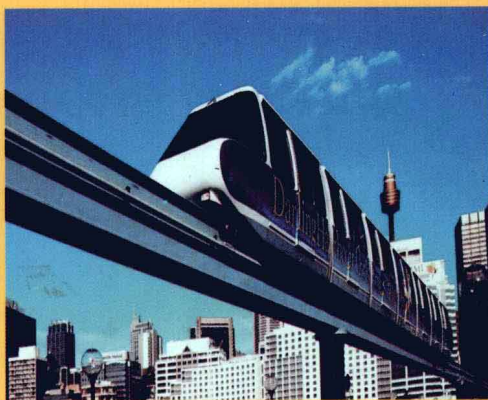
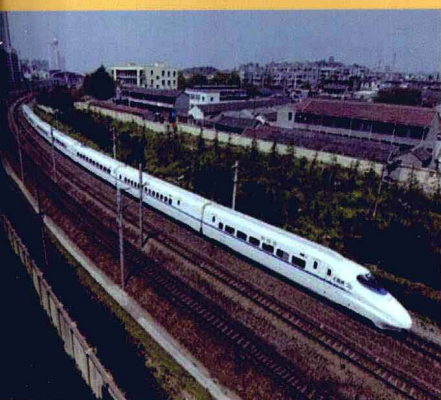


现代轨道交通 技术与装备

杜彦良 牛学勤 编著



科学出版社

现代轨道交通技术与装备

杜彦良 牛学勤 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书全面介绍构成现代轨道交通系统的各类装备及设施的基本概念、工作原理和技术发展最新情况,内容涉及现代轨道交通基础设施、运载工具、通信信号、牵引供电、运输组织、基础设施建设装备和基础设施健康检测设备。

本书面向高等院校土木工程、交通工程、交通运输、车辆工程、电气工程及其自动化、机械工程及自动化等专业,适合作为通识教育课程教材,也可作为行业职工培训教材以及相关专业技术人员的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

现代轨道交通技术与装备/杜彦良,牛学勤编著. —北京:科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-033813-6

I. ①现… II. ①杜… ②牛… III. ①轨道交通-高等学校-教材
IV. ①U

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 041557 号

责任编辑:胡云志 石悦 马守全 / 责任校对:鲁素
责任印制:张克忠 / 封面设计:华路天然设计工作室

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

*

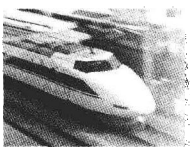
2012 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 3 月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:530 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



序

该书是作者多年教学和科研成果的结晶。我很高兴为之作序，不仅是出于对职业的热爱和对轨道交通发展的关心，更是由于看到有很多同仁默默为行业的人才培养和科学研究努力奉献而感到宽慰。

现代轨道交通具有鲜明的时代性，它是随着科学技术的发展和装备制造水平的提高而逐步变化和持续发展的。那么，什么是现代轨道交通？哪些形式能代表现代轨道交通的发展？目前它们的发展现状如何？这些都是作者必须首先思考和回答的问题。这是一个很大的命题，既要面对多种现代轨道交通方式，又要面对繁多的轨道交通设备，同时还要认真分析能够代表现代轨道交通发展水平的技术现状。20世纪60年代以来，世界铁路呈现出“客运快速化、货运重载化”的发展趋势，城市轨道交通也有了飞速的发展。因此，高速铁路、重载铁路和现代城市轨道交通成为现代轨道交通技术和设备的承载者和集成者。值得肯定的是，该书内容很好地反映了这些思想。

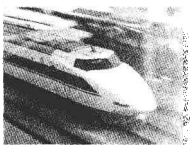
轨道交通具有速度快、载重大、能耗低、污染小、全天候等许多优良的特质，这使它在世界交通运输发展中占有非常重要的地位。特别是对于我国这样一个疆域辽阔、人口众多、人均资源相对匮乏的国家，轨道交通的重要性不言而喻。目前，我国的铁路运载能力远远满足不了国民经济发展的需求，并一度成为制约国民经济发展的瓶颈。城市化进程的加快，使得我们的城市交通不堪重负，建立高效率的轨道交通体系已成为众多城市共同的呼声。所有这些都表明，未来中国的轨道交通不仅在数量上要有所突破，而且在装备水平和管理现代化上要有所作为，这就涉及一个人才培养的大问题。所以该书的出版发行对于高校人才培养和专业人才培养提供了很好的教学和参考的资料。

这是一部集系统性、综合性、先进性、通俗性为一体的好书，相信读者会喜欢它！

中国工程院院士

施仲衡

2012年2月4日



前 言

中国目前正处于工业化和城市化快速发展的时期。在这一历史时期，作为世界上人口最多的国家，经济发展与能源的矛盾、交通运输与环境的矛盾将十分突出，这注定会使高效率的轨道交通成为中国的最重要的运输方式。一方面，未来中国铁路客、货运量将会保持长期、持续、大幅度增长的趋势；另一方面，随着社会进步和人民生活水平的提高，人们对铁路客运速度、旅行舒适度等服务质量的要求和对货物运输送达时间及货物在途信息等服务质量的要求也会越来越高。这是新时期赋予铁路的历史使命，也使铁路部门必须面对由数量发展向数量和内涵发展并重转变的重大挑战。与此同时，随着城市化进程的不断加快，我国特大城市数量会越来越多（目前我国人口数量在百万以上的城市已达 44 座），城市交通问题日益突出。因此，大力发展公共交通，特别是大容量轨道交通已成为我国大城市交通发展的重要策略。

目前，我国铁路在许多领域已达到世界先进水平。在铁路客运方面，经过 10 多年的高速铁路建设和对既有铁路的高速化改造，已经拥有全世界最大规模以及最高运营速度的高速铁路网。截至 2010 年年底，运营在时速 200km 以上的铁路运营里程已达 7431km。在铁路货运方面，依托重载技术的多元利用，中国实现了拥有年运量亿吨以上的重载铁路的“条数之最”；依托重载技术的自主创新，大秦铁路运煤专线年运量突破 4 亿 t，成为世界上年运量最大的铁路。同时，以客货混运和高负荷为基本特点的我国普通铁路，通过若干年的技术改造和运输组织的创新，其平均运输密度和繁忙程度远高于世界各国（平均运输密度是居第二位的俄罗斯铁路的 2 倍），这使中国铁路获得了“世界上最高效铁路”的美誉。城市轨道交通建设如火如荼。截至 2010 年年底，我国已有 12 座城市拥有城市轨道交通，运营里程达 1395km。同时，还有 28 座城市的城市轨道交通建设发展规划已获得了国家主管部门的批准，这 28 座城市计划至 2015 年前后规划建设总长超过 2500km 的轨道交通线路。我国城市轨道交通建设正在进入黄金发展期。

上述情况表明，我国未来轨道交通的发展不仅呈现出数量上的快速增长，而且越来越表现出高技术水平和高管理水平的特点。因此，为行业发展提供后备人才支撑的高等院校应紧扣时代脉搏，紧盯市场发展，努力赋予学生轨道交通的新思想、新理论、新技术，使之成为熟知路情、了解行业最新知识的轨道交通建设者和知识传播者。本书正是在通识教育课程“现代轨道交通技术概论”的教学讲义基础上，通过进一步完善和补充内容形成的。

本书系统介绍了构成现代轨道交通系统的各类装备及设施的基本概念、工作原理和技术发展最新情况，内容涵盖工务、载运、供电、通信信号、行车控制、基础设施建设与健康状态检测等。全书由多位成员合作完成：第一章由牛学勤、杜彦良编写，第二章由李向国编写，第三章由郑明军编写，第四、五、六章由邓晓燕、邸建红编写，第七章由颜月霞

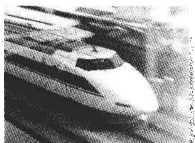
编写，第八章由张建超、郭文武编写，第九章由杜彦良、高占凤编写。全书由杜彦良、牛学勤统稿。

在编写本书过程中，编者参考、引用了许多专家学者的研究成果和技术观点，在此对他们表示深深的谢意！还有部分网页图片及文字资料，由于作者信息不详，在参考文献中未予体现，在此同样表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，本书难免存在不足之处，敬请各位读者批评指正。

编者

2012年1月



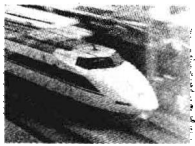
目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 我国现代轨道交通的发展	11
第三节 我国现代轨道交通发展战略	16
第二章 高速铁路基础设施工程技术	21
第一节 概述	21
第二节 高速铁路线形	22
第三节 高速铁路路基	26
第四节 高速铁路桥梁	34
第五节 高速铁路隧道	40
第六节 高速铁路轨道	44
第三章 现代轨道交通载运技术	53
第一节 概述	53
第二节 现代牵引装备及技术	55
第三节 现代车辆技术	60
第四节 高速铁路动车组及其技术	71
第五节 磁悬浮列车技术	88
第四章 现代轨道交通信号与控制系统	100
第一节 概述	100
第二节 现代铁路信号系统	104
第三节 列车运行控制系统	119
第四节 调度集中及行车指挥自动化	135
第五章 现代轨道交通通信技术	142
第一节 概述	142
第二节 铁路有线通信与无线通信	145
第三节 铁路调度通信网	149
第四节 铁路综合数字移动通信系统 GSM-R	156
第五节 城市轨道交通通信系统	169
第六章 现代轨道交通牵引供电技术	176
第一节 概述	176
第二节 牵引供电系统	176
第三节 牵引变电所	179
第四节 接触网	184
第五节 牵引供电关键技术	188

第六节 城市轨道交通牵引供电技术	194
第七章 高速铁路运输组织	209
第一节 高速铁路运输组织概况	209
第二节 高速铁路车站工作组织	216
第三节 高速铁路列车运行组织	222
第四节 高速铁路运输能力分析	235
第五节 高速铁路运营调度	243
第八章 建设装备	249
第一节 概述	249
第二节 隧道工程挖掘设备	257
第三节 大吨位桥梁运架设备	267
第四节 无砟轨道铺装设备	275
第五节 铁路线路检测与养护设备	280
第九章 大型交通基础设施健康监测技术	287
第一节 大型交通基础设施健康监测的概念、意义及研究现状	287
第二节 交通基础设施健康监测系统构成	293
第三节 传感器系统	295
第四节 数据采集与传输系统	300
第五节 数据分析处理与管理系统	303
第六节 健康状态评估系统	309
第七节 工程案例介绍	313
参考文献	317



第一章

绪 论

第一节 概 述

一、现代轨道交通及其类型

本书所阐述的现代轨道交通是指运用科学技术武装起来的，具有典型的现代系统管理特征和较高技术水准的现代铁路与现代城市轨道交通系统。现代铁路既包括以高速铁路、重载铁路为代表的主要技术指标达到世界先进水平的现代化铁路系统，同时又涉及具有较高装备水平和一定运营管理、组织水平的普通铁路。

自 20 世纪 60 年代以来，随着科学技术的发展，世界铁路呈现出“客运快速化、货运重载化、管理集成化信息化”的发展趋势，城市轨道交通则朝着“方式多样化、运营网络化”方向发展。因此，高速铁路、重载铁路和现代城市轨道交通成为了现代轨道交通技术和设备的承载者和集成者。

按照 2008 年世界高速铁路大会的定义，高速铁路是指通过改造原有线路，使营运速率达到 200km/h 以上或者专门修建新的“高速新线”，营运速率达到 250km/h 以上的铁路系统。广义的高速铁路包含使用磁悬浮技术的高速轨道运输系统。我国把高速铁路界定为“新建铁路旅客列车设计最高行车速度达到 250km/h 及以上的铁路”。

所谓重载铁路，根据 2005 年国际重载运输协会（IHHA）在巴西年会上对重载铁路标准的修订，重载铁路必须满足下列三条标准中的至少两条：重载列车牵引质量至少达到 8000t；轴重（或计划轴重）为 27t 及以上；在至少 150km 的线路区段上年运量达到 4000 万 t 及以上。从广义的范围来讲，铁路重载运输既包括在专门的重载线路上开行万吨以上的单元重载列车，实现单一品种货物在固定到发地间的循环运输，也包括在主要繁忙干线上开行一定质量的重载列车及组合列车，还涉及其他线路上通过普遍提高列车质量来扩大运输能力。重载运输是除高速铁路以外，铁路现代化的又一个标志。

城市轨道交通是解决城市交通问题的重要工具，多数是采用钢轮、钢轨走行系统的地铁或轻轨。这类城市轨道交通问世已有百余年，技术成熟，在解决城市交通问题方面效果显著，但存在建设成本高、建设周期长，对城市容易形成噪声、振动等环境影响的缺点。因此，在地铁和轻轨技术的基础上，又派生出多种新型城市轨道交通系统，分别在走行、导向、驱动等方式甚至在研发理念上有所变革，具有许多独到的优点。这类城市轨道交通系统被称为新型城市轨道交通，如单轨交通、自动导轨交通、索轨交通、胶轮地铁、磁浮交通等，它们普遍具有造价低、建设速度快、对环境影响小、运作弹性佳等特点，特别是爬坡能力强、可急转弯、能适应复杂地形和城市空间环境。图 1-1 为单轨交通、胶轮地铁、有轨电车系统实景。

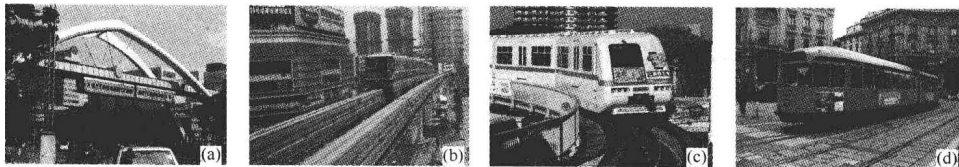


图 1-1 轨道交通系统实景
(a) (b) 单轨交通；(c) 胶轮地铁；(d) 有轨电车

二、现代轨道交通的技术优势

现代轨道交通是现代科学与技术发展的结晶，是多种高新技术系统集成和融合的产物，是交通运输现代化的具体体现。与传统的轨道交通系统相比，现代轨道交通系统性更强，速度（或牵引质量）更大，系统可靠性要求更高。

（一）高速铁路的技术优势

与传统铁路相比，高速铁路具有以下主要技术优势。

1. 输送能力大

输送能力大是高速铁路的主要技术优势之一。目前各国高速铁路几乎都能满足最小行车间隔 4min 及其以下的要求。日本东海道新干线高峰期发车间隔为 3.5min，平均每小时发车达 11 列，在东京与新大阪间的 2.5h 的运行路程中，每天通过的列车达 283 列，每列车可载客 1200~1300 人，年均输送旅客达 1.2 亿人次。

2. 速度快

速度是高速铁路技术水平的最主要标志。法国、日本、德国、西班牙和意大利高速列车的最高运行时速均在 250km 以上，法国和日本则达到了 300km/h。再以刚开通的京沪高铁为例，全程距离为 1318km，高铁全程最短旅行时间仅 4h48min。而正常天气情况下，乘飞机的旅行全程时间（含市区至机场、候检等全部时间）为 5h 左右。

3. 安全性好

高速铁路由于在全封闭环境中自动化运行，又有一系列完善的安全保障系统，所以其安全程度是任何其他交通工具无法比拟的。高速铁路问世近 50 年来，日、德、法三国共运送了 60 亿人次旅客，除德国 1998 年 6 月 3 日的 ICE 高速列车行驶在改建线上发生重大事故外，始终保持安全运营的良好纪录，这是各种现代交通运输方式所罕见的。可见，一个成熟的高速铁路系统，其事故率和人员伤亡率远低于其他现代交通运输方式。

4. 受气候变化影响小，正点率高

高速铁路全部采用自动化控制，可以全天候运营。据日本新干线风速限制规范，若装设挡风墙，即使在大风情况下，高速列车也只需减速行驶，比如风速达到 25~30m/s，列车限速 160km/h；风速达到 30~35m/s（类似 11、12 级大风），列车限速 70km/h，无须停运。而飞机机场和高速公路等，在浓雾、暴雨和冰雪等恶劣天气情况下则必须关闭停运。

正点率高也是高速铁路深受旅客欢迎的原因之一。由于高速铁路系统设备的可靠性和较高的运输组织水平，可以做到旅客列车极高的正点率。西班牙规定高速列车晚点超过 5min，就要退还旅客的全额车票费；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。1997 年东海道新干线列车平均晚点只有 0.3min。

5. 舒适、方便

一般高速铁路每 4min 发出一列车，日本在旅客高峰时每 3.5min 发出一列车，旅客基本上可以做到随到随走，基本不需候车。为方便旅客乘车，高速列车运行规律化，站台按车次固定化等，这是其他任何一种交通工具无法比拟的。高速铁路列车车内布置豪华，工作、生活设施齐全，座席宽敞舒适，车辆运行平稳、减震、隔音，车内噪声很小。

6. 能源消耗低，对环境污染小

如果以“人公里”单位能耗来进行比较的话。高速铁路单位耗能为小轿车的 1/5，为大客车的 1/2，为飞机的 1/7。

高速列车利用电力牵引，电气化高速铁路没有粉尘、煤烟和其他废气污染。虽然建造电厂也有污染，但如果以电厂的排污与公路、航空运输的排污比较，国外的研究资料显示为 1:3:4。日本还有统计数字显示，如果没有新干线，每年要多排放 1.5 万 t 二氧化碳，相当于东京郊外工厂排放量的总和。

(二) 重载铁路的技术优势

“重载运输”是铁路货物运输的一项重大改革，其最大的技术特征在于其超大的运量，同时还具有列车组织形式多样化和极高的运输效率的技术特征。

1. 超大的运量

世界各国重载铁路普遍借助于高新技术，促使重载列车牵引质量不断增加。2001 年 6 月 21 日澳大利亚西部的 BHP 铁矿集团在纽曼山—海德兰重载铁路上创造了重载列车牵引总重 99734t 的世界纪录。2004 年巴西 CVRD 铁矿集团经营的卡拉齐重载铁路上，开行重载列车的平均牵引质量已达 39000t。南非 Orex 铁矿重载线是窄轨铁路（1067mm 轨距），开行重载列车的平均牵引质量为 25920t。美国最大的一级铁路公司联合太平洋铁路（UP）经营的铁路里程为 54000km，其所有列车的平均牵引质量已达 14900t，一般重载列车的牵引质量普遍达到 2 万~3 万 t，其复线年货运量在 2 亿 t 以上。

我国第一条重载铁路大秦铁路，自 2002 年实现 1 亿 t 年运量设计能力后，分别于 2005 年实现 2 亿 t，2007 年实现 3 亿 t 年运量，创当时国际年运量最高纪录。2010 年 12 月 26 日，77037 次 2 万 t 重载列车缓缓驶入秦皇岛柳村南站，我国煤炭运量最大的能源大动脉——大秦铁路实现年运输量 4 亿 t 新的突破，该运量是世界单条铁路年运量理论极限的 2 倍。图 1-2 为大秦铁路实景。

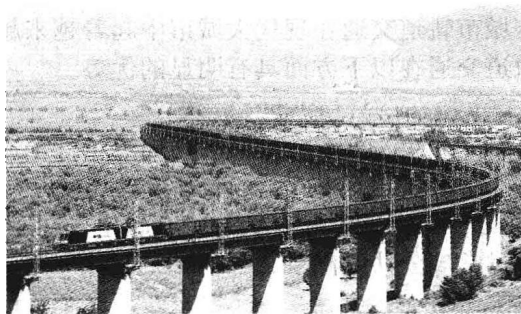


图 1-2 大秦铁路实景

2. 列车组织形式多样化

目前,国内外铁路开行的重载列车组织形式主要有单元式、整列式和组合式重载列车三种。

单元式重载列车是以固定的机车车辆(大功率机车和一定辆数的同一类型的专用货车)组合成为一个运输单元,并以此作为运营计费单位,在装卸车站间循环直达运行的货物列车。这种方式适用于货物品种单一,运量大且集中的大宗货物运输,其经济效益显著。这种方式在运行过程中除利用铁路的正线和到发线外,不占用铁路的调车设备。在运输过程中,除列车接、发车作业外,不进行任何其他作业。单元列车不仅机车车辆固定编挂,固定回空,而且两端车站装卸设备必须配套,形成矿区至港口(或电厂)的装、运、卸一条龙重载运输组织形式。

整列式重载列车是采用普通列车的组织方法,由挂于列车头部的大功率单机或多机牵引,并由不同型式和载重的货车车辆混合编组,达到规定载重量标准的列车。在我国繁忙干线上开行的重载列车主要为这种模式。

组合式重载列车是由两列及以上同方向运行的普通货物列车首尾相接,合并组成的列车,这种重载运输方式始于1964年的苏联。

整列式和组合式重载方式可通过对既有线进行技术改造来实现,具有投资少、见效快的特点。

3. 极高的运输效率

美国铁路自1980年全面发展重载运输以来,铁路货运占领美国货运市场的份额直线上升,从1980年的35%增加到2000年的41%,车辆的平均载重增加了15.1%,虽然运价已降至1.6美分/(t·km),但运行成本却下降了60%,线路维修成本下降了42%,劳动生产率提高了2.71倍,创造的年利润已达美国铁路历史上的最高水平(81亿美元)。美国最大铁路公司之一的联合太平洋铁路(UP)2002年重载运输收入已达107亿美元,其中煤炭运输收入占22%。

西澳大利亚的BHP重载铁路公司从1980年到2000年由于开行重载列车,动力用油耗下降43%,机车利用率提高36%,车轮、钢轨寿命提高3~5倍。劳动生产率提高5倍,达到6000万t·km/(人·年),居世界铁路首位。创造的年利润达500亿澳元。昆士兰铁路营业里程1万km(基本是窄轨1067mm),2004~2005年度货物发送量1.76亿t,其中重载煤运达1.425亿t,每周开行1万t重载列车460列,年营业总收入23亿澳元,税前利润1.91亿澳元。

(三) 城市轨道交通的优势

作为公共交通方式,城市轨道交通在现代大城市中起着越来越重要的作用。与其他城市交通方式相比,城市轨道交通在以下方面具有明显的优势。

1. 较大的运输能力

城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多而具有较大的运输能力。市郊铁道单向运输能力可达6万~8万人次/h,地铁可达3万~8万人次/h,轻轨可达到1万~3万人次/h,有轨电车可达到1万人次/h,城市轨道交通的运输能力远远超过常规公共电汽车。

2. 较高的准时性

城市轨道交通由于在专用行车道上运行,不受其他交通工具干扰,不会产生线路堵塞现象,也不受气候影响,是全天候的交通工具,列车能按运行图运行,具有可信赖的准

时性。

3. 较高的送达速度

与常规公共交通相比,城市轨道交通由于运行在专用行车道上,不受其他交通工具干扰,而且普遍具有较高的启、制动加速度。因此车辆运营速度较高。多数采用高站台,列车停站时间短,上下车迅速方便,而且换乘方便,从而使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。

4. 较高的安全性

城市轨道交通由于运行在专用轨道上,没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并且有先进的通信信号设备,极少发生交通事故。

5. 城市轨道交通节能、环保特性明显

城市轨道交通是高效率的交通工具,具有能耗低的特点。按照同等运能比较,轨道交通的能耗只相当于小汽车的 $1/9$,公交车的 $1/2$ 。

城市轨道交通一般采用电力牵引,不会产生空气污染。同时,由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施,一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。

三、现代轨道交通技术要求与装备、技术

现代轨道交通具有明显的国际性和时代性,是随着科学技术的发展和装备制造水平的提高而逐步变化和持续发展的。其装备种类繁多,既有移动设备,又有固定设备,还包括基础设施建造和维护设备,涵盖了工务、载运、供电、通信信号、设备监控、行车控制、基础设施建造等设备。其技术涉及机械、土木、电气、电子、自动化、材料科学等多个科学和技术领域。

(一) 高速铁路装备与配套技术

1. 高速对装备的技术要求

随着列车运行速度的提高,列车与周围空气以及基础设施之间的动态效应更加突出,以往静态或准静态的问题变为动态问题。高速铁路与普通的既有铁路的主要技术不同点体现在三个大的方面,即列车与轨道、接触网的动力作用,空气动力作用以及列车牵引与制动。这是发展高速铁路必须面对的问题。

1) 列车与轨道的动力作用,即轮轨垂向作用和横向作用将大大加剧

轮轨垂向作用力约与速度的平方成正比,而轴重(轴质)尤其是簧下质量会严重影响轨道下沉变形,导致轨道不平顺,造成磨损与破坏并波及轨枕、道床和路基。因此,控制高速列车的轴重,减轻簧下质量以及加强轨道结构,改善轨枕与扣件性能、道床与路基质量是保证高速列车运行安全的关键性基础条件。轮轨的横向作用力影响列车的稳定性与曲线通过的安全性,这要从车辆与线路两方面来改善,包括改进转向架和弹簧系与减振器的参数以及加强道床,保证轨道结构的横向稳定性。

2) 弓网关系复杂将导致供受电稳定性下降

在高速铁路上确保动车受电弓与接触网的良好接触并降低离线率是动车牵引能量接收的必要措施。动车受电弓的离线率取决于列车运行时接触导线的波动传播速度,国外的经验表明,高速列车运行的速度与接触导线波动传播的速度之比应控制在 0.7 以内。为此,必须提高接触导线的抗拉强度、减轻接触导线的质量、采用先进的接触网悬挂方式与特性,使离线率控制在 5% 左右。弓网之间既要保持一定的接触压力,又要使相互间能连续滑动,具有良好的动态特性,以满足稳定供受电的需要。为此,需要减轻受电弓运动部分

的质量、改善滑板品质并采取措施避免产生谐振。

3) 车辆空气阻力及隧道活塞效应将十分明显

空气阻力与列车速度的平方成正比,当列车速度超过 160km/h 时,空气阻力问题十分突出,当列车速度达 250km/h 以上时,空气阻力占主导地位,速度 250~300km/h 时约占 75%,速度 350~400km/h 时,所占比例高达 90%左右。因此,空气阻力几乎成了列车速度提高的限制性因素。列车进出隧道时的空气动力效应远较在空旷地带强烈与复杂,由于活塞效应(头部受正压,尾部受负压作用,四周形成环流,造成更大的空气压力),列车穿越隧道时,会形成压力脉冲(压缩波与膨胀波)并不断传递、反射、干扰和叠加。由于压力冲击波的幅度与速度的平方成正比,高速列车通过隧道时将存在更大的危险。当两列高速列车交会时头尾部引起的压力扰动给相对列车一个强大脉冲压力,情况更为严重。因此,必须加强车体门窗和联结通道等处的密封性能与车体侧墙和玻璃的强度,必须合理选择线间距离和隧道净空面积,扩大隧道入口和控制遮堵系数(列车与隧道横截面之比)。

4) 对牵引功率和制动能力提出了很高的要求

高速列车匀速运行条件下,其能耗用于克服行车阻力。行车阻力一部分为机械阻力,包括动车组内部的阻力和轮轨阻力,另一部分则为空气阻力。对于高速运动的列车,其能耗主要用于克服空气的阻力。而空气的阻力与速度的平方成正比,也就是说,高速列车的单位距离能耗与速度的平方成正比。

反映单位时间的能耗指标,即牵引功率,与单位距离能耗不同,其计算方法为 $P = F \cdot v$ 。因此,高速列车的牵引功率与速度的三次方成正比。也就是说,当速度提高 1 倍时,其牵引功率将为原来的 8 倍。

列车的动能与速度的平方成正比(能量为 $E = (1/2)mv^2$),在相同列车质量情况下,列车运行的速度在 200km/h 时的动能为 100km/h 时的 4 倍,列车运行的速度在 300km/h 时,动能增至 9 倍。因此,在高速运行下,列车必须有良好的制动系统,所以高速列车需要采用复合制动系统(动力、盘式、涡流和磁轨等),利用多种制动联合作用。

5) 其他问题

发展高速铁路还必须面对和解决诸如铁路信号及线路状态辨认问题,设备可靠性及设备状态监控问题,高密度行车组织问题,设施、设备养护维护等一系列问题。

对于铁路信号及线路状态辨认问题,当列车行驶速度超过 160km/h 时,司机对于地面信号显示和线路状态的辨认难度将大大增加,更难以迅速做出有效的反应。因此,在高速铁路区段,高速铁路必须以机车信号作为主体信号。同时,对于地面状态的变化情况,如车站、道岔和曲线线路等限速地点等,也必须通过车载设备予以显示。

2. 相关装备(设备)与配套技术

1) 高速动车组与配套技术

高速列车牵引动力的配置形式分集中配置和分散配置两种,动车组属后者。由高速对系统的技术要求可以看出,高速动车组应具备车体轻量化、高平稳性、流线型、密封性好、大功率和大制动能力的特点。因此,高速动车组一般融合了交流传动技术、复合制动技术、高速转向架技术、高强轻型材料与结构技术、减阻降噪技术、密封技术、列车网络技术、系统集成技术等。

2) 工务设备与配套技术

高速铁路要求具备持久高平顺性的线路状态,相对于普通铁路,其对相关基础设施要

求更加严格，技术标准更高，建造和维护的难度更大。因此，发展高速铁路掌握无砟轨道技术、高速道岔技术、轨道工后沉降控制技术显得非常重要。同时，大断面隧道开挖技术、大吨位桥梁设计与施工技术也成为建造高速铁路的配套技术。图 1-3 为无砟轨道实景。

为了监测和维持铁路线路的状态，还应拥有大型养路机械、钢轨打磨列车、基础设施状态监测设备、轨道检查车等。

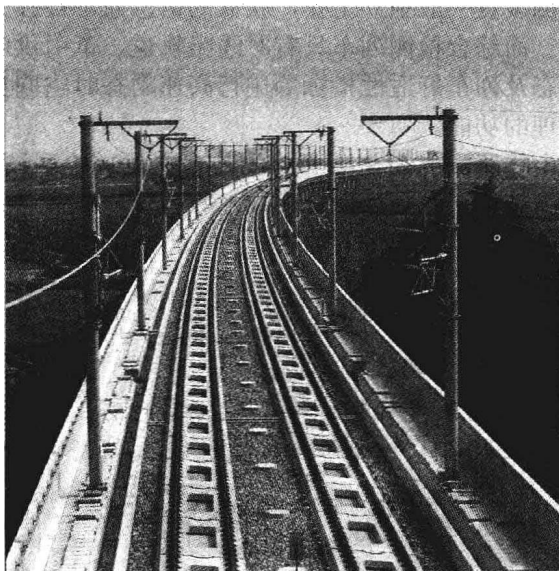


图 1-3 无砟轨道实景

3) 列车运行控制装备与配套技术

列车速度的不断提高，靠地面信号已不能保证行车安全，必须靠车载信号设备对列车实施运行控制。目前，世界各国所采用的较为完善的高速铁路信号系统称为列车自动控制系统（ATCS），它由列车运行自动化子系统及行车指挥自动化子系统两大部分组成。其中列车自动控制系统（ATC）包括三个子系统，即列车自动防护系统（ATP），列车自动运行系统（ATO）和列车自动监控系统（ATS）。

列车的运行控制系统是高速铁路最核心的技术和装备，是一个集计算机技术、通信技术、控制技术为一体的，能够实现通信信号一体化、车站区间一体化、车上地面一体化的综合系统。这种系统与普通铁路运行控制完全不同，是以机控优先、人控为辅为特点的。

列车运行控制系统一般由地面设备、车载设备和车地信息传输设备组成。地面设备包括轨旁设备、列控中心和地面通信网络设备。车载设备包括列车运行监控模块、测速及定位模块、显示模块、牵引制动接口、运行记录器模块等。车地信息传输设备包括地面信息传输设备、车载信息传输设备等。

此类装备系统涉及测速或测距技术、车辆定位技术、车地信息传输技术、移动闭塞技术等多种类别的技术。

4) 牵引供电设备与配套技术

牵引供电系统是从三相电力系统接受电能，向单相交流电气化列车输送电能的电气网络，是列车运行的动力源泉。世界各国的高速铁路几乎都采用电力牵引，高速牵引供电系

统必须满足动车组“高速度、高密度、高可靠性”的运行要求。

高速铁路供电系统由牵引变电所、接触网、综合自动化（含安全监控）及供电调度子系统组成。牵引供电装备涉及的技术包括自动过电分相技术、高速受流技术、牵引供电系统集成的接口技术、弓网关系与检测技术、综合接地技术、牵引供电自动化与信息化技术、电能质量与电磁兼容技术等。

5) 高速综合检测列车与配套技术

传统铁路的各种检测装置一般独立工作，获取的信息通常被独立处理和利用，信息间的相互关联往往被忽略。而综合检测列车具有对线路轨道、牵引供电、通信信号等基础设施，轮轨和弓网接触状态及列车舒适性指标等进行高速动态时空同步检测，并具有实时数据传输、存储和分析处理的功能。

高速综合检测技术由线路限界与全断面检测技术、轨道检测技术、接触网检测技术、通信检测技术、信号检测技术、综合处理分析技术等各分项技术组成。

图 1-4 为我国 0 号高速综合检测列车实景图。

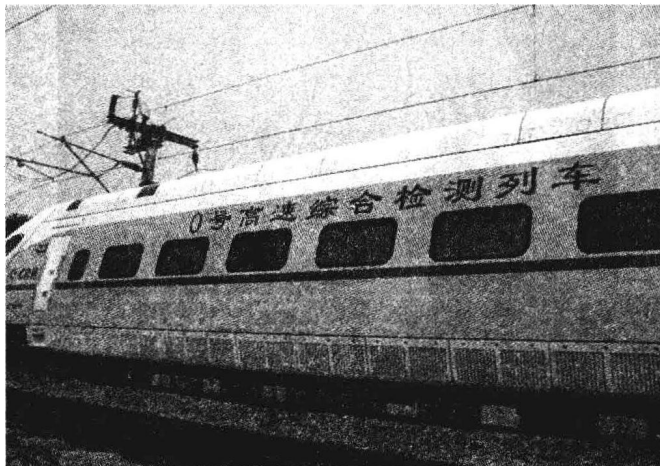


图 1-4 0 号高速综合检测列车实景图

(二) 重载铁路装备与配套技术

1. 重载运输对装备的技术要求

重载运输的特点在于“轴重大、总重大、列车长”，因此，为基础设施和行车组织带来许多新的技术问题，主要体现在以下几个方面。

1) “轴重大”对工务和车辆设备提出了更高的要求

国际重载协会于 2005 年把重载货车的轴重标准从 25t 提高到了 27t，有的国家重载列车轴重已高达 35t。为保证重载列车的安全运行，减少维修成本，必须强化重载线路和桥梁的承载能力，使其具有高度的耐久性、可靠性和平顺性。同时，大轴重对车辆的结构形式和强度、刚度、自重、走行部低动力作用等提出了更高的要求。

2) “总重大”对机车、车辆、供电、装卸设备的要求

牵引动力是影响重载列车载重的关键因素。为满足重载列车的牵引要求，主要是通过增加机车的牵引功率和实现轮轨之间最佳黏着来提高机车的牵引力。当列车质量超过 10000~12000t 时均需要采用多机牵引方式。此外，机车还需要有足够大的启动牵引力，

以保证重载列车在长大坡道线路区段的安全运行。因此,解决机车的大功率牵引、多台机车同步操纵和制动问题成为发展重载运输的核心问题。

对于牵引供电而言,在外网供电能力充足的情况下,必须大幅度提高内网供电设备的能力。应根据重载列车牵引质量标准、列车追踪间隔时分等对牵引供电的需求来设计变电所容量和供电臂长度,保持供电区间长度和行车区间大小的适配关系,便于运营和检修作业的配合。

开行重载列车最大隐患是由于列车纵向力过大发生断钩脱轨事故,这种事故占美国重载列车全部事故总数的90%左右,因此提高车钩强度及缓冲器的容量特性是保证重载列车安全的重要措施。

由于单车装载质量很大,单元式重载列车装、卸作业必须采用连续作业的方式,必须配备相应的装卸设备,以达到装卸的高效率。

3) “列车长”对铁路站场的要求

为保证重载列车正常的接发、通过、办理相关技术作业,重载运输相关车站的站场配置和到发线有效长度应能满足列车牵引长度的要求,能保证重载列车的停靠和作业。例如,整列式重载列车的到、发、解、编和途中越行及技检作业;组合式重载列车的合并、分解和途中越行及技检作业;单元式重载列车的到发和装卸作业等。

2. 重载铁路装备及相关技术

1) 工务装备及相关技术

重载铁路线路应选用重型和特重型的轨道标准。钢轨应采用60kg/m及以上的新轨。为了延长钢轨使用寿命,减少养护维修工作量,宜采用超长轨条无缝线路和可动心轨道岔。此外,在曲线地段、长大下坡制动地段和长隧道内,应采用全长淬火钢轨和轨头硬化钢轨、承载力大的轨枕,扣压力大的弹性扣件等,以减少因轨道伤损带来的维修工作量。

在加强轨道结构的同时,世界重载铁路的线路养护维修技术也在不断发展,特别是钢轨预防性打磨技术和钢轨涂油技术。重载铁路的综合性养护维修作业采用系统配套的大型养路机械和专用设备,不但能一次完成测量分析、起道、拨道、捣固、清筛道床、接触网维护等多项作业,而且维修质量也大大提高。

2) 牵引装备及相关技术

根据相关技术文献,近年来世界铁路重载运输最新牵引技术包括以下分项技术:

大功率交流传动技术。20世纪70年代末,欧洲开始发展交流传动技术,到20世纪90年代,大功率交流传动内燃、电机车已成为世界重载牵引动力的发展趋势。美国通用电气(GE)公司制造的AC6000型机车主发电机输出功率达6000马力^①,持续牵引力达738kN,启动牵引力达800kN,黏着系数利用值可达0.37以上。最近西门子公司为满足中国重载运输牵引动力需求而设计的DJ4型交流传动电力机车,轴功率已达1600kW。

径向转向架技术。大功率交流传动内燃机车和电力机车采用径向转向架成为国际重载机车发展趋势,尤其在美国、加拿大、澳大利亚等国的大轴重的重载线路上,径向转向架技术越来越成熟。GE、GM-EMD(通用汽车公司电气动力部)等大公司生产的机车均采用径向转向架。我国主要机车制造厂如大连、戚墅堰、资阳等工厂均开始小批量生产带径向转向架的重载机车。据美国GM-EMD公司的HTCR径向转向架长期运营数据表明,径向转向架减少轮对与轨道间的冲角,比传统的转向架的轮轨冲角减少75%,有效地降低轮

^① 1 马力=735W。