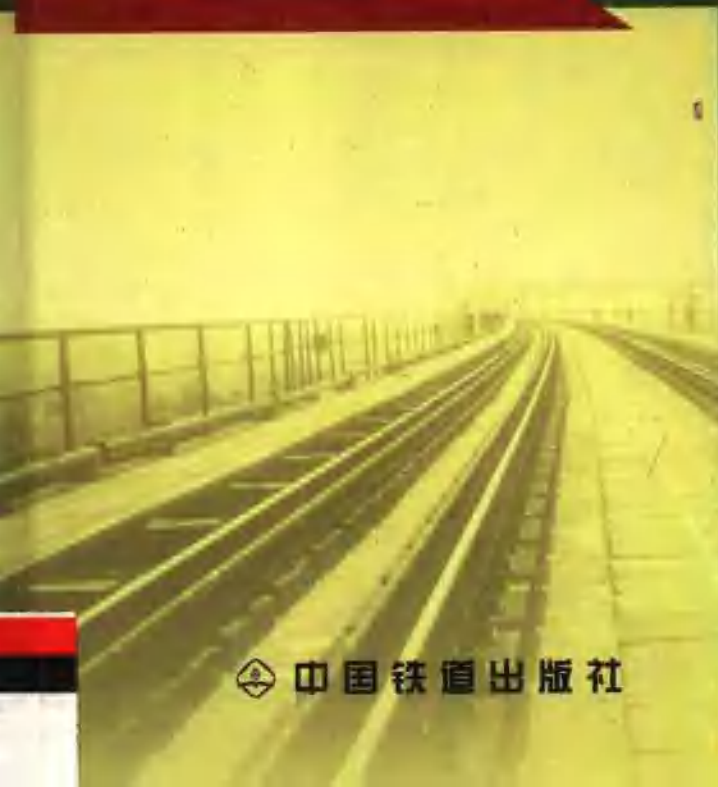




无缝线路 研究与应用

■ 卢耀荣 / 著



中国铁道出版社

Research and Application of Continuous Welded Rail Track

U213.9
8

铁路科技图书出版基金资助出版

无缝线路研究与应用

卢耀荣 著

中 国 铁 道 出 版 社

2004年·北 京

内 容 简 介

作者以其 40 余年无缝线路研究及应用实践成果为基础,结合国内外其他同类成果撰写本书。全书分十二章,内容涵盖了无缝线路稳定性、桥上无缝线路、超长无缝线路、无缝线路质量状态评判、钢轨伸缩调节器、钢轨胶接绝缘接头、钢轨折断原位重焊、无缝线路一次铺设等方面的试验、理论和技术。

图书在版编目(CIP)数据

无缝线路研究与应用/卢耀荣著. —北京:中国铁道出版社,2004.10
ISBN 7-113-06074-9

I. 无… II. 卢… III. 无缝线路轨道-研究
IV. U213.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 090218 号

书 名:无缝线路研究与应用

作 者:卢耀荣

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:傅希刚

责任编辑:傅希刚 编辑部电话:路(021)73142,市(010)51873142

封面设计:陈东山

印 刷:北京市彩桥印刷厂

开 本:850 mm × 1 168 mm 1/32 印张:13.375 字数:355 千

版 本:2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2 000 册

书 号:ISBN 7-113-06074-9/TU · 783

定 价:38.00 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

无继续以，志气之耀，
研究所用，欣欣向荣。

童大埙
04年6月

集毕生成果
本科学篇章

方秦汉
2004.6.5

方秦汉 中国工程院院士 中铁大桥勘察设计院教授级高级工程师

序 言

还在卢耀荣研究员就读同济大学铁道建筑专业的时候,我记得有一次在宝成线清水坝桥梁工地上实习,他作为学生科研组的组长,参与了我所带领的学生科研活动。虽然科研活动的水平不高,但对科研活动的热情、执着、探索和钻研的精神,已显露出他具备了日后事业有成的基本素质,给我留下了深刻的印象。1960年他从同济大学毕业以后不久,正如他前言中所写的“一次偶然机遇,无缝线路选择了我,从此与无缝线路结下了不解之缘”,他把无缝线路作为终身奋斗的目标,把毕生精力投入其中,经过四十余年的艰苦奋斗和勤奋耕耘,终于成为一名在国内外具有一定影响的无缝线路专家。

回顾他的成就,是多方面的,这里仅举几例加以说明。譬如无缝线路的胀轨跑道,是我国铁路轨道结构20世纪70年代遇到的重大困难和挑战,当时有人怀疑像碎石道床、混凝土枕这样的温度应力式无缝线路是否具有足够的安全性,能否继续发展下去,他面对这一重大课题,经过十余年的理论探索和科学实验,在20世纪80年代中期,提出了卢氏稳定性理论,较准确地分析了在各种运营条件和轨道结构类型下的安全储备量,证明这种温度应力式无缝线路是有足够的安全性的,据此理论所提出的允许温度已纳入无缝线路铺设和维修的规程中;又如他和同事们经过长期不懈的努力,提出了一整套大、中跨度桥梁上无缝线路设计理论和方法,并在数十座大、中跨度桥上铺设中得到了验证,这一研究成果对拓宽无缝线路的铺设范围,作出了重大贡献;再如,我国为了发展快速和高速铁路,要求发展超长无缝线路,其中无缝道岔的附加纵向力和信号区的钢轨绝缘接头使用寿命是必须解决的关键技术,他通过现场大量实验,提出了比较符合实际的无缝道岔纵向力的分

布和稳定性计算理论,同时成功地解决了用具有很高强度胶接接头来代替普通钢轨绝缘接头,为超长无缝线路的顺利发展创造了有利条件。

现在作者把毕生所积累的理论研究心得和实际经验,总结起来写成一本学术专著,这是非常及时和十分必要的,我作为一名此书底稿的先睹者,感到十分荣幸,作者还邀我为此书作序,实不敢当,谨以这些文字作为我的序言吧!最后,我真诚地希望广大同行,特别是广大有志于无缝线路事业的青年学生和科技工作者,能以此书作为新的起点和有力工具,共同努力把我国的无缝线路推向更高和更新的目标,我想这也是作者的最大心愿吧!是为序。

王午生

2004年1月

前 言

无缝线路的推广应用是 20 世纪铁道工务工程领域最辉煌的成就之一。尽管世界各国铁路赋予它的名称各不相同,欧美各国称之为 Continuous Welded Rail (CWR)或称 Jointless track,俄罗斯称之为 Бесстыковой путь,日本称之为ロングレール,但各国都给予它高度重视,并竞相发展。据 2002 年统计,全世界铺设无缝线路总数已有 45.4 万公里,约占全世界铁路网总长的 34.9%。在它漫长发展过程中,每一历史发展阶段总能满足社会经济的各种需求。20 世纪 60 年代,铁路劳力缺少,它能显著减少线路养护维修劳力;20 世纪 80 年代能源紧张,它有助于减少列车能耗;当人类步入 21 世纪,各方疾呼保护环境,它又有利于减振降噪。不断地完善、不断地突破,开拓了无缝线路更广阔的应用前景。

我一生最大的幸运莫过于 1960 年大学毕业不久,一次偶然机遇,无缝线路专业选择了我,从此与无缝线路结下不解之缘,一年三百六十五天,常常想的是无缝线路,常常谈的是无缝线路。曾记得“文革”中躲避喧嚣,多次借故出差,在邢台一间职工宿舍里一住十余天,终日陶醉于演绎无缝线路稳定性计算公式;为完成列车通过钢轨断缝的安全试验,不顾及个人的安危;参加川黔线凉风垭隧道线路大修,目睹一位年轻工人因事故而为无缝线路献出了宝贵的生命。为解决无缝线路一个又一个技术难题,曾撰写一篇又一篇论文。在我步入暮年时,我将潜心总结,细心琢磨,撰写成书,对后人不无裨益。

看书、写文章已成癖好,历年公开发表的论文加以清点约有数十篇,2000 年初应台湾中央大学和高雄第一科技大学的邀请,赴台湾讲学,花费半年时间将论文编写成讲义,此后,两次修改成书,断断续续又耗时两年多。

在书稿修改期间,承蒙同济大学王午生教授和我的同事曾树谷、林之珉研究员的热忱帮助,承担全书的审阅,王教授还为本书作序,蒋金洲副研究员协助完成第五章和第六章部分计算工作。台湾高速铁路工程局邱守峦正工程司曾对本书的初稿提出中肯意见。在此,对上述学者、专家的支持与帮助一并深致至谢意。

历经三个寒暑雕琢研磨,《无缝线路研究与应用》终于脱稿。书中也许仍有不当,敬请批评指正。

作 者

2003 年 12 月 28 日

目 录

第一章 无缝线路的应用与发展	1
第一节 国内外的应用情况.....	1
第二节 铺设范围	15
第三节 技术经济效果	22
第四节 发展趋势和研究方向	24
第五节 对发展我国无缝线路的建议	33
第二章 温度力及锁定轨温	36
第一节 温 度 力	36
第二节 锁定轨温	44
第三节 温度周期变化对纵向力分布的影响	48
第四节 运营过程中实际锁定轨温的变化	55
第三章 稳定性试验和计算	70
第一节 基本概念	70
第二节 稳定性试验	72
第三节 计算理论	83
第四节 安全储备量分析	97
第四章 稳定性理论的应用	110
第一节 重型钢轨稳定性分析.....	110
第二节 胀轨跑道原因与防治.....	122
第三节 寒冷地区小半径曲线无缝线路.....	135
第五章 桥上无缝线路	140
第一节 发展概况.....	140
第二节 纵向力计算.....	141
第三节 梁位移量计算.....	171

第四节	计算参数·····	174
第五节	桥梁和墩台检算·····	183
第六章	超长无缝线路·····	189
第一节	发展背景·····	189
第二节	道岔的焊联和铺设·····	191
第三节	道岔纵向力及位移量计算·····	195
第四节	无缝道岔稳定性计算·····	226
第五节	关键联结件的加强·····	233
第七章	钢轨伸缩调节器·····	239
第一节	功能和用途·····	239
第二节	旧有钢轨伸缩调节器·····	242
第三节	曲线型钢轨伸缩调节器·····	246
第四节	加工制造·····	261
第五节	铺 设·····	263
第六节	运营情况·····	268
第八章	钢轨胶接绝缘接头和冻结接头·····	275
第一节	发展概况·····	275
第二节	胶粘原理·····	278
第三节	胶粘剂的应用·····	282
第四节	胶接绝缘接头结构设计·····	285
第五节	胶粘工艺流程及参数·····	294
第六节	实物试件的检验·····	303
第七节	胶接绝缘接头的使用情况·····	309
第八节	钢轨冻结接头·····	311
第九章	钢轨折断原位重焊·····	320
第一节	国内外简况·····	320
第二节	既有方法分析·····	321
第三节	原位重焊方法·····	325
第四节	允许作业轨温·····	330
第五节	液压钢轨拉伸器·····	333

第六节	现场试验	338
第七节	推广应用	341
第十章	无缝线路质量状态评判方法	343
第一节	理论基础	343
第二节	评判因素与隶属函数	343
第三节	综合评判	349
第四节	应用实例	351
第十一章	高速铁路无缝线路一次铺设	358
第一节	概 况	358
第二节	国外有碴轨道铺轨作业	359
第三节	秦沈客运专线铺轨作业	370
第四节	无碴轨道铺轨作业	378
第五节	无缝道岔的铺设	381
第十二章	城市轨道交通高架无缝线路	389
第一节	概 述	389
第二节	钢轨类型选择	390
第三节	无碴轨下基础上无缝线路压弯变形	397
第四节	作用于曲线梁上温度力侧向分力的计算	404
第五节	大坡道无缝线路	406
第六节	车站无缝线路	410
参考文献		415

第一章 无缝线路的应用与发展

各种轨道结构的应用与发展,主要取决于运输过程的效果。现代铁路为实现高速、重载运输,采取改善轨道结构的最佳措施,当属无缝线路的应用。

第一节 国内外的应用情况

一、铺设数量

大量铺设无缝线路能收到节约材料、劳力、能耗等综合技术经济效益,因此深受世界各国重视。据 2002 年统计,全世界铁路网长约 130 万 km,无缝线路总长 45.4 万 km,其中美洲占 30.8%、欧洲占 49.6%、亚洲占 13.5%、非洲占 1.6%、大洋洲占 4.5%。

1957 年我国开始在京门支线和真西支线上试铺无缝线路,经过数十年的不懈努力,至 2003 年底,铺设总数为 39 880 km,占营业线路的 45%。近十年来,每年铺设无缝线路约 4 000 km。

我国及欧美、俄、日各国铁路铺设无缝线路概况见表 1—1—1 所列。

表 1—1—1 中国及欧美、俄、日铁路无缝线路概况

国 家	最大轨温幅度 (℃)	各类钢轨比例 (%)	无缝线路总长 (km)	占营业线比例 (%)	焊接钢轨长度 (m)	焊接方式
中 国	102	CHN60 型 92%, CHN50 型 6%, 其余为: P65、CHN75 型	39 880	45.0	250~500	气压焊 8% 铝热焊 7% 接触焊 85%
法 国	70	UIC60 型 75%, UIC50 型 25%	22 457	64.8	200~300	铝热焊 23% 接触焊 77%
英 国	67	BS113A 型 70% 以上, 其余为 60E 型	18 800	57.7	200~300	铝热焊 36% 接触焊 64%

续表 1-1-1

国 家	最大轨温幅度 (℃)	各类钢轨比例 (%)	无缝线路总长 (km)	占营业线比例 (%)	焊接钢轨长度 (m)	焊接方式
德 国	90	UIC60 型 80%, 其余为 S49, S54 型	76 000	占 I 级线路的 96%	180	铝热焊 40% 接触焊 60%
俄罗斯	119	P50 型 13.7%, P65 型 86.2%, 其余为 P75 型	39 900	32.2	400 或 800	接触焊
美 国	94.4	132RE 型 77%, 140RE 型 2%, 其余为 136RE、119RE、115RE 型等	116 200	43.2	383~482	铝热焊 5% 接触焊 95%
日 本	70	60 型 66.2%, 其余为 50N、50T 型	12 716	占新干线的 98%	150~200	接触焊 气压焊 电弧焊 铝热焊

二、结构类型及标准

(一) 类 型

无缝线路结构按运营模式分,有三种类型:

1. 温度应力式(temperature stress type)
在运营过程中,通常不必人工放散温度应力。
2. 定期放散应力式(periodically de-stressing type)
每年定期放散温度应力两次,并重新锁定。
3. 自动放散应力式(automatic de-stressing type)
局部范围锁定,其余部分自动放散温度应力。

目前,世界各国铁路广泛应用温度应力式无缝线路。但在 20 世纪 50~70 年代,为研究突破寒冷地区(年轨温幅度超过 90℃的地区)铺设无缝线路的限制,前苏联、前南斯拉夫和中国曾试用定期放散应力式无缝线路。此外,前苏联和中国还试铺过自动放散应力式无缝线路,并进行了观测试验。由于定期放散应力式不仅耗费大量劳力,且作业时需封锁区间,影响运输,而自动放散应力式无缝线路则因高温或低温季节难免产生超伸或超缩导致

纵向力分布不均,因而这两种结构类型无缝线路均已不再使用。

在温度应力式无缝线路上,长轨条(long rail string)之间或长轨条与道岔之间设置2~4对缓冲轨或钢轨伸缩调节器,构成缓冲区(buffer zone)。随着钢轨温度的变化,在无缝线路的两端一定长度范围内,长轨条克服钢轨接头阻力、扣件及轨枕的纵向位移阻力而伸缩,这一范围称为伸缩区(breathing zone)。每段无缝线路的中间部分称为固定区(non-breath zone)。随着钢轨温度的变化,固定区不产生纵向位移而产生温度力,其量值大小与钢轨温度变化幅度及钢轨截面积成正比,而与钢轨的长度无关。

从理论上说,无缝线路的长度可以是无限长,于是为了最大限度减少钢轨接头,延长轨条的长度,推广应用超长无缝线路(又称跨区间和区间无缝线路)(super long continuous welded rail),成为当今无缝线路的发展方向。

无缝线路结构按连接方式分,又有缓冲轨连接和钢轨伸缩调节器连接两种类型。

前苏联和我国试铺定期放散应力式和自动放散应力式无缝线路,都曾大量使用钢轨伸缩调节器。20世纪70年代前,法国、英国、比利时、瑞士等国铁路在温度应力式无缝线路上也使用小动程(105~180 mm)钢轨伸缩调节器,但近10年来,随着超长无缝线路的发展,除在大桥上以及特殊地段依然设置钢轨伸缩调节器外,在一般线路上则不再使用。目前日本铁路仍然广泛使用伸缩调节器。在新干线上,每段无缝线路平均长度为1.5 km,两段之间设置带钢轨胶接绝缘接头的伸缩调节器;在既有线上,隧道的进出口、小半径曲线头尾也设置伸缩调节器。

据铁道科学研究院实测的列车运行时的车辆簧下竖向振动加速度,以通过平顺的焊接接头实测加速度值最小,其次是通过调节器,以通过钢轨接头的实测加速度值最大。因此,可以认为,除在大桥上铺设无缝线路,为减小墩台和轨道的受力可设置调节器外,在一般线路上则应采取轨条与轨条、轨条与道岔直接焊联,延长轨条长度,不设伸缩调节器和缓冲轨,这是无缝线路结构的发展方向。

(二) 标准

1. 钢 轨

各种类型轨道结构的使用范围与线路运量、列车轴重、运行速度有关,其中钢轨是决定轨道结构类型的主要部件,大运量和高速度的铁路干线都要求使用重型或特重型钢轨。

近 10 年来,欧美各国重视重型钢轨无缝线路的发展。美国铺设无缝线路主型钢轨为 132RE 型,占铺设无缝线路总数 77%,联邦德国、法国以及其他国际铁路联盟成员国铺设主型钢轨为 UIC60 型,占铺设无缝线路总数的 70% 以上,尤其是联邦德国占到总数的 80%。俄罗斯铁路铺设无缝线路几乎全采用 P65 型钢轨,因为早在 1982 年,前苏联交通部铁路运输总局颁布的《无缝线路铺设养护维修规程》规定,货运密度超过 $25 \text{ Mt} \cdot \text{km}/\text{km}$ 的线路不再使用 P50 型钢轨铺设无缝线路。全世界已建成并投入运营总长 5640 km、时速 200 km 以上的高速铁路全部采用 60 kg/m 级钢轨无缝线路。据 2003 年底统计,我国正线无缝线路总数中,94% 使用 CHN60 型、P65 型和 CHN75 型钢轨。

在铺设无缝线路的总数中,特重型钢轨所占比例也不多,仅美国华盛顿经纽约至波士顿(复线长 730 km)东北走廊铁路,其中单线长 672 km 铺有 140RE 型钢轨无缝线路。俄罗斯在南乌拉尔铁路上铺设 P75 型钢轨无缝线路仅 40 km。我国铁路铺设 CHN75 型钢轨无缝线路 632 km。

2. 轨 枕

在长度尺寸相近的情况,混凝土枕较木枕道床阻力大,有利于提高无缝线路的稳定性。目前大多数国家的无缝线路主要铺设在混凝土枕上,但木枕无缝线路仍然应用,如美国、加拿大、阿根廷、智利、肯尼亚的无缝线路主要铺设在木枕上,俄罗斯铁路的木枕无缝线路也占一定的比例。

各国铁路所用轨枕的长度标准很不一致。俄罗斯铁路使用的 mC-1 、 mC-1y 和 mC-2 、 mC-2y 型混凝土枕长 270 cm。联邦德国铁路早期轨枕长度很短,B55 型混凝土枕长 230 cm,自 60 年代后,轨

枕长度加长,B58型、B70型和B75型的长度分别为240 cm、260 cm和280 cm,其中B58型和B70型混凝土枕已列为联邦德国铁路的标准轨枕。日本铁路在新干线上使用的混凝土枕有两种类型,即H型和T型,两种类型长度均为240 cm。美国、英国、奥地利、意大利等大多数国家铁路曾使用双块式钢筋混凝土枕,但由于轨距易发生变化而被淘汰,惟有法国铁路长期坚持使用双块式轨枕,并历经多次改进,在TGV高速铁路上使用的U41型双块式轨枕,其混凝土块长由原来U31型的68 cm加长到84 cm,轨枕总长由U31型的224.5 cm加长到241.5 cm,重量达245 kg。

据2003年底统计,我国铁路在正线上铺设混凝土枕75361 km,占正线延长的85%,其中铺设Ⅱ型混凝土枕47274 km,Ⅲ型混凝土枕8014 km,尚有20073 km线路铺设Ⅰ型混凝土枕正待逐步更换。部分Ⅲ型枕长度为260 cm,其余混凝土枕的长度为250 cm。图1—1—1所示为我国在混凝土枕上铺设的CHN60型钢轨无缝线路。



图1—1—1 CHN60型钢轨、混凝土枕无缝线路

3. 扣 件

无缝线路上使用的扣件,除要求保持轨距、抗拔、抗倾覆以及垂直和水平方向有一定弹性外,还要求有足够的扣压力,以牢固地