

高等教育轨道交通“十二五”规划教材 • 机车车辆类

机车车辆运用与维修

主编 焦风川 王斌杰



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

. 013331473

U268
02

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机

机车车辆运用与维修

焦风川 王斌杰 主编



U268

02

北京交通大学出版社

· 北京 ·



北航

C1640018

874180810 .

内 容 简 介

本书为铁路机车车辆专业专业课程，本课程的目标和任务是使学生了解国内外动车组运用现状、先进维修技术及设备，学习动车组运用、维修基本知识、维修手段及设备，掌握动车组运用、维修及其组织管理基本理论。

本书分为运用、维修两部分。分别介绍动车组运用、维修相关基础知识及原理。运用部分讲解运行图、动车组运行、运用管理基本知识，重点阐述动车组运用组织、动车组的周转、运用指标及分析、运用安全等知识；维修部分以可靠性维修为基本点，内容涵盖动车组维修基本理论（故障机理、故障诊断、故障分析方法及原理）、动车组检修制度及制订检修制度的基本原理、动车组维修的组织及实施。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

机车车辆运用与维修/焦风川，王斌杰主编. —北京：北京交通大学出版社，2012. 12
（高等教育轨道交通“十二五”规划教材）

ISBN 978 - 7 - 5121 - 1309 - 1

I. ① 机… II. ① 焦… ② 王… III. ① 机车 - 车辆运行 - 高等学校 - 教材 ② 机车 - 车辆修理 - 高等学校 - 教材 IV. ① U26

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 298839 号

责任编辑：吴嫦娥 特邀编辑：李晓敏

出版发行：北京交通大学出版社

电话：010 - 51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编：100044

印刷者：北京市德美印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185 × 260 印张：17.25 字数：431 千字

版 次：2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978 - 7 - 5121 - 1309 - 1/U · 123

印 数：1 ~ 3 000 册 定价：36.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。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。

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机车车辆类

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：司银涛

副 主 任：李建勇 陈 庚

委 员：（按姓氏笔画排序）

王文静 史红梅 刘 伟 刘志明

齐红元 宋永增 宋雷鸣 张励忠

张欣欣 周明连

编委会办公室

主 任：赵晓波

副 主 任：孙秀翠

成 员：（按姓氏笔画排序）

吴嫦娥 郝建英 徐 琤

总 序

我国是一个内陆深广、人口众多的国家。随着改革开放的进一步深化和经济产业结构的调整，大规模的人口流动和货物流通使交通行业承载着越来越大的压力，同时也给交通运输带来了巨大的发展机遇。作为运输行业历史最悠久、规模最大的龙头企业，铁路已成为国民经济的大动脉。铁路运输有成本低、运能高、节省能源、安全性好等优势，是最快捷、最可靠的运输方式，是发展国民经济不可或缺的运输工具。改革开放以来，中国铁路积极适应社会的改革和发展，狠抓制度改革，着力技术创新，抓住了历史发展机遇，铁路改革和发展取得了跨越式的发展。

国家对铁路的发展始终予以高度重视，根据国家《中长期铁路网规划》（2005—2020年）：到2020年，中国铁路网规模达到12万千米以上。其中，时速200千米及以上的客运专线将达到1.8万千米。加上既有线提速，中国铁路快速客运网将达到5万千米以上，运输能力满足国民经济和社会发展的需要，主要技术装备达到或接近国际先进水平。铁路是个远程重轨运输工具，但随着城市建设和经济的繁荣，城市人口大幅增加，近年来城市轨道交通也正处于高速发展时期。

城市的繁荣相应带来了交通拥挤、事故频发、大气污染等一系列问题。在一些大城市和一些经济发达的中等城市，仅仅靠路面车辆运输远远不能满足客运交通的需要。城市轨道交通节约空间、耗能低、污染小、便捷可靠，是解决城市交通的最好方式。未来我国城市将形成地铁、轻轨、市域铁路构成的城市轨道交通网络，轨道交通将在我国城市建设中起着举足轻重的作用。

但是，在我国轨道交通进入快速发展的同时，解决各种管理和技术人才匮乏的问题已迫在眉睫。随着高速铁路和城市轨道新线路的不断增加以及新技术的开发与引进，管理和技术人员的队伍需要不断壮大。企业不仅要对新员工进行培训，对原有的职工也要进行知识更新。企业急需培养出一支能符合企业要求、业务精通、综合素质高的队伍。

北京交通大学是一所以运输管理为特色的学校，拥有该学科一流的师资和科研队伍，为我国的铁路运输和高速铁路的建设作出了重大贡献。近年来，学校非常重视轨道交通的研究和发展，建有“轨道交通控制与安全”国家级重点实验室、“城市交通复杂系统理论与技术”教育部重点实验室，“基于通信的列车运行控制系统（CBTC）”取得了关键技术研究的突破，并用于亦庄城轨线。为解决轨道交通发展中人才需求问题，北京交通大学组织了学校有关院系的专家和教授编写了这套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材”，以供高等学校学生教学和企业技术与管理人员培训使用。

本套教材分为交通运输、机车车辆、电气牵引和土木工程四个系列，涵盖了交通规划、运营管理、信号与控制、机车与车辆制造、土木工程等领域，每本教材都是由该领域的专家执笔，教材覆盖面广，内容丰富实用。在教材的组织过程中，我们进行了充分调研，精心策划和大量论证，并听取了教学一线的教师和学科专家们的意见，经过作者们的辛勤耕耘以及编辑人员的辛勤努力，这套丛书得以成功出版。在此，我们向他们表示衷心的感谢。

希望这套系列教材的出版能为我国轨道交通人才的培养贡献绵薄之力。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，教材中难免会有诸多的不足和欠缺，在此诚请各位同仁、专家不吝批评指正，同时也方便以后教材的修订工作。

编委会
2012 年 12 月

出版说明

为促进高等轨道交通专业机车车辆类教材体系的建设,满足目前轨道交通类专业人才培养的需要,北京交通大学机械与电子控制学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线教师为主体、联合其他交通院校教师,并在有关单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材·机车车辆类”。

本套教材的编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材得到从事轨道交通研究的众多专家、学者的帮助和具体指导,在此表示深深的敬意和感谢。

本系列教材从2012年1月起陆续推出,首批包括:《设计与制造公差控制》、《可靠性工程基础》、《液压与气动技术》、《测试技术》、《单片机接口技术》、《计算机辅助机械设计》、《控制理论基础》、《机械振动基础》、《动车组网络控制》、《动车组运行控制》、《机车车辆设计与装备》、《列车传动与控制》、《机车车辆运用与维修》。

希望本套教材的出版对轨道交通的发展、轨道交通专业人才的培养,特别是轨道交通机车车辆专业课程的课堂教学有所贡献。

编委会
2012年12月

前 言

在铁路跨越式发展的进程中，我国通过引进高速动车组、交流传动大功率机车，使我国铁路机车车辆达到了国外先进水平，现代机车车辆已经成为结构复杂、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高速、重载铁路运输的安全与效益。

机车车辆水平的提高对运用方式、管理方法、检修制度、运用维修人员提出了更高的要求。传统的模式已不能适应目前的发展，尤其是对高速列车的维修，已经发展成为一门综合性学科，必须运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，对高速列车实行高效、完备的运用维护，保证其运用可靠性。同时，也必须有一支高素质、高水平的运用维修技术队伍和管理队伍。

本书是适应目前铁路现场需求，在铁道部动车组高级技术班培训讲义的基础上修改、完善而成。目标是提升运用与维修人员的现代维修理念，重视机车车辆整个寿命周期内的各项维修活动，大力推行以可靠性为中心的、分层次的、多样灵活的维修模式。全书分为两篇，第1篇为动车组运用知识，介绍了动车组运用管理所涉及的基础业务知识，铁道部颁布的动车组专项管理规定，重点是动车组运用管理及动车组的周转。第2篇系统介绍机车车辆的维修系统理论、保障体系，详细阐述适应现代维修的可靠性基础知识及已逐渐成为机车车辆维修支撑技术的故障诊断、分析技术；机车车辆及其配件的寿命管理；国内外维修制度的形成与发展；以信息化为基础建立的我国动车组维修体系。

本书面向铁路机车车辆运用、维修领域，可作为专升本、本科教学的教材及参考书。可根据教学对象先修知识、层次，选择讲授不同的内容，使学员通过学习能够成为适合机车车辆、动车组运用和检修的工程技术人员和管理人员。

本书由焦风川、王斌杰主编，编写分工为：王斌杰编写动车组运用工程部分第1章、第2章及动车组维修部分第6章、第7章、第9章；焦风川编写动车组运用工程部分第3章、第4章、第5章及维修工程部分第8章、第10章、第11章。在编写过程中，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

2012年12月于北京

目 录

第 1 篇 动车组运用工程

第 1 章 概述	2
1.1 动车组运用特点	2
1.2 国外动车组运用简介	13
1.3 我国高速动车组概况	15
复习参考题	22
第 2 章 动车组运用基础	23
2.1 列车运行	23
2.2 列车运行图	27
复习参考题	36
第 3 章 动车组运用管理	37
3.1 运用管理组织及内容	37
3.2 动车组运用方式及制度	40
3.3 周转图	45
3.4 运用指标	49
复习参考题	51
第 4 章 动车组专业管理规定	52
4.1 动车组专业管理	52
4.2 动车组运行	60
4.3 动车组停放防冻管理办法	63
第 5 章 动车组运用所基本管理制度	65
5.1 检修计划管理制度	65
5.2 安全防护管理制度	65
5.3 随车机械师出退乘交接管理制度	66

5.4 检修信息管理制度	67
--------------------	----

第 2 篇 动车组维修

第 6 章 维修概述	70
6.1 维修的定义及基本范畴	70
6.2 维修理论概述	73
6.3 动车组维修的分类	76
复习参考题	80
第 7 章 动车组维修可靠性基础	81
7.1 概述	81
7.2 可靠性预计	100
7.3 故障的可靠性分析	102
7.4 动车组的维修性	128
7.5 动车组寿命周期费用分析	134
复习参考题	144
第 8 章 故障检测、诊断技术	146
8.1 概述	146
8.2 测试性	149
8.3 故障诊断技术	152
8.4 列车运行状态监测、诊断系统	169
复习参考题	171
第 9 章 动车组寿命及其管理	172
9.1 寿命的定义及分类	172

9.2 寿命的确定方法.....	174	第 11 章 动车组维修的组织与管理.....	211
9.3 寿命管理.....	176	11.1 高速动车组维修概述	211
9.4 动车组及其零部件延寿		11.2 维修机构	216
措施.....	179	11.3 主要检修设备	227
复习参考题	182	11.4 检修流程	236
第 10 章 维修制度.....	183	11.5 动车组检修管理与人员	
10.1 基本概念	183	培训	249
10.2 维修间隔期的确定	187	11.6 信息化的维修管理	256
10.3 维修级别的分析	193	复习参考题	260
10.4 以可靠性为中心的维修		附录 A 模拟试题	261
制度	196	A1 模拟试题一	261
10.5 高速列车的维修制度	202	A2 模拟试题二	262
复习参考题	210	参考文献	264

第 1 篇 动车组运用工程

- 第 1 章 概述
- 第 2 章 动车组运用基础
- 第 3 章 动车组运用管理
- 第 4 章 动车组专业管理规定
- 第 5 章 动车组运用所基本管理制度

第1章

概 述

【本章内容概要】

讲述动车组的特点，动车组的关键技术，介绍了我国各型动车组的技术参数和编号方法。

【本章学习重点与难点】

学习重点：明确动车组的关键技术；动车组的编码规则；我国动车组的技术参数。

学习难点：需要读者在掌握相关知识的基础上，能够深入分析动车组高速运行中出现的问题。

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，将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

世界各国时速200公里及以上动车组主要分布见表1-1。

表 1-1 世界各国时速 200 公里及以上动车组主要分布

国家	动车组型号及最高运行速度		动车组数量	动车组制造商	营业里程/km
	动车组型号	最高运行速度/(km/h)			
日本	0 系	210	400 列	川崎重工、日立、日本车辆、东急车辆、近畿车辆	2300
	300 系	270			
	500 系	300			
	700 系	285			
	200 系	240			
	E2、E3	300			
	E4	240			
法国	TGV - P	270	460 列	阿尔斯通	1580
	TGV - A	300			
	TGV - 2N	300			

续表

国家	动车组型号及最高运行速度		动车组数量	动车组制造商	营业里程/km
	动车组型号	最高运行速度/(km/h)			
德国	ICE - 1	280	220 列	西门子	4800
	ICE - 2	280			
	ICE - 3	330			
	ICE - T	230			
西班牙	AVE	300	24 列	阿尔斯通、西门子	471
意大利	ETR450	250	102 列	菲亚特	237
	ETR460	250			
	ETR470	250			
	ETR500	300			
韩国	KTX	300	46 列	阿尔斯通	412
中国	CRH 系列	350	811 列	中国南车、北车集团公司	5575

1. 1. 2 高速动车运用特点

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，就能吸引更多的客流。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 3 min。以日本东海道新干线为例，最小追踪列车间隔时间为 4 min，每日运行 18 h，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。赢得客流的重要手段。西班牙规定高速列车晚点超过 5 min 要退还旅客的全额车票费，自投入运营以来，其列车正点率高达 99.6% 以上；日本规定到发超过 1 min 就算晚点，晚点超过 2 h 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 0.3 min。

4. 高可靠性

安全是高速铁路永远的主题，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，最大限度提高动车组的运用效率。如日本的 CSMOS 系统、法国的 CTC 系统、庞巴迪的 MAXIMO 等。

1.1.3 动车组特点

1. 动车组的动力配置型式

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

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）。

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一

动车组集中型优点	动力分散型缺点
它与传统的列车相似，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二

动力分散型优点	动车组集中型缺点
动力车不但能够提供列车牵引力，同时可以容纳旅客，增加了动车组的载客量	动力头车不能载客，相对减少了载客量
将牵引动力设备和牵引电机的功率和重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，减轻设备重量比较困难，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下列特点。

(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时间。耗时越少,被选择的可能性就越大。

(2) 安全性和舒适度。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。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。高速铁路为全天候行车,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,总用地约为铁路的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,估计为1300万~2500万元。每个坐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5万元左右。

(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2500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碳为0.109kg,公路为0.902kg,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。欧共体国家用于解决公路堵塞的费用约占国民生产总值的2.6%~3.1%,总金额在900~1100美元之间,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,曲线包括圆曲线和缓和曲线。

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,则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:

- 外轨超高递增坡度不致使轮对内侧车轮轮缘脱轨;
- 轮对外侧车轮升高速度不致影响旅客的舒适度;
- 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。法国规定线间距为4.2m。德

国则规定线间距为 4.5 m。我国《铁路主要技术政策》规定:

200 km/h 时, 线间距 ≥ 4.4 m;

250 km/h 时, 线间距 ≥ 4.6 m;

300 km/h 时, 线间距 ≥ 4.8 m;

350 km/h 时, 线间距 ≥ 5.0 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 25 000 m。日本除东海道新干线外, 其余各线的竖曲线半径均为 15 000 m。我国拟建高速铁路上的竖曲线半径标准为: 最高时速为 160 ~ 250 km/h 时, 竖曲线半径为 15 000 m; 最高时速为 250 ~ 300 km/h 时, 竖曲线半径为 20 000 m。

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以下技术问题。

(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, 高速列车需要的牵引功率将更大。因此, 如何在一定的重量和体积的条件下实现大功率的牵引动力又将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, 这将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, 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回避的重要课题。除列车运行阻力之外, 高速