

铁路无缝线路

(第三版)

广钟岩 高慧安 主编

卢祖文 杨应环 主审

图书在版编目(CIP)数据

铁路无缝线路/广钟岩,高慧安主编. —3版. —北京:
中国铁道出版社,2001.4

ISBN 7-113-04021-7

. 铁... . 广... 高... . 无缝线路-轨道
. U213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 02294 号

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 1 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书在我社 1995 年 7 月版的基础上,结合近年来我国在诸如全区间和跨区间无缝线路技术、新线一次铺设无缝线路技术等方面的重大突破修订而成。全书共分九篇,主要包括:概述,基本原理,无缝线路设计,跨区间无缝线路,桥上无缝线路,长钢轨焊接,无缝线路的铺设,新建铁路一次铺设无缝线路,无缝线路的养护维修等。

书 名:铁路无缝线路(第三版)

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

封面设计:陈东山

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:850 mm × 1 168 mm 1/32 印张:15 插页:1 字数:394 千

版 本:1989 年 9 月第 1 版 1995 年 7 月第 2 版

2001 年 4 月第 3 版 2001 年 4 月第 3 次印刷

印 数:5 001 ~ 9 000 册

书 号:ISBN 7-113-04021-7 U·1103

定 价:36.00 元

版权所有 盗印必究

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。

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。七八十年代,我国铁路又在桥上、小半径曲线、大坡道和寒冷地区四大禁区铺设无缝线路,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 1999 年底,我国铁路正线无缝线路延展长度已达 27 310 km,约占全路正线延展长度的 33.9%。同时,我国铁路工作者在无缝线路稳定性研究,大力提高钢轨厂焊能力和质量,在大修施工中普及移动式气压焊,改善铝热焊剂质量、改进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备的研究,铺设跨越闭塞分区的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。

但是,与工业发达国家相比,我国铁路无缝线路的发展速度还是比较缓慢的,特别是闭塞分区间和道岔前后还存在着轨缝,缓冲区和伸缩区约占无缝线路延展长度的 20% ~ 30%。最大限度地减少或取消缓冲区,可以最大限度地延长固定区,将使无缝线路的优越性得到充分

发挥。

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全区间或跨区间无缝线路,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,我们要不失时机,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全区间或跨区间无缝线路的工作,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,修订再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。

二 年六月二十一日

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、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,修订过程中承蒙铁道部工务局局长韩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跨区间无缝线路,取得了成功经验之后,跨区间无缝线路迅速在全路各主要干线发展了起来,与此同时,新建铁路铺成跨区间无缝线路在秦沈客运专线兴建。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。

本次修订和编写分工如下:

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	跨区间无缝线路	广钟岩	许实儒	陈岳源
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	无缝线路铺设		广钟岩	田时超
第八篇	新建铁路一次铺设无缝线路			高慧安
第九篇	无缝线路养护维修		沈相宙	广钟岩

此次修订,全书经三审定稿。一审杨应环,复审陈健,终审卢祖文。终审前全书由沈相宙进行一次全面校核,为本书在文字上减少遗误起到了重要作用。

编者

2000年12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.....	8
第三节 无缝线路养护维修的主要规定	12
第二篇 基本原理	14
第一章 钢轨温度力及伸缩位移	14
第一节 钢轨温度力	14
第二节 道床纵向阻力梯度及钢轨温度力梯度	16
第三节 温度力图与钢轨伸缩量	18
第四节 伸缩区的温度力变化规律及温度力峰	20
第五节 伸缩区的轨端位移和缓冲区预留轨缝计算	25
第六节 长轨条所受纵向力及固定区钢轨局部 伸缩位移	28
第二章 锁定轨温问题解析	31
第一节 锁定轨温定义	31
第二节 钢轨温度力与锁定轨温	32
第三节 锁定轨温的设计与监控	38
第三章 无缝线路稳定性分析	42
第一节 概 述	42
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	47

第三节	平衡微分方程的直接解法	59
第四节	统一无缝线路稳定性计算公式	63
第五节	通用线型公式和临界状态法	72
第六节	波长不等模型和稳定性安全储备量分析	90
第四章	无缝线路的强度检算.....	106
第一节	轮轨荷载.....	106
第二节	轨道结构静力计算.....	109
第三节	无缝线路钢轨强度检算.....	112
第四节	算 例.....	118
第三篇	无缝线路设计.....	121
第一章	设计内容及文件组成.....	121
第一节	无缝线路对轨道部件及路基的要求.....	121
第二节	无缝线路设计前的外业调查.....	124
第三节	设计文件内容及组成.....	125
第二章	无缝线路设计.....	126
第一节	强度和稳定性检算.....	126
第二节	无缝线路结构设计.....	129
第三节	无缝线路结构计算.....	132
第四节	设计示例.....	134
第五节	施工预算.....	143
第六节	跨区间和全区间无缝线路设计.....	144
第三章	大号码无缝道岔设计.....	152
第一节	大号码无缝道岔设计参数.....	152
第二节	大号码可动心轨无缝道岔的纵向力和 位移计算.....	157
第三节	大号码可动心轨无缝道岔的强度和 稳定性检算.....	158
第四章	无缝线路基本技术参数.....	159
第一节	钢轨温度.....	159

第二节	轨道框架刚度.....	164
第三节	扣件阻力.....	166
第四节	道床阻力.....	172
第五节	轨道初始弯曲.....	180
第四篇	跨区间无缝线路.....	183
第一章	概 述.....	183
第一节	无缝线路的新发展.....	183
第二节	跨区间无缝线路的优点.....	184
第三节	跨区间无缝线路轨道结构的强化.....	185
第二章	跨区间无缝线路的发展.....	186
第一节	国外高速、重载铁路的发展与无缝线路	186
第二节	我国高速、重载铁路与无缝线路	187
第三章	无缝道岔温度力与变形分析.....	189
第一节	二次松弛计算法.....	189
第二节	当量参数计算法.....	200
第四章	冻结接头与胶接绝缘接头.....	212
第一节	冻结接头.....	212
第二节	胶接绝缘接头.....	215
第五篇	桥上无缝线路.....	223
第一章	概 述.....	223
第一节	基本原理和基本微分方程.....	223
第二节	设计原则及设计分类.....	226
第三节	国内外桥上无缝线路发展概况.....	227
第二章	中小跨度桥上无缝线路.....	231
第一节	结构设计要点.....	231
第二节	桥上无缝线路的纵向力.....	234
第三节	伸缩力计算.....	234
第四节	挠曲力计算.....	256

第五节	高墩桥纵向力计算.....	268
第六节	桥上纵向力算例.....	278
第七节	断缝及断轨力计算.....	292
第八节	曲线桥上横向力计算.....	295
第九节	轨道、桥梁的检算	295
第十节	墩台、支座承受纵向力的荷载条件	298
第三章	大跨度桥上无缝线路.....	302
第一节	大跨度桥上无缝线路结构设计.....	303
第二节	纵向力计算.....	306
第六篇	长钢轨焊接.....	333
第一章	接触焊法.....	333
第一节	焊接原理.....	334
第二节	焊接工艺要求.....	334
第三节	接触焊机主要技术特性.....	337
第四节	焊接缺陷形成的原因.....	339
第二章	气压焊接法.....	341
第一节	气压焊原理.....	341
第二节	焊接方法.....	342
第三节	焊接设备和材料.....	343
第四节	焊接工艺.....	346
第五节	焊接缺陷的原因及防治.....	350
第三章	铝热焊法.....	351
第一节	焊接原理.....	351
第二节	焊接工艺.....	352
第四章	焊接质量及焊后工艺改进.....	356
第一节	焊接质量对比.....	356
第二节	质量检验方法.....	357
第三节	焊后工艺改进.....	360

第七篇 无缝线路的铺设.....	362
第一章 普通无缝线路的铺设.....	362
第一节 基本要求.....	362
第二节 铺设无缝线路的基本方法.....	365
第三节 施工质量.....	372
第四节 无缝线路上施工注意事项.....	373
第二章 跨区间和全区间无缝线路的铺设.....	377
第一节 铺设方法.....	377
第二节 施工范例.....	383
第三章 低温铺设长轨条的拉伸.....	389
第四章 温度应力的放散.....	397
第一节 基本要求.....	397
第二节 放散方法.....	397
第三节 应力调整.....	400
第八篇 新建铁路铺设无缝线路.....	401
第一章 概 述.....	401
第二章 新建铁路铺设无缝线路技术标准.....	404
第一节 铺设无缝线路范围.....	404
第二节 路基技术标准.....	404
第三节 轨道技术标准.....	412
第三章 新建铁路铺设无缝线路工艺及装备.....	417
第一节 道床施工工艺及装备.....	418
第二节 长钢轨的铺设.....	422
第三节 跨区间无缝线路的铺设.....	433
第四节 大号码道岔的运输与铺设.....	434
第五节 移动式钢轨焊接生产线.....	437

第九篇 无缝线路的养护维修.....	440
第一章 基本要求和作业轨温条件.....	440
第一节 基本要求.....	440
第二节 作业轨温条件.....	441
第二章 无缝线路的养护维修.....	443
第一节 维修原则和要点.....	443
第二节 养护维修的基本内容和基础工作.....	445
第三节 主要作业要领.....	449
第四节 季节性作业重点.....	452
第五节 跨区间和全区间无缝线路养护维修要点.....	454
第六节 无缝道岔养护维修要点.....	456
第三章 胀轨跑道及钢轨折断的预防和处理.....	459
第一节 胀轨跑道的预防和处理.....	459
第二节 钢轨折断的预防和处理.....	462
第三节 无缝线路破坏后的修复.....	464

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承认。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 1999 年底全路累计铺设无缝线路 27 310 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Ⅰ、Ⅱ型混凝土枕为主型,道床以Ⅲ级硬质道碴为标准,将逐步取代石灰岩道碴,尤其是跨区间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制造、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:

一、接头处一对夹板的刚度,仅为钢轨刚度的30%左右。如我国50 kg/m钢轨夹板刚度为钢轨刚度的27.6%;60 kg/m钢轨夹板刚度为钢轨刚度的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%。

二、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。

三、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。

四、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10 g,高频则超过200 g,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. 混凝土轨枕损坏、破裂,主要发生在接头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,较因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。

把钢轨焊接起来的无缝线路,又称焊接长钢轨线路。我国铁路规定,无缝线路的钢轨焊接长度至少为300 m。实际上,无缝线路的钢轨焊接长度一般都在1 km以上。近年,全区间和跨区间无缝线路发展很快。全区间无缝线路,基本取消了区间无缝线路的缓冲区,但岔外尚存缓冲区,其钢轨焊接长度贯通整个区间;跨区间无缝线路,钢轨焊接长度可以贯通整个区段,轨条长度可达几百千米,连同道岔焊成一体,无缝道岔随即应运而生,才真正构成名符其实的无缝线路。

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。我国铁路的长钢轨厂内焊接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。新线正在积极筹划进行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。正在施工中的西康线,穿越秦岭的18.4 km的长大隧道,也将一次铺成无缝线路,由一条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、重载列车的运营,还可减少机车车辆的运营费用,因而获得了迅速发展。尤其是近年来,随着无缝线路在数量上的增长和质量上的提高,使轨道结构的进步跨入了一个新的历史阶段。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跨区间无缝线路的发展上,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

采用了 65 号无缝道岔, 其过岔速度直向为 300 km/h, 侧向为 220 km/h, 居世界领先地位。各国铁路的钢轨多采用 UIC 标准, 他们非常重视钢轨的高纯净度、高强度、高精度、良好的强韧性和耐磨性。

各国已建成的高速铁路, 据资料统计约为 4 860 km (复线), 在建的高速铁路约为 1 840 km (复线), 总延展长度合计 13 400 km。日本至 1997 年通车的新干线有 2 099 km (复线)。高速铁路线路都是无缝线路或跨区间无缝线路。国外主要国家铁路至 20 世纪 80 年代末, 铺设无缝线路的数量如下表:

国 别	铁路总延展长度 (km)	无缝线路延展长度 (km)	无缝线路所占比重 (%)	附 注
美 国	354 813	120 000	33	
前苏联	163 420	57 000	35	
德 国	87 187	73 900	85	
英 国	32 600	18 800	58	
法 国	75 000	22 457	30	
加拿大	78 056	14 880	19	
日 本	43 632	12 716	29	不含新干线

一、德国铁路

德国是发展无缝线路最早的国家。德国于 1926 年在线路上铺设了 120 m 长的焊接钢轨; 1935 年铺设了 1 km 长的焊接钢轨, 作为无缝线路的试验段; 1945 年作出了以无缝线路为标准线路的规定。至 1961 年, 原联邦德国铁路无缝线路总延长达到了 29 000 km。1974 年, 无缝线路数量达到了 52 000 km, 占线路总延长的 79%。至 20 世纪 80 年代, 无缝线路数量达到了 73 900 km, 占线路总延长度的 85%, 有 79% 的道岔焊成了无缝道岔。至 20 世纪 90 年代已焊成无缝道岔十余万组, 并与前后的长轨条焊联在一起, 构成跨区间无缝线路。在高速线路上铺设了 42 号无缝道岔, 过岔速度直向为 250 km/h, 侧向为 160 km/h。允许铺设无缝