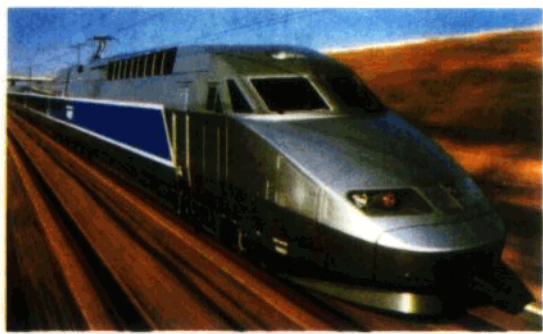


西南交通大学出版社

铁路继续教育系列教材

铁路工务

铁道部人事司 组织编写
铁道部人才交流培训中心



铁路继续教育系列教材编委会

主任	华茂昆			
副主任	费克勤	安立敏	温继武	
编委	杨友根	吴 风	丁圻墀	宋凤书
	胡东源	卢祖文	曹 菁	柳呈祥
	于 川	许守祐	章根明	柴浦安
	顾 聪	蔡申夫	刘国祥	王申庆
	何 璧	张玉秀	杨安立	吴信然
	王 成	朱克勤	赵建国	张全寿
	黄大光			

《铁路工务》编委会

主 编	孙国瑛	沈善良		
主 审	卢祖文	孟庆伶		
编 委	孙国瑛	沈善良	刘学毅	罗 强
	李亚东	赵人达	谭玉兰	胡 桦
	陆瑛玮	李庆鸿	徐富明	徐晓东

序 言

《铁路继续教育系列教材》，是对铁路专业技术人员进行继续教育的基础读本。它的问世，对于抓好铁路继续教育，提高铁路专业技术队伍的素质是有益的。

铁路是我国交通运输的骨干。在加快改革开放和发展社会主义市场经济的新形势下，铁路面临着新的机遇和挑战。为把我国铁路现代化建设事业全面推向21世纪，我们必须以十五大精神为指导，加快铁路改革与发展，实施科教兴路战略，使铁路从传统产业逐步走向现代化。

实现铁路现代化，关键是科技，基础在教育。加快铁路科技进步，提高铁路专业技术队伍的素质，直接关系到铁路现代化的进程，现代科技发展日新月异，世界铁路在高速技术、重载技术、管理技术、安全技术和信息技术等方面取得了重大进展。为了适应新的形势，必须对全路专业技术人员广泛开展继续教育。

为了搞好铁路专业技术人员的继续教育，编写一套好的教材是非常重要的。《铁路继续教育系列教材》反映了现代科学技术发展的水平和铁路企业技术进步的特点，兼顾了教材理论体系的系统性和专业人员选修的适用性，对专业技术人员了解和把握本专业学科领域国内外科技发展动态，学习掌握先进的技术、理论和方法等会有帮助。希望全路各级组织、各级领导都来关心继续教育的工作。各单位要根据实际，以这套教材为基础读本，切实抓好继续教育的工作。全路广大专业技术人员要通过继续教育，不断更新知识内容，拓宽知识面，为我国铁路现代化建设事业作出新贡献。

这套教材由铁道部人事司、人才交流培训中心组织各方面的专家、教授和学者编写，部机关有关司局进行指导和审定，在此，我谨向为这套教材的编写、出版倾注了大量心血的所有工作人员表示衷心的感谢。

傅 玉 震

一九九七年十二月一日

前 言

为了适应我国铁路现代化发展的需要,进一步提高铁路科技人员的素质,在铁道部人事司、人才交流培训中心的组织领导下,编写了这本《铁路工务》继续教育教材。

继续教育的宗旨,是使专业技术人员的知识和技能不断得到纳新、充实、拓展和提高,不断完善知识结构,提高创新能力和专业技术水平。因此继续教育的内容有别于普通大学的教材内容,是在过去所受教育的基础上,结合本职工作的特点,补充有关专业方面的新理论、新技术、新方法、新信息。基于这一指导思想,本书收集了近十几年的大量文献资料,尽可能反映铁路工务现代化方面的科技成果。但由于本书覆盖面较宽,涉及诸多学科,又因篇幅的限制,不可能编入所有内容,系统性方面也没作重点考虑。本书含铁路轨道、路基、桥梁、隧道四方面的内容,适用于从事铁路工务工作的在职专业技术人员。学习本书时,应结合本职工作及发展的需要,选取书中的有关内容。本书也可作为相关专业在校学生学习的参考书。

本书在编写及审稿过程中,始终得到铁道部工务局、铁道科学研究院铁建所等部门的关心和支持,提供了许多资料,并对教材内容提出了许多宝贵意见。本书在编写时,由于参考的文献资料较多,书后仅列出主要参考文献。在此,谨向对教材给以帮助指导的专家、领导,文献资料的作者及单位表示衷心的感谢。

铁路工务继续教育教材正式出版在我国还是首次,尚缺乏经验,又由于编者水平的限制,定有许多不足甚至错误之处。恳请各位专家、读者批评指正,有待再版时进一步修改订正。

本书的编写工作由西南交通大学和上海铁路局完成。孙国瑛、沈善良主编,卢祖文、孟庆伶主审。参加各章编写的人员有:

第一篇 铁路轨道,第一章 孙国瑛;第二章第一、四节 王平;第二、三节 孙国瑛;第三章 黄时寿、李永河、高亮;第四章 李成辉;第五章 王平;第六章 刘学毅、杨美玲(第三节);第七章 周伟、李可为。

第二篇 铁路路基,第一章 蔡英;第二章 曹新文;第三章 刘昌清;第四章 梁波;第五章 罗强;第六章 左德元;第七章 郑新业。

第三篇 铁路桥梁,第一章 李亚东、赵人达;第二章 董政云、沈善良;第三章第一节 李亚东、蒋国麟;第二、三节 李亚东、赵人达;第四节 赵人达;第四章 李亚东、赵人达;第五章第一节 郑新业;第二节 周述华;第六章 唐继舜。

第四篇 铁路隧道,第一章第一、二节 谭玉兰;第三节 董政云;第二章 谭玉兰;第三章 姚源道;第四章第一节 谭玉兰;第二节 周敏峰;第五章 谭玉兰。

编者

1997年12月

目 录

第一篇 铁路轨道

第一章 重载、高速铁路的轨道	1
第一节 重载、高速铁路发展概况	1
第二节 重载、高速铁路对轨道结构的要求	5
第三节 高速铁路的曲线轨道几何形位	9
第二章 轨道结构	14
第一节 钢轨	14
第二节 高速道岔	20
第三节 新型混凝土轨枕及扣件	27
第四节 道床及道碴	33
第三章 无缝线路	37
第一节 无缝线路的动态稳定性	37
第二节 桥上无缝线路	42
第三节 超长无缝线路	52
第四章 轨道结构设计理论	58
第一节 概述	58
第二节 轨道竖向分析理论	60
第三节 轮轨系统振动分析理论	64
第四节 轨道横向受力分析	67
第五章 轨道变形与安全理论	71
第一节 轨道不平顺的种类	71
第二节 轨道状态的综合评定	72
第三节 轨道不平顺与安全	76
第四节 道床的沉降规律及其病害整治	83
第六章 轨道科学管理	87
第一节 轨道检测	87
第二节 线路维护管理	93
第三节 工务设备技术管理	98
第四节 计算机在轨道管理中的应用	101
第五节 重载、高速轨道管理特点	106
第七章 养路机械	109
第一节 养路机械的特点和现状	109

第二节 “MDZ”机组	110
第三节 大型道床清筛机械	115
第四节 其它大型养路机械	118
主要参考文献	122

第二篇 铁路路基

第一章 路基工程的新发展	124
第一节 概述	124
第二节 路基的荷载	129
第三节 路基基床	137
第二章 基床病害特点及防治	142
第一节 基床病害的分类及特征	142
第二节 基床病害的成因及形成过程	144
第三节 基床病害的分级	146
第四节 基床加固与基床病害防治	148
第三章 轻型支挡结构	154
第一节 支挡结构设计中的土压力问题	154
第二节 加筋土挡土墙	157
第三节 锚定板挡土墙	159
第四节 卸荷板式挡土墙	161
第五节 锚杆挡土墙和对拉式挡土墙	163
第四章 软土的工程特性及路基工程处理新技术	166
第一节 软土的工程特性	166
第二节 软土地基的处理方法	167
第三节 软土地区路基工程的处理新技术	169
第五章 膨胀土(裂土)的工程特性与路基边坡病害防治	176
第一节 膨胀土(裂土)的分布与危害	176
第二节 膨胀土(裂土)的工程特性与判别标准	177
第三节 膨胀土(裂土)路基边坡的病害与防治	182
第六章 滑坡的预防与整治	187
第一节 引言	187
第二节 滑坡滑移的原因	188
第三节 滑坡的预防措施	189
第四节 滑坡的整治措施	190
第七章 路基防洪	198
第一节 铁路水害	198
第二节 路基抗洪能力	200
第三节 铁路防洪对策	203

第三篇 铁路桥梁

第一章 当代铁路桥梁的发展	209
第一节 铁路桥梁技术现状和发展趋势.....	209
第二节 既有桥梁的现状.....	213
第三节 高速重载运输对桥梁的要求.....	214
第二章 桥梁养护维修	218
第一节 桥梁养护维修的基本要求.....	218
第二节 桥梁养护维修的基本方法.....	219
第三节 桥梁养护维修的基本内容.....	223
第三章 桥梁荷载试验和状态评估	227
第一节 桥梁荷载试验.....	227
第二节 桥梁承载能力评估(检定).....	236
第三节 钢梁疲劳与剩余寿命评估.....	246
第四节 既有混凝土桥梁的耐久性.....	260
第四章 桥梁加固	267
第一节 概述.....	267
第二节 梁桥加固技术.....	268
第三节 桥梁墩台和基础的加固.....	274
第四节 拱桥加固.....	277
第五节 列车快速区段桥梁加固.....	278
第六节 桥梁加固的技术经济效益分析.....	280
第五章 桥梁防灾	282
第一节 桥梁防洪与防护.....	282
第二节 桥梁抗震与设防.....	286
第六章 桥梁损伤评估及对策专家系统	291
第一节 专家系统及其在桥梁工程中的应用.....	291
第二节 桥梁损伤评估专家系统的评估方法.....	292
第三节 桥梁损伤评估及对策专家系统.....	295
主要参考文献.....	298

第四篇 铁路隧道

第一章 铁路隧道维修养护技术的现状和发展	300
第一节 国外铁路隧道的维修养护管理技术.....	300
第二节 我国铁路隧道的维修养护现状.....	304
第三节 铁路隧道管理的基本内容.....	304

第二章 隧道状态检测与评估	306
第一节 隧道的检查.....	306
第二节 隧道状态观测系统的建立.....	308
第三节 隧道衬砌结构状态的评估与耐久性预测.....	317
第三章 隧道病害整治	329
第一节 隧道衬砌裂损病害整治.....	329
第二节 隧道渗漏水病害整治.....	331
第三节 隧道防腐蚀方法.....	338
第四节 隧底及整体道床病害整治.....	341
第五节 洞口及洞门病害整治.....	342
第六节 严寒地区隧道病害的防治.....	343
第四章 隧道通风与照明	346
第一节 隧道有害气体的综合防治与通风设施.....	346
第二节 隧道照明.....	357
第五章 隧道养护维修的专家系统	365
第一节 铁路隧道病害(变异)诊断专家系统.....	365
第二节 隧道病害整治专家系统.....	369
主要参考文献.....	370

第一篇 铁路轨道

第一章 重载、高速铁路的轨道

第一节 重载、高速铁路发展概况

自 1825 年英国修建了世界第一条铁路以来,铁路运输对推动社会和经济的向前发展起到了极其重要的作用。但随着经济的高速发展以及交通工具的现代化、多样化,铁路面临激烈的市场竞争。在货运方面,为了降低运输成本,各国先后发展了适合本国具体条件的各种形式的重载运输;而在客运方面,面临航空与高速公路的竞争,提高行车速度成了唯一的出路。当今货运重载化、客运高速化是世界铁路发展的趋势,综合反映了世界铁路的科技水平。

一、重载运输

(一) 重载运输的主要模式

1. 北美式重载单元列车。这种多行驶在货运为主或货运专用线上,列车重量大、密度小。列车由大功率机车双机或多机牵引,车辆为轴重 26 吨~30 吨、大容积百辆以上专用同型货车组成,直接往返于矿山、工厂、电站、港口之间。

2. 前苏联超长超重列车和合并列车。这种多行驶在客货混跑铁路上,列车密度大,以提高运能为主要目的。列车由大功率机车和大型车辆组成,轴重一般为 22 吨~25 吨。

3. 加拿大式的由几个车组编成的始发直达重载列车。这种列车到达同一车站而有不同的货主,每个车组前部都有机车,到站后每个车组联同机车分别摘挂驶向各自货主的专用线。

(二) 国外重载铁路的发展

铁路重载运输发展较快的国家,多是土地辽阔、资源丰富、工农业有一定发展水平,且铁路货运量占运输业比重较大,如美国、加拿大、澳大利亚、前苏联等。

1. 美国。美国铁路以货运为主,铁路线长且多是单线。在与其他运输方式的竞争中,正大力发展重载运输,其主要形式是采用重载单元列车。重载单元列车是采用同型载重量大的货车,编成长而重的列车,固定编组,在固定的到发站间循环直达运输,而且是由一个货主,运送同一品种货物,固定一种车型,同时达到产、运、销三方面配合协调,保证货物运输和装卸达到高效率,以降低运输成本为主要目的。

美国铁路在发展重载运输中,为提高技术经济效益和保证行车安全采取了以下主要措施:对线路进行改建或加强;采用新型重载车辆;发展高效率装卸设备;重载列车多机遥控装置;改善列车运行与运输组织工作;加强轮轨动力学的研究试验。

2. 前苏联。前苏联铁路的货运量、货物周转量、货运密度以及货物列车密度均居世界首位。许多干线都是客货共运,提高运输能力主要是依靠提高列车重量,发展重载运输。其主要特征是行驶超长超重列车,组织合并列车,发展直达运输,以提高运能为主要目的。主要措施

有延长站线长度,强化轨道结构等。

3. 加拿大。加拿大幅员辽阔,矿产资源丰富,铁路运输以货运为主,特别是煤、矿石、谷物等大宗产品是铁路运输的主要货源。重载运输形式基本上属于北美式重载单元列车。轴重大约30吨左右,牵引重量达到万吨以上。此外还发展了由几个车组成或几个短小列车编组而成,每个车组前部都有机车,这种重载列车可以直达同一到达站而有不同收货人,列车在到达站,各车组可以摘挂、分别驶向各自收货人的专用线。

(三) 中国铁路的重载运输

我国幅员辽阔,矿产丰富,工业布局偏于沿海,地处国土的东北和南部,而原材料、燃料产地集中于西部和北部。铁路货运量中煤炭、矿石、建筑材料等大宗散装货物约占总运输量的70%以上,其中煤炭将占全部铁路货运量的40%以上,而且大部分货流稳定,流向集中,基本上是由西向东,由北向南。这些条件为发展重载运输提供了可靠的货源基础。

中国铁路的重载运输首先是从华北地区开行煤炭组合列车开始的,1984年11月在大同至秦皇岛间开行了我国第一列组合列车,列车重量为7400吨(由两列3700吨列车合并)。继之先后于沈山线、石德线、平顶山至江岸西段开行了不同数量的组合列车。这些重载列车的运行,均取得了明显的经济效益和社会效益。

从我国开行重载列车以来的运营实践看,重载运输的组织形式可采用以下方式。

1. 整列式重载列车。在运量大且流向集中的线路上,开行5000吨以上长重列车,其组织形式与普通列车相似,一次编组,途中没有改编作业。京广线现代化改造后开行重量5000吨货物列车,输送能力可提高30%~40%,扩能效果显著。

2. 单元式重载列车。对于货运量大,流向集中的线路,开行重载单元列车经济效益更为明显。此种列车由机车车辆固定组成一个运营化单元,实行固定机车、固定车辆、固定编组、单一品种、单一到站,在装车站与卸货站间循环直达运行,列车重量一般在6000吨~10000吨以上。新建的大秦线就属于此类型,它是运煤专线,承担晋煤外运任务,大秦线是我国第一条现代化重载铁路。

3. 组合式重载列车。组合列车是把两列以上的普通列车,首尾相接,连挂在一起占用同一条运行线行驶,有合有分,方便灵活。这种行式投资少,见效快,是迅速提高繁忙干线运能的有效措施。

铁路重载运输是运输组织形式的重大改革,是一个国家铁路运输科技水平的综合体现。我国铁路发展重载运输要求扩能与效益并重,而提高运输经济效益是铁路重载运输发展的核心动力;提高货车轴重又是我国铁路发展重载运输的技术关键。在我国开行重载运输的时间还不太长,有许多技术问题还需进一步研究解决。如轨道结构的强化和养护维修的加强;发展大功率机车、大型车辆,完善配套技术,包括车钩、制动、缓冲装置、双机或多机牵引的重联技术、通信信号设备配套等。

二、高速铁路

(一) 高速铁路的主要模式

铁路速度的分挡一般定为:时速80~120 km称为常速;时速120~160 km称为快速;时速160~200 km称为准高速,时速200~400 km称为高速;时速400 km以上称为特高速。

当今世界上建设高速铁路的模式有以下几种:

1. 日本新干线模式:全部修建新线,旅客列车专用;

2. 法国 TGV 模式:部分修建新线,部分旧线改造,旅客列车专用;
3. 德国 ICE 模式:全部修建新线,旅客列车和货物列车混用;
4. 英国 APT 模式:即不修建新线,也不对既有线进行大量改造,主要靠采用由摆式车体的车辆组成的动车组,旅客列车和货物列车混用。

(二) 国外高速铁路的发展

从本世纪开始,德、法、日本等国都开展了大量的有关高速列车的理论研究和试验工作,1903年10月德国用电动车首创了试验速度达210 km/h的历史记录,1955年3月,法国用两台电力机车牵引三辆客车,试验速度达到了331 km/h。

1. 日本。1964年10月,日本修建的世界上第一条高速铁路——东海道新干线正式投入运营,时速达到210 km,旅行速度比原有铁路提高一倍,且票价较飞机便宜,从而吸引了大量旅客。西日本铁路公司于1997年投入使用的希望号新型列车,在东海道新干线广岛至小仓区间的列车运行技术速度达到261.8 km/h,新大阪至博多之间,列车旅行速度已达到242.5 km/h。继后又陆续建成山阳、东北、上越等新干线,目前高速线路里程已达1831.5 km。并计划再修建5000 km高速铁路,成为日本陆地交通运输网的支柱。

2. 法国。1981年修建了法国的第一条高速铁路(TGV东南线),列车时速达270 km;后来又建成了TGV大西洋线,时速达到300 km,1990年5月13日试验的最高记录已达515.3 km/h,可使运营速度达到400 km/h。法国的高速铁路后来居上,在一些技术、经济指标上超过日本而居世界领先地位。现已有高速铁路700多公里,而且由于TGV列车可以延伸到既有线上运行,因此TGV的总通车里程已达2559 km。

3. 瑞典。1990年第一列摆式列车(X2000型)在瑞典主要干线斯德哥尔摩至哥德堡间投入运营,最高时速达200 km。X2000摆式列车在曲线上运行能将原来的限制速度提高30%,主要依靠两项先进技术,一是采用了柔性径向自导向架,二是列车车体采用了摆式系统。图1-1-1是X2000的车体倾摆机构示意图。对于山区铁路提速,采用摆式列车是一项值得借鉴的经验。山区铁路由于受地形条件的限制,加大曲线半径很困难,而摆式车体可以通过车体在曲线上向内倾摆以达到部分补偿欠超高的目的,以提高客车在曲线上通过的容许速度。

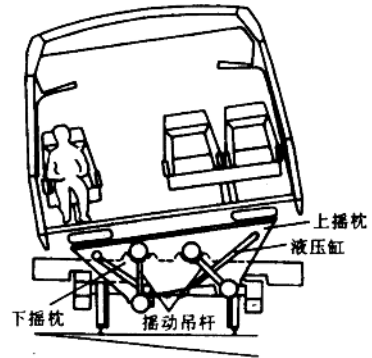


图 1-1-1 X2000 型车体倾摆机构示意

(三) 磁悬浮铁路

磁悬浮铁路属高速铁路范畴,但它与传统铁路有很大的不同。在传统铁路上运行的列车,是靠机车作为牵引动力,以钢轨和轮缘作为运行导向设备,由铁路线路承受压力,借助车轮沿钢轨滚动前进。而在磁悬浮铁路上运行的列车,是利用电磁系统产生的吸引力或排斥力将车辆托起,使整个列车悬浮在线路上,利用电磁力进行导向,并利用直线电机将电能转换成推进力来推动列车前进的。图1-1-2为德国的磁悬浮列车。

与传统铁路相比,磁悬浮铁路由于没有轮轨接触,因而无磨擦阻力;无机械振动和噪音,无废气排出和污染,有利于环境保护;能充分利用能源,获得较高的运输效率;列车运行平稳,能提高旅客的舒适度;由于磁悬浮系统采用导轨结构,不会发生脱轨和颠覆事故,提高了列车运

行的安全性和可靠性。磁悬浮线路垂直负荷小,适合于高速运行,时速可达 500 km 以上,是一种很有竞争力的交通工具。

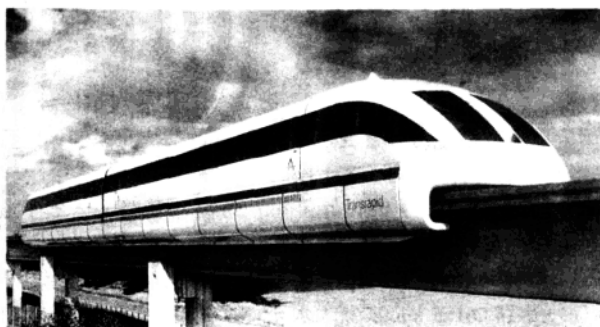


图 1-1-2 磁悬浮列车

磁悬浮列车虽然没有轮轨接触,但仍需要线路设备作为基础,作为一个坚实的支承和导向系统。磁悬浮铁路的悬浮、导向和推进设备,一部分安装在车辆上,另一部分安装在线路上,因此线路结构必须与之相适应,故对线路结构的要求是十分严格的。磁悬浮线路可修建在路基上或类似地下铁道的隧道内,但采用最多的是修建在高架桥上的高架式线路。

磁悬浮列车的研究以德国和日本起步最早,日本主要是采用超导型,而德国是采用常导型。日本于 1975 年着手修建宫崎试验线,1979 年 12 日在试验线上创造了时速 517 km 的记录。德国于 1983 年在曼姆斯兰德修建了一条 32 km 长的试验线,在该线上创造了时速 412 km 的记录;德国已于 1995 年开始修建柏林至汉堡磁悬浮列车专线,全长 286 km,时速为 420 km,即用不到一小时可跑完全程。该线计划 2003 年开始运行。

我国对磁悬浮列车的研究起步较晚,但随着高速运行发展的需要,我国一些高校和研究单位从 80 年代初开始研究常导型磁浮列车,现已取得可喜成果。日前国家科委已正式发文批复,将“成都市磁浮列车工程示范线关键技术研究”,作为“八五”项目延续纳入国家攻关计划。目前,青城山磁浮列车示范线已进行工程设计和工程准备。

(四) 我国铁路的行车速度

随着我国市场经济的高速发展,面临航空与高速公路的激烈竞争,提高铁路客运速度迫在眉睫。根据我国的国情,客运提速恐难一步到位,要根据不同地区经济发展情况,既有线在路网中的作用、位置、能力紧张情况的不同,分步走提速、准高速、高速的路子。

根据 1994 年铁道部新颁布的《铁路主要技术政策》,对我国铁路的提速问题,按三个不同层次提出了行车速度的目标值。

1. 在沿海经济发达、客流集中的东部走廊,发展最高时速 250 km 及其以上的高速客运专线,其线桥等固定设备的主要技术条件按最高时速 350 km 预留;准高速线路最高时速 160 km。

2. 繁忙干线上旅客列车最高时速 140 km,货物列车最高时速 90 km。

3. 其它线路上旅客列车最高时速逐步提高到 80 ~ 100 km。

1997 年铁道部下达的《“九五”期间铁路四大干线提速规划》中,要求在保证安全的条件下,提速区段的快速客车最高时速为 140 ~ 160 km,一般客车最高时速为 120 km。现在上海至

南京时速已提到 140 km;我国修建的第一条准高速铁路广深线,已于 1994 年底通车,时速达 160 km;北京至上海间可望修建成我国第一条高速铁路,目前正在进行前期工作。

目前我国《铁路线路设计规范》正在全面修订过程中,在 1997 年 10 月提出的送审稿中,将旅客列车最高行车速度由原来的 120 km/h 提高到 140 km/h。另外根据不同线路条件采用并合理匹配不同层次技术和装备的原则,规定了路段旅客列车设计行车速度,从而避免因相关技术标准一刀切造成的经济损失,达到减少投资提高效益的目的。路段旅客列车设计行车速度是根据铁路等级、地形类别、线路平纵面条件等因素确定,具体规定见表 1-1-1。

表 1-1-1 各级铁路路段旅客列车设计行车速度

铁路等级		I		II	III
正线数目		双线	单线	单线	单线
地形类别	平原	140	120	120、100	100、80
	丘陵	140、120	120、100	100、80	80
	山区	120、100、80	100、80	100、80	80

第二节 重载、高速铁路对轨道结构的要求

一、高速铁路的合理轨道结构

高速铁路运输是一个系统的高技术工程,主要涉及机车车辆工程、线路工程、信号及控制工程等技术领域,彼此之间既相对独立又密不可分。轨道是列车运行的基础设备,高速铁路的合理轨道结构应满足在最佳技术经济条件下能适应高速列车的运行。

(一) 高速铁路合理轨道结构应具备的基本条件

高速铁路合理轨道结构应具备以下三个基本要求:

1. 轨道结构应具有良好的动力特性。由于高速列车轮轨系统的振动加速度、未被平衡离心加速度、冲击动能等均与速度的平方成比例,所以随着速度的提高,动力作用急剧增加,导致轨道变形加速、部件损伤加快、脱轨可能性加大、轨道稳定性降低。这将直接影响高速列车安全、平稳地运行。为降低轮轨动力作用,根本的办法是优化轨道结构各部件的动力参数,使之相互匹配协调,使得轨道结构具有良好的动力特性。轨道的合理弹性是表征动力特性的重要参数,它包含了所有轨道部件的合理弹性参数及轨道结构的综合弹性参数。

2. 轨道结构应具有良好的平顺性。轨道不平顺是诱发轨道冲击振动的根源,冲击振动引起的动力作用剧增是高速行车的主要问题。轨道不平顺主要来自以下方面:① 轨道几何形位误差造成的不平顺,即轨距、水平、方向、高低、扭曲的尺寸误差。轮轨动力作用随轨道不平顺的增大有很大增长,因此高速轨道对不平顺限值的要求较一般线路要严格得多。② 轨面局部不平顺,即轨面局部剥落、擦伤、波纹磨耗等轨面不平顺。这些轮轨接触面的不平顺,会加大轮轨动力作用,可引起接触疲劳、噪声、轮载的变化等。③ 轨道弹性不均匀,主要来自道床、路基的弹性不均匀,也会加大轮轨的动力作用。

3. 轨道结构的薄弱环节应得到强化。轨道结构的薄弱环节主要是指钢轨接头、道岔、曲线等。钢轨接头对高速行车特别有害,据日本东海道新干线振动测试结果表明,钢轨接头处振动加速度与列车速度成正比增加,列车时速 200 km 时的接头加速度为时速 100 km 时的两倍。因此高速铁路宜于采用无缝线路或跨区间无缝线路。曲线限制通过速度,经常采取限制最小

曲线半径的办法。高速铁路上道岔占有特殊地位,它不仅要满足通过速度的要求,同时要确保结构稳定可靠、平稳舒适、使用寿命长、维修工作少,要采用适应于高速铁路的道岔结构。

(二) 国外高速铁路轨道结构的主要类型

高速铁路的轨道结构型式主要有两种。一种是以日本为代表的板式轨道。它有硬质基床,在预应力混凝土板和路基间有填充材料,轨道为60 kg/m无缝线路和双重弹性直接扣固联结装置,防振垫层等组成。图1-1-3是日本东海道新干线上铺设的一种适合土质路基上的板式轨道,轨道板纵长1.15 m,横宽2.34 m,厚0.19 m,可避免地基不均匀下沉。板式轨道可提高轨道的稳定性,并大大减少线路的养护维修工作量。但这种轨道结构要求较高的施工精度和特殊的施工方法,对扣件和垫层也有特殊的要求,运营中一旦出现故障,整治比较困难,且噪声较大,弹性小。

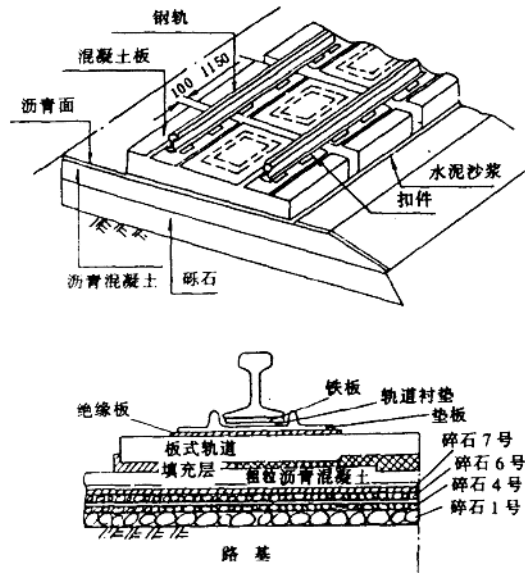


图1-1-3 板式轨道

另一种是以法国TGV高速线为代表的有碴轨道,即所谓常规轨道。

这种轨道结构形式简单,造价低,线路的弹性和减振性能较好,而且噪音较小。其缺点是轨道的横向抗力较小。为满足高速列车运行平稳与安全的需要,在有碴轨道结构中,均采用强轨道设备。例如法国高速铁路主要由UIC60焊接长钢轨、双块式枕、双弹性可调式防爬扣件、硬质道碴组成。UIC60钢轨强度为 900 N/mm^2 。

国外主要国家高速铁路轨道结构情况汇总如表1-1-2所示。

表1-1-2 主要国家高速铁路轨道结构

国家	法 国		德国高速线		意大利高速线	日 本			
	TCV东南线	TCV大西洋线	(1)	(2)		东海道	山 阳	东 北	上 越
区 间	巴黎—里昂	巴黎—勒芒、图尔	汉诺威—维尔茨堡	曼海姆—斯图加特	罗马—佛罗伦萨	东京—大阪	新大阪—博多	上野—盛冈	大宫—新潟
轨距(mm)	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435	1 435
线间距(m)	4.2	4.2	4.7	4.7	4.0	4.2	4.3	4.3	4.3
最小曲线半径(m)	4 000	6 000	7 000	7 000	3 000	2 500	4 000	4 000	4 000
竖曲线半径(m)	25 000	16 000	25 000	25 000	20 000	10 000	15 000	15 000	15 000

续表 1-1-2

国家 轨道结构	法国		德国高速线		意大利 高速线	日本			
	TCV 东南线	TCV 大西洋线	(1)	(2)		东海道	山阳	东北	上越
区 间	巴黎—里昂	巴黎—勒芒、图尔	汉诺威—维尔茨堡	曼海姆—斯图加特	罗马—佛罗伦萨	东京—大阪	新大阪—博多	上野—盛冈	大宫—新潟
最大坡度(‰)	35	25	12.5	12.5	8.5	20	15	15	15
最大超高(mm)	180	180	150	150	125	200	180	180	180
钢 轨	UIC ₆₀	UIC ₆₀	UIC ₆₀	UIC ₆₀	UIC ₆₀	60 kg/m	60 kg/m	60 kg/m	60 kg/m
混凝土轨枕及长度(m)	PC单块 2.6	PC双块 2.3	PC单	PC单	PC单	PC单	PC单	PC单	PC单
	PC双块 2.3		块 2.6	块 2.6	块 2.6	块 2.6	块 2.4	块 2.4	块 2.4
道床及道床厚度(mm)	碎石 350	碎石 300	碎石 300	碎石 300	碎石 350	碎石 250	轨枕板 300	轨枕板 300	轨枕板 300

二、重载运输条件下的轨道结构

(一) 重载运输轨道的工作特点

重载运输条件下对轨道结构的要求,与高速线路有共同的方面,但也有其自身的特点,最显著的是重载运输列车重量大、长度大、轴重大,在我国还有行车密度大,这就给轨道以沉重的负荷,加剧了轨道的破坏。主要表现在以下几方面:

1. 由于轴重的增加,轮轨接触应力、轨头内部剪应力等都有很大的增加。根据计算,接触应力的大小与轮重的 $1/3 \sim 1/2$ 次方成正比,大轴重使轨头应力大大超过钢轨的屈服强度,引起轨头各种伤损。

2. 在大轴重、大运量、高密度条件下,钢轨疲劳伤损加剧。现场统计资料表明,钢轨疲劳折损率与轴重的 2.25 次方成正比。美国统计资料表明,钢轨疲劳折损率与轴重的 3.8 次方成正比。这将大大缩短轨道大修周期。

3. 在频繁的反复荷载作用下,加速了轨道残余变形的积累,使轨面平顺性受到破坏。道床残余下沉与轴重平方成正比,这将增大线路的养护维修工作量。货车载重量的增加,线路养护维修增加,图 1-1-4 为美国铁路的分析资料。

4. 重载列车在减速制动时,将作用于轨道上很大的纵横向力,根据铁道科学研究院的测试资料,重载列车比普通货车约大 40%,这将会加剧轨道纵向破坏的发生,并危及行车安全。

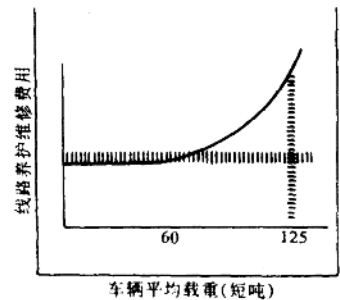


图 1-1-4 车辆平均载重与养护维修关系

(二) 国外重载轨道结构状况

由于重载运输对轨道破坏加大,轨道结构的强度必须与重载列车的轴重和年通过总重相适应。国外重载运输发展较早的国家,都是采用强轨道结构,部分国家重载运输的轨道结构状况如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 国外重载轨道状况

铁路名称	牵引总重 (t)	最高速度 (重量) (km/h)	年通过总重 (Mt·km/ km)	车辆轴重 (t)	轨距 (mm)	钢轨 (kg/m)	轨枕类型
美国北方铁路怀俄明煤矿线	13 150	70	45~91	30	1 435	68	木枕
加拿大太平洋铁路卡尔加里—温哥华线	12 700 13 340	80	37~65	30	1 435	68	木枕
澳大利亚哈默斯利铁矿	26 500	69	64	30	1 435	68	木枕换 混凝土枕
澳大利亚纽曼山铁矿	17 150	64	50	30 32.5	1 435	66	木枕
瑞典及挪威国营铁路	5 170	50	28	25	1 435	54	木枕
巴西维多利亚—米纳斯	14 4000	60	100	22.5	1 000	68	木枕 混凝土枕
南非铁路	21 860	69	20	26	1 067	60	混凝土枕
前苏联				25	1524	75	混凝土枕
委内瑞拉大力罗波利瓦尔铁矿	15 000	55		28.3		66	

美国铁路发展重载运输较早。为发展重载运输对轮轨关系进行了研究。由于开行的多为单元重载列车,由同型车辆组成,对轨道的动荷载影响有一定的规律性,它导致对轨道结构的共振,并将加大对轨道薄弱地段的破坏,钢轨疲劳寿命缩短 11% 左右,钢轨越轻,寿命缩短越多,其关系如图 1-1-5 所示。70 年代以后,运行重载列车的线路多已铺设 66 kg/m 及以上的重轨。

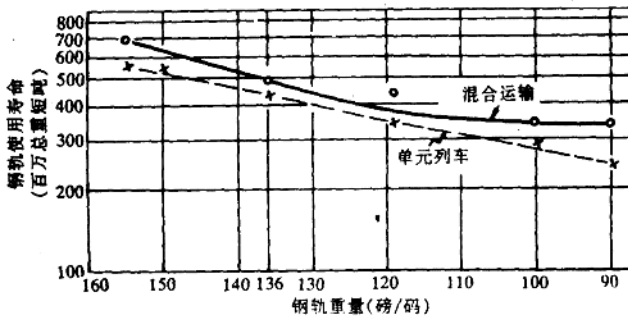


图 1-1-5 单元列车对钢轨疲劳寿命的影响

前苏联强化轨道结构的做法,在行驶超长超重列车年通过总重 2 500 万吨以上的线路上