章梓茂
委 员 宋永增 史红梅 陈淑玲 贾慧娟

本书主编：宋雷鸣

出版说明

2005年，在铁道部的安排下，北京交通大学根据国外动车组设计资料、国内外技术交流文件，编写了动车组培训讲义，并对从事动车组运用的在职技术人员进行培训；随着中国高速动车组事业的飞速发展，到2010年，该讲义已经修订4版，先后培训了设计制造企业和运用部门各类人员4000多人。

为适应动车组机械师专业人才培养的需要，北京交通大学机械与电子控制工程学院、北京交通大学出版社，在铁道部有关部门的指导下，组织北京交通大学铁道部动车组理论培训基地的教师，在南车青岛四方机车车辆股份有限公司、北车长春轨道客车股份有限公司、北车唐山轨道客车有限责任公司和青岛四方庞巴迪铁路运输设备有限公司等单位领导和专家的大力支持下，编写了本套“动车组系列培训教材·机械师”。

教材编写突出理论与实用相结合的原则。本着“理论通俗易懂，实操图文并茂”的原则，系统介绍了4种高速动车组的基本原理和结构组成。

本系列教材的出版，得到中国工程院王梦恕院士的关注和首肯，以及北京交通大学学校领导、专家、教授的指导和支持，在此一并致谢。

北京交通大学机械与电子控制工程学院为该系列教材的出版，投入了大量的人力、物力和财力支持。

本系列教材从2012年1月起陆续出版，包括《动车组概论》、《动车组车体结构与车内设备》、《动车组转向架》、《动车组制动系统》、《动车组电力电子技术基础》、《动车组供电牵引系统与设备》、《动车组辅助电气系统与设备》、《动车组运行控制系统》、《动车组车内环境控制系统》、《动车组控制与管理系统》、《动车组司机室》、《动车组运用与维修》。

希望本套教材的出版对高速动车组的发展，对提高动车组的安全运行和维修、维护水平有所帮助。

动车组系列培训教材编写委员会

2012年5月

院士推荐

中国高速铁路近年来发展迅速，按照铁路中长期发展规划，到2020年，全国铁路运营里程将由目前的9.1万 km增加到12万 km，其中时速200~350 km的客运专线和城际铁路将达到1.8万 km，投入运营的高速动车组将达到1 000组。

高速铁路涉及诸多高新技术领域，其中作为铁路运输主要装备的高速动车组是这些高新技术应用的综合体现，它涉及系统集成技术、新型车体技术、高速转向架技术、快速制动技术、牵引传动技术、自动控制技术、网络与信息技术等。大量新技术装备的创新和应用，极大地提高了铁路客货运输的能力和快速便捷的出行，但在实际使用中对于现有参与运营、维修、管理等各类人员提出了更高、更新的要求，以确保高速铁路运营过程的安全与可靠性。目前相对于我国高速铁路里程建设速度，对于在实际运营、管理中迫切需求的大量技术人才培养明显滞后，因此会在高速铁路的长期运营中存在严重的安全隐患，温州“7·23”事故已经给了我们一个沉痛的教训。另外，相对于高速铁路建设发展的需求，目前能够满足高速铁路运营、维修人才培养需求的优质教材也存在严重不足，尚不能满足我国高速铁路发展对各类人才培养的需要。

北京交通大学机械与电子控制工程学院作为“铁道部高速动车组理论培训基地”和北京市动车组优秀教学团队所在单位，已长期从事有关铁道车辆专业的教学与科研工作，不但学术水平高，而且教学经验丰富。从2005年开始结合我国高速动车组技术的引进、消化、吸收和创新项目及高速列车国家科技支撑项目，进行研究和实践，取得了许多成果。在参考了国内外动车组设计资料、与国内外有关设计、制造、管理局等方面进行了相关技术和学术交流，在广泛听取来自企业和运用部门提出应加快对运营单位各专业人员进行岗位培训要求的基础上，组织相关专家、教授、高级技师等进行高速动车组运营工程师、技师培训讲义的编写，在内容的适用性、安全性、可靠性与全面性方面保持与国际高速动车组技术同步，并承担由铁道部下达的各项培训任务，至今已为各单位培训高速动车组运营、维修、管理人才4 000余人，为保证我国快速发展的高速铁路事业作出了相应的贡献。

今天，这套倾注了众多专家、教授、技师及铁路部门有关领导和工程技术人员大量心血的“动车组系列培训教材·机械师”即将由北京交通大学出版社付梓面世。这套教材的出版，恰逢其时，我们有理由相信它能够为促进我国高速铁路动车组的安全可靠运营和维护提供一个良好的支撑！

祝我国的高速铁路事业进一步健康、蓬勃、快速发展。

中国工程院院士

2012年5月

前 言

本书是铁道部动车组机械师上岗理论培训教材，由铁道部组织编写，适用于铁路动车组工作人员上岗培训，也可供铁路专业技术人员使用。

高速铁路很多高新技术问题，它涉及系统集成技术、车体技术、转向架技术、制动技术、牵引传动技术、自动控制技术、网络与信息技术等。为保证列车的安全可靠运行，需要大批的高级动车组维修运用技术人才。本教材在整理相关的技术资料并结合以往对机械师进行动车组供电牵引系统理论培训的经验，编写了本教材，主要介绍动车组供电牵引系统及设备。

本书共6章。第1章介绍了动车组供电牵引系统的基本概念及涉及的一些基本问题；第2章介绍交流异步电动机的基本原理、结构及特性；介绍了交流异步电动机变频调速的基本概念与原理；第3章介绍CRH₁型动车组供电牵引传动系统的基本原理、系统构成、作用及主要设备；第4章介绍CRH₂型动车组供电牵引传动系统的基本原理、系统构成、作用及主要设备；第5章介绍CRH₃型动车组供电牵引传动系统的基本原理、系统构成、作用及主要设备；第6章介绍CRH₅型动车组供电牵引传动系统的基本原理、系统构成、作用及主要设备。

本书由北京交通大学宋雷鸣主编，吴鑫副主编，编写分工如下：宋雷鸣编写第1章、第2章、第4章、第5章、第6章，吴鑫编写第3章。

由于编写时间仓促，本书中疏漏之处在所难免，望读者指正！

作 者
2012年5月

第 1 章 概论	1
1.1 动车组供电牵引系统的组成及作用	1
1.2 动车组牵引方式	2
1.3 动车组供电牵引系统发展概况	6
第 2 章 交流电机调速	9
2.1 概述	9
2.1.1 交流电机调速的优越性	9
2.1.2 交流调速系统的主要类型	10
2.2 三相异步电机的原理及结构	11
2.2.1 三相异步电机的结构	11
2.2.2 三相异步电机的工作原理	13
2.3 三相异步电机控制基础	15
2.3.1 三相异步电机运行时的电磁过程	15
2.3.2 三相异步电机的等值电路	17
2.3.3 三相异步电机的机械特性	17
2.4 三相异步电机的调速	19
2.4.1 变压变频调速控制基础	19
2.4.2 转速开环恒压频比交流调速系统 - 通用变频器	25
2.4.3 转差频率控制的交流调速系统	26
2.4.4 矢量控制的交流调速系统	28
2.5 电气制动简介	32
2.5.1 概述	32
2.5.2 电阻制动	33

2.5.3 再生制动	33
第3章 CRH₁型动车组供电牵引系统及设备	35
3.1 概述	35
3.1.1 供电牵引系统基本原理	35
3.1.2 供电牵引系统的结构组成及布置	37
3.2 传动系统主电路	41
3.2.1 主电路基本组成	41
3.2.2 高压系统	43
3.2.3 牵引系统和辅助供电系统	49
3.2.4 钥匙联锁系统	58
3.3 受电弓及高压电器	59
3.3.1 受电弓	59
3.3.2 主断路器	63
3.3.3 网端检测装置	64
3.3.4 防雷击装置	65
3.3.5 其他高压电器	67
3.4 主变压器	68
3.4.1 主变压器概述	68
3.4.2 高压控制箱的原理、组成及结构	75
3.4.3 接地变压器	76
3.5 主变流器箱	77
3.5.1 主变流器箱的结构组成及性能	77
3.5.2 网侧变流器模块	87
3.5.3 电机变流器模块	92
3.5.4 辅助变流器模块的结构组成及性能	99
3.5.5 滤波器箱的结构组成及性能	100
3.6 牵引电机	101
3.6.1 牵引电机的机械驱动结构及工作原理	101
3.6.2 牵引电机的特点和技术参数	102
3.6.3 牵引电机的使用、维护与诊断	104
第4章 CRH₂型动车组供电牵引系统及设备	106
4.1 概述	106
4.1.1 供电牵引系统基本原理	106
4.1.2 供电牵引系统组成及模块的布置	107
4.1.3 供电牵引系统动力性能参数	109
4.2 动车组传动系统主电路	110
4.2.1 主电路	110
4.2.2 高压保护系统	112
4.2.3 主电路故障及处置	112

4.3	动车组受电弓	115
4.3.1	受电弓系统组成	116
4.3.2	受电弓升降系统工作原理及动作	117
4.3.3	受电弓系统的使用及维护	119
4.4	动车组主变压器	126
4.4.1	概述	126
4.4.2	变压器结构	127
4.5	变流器	136
4.5.1	主变流器的工作原理、组成及结构	136
4.5.2	冷却系统构成及其设备	142
4.5.3	牵引变流器其他组件	150
4.5.4	变流器检查	155
4.6	动车组牵引电机	159
4.6.1	牵引电机的工作原理、组成	159
4.6.2	牵引电机的主要技术参数及性能	160
4.6.3	牵引电机的结构	161
4.7	主电路其他元件的使用维护	164
4.7.1	高压设备箱	164
4.7.2	电流互感器	168
4.7.3	MR139 型接地电阻器	169
4.7.4	SH2052C 型保护接地开关 (EGS)	170
第 5 章	CRH₃ 型动车组供电牵引系统与设备	172
5.1	概述	172
5.2	牵引传动系统	173
5.2.1	概述	173
5.2.2	主电路	173
5.3	高压电器	174
5.3.1	概述	174
5.3.2	受电弓	176
5.3.3	主断路器	180
5.3.4	接地开关	184
5.3.5	防雷击装置	185
5.3.6	网端检测装置	186
5.3.7	能量消耗计	188
5.3.8	车顶高压电缆	188
5.4	牵引变压器	190
5.4.1	概述	190
5.4.2	牵引变压器特点和技术参数	190
5.5	牵引变流器	194
5.5.1	概述	194

5.5.2	四象限整流器工作原理和技术参数	195
5.5.3	三相桥式逆变器工作原理和技术参数	197
5.5.4	中间电路的特点和技术参数	199
5.5.5	牵引控制单元	201
5.5.6	限压电阻器	202
5.6	牵引电机	203
5.6.1	概述	203
5.6.2	牵引电机的特点和技术参数	203
5.6.3	牵引电机的结构	204
第6章	CRH5型动车组供电牵引系统与设备	207
6.1	概述	207
6.2	牵引传动系统	208
6.2.1	牵引、电制特性	208
6.2.2	主电路构成	210
6.3	高压电器	212
6.3.1	受电弓	212
6.3.2	高压断路器	215
6.3.3	防雷击装置	217
6.3.4	网端检测装置	218
6.3.5	高压电缆	220
6.4	牵引变压器	222
6.4.1	概述	222
6.4.2	牵引变压器结构	224
6.4.3	主变压器控制	226
6.5	主变流器	227
6.5.1	主变流器的工作原理	227
6.5.2	变流器构成	233
6.5.3	牵引/辅助变流器的控制	245
6.5.4	牵引变流器的冷却系统管理	248
6.6	牵引电机	250
6.6.1	概述	250
6.6.2	牵引电机的特点和技术参数	250
6.6.3	牵引电机的结构	251
附录A	动车组供电牵引系统与设备模拟试题	254
附录B	CRH1常用英文缩写对照表	255
参考文献	256

第 1 章 概 论

1.1 动车组供电牵引系统的组成及作用

电力牵引高速列车的动力系统，包括从变电站到列车受电弓在内的供电部分和动车组本身的传动系统，目前根据系统的传动方式和动力布置形式等的差异，动车组供电牵引系统的组成有所不同。本教材内容主要介绍列车装备部分，即从受电弓、主变压器到牵引电机的主电路部分涉及的内容。从电动车组的发展过程来看，动车组的传动方式主要包括交-直流传动方式和交-直-交、交-交流的传动方式。如图 1-1 所示为交-直牵引传动系统的构成图，图 1-2 所示为交-直-交牵引传动系统的构成图。

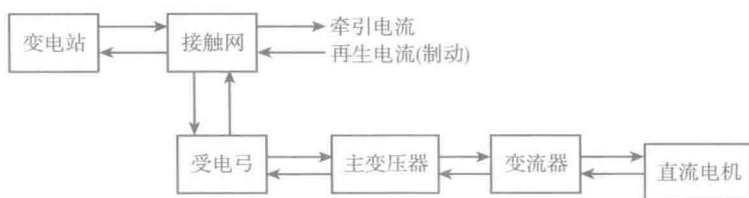


图 1-1 交-直牵引传动系统构成图

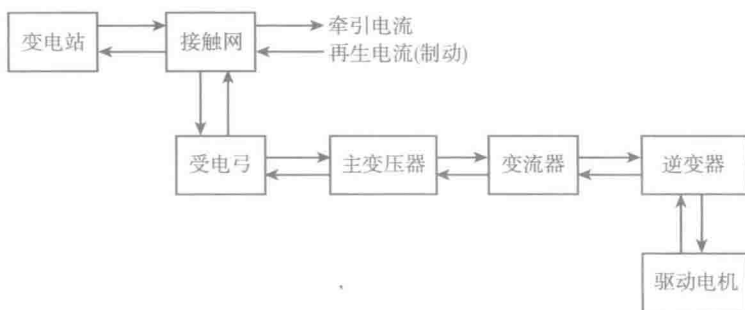


图 1-2 交-直-交牵引传动系统构成图

交-直流传动系统是指机车或动车组采用交流供电、直流电机驱动动车组运行的传动系统。从图 1-1 可以看出，为了能够用电网提供的交流电驱动直流电机工作，系统中采用了变流器，将交流电转换成直流电，并通过对变流器的控制来调整直流电机的工作速度。

交流传动系统是指由各种变流器供电的异步或同步电机作为动力的机车和动车组传动

系统。目前变流器主要有直接式变流器（即交-交变流器）和带有中间直流环节的间接式变流器（即交-直-交变流器）两大类。

列车受电弓从接触网上取得的是一定频率和恒定电压的电源。而牵引电机在所要求的转速、转矩范围内工作，需要的是电压和频率均可以调节变化的三相交流电源。因此，必须设计一组变流调频装置。交-交变流器是把电网的交流能量直接转换为电压和频率适合交流电机调节的能量；而交-直-交变流器，先把电网交流能量转换成直流能量，然后进一步转换成电压和频率可调节的交流能量，如图 1-2 所示。现有机车或动车组采用的交流传动系统基本结构为电压型交-直-交变流器供电的异步电机系统、电流型交-直-交变流器供电的异步电机系统和交-交变流器供电的同步电机系统。从发展趋势看，未来干线铁路牵引将主要采用电压型交-直-交变流器供电的异步电机系统。

交流传动技术卓有成效的发展，一方面是由于大功率半导体和变流技术的进步；另一方面取决于日臻完善的控制方法和控制装置。后者能够使变流器-电机的整个系统具备不同的性能，以满足不同应用场合的要求。对于铁路牵引来说，这些要求包括：平稳起动、抑制滑行和空转、再生制动、调速范围宽。此外，常常还希望多台并联工作的电机能够由一个控制器进行控制。

日本新干线 100 系高速列车采用电阻制动，将动能转变为热能消散掉，在由牵引工况转变为制动工况时，主电路要进行转换，同时，在低速区，难以产生大的制动力。而 300 系高速列车由于采用交-直-交牵引变流器，可以十分方便地实现再生制动，且牵引、再生两种工况转换平稳、连续无冲击，无须主电路换接，可以始终提供大制动力，直至停车。当电机转速低于同步转速，即为牵引工况，当电机转速高于同步转速，即转为制动工况，这样，只要控制逆变器的输出频率（即同步转速），即可控制牵引与再生工况转换及牵引力或制动力的大小。

由于交流传动系统的诸多优点，20 世纪 80 年代以来世界各国所研制的高速列车均采用交流传动技术。如前所述，动车组通过牵引电机将电能转换为机械能驱动列车的动力轮对。动力轮对通过轮轨黏着糯滑作用，将牵引电机的驱动转矩转换为轮轨之间的牵引力，牵引列车运行。由于高速列车需要的功率比一般列车大，就存在一个功率在列车中的分配问题，也就是高速列车传动系统是按动力集中还是动力分散布置的问题。

1.2 动车组牵引方式

列车牵引动力系统除如图 1-2 所示的主变压器、变流器、逆变器等各种动力设备外，还有空调机、空压机、各种风机、蓄电池、辅助逆变器等多种辅助设备外，在考虑列车动力配置的同时，必须考虑这些设备的布置。

目前世界上高速动车组有两种牵引方式：动力分散方式和动力集中方式。前者以日本为代表；后者以欧洲为代表，列车头尾各有一台动力车，中间为拖车，如果动力不够，靠近动力车的拖车中一台转向架，亦装有牵引电机，这种动力布置方式实质上是传统机车牵引方式的变型，欧洲主要采用这种方式。随着动车组运行速度的不断提高，欧洲 300 km/h 以上的动车组也转向动力分散的形式。

动力集中型高速列车是将这些动力设备全部设置在一辆头车中,如图 1-3(a)所示,全列车的牵引力由集中在动力头车的动力轮对上的电机提供。这时必须注意两个问题:第一,动力轴的重量必须足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,这不但使电机功率不能发挥反而会损伤车轮和钢轨;第二,动力轴的重量又不能过大,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的技术规程中规定高速列车的最大轴重不能超 17 t,在作牵引力计算时,轮轨黏着系数数值如下。

- ① 低速启动时: 0.2;
- ② $v = 100 \text{ km/h}$ 时: 0.17;
- ③ $v = 200 \text{ km/h}$ 时: 0.13;
- ④ $v = 300 \text{ km/h}$ 时: 0.09。

动力车轴重及轮轨黏着系数的限值给高速列车的动力配置造成了很多困难。如德国设计的 ICE 型动力集中型高速列车的动力车每轴功率 1 200 kW,一台动力头车的功率 4 800 kW,较大功率的动力设备和传动机构,使每轴的轴重达到 19.5 t。尽管它有很大功率的牵引电机,并且可以产生较大的启动牵引力(双机启动牵引力为 400 kN),但过大的轴重使欧洲高速路网拒绝接纳。法国的办法是保持动力轴轴重为 17 t,采用增加动力转向架的方式来满足列车功率和牵引力的需要。即在紧接动力头车的拖车中将靠近动力车的一台转向架设为动力转向架,如用在巴黎—伦敦的 EUROSTAR 型和出口韩国的 TGV,高速列车就是这样的动力设置。

动力集中设置的特点在于集中在头车的动力设备便于检修和集中通风冷却,同时使拖车少负担动力设备的重量和噪声干扰。

另一种动力系统配置方法,却将全列车分为若干个动力单元,在每一个动力单元中带牵引电机的驱动轴(动力轴)分散布置在单元的每一个或部分车轴上,更重要的是将传动系统的各个动力设备也分散地设置在各个车辆底下,而不占用任何一辆车厢。图 1-3(b)即是该类动力配置的一个例子,图示为 2 辆动力车和 1 辆无动力拖车(简称 2 动 1 拖)组成的一个列车单元。列车可以按需要由若干个单元组成,列车两端必须设有带驾驶室的车头。由图例可见动力系统的主要设备:主变压器(MTr)、变流器/逆变器(C/I)及空压机、空调机等辅助设备都以吊挂的方式置于各车体的底部。为了平衡重量分配,拖车下面也安装一定的动力设备,图示为一种典型的配置方式,主变压器承担前后 2 台动力车的功率供给,即 2 台动力车共用一台主变压器。

动力分散布置列车的单元一般可由 2~4 辆车构成。根据列车的牵引、加速、最高速度等特性决定各单元动力车(M)和拖车(T)的组合。如可能的组合有 2M, 2M1T, 2M2T, 3M1T, 4M 等。它的特点如下。

- ① 包括头车在内的各车厢都用来布置乘客坐席和乘客设施。
- ② 每组单元都具有完善的牵引、制动、控制、信息和辅助电源系统。
- ③ 每列编组中设 2 架受电弓,采用高压线连接以抑制离线和电弧的发生。
- ④ 动力设备分散置于车底下部,设备的工作环境和检修条件较差。

动力分散型动车组轴重小,牵引动力大,启动加速快,驱动轴多,黏着性能比较稳

定,容易实现高速运转;其动力设备均可安装于地板底下,所有车辆(包括头车和中间车)均可成为客车使用,这样可提高列车定员。以新干线300系为例,其额定功率为12 000 kW。

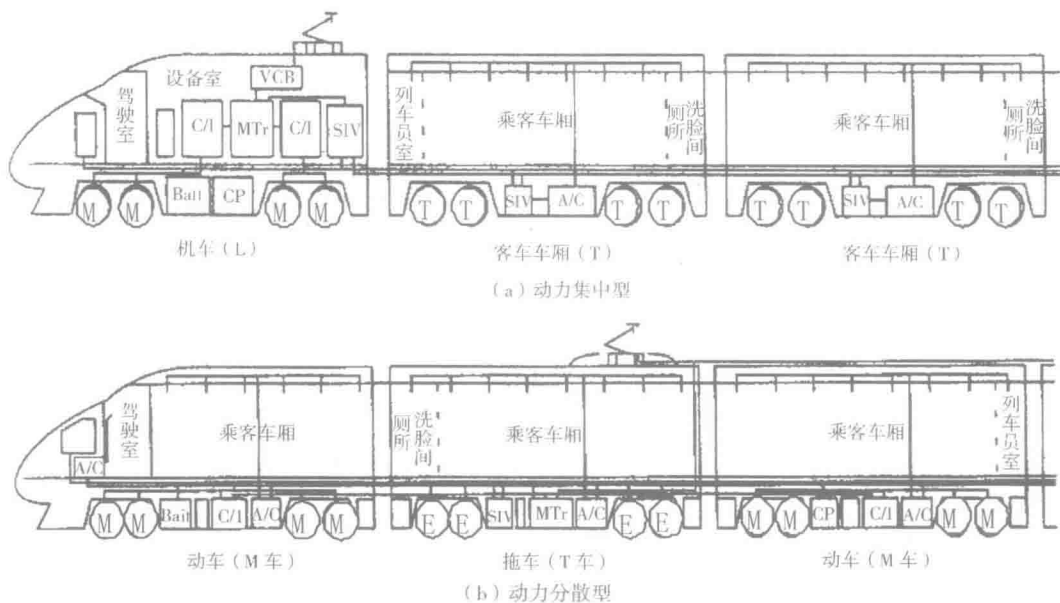


图 1-3 动力配置形式

- | | | |
|--------------|-------------|-------------------------|
| VCB—真空断路器; | SIV—静止式逆变器; | M—设有驱动电机的车辆; |
| MTr—主变压器; | Batt—蓄电池; | E—拖车车轴(设有涡流制动盘或者机械制动盘); |
| C/I—变流器/逆变器; | A/C—空调装置; | T—拖车车轴(设有机械制动盘); |
| CP—气压机 | | |

启动加速牵引力可达到 360 kN, 每吨启动加速牵引力可达到 0.5 kN, 由启动加速到 250 km/h 速度的时间仅需 215 s、行走 9.6 km。新干线 300 系每米定员为 3.29 人, 超过 TGV—A 的 2.04 人和 ICE 的 1.85 人。基于这种特点, 动力分散型动车组比较适合铁路路基松软、站距较短的日本等国家。40 年来, 日本始终坚持动力分散电动车组, 从 0 系到 700 系, 一直不变, 取得辉煌成绩。之所以取得这样大的成绩, 主要缘于: ①轮轨作用力小, 牵引、制动性能良好; ②采用交流传动(300 系开始); ③部件轻量化; ④采取了减小运行阻力和噪声的措施。

动力集中型动车组为世界许多国家广泛采用, 其运行速度也可达到 330 km/h。动力集中型动车组技术成熟, 编组较动力分散型动车组更为灵活。另外, 在成本方面, 动力集中型两端为动力车, 设备集中, 动力设备数量少。在车内环境方面, 动力集中型驱动装置集中在两端, 远离旅客座位, 噪声小, 动力分散型驱动设备分布在车下, 有一定的振动影响。

可从如下的几个方面来分析动力集中与动力分散之间的特点。

(1) 牵引总功率和轴功率

从轮轨关系来看, 理论上每根动轴能传递的牵引功率为轴重、黏着系数和速度的乘积, 而实际上能实现的功率受轮径、传动装置布置方式和电传动技术水平等的限制。由于

动力分散方式动车组的轮径和车体底下空间位置比动力集中方式的小（实际上也不需要大），所以就单轴功率而言，动力分散方式的小，目前最大为 550 kW；动力集中方式的大，目前最大可达 1 200 kW。就车组总功率而言，由于动力分散方式动轴多，可以超过 10 000 kW；动力集中方式目前尚未超过 10 000 kW。当然也可以在动力车相邻的中间车转向架上加牵引电机的办法来增加总功率。但总的来说，只要站线长度允许，动力分散方式可以增加动力单元，其总功率比动力集中方式大，从而可运送更多的旅客。

（2）最大轴重和簧下重量

根据日本新干线的运用经验，在速度和簧下重量一定时，轨道下沉量随着轴重增加而增加。所以采用动力分散方式的理由之一是为了减少线路建设费用，降低轴重。一般轴重在 16 t 以下，300 系车降到 14 t，准备降到 12 t。动力集中方式动车组一般轴重大，规定不超过 17 t，但 ICE 车高达 19.5 t，所以就最大轴重而言，动力集中方式比动力分散方式大，对线路不利。但对轨道的破坏不只是轴重，簧下重量也起着同样重要的作用。日本曾就轴重 14 t、10 t 计算了簧下重量与运行速度的关系。结果表明，如果簧下重量不变，即使减轻轴重，对轨道的破坏不会有太大的好转，簧下重量必须与轴重一起减少。

（3）黏着利用

动力分散方式一般轴重较轻，单轴黏着力也较小，但由于动轴多，可以发挥的黏着牵引力大，而动力集中方式虽然轴重大，单轴黏着力大，但由于动轴少，单轴黏着利用接近极限，可以发挥的总的黏着牵引力小。就启动加速度而言，经计算表明，在低速区段，动力分散方式可以充分利用黏着重量大的特点，动力集中方式黏着重量小，低速时采用恒流控制。

（4）制动

动力分散方式的一个主要优点是动轴多，对每个动轴都可以施加电力制动和盘形制动，制动功率大，甚至可以超过牵引功率，使列车迅速停车。动力集中方式动轴少，制动功率没有动力分散那么大。

（5）制造成本

采用动力分散方式动车组，电气设备分散、总重大、造价高。日本曾用传统机车牵引客车和动力分散方式动车组作过比较，BD 75 型机车牵引 12 辆客车，一列车造价为 342 400 千日元，而 583 电动车组 6 辆动力车和 6 辆拖车的造价为 477 400 千日元。为了降低列车制造成本，日本已由 16 个全动车减少到 12M + 4T、10M + 6T。意大利 ETR450 型 10M + 1T 一列车造价 2 200 万美元，法国 M - P 型 1M + 8T + 1M 一列车造价 1 300 万美元来比较，也说明动力集中方式动车组造价比动力分散方式动车组低得多。

（6）维修费用

由于动力分散方式动车组的每辆动力车均装有一套电气设备，维修工作量大。原西德曾把动力分散方式动车组与一台 BR41 型电力机车牵引三辆客车的穿梭列车作过比较，结果表明，如果只分析每公里折旧维修费，则 BR430 型电动车组约贵 50%，BR420/421 电动车组约贵 20%。日本也承认动力分散方式维修费用比动力集中方式动车组高得多。就拿 TGV - A 与 TGV - P 来比较，由于电机由 12 台减少到 8 台，中间车由 8 辆增加到 10 辆，每座位公里的检修费用 TGV - A 与 TGV - P 低 20%。

德国 ICE1 列车和 ICE2 长编组列车采用推挽式电动车组，两端为动力车，中间为拖车，即采用传统的机车牵引模式，而到了 ICE3 转为动力分散动车组（EMUs）欧洲铁路联盟拟建统一的高速铁路网，新“全欧通用”技术规范于 1997 年生效。要进入这个网，德国铁路必须与国际接轨，在技术上、性能上满足欧洲高速运输对高速列车的要求。考虑市场竞争的需要，因此 ICE3 采用动力集中已不适合，原因是轴重限制 17 t（ICE1 是 19.4 t），最高速度 300 km/h，线路坡度 40‰，并且要增加座位数等。采用动力分散可增加乘员，并使整列车质量分布更均匀，随之降低了最大轴重，得到更好的牵引特性和降低单位坐席的质量。此外还提高了再生制动的利用率，制动功率 8.2 MW，最大电制动力为 300 kN，相当于 ICE2 “短编组”的 2 倍，减少了盘形制动的磨耗量及维修费用。

1.3 动车组供电牵引系统发展概况

日本从 1964 年首条高速线开通以来，动车组从 0 系发展到 700 系，从直传动发展到交流传动，运营速度从 210 km/h 到 300 km/h，一直坚持动力分散模式。法、德两国原先一直推崇动力集中牵引的动车组模式。法国从直传动速度 260 km/h 起步，经过同步电机传动，第三代实现三相交流异步传动高速动车组，而下一代的 AGV 动车组改用动力分散式，速度 320~360 km/h。德国 ICE1、ICE2 高速动车组率先采用交流异步电机传动，实现 280 km/h 的运营速度，采用动力集中传动方式。然而 ICE3 新一代高速动车组也转而采用动力分散方式（2M2T）。可见，开发 300 km/h 以上高速动车组采用动力分散是目前世界的发展趋势。

早期的电力牵引传动系统均采用交-直传动，用直流电机驱动。采用抽头切换，间断控制或可控硅连续相位控制技术进行调速。无论是日本 0 系、100 系、200 系还是法国 TGV-P 和意大利的 ETR450 均采用直流牵引电机，继承了传统的交-直牵引传动系统技术。由于直流电机的单位功率重量较大，直流牵引电机一般不超过 500 kW，使高速列车既要大功率驱动又要求减轻轴重，特别是减轻簧下部分重量，形成难以克服的矛盾。

到 20 世纪 80 年代末 90 年代初，高速列车开始采用交流电机驱动。并存在两种不同的技术路线，即交流同步电机和交流异步电机。法国选择了自换相三相同步牵引电机，把单台电机功率提高到 1 100 kW，从而在 TGV-A 上用 8 台交流牵引电机，代替 TGV-P 上的 12 台直流牵引电机，将列车功率由 6 800 kW 提高到 8 800 kW。运行速度由 270 km/h 提高到 300 km/h，列车重量由 418 t 增加到 479 t，列车定员由 368 人增加到 485 人。

TGV-A 采用 GTO 晶闸管逆变器，同步电机加上辅助设备的重量比 TGV-P 的直流电机增加 30 kg，而功率却增加了一倍。

日本和德国则与法国不同，它们采用异步牵引电机驱动。同步牵引电机结构上虽然比直流牵引电机简单，但它仍有滑环及电枢绕组。而异步电机中的鼠笼型感应电机（简称异步电机），转子用硅钢片叠压，用裸铜条作为导体，无滑环等磨耗装置。结构简单，可靠，体积小，重量轻，可实现电机无维修。

三相异步电机与直流电机相比具有如下优点：

- ① 结构简单，可靠性高，维护少，价格低，易于制造；