

TRACK MAINTENANCE & MANAGEMENT

FOR URBAN MASS TRANSIT

交通运输工程系列教材

轨道交通工务管理

许玉德 李海锋 戴月辉 编著

王午生 主审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

交通运输工程系列教材

轨道交通工务管理

许玉德 李海锋 戴月辉 编著

王午生 主审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

如何用好、管好轨道交通运输基础设施,为人们生活带来便利并保证国家经济产生最大效益是工务管理部门的重要任务。本书从轮轨相互作用的观点出发,以铁路和城市轨道交通相同的轨道结构为载体进行展开。主要内容包括:轮轨之间作用力的变化与管理;轨道几何不平顺的检测、评价、预测、维修养护和工务信息化管理;钢轨、无缝线路、道岔等管理;城市轨道交通运营阶段存在的风险及管理方法。

本书可作为轨道交通工程方向本科生的专业教材以及相关专业研究生的参考教材,还可作为铁路局工务系统、地铁工务部门专业技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

轨道交通工务管理/许玉德,李海锋,戴月辉编著;
王午生主审. —上海:同济大学出版社,2007.8

(交通运输工程系列教材)

ISBN 978-7-5608-3615-7

I. 轨… II. ①许… ②李… ③戴… III. 城市铁路—
基础设施—管理—高等学校—教材 IV. F294.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 121837 号

交通运输工程系列教材

轨道交通工务管理

许玉德 李海锋 戴月辉 编著 王午生 主审

责任编辑 高晓辉 责任校对 杨江淮 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

印 数 1—3100

字 数 340000

版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3615-7/F·342

定 价 22.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

轨道交通系统是由动力牵引、在固定的线路上按一定的运输模式而运行的系统。它包括铁路、城市轨道交通和磁悬浮交通等形式。由于其运量大、舒适性好、环境污染小、能源利用率高,在我国交通运输体系中具有非常重要的地位和作用,它的发展呈现出高速化、多样化、高效化等特点。轨道交通初期投资大、寿命周期长、服务环境复杂,如何用好、管好轨道交通运输基础实施,为人们生活带来便利并保证国家经济产生最大效益是管理工作者的重要任务。目前,涉及轨道交通这方面的相关教材和参考书很少,因此,编者广泛收集了国内外相关的资料,总结了近年来主持和参加科研课题的最新成果,编写了这本教材。

本书共 10 章。第一章主要介绍轨道交通的发展、特点和工务管理的维修制度、方式;第二章主要介绍轮重变化的原因、对轨道结构的破坏和检测手段;第三章主要介绍轨道几何不平顺的检测方法、动静关系和评价指标;第四章主要介绍轨道几何不平顺预测模型的建立和应用;第五章主要介绍大型养路机械作业特点、作业残留率产生的原因和在高速铁路上的应对措施;第六章主要介绍工务信息化管理的数据源、系统结构、主要功能,重点介绍了轨道几何状态综合养护计划模型的建立过程;第七章主要介绍了无缝线路管理的特点、质量状态评价方法;第八章介绍了钢轨的伤损原因、探伤技术和打磨方法;第九章主要介绍道岔的养护管理特点;第十章主要介绍城市轨道交通在运营阶段的不同风险和评价方法。

本书从轮轨相互作用的观点出发,用舒适和安全为评价标准,以铁路和城市轨道交通相同的轨道结构为载体,开展相关教学内容,并针对各自最新的发展特点,进行知识面拓宽性教育。但限于编者水平,缺点和错误在所难免,恳请读者提出批评和建议。

本书由许玉德、李海锋、戴月辉编写。其中,许玉德编写了第一、二、三、四、五、六章;李海锋编写了第七、八、十章;戴月辉编写了第九章。王午生教授对全书进行了审阅,并提出了宝贵的修改意见。

在本书的编写过程中,得到了铁道科学研究院卢耀荣、徐涌研究员,上海铁路局李庆鸿教授级高工、龚佩毅高工、李可为高工的大力支持。博士研究生周宇、王建西,硕士研究生许敏娟、姚湘静、黄玉纯、曲铭等为本书的文献检索、校对做了很多工作。在此表示衷心感谢!

本书得到了同济大学教材、学术著作出版基金委员会资助,在此致以诚挚的谢意!

编者

2007 年 6 月

目 次

前言

第一章 轨道交通的特点及工务管理	(1)
第一节 轨道交通的发展及分类	(1)
第二节 轨道交通的特点	(4)
第三节 国内外铁路工务修程修制的简述	(7)
第四节 高速铁路对轨道结构的要求	(9)
第二章 轮重变化及管理	(13)
第一节 轮重变化原因	(13)
第二节 轮重变化对轨道结构的破坏	(14)
第三节 轮重的控制	(16)
第四节 轮重变化的检测	(17)
第三章 轨道几何形位不平顺的管理	(24)
第一节 轨道几何形位不平顺的检测方法	(24)
第二节 制订轨道不平顺管理标准的主要依据	(27)
第三节 轨道动态几何不平顺和静态几何不平顺的关系	(30)
第四节 国外铁路轨道动态几何不平顺的峰值管理标准	(33)
第五节 我国铁路轨道动态几何不平顺的峰值管理标准	(37)
第六节 轨道动态几何不平顺的均值管理	(41)
第四章 轨道几何形位不平顺的预测	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 国外轨道高低不平顺预测模型研究综述	(55)
第三节 预测模型理论分析与建模	(66)
第五章 轨道养护维修的大型养路机械	(76)
第一节 国内外主要大型养路机械概况	(76)
第二节 大型养路机械轨道养护维修的组织实施	(81)
第三节 大型养路机械作业质量控制	(83)
第四节 线路养护作业后轨道状态改善量的分析	(86)
第五节 高速线路绝对定位系统作业方法简介	(96)

第六章	轨道几何不平顺管理辅助决策系统	(99)
第一节	辅助决策系统概述	(99)
第二节	国内外研究现状与水平	(100)
第三节	决策系统的关键技术	(103)
第四节	决策系统结构与功能	(116)
第七章	无缝线路管理	(130)
第一节	无缝线路的特点	(130)
第二节	无缝线路温度力测定	(135)
第三节	无缝线路焊接	(137)
第四节	无缝线路质量状态评判方法	(138)
第五节	无缝线路的养护维修	(146)
第八章	钢轨的伤损与管理	(150)
第一节	钢轨的伤损	(150)
第二节	钢轨与车轮的滚动接触疲劳	(156)
第三节	钢轨的无损探伤	(166)
第四节	钢轨打磨	(175)
第九章	道岔管理	(181)
第一节	道岔各部分主要尺寸	(181)
第二节	道岔的使用	(184)
第三节	道岔的养护维修	(186)
第四节	无缝道岔	(191)
第十章	城市轨道交通安全风险管理的	(192)
第一节	城市轨道交通安全风险概述	(192)
第二节	城市轨道交通安全风险的过程	(194)
第三节	运营阶段风险管理的方法和应用	(198)
参考文献		(210)

第一章 轨道交通的特点及工务管理

轨道交通系统是由动力牵引、在固定的线路上按一定的运输组织运行的系统。它包括铁路、城市轨道交通和磁悬浮交通等形式。在我国交通运输体系中,轨道交通完成的客、货运周转量所占的比重非常大,在我国社会经济和城市化进程中,将发挥越来越大的作用。如何用好、管好轨道交通运输基础实施,为人们生活带来便利并保证国家经济发展产生最大效益是工务管理部门的目标。本章主要介绍轨道交通系统的发展和现状,建立轨道交通的总体概念,对轨道交通工务管理有一个全面的了解。

第一节 轨道交通的发展及分类

早在原始社会时期,先民们为了出行方便,开始制造和使用代步工具,这就是最早的交通工具。从《史记·夏本纪》所记的大禹治水“陆行乘车,水行乘舟,泥行乘橇,山行乘犂”的记载可见,夏代的时候就已经出现了适应于不同用途的交通工具。从此以后,人类的活动范围开始扩大,文明开始加速发展。

人类文明史中最重要的发明之一是“轮子”。据考证,轮子的出现是在4000年前,然而装有“圆轮”的车辆出现后,在漫长的历史岁月中,由于没有驱动车轮的动力机械,交通的发展是“缓慢”的,人类社会文明的进步是“有限”的。

一、钢轨的产生

早在16世纪以前,随着商业采矿业的兴起,马车运输获得空前发展。以四轮马车为主要形式的运输,在运送长途旅客和货物上已相当普及。在17世纪初,随着工业和商业贸易的发展,各国各地区间的贸易往来越来越多,尤其是各国征战的需要,单靠过去四轮马车已不能满足运载物资和武器的要求。特别是当车轮行走在土质松软的原野草原上时,常常因阴雨而使车轮陷入泥水中,严重影响运输速度和效率。为了解决雨季里马车在松软土路上能正常进行运输的问题,人们曾采取了多种方法,如在路上铺设干草、皮革等。经过长时期的实践,人们发现在路面上铺设木板的方法最方便、最实用。于是,人们就开始在马车运输的主要干道上铺上木板,形成木质轨,让马车在木质轨上行驶。据历史记载,第一支木质轨首先在英国东部煤矿的马车运输线上应用。

木质轨是钢轨最早的形式。这种木质轨后来随着车轮半径的加大和运量的增加常常磨损折断,影响行车。此后,人们又开始摸索采用其他材料,如石板等,但仍不理想。此时的冶金技术已发展到可以生产各种铸铁的水平。实践告诉人们:铸铁不仅比木材、石材耐用,而且易于生产和加工。尽管当时铸铁在价格上比木材、石材贵得多,但其良好的性能和长久的使用寿命,让人们开始采用铸铁轨代替木质轨。铸铁轨大约出现在1767年前后,当时,这种铸铁轨实际上是一块仅有1.5 m长的铸铁板。铸铁轨由于强度高又耐用,很快就取代了原有的木质轨。正是铸铁轨的出现,使马车在增加马匹、增大体积和装载量的条件下,扩大了运输速度和运量。

二、牵引动力的产生

由于马匹管理困难,运输常常因马匹伤病而造成停业,这促使人们开始寻找新的动力,如在马车上加装风帆等,但都因不能维持稳定行车而未能广泛采用。

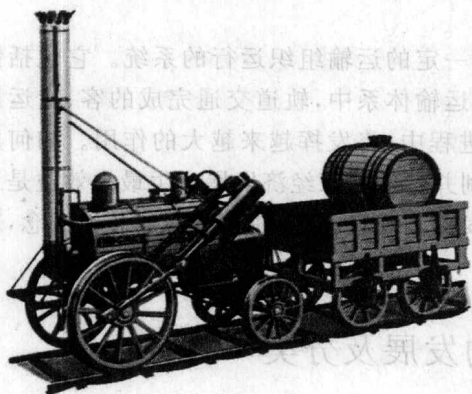


图 1-1 “火箭号”蒸汽机车

自从 1712 年由英格兰人托马斯·纽可门 (Thomas Newcomen) 设计制造了第一台蒸汽机后,这种以煤为燃料、以蒸汽机为动力的机械一出现,立即被人们广泛应用到各种工业领域中,如纺织、磨坊等,并推动了整个英国工业的革命。此时,也有人开始采用蒸汽机作动力牵引货车和客车。蒸汽机的牵引力要远远超过数批马的能力,而且又平稳。但最初设计的以蒸汽机为动力的机车大多数热效率低下。英国人乔治·史蒂文森 (Stevenson George) 经过多次试验和考察,1829 年,他设计出了被称为“火箭”的机车(图 1-1)。这种机车采用了热交换原理,在炉膛内装有大量热交换管道,再由管道内产生的大量蒸汽推动活塞做功,牵引整个机车运动。这一设计对当时的机车改进可以说是革命性的,因其设计的机车无论是速度还是牵引力,均超过当时的任何其他机车。随着蒸汽机车的出现,铁路运输能力大大提高。其后,牵引动力发展经历了蒸汽动力、内燃动力和电力动力的发展阶段,其对应的机械分别称为蒸汽机车、内燃机车和电力机车。

1. 蒸汽机车

蒸汽机车是由一个卧式锅炉烧煤供给机车蒸汽,然后气体进入汽缸推动活塞作往复运动,活塞杆连接摇杆推动机车动轮作旋转运动,从而使机车前进或后退,牵引列车。蒸汽机车的最大速度可达 110 km/h(图 1-2)。



图 1-2 蒸汽机车

2. 内燃机车

内燃机车是用内燃机(柴油发动机)代替锅炉作动力,燃烧柴油,发动机通过传动系统(一般为发电机或液力传动装置)驱动车轮上的牵引电动机(或齿轮箱)驱动机车车轮转动,以牵引

列车。但因受机车结构限制,其最大速度为 150 km/h(图 1-3)。

1-1 续



图 1-3 内燃机车

3. 电力机车

电力机车是由受电弓从架空的接触网上接受单相工频交流电,电压为 25 kV,经主变压器次边绕组、调压开关、整流柜、平波电抗器至转向架上的牵引电动机,电动机的小齿轮与车轮轴上的大齿轮相啮合,从而带动车轮旋转,驱动机车牵引列车。其速度高达 200 km/h 以上(图 1-4)。

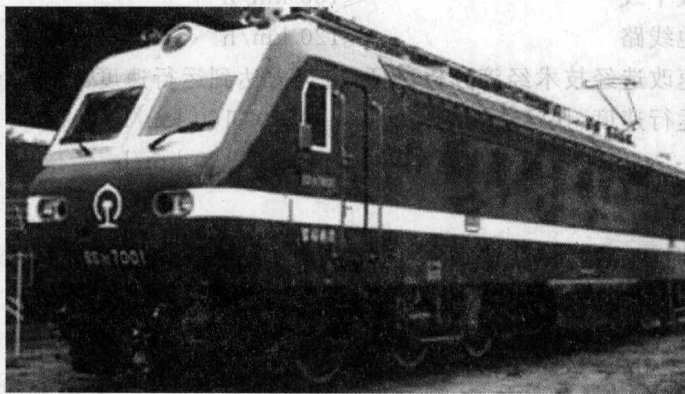


图 1-4 电力机车

三、轨道交通的定义和分类

通常意义的轨道交通系统是“钢轮钢轨”系统,车轮和钢轨之间的接触为“点”接触,车辆的行驶的滚动阻力比较小。由钢轨等设备组成的“轨道”都是铺设在运输量集中的“交通走廊”上,具有独立的行车控制系统,形成一个独立路权的交通系统,其相应的运行速度和运输能力大于其他交通工具。轨道交通的分类如表 1-1 所示。

表 1-1

(8-1) 轨道交通的类别

类 别	最高行车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	列车类型	线路
城市轨道交通	60~90	城市轨道交通车辆	地下、高架、地面线路
普通铁路	120 以下	普通常规列车	既有线路
快速铁路	120~200	提速列车或摆式列车	既有线路改建
高速铁路	200~350	高速列车	新建高速线路
超高速铁路	350 以上	磁悬浮列车	特制导轨线路

第二节 轨道交通的特点

一、轨道交通的速度、密度和重量

轨道交通是实现人和物移动的交通工具,需要在合理的速度、密度和重量的组合下,才能发挥轨道交通的效益。在铁道部 2004 年发布的《铁路主要技术政策》一书中对铁路列车的速度、密度、重量规定如下:

1. 行车速度

(1) 旅客列车运行速度分为客运专线和客货共线两种情况。

客运专线: 200~350 km/h

客货共线: 主要干线 $\leq 200 \text{ km/h}$

一般干线 $\leq 160 \text{ km/h}$

其他线路 $\leq 120 \text{ km/h}$

(2) 既有线提速改造经技术经济分析论证,应努力达到运行速度 200 km/h 的要求。

(3) 货物列车运行速度: 快运货物列车 $\leq 160 \text{ km/h}$

普通货物列车 $\leq 120 \text{ km/h}$

2. 行车密度

追踪列车间隔时间: 客运专线按 3~4 min 设计; 其他双线自动闭塞区段按 5~6 min 设计。单线区段平行运行图最小周期一般按 30 min 设计。

3. 列车重量

(1) 旅客列车编组一般不大于 20 辆。车站到发线有效长度: 客运专线 700 m; 其他线路 650 m。

(2) 主要干线应逐步实现牵引定数 5000 t。4000 t 级的货物列车, 车站到发线有效长度 850 m; 5000 t 级的货物列车, 车站到发线有效长度 1050 m。运煤专线可开行 10 000 t 或 20 000 t 的重载货物列车, 部分车站到发线有效长度分别为 1700 m 和 2700 m。快运货物列车重量不大于 1500 t。

4. 轴重

线路上运行的车辆不同, 其轴重差异比较大, 如动车组的轴重在 15 t 左右, 而货车有可能

大于 25 t,在我国铁路线路上运行机车、车辆的轴重种类较多。

200 km/h 及以上动力分散动车组动车	≤ 17 t
200 km/h 及以上动力集中动车组动车	≤ 21 t
200 km/h 及以上动车组拖车	≤ 16 t
200 km/h 客车	≤ 15.5 t
160 km/h 客车	≤ 16.5 t
120 km/h 客车	≤ 18 t
快运货车	≤ 18 t
普通货车	≤ 21 t
重载货车	≤ 25 t
200 km/h 客运机车	≤ 22 t
普通客、货运机车	≤ 23 t
重载货运机车	≤ 25 t
新建货运重载专线机车、货车	≥ 25 t

在《地铁设计规范》(GB 50157—2003)一书中,对城市轨道交通列车速度、密度、荷载规定如下:

- (1) 采用钢轮钢轨的城市轨道交通,最高速度为 100 km/h。
- (2) 线路必须为全封闭形式,并宜采用高密度、短编组组织运行。远期设计行车最大能力宜采用 40 对/h,不应小于 30 对/h,列车运行间隔为 1.5~2 min。
- (3) 在有关单位的研究报告中,收集了国内外 14 种地铁车辆和 7 种轻轨车辆的轴重资料。地铁车辆轴重从 98.5 kN(英国伦敦)到 182.1 kN(法国巴黎)不等,轻轨车辆轴重从 78.0 kN(中国拟制的 8 轴车)到 110 kN 不等。鉴于地铁轻轨列车种类的多样性并考虑车辆构造发展将从不锈钢转向铝合金,因此,轴重不会大于 200 kN。

二、轨道交通轨道结构的特点

轨道是轨道交通最基本的设施。这个长而连续的工程结构物处于非常复杂的工作条件下,其区别于其他工程结构物的基本特点是:边运营,边变形,边修理。因此,其设计方法和一般土木结构设计不同。

1. 一般土木结构设计方法

一般土木结构设计方法如图 1-5 所示。

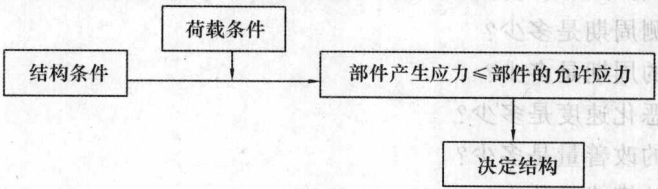


图 1-5 一般土木结构设计方法示意图

2. 有砟轨道的轨道结构设计方法

有砟轨道的轨道结构设计如图 1-6 所示。

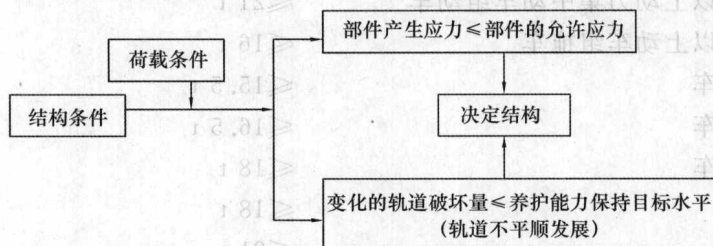
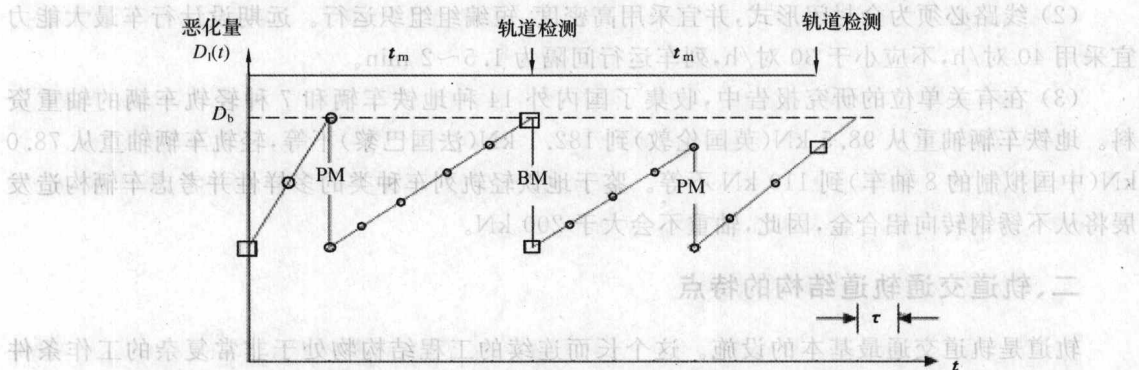


图 1-6 有砟轨道的轨道结构设计方法示意图

3. 轨道状态恶化和养护工作关系

轨道状态的发展和养护工作的关系如图 1-7 所示。对轨检车检测到的数据进行评价,其恶化量超过养护标准限值 D_b 后,马上对这些地方(组)进行养护,这种养护称为事后养护(Post Breakdown Maintenance, BM)。此外,恶化量虽然目前未超过养护标准限值 D_b ,但对各个组预测今后的发展趋势,经过必要的判断,对有些组别进行养护维修,这种维修方式称为预防性养护(Preventive Maintenance, PM)。



t —时间函数; t_m —轨道车检测周期; τ —维修计划的时间段,以旬为单位,一年有 36 个旬;

l —组数变量,组是将线路划分为更密的、固定长度的一段小线路,用于预测线路轨道几何形位的

变化; $D_i(\tau)$ —组 l 在时间段 τ 时恶化量; D_b —养护的目标值

图 1-7 有砟轨道的轨道状态恶化和养护工作关系图

由图 1-7 可知,有砟轨道与养护工作是紧密联系的,在工务管理中要解决下列问题:

- (1) 轨道车检测周期是多少?
- (2) 维修计划的周期是多少?
- (3) 轨道状态恶化速度是多少?
- (4) 轨道状态的改善量是多少?
- (5) 维修养护的模式是什么?
- (6) 轨道状态的养护目标值是多少?

三、轨道交通工务管理的内容和现状

轨道交通的工务管理是采用科学化、机械化、信息化等手段,维护轨道几何形位和轨道设备的正常使用状态,确保列车安全、准点、不间断地运行。工务管理包括测定轨道状态(see)、评价(think)、计划(plan)、维修(do)4个阶段,工务管理的主要内容如下:

- (1) 工务管理的修制和修程;
- (2) 运用现代化的检测手段,评定轨道的状态;
- (3) 轨道在不同运营条件下变形发展的规律及预测理论;
- (4) 作业参数和轨道质量的关系;
- (5) 工务信息化管理系统;

在工务管理现代化方面,发达国家正在实现3个转变:①从定性和传统经验向量化、科学化管理转变;②对轨道状态和质量的检测从静态向动态和综合检测转变;③工务管理从分散、单独的系统向覆盖全路的综合化、网络化、智能化系统转变。美国利用现代信息技术实现轨道的高效管理,如CSX运输公司和Conrail公司采用Plasser美国分公司的轨迹约束检测系统(GRMS),BNSF公司采用霍兰公司的轨道强度试验分析和记录车。未来的检测系统包括钢轨试验车、道床雷达检测系统和轨枕状态检测系统,同时,将全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)的数据应用于轨道数据库和线路维修计划系统。

我国的轨道交通处于大发展阶段,但工务管理的基础理论和管理水平与发达国家相比还有较大的差距,发达国家的工务管理现代化的经验和知识,值得我们借鉴和学习。

工务管理涉及金属学、材料学、磨损理论、轮轨动力学、结构力学、可靠性理论及电子、机械、计算机等学科,是一门与多学科紧密联系的综合性学科。

第三节 国内外铁路工务修程修制的简述

轨道的修程修制即轨道的养护维修体制,是指管理模式、管理内容、维修方式、维修周期和作业手段等。国外列车运行模式大致分三种类型:

- (1) 以日本和西欧为代表的快速客运专线;
- (2) 以美国、加拿大、澳大利亚为代表的货运重载运输;
- (3) 以俄罗斯、我国为代表的客、货共线。

不同的运行模式,其修程修制也不相同。

一、以日本、西欧为代表的快速客运专线

1. 日本新干线修理制度

新干线的维修工作均是由非铁道部门的专业承包商以承包方式进行作业,它主要分大规模施工和小规模施工两大类。

- (1) 大规模施工。主要包括更换道床、钢轨、钢轨伸缩调节器和道岔等作业。
- (2) 小规模施工。主要是针对线路的整修,整修的内容与时限要求主要依据新干线的“轨道几何不平顺管理目标值”。

2. 新干线线路维修周期

- (1) 更换钢轨。曲线钢轨1~1.5年更换1次,直线钢轨通过总重为5~6亿t或7~8年

更换1次。

(2) 更换道岔及钢轨伸缩调节器。原则上与更换钢轨同步,但由于其结构较为复杂、易于损坏,实际比钢轨的更换周期要短,一般根据其具体状态确定。

(3) 更换道床。道床一般11~12年更换1次,目前主要由道床状态检查结果确定,主要检查道床板结和道砟磨损情况。

(4) 轨道维修。轨道维修根据轨检车每10 d检测1次的具体资料确定工作量。由于新干线为客运专线,轴重轻(原来轴重15 t,现减小到11 t),板式轨道比重大(板式轨道占53%),故轨道几何尺寸变化较小,相应的轨道养护维修工作量大大减少。

二、以美国为代表的货运重载运输线路修程修制

(1) 修程按大修、维修设置,不采用定期维修,根据检测状态实施修理,即“状态修”。

(2) 修理方式。线路大修、维修不采用发包形式,直接由工务段专业工队承担,线路的日常养护由工务段工区承担。

(3) 线路检测。采用动态检查为主并辅以人工巡查,轨检车动态检查每年4~6次,徒步巡查每周2次,钢轨由探伤车每年检查1~2次。

(4) 作业手段。以中小型机械为主,养护维修机械化程度较高,注重实用,但仍有部分手工作业。

(5) 管理体制。为力求减少层次,线路较少的铁路公司由总部的工务工程部门直接管理基层单位。

三、以俄罗斯为代表的客、货混运重载快速线路修程修制

(1) 俄罗斯线路修程按大修、中修、维修设置,大修、中修、综合维修的周期均按通过总重划定。年通过总重超过50 Mt·km/km的线路,大修周期为600~700 Mt·km/km,中修周期350~400 Mt·km/km,综合维修周期为125~200 Mt·km/km。

(2) 修理方式。由路内的工务段和大修段(机械化段)承担。工务段负责轨道结构和轨面几何状态的日常养护,大修段(机械化段)承担线路的大修、中修、综合维修。

(3) 线路检测。以每月工区静态检查和轨检车动态检查相结合的方式。钢轨探伤以小型超声波探伤仪人工检查为主,并辅以探伤车检查。

(4) 作业手段。俄罗斯线路大修、中修、维修均采用大型高效率养路机械开“天窗”进行,工区的日常养护采用小型养路机械。

(5) 管理体制。管理组织结构纵向分为部、路局、分局、基层单位(工务段等)4级。劳动生产率较低。

四、我国铁路工务修程修制

为控制线路的技术状态,我国铁路对线路设备的修理划分为线路大修、线路中修和线路维修。并以周期修的方式进行。《铁路线路修理规则》第6.1.1条对周期作如下规定(表1-2)。

表 1-2

线路设备修理周期表

轨道条件			周期(通过总重)/(Mt·km·km ⁻¹)		
轨 型	轨 枕	道 床	大 修	中 修	维 修
75 kg/m 无缝线路	混凝土枕	碎石	900	400~500	120~180
75 kg/m 普通线路	混凝土枕	碎石	700	350~400	60~90
60 kg/m 无缝线路	混凝土枕	碎石	700	300~400	100~150
60 kg/m 普通线路	混凝土枕或木枕	碎石	600	300~350	50~75
50 kg/m 无缝线路	混凝土枕或木枕	碎石	550	300	70~100
50 kg/m 普通线路	混凝土枕或木枕	碎石	450	250	40~60
43 kg/m 及以下钢轨普通线路	混凝土枕或木枕	碎石	250	160	30

1. 线路大修

当钢轨运营累计通过总重达到铁道部 2006 年发布的《铁路线路修理规则》规定的标准或钢轨疲劳伤损累计数达到 2 根/km 时,必须通过线路大修对钢轨及其他损耗部件进行全面更新和修理,恢复或提高设备强度,增强轨道承载能力。它的主要内容是更换钢轨,同时破底清筛道床。

2. 线路中修

当累计通过总重达到《铁路线路修理规则》规定的标准或道床脏污率达到 30%,枕下道床板结深度达到 250 mm,并出现成段翻浆冒泥时,应实施线路中修。中修应解决道床脏污、板结,全面恢复道床弹性。

3. 线路维修

线路维修分为综合维修、经常保养和临时补修。

当道床脏污率达到 20%,道床开始板结,枕下板结深度接近 70 mm 并出现零星翻浆冒泥,或前一次综合维修起道量全部下沉完毕、轨道几何状态成段严重不良,养护已不能维持轨面状态时,应进行线路综合维修,其目的是全面改善轨道弹性,调整轨道几何状态尺寸和更换、调修失效零部件。

自 1997 年至今,我国铁路已实施了 6 次大提速,列车提速至 200 km/h 后,线路的质量标准有了较大幅度的提高,人工作业采用的电动捣固棒的作业精度不能达到 200 km/h 质量要求,也不能利用列车间隔进行作业。200 km/h 线路质量的提高与保持必须依靠大型机械,日常的紧急补修采用高效的小型养路机械作业,作业时间应在“天窗”内进行。

第四节 高速铁路对轨道结构的要求

高速铁路的行车特点是高速度、高密度和小编组,为实现列车的高安全性和高乘坐舒适性,轨道结构必须具备高平顺性和高稳定性。轨道结构的高平顺性要通过建设初期的质量控制和开通运行后的养修控制来实现。轨道结构的高稳定性不仅需要选用高可靠性的轨道部件,保持轨道纵向刚度的均匀性,而其提高大机养修作业精度、增加养修作业后的安全储备量,也是实现轨道结构高稳定性的重要手段之一。

一、轨道结构的高平顺性

高平顺的核心是保持轨道结构良好的几何状态,其具体要求如下:

(1) 轨道部件的高精度。轨道结构是由钢轨、扣件、轨枕及枕下基础等轨道部件组成的结构体。其中,钢轨直接支撑着列车的运行,其合理外形及几何尺寸和良好的内在质量是列车运营高舒适性和高安全性的前提;而轨下基础的高精度和高可靠性,是钢轨精确稳定的几何位置的重要保障。

(2) 铺设高精度。轨道结构铺设的高精度是实现轨道初始高平顺性的保证。轨道结构铺设阶段产生的初始不平顺,是运营阶段不平顺产生、发展、恶化的根源,一旦出现这种起源于铺设精度的不平顺,就会在轨道结构和路基基础上烙下深刻的印记,产生所谓的记忆性,需要后期付出更多的维修工作量,有时还难以从根本上予以解决。

表 1-3 所示是国外高速铁路轨道铺设精度。在速度不低于 250 km/h 线路上,铺设精度几乎达到了毫米级;法国和西班牙由于采用有砟轨道,其铺设精度比 EN(欧洲)标准要求的要低;日本广泛采用无砟轨道,其铺设精度就比较高。表 1-4 是铁道部 2006 年发布的《京沪高速铁路设计暂行规定》的轨道铺设标准。

表 1-3 国外高速铁路轨道铺设精度

项目	EN 标准		法国	德国	西班牙	日本
速度/(km·h ⁻¹)	250~300	200~250	>200	>200	>200	>200
轨距/mm	±2	±2	—	—	±3	—
水平/mm	±2	±2	3	±2	4	2
高低	2 mm/10 m	3 mm/10 m	3 mm/10 m	2 mm/5 m	3 mm/10 m	2 mm/10 m
	3 mm/20 m	4 mm/20 m				
轨向	2 mm/10 m	3 mm/10 m	2 mm/10 m	2 mm/10 m	3 mm/10 m	2 mm/10 m
	3 mm/20 m	4 mm/20 m				
扭曲	3 mm/3 m	3 mm/3 m	3 mm/3 m	—	4 mm/3 m	1.5 mm/2.5 m

表 1-4 我国速度≥300 km/h 线路轨道铺设精度

项 目		高低	轨向	水平	扭曲(6.25 m)	轨距
有砟轨道	幅值/mm	2	2	2	2	±2
	幅值/mm	2	2	1	—	±1
道岔	幅值/mm	2	2	2	—	±1
	弦长/m	10				

需要指出的是,在高速铁路上,长波长不平顺是影响舒适性的主要原因,应当在铺设阶段适当增加测量弦长度,特别是要完善检测手段,将手推检测小车用于铺设精度检测中,这种小车能实现弦长 40m 以上高精度检测要求。

(3) 养护维修质量的高精度。可维修性是轨道结构的重要特点,也是设计和运营阶段需要考虑的重要方面。高速铁路的 3 个原创国对轨道不平顺的管理项目和管理值都有详细的规

定,具体内容见第三章。

应当说明的是,不同波长不平顺影响范围不同:①3~25m 波长主要影响轮轨力;②25~70m 波长主要影响中速行车条件下车体加速度;③70~120m 波长主要影响高速行车条件下车体加速度。

在高速铁路上,不平顺管理波长越长越好。根据欧洲的研究,不同的波长,标准差和目标值以及限值不同(表 1-5)。

表 1-5 运营速度 300 km/h 轨道几何偏差标准差要求

波长/m	高低标准差/mm		轨向标准差/mm	
	目标值	极限值	目标值	极限值
3~25	1.0	1.5	0.7	1.0
25~70	2.0	3.0	1.3	2.0
70~120	2.7	4.0	3.4	5.0

二、轨道结构的高稳定性

轨道稳定性是指轨道在高速运营条件下保持高平顺性与均衡弹性、维持部件有效性与完整性的能力,其内涵是少维修或免维修。如果轨道的稳定性难以保证,就必须进行必要的维修。维修的不利影响包括两个方面:一是干扰正常运输秩序,构成新的安全隐患;二是作为网络化、高密度的高速铁路,需要线路具有较高的使用率,而维修是影响线路使用率最重要的因素。所以,轨道稳定性应是贯穿轨道设计和施工过程的最重要概念。高稳定性的具体要求如下:

(1) 运用高精度和高可靠性的轨道部件,提高结构的系统性和耐久性,确保轨道长期高平顺性及轨道部件长期有效性和完整性。

轨道结构作为多部件组合的结构体,在严格要求部件几何尺寸公差的同时,还应对部件组合后的功能提出要求。其中,由钢轨、扣件和轨枕组合的轨排是轨道结构的核心,扣件在轨排中具有十分重要的作用,对轨排弯曲刚度和扭转刚度影响显著,因此,需要考察扣件组装以后的纵横向阻力、扣压力、刚度、高低和轨距调整能力及绝缘性能;而枕下基础对轨排起支撑和传递荷载作用,需要二者分界处具有较大的接触面积,以减少作用在枕下基础上的应力集中;同时,还要使轨排与枕下基础刚度相互匹配,降低轨排刚度,提高乘车舒适性,减少传递到枕下基础的荷载,维持枕下基础稳定(在有砟轨道中,轨道几何尺寸恶化速率与道床受力呈 3~4 次幂关系)。

(2) 确定轨道合理刚度,维持沿纵向轨道刚度分布均匀性。

① 轨道必须有合理的弹性,以满足吸收振动与噪声和减少冲击作用的需要,并保持钢轨轨底应力在允许范围内。根据弹性地基梁计算原理,作用于钢轨上的垂直荷载为

$$P_T = P_0 + 2\sqrt{\sigma^2(\Delta P_S) + \sigma^2(\Delta P_{NS})} \quad (1-1)$$

式中 P_T ——作用于钢轨上的总轮重;

P_0 ——作用于钢轨上的静轮重;

$\sigma(\Delta P_S)$ ——车辆簧上质量引起的动态附加荷载的均方差, $\sigma(\Delta P_S) = (0.11 \sim 0.16)P_0$;

$\sigma(\Delta P_{NS})$ ——车辆簧下质量引起的动态附加荷载的均方差, $\sigma(\Delta P_{NS}) = abv\sqrt{mk}$;