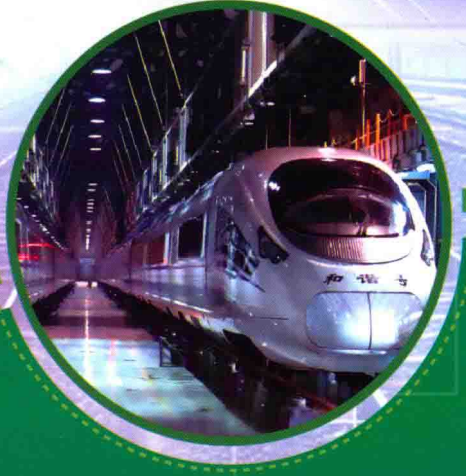




普通高等院校车辆工程专业卓越特色系列规划教材

轨道车辆运用与维修

王斌杰 焦风川 主编



科学出版社

普通高等学校车辆工程专业卓越特色系列规划教材

轨道车辆运用与维修

王斌杰 焦风川 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍动车组及城市轨道交通车辆运用与维修的相关基础知识及原理。全书分为两篇：第一篇为轨道车辆运用，介绍轨道车辆运用的基础知识、运用管理、行车组织、线路设施，在介绍动车组特点和城市轨道交通系统的基础上，阐述了轨道车辆运行方法、运行图、运用组织与管理、车辆周转、城轨系统线路设施、行车组织；第二篇轨道车辆维修以可靠性维修为基本点，内容涵盖动车组维修基本理论、动车组检修制度、制订检修制度的基本原理、动车组维修的组织及实施，以及城市轨道交通车辆的维修。

本书可作为培训轨道车辆各类人才的教材，也可作为普通高等院校机车车辆专业的教材，以及函授大学相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

轨道车辆运用与维修 / 王斌杰, 焦风川主编. —北京: 科学出版社, 2016.1

普通高等学校车辆工程专业卓越特色系列规划教材

ISBN 978-7-03-044547-6

I. ①轨… II. ①王… ②焦… III. ①轨道车辆-车辆运行-高等学校-教材 ②轨道车辆-车辆修理-高等学校-教材 IV. ①U279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 122363 号

责任编辑: 毛莹 朱晓颖 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 霍兵 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 15

字数: 394 000

定价: 42.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

构筑从城市轨道交通、城际轨道交通到跨区域的高速铁路这一不同层次、结构完善的轨道交通体系，不仅有利于城市化进程和经济规模增长，而且有利于全国性地区之间的优势互补、缩小发展差距，并为广大人民群众的生活、工作等提供快捷、舒适、准时的服务，为国家经济建设提供基础保证。未来，轨道交通将在我国城市建设中发挥举足轻重的作用。轨道车辆作为交通体系中不可或缺的组成部分，其良好的运输组织、科学合理的维修对交通体系的发展具有重要的意义。

我国轨道车辆在引进、消化、吸收再创新的过程中，已经达到了国际先进水平。同时，现代轨道车辆运营系统也已经成为结构复杂、技术含量高、集成度高的智能化大型复杂系统，其运用可靠性直接关系到交通体系的安全与效益。因此，轨道交通需要具有高效的运用组织、管理，并采用现代维修理论与方法，指导维修实践，建立完整的维修保障体系，对车辆实行高效、完备的运用维护，保证其运用可靠性。打造高素质、高水平的运用维修技术队伍和管理队伍是轨道交通领域发展的重要任务。

本书在高等教育轨道交通“十二五”规划教材的基础上进行了修改、补充、完善，着眼于轨道车辆技术领域的需求和未来轨道交通领域卓越人才的培养。全书分为两篇：第1篇为轨道车辆运用知识，介绍了动车组运用管理所涉及的基础业务知识、动车组专项管理规定、城市轨道交通系统及其设施、城市轨道交通的行车组织与应急处理；第2篇介绍轨道车辆维修系统理论，详细阐述科学的以“可靠性”为中心的维修制度和我国轨道车辆的维修体系。本书面向轨道车辆运用、维修领域，可作为本科教学、专升本的教材及参考书。可根据教学对象先修知识、层次，选择不同的内容进行讲授，使学员通过学习能够成为适合轨道车辆工程领域的技术人员和管理人员。

本书由王斌杰、焦风川主编，李长虹主审。王斌杰编写第1章、第2章、第4~7章、第8章及第11章；焦风川编写第3章、第9章、第10章。在编写过程中，编者参考了大量业界前辈及同行所编著的文献和论著，在此向这些文献和论著的编著者表示衷心的感谢！随着我国高速、重载铁路网络的不断发展、完善，新的管理体制、新的运用方式、新的维修模式将会不断涌现，我们将紧随发展，不断完善教材内容。感谢为本书出版付出劳动、提供资料、提出建议的所有朋友和同事！

由于轨道交通是一个快速发展的领域，知识和技术更新很快，书中难免有诸多欠缺和不足；另受编者水平的限制，时间仓促，还有很多疏漏，望读者批评指正。

编 者

2015年6月

目 录

第 1 篇 轨道车辆运用

第 1 章 动车组运用概述	2
1.1 动车组运用特点	2
1.2 国外动车组运用简介	14
1.3 我国高速动车组概况	15
习题	25
第 2 章 动车组运用基础	26
2.1 列车运行	26
2.2 列车运行图	30
习题	41
第 3 章 动车组运用与专业管理	42
3.1 运用管理组织及内容	42
3.2 动车组运用方式及制度	45
3.3 周转图	49
3.4 运用指标	52
3.5 动车组专业管理	54
3.6 动车组运行	59
3.7 动车组停放防冻管理办法	62
3.8 动车组运用的基本管理制度	63
习题	65
第 4 章 城市轨道交通系统简介	66
4.1 城市轨道交通系统的概念	66
4.2 城市轨道交通的类型	66
第 5 章 城市轨道交通线路及设施	70
5.1 城市轨道交通线路的平面和纵断面	70
5.2 城市轨道交通限界	72
5.3 城市轨道交通线路的类型	73
5.4 城市轨道交通建筑物	78
5.5 城市轨道交通车辆	81
5.6 城市轨道交通信号系统	86
第 6 章 日常行车组织	91
6.1 组织原则和架构	91
6.2 行车组织方式	91
6.3 调度命令	97
6.4 车站行车工作组织	104

6.5	运营调度调整的原则和手段	106
6.6	正常情况下的列车运行控制	108
6.7	非正常情况下的运营调度处置	109
第7章	应急处理	119
7.1	运营事故原因分析及对策	119
7.2	控制中心突发事件应急处理	121

第2篇 轨道车辆维修

第8章	维修概述	126
8.1	维修的定义及基本范畴	126
8.2	维修理论概述	128
8.3	动车组维修的分类	132
	习题	135
第9章	车辆寿命及维修制度	136
9.1	寿命的定义及分类	136
9.2	车辆及其零部件延寿措施	138
9.3	维修制度的基本概念	140
9.4	维修间隔期的确定	143
9.5	维修级别的分析	147
9.6	以可靠性为中心的维修制度	149
	习题	155
第10章	动车组维修的组织与管理	156
10.1	高速动车组维修概述	156
10.2	维修机构	161
10.3	主要检修设备	169
10.4	检修流程	177
10.5	动车组检修管理与人员培训	195
	习题	202
第11章	地铁车辆的计划维修	203
11.1	日检	203
11.2	月检	207
11.3	定修	214
11.4	架修	220
	参考文献	231

第 1 篇 轨道车辆运用

第 1 章 动车组运用概述

1.1 动车组运用特点

从 1964 年日本东海道新干线开始投入商业运营，高速铁路在世界发达国家崛起，百年铁路重振雄风，铁路发展进入了一个崭新的阶段。自日本之后，法国、德国、意大利、西班牙、瑞典等国家也相继发展了不同类型的高速铁路。我国的高速动车组从 2007 年 4 月 18 日投入运营，现已成为世界上拥有高速动车组数量最多、运营里程最长的国家。

1.1.1 世界主要动车组分布

时速 200km 及以上动车组主要分布于日本、法国、德国、西班牙、瑞典等高速铁路传统国家，以及韩国、中国台湾等新兴国家和地区，见表 1-1。

表 1-1 时速 200km 及以上动车组主要分布（2014 年）

国家和地区	动车组型号	最高运行速度/ (km/h)	动车组数量	动车组制造商	营业里程/km
日本	500 系	300	500 列	川崎重工、日立、日本车辆、东急车辆、近畿车辆	2616
	700 系	285			
	800 系	260			
	N700 系	300			
	E2、E3	300			
	E4	240			
	E5/H5、E6	300			
E7/W7	260				
法国	TGV-A	300	520 列	阿尔斯通	1800
	TGV-R	320			
	TGV-TMST	300			
	TGV-2N	320			
	TGV-POS	320			
	TGV-postal	270			
德国	ICE-1	280	220 列	西门子	4800
	ICE-2	280			
	ICE-3	330			
	ICE-T	230			
	ICE-TD	200			
西班牙	AVE	300	133 列	阿尔斯通、西门子、庞巴迪	3100
	Talgo350	330			

续表

国家和地区	动车组型号	最高运行速度/(km/h)	动车组数量	动车组制造商	营业里程/km
西班牙	Velaro	300			
	Avant	270			
	Alvia	250			
	Talgo250	250			
意大利	ETR450	250	140 列	菲亚特、阿尔斯通	566
	ETR460	250			
	ETR470	250			
	ETR500	300			
	ETR600	250			
	AGV	350			
瑞典	SJ2000	210		ABB	
	Regina	250			
韩国	KTX	305	70 列	阿尔斯通、现代	793
	KTX 山川	305			
中国台湾	700T	300	34 列	川崎重工、日立、日本车辆	345

1.1.2 高速动车组特点

1. 高速度

速度是高速铁路技术水平最主要的标志,各国都不断提高高速列车的运营速度。世界各主要国家和地区动车组速度见表 1-1。最高运营速度就是指最高商业运行速度。除最高运行速度外,旅客更关心的是决定旅客全程旅行时间的旅行速度。而旅行速度则是一个国家运用管理(尤其是行车组织)水平的具体体现。

2. 高密度

列车间的间隔越小,运行密度越大,为旅客提供的服务频率越高,旅客等待乘车的时间就越短,就能吸引越多的客流。高速铁路一般都采用“小编组,高密度”的组织方式,最小追踪列车间隔时间技术设备可以达到 3min。以日本东海道新干线为例,最小追踪列车间隔时间为 4min,每日运行 18h,日行车量达到了 142.5 对。

3. 高正点率

正点率是高速铁路整个系统设备可靠性和运输组织水平的综合反映,也是运输服务质量的核心,不仅在与其它交通运输方式竞争中赢得了旅客,同时也强化了自身的管理工作,是赢得客流的重要手段。西班牙规定高速列车晚点超过 5min 要退还旅客的全额车票费,自投入运营以来,其列车正点率达 99.6%以上;日本规定到发超过 1min 就算晚点,晚点超过 2h 就要退还旅客的加快费,日本东海道新干线列车平均误点时间只有 0.3min。

4. 高可靠性

安全是高速铁路永恒的主题,各国高速铁路都拥有其完善的安全保障体系,高速铁路被

认为是最安全的现代交通运输方式。

5. 高度统一的综合管理

各国都根据自己国家的运营特点建立了综合运营管理系统,综合考虑动车组的运用计划、控制、维修,最大限度地提高动车组的运用效率。如日本的 COSMOS 系统、法国的 CTC 系统、庞巴迪的 MAXIMO 等。

1.1.3 动车组特点

1. 动车组的动力配置形式

动车组的动力配置形式是指在动车组编组中动力车(用“M”表示)和拖车(用“T”表示)的数量及编组的位置。目前,动车组的动力配置形式有两种,即动力集中型配置和动力分散型配置。

(1)在动车组编组中两端为动力车(或一端为动力车、另一端为控制车)、中间为拖车,即为动力集中型动力配置。如法国东南线 TGV 高速列车,10 辆编组中两端是动力车,中间是拖车,即 2 动+8 拖(简称 2M+8T)。

(2)在动车组编组中全部为动力车或大部分为动力车、小部分为拖车,即为动力分散型动力配置。如日本 700 系高速列车,16 辆编组中有 12 辆是动力车,4 辆是拖车,即 12M+4T。

两种类型的动车组都具有自身的特点和发展过程。从动车组产生和发展历史来看,某个国家或某条高速铁路采用什么类型的动车组,可能与它们的运用条件、运用经验和传统技术有关。因此在选择和比较它们的优劣时不能一概而论。只有详细分析它们的技术特性,结合具体的运用要求和使用条件才能得出比较明确的结论和选型方案。这里就动力集中型动力配置与动力分散型动力配置的动车组的优缺点进行分析,见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 两种类型的动车组优缺点比较(1)

动力集中型优点	动力分散型缺点
与传统的列车相似,便于按习惯进行运行管理和维修管理	与传统运营、维修管理体制和习惯不适应,必须建立一套新的维修保养体系
故障相对较高的电器、机械设备集中在头车,运用中便于监测和进行技术保养,这些设备的工作环境也较清洁	动力设备安装在车下,要求体积小,工作环境差。分散的动力设备故障率相对较高
机械、电气设备与载客车厢相隔离,车厢内噪声、振动较小	车辆下部吊装动力设备,其产生的振动和噪声会影响车厢内的舒适度,增加了隔振降噪的技术难度
动力头车可以摘挂使列车进入既有线,甚至可更换内燃机车,使列车直接进入非电气化铁路运行	列车只能分单元编组,不能驶入非电气化铁路运行

表 1-3 两种类型的动车组优缺点比较(2)

动力分散型优点	动力集中型缺点
动力车不但能够提供列车牵引力,同时可以容纳旅客,增加了动车组的载容量	动力头车不能载客,相对减少了载容量
将牵引动力设备和牵引电机的功率和质量分散到各个车辆负担,较易实现高速列车减轻轴重的要求	动力头车集中了全部动力设备,减轻设备质量比较困难,而高速列车要求列车的轴重尽量轻
牵引力分散在各个动力车轮上,可解决动车组大牵引力与轴重限制之间的矛盾	高速动车组需要动力头车产生足够大的黏着牵引力,这与减轻轴重的要求形成矛盾
可以充分利用动力制动功率,列车具有较好的制动性能	动力头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

2. 高速铁路客运特点

高速铁路之所以受到各国政府的普遍重视,是由于高速铁路与高速公路和中长途航空运输相比有以下特点。

(1)旅客旅行时间。中长途旅客选择乘坐交通工具首先考虑耗费的旅行总时间,即旅客从出发地到达目的地的“门到门”时间。耗时越少,被选择的可能性就越大。

(2)安全性和舒适度。安全和舒适也是旅客最为关心的因素。高速公路车祸频繁,美国每年因车祸死亡的人数约为5.5万,死伤人数达200多万,德国、法国和日本每年死亡人数也在万人以上,并有近10万人因伤致残;民航失事也时有发生;而铁路因行车事故造成的旅客伤亡人数则大大低于公路和民航运输。1985年联邦德国铁路、公路和民航运输的事故率(每百万人公里的伤亡人数)之比大致为1:24:0.8。公路大轿车的事故率为铁路的2.5倍。日本对20世纪70年代以来所发生的旅客生命财产事故分析表明,汽车事故是铁路事故的1570倍,飞机事故是铁路事故的63倍。我国1987~1988年统计,完成的换算周转量铁路为公路的3倍,而发生的事件数仅为公路的1/4,死亡人数为公路的1/282,受伤人数为公路的1/1500。就高速铁路而言,日本近40年、法国10多年从未发生过列车颠覆和旅客死亡事故。

(3)准时性。航空运输受气候影响,航班很难做到准点,有时还会停航。国外高速公路经常发生堵塞,行车延误在所难免。高速铁路则是全天候行车,线路为全封闭,设有先进的列车运行与调度指挥自动化控制系统,能确保列车运行正点,较其他交通运输方式准确可靠。

(4)能源消耗。根据日本近年来的统计,各种交通运输工具平均每人公里的能耗,高速铁路571.2J,高速公路公共汽车583.8J,是高速铁路的1.02倍;小轿车3309.6J,是高速铁路的5.79倍;飞机2998.8J,是高速铁路的5.25倍。

(5)占用土地。4车道高速公路的占地宽度为26m,复线铁路占地宽度为20m;如以单位运能占地相比较,高速铁路仅为高速公路的1/3左右。飞机航道虽不占用土地,但一个大型机场需用地20km²,相当于1km复线铁路的占地面积,而1000km航线内至少要有2~3个大型机场,总用地为铁路的2~3倍。

(6)综合造价。普通复线电气化铁路每公里造价约为1000万元,高速铁路标准高些,为1300~2500万元。每个座席摊到的机车车辆购置费,普通铁路约为1.2万元,高速铁路约为5万元。高速公路每公里造价为1100万~2600万元。豪华大客车每个座席摊到的购置费约为1万元,小轿车则达10万元左右。大型机场至少有一条宽60m长4km左右的跑道,路面标准高于高速公路,其他通道和停机坪也需硬面化,而配置的各种现代化导航设备,造价都是相当昂贵的。现代化大型客机每个座席的购置费约为150万元。

(7)运输能力。根据国外资料,高速铁路客运专线每天开行的旅客列车为192~240对,如每列车平均乘坐800人,年均单向输送能力将达5600万~7000万人。4车道高速公路客运专线,单向每小时可通过小轿车1250辆,全天工作20h,可通过25000辆。如果大轿车占20%,每辆车平均乘坐40人,小轿车占80%,每辆车乘坐2人,则年均单向输送能力为8760万人。航空运输主要受机场容量限制,如一条专用跑道的年起降能力为12万架次,采用大型客机的单向输送能力只能达到1500万~1800万人。可见,高速铁路的运能远大于航空运输,而且一般也大于高速公路。

(8)环境保护。在旅客运输中,各种交通工具有害物质的换算排放量,铁路每人公里一氧化硫为0.109kg,公路为0.902kg,约是铁路的8倍。在噪声污染方面,日本以航空运输每千人公里产生的噪声为1,则小轿车为1,大轿车为0.2,高速铁路为0.1。

(9)经济效益和社会效益。高速公路的交通堵塞和事故给国民经济带来了巨大损失。欧盟国家用于解决公路堵塞的费用占国民生产总值的 2.6%~3.1%，总金额为 900~1100 美元，相当于整个欧洲高速铁路网的全部投资，用于处理公路事故的费用也占国民生产总值的 2.5%。

修建高速铁路的直接经济效益也是很显著的。日本和法国的实践证明，其直接投资收益都在 12%以上，一般在 10 年之内即可还清全部贷款，其社会收益率也在 20%以上。据日本资料，旅客由于从既有线改乘新干线高速列车，每年可节约旅行时间 3 亿小时，即每年节省的时间效益相当于当时修建东海道新干线所需的全部费用。法国一条高速铁路的效益是一条 6 车道高速公路的 3 倍多。同时，高速铁路对促进国民经济发展、提高国家综合科技水平也起着巨大的推动作用。

3. 高速铁路线路特点

高速铁路的线路平面和纵断面的设计必须满足行车安全平顺、保证乘客舒适性和便于线路维修等要求。线路的平面是由直线和曲线组成的，曲线包括圆曲线与缓和曲线。

1) 超高与曲线半径

列车在曲线上运行时，车辆和旅客都要经受离心力的作用。离心力不但增加了列车与线路之间的轮轨相互作用力，而且影响旅客的乘车舒适度。为了减少列车通过曲线线路时旅客经受的离心力和轮轨之间的相互作用力，通常采用在曲线线路外侧钢轨设置超高的办法，而内轨保持原来的高度不变。

曲线线路外轨超高与曲线半径和列车平均速度有关。最大超高的选择应保证在曲线上停车而又遇到大风时，不致使列车倾覆，并考虑不同速度的列车所产生的未平衡离心加速度不致过大。

目前，除日本东海道新干线规定最大超高为 200mm 外，其余各线及各国高速铁路干线最大超高均为 180mm。日本东海道新干线曲线半径只有 2500m。法国大西洋线曲线半径为 6000m。我国武广客运专线最小曲线半径一般 9000m，困难区域 7000m。

2) 缓和曲线

缓和曲线是指平面线形中，在直线与圆曲线、圆曲线与圆曲线之间设置的曲率连续变化的曲线。当列车由直线(或圆曲线)驶向圆曲线(或直线)时，使离心力逐渐增加(或逐渐减小)，以减缓轮对对外轨的冲击。当正线上曲线半径不大于 2000m 时，要在圆曲线与直线间加设缓和曲线，以减少列车在突变点处的轮轨冲击。

列车从直线经由缓和曲线进入圆曲线过程中，应满足行车安全和旅客舒适度的要求。随着列车运行速度的提高，缓和曲线将由三次抛物线改为半波正弦曲线。在半波正弦曲线缓和曲线范围内，与曲率相适应的超高也按曲线变化，并规定适当的变化率。

缓和曲线的长度对行车的安全平顺性有直接影响。缓和曲线的长度应考虑以下因素：

- (1) 外轨超高递增坡度不致使轮对内侧车轮轮缘脱轨；
- (2) 轮对外侧车轮升高速度不致影响旅客的舒适度；
- (3) 未平衡离心加速度的增长率不致影响旅客的舒适度。

3) 夹直线

列车通过同向或反向曲线时，受力情况极为复杂，除因外轨超高使列车绕线路纵轴转动外，还有缓和曲线起点和终点处的冲击以及未平衡离心加速度变化的影响等。因此，必须在同向曲线或反向曲线之间加入一段直线段(即夹直线)。夹直线应尽量长些，特别是反向曲线时的夹直线更应长些，这对运营安全是有利的。

4) 线间距

相邻两线路中心线间的距离,简称线间距。在高速复线铁路上,两列车交会时将产生巨大的会车压力波引起列车横向摇晃,直接影响列车运行性能。因此,需要根据具体情况选择适当的线间距。

日本规定线间距至少为 4.2m,站内线路间距定位 4.6m。法国规定为 4.2m。德国则规定为 4.5m。我国《铁路主要技术政策》中规定:

200km/h 时,线间距 $\geq 4.4\text{m}$;

250km/h 时,线间距 $\geq 4.6\text{m}$;

300km/h 时,线间距 $\geq 4.8\text{m}$;

350km/h 时,线间距 $\geq 5.0\text{m}$ 。

5) 最大坡度

限制坡度的大小对运营和工程两方面均有影响。高速线路的最大坡度除与地形条件有关外,还与高速列车的牵引功率、牵引特性和制动性能有直接关系。东海道新干线的正线最大坡度为 15‰。我国拟建高速铁路区间最大坡度一般不超过 12‰,困难条件下不超过 20‰。

6) 竖曲线半径

在铁路线路的纵断面上,由于列车在经过相邻两坡段的变坡点时会产生附加应力和附加加速度,其值与坡度代数差成正比。因此,在设计纵断面时,相邻坡段的坡度代数差应尽量小些。

在线路纵断面上,以变坡点为交点连接两相邻坡段的曲线,称为竖曲线。竖曲线半径一般采用圆曲线形。竖曲线半径的大小,除应保证列车经过变坡点时车钩不脱钩、车轮不脱轨外,还应考虑在竖曲线上产生竖向离心加速度和离心力对旅客舒适度的影响。竖曲线半径与行车速度有关,行车速度越高,竖曲线半径应越大。

法国 TGV 东南线的竖曲线半径为 25000m。日本除东海道新干线外,其余各线的竖曲线半径均为 15000m。我国拟建高速铁路上的竖曲线半径标准:最高速度为 160~250km/h 时,竖曲线半径为 15000m;最高速度为 250~300km/h 时,竖曲线半径为 20000m。

1.1.4 动车组技术

1. 高速运行出现的主要问题

由于运行速度的提高,在动车组的设计与开发中会遇到普通列车不曾有过的技术问题。

(1) 列车的牵引力是依靠轮轨之间的黏着产生的。增加列车的运行速度,需要提高牵引力。而轮轨牵引力是有一定限制的,超过这个限制值便可能因失去黏着而发生轮轨之间的滑动,并失去牵引力。另外,随着速度提高,轮轨之间的黏着系数会下降,这与需要提高牵引力存在一定矛盾。

(2) 列车需要的功率随速度的三次方增加。因此,随着运行速度的提高,高速列车需要牵引功率将更大。因此,如何在一定的质量和体积的条件下实现大功率的牵引动力又是高速列车面临的一个重要技术课题。

(3) 列车速度提高了,还必须能在一定距离和时间之内停车,又面临着大功率和安全的制动技术问题,依靠传统的制动方法则不能解决高速列车的制动问题。

(4) 列车速度提高,轮轨之间的相互作用力增大,对列车和线路的破坏作用加大。噪声、振动对环境造成的影响增大,列车乘客舒适度下降,列车运行稳定性和脱轨安全性问题突出。

因此, 高速列车轮轨系统动力学便自然成为高速列车区别于普通列车的新课题。

(5) 列车空气动力学也是高速列车不可避免的重要课题。除列车运行阻力之外, 高速列车周围的空气流场及其对周围物体和环境产生的影响、列车会车和通过隧道时短时的气压波动对车体及对车内人员的强力作用、空气升力对列车运行的影响、车厢窗户的强度及密封性能等, 都是必须注意并加以解决的空气动力学问题。

(6) 列车在高速运行条件下, 靠人工操作不可能保证安全, 必须具备一套安全运行自动控制系统, 它不但能监测和控制高速列车在预定的状态下安全运行, 而且还具备智能化较强的诊断系统, 保证操纵控制系统和操作人员能及时获知和及时处理可能发生的故障。

2. 动车组关键技术

由于运行速度的提高, 在动车组的设计与开发中必须相应地解决一系列关键技术。如系统集成技术, 具有新结构和参数的高速转向架, 包括动力制动、空气制动、电磁涡流制动、制动防滑器和控制系统综合作用的复合制动系统, 列车车体结构及材料的轻量化技术, 以交—直—交变流技术为核心的大功率电力传动与驱动技术, 列车外形设计与车厢密封技术, 车内环境控制及卫生排污技术以及列车信息传输等, 如图 1-1 所示。

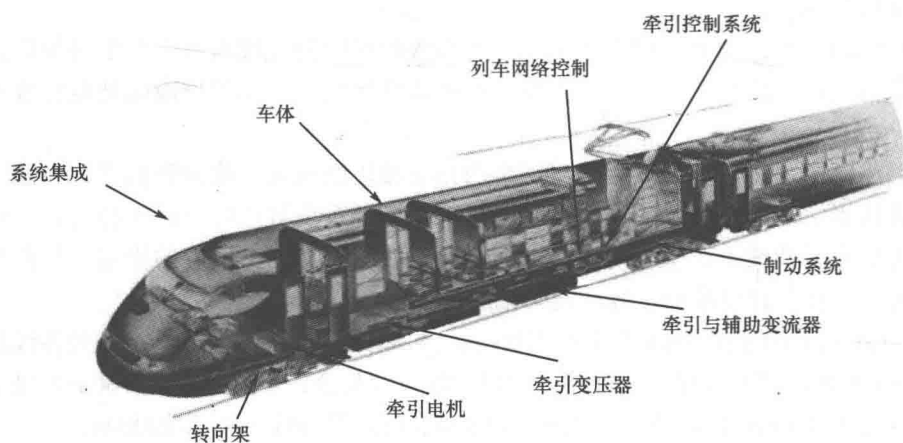


图 1-1 动车组关键技术示意图

1) 系统集成技术

系统集成技术是对动车组车体、转向架以及牵引变流、制动、网络控制、辅助供电、车辆连接等元素按有关参数进行合理选择设计, 进而生产、组装、测试、试验的过程。通过集成使动车组达到牵引、制动、车辆动力学、列车空气动力学、舒适性、安全性等性能要求。

2) 高速转向架技术

高速转向架是高速列车的核心之一。它具有承载、导向、减振、牵引及制动等功能。高速列车首先遇到的是高性能的转向架设计问题。高性能的转向架就好像高速列车的两条腿, 它对列车运行的安全和舒适至关重要。对于高速转向架来讲, 要求具有高速运行的稳定性、平稳性和良好的曲线通过性能。

(1) 高速运行的稳定性。

转向架的稳定性意味着列车在高速运行时, 不发生脱轨和倾覆等安全事故, 即列车是稳定的。什么情况下能保证列车稳定呢? 通常可用蛇行稳定性临界速度 (简称临界速度) 界定列车的稳定性。

列车沿轨道运行时,轮对在沿轨道向前滚动的同时,轮对中心将在轨道中心线附近出现横向振动,就会引起轮对或转向架的蛇行运动。蛇行运动稳定与列车运行速度直接相关。当列车在某一速度以下运行时,即使有一定的线路扰动使列车在横向偏离线路中心位置,当扰动消失后,列车在横向的振动会逐渐衰弱,最后回到线路中间位置,因此列车运动是稳定的。当列车在某一速度以上运行时,线路任何的微小干扰都会使列车在横向产生上述蛇行运动,而且振幅越来越大,直至车轮轮缘碰撞钢轨,损伤车辆及线路,甚至造成列车脱轨和倾覆等行车安全事故。这时列车运行就是不稳定的,这时的速度称为临界速度。

国外高速转向架的试验研究证明,当列车运行速度超过 200km/h 时,有可能出现这种不稳定的蛇行运动。为保证稳定和安全,高速列车必须在其临界速度以下运行。

例如,我国时速 350km 的高速列车转向架理论上的临界失稳速度是 490km/h。为了验证高速转向架的性能,在京一津城际对高速转向架做了大量的线路试验。试验结果表明,在时速 394km 时,脱轨系数只有 0.4(安全值在 1.0 以下)。

(2) 高速运行的平稳性。

转向架的平稳性是指列车在规定的线路条件下、在设计最高速度范围内运行时,设备能平稳工作、乘客感到舒适的基本性能。理论分析和实践经验表明,车辆的垂向和横向运行平稳性随速度提高而下降。在较低速度下平稳性满足要求的列车,在高速运行时就难以满足平稳性要求了。

就乘客而言,舒适度是反映乘客在旅途中疲劳程度的综合性生理指标。影响舒适度的因素很多,如车内设备、通风、照明、温度、湿度、噪声、瞭望和振动等。通常用平稳性指数(W)来表示列车的平稳性,对于高速动车组而言,其平稳性指数必须达到优级。我国动车组在时速 394km 时,平稳性指标小于 2.0(优级 <2.5)。

(3) 良好的曲线通过性能。

列车通过曲线时,如果单独一个轮对在曲线上运行,由于左右轮轨接触点的半径发生变化,外侧车轮半径增大,内侧车轮半径减小,使轮对能够沿曲线自动转向,轮轨之间的侧向力相对较小。但是,一旦构成转向架,轮对就难以实现理想的转向。这时,在车轮和钢轨间将产生侧向压力,并造成车轮、钢轨的磨损。列车低速通过曲线时,轮轨间的磨损问题尚不突出。但列车高速通过曲线时,将产生过大的侧压力,造成轮轨的剧烈磨损,还容易引起列车脱轨和倾覆等安全事故。因此,要尽量减小轮轨之间过大的侧向力作用,使列车安全通过曲线。

一般来说,改善车辆的曲线通过性能与抗蛇行运动稳定性往往是矛盾的。因此在高速转向架设计时,要合理地兼顾两方面的性能要求。此外,在高速转向架设计时还需要控制噪声,尽可能减轻自重,尤其是减轻转向架簧下质量,以减少轮轨之间的动力作用。

3) 车体技术

车体技术主要包括车体结构轻量化设计、优良的空气动力学外形设计、密封性能和隔声性能等。车体结构轻量化是指车体结构在满足结构强度、刚度和安全的前提下,使车体质量最轻。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,就必须最大限度地降低动车组车体的质量。国际铁路联盟(UIC)对高速列车的轴重规定不得大于 17t。

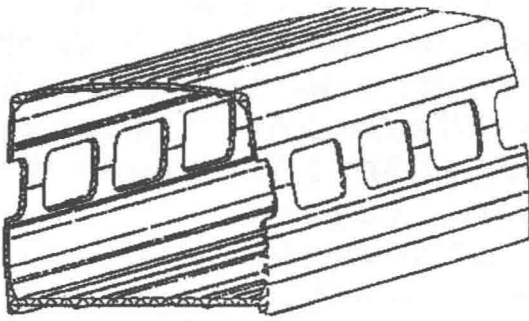


图 1-2 ETR460 型摆式列车车体结构断面图

目前，国内外高速列车车体轻量化有两种途径，一是采用新材料，二是合理的结构优化设计。新材料主要是铝合金和不锈钢，从发展趋势看，铝合金将成为动车组车体的主导材料。铝合金车体普遍采用大型中空挤压铝型材结构，挤压铝型材的长度与车体长度一致，每块型材的宽度为 600~800mm。图 1-2 是意大利 ETR460 型摆式列车车体的铝型材车体结构断面图，由 12 种共 22 块大型中空挤压铝型材组成，全车仅有 22 条纵向焊缝，车体质量只有 7.5t。

优良的空气动力学外形是指动车组头型和车身的流线化设计。随着动车组运行速度的提高，空气的动力作用一方面对动车组运行性能产生影响，同时，动车组高速运行引起的气动现象对周围环境也产生影响。其涉及的主要方面有动车组在不同情况下运行时的车体表面压力及其变化，动车组受到的空气动力学的力和力矩的作用等。其中，动车组运行时的阻力不可忽视。

动车组运行时所受到的基本阻力包括空气阻力和机械摩擦阻力。空气阻力随运行速度的不同而不同，并与动车组运行速度的平方成正比。低速运行时，动车组以机械摩擦阻力为主；运行速度达到 200km/h 左右时，空气阻力约占基本阻力的 70%，运行速度进一步提高，空气阻力所占的比例还将进一步增大。研究表明，空气阻力已成为动车组运行时的主要阻力。

对于动车组来说，头型和车身设计非常重要，好的头型和车身设计可以有效地减少动车组车体表面压力、降低动车组的空气阻力，节约牵引功率，提高动车组运行的稳定性等。图 1-3 所示为 CRH2 型动车组流线化外形。



图 1-3 CRH2 型动车组流线化外形

此外，列车在交会和过隧道的时候，在列车的周边会形成很大的负压，国外实行的气动强度指标是 $\pm 4000\text{Pa}$ 。通过在武广线不同速度下的单列车过隧道、列车隧道交会等试验，证明上述气动强度标准安全裕量已经不多了。为此，中国新一代的高速列车把气动强度的指标提高到 $\pm 6000\text{Pa}$ 。

车体要具有良好的密封性能和隔声性能，这也是高速列车必须要解决的一项关键技术。随着动车组运行速度的提高，特别是当两列动车组在隧道交会时，头、尾车外面的气流压力变化很大。如果车外压力的波动反映到车厢内，将使旅客感到不舒适，轻者压迫耳膜，重则头晕恶心，甚至造成耳膜破裂，参见表 1-4。另外，随着动车组运行速度的提高，所产生的噪声也将增大。车外噪声传到车内，将影响旅客的舒适度，同时，也将造成铁路沿线的环境噪声污染。因此，必须对车厢进行密封和隔声处理，并削弱噪声源以减小对周围环境的噪声污染。

表 1-4 压力波对旅客舒适性的影响

压力变化/kPa	生理学现象	压力变化/kPa	生理学现象
2	可忍受	8	很痛
3	开始不舒适的平均值	>9	强烈疼痛
4	非常不舒服	>13	耳膜可能有破裂
5	不舒服的上限, 开始有耳痛	>23	几乎肯定耳膜有破裂

增加车体气密性主要在车体大断面挤压铝合金型材连续焊接工艺、车窗高性能密封材料、塞拉车门的气压密封及锁紧机构、排水水封装置的气密性能、空调通风连续供排气等方面实现了新的突破。

增加车厢密封性的有效措施之一, 可以采用密闭式集便装置, 实行污物集中处理, 采用密封性能良好的给排水系统。密闭式集便装置在国外高速列车上已有很长的使用历史。其形式也各有不同, 大致有四种形式: 循环式厕所, 使用经过化学剂杀菌、漂白及过滤的污水作为循环冲洗水, 并依靠重力排放到便池下方的污物箱中。真空式厕所, 由空气喷射器喷出高压空气, 使污物箱产生真空, 将污物吸入污物箱, 一次用水量为 0.25~0.5L。以上两种密闭式厕所比较常用。而喷射式厕所和带有生物作用处理箱的净水冲刷厕所, 由于普及率较低, 尚不成熟而未加推广。

高速列车的振动和噪声必须控制得当, 日本的 Fastech360 高速列车就是因为噪声超标而无法实现 360km/h 的运行速度。高速列车降噪措施主要在噪声源的控制、车轮采用降噪的涂料、车与车之间的连接使它更加平滑等。增加车体气密性、降低列车噪声是高速列车关键性的技术措施, 也是高速列车技术水平的集中体现。

密接式车钩缓冲装置也是高速列车不可缺少的装置。密接式车钩缓冲装置是使动车组各车厢之间或动车组与动车组之间实现连挂, 并且传递及缓和动车组在运行时所产生的牵引力或冲击力的牵引缓冲装置, 是保证列车运行安全、提高旅客舒适度的重要部件。高速列车对牵引缓冲装置提出了更高的要求。

各国高速列车普遍采用密接式车钩连接装置, 两密接式车钩连接面之间的纵向间隙一般都小于 2mm, 上下、左右偏移也很小。对提高列车运行的平稳性和电气线路、风管的自动对接提供了保证。

密接式车钩缓冲装置可分为两类: 第一类是用于动车组单元之间的自动密接式车钩缓冲装置, 第二类是用于动车组内部各车厢之间的半永久式车钩缓冲装置。在自动密接式车钩缓冲装置中设置具有较大吸收冲击能量的压溃管, 用作列车实际连挂速度超过规定连挂速度时的过载保护元件。目前, 也将压溃管应用于半永久车钩缓冲装置中, 以起到过载保护作用。

4) 牵引传动系统

牵引传动系统是高速列车性能竞争的核心之一, 主要由牵引变压器、变流器、牵引控制、牵引电机几个不同的部分组成。我国高速列车采用交直交、动力分散牵引传动方式, 其关键技术包括轻量化大容量变压器、大功率变流器、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)控制模块、牵引电机、传动装置等。列车受电弓从接触网上取得的是一定频率和恒定电压(我国为 25kV/50Hz)的电源, 通过主变压器降压, 经整流器整流后输出至逆变器, 由逆变器输出电压和频率均可以调节的三相交流电源来驱动牵引电机, 使牵引电机在所要求的转速和转矩范围内工作, 带动车轮高速运转, 如图 1-4 所示。