



高职高专土木工程专业新编系列教材

铁路轨道

谷爱军 主编

谷爱军 李 斌 李向国 戴月辉 朱耀斌 编

陈岳源 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高职高专土木工程专业新编系列教材

铁 路 轨 道

谷爱军	李斌	谷爱军	李向国	陈岳源	主编	戴月辉	朱耀斌	编
					主审			

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了不同类型的铁路轨道结构及部件;直线轨道及曲线轨道的几何形位;轨道强度的静力计算,轨道动力响应的准静态计算,及机车车辆与轨道相互作用给轨道带来的影响;无缝线路的基本原理,中和轨温的计算,无缝线路结构设计,特殊地段无缝线路的特点;道岔的基本构造、几何形位及轨道的连接;新线铺轨、铺道岔及铺碴整道;既有线路大修设计及施工;既有线养护维修等。

本书为高职高专土木工程专业教学用书,也可供相关专业及现场技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁路轨道/谷爱军主编. —北京:中国铁道出版社,2005. 1(2006. 3 重印)
(高职高专土木工程专业新编系列教材)
ISBN 7-113-06130-3

I. 铁… II. 谷… III. 轨道(铁路)-高等学校:技术学校-教材 IV. U213. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 087938 号

书 名:铁路轨道
作 者:谷爱军 主编
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)
责任编辑:李丽娟
封面设计:蔡 涛
印 刷:北京市兴顺印刷厂
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:18.25 字数:450 千
版 本:2005 年 1 月第 1 版 2006 年 3 月第 2 次印刷
印 数:3 001~6 000 册
书 号:ISBN 7-113-06130-3/TU·790
定 价:28.00 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。

编辑部电话(010)51873135 发行部电话(010)63545969

前 言

本教材是在1994年版《铁路轨道》教材的基础上重新进行编写的。原教材由于理论讲解清楚,实用性强,深受学生以及现场施工技术人员的欢迎。

随着近年我国既有铁路的5次提速和高速客运专线的修建,出现了很多新形式的轨道结构和部件,有关部门也为此出台了一些新的轨道设计、铺设及养护维修标准和规范,因此原教材的一些内容亟待更新、补充和完善。

本教材保持了原有教材的特色,并根据目前轨道结构的发展状况,对原教材进行了更新、补充和完善。根据学生的培养目标,本教材突出了实用性、适应性和先进性。在教材内容上,除了确保基本概念、基本原理、基本知识等的阐述外,还兼顾了新线的施工、既有线的大修及工务技术管理的内容,使之也能适应相关专业及现场对技术人员培训的需要。因此,各校可根据教学对象,适当选择一些章节讲课。本教材授课时数约80学时。

本教材由北京交通大学谷爱军主编,陈岳源主审。参加编写工作的有:北京交通大学谷爱军[第1、3(3.1~3.4)、4章],兰州交通大学李斌(第2、7章),同济大学戴月辉(第5章),石家庄铁道学院李向国(第6章),北京铁路局朱耀斌(第8章),北京交通大学赵影[第3章(3.5)]。

本教材在编写过程中,承蒙各兄弟院校老师提供了许多宝贵意见,使教材的内容得到了充实和提高,为此,谨向他们表示衷心感谢。北京交通大学土建学院对教材的编写给予了大力支持,范俊杰教授为本书的编写提出了许多宝贵意见,蓝燕强为本书的编写做了大量具体的工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者学术水平、教学经验和写作能力有限,书中难免有不足和错误,敬请批评指正。

编者
2004年5月

目 录

001	.....	1
101	.....	2
311	.....	4
711	.....	5
611	.....	6
701	.....	7
281	.....	8
081	.....	9
121	.....	10
881	.....	11
111	.....	12
111	.....	13
111	.....	14
111	.....	15
111	.....	16
111	.....	17
111	.....	18
111	.....	19
111	.....	20
111	.....	21
111	.....	22
111	.....	23
111	.....	24
111	.....	25
111	.....	26
111	.....	27
111	.....	28
111	.....	29
111	.....	30
111	.....	31
111	.....	32
111	.....	33
111	.....	34
111	.....	35
111	.....	36
111	.....	37
111	.....	38
111	.....	39
111	.....	40
111	.....	41
111	.....	42
111	.....	43
111	.....	44
111	.....	45
111	.....	46
111	.....	47
111	.....	48
111	.....	49
111	.....	50
111	.....	51
111	.....	52
111	.....	53
111	.....	54
111	.....	55
111	.....	56
111	.....	57
111	.....	58
111	.....	59
111	.....	60
111	.....	61
111	.....	62
111	.....	63
111	.....	64
111	.....	65
111	.....	66
111	.....	67
111	.....	68
111	.....	69
111	.....	70
111	.....	71
111	.....	72
111	.....	73
111	.....	74
111	.....	75
111	.....	76
111	.....	77
111	.....	78
111	.....	79
111	.....	80
111	.....	81
111	.....	82
111	.....	83
111	.....	84
111	.....	85
111	.....	86
111	.....	87
111	.....	88
111	.....	89
111	.....	90
111	.....	91
111	.....	92
111	.....	93
111	.....	94
111	.....	95
111	.....	96
111	.....	97
111	.....	98
111	.....	99
111	.....	100

4.2	各种线路阻力	100
4.3	钢轨内的温度力与轨温	107
4.4	钢轨内的温度力分布	110
4.5	钢轨端部伸缩量计算	115
4.6	标准轨温度力图及轨端伸缩量	116
4.7	无缝线路稳定性	117
4.8	无缝线路设计	125
4.9	特殊地段无缝线路设计	129
	习题与思考题	137
5	道 岔	138
5.1	道岔的种类	138
5.2	道岔的结构	139
5.3	道岔的几何形位	145
5.4	道岔的总布置图	150
5.5	过岔速度和提高过岔速度的措施	158
5.6	特种道岔	165
5.7	轨道连接	169
	习题与思考题	172
6	轨道铺设	173
6.1	铺轨准备工作	173
6.2	轨排组装	176
6.3	轨排运输	180
6.4	轨排铺设	182
6.5	道岔铺设	186
6.6	铺碴整道	190
6.7	一次铺设无缝线路技术	196
	习题与思考题	201
7	线路设备大修	203
7.1	概 述	203
7.2	线路大、中修设计	206
7.3	线路换轨大修施工	224
7.4	线路中修	231
7.5	无缝线路的焊接、运输与铺设	232
	习题与思考题	238
8	线路维修及工务组织管理	240
8.1	线路维修工作的原则和内容	240

8.2 轨道不平顺的管理工作	244
8.3 线路维修基本作业	252
8.4 无缝线路养护维修	255
8.5 道岔更换与养护维修	261
8.6 曲线养护维修	266
8.7 重载、快速和电气化铁路线路养护维修	268
8.8 钢轨及接头的养护维修	270
8.9 工务技术管理	274
习题与思考题	277
附录 常用中英文专业词汇	278
参考文献	281

1 轨道结构

1.1 概 述

轨道结构是列车行驶的基础,能引导列车运行,直接承受车轮的动压力,并传到路基上。

目前使用的轨道结构有传统的有碴轨道结构和一些无碴的新型轨道结构。随着运量、轴重、速度的不断提高,有碴轨道结构也在不断优化加强,部件也在不断地更新。近些年来,世界各国还针对不同的运营条件,开发了一些新型的轨道结构。这些新型的轨道结构在使用性能、维修、使用周期费用以及减振降噪等方面占有相当的优势。

表 1-1 正线轨道类型

项 目		单 位	特重型	重 型		次重型	中 型	轻 型				
运营条件	年通过总质量		Mt	>50	25~50		15~25	8~15	<8			
	路段旅客列车设计行车速度		km/h	120~160	120~160	≤120	≤120	≤100	≤80			
轨道结构	钢 轨		kg/m	75	60	60	50	50	50			
	轨枕	混凝土枕	型号	—	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ或Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ		
			铺枕根数	根/km	1 667	1 667	1 667(Ⅲ) 1 760(Ⅱ)	1 667 或 1 760	1 600 或 1 680	1 520 或 1 640		
	碎石道床厚度	土质路基	非渗水土	双层	道碴	cm	30	30	30	25	20	20
					底碴	cm	20	20	20	20	20	15
		岩石路基	渗水土	单层	道碴	cm	35	35	35	30	30	25
					道碴	cm	30	30	—	—	—	—
		级配碎(砾)石基床	单层	道碴	cm	30	30	—	—	—	—	
	无碴道床	板式轨道		混凝土底座厚度	cm	≥15						
		长枕埋入式										
弹性支承块式		≥17										

注:1. 年通过总质量包括净载、机车和车辆的质量。单线按往复总质量计算,双线按每一条线的通过总质量计算。

2. 特殊情况下采用木枕时,铺设根数可根据设计确定。

3. 明桥面铺设木桥枕时,每公里铺设根数按《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1—99)设计。

4. 弹性支承块式混凝土底座厚度系指支承块下混凝土厚度。

铁路有碴轨道一般由钢轨、轨枕、道床、联结零件、防爬设备和道岔等部件组成。

轨道结构的类型应根据运营条件、要求的使用寿命、维修方式和维修量、铺设地点及材料的可行性等因素来选择,还应考虑铺设和日后维修的费用等因素,以使整个使用周期费用为

最低。

铁路运营条件以行车速度、轴重和运量三个参数来反映。行车速度增加,动压力就增大,如考虑车轮和轨道的不平顺,则动压力可增加 1.5~2.5 倍。轴重的增加也会使轨道受力加大,尤其是对钢轨会产生更不利的影响;运量增长,列车荷载作用次数增多,使轨道部件疲劳损伤和永久变形积累加速。

因此根据不同的运营条件,要求有不同等级的轨道标准,使之有相应的强度和稳定性,以保证列车按规定的速度,平稳、安全和不间断地运行。表 1-1 为我国正线轨道的选型依据。

1.2 钢 轨

1.2.1 钢轨的功用、性能和断面

钢轨是铁路轨道的主要部件,其作用是引导机车车辆车轮前进,承受车轮的巨大压力并将该力传递到轨枕或其他支承上。因此钢轨必须为车轮提供连续、平顺和阻力最小的滚动表面。在电气化铁路或自动闭塞区段,钢轨还可兼做轨道电路。

钢轨的工作条件非常复杂,车轮作用于钢轨上的力有垂直力、横向水平力和纵向水平力。此外,气候和其他因素也对钢轨使用性能有影响。钢轨除承受基本弯曲应力外,还有接触应力、残余应力、局部应力和温度应力等,使钢轨产生压缩、伸长、弯曲、扭转、压溃、磨损、断裂等。因此要求钢轨要有足够的强度、韧性和耐磨性能。

钢轨要有足够的强度,以延长其使用寿命,又要求具有一定的塑性,以防脆性折断;它需有一定的硬度增加耐磨性,又要有适当的韧性;要有相当的刚度,抵抗挠曲,又要有可挠性,以减轻轮轨的冲击;钢轨踏面应粗糙,以增加轮轨间的黏着力,又要光滑,以减少行车阻力。

以上矛盾的性能要求使钢轨的设计及制造成为一个非常复杂的问题。

钢轨断面采用抵抗弯曲最佳的“I”字形。断面分为轨头、轨腰和轨底三个部分。

轨头提供车轮的滚动表面,其外形应与车轮踏面相匹配,且应耐磨和抵抗压溃,轨头宜厚一些。支承在轨枕上的轨底宜宽一些,以保证钢轨的稳定性,并具有一定的厚度,以增加刚度和抵抗锈蚀的能力;为了使钢轨有较大的承载能力和抗弯能力,要求轨腰有足够的高度和厚度;从整个钢轨高度来说,应尽可能大一些,以保证有足够的惯性矩和断面系数来承受垂直动荷载。但钢轨过高,又影响其横向水平稳定性。一般要求轨高与轨底宽之比为 1.15~1.20。

此外,轨头、轨腰和轨底各部分面积应比例适合,以保证在轧制过程中冷却均匀。

1.2.2 钢轨类型

钢轨类型一般以取整后的每米钢轨质量(kg/m)来分类。我国目前使用的标准钢轨有 75、60、50、43、38 kg/m,其断面尺寸及几何特性如表 1-2 所示,图 1-1 为 75、60 kg/m 钢轨的断面形状。

60、50 kg/m 钢轨是目前我国铁路的主型钢轨,铁路正线和新建的城市轨道大都采用 60 kg/m 钢轨。根据我国《铁路主要技术政策》的规定,年通过总质量等于或接近 25 Mt 的线路,

均应铺设 60 kg/m 钢轨,有计划地发展 75 kg/m 特重型钢轨的轨道结构。一般干线应以 50 kg/m 钢轨代替 43 kg/m 钢轨。

表 1-2 钢轨断面尺寸及几何特性

项 目	类型(kg/m)				项 目	类型(kg/m)			
	75	60	50	43		75	60	50	43
每米实际质量 m (kg)	74.414	60.64	51.514	44.653	轨头所占面积 A_h (%)	37.42	37.47	38.68	42.83
断面面积 F (cm ²)	95.037	77.45	65.8	57	轨腰所占面积 A_w (%)	26.54	25.29	23.77	21.31
重心距轨底面的距离 y_1 (mm)	88	81	71	69	轨底所占面积 A_b (%)	36.54	37.24	37.55	35.86
对水平轴的惯性矩 I_x (cm ⁴)	4 490	3 217	2 037	1 489	钢轨高度 H (mm)	192	176	152	140
对竖直轴的惯性矩 I_y (cm ⁴)	665	524	377	260	钢轨底宽 b' (mm)	150	150	132	114
底部断面系数 W_1 (cm ³)	509	396	287	217	轨头高度 h (mm)	55.3	48.5	42	42
头部断面系数 W_2 (cm ³)	432	339	251	208	轨头宽度 b (mm)	75	73	70	70
轨底横向挠曲断面系数 W_y (cm ³)	89	70	57	46	轨腰厚度 t (mm)	20	16.5	15.5	14.5

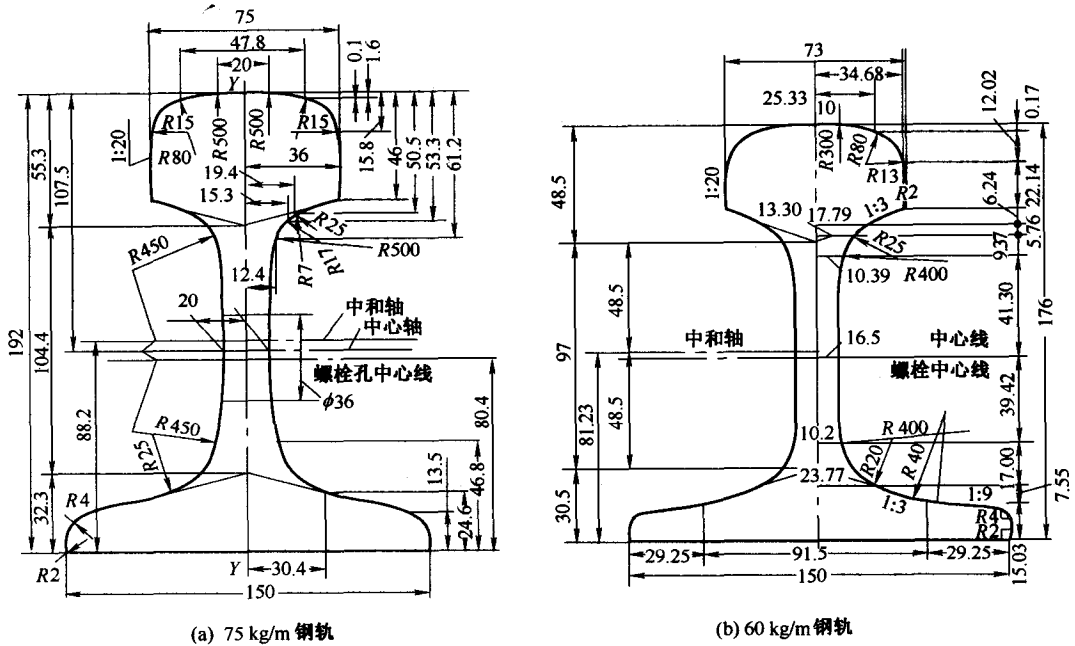


图 1-1 75、60 kg/m 钢轨的断面形状(单位:mm)

采用重型钢轨可延长其疲劳寿命,减小轮轨接触应力、附加动应力和轨道的残余变形。虽然铺设投资大,但日后的经济效益高。

钢轨类型的选择要根据运输条件综合考虑。在技术上应保证强度、韧性、耐磨性和稳定性;在经济上要保证合理的大修周期,以减少养护维修工作量。

从长度的角度看,目前我国使用的标准轨长度有 25 m 和 12.5 m 两种,以及新近生产的 50 m 和 100 m 标准轨。对于 75 kg/m 钢轨,只有 25 m 一种。在曲线上还需要使用标准缩短轨。对 25 m 和 12.5 m 标准长度的钢轨都分别有三种相应的标准曲线缩短轨,对短尺轨的长度也有一定的规定(表 1-3)。

表 1-3 钢轨长度

标准轨定尺长度(m)	曲线缩短轨(m)			短尺轨(m)				
12.5	12.46	12.42	12.38	9.0	9.5	11.0	11.5	12.0
25.0	24.96	24.92	24.84	21.0	22.0	23.0	24.0	24.5

从材质的角度看,主要是 U71Mn、U74 以及近年开发使用的 PD₂、PD₃、稀土钢轨以及合金轨。其中 PD₃ 钢轨在强度、硬度和使用寿命上都占优势,近年来得到了广泛应用。

根据钢轨的化学成分及其强度级别(最低抗拉强度),可分为碳素钢轨(780MPa、880MPa)、微合金钢轨(980MPa)、低合金钢轨(1 080MPa);按交货状态可分为热轧钢轨(碳素钢轨、微合金钢轨、低合金钢轨)和热处理钢轨(热轧钢轨热处理后 1 180~1 280MPa)。热处理钢轨依其工艺条件又可分为离线热处理钢轨(钢轨轧制冷却后再进行热处理)及在线热处理钢轨(利用轧制余热对其进行热处理)。一般强度为 1 080MPa 及以上的钢轨被称为耐磨轨或高强度钢轨。

1.2.3 钢轨轨缝及设置

普通线路上钢轨与钢轨之间留有一定的缝隙,称为轨缝。每节钢轨通过夹板和接头螺栓将其连接起来。随着轨温变化,钢轨将发生伸缩,这个伸缩量由钢轨螺栓孔、夹板螺栓孔与螺栓杆之间的间隙来提供,我们将它们之间在构造上能实现的轨端最大缝隙称为构造轨缝。如果轨缝超过构造轨缝,接头螺栓就要承受剪力。在铺轨施工时,如需要预留一定的轨缝(称为预留轨缝),预留轨缝大小也要适当。预留轨缝的原则是:当轨温达到当地最高轨温 T_{\max} 时,轨缝大于或等于零,即轨缝不顶严,以避免轨端受顶力和过大的温度压力引起线路胀轨跑道;当轨温达到当地最低轨温 T_{\min} 时,轨缝不超过构造轨缝,以保证接头螺栓不受剪力,并防止大轨缝造成过大的冲击力。

《铁路线路维修规则》(以下简称《维规》)规定,普通线路预留轨缝值为:

$$a_0 = \alpha \cdot L(t_z - t_0) + \frac{1}{2} a_g \quad (1-1)$$

式中 a_0 ——铺设、更换钢轨或调整轨缝时的预留轨缝值(mm);

α ——钢轨的线膨胀系数, $\alpha = 0.0118 \text{ mm/m} \cdot ^\circ\text{C}$;

t_0 ——铺轨或调整轨缝时的轨温($^\circ\text{C}$);

a_g ——构造轨缝值(mm),对于 38、43、50、60、75 kg/m 钢轨考虑一定的安全系数后,规定统一采用 $a_g = 18 \text{ mm}$;

L ——标准轨长度(m);

t_z ——当地的中间轨温($^\circ\text{C}$),其值为

$$t_z = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

其中 T_{\max} , T_{\min} ——当地历史最高和最低轨温($^\circ\text{C}$),各地区(或区段)采用的最高、最低轨温由铁路路局规定。

由于 a_g 的限制,以及接头和基础阻力 C 值的关系,不是所有地区都能铺设 25 m 长的钢轨。根据轨温和轨缝的变化规律,在确定的 a_g 和 C 值情况下,以 T_{\max} 时轨缝 $a_{\min} = 0$, T_{\min} 时轨缝 $a_{\max} = a_g$ 为条件,可以得到允许铺轨的年轨温差 $[\Delta T]$ 为

$$[\Delta T] = \frac{a_g + 2C}{\alpha \cdot L} \quad (1-2)$$

式中 $[\Delta T]$ ——允许铺轨的年轨温差($^{\circ}\text{C}$)；

C ——接头阻力和基础阻力限制的钢轨伸缩量(mm)，可参看表 1-4，其理论计算方法可参见第 4 章无缝线路。

表 1-4 接头螺栓扭矩与 C 值的关系

项目	单位	25 m 钢轨						12.5 m 钢轨	
		最高、最低轨温差 $>85^{\circ}\text{C}$			最高、最低轨温差 $\leq 85^{\circ}\text{C}$				
轨型	kg/m	60 及以上	50	43	60 及以上	50	43	50	43
螺栓等级		10.9	10.9	8.8	10.9	10.9	8.8	10.9	8.8
扭矩	N·m	700	600	600	500	400	400	400	400
C 值	mm	6			4			2	

5

由式(1-2)计算可知，对于 12.5 m 长钢轨，在我国任何地区都可铺设；对于 25 m 钢轨， $[\Delta T]=101.7^{\circ}\text{C}$ ，近似地只能在年轨温差 100°C 以下地区铺设，大于 100°C 的地区应做个别设计。

在允许铺轨的最大年轨温差 $[\Delta T]$ 范围内，并不是在所有的轨温下都能铺设，在年轨温差 ΔT 大的地区，在接近 T_{\max} (或 T_{\min}) 的轨温下铺轨后，轨温达到 T_{\min} (或 T_{\max}) 时，轨缝就不能满足 $a_{\max} \leq a_g$ (或 $a_{\min} \geq 0$)，因此必须限制其铺轨轨温。另外，用式(1-1)中 a_0 作为预留轨缝，并在铺轨后为检查轨缝计算方便，将铺轨时允许铺轨的轨温上、下限定为：

$$\left. \begin{array}{l} \text{允许铺轨轨温的上限:} \quad [t_{0s}] = t_z + \frac{a_g}{2\alpha \cdot L} \\ \text{允许铺轨轨温的下限:} \quad [t_{0x}] = t_z - \frac{a_g}{2\alpha \cdot L} \end{array} \right\} \quad (1-3)$$

25 m 长的普通线路， $a_g=18$ mm，可以求得 $a_g/2\alpha L=30.5^{\circ}\text{C}$ ，因此，《维规》规定，应当在 $(t_z - 30^{\circ}\text{C}) \sim (t_z + 30^{\circ}\text{C})$ 内铺设或调整轨缝。

注：此部分内容包括的公式及理论应结合第 4 章“无缝线路”中的“标准轨温度力图及轨端伸缩”来理解。

1.2.4 钢轨材质、热处理及力学性能

为了使钢轨有足够的强度和韧性，及良好的耐磨性和硬度，坚固耐用，除了选用适当的钢轨类型外，在很大程度上还应注重钢轨的材质、生产工艺和热处理等方面的问题。

钢轨的化学成分是影响其力学性能、焊接性能和其他使用性能的基本因素，也是钢轨材质纯净度的指标。

钢轨的主要成分是铁 Fe，其次是碳 C。含碳量增加，钢轨的抗拉强度、耐磨性及硬度均迅速增加，但含碳愈高，钢轨愈脆，钢的延伸率、断面收缩率和冲击韧性反而下降。所以，含碳量一般不超过 0.82%。

其他成分还有锰 Mn、硅 Si、磷 P、硫 S 等。锰可以提高钢的强度和韧性，除去氧化铁、硫夹杂物。硅易与氧化合，能除去钢中的气泡，增加密度，使钢轨密实而细致。钢中含有限的硅能提高钢的强度、硬度，而不影响塑性。磷的含量过高，使钢轨具有冷脆性，在冬季严寒地区易突然折断。硫不溶于铁内，所以不论其含量多少，均生成硫化铁，使金属在 $800 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 发脆，因而，在轧制及加工时易产生次品。

我国钢轨钢主要钢种的化学成分和机械性能如表 1-5 所示。

表 1-5 我国钢轨钢主要钢种的化学成分和机械性能

序号	钢号	化 学 成 分 (%)					S	抗拉强度 (N/mm ²)	延伸率 (%)
		C	Si	Mn	Cu	P			
1	U71	0.64~0.77	0.13~0.28	0.60~0.90		≤0.04	≤0.05	785	10
2	U74	0.67~0.80	0.13~0.28	0.70~1.00		≤0.04	≤0.05	785	9
3	U71Cu	0.65~0.77	0.15~0.30	0.70~1.00	0.1~0.4	≤0.04	≤0.05	785	9
4	U71Mn	0.65~0.77	0.15~0.35	1.10~1.50		≤0.04	≤0.04	883	8
5	U71MnSi	0.65~0.75	0.85~1.15	0.85~1.15		≤0.04	≤0.04	883	8
6	U71MnSiCu	0.65~0.77	0.70~1.10	0.80~1.20	0.1~0.4	≤0.04	≤0.04	883	8
7	PD ₂	0.74~0.82	0.15~0.35	0.70~1.00		≤0.04	≤0.04	1175**	11
8	PD ₃	0.70~0.78	0.50~0.70	0.75~1.05	0.04~0.08*	≤0.035	≤0.035	980	10
9	BNbRE	0.70~0.82	0.06~0.09	0.90~1.30		≤0.04	≤0.04	980	8

* PD₃ 中微钒的含量; ** PD₂ 全长淬火钢轨。

* 钢号为 U71、U74 中的 U 表示钢轨的符号,71、74 表示钢轨含碳量为 0.71%、0.74%,其他 Cu、Mn、Si 都表示这种钢轨钢的合金成分,序号 1~3 为普通碳素轨,4~6 为低合金轨,U71Mn 为中锰轨,其质量较高,可延长钢轨的使用寿命;U71MnSi 为高硅轨,其耐磨性为碳素轨的 2~4 倍。

对钢轨进行淬火处理可以提高钢材的硬度,改善钢材的机械性能。目前,我国 U71Mn 和 U74 轨采用轨端淬火,PD₃ 和稀土轨可不进行轨端淬火。淬火层长度从轨端算起为 30~70 mm;75 kg/m 钢轨为 50~80 mm;淬火过渡区长度不小于 80 mm。踏面部分淬火层深度应大于或等于 10 mm,下颏部分淬火层深度应大于或等于 6 mm,75 kg/m 钢轨淬火层深度轨头踏面部分应大于或等于 10 mm。

《铁路线路设计规范》规定:大于或等于 60 kg/m 的钢轨宜采用全长淬火钢轨,新建铁路曲线半径小于或等于 700 m 地段的重型、特重型轨道,新建和改建铁路曲线半径小于或等于 450 m 地段的次重型轨道,应采用全长淬火钢轨或耐磨钢轨。铺设无缝线路的曲线地段宜采用全长淬火钢轨。

曲线地段及重载线路应铺设耐磨轨或全长淬火轨。

钢轨的机械性能用强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 、疲劳极限 σ_r 、延伸率 δ_5 、断面收缩率 ψ 、冲击韧性 α_k 以及硬度来表示。这些指标对钢轨的承载能力、伤损、使用寿命有很大的影响。如钢轨长期在列车随机和重复荷载作用下,需要具备较高的疲劳强度和较好的冲击韧性。若将钢轨按强度分级可分为中等强度钢轨(σ_b 为 700~900 MPa)、高强钢轨(σ_b 为 900~1 100 MPa)和超高强度钢轨($\sigma_b > 1 100$ MPa)。中等强度钢轨适用于一般干线,材质为普通碳素轨;高强钢轨为全长淬火的普通碳素轨或微合金轨,适用于干线和高速线路;超高强度钢轨适用于轴重大的特重型轨道。

目前世界各国都致力于钢轨的纯净化、重型化和强韧化。而钢轨材质的纯净化(即减少钢轨钢中的夹杂物)是重型化和强韧化的基础。

1.2.5 钢轨伤损的主要形式及其防治措施

钢轨伤损是指钢轨在使用过程中发生裂纹、折断、磨耗及其他影响和限制钢轨使用性能的

病害。在复杂的运营条件下,钢轨的伤损是不可避免的。伤损的原因很复杂,既有钢轨生产当中产生的缺陷,又有运输、铺设和使用过程的问题。

钢轨伤损是轨道上存在的一个大问题,它直接影响行车安全。目前国内外都建立了相应的钢轨伤损类型数据库,进行计算机统计管理,以便掌握钢轨伤损发生和发展的规律,加强钢轨的使用管理、延长钢轨的使用寿命,确保行车安全,并以此作为轨道管理和维修决策的一部分。我国将钢轨伤损用两位数编号进行分类,十位数表示伤损在钢轨断面上的部位和伤损状态,个位数表示造成伤损的原因。这里介绍几种常见的钢轨伤损及其防治措施。

1. 轨头核伤



图 1-2 轨头核伤

轨头内部存在有微小裂纹或缺陷时(图 1-2),在重复动荷载作用下,小裂纹向四周发展,核伤扩大,削弱了钢轨断面,降低了抵抗折断的能力,在毫无预兆的情况下,猝然折断,严重影响了行车安全。核伤的形成是钢轨内部材质的缺陷,核伤的发展速度主要与重复荷载的次数有关,也就是运量。当然加强线路和机车车辆养护,可以起到一些减缓核伤发展的作用,但不是决定性的。根据前苏联统计,运量与核伤的关系如下:

$$\beta = S_0 e^{kT}$$

式中 T ——通过核伤钢轨的总重;

β ——核伤钢轨通过总重 T 后核伤的发展面积,以占轨头面积的百分数表示;

S_0 ——核伤的初始面积,以占轨头面积的百分数表示(法国取 $S_0 = 3\%$);

k ——核伤发展的速度系数,随轨型、材质、轴重而定(法国取 $k = 0.12$)。

此外,大轴重和高行车速度也影响核伤的发展,尤其是核伤后期。前苏联试验表明,在直线地段,轴重从 122.5 kN 增加到 188.2 kN 时,在行车速度为 70~80 km/h 时,通过总重可减少 30%~50%。接头的冲击荷载也影响核伤的发展,前苏联试验表明,距轨端 1~3.5 m 处,核伤的发展速度要比大腰处快 1.8~2.0 倍。

防止和减缓核伤的产生和发展,其措施主要有:

- (1) 提高钢轨材质,防止出现气孔及夹杂等不良现象;
- (2) 改善线路质量,提高弹性和平顺性,减少动力和冲击;
- (3) 利用大型超声探伤列车或小型钢轨探伤车对钢轨进行探伤,及早发现核伤,及时治理。

高速铁路钢轨伤损的主要形式是由钢轨的内部夹杂、缺陷所引起的疲劳折损。提高钢轨材质的纯净度是减少钢轨疲劳折损,延长其使用寿命的有效途径。

2. 钢轨磨耗及允许磨损限度

在我国,直线及大半径曲线线路,换轨的主要控制因素是核伤,而在小半径曲线,则主要是钢轨的磨耗。钢轨磨耗主要有侧面磨耗(包括直线上两股钢轨交替不均匀侧磨)、垂直磨耗、鞍形磨耗和波浪形磨耗等。

鞍形磨耗是指钢轨接头处,由于轨端淬火后硬度提高而其交界处轨顶面硬度较低,在列车冲击荷载下造成淬火表面交界处产生坑洼,而淬火端几乎没有磨耗,形成了马鞍形状的顶面。鞍形磨耗可以通过焊补而修复。

垂直磨耗是指钢轨轨面高度上的磨耗。垂直磨耗在一般情况下是正常的,随着通过总重的增加而增大。在曲线上,垂直磨耗是由于超高设置不合理而引起的。里股垂直磨耗表现为轨头压溃、轨头压偏、宽度增加,可以通过适当调整轨道几何尺寸而解决。

当前曲线线路上的磨耗主要是侧磨和波磨。

(1) 侧面磨耗

目前钢轨的侧面磨耗遍及全路的主要干线。侧面磨耗主要发生在小半径曲线的外股钢轨

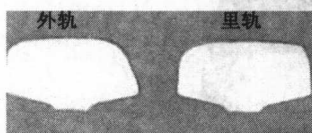


图 1-3 钢轨侧面磨耗(外轨)

(图 1-3)。一些小半径曲线,其侧磨达 1.5~2.0 cm,半年就要换轨。其磨耗的速度与下列因素有关:

①钢轨材质。硬度较大的高硬稀土轨、淬火轨耐磨性好,高硬稀土轨的耐磨性是普通轨的 2 倍左右,是淬火轨的 1 倍左右。

②机车车辆条件。车辆通过曲线时有导向力和冲角。轮轨磨耗与轮轨之间的摩擦做功有关,摩擦功主要与导向力和冲角有关。导向力大小与固定轴距、车轮踏面有效横向粘着状态以及未被平衡的离心力有关。

③轨道的几何尺寸及状态。合理的轨距、超高,良好的方向,可以改善机车车辆通过的条件,它是减少侧磨的有效途径。

从养护维修的角度看,减少侧磨的途径有:

①采用耐磨轨(高硅轨、淬火轨等);

②加强养护维修,设置合理超高、轨距,保持良好的轨底坡和方向,增加线路的弹性;

③曲线涂油。曲线涂油有两种方法:一种是车载涂油,即在车尾放置涂油器,遇曲线则喷油,还有的在机车上安装涂油装置来喷油;另一种是地面涂油,即在曲线头上安装固定涂油器,列车通过时,车轮压在装有轨头侧面的油嘴上而喷出浓度较大的粘状油质,由车轮带给曲线钢轨侧面而达到涂油目的。两种涂油方式都能收到良好的效果,可以延长使用寿命一倍以上。

(2) 波形磨耗

波形磨耗(图 1-4)是指轨顶出现波浪状的不均匀磨耗,实质上是波浪压溃。它使列车振动加剧,旅客不适,产生很大的轮轨相互作用力,加速机车车辆及轨道部件的损坏,增加养护维修费用。列车的剧烈振动,也威胁行车安全。在我国一些货运干线上,出现了严重的波磨,波磨发展的速度比侧磨还快,有时不得不因波磨严重而换轨。

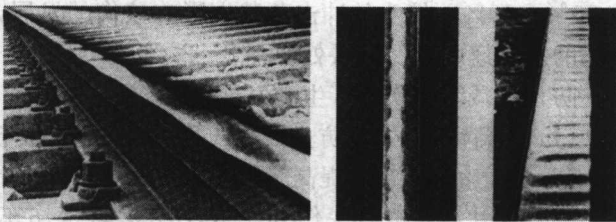


图 1-4 钢轨波形磨耗

波磨随波长不同而分为两种:一种为波纹磨耗,其波长为 30~80 mm,多发生在大半径曲线,甚至是直线上;一种为波浪磨耗,波长为 80~600 mm,甚至长达 2m 左右,多发生在小半径曲线上。在我国以货运为主的丰沙、石太线上,波浪形磨耗相当严重。

解决波磨问题,至今还没有有效的办法,主要靠机械打磨。目前国内外的打磨手段主要依靠大型钢轨打磨列车和小型钢轨打磨机具。

(3) 直线上两股钢轨交替不均匀侧磨

直线上两股钢轨交替不均匀侧磨是重载快速条件下出现的一种新病害,它使直线轨道平顺性指标恶化,导致某些机车车辆运行过程剧烈摇晃,其基本特征是不均匀波形呈等间距,左右交替,磨耗波连续成群,磨耗量由小变大,再由大变小,在一股钢轨内侧形成一个连续的半波,其波长范围基本固定。对此病害应有计划地安排整治,侧磨量大于 8 mm 且添乘机车严重晃车的地段要及时调边进行起道整修,侧磨量小于 8 mm 的要注意控制。

(4) 允许磨耗限度

钢轨允许磨耗限度,由下列条件决定:

- ① 当钢轨磨耗达到允许限度时,还能保证钢轨具有足够的强度和抗弯刚度;
- ② 当钢轨达到允许磨耗限度时,应保证轮缘在最不利情况下不致接触到接头夹板;
- ③ 波磨钢轨的波谷深度达到允许限度时,不应引起机车车辆与轨道部件有强烈振动。

根据这三个条件,确定磨耗达到限度的重伤钢轨如表 1-6 所示。达到重伤程度的钢轨应立即更换。50 kg/m 级以上的钢轨,经过探伤和轨头整修后,可按轻一级钢轨使用。

表 1-6 钢轨头部磨耗重伤标准

钢轨(kg/m)	垂直磨耗(mm)			侧面磨耗(mm)		
	160 km/h $\geq v >$ 140 km/h 正线	140 km/h $\geq v >$ 120 km/h 正线	$v \leq 120$ km/h 正线、到发线 及其他站线	160 km/h $\geq v >$ 140 km/h 正线	140 km/h $\geq v >$ 120 km/h 正线	$v \leq 120$ km/h 正线、到发线 及其他站线
75	10	11	12	12	16	21
75 以下~60	10	11	11	12	16	19
60 以下~50			10			17
50 以下~43			9			15
43 以下			8			13

达到表 1-7 所示的磨耗程度为轻伤钢轨,还可以继续使用,但需观察其磨耗发展趋势及其他伤损类型的相伴发生。

表 1-7 钢轨头部磨耗轻伤标准

钢轨(kg/m)	总磨耗				垂直磨耗				侧面磨耗			
	160 km/h $\geq v >$ 140 km/h 正线	140 km/h $\geq v >$ 120 km/h 正线	$v \leq 120$ km/h 正线及 到发线	其他 站线	160 km/h $\geq v >$ 140 km/h 正线	140 km/h $\geq v >$ 120 km/h 正线	$v \leq 120$ km/h 正线及 到发线	其他 站线	160 km/h $\geq v >$ 140 km/h 正线	140 km/h $\geq v >$ 120 km/h 正线	$v \leq 120$ km/h 正线及到 发线	其他 站线
75	9	12	16	18	8	9	10	11	10	12	16	18
75 以下~60	9	12	14	16	8	9	9	10	10	12	14	16
60 以下~50			12	14			8	9			12	14
50 以下~43			10	12			7	8			10	12
43 以下			9	10			7	8			9	11

注:①总磨耗=垂直磨耗+1/2 侧面磨耗。

②垂直磨耗在钢轨顶面宽 1/3 处(距标准工作边)测量。

③侧面磨耗在钢轨踏面(按标准断面)下 16mm 处测量。

3. 轨腰螺栓孔裂纹

钢轨端部轨腰钻孔后,强度削弱,螺栓孔周围产生较高的局部应力,在列车冲击荷载作用下,螺栓孔裂纹开始产生和发展(图 1-5),并出现疲劳伤损。

螺栓孔裂纹主要来自钻孔时产生的微小裂纹,养护不当,因基础弹性不够而在接头处产生

的很大瞬时冲击力(一般称为 P_1 力),以及钢轨长度中部(又称为大腰处)的所有低频准静态力(称为 P_2 力)等。研究表明, P_1 、 P_2 的组合控制着轨端第一个螺栓孔的应力水平,第二个螺栓孔则由 P_2 控制。因此,往往在 1、2 螺栓孔之间出现与主拉应力方向相垂直的裂纹(一般与水平线成 45° 左右)。道床板结、轨端低塌,高低、左右错牙及鞍形磨耗等线路不良状态,更促进 P_2 力的增大,加剧裂纹的发展。

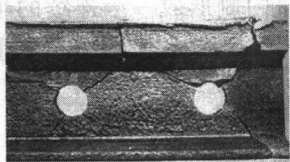


图 1-5 轨腰螺栓孔裂纹

为防止和减缓螺栓孔裂纹的产生和发展,现场一般采取下列措施:

- (1) 加强接头养护,防止接头出现错牙、鞍磨、低塌及道床板结,以减少 P_2 、 P_1 力;
- (2) 螺栓孔周边倒棱,防止周边应力集中,延长裂纹萌生期;
- (3) 增加接头弹性,在接头处铺设枕下大胶垫或在枕上铺设高弹性胶垫等来减少 P_1 、 P_2 力。也曾做过其他试验,如加大第一螺栓孔至轨端的距离,减小螺栓孔直径,可以减少螺栓孔应力的 30%。

采用无缝线路,取消钢轨接头,可以从根本上消除轨腰螺栓孔裂纹。

以上介绍了几种主要的钢轨伤损形式,其他的钢轨伤损形式还有剥离、掉块、擦伤、轨头(轨腰、轨底)裂纹、锈蚀、焊接接头伤损等。钢轨的各种伤损状态和程度,主要取决于钢轨强度、材质、运营条件、线路条件及轨道类型等,原因错综复杂,且互为因果。对线路的管理工作者来说,做好钢轨伤损类型和原因的调查、统计分析,对减少钢轨伤损是十分必要的。

1.3 轨 枕

轨枕的功用是保持钢轨的位置、方向和轨距,并将它承受的钢轨力均匀地分布到道床上。轨枕要有一定的坚固性、弹性和耐久性,并能便于固定钢轨,抵抗轨道框架的纵向和横向位移,并且应具有价格低廉、制造简单、易于铺设养护的特点。

轨枕的类型,从材质上看,有木枕、混凝土轨枕和钢枕;从用途上看,有普通轨枕、桥枕和岔枕;从构造和铺设上看,有横向轨枕、纵向轨枕、短枕和框架式轨枕。

目前,在我国铁路干线上,除一部分小半径曲线上还存在木枕外,绝大部分线路使用的都是混凝土枕,钢枕在我国也只有极个别地段使用。横向轨枕与钢轨垂直间隔铺设,是一种最常用的轨枕;纵向轨枕较少使用;短枕是在左右两股钢轨下分开铺设的轨枕,常用于混凝土整体道床。

1.3.1 木 枕

木枕即为木制轨枕。木枕富于弹性,便于加工、运输和维修;有较好的电绝缘性能。但是,目前木材缺乏,价格很高,而且易腐朽、磨损,使用寿命短,不同种类木材的木枕弹性也不一致,造成轨道的动态不平顺。因此,在我国木枕已逐渐被混凝土枕所代替。

木枕也分普通木枕、道岔木枕及桥梁木枕。其基本断面形状如图 1-6 所示。

木枕失效原因很多,其中主要是腐朽、机械磨损及裂缝。三者互为因果,相互促进。对付腐朽的办法,是将木枕进行防腐处理。木枕防腐剂很多,主要有油类和水溶性防腐剂两大类,其中以油类防腐剂为主,适用于大工厂浸注木枕。我国木枕防腐工厂多采用防腐油与煤焦油混合的油剂(简称混合油),煤焦油含煤沥青,可以防止木枕开裂,也可以起到防水作用。

在一些运量大的线路中,往往由机械磨损控制木枕的使用寿命。减少机械磨损的途径有: