

TIELU WUFENG XIANLU

铁路无缝线路

(第四版)

广钟岩 高慧安 主编
卢祖文 杨应环 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

U213.9

7

铁路无缝线路

(第四版)

广钟岩 高慧安 主编
卢祖文 杨应环 主审

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书在我社 2001 年 4 月版的基础上,结合近年来我国铁路大面积提速中超长无缝线路的广泛应用及秦沈客运专线、西康线等新线铁路铺设无缝线路的成功经验修订而成。全书共分九篇,主要内容包括:概述,基本原理,无缝线路设计,超长无缝线路,桥上无缝线路,长钢轨焊接,既有线无缝线路铺设,新建铁路无缝线路铺设,无缝线路养护维修等。

图书在版编目(CIP)数据

铁路无缝线路/广钟岩,高慧安主编.—4 版.—北京:
中国铁道出版社,2005.2
ISBN 7-113-05782-9

I. 铁… II. ①广… ②高… III. 无缝线路轨道
IV. U213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 000597 号

书 名:铁路无缝线路(第四版)

作 者:广钟岩 高慧安

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑:陈 健

责任编辑:傅希刚 编辑部电话:路(021)73142

封面设计:陈东山

印 刷:北京市彩桥印刷厂

开 本:850mm×1 168mm 1/32 印张:13.625 字数:354 千

版 本:1989 年 9 月第 1 版 1995 年 7 月第 2 版 2001 年 4 月第 3 版
2005 年 2 月第 4 版 2005 年 2 月第 4 次印刷

印 数:9 001~13 000 册

书 号:ISBN 7-113-05782-9/U·1745

定 价:36.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:路(021)73169,市(010)63545969

序

无缝线路是轨道结构的一大变革,它以无可争议的优越性得到各国铁路的承认。几十年来,各国铁路竞相发展无缝线路,使这项新技术日臻完善,并取得巨大的经济效益和社会效益。

我国自 1957 年铺设无缝线路以来,在理论研究、设计、焊接、施工、养护维修和管理等方面都取得了很大的成绩。20 世纪七八十年代,我国铁路又在桥上、小半径曲线、大坡道和寒冷地区试铺了无缝线路,取得了突破性进展,扩大了无缝线路的铺设范围,使无缝线路铺设的延展长度有了较大的增长。截止到 2003 年底,我国铁路正线无缝线路延展长度已达 39 157.8 km,约占全路—延展长度的 45%。同时,我国铁路工作者致力于无缝线路的稳定性研究,大力提高钢轨厂焊能力和质量,在大修施工中普及了移动式气压焊,改善了铝热焊剂质量,改进了铝热焊工艺以提高铝热焊缝质量,提高胶接绝缘接头使用寿命,焊接长钢轨铺设工艺及装各的研究,铺设了跨越闭塞分区的超长无缝线路以及养护维修、科学管理等方面都做了大量工作,有了长足的进步。

加速扩大超长无缝线路的铺设,展大限度地减少或取消缓冲区,可以展大限度地延长固定区,得使无缝线路的优越性得到更充分发挥。

发展超长无缝线路(全区间或跨区间无缝线路)是技术发展的必然,将对全面提高无缝线路技术起到重要推

动作用。各工业发达国家大力发展超长无缝线路,使这项技术达到了新的水平,这对我国铁路的发展,既是一种挑战,又是一种机遇。我们要结合提速工程,不失时机地在结构、工艺、材料和管理等方面做好工作,积极而又慎重地做好发展超长无缝线路的工作,使我国无缝线路及轨道结构向世界先进水平靠拢。

多年来,我国铁路高等院校、科研单位和管理部门的工务工作者,为发展无缝线路技术做了大量工作,曾出版了很多有关无缝线路的专著、译文、论文等。即将出版的这本《铁路无缝线路》是国内本专业有影响的几位专家根据他们几十年在理论研究和实践工作中的成果和经验的总结。该书内容翔实,水平较高,科学性强,堪称工务工作者的良师益友。在我国铁路超长无缝线路技术投入实践之际,修订将版此书更有特殊的意义。希望专家们的辛勤劳动能在工务技术进步和运输安全生产中发挥应有的作用。

齐祖文

2005年元月

修 订 前 言

《铁路无缝线路》一书的 1989 年版本,是以 50 kg/m 钢轨为主型轨编写的,由张泽珪、广钟岩、高慧安、陈岳源四位同志主笔。进入 20 世纪 90 年代,列车牵引重量、运行密度、行车速度均有大幅提高,与之相适应的轨道结构强化踏上了新的台阶,60 kg/m 钢轨成为全路各主要干线的主型轨。因此,本书于 1995 年再版时,以 60 kg/m 钢轨为主型轨进行一次修订,并邀请了兰州铁道学院许实儒教授协助编写,修订过程中承蒙原铁道部工务局局长韩啟孟悉心指导和热情鼓励。

我国铁路无缝线路自 1993 年以来,北京、郑州、上海铁路局先后在京山线、京广线和沪宁线试铺超长无缝线路,取得了成功经验之后,超长无缝线路迅速在全路各主要干线发展起来。与此同时,新建铁路铺设超长无缝线路已在秦沈客运专线成功实现。这些都进一步丰富了无缝线路的理论和实践的内容,它标志着我国铁路无缝线路的发展跨入了一个新的时代。因此,铁道部运输局基础部和中国铁路总公司的领导要求本书再版时,要再一次进行修订和充实新的内容。

我国铁路各主要干线的提速工程,推动了超长无缝线路的发展,同时也带动了铁路科学技术的发展。秦沈客运专线的建成,为新建铁路一次铺设无缝线路开创了先河,创造了经验。这些成就,是本书第四次再版修订的重要内容。

本次修订分工如下:

主 编 广钟岩 高慧安

主 审 卢祖文 杨应环

第一篇 概 述

广钟岩

第二篇 基本原理 许实儒

曾树谷

广钟岩

第三篇 无缝线路设计

陈岳源

第四篇 超长无缝线路

广钟岩

许实儒

第五篇 桥上无缝线路

高慧安

第六篇 长钢轨焊接

广钟岩

第七篇 既有线无缝线路铺设

沈相宙

田时超

第八篇 新建铁路无缝线路铺设

高慧安

第九篇 无缝线路养护维修

沈相宙

编 者

2004 年 10 月

目 录

第一篇 概 述	1
第一章 铺设无缝线路的意义	1
第二章 国内外无缝线路的发展	4
第一节 国外铁路发展无缝线路概况	4
第二节 我国铁路发展无缝线路概况	11
第三章 无缝线路养护维修主要规定	14
第二篇 基本原理	16
第一章 钢轨温度力及伸缩位移	16
第一节 钢轨温度力	16
第二节 道床纵向阻力梯度及钢轨温度力梯度	18
第三节 温度力图与钢轨伸缩量	20
第四节 伸缩区的温度力变化规律及温度力峰	22
第五节 伸缩区轨端位移和缓冲区预留轨缝计算	27
第六节 长轨条所受纵向力及固定区钢轨局部 伸缩位移	30
第二章 锁定轨温问题解析	32
第一节 锁定轨温定义	32
第二节 钢轨温度力与锁定轨温	33
第三节 锁定轨温的设计与监控	39
第三章 无缝线路稳定性分析	43
第一节 概 述	43
第二节 无缝线路稳定问题的能量变分原理及 分析方法分类	48

第三节	平衡微分方程的直接解法	60
第四节	统一无缝线路稳定性计算公式	63
第五节	通用线型公式和安全温升公式及应用	72
第四章	无缝线路的强度检算	94
第一节	轮轨荷载	94
第二节	轨道结构静力计算	97
第三节	无缝线路钢轨强度计算公式	100
第四节	算 例	105
第三篇	无缝线路设计	108
第一章	设计内容及文件组成	108
第一节	无缝线路对轨道结构及路基的要求	108
第二节	无缝线路设计前的外业调查	112
第三节	设计文件内容及组成	112
第二章	无缝线路设计	113
第一节	强度和稳定性检算	114
第二节	无缝线路结构设计	117
第三节	无缝线路结构计算	120
第四节	设计示例	123
第五节	施工预算	131
第六节	超长无缝线路设计	132
第三章	大号码无缝道岔设计	139
第一节	大号码无缝道岔设计参数	140
第二节	大号码可动心轨无缝道岔的纵向力和 位移计算	144
第三节	大号码可动心轨无缝道岔的强度和 稳定性检算	146
第四章	无缝线路基本技术参数	146
第一节	钢轨温度	146
第二节	轨道框架刚度	151

第三节	扣件阻力	153
第四节	道床阻力	159
第五节	轨道初始弯曲	167
第四篇	超长无缝线路	169
第一章	概 述	169
第一节	超长无缝线路的发展	169
第二节	超长无缝线路的优越性	170
第二章	高速、重载铁路的发展与超长无缝线路	172
第一节	国外高速铁路的发展与超长无缝线路	172
第二节	国外重载铁路的发展与超长无缝线路	172
第三节	我国铁路列车速度的提高与超长无缝线路	173
第四节	我国重载铁路的发展与超长无缝线路	175
第三章	无缝道岔温度力与变形分析	176
第一节	概 况	176
第二节	二次松弛计算法	176
第四章	冻结接头与胶接绝缘接头	186
第一节	冻结接头	186
第二节	胶接绝缘接头	190
第五篇	桥上无缝线路	193
第一章	概 述	193
第一节	基本原理	193
第二节	基本设计参数	196
第三节	设计原则及设计分类	198
第四节	国内外桥上无缝线路的发展	199
第二章	中小跨度桥上无缝线路	203
第一节	结构设计要点	203
第二节	桥上无缝线路的纵向力	206
第三节	伸缩力计算	206

第四节	挠曲力计算	224
第五节	高墩和柔性墩桥纵向力计算	234
第六节	桥上纵向力算例	240
第七节	钢轨断缝及断轨力计算	251
第八节	曲线桥上横向力计算	254
第九节	轨道及桥梁的检算	254
第十节	墩台及支座承受纵向力的荷载条件	257
第三章	大跨度桥上无缝线路	261
第一节	大跨度桥上无缝线路结构设计	261
第二节	纵向力计算	264
第六篇	长钢轨焊接	290
第一章	接触焊法	290
第一节	焊接原理	291
第二节	焊接工艺要求	291
第三节	接触焊机主要技术特性	294
第四节	焊接缺陷形成的原因	296
第二章	气压焊接法	298
第一节	气压焊原理	298
第二节	焊接方法	299
第三节	焊接设备和材料	300
第四节	焊接工艺	303
第五节	焊接缺陷的原因及防治	306
第三章	铝热焊法	308
第一节	焊接原理	308
第二节	焊接工艺	309
第四章	焊接质量及焊后工艺改进	313
第一节	焊接质量对比	313
第二节	质量检验方法	313
第三节	焊后工艺改进	316

第五章 长钢轨焊接列车	318
第一节 概 述	318
第二节 长钢轨焊接列车组成	318
第七篇 既有线无缝线路的铺设	321
第一章 普通无缝线路的铺设	321
第一节 基本要求	321
第二节 铺设无缝线路的基本方法	324
第三节 施工质量	331
第四节 无缝线路施工注意事项	332
第二章 超长无缝线路的铺设	336
第一节 铺设方法	336
第二节 施工范例	342
第三章 低温铺设长轨条的拉伸	348
第一节 功能和原理	349
第二节 拉伸的基本要求	350
第三节 拉伸器的性能	352
第四节 拉伸的允许温差和长轨条长度的限值	354
第五节 作业要点	355
第四章 温度应力放散	356
第一节 基本要求	356
第二节 放散方法	357
第三节 应力调整	359
第八篇 新建铁路无缝线路的铺设	360
第一章 概 述	360
第二章 新建铁路铺设无缝线路的技术标准	361
第一节 新建铁路扩大铺设无缝线路范围	361
第二节 路基技术标准	361
第三节 轨道技术标准	369

第三章 新建铁路铺设无缝线路的方法	371
第一节 概 述	371
第二节 道床施工工艺	372
第三节 长钢轨铺设方法	373
第四节 长轨条铺后的补碴、整道作业	379
第四章 大号码道岔的运输与铺设	382
第一节 大号码道岔的运输	382
第二节 大号码道岔的铺设	383
第三节 无缝道岔的焊接与锁定	385
第九篇 无缝线路养护维修	386
第一章 基本要求和作业轨温条件	386
第一节 基本要求	386
第二节 作业轨温条件	388
第二章 无缝线路养护维修	390
第一节 维修原则和要点	390
第二节 养护维修的基本内容和基础工作	392
第三节 主要作业要领	396
第四节 季节性作业重点	399
第五节 超长无缝线路养护维修要点	401
第六节 无缝道岔养护维修要点	402
第三章 大型机械综合维修	405
第一节 概 述	405
第二节 线路维修使用的大型机械	405
第三节 大型机械的功能	411
第四节 提高大型机械作业质量应做好的事项	412
第四章 胀轨跑道及钢轨折断的预防和处理	415
第一节 胀轨跑道的预防和处理	415
第二节 钢轨折断的预防和处理	418
第三节 无缝线路破坏后的修复	420

第一篇 概 述

第一章 铺设无缝线路的意义

无缝线路既是轨道结构技术进步的重要标志,也是高速、重载轨道结构的最优选择,它以无可争议的优越性为各国铁路所认同。各国铁路竞相发展无缝线路,目前已累计铺设 30 多万千米。近年来,我国铁路无缝线路的发展也很快,截止到 2003 年底全路累计铺设无缝线路 39 157.8 km,技术上也有很大进步。在轨道结构强化方面,60 kg/m 钢轨已成为各干线的主型轨,轨下基础以Ⅱ、Ⅲ型混凝土枕为主型,道床以Ⅰ级硬质道碴为标准,将逐步取代石灰岩道碴,尤其是超长无缝线路和无缝道岔的发展,为高速、重载运输的发展打下了坚实基础。

无缝线路问世之前,普通线路上的钢轨接头,既是轨道结构不可缺少的组成部分,又是轨道结构的薄弱环节。

线路上钢轨接头的数量,是由钢轨长度决定的。而钢轨长度又受制于轧制、运输、铺设和养护方面的技术。过去钢轨长度主要是由轨缝的允许限值来控制,当温度升降时,钢轨接头必须为钢轨的胀缩提供条件,以减少钢轨内部的温度力。钢轨越长接头越少,但钢轨越长,轨缝就越大,车轮经过轨缝所产生的振动也越大,因此,钢轨又不能太长。我国铁路钢轨标准长度,过去为 12.5 m,现在为 25 m;1 km 线路上的钢轨接头数,过去和现在分别为 160 个和 80 个。

为了改善钢轨接头的工作状态,曾经从接头的构造上、材质上采取过很多措施,如轨枕的支承形式和尺寸、夹板断面形状、长度、螺栓个数、轨端淬火等等,但均未能解决接头的缺陷,接头病害依然存在。实践证明,造成接头病害的主要原因,有以下几个方面:

(1)接头处一对夹板的竖向刚度 EI_y , 仅为钢轨竖向刚度的 30% 左右。如我国 50 kg/m 钢轨夹板竖向刚度 EI_y 为钢轨竖向刚度的 27.6%; 60 kg/m 钢轨夹板的竖向刚度为钢轨竖向刚度的 32.6%。因此, 车轮经过钢轨接头时, 钢轨的弹性挠曲在该处呈折线形, 据测试, 其折角约为 4.5×10^{-3} rad; 竖向位移也比轨节中部的竖向位移大 10% ~ 15%。

(2)在车轮向前滚动临近轨缝的瞬间, 两轨端上下相对错动形成台阶。据铁道部科学研究院测试, 一般线路上台阶高差为 0.02 cm, 当车轮与其碰撞时, 轨道发生强迫振动, 这一振动对轨道有较大的破坏作用。

(3)接头处有轨缝存在, 致使轮轨接触在该处间断, 轨缝越大这种影响就越大, 这也是接头处产生附加冲击作用的原因。

(4)钢轨轧制和材质缺陷对接头的影响。

由于上述原因, 钢轨接头处的动力响应特别强烈。日本东海道新干线轨道振动测试结果表明, 接头轨枕上下振动加速度低频为 10g, 高频则超过 200g, 要比轨节中部的轨枕上下振动加速度大几倍甚至几十倍。列车速度越高, 轨道振动加速度越大。据我国铁路部门试验, 当人民型机车以 80 km/h 的速度通过状态良好的钢轨接头时, 其附加动力要比轨节中部高 28%。

钢轨接头处在较大的附加动力作用下, 线路变形发展较快, 致使接头处线路酿成一系列病害。其主要病害有;

(1)在捣固不良或翻浆冒泥地段出现低接头。

(2)钢轨端部出现鞍形磨耗, 严重者向列车前进方向发展, 最终形成波浪磨耗。在列车前进的相反方向, 在固定轴距范围内, 车轮振动也引发一小段波浪磨耗。

(3)钢轨破损, 轨头表面金属碎裂、剥离、掉块、螺栓孔裂纹, 甚至钢轨折断。

(4)夹板产生永久性变形, 造成硬弯甚至使夹板裂纹、折断。

(5)混凝土枕损坏、破裂, 主要发生在接头及其前后轨枕的轨下断面处。

(6)道床溜坍、板结、翻浆冒泥。

线路接头病害的各影响因素,互为因果,恶性循环,促使钢轨接头处永久变形发展,进一步使竖向位移和冲击力加大。同时,使机车车辆的振动加剧,噪声增大,舒适度降低,消耗更多的动力,加速线路和机车车辆的破损,导致设备使用寿命缩短,修理费用增大。从线路维修资料得知,线路接头区的养护工作量约占线路养护总工作量的 60%,所耗经费约占线路养护总经费的 35% 以上。钢轨因轨端损坏而抽换的数量,较其他部分损坏而抽换的数量大 2~3 倍。重伤钢轨 60% 左右发生在接头区。

综上所述,线路的钢轨接头,不仅对线路设备、机车和车辆的使用寿命、旅客的舒适度、能源的消耗等有一定的不良影响,而且还直接威胁着铁路行车安全。因此,对钢轨接头的功能应有两个基本要求:一是温度变化时钢轨能伸缩;二是接头构造要坚固稳定。这两个要求对普通线路来说是互相矛盾的,保了伸缩就保不了稳固,否则在构造上将增加难度。过去为改善接头构造,曾提出很多设想,但均未解决钢轨接头的稳固问题。冻结接头线路虽然能解决钢轨接头的稳固问题,但平顺性的改善有限。实践证明,只有将钢轨焊接起来的无缝线路,才是彻底解决钢轨接头的稳固与平顺的根本出路。

无缝线路又称长钢轨线路。我国铁路无缝线路长轨条的焊联长度,20 世纪 90 年代之前一般取 1~2 km。近年来,在提速工程的带动下,超长无缝线路发展迅速。超长无缝线路最大限度地消除了缓冲区及其钢轨接头。区间长轨条与车站道岔焊联时,长轨条连续焊接的长度可达数百千米,从而构成名符其实的无缝线路。

超长无缝线路是跨区间无缝线路和全区间无缝线路的通称。如全区间无缝线路的长轨条全部与无缝道岔焊联,则直呼超长无缝线路更便捷。

随着无缝线路的应用与发展,各国铁路对无缝线路的稳定性、长钢轨的温度力和胀缩等理论问题,进行了广泛的实验研究。近年我国铁路科技人员对无缝线路的提速区段进行了大量的轨道力

学试验分析,加深了对无缝线路轮轨相互作用理论的认识。广泛的科学试验和理论研究,大大促进了无缝线路的发展和科学管理水平。钢轨的焊接技术,以及长钢轨的运输、铺设与维修等方面的技术亦均有显著进步。我国铁路钢轨焊接厂全面采用了电接触焊。长钢轨运输统一采用了四层自动装卸列车,500 m长的焊接钢轨一次最大载运量可达14 km。换轨机械已开始由拆旧铺新的组合式小车更新为更加稳定、安全、快速的大型换轨车,在维修方面采用了大型机械联合作业。新线也在积极筹划一次铺设无缝线路的设计与施工。秦沈客运专线就是按一次铺设无缝线路设计的,现已建成。西康线穿越秦岭的18.4 km的长大隧道,也一次铺成了无缝线路,长轨条贯穿整个隧道。当今铁路已跨入了全面推广运用无缝线路的新时代,无论是高速铁路还是重载铁路,其轨道结构无一不优先选用无缝线路。

国内外铺设无缝线路的实践经验证明,无缝线路与有缝线路相比,它在技术经济上有明显的优越性。据一些国家统计,在节约劳力和延长设备使用寿命方面,无缝线路比有缝线路可节约线路维修费用35%~75%。此外,无缝线路的平顺性好,行车平稳,旅客舒适,非常适合高速、重载列车的运行,还可减少机车车辆的运营费用。可见,大力发展无缝线路是一项具有重大技术经济意义的举措。

第二章 国内外无缝线路的发展

第一节 国外铁路发展无缝线路概况

各国为适应高速铁路的发展,大力发展并改善无缝线路,使无缝线路在技术上有了显著的进步。这些进步集中反映在超长无缝线路的发展上,同时,无缝道岔和大号码道岔也随之发展了起来。法国和奥地利成功地解决了锰钢辙叉与钢轨焊接的技术,实现了区间无缝线路与车站道岔的焊联;法国巴黎—里昂间的铁路采用