

张殿明 阎纪宽 编

无缝线路理论与新技术



无缝线路理论与新技术

张殿明 闫纪宽 编

中 国 铁 道 出 版

1997年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要介绍无缝线路的基本原理、结构设计与计算、施工、养护,以及特殊地段、重轨、超长轨无缝线路等,可供铁路工务有关专业人员职务晋升时,作为进修培训的教学参考用书使用。

图书在版编目(CIP)数据

无缝线路理论与新技术/张殿明, 闫纪宽编. —北京:中国铁道出版社, 1997
ISBN 7-113-02616-8

I. 无… II. ①张… ②闫… III. 无缝线路轨道 IV. U2
13.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 08384 号

无缝线路理论与新技术

张殿明 闫纪宽 编

*

中国铁道出版社出版发行

(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑 张悦 封面设计 陈东山

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 3.5 字数: 75 千

1997 年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—1500 册

ISBN7-113-02616-8/TU·540 定价: 11.00 元

前 言

本书是在沈阳铁路局吉林铁路运输职工大学工务专业中、高级职务继续教育培训班教学讲义的基础上,根据铁道部人事司 1992 年 7 月颁发的《铁路工务专业继续教育科目指南》专业课程概要之六“无缝线路理论与新技术”所规定的基本内容编写而成的。根据《科目指南》的规定,各部分内容的课时安排为:绪论 2 学时,无缝线路的基本原理、无缝线路的结构设计与计算、无缝线路的施工与养护、特殊地段无缝线路等四部分各 6 学时,重型钢轨无缝线路与超长无缝线路 2 学时。在讲课中,各单位可根据具体情况进行安排。

在编写中,力求深入浅出、通俗易懂,并尽可能编入一些当今国内外较新的技术理论与经验信息,使之有较强的实用性,便于工程技术人员阅读。书中的许多内容参阅了国内同行编写的教材、书刊和译文(具体名称见参考文献),在此,向诸作者和同行表示感谢。

由于编者所掌握的信息资料 and 水平限制,书中存在的不足和疏误欢迎广大读者批评,以待进一步完善。

编者

1996. 5

目 录

绪 论	1
第一章 无缝线路的基本原理	6
第一节 温度力	6
第二节 轨温与锁定轨温	7
第三节 轨道阻力	9
第四节 温度力纵向分布规律	19
第二章 无缝线路的结构设计与计算	28
第一节 无缝线路的强度检算	28
第二节 无缝线路的稳定性检算	30
第三节 预留轨缝计算	38
第四节 无缝线路的结构设计	40
第三章 无缝线路的施工与养护	51
第一节 长钢轨的焊接与运输	51
第二节 无缝线路的应力放散与调整	58
第三节 无缝线路断轨处理及长轨割焊	63
第四节 无缝线路胀轨跑道及其处理	68
第五节 无缝线路的养护维修	73

第四章 特殊地段无缝线路	75
第一节 桥上无缝线路	75
第二节 小半径曲线无缝线路	84
第三节 长大坡道无缝线路	87
第四节 隧道内无缝线路	90
第五节 寒冷地区无缝线路	92
第五章 重型钢轨无缝线路与超长无缝线路	97
第一节 重型钢轨无缝线路	98
第二节 超长无缝线路	100

绪 论

无缝线路是由许多普通标准钢轨连续焊接而成的长钢轨线路。因此,又称焊接长钢轨轨道。国际上常用的缩写为:C. W. R. (Continuous Welded Rail)。

无缝线路是本世纪轨道结构上的一个飞跃性的进步,最值得注意和最经济的技术改进之一。从整个铁路行业来说,无缝线路仅次于电气化牵引。

无缝线路与普通线路相比,其本质性的特点:一是在结构形式上,大量消灭了普通线路长期以来难以解决的先天性缺陷——钢轨接头;二是由于焊接了钢轨接头,从而限制了轨条的温度伸缩,在钢轨内产生巨大的温度应力。为保证线路的稳定,轨道必须具备足够的阻力。

钢轨接头是普通线路的薄弱环节之一。由于接头轨缝在一定程度上破坏了轨道的连续性,从力学上分析,带来三大弱点:

①接头刚度低:一对夹板刚度仅为钢轨刚度的 30%左右。

②竖向变位大:车轮经过接头处沉陷量较轨节中部约大 10%~15%。

③产生很大的冲击附加动力:在车轮临近和离开轨缝的瞬间,两轨端形成台阶(约 0.02cm)竖向变位的挠曲线出现折角(约 $4.5 \times 10^{-3} \text{rad}$)。当车轮前进时,与前方轨端产生撞击,在突加的冲击力作用下,轨道产生强烈的动力响应。接头部分

受到冲击附加动力约为正常轮载的 3~5 倍。

由于上述原因,造成严重的接头病害,如低接头、轨端鞍磨、轨端破损、夹板弯曲或断裂、螺栓折损、混凝土轨枕损坏破裂、道床坍塌、板结、翻浆冒泥等。据统计,接头区的养护经费约占普通线路养护总经费的 30%~50%。

无缝线路由于消除了轨缝、台阶、折角等接头缺陷,具有行车平稳、轨道及机车车辆养护费用低、使用寿命长等显著优点。其优越性具体体现在:

①消除了接头不平顺,可减少列车运行基本阻力 2%~10%,从而可提高行车速度和牵引定数。据测算铺设无缝线路后可提高通过运量 28%,以全国一万公里无缝线路计算,每年内燃机车可节省柴油 30000t。

②消除了接头缺陷,可减少钢轨伤损 40%~50%,减少夹板折损 60%,并节省了大量接头配件。在年平均货运密度 $3 \times 10^7 \sim 6 \times 10^7 \text{ t} \cdot \text{km/km}$ 的线路上,可减少维修工作量 30%~40%,延长大修周期 20%。

③消除了接头冲击振动,可减少机车车辆维修费 25%左右,并延长其使用寿命。

④消除了接头振动和噪音,可增加旅客舒适度,减少环境污染。

据国际铁路合作组织调查结果:修建无缝线路材料费为普通线路的 95.5%~108.6%,工资支出为 97%~120%。而经常维修费只占普通线路的 50%~87%;养护劳力占 77%~80%;无缝线路轨料使用寿命延长 20%;列车牵引费节省 0.8%~5%。

无缝线路的实践,以其无可争议的优越性得到世界各国的公认。因而,近半个世纪以来,各国铁路竞相发展无缝线路,

并使其技术日臻完善。据资料介绍,法国、联邦德国先后在 1948 年、1949 年铺设,前苏联、美国相继在 1954 年、1955 年铺设。到了 80 年代中期,一些发达国家的无缝线路已达到国内路网的 80%左右。联邦德国无缝线路占 I 级干线的 96%,占总延长的 80%;法国占营业里程的 47%;美国占 33%;英国占 31%;前苏联以年铺设 4500km~5000km 的速度到 1986 年末已达到 57 000km,占正线营业里程的 40%。

我国早在 1957 年就在上海铁路局真西支线和北京铁路局京门支线各试铺了 1km 无缝线路,但到 1984 年才突破 1 万 km,到 1986 年末无缝线路仅占全路正线延长的 18.3%,平均年增长 350km,无论从总数量还是年均进度上都与国外有很大差距。其原因主要有:

①焊接及运输能力不足。当时全路焊轨厂只有 5 个,每年焊接长度不足 1000km,还有一些老式焊机难以维持正常焊轨生产。长轨运输车也缺少,限制了生产能力。

②焊接质量不良。据 1985 年统计,焊道重伤、折断占全路钢轨重伤折断总数的 63%,其中铝热焊占焊道伤损的 80%以上。除强度不足外,焊道低塌普遍严重。当通过总重 15Gt·km/km 时,低塌量达 1.0mm。当通过总重 30Gt·km/km 时,最大低塌量达 2.7mm。铝热焊比接触焊塌落量大 2~4 倍。

③施工质量不高。主要是锁定轨温控制不准,出现胀轨跑道的隐患。

④在全国范围内尚存在着“四大禁区”没有突破。“四大禁区”即:年轨温差大于 90℃,曲线半径小于 600m,线路坡度超过 12‰,桥梁限制条件。

铁道部针对上述问题,在“七五”后期加紧步伐组织全路

科研、设计、施工与运营部门联合攻关,并相继引进国外技术,取得了历史性进展:

①扩大了焊轨基地,提高了长轨运输能力。“七五”期末焊轨厂由 5 个装备到 10 个,焊接能力可达年产 3000km,年净铺 1000km。配备了新型长轨运输列车 10 列,一列可装长轨 14km,相当旧型车的 4 倍。

②焊接技术有了基本保证。目前厂焊大部改为接触焊,不论国产机还是进口机质量都已过关。现场联合接头由单一的铝热焊发展到推广应用小型气压焊,焊剂、工艺、设备都有改进,已基本满足要求。焊后探伤设备和工艺也已配套,为确保焊接质量与行车安全创造了条件。

③突破了“四大禁区”。先后在西南地区成都局管内建立了小半径曲线与长大坡道无缝线路试验段,在东北地区沈阳局、哈尔滨局管内建立了寒冷地区无缝线路试验段,桥上无缝线路是通过模型试验和理论研究之后再行试铺的。以上试验先后于 1985~1988 年通过了铁道部技术鉴定,并据以修订了新的有关规范,为扩大无缝线路铺设范围铺平了道路。由此,在“七五”后期全路铺设无缝线路达到年增 500km,“八五”期目标为年增 1000km,1994~1996 年的实际年均递增速度达 2500km,预计 1996 年末达到 23000km,占正线延长 30%以上。

我国于 1994 年颁布的《中华人民共和国铁路主要技术政策》中指出“要加速无缝线路的铺设并扩大其铺设范围,发展跨区间超长无缝线路”。这是我国铁路运输发展振兴的必然趋势。据铁道部资料,全路到 1995 年末,货运量将达到 1.68~1.70Gt,比 1992 年实际增加 11%左右;换算周转量将达到 1700Gt·km,比 1992 年实际增加 15.6%左右;同时要发展

重载组合列车,高速和准高速铁路;牵引类型向大功率、大轴重的电力机车和内燃机车转移;货车轴重由 21t 向 25t 大轴重转移。工务部门在这种新的运输形势压力下,必须加快线路设备重型化的强化进程。铁道部要求 60kg/m 重轨要达到“三配套”,即重轨必须无缝,钢轨必须淬火,以提高轨道的整体强度,跨区间超长无缝线路也已于 1993 年在北京铁路局试铺,可望在不久的将来,无缝线路将会有有一个较大的发展。

第一章 无缝线路的基本原理

无缝线路的基本原理,是在气温、轨温变化的情况下,通过锁定线路,利用坚强的轨道阻力来阻止钢轨发生伸缩变形。换句话说,也就是通过锁定后钢轨产生的应力变化来平衡轨条的应变。

第一节 温 度 力

一根不受约束,可自由伸缩的钢轨,当温度变化时的伸缩量为:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta t$$

式中 Δl ——钢轨伸缩量(m);

α ——钢轨的线膨胀系数,取 $11.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

l ——钢轨长度(m);

Δt ——轨温变化幅度($^{\circ}\text{C}$)。

当钢轨被固定而不能伸缩时,钢轨内将随轨温变化而产生温度应力。根据胡克定律,温度应力为:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= E \cdot \epsilon = E \frac{\Delta l}{l} = \frac{E \cdot \alpha \cdot l \cdot \Delta t}{l} \\ &= E \cdot \alpha \cdot \Delta t\end{aligned}$$

式中 E ——钢轨的弹性模量,取 $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$;

ϵ ——钢轨的温度应变。

将 α 、 E 的值代入 σ_t 式,则有:

$$\sigma_t = 2.1 \times 10^5 \times 11.8 \times 10^{-6} \Delta t$$

$$\approx 2.5\Delta t(\text{MPa}) \quad (1-1)$$

那么,一根钢轨所承受的温度力为:

$$P_t = \sigma_t \cdot F \approx 2.5F\Delta t(\text{MN}) \quad (1-2)$$

式中 F ——单轨截面面积(m^2)。

由式(1-1)看出:

1. 钢轨被锁定后产生的温度应力 σ_t , 仅与轨温变化幅度 Δt 成线性比例, 而与钢轨长度无关。因此, 无缝线路可任意增长而不影响其钢轨内部的温度应力值, 这也是铺设超长无缝线路的理论依据。

2. 为控制钢轨内的温度应力, 关键在于如何控制轨温变化幅度 Δt 。因 Δt 是计算钢轨应力时的轨温与锁定轨温之差, 所以合理选定和准确掌握锁定轨温, 对于保证无缝线路的强度和稳定性具有重要意义。

第二节 轨温与锁定轨温

一、轨 温

由于温度应力的分布直接与轨温变化有关, 所以准确测定和确定各项轨温, 是无缝线路设计、施工和养护的一项重要依据。

影响轨温的因素比较复杂, 根据大量观测统计资料, 在设计无缝线路时, 确定其最高最低轨温一般采用:

1. 历年最高轨温

$$T_{\max} \approx t_{\max} + 20^\circ\text{C} \quad (1-3)$$

2. 历年最低轨温

$$T_{\min} \approx t_{\min} \quad (1-4)$$

式中 $t_{\max}$ 、 $t_{\min}$ 为当地历年最高、最低气温。

二、锁定轨温

“锁定轨温”是指把钢轨扣结于轨枕而进入锁定状态时的轨温。此时钢轨内没有温度应力，故又称“零应力轨温”。

1. 实际锁定轨温，又称施工锁定轨温。通常以铺设长轨时，取其始端和终端落槽时所测定轨温的平均值。

实际锁定轨温应作为养护无缝线路的重要技术资料，妥善保存。

2. 设计锁定轨温。选定设计锁定轨温，必须满足线路强度及稳定性的要求。一般取该地区中间轨温加一“偏高值”作为设计锁定轨温，这样既能使钢轨所受的温度压力和温度拉力大致相等，又能照顾到不致因温度压力过大而引起胀轨跑道。

$$t_s = t_{\text{中}} + \text{偏高值}(5^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}) \quad (1-5)$$

3. 锁定轨温范围，或称铺设轨温范围。考虑到施工过程中轨温的变化因素，一般将设计锁定轨温的上下留一“富余值”，作为施工铺轨时的轨温范围。

$$t_p = t_s \pm \text{富余值}(4^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}) \quad (1-6)$$

三、量测轨温

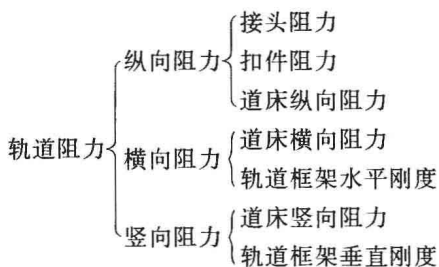
目前常用的轨温量测工具有水银温度计、半导体点温计、吸附式温度计三种。水银温度计所测轨温准确，但使用上笨重不便；半导体点温计使用方便，但因感温元件裸露面大而不够准确；吸附式温度计简便准确，但测温时间较慢（一般需 8min~10min）。1987 年上海铁路局研制的 ADT-1 数字式钢轨测温计通过局级鉴定。该轨温计针对旧式 RT 型点温计的缺陷，选用了美国 AD 公司 590 型温度传感器作测温探头和日本精工公司的平板液晶显示器，优化了产品质量，得到了进一步推广。

应用半导体和吸附式温度计测量轨温时,应在轨腰两侧和轨顶等多点量测后取其平均值。应用水银温度计量测时,取一段长 40cm 的短轨节,在轨头铣一宽 1cm、深 2cm、长 25cm 的槽,将一支 $-50^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 的水银温度计放入槽内,用铁粉或砂子装满加盖,置于与现场条件一致的地方观测。亦可直接将水银球与轨面接触,用砂子埋置 10min 后读取。

第三节 轨道阻力

长轨锁定后,将随轨温变化而产生巨大的温度力,这是因为轨道具有抵抗钢轨变形的阻力而引起的。

轨道阻力的分类如下:



一、纵向阻力

纵向阻力是轨道抵抗钢轨和轨道框架纵向位移的阻力。包括接头阻力、扣件阻力和道床阻力。

1. 接头阻力

接头阻力系由夹板与钢轨间的摩阻力和接头螺栓的抗弯或抗剪力提供。从安全上考虑,我国在计算时只考虑摩阻力。

取一股钢轨上的一个接头进行分析,如图 1-1 所示。

设: P_L 为夹板螺栓拧紧后,一根螺栓产生的拉力(即 $P_{拉}$,

见图 1-1);

R 为夹板螺栓拧紧后,一根螺栓作用于夹板受力面上的合力;

T 为 R 的水平分力: $T = P_L/2 = R \cos \theta$;

N 为 R 的法向分力: $N = R \cos \varphi$ (垂直于夹板受力面);

φ 为 R 与 N 的夹角,即摩擦角,取钢的干摩擦系数 $f = 0.2$ 时, $\varphi = \arctan 0.2 = 11^\circ 19'$;

α 为 T 与 N 的夹角,与接触面斜度 i 有关,当

$i = 1/4$ 时 (50、75 轨)

$\alpha = \arctan 1/i = \arctan 4 = 75^\circ 58'$, 当

$i = 1/3$ 时 (43、60 轨)

$\alpha = \arctan 3 = 71^\circ 34'$;

θ 为 R 与 T 的夹角,见图 1-1: $\theta = \alpha - \varphi$ 。

当钢轨发生位移时,夹板与钢轨的一个接触面上将产生摩擦力 F 阻止其位移:

$$F = N \cdot f = R \cos \varphi \cdot f = \frac{T \cos \varphi}{\cos \theta} \cdot f$$

$$= \frac{\cos \varphi}{2 \cos \theta} \cdot f \cdot P_L$$

这是接头上一根螺栓在一个接触面上的摩擦力。由于一根螺栓对应 4 个接触面,那么接头一端有 3 根螺栓所对应的 12 个接触面的摩擦力之和即为接头阻力:

$$R_j = 12F = \frac{6f \cos \varphi}{\cos \theta} \cdot P_L \quad (1-7)$$

影响接头阻力大小的主要因素有:

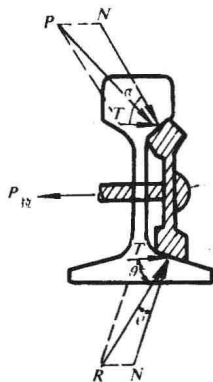


图 1-1

(1)与扭力矩大小有关,扭力矩 T_N 愈大,螺栓拉力 P_L 愈大,则接头阻力 R_j 愈大。

T_N 与 P_L 的关系常用下述经验公式表达:

$$T_N = K \cdot D \cdot P_L \quad (1-8)$$

式中 T_N ——拧紧螺帽时的扭力矩($N \cdot m$);

D ——螺栓无螺纹部分杆径(mm)。

当螺栓直径为 $\phi 24mm$ 时, $D = 22mm$; 当螺栓直径为 $\phi 22mm$ 时, $D = 20.4mm$;

P_L ——螺栓拉力(kN);

K ——螺栓扭矩系数,试验数据为:10.9级 $\phi 24$ 螺栓, $K = 0.21$; 8.8级 $\phi 24$ 螺栓, $K = 0.219$; 8.8级 $\phi 22$ 螺栓, $K = 0.239$; 当加强除锈涂油时,可用到 $K = 0.19$ 。

(2)与接触面摩擦系数有关。摩擦系数 f 愈大,接头阻力 R_j 愈大。据试验,当新轨与新夹板时, $f = 0.65$; 经过运营后接触表面磨出镜面后的 $f = 0.2$, 约下降 64%。

(3)与列车的冲击、振动有关。当列车通过接头时产生冲击与振动,会使螺栓松动,阻力下降。试验证明,螺栓拧紧后通过头几趟列车,其阻力下降最快。以迎车端下降值偏大,且扭力矩愈大,阻力衰减的百分比愈小; 当 $T_N = 400N \cdot m$ 时, R_j 下降 38.1%; 当 $T_N = 600N \cdot m$ 时, R_j 下降 11.4%; 当 $T_N = 800N \cdot m$ 时, R_j 下降 6%。如过车后及时复拧,则衰减值减小。当 $T_N = 800N \cdot m$, 复拧后迎车端衰减值仅为 2.6%。考虑到上述因素对 R_j 的影响,计算时将式(1-7)除以动力系数 K_1 : 当 $T_N > 600N \cdot m$ 时, 43、50 轨 $K_1 = 1.1$; 60 轨 $K_1 = 1.0$ 。当 $T_N < 600N \cdot m$ 时, 43、50 轨 $K_1 = 1.2$; 60 轨 $K_1 = 1.1$ 。

将式(1-8)及 K_1 的因素代入式(1-7),则有: