



普通高等教育铁道部规划教材

铁路轨道

李成辉 主编 吴细水 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等教育铁道部规划教材

铁路轨道

李成辉 主编

吴细水 主审

中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书共分七章,主要内容包括:轨道结构、无砟轨道、轨道几何形位、轨道力学分析、道岔、无缝线路、轨道工程接口等。

本书为高等学校道路与铁道工程专业教材,也可作为相关专业工程技术和经营管理人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路轨道/李成辉主编. —北京:中国铁道出版社,2010.5

普通高等教育铁道部规划教材

ISBN 978-7-113-11312-4

I. ①铁… II. ①李… III. ①轨道(铁路)—高等学校—教材 IV. ①U213.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 073278 号

书 名:铁路轨道
作 者:李成辉 主编

责任编辑:程东海 电话:010-51873135 教材网址:www.tdjiaocai.com
封面设计:崔丽芳
责任校对:孙 玫
责任印制:陆 宁

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)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

版 次:2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:15 字数:376 千

书 号:ISBN 978-7-113-11312-4

定 价:26.00 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,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关业务部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员使用。本书为铁道工程系列教材之一。

随着高速铁路的大规模建设、既有线提速改造及重载铁路的快速发展,作为铁路重要基础设施的轨道结构不断更新、技术不断完善,传统的轨道结构已不适应目前铁路的发展需要,结构形式和设计方法必须相应改变。为了适应我国铁路现代化发展,进一步提高铁路相关专业学生及科技人员的素质,在铁道部支持下编写了本教材。

本教材在系统介绍轨道基本知识的基础上,把最新的研究成果、关键技术及工程实践融入教材之中,主要内容包括轨道结构、无砟轨道、轨道几何形位、轨道力学分析、道岔、无缝线路、轨道工程接口等方面的内容。

本教材是交通与土建工程、道路与铁道工程专业学生的教材或铁道工程技术人员和高等院校教师的参考用书,是铁路施工及管理人员必须掌握的技术。通过学习使读者系统地学习轨道的基本知识,为今后从事这方面的工作打下坚实的基础。与同类书相比较,本教材更紧密联系工程实践。

本书由西南交通大学李成辉任主编,北京交通大学高亮任副主编,铁道部工程管理中心吴细水任主审。参加编写工作的有西南交通大学李成辉(第四章),王平(第五章),刘学毅、赵坪锐(第二章),郭利康(第一章);北京交通大学高亮(第六章),彭华、蔡小培(第三章);中铁四院王玉泽、孙立(第七章)。

随着铁路建设事业快速发展促使铁路轨道进一步发展,很多新的技术成果还来不及整理编入本书。此外,限于编者的水平,本书有许多不足甚至错误之处,恳请各位专家、读者批评指正,有待再版时进一步修改订正。

编 者

2010年3月

目 录

第一章 轨道结构	1
第一节 概 述.....	1
第二节 钢 轨.....	1
第三节 钢轨连接.....	9
第四节 轨 枕.....	16
第五节 扣 件.....	21
第六节 道 床.....	25
第七节 轨道结构的合理配套.....	30
复习思考题.....	34
第二章 无砟轨道	35
第一节 概 述.....	35
第二节 板式轨道.....	37
第三节 轨枕埋入式无砟轨道.....	45
第四节 整体道床轨道.....	49
第五节 弹性支承式无砟轨道.....	53
第六节 无砟轨道扣件.....	55
复习思考题.....	59
第三章 轨道几何形位	61
第一节 概 述.....	61
第二节 机车车辆走行部分的构造.....	61
第三节 轨道几何形位基本要素.....	63
第四节 曲线轨道轨距加宽.....	67
第五节 曲线轨道外轨超高.....	70
第六节 缓和曲线.....	74
复习思考题.....	81
第四章 轨道力学分析	82
第一节 轮轨相互作用.....	82
第二节 轨道结构竖向静力分析模型.....	84
第三节 钢轨位移、弯矩的分析计算.....	87
第四节 钢轨位移、弯矩的准静态计算.....	89
第五节 轨枕受力分析计算.....	93
第六节 道床、路基受力分析.....	95
第七节 有砟轨道强度检算算例.....	97
第八节 扣件力学分析.....	100



第九节 无砟轨道受力计算	103
第十节 车辆的脱轨条件	109
第十一节 轨道动力学简介	111
第十二节 轨道临界速度	116
第十三节 车辆通过曲线	119
复习思考题	124
第五章 道 岔	125
第一节 道岔的功用及类型	125
第二节 单开道岔的构造	127
第三节 单开道岔的几何尺寸	138
第四节 单开道岔的总布置图	143
第五节 过岔速度和提高过岔速度的措施	149
第六节 高速道岔	154
复习思考题	168
第六章 无缝线路	170
第一节 概 述	170
第二节 基本原理	172
第三节 无缝线路的稳定性	181
第四节 普通无缝线路设计	195
第五节 桥上无缝线路	198
第六节 跨区间无缝线路	207
第七节 一次性铺设无缝线路	212
复习思考题	215
第七章 轨道工程接口	216
第一节 概 述	216
第二节 轨道与线路工程接口	217
第三节 轨道与路基工程接口	218
第四节 轨道与桥梁工程接口	224
第五节 轨道与隧道工程接口	226
第六节 轨道与站后工程接口	228
复习思考题	233
参考文献	234

第一章

轨道结构

第一节 概 述

轨道是铁路、地铁的主要技术装备之一,是行车的基础。轨道的作用是引导机车车辆平稳安全运行,直接承受列车荷载作用,并把荷载传布给路基或桥隧建筑物。轨道结构应该保证机车车辆在规定的最大载重和最高速度运行时,具有足够的强度、稳定性、平顺性和合理的维修周期。

轨道结构有传统的有砟轨道结构和新型无砟轨道结构(见第五章)。传统的有砟轨道结构由钢轨、轨枕、道床、道岔、联结零件及轨道加强设备组成。无砟轨道用整体性较好的沥青或混凝土道床代替散粒道砟道床,轨道的累积变形小,可持久保持轨道几何形位,大幅减少养护维修工作量,在高速铁路和城市轨道交通中应用较为广泛。

第二节 钢 轨

一、钢轨的功能及基本要求

(一)钢轨的功用

钢轨是轨道最重要的组成部件。它的功用是为车轮提供连续、平顺和阻力最小的滚动表面,引导列车运行方向;直接承受车轮的巨大压力,并分布传递到轨枕;在电气化铁道或自动闭塞区段,还兼作轨道电路之用。

(二)钢轨的基本要求

为完成上述功能,对钢轨质量、断面、材质三要素均提出了相应的要求。

1. 足够的强度和耐磨性

钢轨的工作条件十分复杂。首先,车轮施加于钢轨上的作用力具有很强的随机性。其次,气候及其他因素对钢轨受力也有影响。例如,轨温变化使钢轨内部产生极大的温度力,特别是在无缝线路上。

钢轨是作为一根支承在弹性基础上的无限长梁进行工作的。它主要承受轮载作用下的弯曲应力,但是也必须有能力承担轮轨接触应力,以及轨腰与轨头或轨底连接处可能产生的局部应力和温度变化作用下的温度应力。在轮载和温度力的作用下,钢轨产生复杂的变形:压缩、伸长、弯曲、扭转、压溃、磨耗等。为使列车能够安全、平稳和不间断地运行,钢轨必须保证在轮载和轨温变化作用下,应力和变形均不超过规定的限值,这就要求钢轨具有足够的强度、韧性和耐磨性能。

2. 较高的抗疲劳强度和韧性



钢轨长期在列车重复荷载作用下工作,随着轴重增加和钢轨重型化,轨头部分的疲劳伤损成为钢轨伤损的主要形式之一。为防止轨头内侧剥离及由此可能引起的钢轨横向折断,钢轨应具有较高的抗疲劳强度和较好的冲击韧性。

3. 一定的弹性

钢轨依靠本身的刚度抵抗轮载作用下的弹性弯曲,就要求钢轨应具有足够的刚度,但为了减轻车轮对钢轨的动力冲击作用,防止机车车辆走行部分及钢轨的折损,又要求钢轨具有必要的弹性。

4. 足够光滑的顶面

对车辆来说,车轮与钢轨顶面之间的摩阻力太大会使行车阻力增加,就要求钢轨有一个光滑的滚动表面,而机车依靠其动轮与钢轨顶面之间的摩擦作用牵引列车前进,则要求钢轨顶面具有一定粗糙度,以使车轮与钢轨之间产生足够的摩擦力。从这一矛盾的主要方面出发,钢轨仍应维持其光滑的表面,必要时,可用向轨面撒砂的方法提高机车动轮与钢轨之间的黏着力。

5. 良好的可焊性

随着无缝线路技术的广泛应用,要求钢轨应具有良好的可焊性。

6. 高速铁路钢轨的高平直度

钢轨的平直性要求对轨道平顺性有决定性的重要影响,同时轨端平直性、对称性对钢轨焊接也有很大影响。高速铁路对钢轨平直性的要求比一般线路更高更严,控制指标也更多更全面。

根据经济合理原则,钢轨还应做到断面设计合理,价格低廉,轻重齐备,自成系列。

二、钢轨型式尺寸

(一) 钢轨类型及长度

钢轨类型以每米大致质量(kg)数划分。我国铁路钢轨有 75、60、50 及 43 kg/m 四种。

我国钢轨标准长度分 12.5 m 及 25 m 两种,对于 75 kg/m 钢轨只有 25 m 长一种。曲线内股缩短轨,对于 12.5 m 标准轨系列缩短轨有缩短量 40、80、120 mm 三种;对于 25 m 标准轨系列有缩短量 40、80、160 mm 三种。

无缝线路技术应用使用长尺钢轨可以减少钢轨焊接接头,提高钢轨使用的安全性及平顺性。另外,钢轨长尺生产便于对钢轨进行热预弯,消除钢轨矫直前的弯曲度,减少钢轨的残余应力。同时由于长尺钢轨两端可以锯掉 0.8~1.5 m,可以消除原标准长度钢轨两端的矫直和探伤盲区,在提高生产率的同时可充分保证钢轨的平直度和内部质量。因此钢轨长尺生产成为一种趋势,如法国钢轨定尺长度可达 80 m,德国可达 120 m。我国长定尺钢轨长度有 50 m 和 100 m 长两种,无缝线路应优先采用 100 m 长定尺钢轨。

(二) 钢轨断面设计

列车作用于直线轨道钢轨上的力主要是竖直力,其结果是使钢轨挠曲。钢轨被视为支承在弹性基础上的无限长梁,而梁抵抗挠曲的最佳断面形状为“工”字形。因此,钢轨采用工字形断面,由轨头、轨腰和轨底三部分组成。钢轨断面设计应满足下面要求:

1. 钢轨头部设计

钢轨头部是直接和车轮接触的部分,应有抵抗压溃和耐磨的能力,故轨头宜大而厚,并具有和车轮踏面相适应的外形。钢轨头部顶面应有足够的宽度,使其上面滚动的车轮踏面和钢轨顶面磨耗均匀。钢轨头部顶面应轧制成隆起的圆弧形,使由车轮传来的压力能集中于钢轨中轴。

2. 钢轨腰部设计

钢轨腰部必须有足够的厚度和高度,以使钢轨有足够的承载能力和抗弯能力。轨腰的两侧为曲线。轨腰与钢轨头部及底部的连接,必须保证夹板能有足够的支承面。

3. 钢轨底部设计

钢轨底部应保持钢轨的稳定,轨底应有足够的宽度和厚度,并具有必要的刚度和抵抗锈蚀的能力。

钢轨的头部顶面宽度(b)、轨腰厚度(t)、钢轨高度(H)及轨底宽度(B)是钢轨断面的四个主要参数。钢轨高度应尽可能大一些,以保证有足够的惯性矩及断面系数来承受竖直轮载的动力作用。但钢轨愈高,其在横向水平力作用下的稳定性愈差。钢轨高度与轨底宽度间应有一个适当的比例。一般要求钢轨高度与轨底宽度之比为 1.15~1.20。为使钢轨轧制冷却均匀,要求轨头、轨腰及轨底的面积分配有一个较合适的比例。

我国主要钢轨类型的断面尺寸及特征见表 1-1,60、75 kg/m 钢轨断面尺寸如图 1-1 所示。

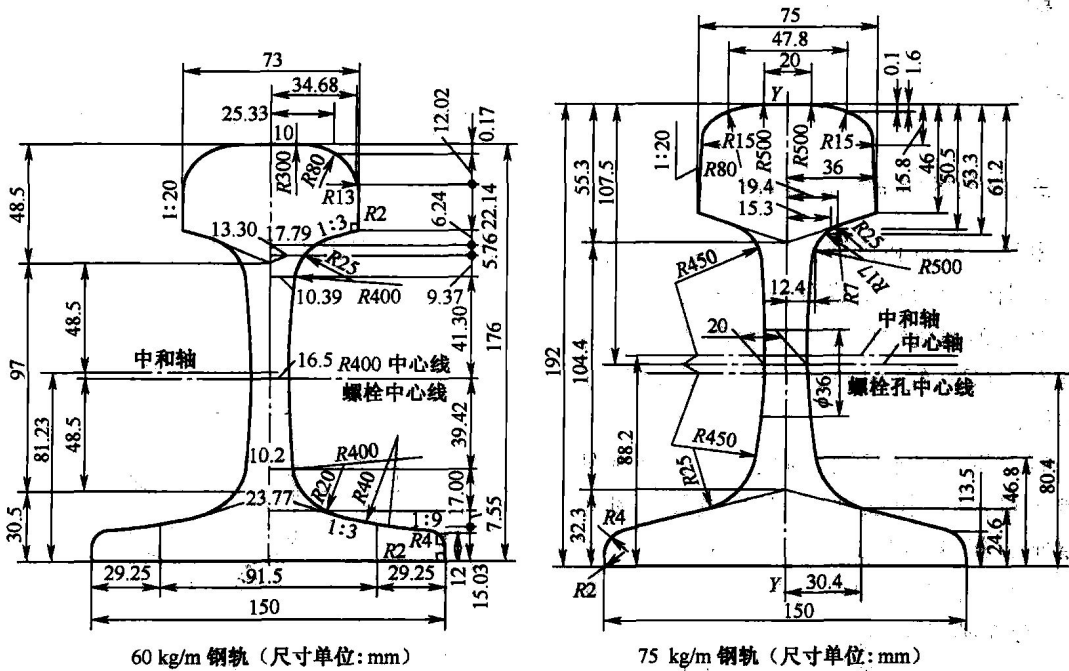


图 1-1 我国钢轨断面尺寸图

随着铁路市场的国际化,UIC60 钢轨在我国也得到部分生产及应用,其断面及性能指标见表 1-1,断面尺寸见图 1-2。

表 1-1 钢轨断面尺寸及特性

项 目	类 型 (kg/m)				
	75	60	50	43	UIC60
每米质量 M (kg)	74.414	60.64	51.514	44.653	60.34
断面积 F (cm ²)	95.04	77.45	65.8	57	76.86
重心距轨底面距离 y_1 (mm)	88	81	71	69	80.95
对水平轴的惯性矩 J_x (cm ⁴)	4 489	3 217	2 037	1 489	3 055

续上表

项 目	类 型(kg/m)				
	75	60	50	43	UIC60
对竖直轴的惯性矩 $J_y(\text{cm}^4)$	665	524	377	260	512.9
下部断面系数 $W_1(\text{cm}^3)$	509	396	287	217	377
上部断面系数 $W_2(\text{cm}^3)$	432	339	251	208	336
轨底横向挠曲断面系数 $W_y(\text{cm}^3)$	89	70	57	46	68.4
轨头所占面积 $A_h(\%)$	37.42	37.47	38.68	42.83	
轨腰所占面积 $A_w(\%)$	26.54	25.29	23.77	21.31	
轨底所占面积 $A_b(\%)$	36.04	37.24	37.55	35.86	
钢轨高度(H)(mm)	192	176	152	140	172
钢轨底宽(B)(mm)	150	150	132	114	150
轨头高度(h)(mm)	55.3	48.5	42	42	51
轨头宽度(b)(mm)	75	73	70	70	74.3
轨腰厚度(t)(mm)	20	16.5	15.5	14.5	16.5

三、钢轨的材质和机械性能

钢轨的材质和机械性能主要取决于钢轨的化学成分、金属组织及热处理工艺。

1. 钢轨钢的化学成分和力学性能

钢轨钢的化学成分主要为铁(Fe),其他还含有碳(C)、锰(Mn)、硅(Si)及磷(P)、硫(S)等元素。

碳对钢轨的性质影响最大。提高钢轨的含碳量,其抗拉强度、耐磨性及硬度都迅速增加。但含碳量过高,会使钢轨的伸长率、断面收缩率和冲击韧性显著下降。因此,一般含碳量不超过 0.82%。

锰可以提高钢轨的强度和韧性,去除有害的氧化铁和硫夹杂物,其含量一般为 0.6%~1.0%。锰含量超过 1.2%者称中锰钢,其抗磨性能较好。

硅易与氧化合,故能去除钢中气泡,增加密度,使钢质密实细致。在碳素钢中,硅含量一般为 0.15%~0.30%。提高钢轨的含硅量,也能提高钢轨的耐磨性能。

磷与硫在钢中均属有害成分。磷过多(超过 0.1%),会使钢轨具有冷脆性,在冬

季严寒地区,易突然断裂。硫不溶于铁,不论含量多少均生成硫化铁,在 985℃时,呈晶态结晶析出。这种晶体性脆易溶,使金属在 800~1 200℃时发脆,在钢轨轧制或热加工过程中容易

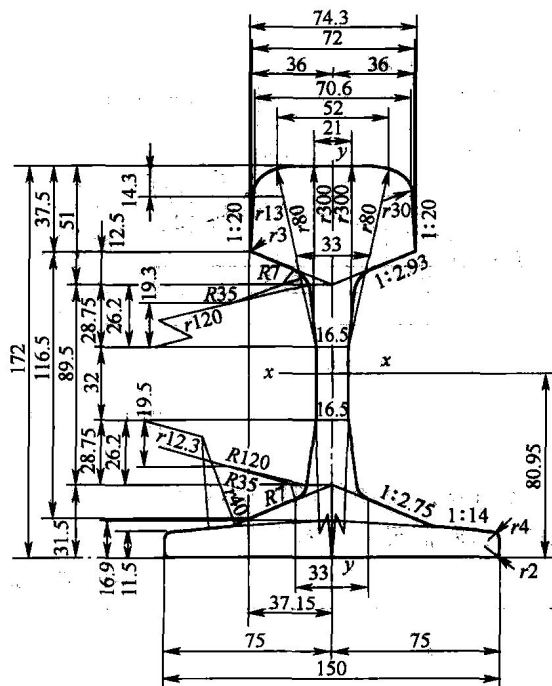


图 1-2 UIC60 钢轨断面图(尺寸单位:mm)

出现大量废品。所以磷、硫的含量必须严格加以控制。

另外,在钢轨的化学成分中适当增加铬(Cr)、镍(Ni)、钼(Mo)、铌(Nb)、钒(V)、钛(Ti)和铜(Cu)等元素,制成合金钢轨,可有效提高钢轨的抗拉和疲劳强度,以及耐磨和耐腐蚀的性能。

我国用于轧制钢轨的主要钢种化学成分及力学性能见表 1-2。

表 1-2 钢轨的化学成分及力学性能

钢号	化学成分(%)						力学性能		使用范围 (钢轨类型) (kg/m)
	w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(Cu)	w(P)	w(S)	抗拉强度 σ_b (MPa)	伸长率 δ_5 (%)	
U ₇₁	0.64~0.77	0.13~0.28	0.60~0.90		≤0.040	≤0.050	785	10	50
U ₇₄	0.67~0.80	0.13~0.28	0.70~1.00		≤0.040	≤0.050	785	9	50,60,75
U ₇₁ Cu	0.65~0.77	0.15~0.30	0.70~1.00	0.10~0.40	≤0.040	≤0.050	785	9	50
U ₇₁ Mn	0.65~0.77	0.15~0.35	1.10~1.50		≤0.040	≤0.040	883	8	50,60,75
U ₇₀ MnSi	0.65~0.75	0.85~1.15	0.85~1.15		≤0.040	≤0.040	883	8	50
U ₇₁ MnSiCu	0.65~0.77	0.70~1.10	0.80~1.20	0.10~0.40	≤0.040	≤0.040	883	8	50
PD ₂	0.74~0.82	0.15~0.35	0.70~1.00		≤0.040	≤0.040	1 175*	8	50,60,75
U ₇₅ V	0.70~0.78	0.50~0.70	0.75~1.05	0.04~0.08**	≤0.030	≤0.020	980	8	50,60,75
U ₇₆ NbRE	0.70~0.82	0.60~0.90	0.90~1.30	0.02~0.05***	≤0.030	≤0.030	980	8	
UIC900A	0.60~0.80	0.30~0.90	0.80~1.30		≤0.040	≤0.040	880	10	

注: * 为 PD₂ 全长淬火钢轨; ** 为 U₇₅V 中微钒的含量; *** 为 U₇₆NbRE 中 Nb 的含量。

钢轨钢的物理力学性能包括强度极限 σ_b 、屈服极限 σ_s 、疲劳极限 σ_r 、伸长率 δ_5 、断面收缩率 ψ 、冲击韧性(落锤试验) α_h 及硬度等。这些指标对钢轨的承载能力、磨损、压溃、断裂和其他损伤有很大的影响。

2. 钢轨强化及材质的纯净化

为适应铁路高速、重载的需要,钢轨要重型化、强韧化及纯净化。

采用重型钢轨可以提高轨道结构的承载能力,延长钢轨疲劳寿命和线路大修周期,具有明显的技术经济效益。但是由于重型钢轨的刚度大,相应弯曲变形较小,列车车轮对钢轨的动力作用大部分作用在轮轨接触区,同时由于重型钢轨扭转中心接近轨底,轨头产生的纵向正应力远远大于轨底的纵向正应力,从而加速了重型钢轨轨头病害的发展。为了增加重型钢轨的抗磨及抗接触疲劳能力,必须对其材质、尤其是钢轨头部进行强化。

重型钢轨的强化有两种技术路线:一是钢轨合金化,它生产工艺简单,投资少,能源消耗少,钢轨整体强化,表层硬度均匀,可焊性好;二是碳素钢热处理(淬火),这种方法也可获得同样的高强度和表面硬度,同时韧性好,节省合金,适于大批量生产。国内冶金学原理及冶金工业生产实践认为:如不改变钢种,单凭碳素钢热处理,很难再大幅度地提高强度,唯有微合金与热处理相结合,二者相辅相成,才可得到既有更高强度,并有相应韧性、硬度和可焊性的优质钢轨。

钢轨热处理对材质纯净度的要求比普通钢轨更高,如果不提高钢轨的纯净度,钢轨重型化及强韧化的优势也不能更好地发挥。因此,材质纯净化是重型化和强韧化的基础。例如,钢轨中非金属夹杂、钢轨金属薄弱区的存在等,都是钢轨产生疲劳伤损的根源,以这些疲劳源为中

心形成核伤,对行车安全构成威胁。

钢轨重型化、强韧化和纯净化应当有机地统一,只有统筹协调三者的关系,才能获得最佳综合技术经济效益。

四、钢轨伤损及合理使用

钢轨在极其复杂的工作条件下,不可避免地会产生各种伤损。其伤损的原因既有钢轨在冶炼过程中出现的缺陷,又有在运输、使用过程中出现的破损。因此,及时发现钢轨伤损,并积极采取措施保证线路行车安全,对铁路工务部门是极为重要的。

(一) 钢轨伤损

钢轨伤损是指钢轨在使用过程中发生钢轨折断、裂纹及其他影响和限制钢轨使用性能的伤损。

为便于统计和分析钢轨伤损,需对钢轨伤损进行分类。根据伤损在钢轨断面上的位置、伤损外貌及伤损原因等分为九类 32 种伤损,采用两位数字编号分类,个位数表示造成伤损的原因,十位数表示伤损的部位和状态。钢轨伤损分类具体内容可见《铁道工务技术手册(轨道)》。

钢轨折断是指有下列情况之一者:钢轨全截面至少断成两部分;裂缝贯通整个钢轨头部截面或底部截面;钢轨顶面上有长大于 50 mm、深大于 10 mm 的掉块。钢轨折断直接威胁行车安全,应及时更换。钢轨裂纹是指除钢轨折断之外,钢轨部分材料发生分离,形成裂纹。

钢轨伤损种类很多,常见的有钢轨磨耗、接触疲劳伤损、剥离及轨头核伤、轨腰螺栓孔裂纹等。下面介绍几种常见的钢轨伤损情况。

1. 钢轨磨耗

钢轨磨耗主要是指钢轨的侧面磨耗和波浪形磨耗。至于垂直磨耗一般情况下是正常的,随着轴重和通过总重的增加而增大。轨道几何形位设置不当,会使垂直磨耗速率加快,这是要防止的,可通过调整轨道几何尺寸解决。

(1) 侧面磨耗

侧面磨耗主要发生在小半径曲线的外股钢轨上,是目前曲线钢轨伤损的主要类型之一。列车在曲线上运行时,轮轨的摩擦与滑动是造成外轨侧磨的根本原因。列车通过小半径曲线时,通常会出现轮轨两点接触的情况,这时发生的侧磨最大。改善列车通过曲线的条件,如采用磨耗型车轮踏面,采用径向转向架等会降低侧磨的速率。

近年来,在我国铁路提速线路中,直线钢轨出现左右股交替侧磨,形成周期性轨道不平顺,称直线钢轨不均匀侧磨。该现象导致提速机车车辆激烈摇晃,类似情况很少见到国外报道。

从工务角度来讲,应改善钢轨材质,采用耐磨钢轨,加强养护维修,设置合理的轨距、外轨超高及轨底坡,增加线路的弹性,在钢轨侧面适当涂油等,都可收到减小钢轨侧面磨耗的效果。

(2) 波形磨耗

波形磨耗是指钢轨顶面上出现的波状不均匀磨耗。按其波长分为短波(或称波纹型磨耗)和长波(或称波浪型磨耗)两种。波纹型磨耗为波长约 50~100 mm,波幅 0.1~0.4 mm 的周期性不平顺;波浪型磨耗为波长 100 mm 以上,3 000 mm 以下,波幅 2 mm 以内的周期性不平顺。

波磨会引起很高的轮轨动力作用,加速机车车辆及轨道部件的损坏,增加养护维修费用;此外列车的剧烈振动,会使旅客不适,严重时还会威胁到行车安全;波磨也是轮轨噪音的来源。列车速度较高的铁路上,主要发生波纹型磨耗,且主要出现在直线和制动地段;在车速较低的

重载运输线上主要发生波浪型磨耗,且一般出现在曲线地段;此外,城市地铁运营过程中,钢轨波磨的出现也较普遍。影响钢轨波磨发生发展的因素很多,涉及到钢轨材质、线路及机车车辆条件等多个方面。世界各国都在致力于钢轨波形磨耗成因理论研究。目前,关于波磨成因的理论有数十种,大致可分为两类:动力类成因理论和非动力类成因理论。总的来说,动力作用是钢轨波磨形成的外因,钢轨材质性能是波磨的内因。解决钢轨波磨问题,目前还没有有效的办法,主要依靠钢轨机械打磨来消除波磨。

(3) 钢轨磨耗的允许限度

钢轨头部允许磨耗限度主要由强度和构造条件确定。即当钢轨磨耗达到允许限度时,一是还能保证钢轨有足够的强度和抗弯刚度;二是应保证在最不利情况下车轮轮缘不碰撞接头夹板。钢轨按头部磨耗程度的不同,分为轻伤和重伤两类,见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 钢轨头部磨耗轻伤标准

钢轨类型 (kg/m)	总磨耗(mm)				垂直磨耗(mm)				侧面磨耗(mm)			
	$v_{max} > 160 \text{ km/h}$ 正线	$160 \text{ km/h} \geq v_{max} > 120 \text{ km/h}$ 正线	$v_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ 正线及到发线	其他站线	$v_{max} > 160 \text{ km/h}$ 正线	$160 \text{ km/h} \geq v_{max} > 120 \text{ km/h}$ 正线	$v_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ 正线及到发线	其他站线	$v_{max} > 160 \text{ km/h}$ 正线	$160 \text{ km/h} \geq v_{max} > 120 \text{ km/h}$ 正线	$v_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ 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	7			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(距标准工作边)测量;

③侧面磨耗在钢轨踏面(按标准断面)下 16 mm 处测量。

表 1-4 钢轨头部磨耗重伤标准

钢轨类型 (kg/m)	垂直磨耗(mm)			侧面磨耗(mm)		
	$v_{max} > 160 \text{ km/h}$ 正线	$160 \text{ km/h} \geq v_{max} > 120 \text{ km/h}$ 正线	$v_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ 正线及到发线及其他站线	$v_{max} > 160 \text{ km/h}$ 正线	$160 \text{ km/h} \geq v_{max} > 120 \text{ km/h}$ 正线	$v_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ 正线及到发线及其他站线
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

2. 钢轨接触疲劳伤损

钢轨接触疲劳伤损的形成主要是由于金属接触疲劳强度不足和车轮的重复作用,导致钢轨顶面金属冷作硬化,最终形成接触疲劳伤损。其形式有接触疲劳裂纹和轨头剥离等。列车



速度及轴重的提高、铁路运量的增加、钢轨材质及轨型的不适应,将加速接触疲劳伤损的萌生和发展。

3. 轨头核伤

轨头核伤是最危险的一种钢轨伤损形式。钢轨在列车作用下会突然断裂,严重影响行车安全。轨头核伤产生的主要原因是轨头内部存在微小裂纹或缺陷(如非金属夹杂物及白点等),在重复动荷载作用下,在钢轨走行面以下的轨头内部出现极为复杂的应力组合,使细小裂纹先是成核,然后向轨头四周发展,直到核伤周围的钢料不足以提供足够的抵抗,钢轨在毫无预兆的情况下猝然折断。所以钢轨内部材质的缺陷是形成核伤的内因,而外部荷载的作用是外因,促使核伤的发展。核伤的发展与运量、轴重及行车速度、线路平面状态有关。为确保行车的安全,要定期进行钢轨探伤检查。

4. 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。螺栓孔裂纹主要来自钻孔时产生的微小裂纹,而养护不当又促进了裂纹的形成和发展。钢轨接头养护维修的状态,对螺孔应力的影响极大,特别是高低错牙、轨端低塌、鞍形磨耗及道床板结影响最大。为防止螺孔周边应力集中,采用把螺孔周边抛光的效果非常显著。

减缓钢轨伤损的措施有:净化轨钢,控制杂物的形态;采用淬火钢轨,发展优质重轨,改进轨钢力学性质;改革旧轨再用制度,合理使用钢轨;钢轨打磨;按轨钢材质分类铺轨等。

(二) 钢轨的合理使用

钢轨是铁路线路的重要技术装备之一,在《铁路工务主要技术装备政策》中,除明确指出钢轨的发展方向是重型化、强韧化和纯净化外,对合理使用钢轨也有明确规定。规定指出应根据钢轨综合经济效益分析,确定钢轨合理的使用周期,实行钢轨分级使用制度,并积极做好旧轨的整修工作。

1. 钢轨的分级使用

钢轨分级使用包含两个方面的含义:钢轨的二次或多次使用和钢轨在一次使用中的合理倒换使用。

钢轨的二次使用是指钢轨在繁忙线路上运营以后经过旧轨整修,再把它铺设到运量小的铁路上再次使用,可以延长钢轨的使用寿命和提高钢轨的使用效率。重型旧轨的多次使用,可使整个非繁忙线路的设备得到显著加强。在货运密度小的线路土采用重型钢轨,即使是旧轨,也将大大提高线路稳定,并能以较少的材料和劳动力来保证轨道的正常养护。旧轨整修通常分为三类:综合整形轨、一般整修轨和焊接再用长轨条。

现代钢轨的高质量、耐久性和可靠性,为钢轨的多次再用提供了可能性。钢轨设备的运营制度应是阶梯式的,钢轨随着其承载能力的减弱而逐步换到运量较小的区段上使用。

钢轨在一次使用中的倒换使用是钢轨合理使用的另一个方面。我国幅员广阔,铁路线路的条件相差很大,即使在同一区段,由于不同的轨道结构,钢轨伤损的速率也是不一样的,钢轨寿命的长短差别很大,在同一区段线路上将曲线轨道上下股钢轨倒换使用或直线与曲线钢轨倒换使用,是延长钢轨使用寿命的另一措施。

2. 钢轨整修技术

钢轨整修分厂内修理和现场修理。厂内钢轨修理的主要作业内容有:机械清洗、除锈、钢轨矫直、钢轨全长探伤、钢轨接触面修整、钢轨焊接、钢轨截锯及钻孔等。现场修理则主要是对



钢轨接头病害的整修,主要有磨修和焊补两种作业方式。磨修即采用砂轮打磨机消除钢轨轨面不均匀磨耗或焊补掉块、剥离等缺陷后的打磨顺平。随着打磨列车的出现,磨修成为整治钢轨接头病害的主要手段,对于大范围的钢轨表面修理则采用打磨列车作业。当轨面不均匀磨耗、掉块、擦伤等病害接近或大于 1 mm 时,应以钢轨的焊补作业为主。

3. 钢轨打磨

钢轨打磨技术最初用于消除钢轨波形磨耗、车轮擦伤及接头处的马鞍形磨耗,随着钢轨打磨技术的应用发展,钢轨打磨列车应运而生,钢轨打磨也从最初的钢轨修理转向钢轨保养,现在已发展成为一种多功能的现代化的养路技术。根据钢轨打磨的目的及磨削量,钢轨打磨可分为预防性打磨、修理性打磨和钢轨断面打磨三类。

(1) 修理性打磨

修理性打磨主要用来消除钢轨的波形磨耗、车轮擦伤及轨面裂纹等,钢轨的一次磨削量大,钢轨打磨周期较长。

(2) 预防性打磨

预防性打磨近来已发展成为控制钢轨接触疲劳的技术。它力图控制钢轨表面接触疲劳的发展,钢轨打磨周期较短,以便在钢轨表面裂纹萌生时就予以消除。与修理性打磨相比,它可在钢轨上道后马上进行,也可在钢轨表面萌生疲劳伤损时立即进行,如果打磨时机选择恰当,可大大减缓钢轨伤损的发展,延长钢轨使用寿命。

(3) 钢轨断面打磨

通过钢轨打磨改变钢轨的轨头形状,以改善轮轨接触状态从而最终达到控制病害发生和发展目的的一种钢轨打磨方式,主要有曲线地段钢轨的不对称打磨。通过断面打磨可以起到控制钢轨侧磨、改善轮轨横向力的作用,但一种特定的打磨断面只适合某一类线路条件,不同的线路条件需要不同的打磨断面,不存在一种适合所有问题的钢轨打磨断面形式。

我国铁路于 1988 年开始引进钢轨打磨列车,最初主要用于波磨轨的修理性打磨,现在提速线路和高速线路上正逐步朝钢轨预防性打磨转变,对钢轨打磨技术的合理应用尚需进行进一步的研究。

第三节 钢轨连接

钢轨连接是将标准长度的钢轨连接起来,使钢轨连接部分具有与钢轨一样的整体性,给列车提供连续的滚动表面,承受列车通过时作用于其上的动荷载,并满足钢轨伸缩的要求。

钢轨连接方式可分为钢轨接头连接、钢轨焊接两种。

一、钢轨接头连接

轨道上钢轨与钢轨之间用夹板和螺栓连接,称为钢轨接头。接头处轮轨动力作用大,相应的养护维修工作量大。因此,钢轨接头是轨道结构的薄弱环节之一。

钢轨接头的连接形式按其相对于轨枕位置,可分为悬空式和承垫式两种。按两股钢轨接头相互位置来分,可分为相对式和相错式两种。我国一般采用相对悬空式,即两股钢轨接头左右对齐,同时位于两接头轨枕间。

钢轨接头按其性能可分为普通接头及异型连接、绝缘接头、导电接头、伸缩接头、冻结接头等特种接头。

(一)普通接头

1. 普通接头联结零件

普通接头联结零件是由夹板、螺栓、弹簧垫圈等组成。

(1)接头夹板

夹板是承受弯矩、传递纵向力、阻止钢轨伸缩的重要部件,要求有一定的垂直和水平刚度及足够的强度。我国主要采用斜坡支承双头对称型夹板,简称双头式夹板。图 1-3 即为我国 60 kg/m 钢轨用夹板图。

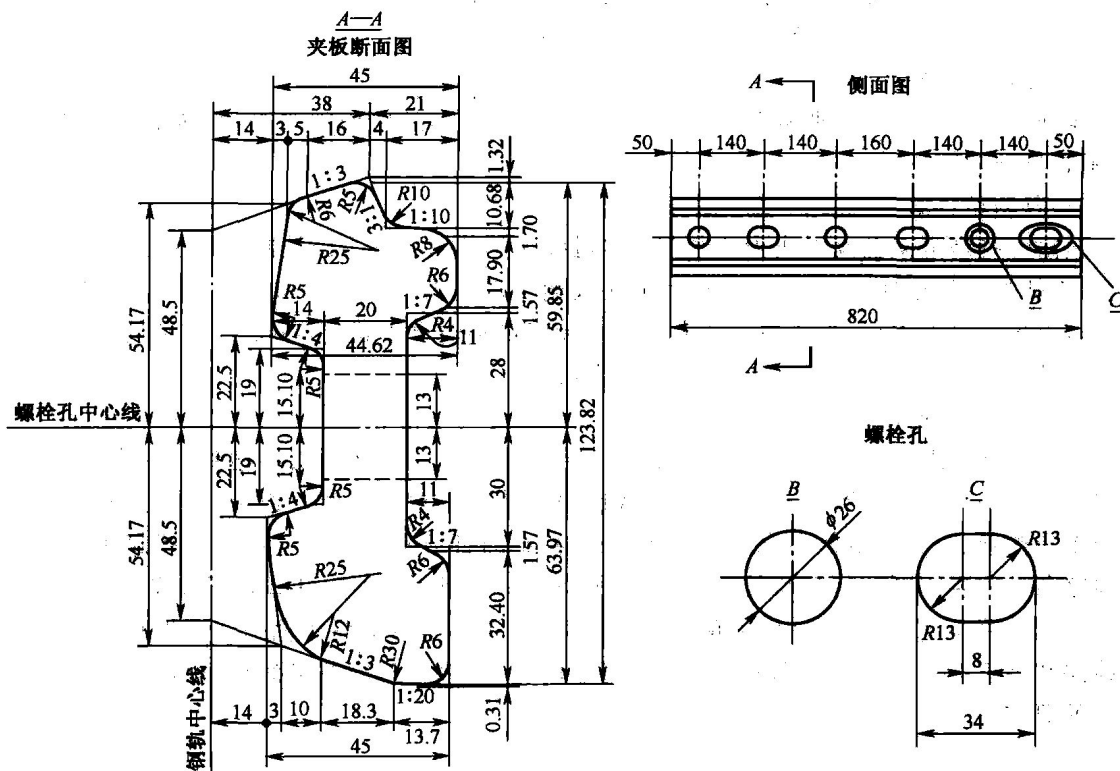


图 1-3 60 kg/m 钢轨用夹板图(专线 3161)(尺寸单位:mm)

双头式夹板的优点是在竖直荷载作用下,具有较大的抵抗挠曲和横向位移的能力。夹板的上下两面均有斜坡,使能楔入轨腰空间,但不贴住轨腰。这样,当夹板稍有磨损,以致联结松弛时,仍可重新旋紧螺栓,保持接头联结的牢固。每块夹板上有螺栓孔 6 个,圆形孔与长圆形孔相间。圆形螺栓孔的直径,较螺栓直径略大,长圆形螺栓孔的长径较螺栓头下突出部分的长径略大。依靠钢轨圆形螺栓孔直径与螺栓直径之差,以及夹板圆形螺栓孔直径与螺栓直径之差,就可以得到所需要的预留轨缝值。

(2)接头螺栓、螺母及弹簧垫圈

接头螺栓、螺母是用来夹紧夹板和钢轨的配件,垫圈是为了防止螺栓松动。螺栓根据其机械性能分级,我国螺栓划分为 8.8 和 10.9 级两个等级,其抗拉强度相应为 830 MPa 和 1 040 MPa。接头螺栓的扭矩应达到表 1-5 的规定,扭矩不得低于(规定值-100)N·m。

(3)预留轨缝

为适应钢轨热胀冷缩的需要,在钢轨接头处要预留轨缝。预留轨缝应满足如下的条件:



①当轨温达到当地最高轨温时,轨缝应大于或等于零,使轨端不受挤压力,以防温度压力太大而胀轨跑道;

②当轨温达到当地最低轨温时,轨缝应小于或等于构造轨缝,使接头螺栓不受剪力,以防止接头螺栓拉弯或拉断。

构造轨缝是指受钢轨、接头夹板及螺栓尺寸限制,在构造上能实现的轨端最大缝隙值。

《铁路线路修理规则》规定普通线路预留轨缝计算公式为

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

式中 a_0 ——换轨或调整轨缝时的预留轨缝(mm);

α ——钢轨钢线膨胀系数, $\alpha = 0.0118 \text{ mm}/^\circ\text{C}$;

L ——钢轨长度(m);

t_z ——当地中间轨温($^\circ\text{C}$),即

$$t_z = \frac{1}{2} (T_{\max} + T_{\min})$$

其中 T_{\max} 、 T_{\min} ——当地历史最高、最低轨温($^\circ\text{C}$),

t_0 ——换轨或调整轨缝时的轨温;

a_g ——构造轨缝,43、50、60、75 kg/m 钢轨均采用 $a_g = 18 \text{ mm}$ 。

对于年轨温差小于 85°C 的地区,为了减小冬天的轨缝,预留轨缝可以按式(1-1)计算得到的结果再减小 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 。

由于构造轨缝以及接头和基础阻力的限制,不是所有地区都能铺设 25 m 长的钢轨。根据轨温——轨缝变化规律,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

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

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

C ——接头阻力和道床阻力限制钢轨伸缩量(表 1-5)(mm)。

由式(1-2)计算可知,对于 12.5 m 长钢轨,铺设地区不受年轨温差的限制;对于 25 m 长钢轨, $[\Delta T] = 101.7^\circ\text{C}$,近似地只能在年轨温差 100°C 以下地区铺设。对于年轨温差大于 100°C 的地区应个别设计。

表 1-5 接头螺栓扭矩表

项目	单位	25 m 长钢轨						12.5 m 长钢轨	
		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	8.8	8.8	8.8	8.8
扭矩	N·m	700	600	600	500	400	400	400	400
C 值	mm	6			4			2	

在允许铺轨的最大年温差范围 $[\Delta T]$ 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,当接近 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 $a_{\min} \geq 0$) 的要求,因此必须限制其铺轨温度。为此,可用式(1-1)中 a_0 作为预留轨缝,并考虑铺轨后检查轨缝计算方便,将铺轨轨温上、下限定为