



*Ganggui Shixiao Fenxi He
Shangsun Tupu*

钢轨失效分析

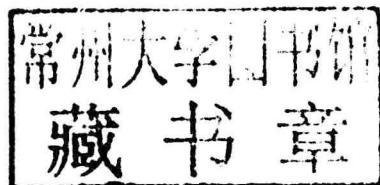
和 伤损图谱

邹定强 杨其全 卢观健 邢丽贤 等 编著
丁 伟 黎连修 高春平 胡 杰

中国铁道出版社

钢轨失效分析和伤损图谱

邹定强 杨其全 卢观健 邢丽贤 等 编著
丁 伟 黎连修 高春平 胡 杰



中国铁道出版社

2010年·北京

内 容 简 介

本书在介绍包括钢轨生产工艺与材质性能、钢轨焊接、钢轨探伤、钢轨失效分析方法和钢轨伤损分类等基本知识的基础上,以图解的方式详细介绍了中国自实施提速战略以来钢轨母材和焊接接头的各种典型伤损。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢轨失效分析和伤损图谱/邹定强等编著. —北京:中国铁道出版社,2010.6
ISBN 978-7-113-11473-2

I. ①钢… II. ①邹… III. ①钢轨-失效分析-图谱 ②钢轨-损伤(力学)-图谱 IV. ①U213.4-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 097046 号

书 名:钢轨失效分析和伤损图谱

作 者:邹定强 杨其全 卢观健 邢丽贤 丁 伟 黎连修 高春平 胡 杰 等

责任编辑:傅希刚 电话:路(021)73142 电子信箱:fxg711@163.com

封面设计:崔 欣

责任校对:孙 玫

责任印制:郭向伟

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:北京盛通印刷股份有限公司

版 次:2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/12 印张:21 字数:426千

书 号:ISBN 978-7-113-11473-2

定 价:150.00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,请与本社发行部联系调换。

联系电话:路(021)73170,市(010)51873170

打击盗版举报电话:路(021)73187,市(010)63549504

序

Preface

钢轨是铁路轨道的重要部件，起着导向并承载车轮作用力的作用。随着我国铁路既有线提速以及重载和高速铁路的发展，钢轨伤损呈现多样性。钢轨伤损的出现，不仅影响行车的平稳性和舒适性，更重要的是还会危及行车安全，尤其是高速铁路的安全。因此，重视铁路钢轨的失效分析，找出失效原因，采取有效的预防措施，不仅是延长钢轨使用寿命、提高舒适度的有效途径，更是确保行车安全的重要手段。

本书作者长期从事钢轨材质与失效分析研究，在二十多年的实际工作中积累了大量的钢轨失效分析案例。他们将这些案例分类总结和归纳，编撰成《钢轨失效分析和伤损图谱》一书。书中收集了典型伤损案例的宏微观照片，并附必要的文字说明和示意图，提出了预防对策及使用建议。书中还对钢轨材质性能、钢轨失效分析、钢轨焊接以及钢轨探伤等钢轨基础知识进行了叙述和概括总结，使本书成为一本综合性的、较为全面的钢轨失效分析专业基础知识参考书。

该书的出版，对于钢轨制造商提高产品质量、钢轨使用和管理部门预防失效的发生，都具有很好的指导作用。

随着我国高速铁路的大面积投入运营，钢轨的伤损原因、伤损类型将更加复杂。望广大有志于钢轨研究的工作者在学习本书的基础上，进一步探索新情况，解决新问题，为管理好中国的高速铁路做出贡献。

陈为元

前言

Foreword

钢轨是铁路线路的重要部件，直接影响着铁路运输的安全。作为铁路行业金属材料的专门研究机构，中国铁道科学研究院金属及化学研究所长期致力于钢轨的材质、使用性能和失效分析的研究工作，为铁路钢轨的生产、使用与科学管理提供了指导与技术支持，为铁路线路的安全运营提供了保障。1992年，金化所曾出版了我国第一本《钢轨伤损图谱》，受到行业同仁的欢迎。二十多年来，随着我国铁路既有线提速以及重载和高速铁路的发展，钢轨生产工艺的不断改进与完善，钢轨使用后的伤损形式有了许多新的变化。为了适应这一变化，结合铁道部科技研究发展计划项目《提速线路钢轨伤损分析与对策的研究》工作，研究人员编撰了《钢轨失效分析和伤损图谱》。

《钢轨失效分析和伤损图谱》共分两大部分。第一部分（第一章）主要是对钢轨基础知识的叙述与概括，包括钢轨生产工艺与材质性能、钢轨焊接、钢轨探伤、钢轨失效分析方法和钢轨伤损分类等，内容浅显易懂，目的是使从事本行业工作的人员能够对钢轨的相关知识有全面的了解。第二部分为本书的主要内容，即图谱部分（第二章至第六章），涵盖了我国铁路大面积提速以来钢轨母材和焊接接头的各种典型伤损类型，内容较为全面。

期望本书能够成为一本实用的钢轨使用与伤损预防手册，为钢轨生产部门的质量控制、钢轨管理部门的管理以及使用提供有益的参考。

本书的出版得到了铁道部运输局、铁道部科学技术司以及各铁路局的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

中国铁道科学研究院金属及化学研究所

目 录

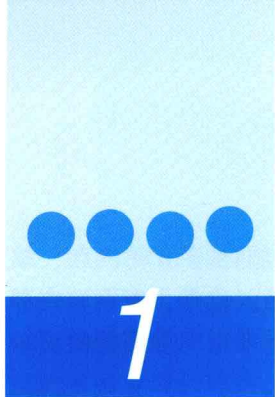
1 钢轨失效分析与材质工艺

1.1 钢轨生产工艺与材质性能	1
1.1.1 钢轨的生产工艺	1
1.1.2 钢轨的材质性能	2
1.2 钢轨焊接及焊补	6
1.2.1 钢轨焊接方法	6
1.2.2 主要焊接缺陷	10
1.3 钢 轨 探 伤	10
1.3.1 母材探伤	10
1.3.2 焊缝探伤	12
1.4 失效分析基本概念与思路	15
1.5 钢轨失效分析实验检测技术	15
1.5.1 钢轨失效(伤损)状态的观测和分析	15
1.5.2 断口分析技术	16
1.5.3 金相检验分析技术	21
1.5.4 低倍检验分析技术	23
1.5.5 化学成分检验分析技术	24
1.5.6 常规力学性能检测技术	25
1.5.7 断裂力学性能检测技术	26

1.5.8 钢轨受力分析	27
1.6 钢轨失效分析方法与步骤	28
1.6.1 现场调查	28
1.6.2 背景资料的搜集	28
1.6.3 分析伤损类型	28
1.6.4 确定伤损原因并提出预防措施及对策	28
1.6.5 写出结论和建议	29
1.7 钢轨伤损类型及伤损程度	29
1.7.1 钢轨伤损类型	29
1.7.2 钢轨的伤损程度	32
.....	
2 钢轨母材伤损类型和伤损图谱	
.....	
2.1 轨头磨耗	35
2.2 轨头压溃和局部压陷	36
2.3 波浪磨耗	37
2.4 弯曲变形	38
2.5 踏面接触疲劳裂纹伤损	38
2.5.1 轨距角处鱼鳞状剥离裂纹、掉块和核伤	39
2.5.2 轨头踏面斜线剥离裂纹、局部凹陷和核伤	42
2.5.3 曲线内股轨头踏面处剥离裂纹和浅层状剥离掉块	46
2.6 内部裂纹	50
2.6.1 轨头纵横裂型核伤	50
2.6.2 起源于轨头内部的横裂型核伤	70
2.6.3 轨腰内部纵向垂直裂纹伤损	75

2.7	钢轨表面的纵向裂纹及其引起的伤损	76
2.7.1	轨头踏面纵向线纹和纵向裂纹	76
2.7.2	轨头下颚纵向裂纹	78
2.7.3	轨腰纵向裂纹	81
2.7.4	轨底纵向裂纹	83
2.8	外 伤	86
2.8.1	车轮擦伤引起的踏面伤损和横向疲劳断裂	86
2.8.2	钢轨表面压痕、碰痕和擦痕及其他偶然原因外伤引起的疲劳裂纹和横向断裂	88
2.8.3	钢轨制造形成的表面缺陷	94
2.9	锈 蚀	96
2.10	脆性断裂	98
2.11	夹板接头区域钢轨轨端伤损	103
2.11.1	轨端踏面低接头、踏面裂纹和碎裂掉块	103
2.11.2	夹板孔裂纹	108
2.11.3	轨端轨头下颚裂纹和轨腰裂纹	115
.....		
3 闪光焊接头伤损类型和伤损图谱		
.....		
3.1	闪光焊接头踏面伤损	125
3.2	闪光焊接头轨头内部缺陷及其引起的横向断裂	126
3.2.1	灰斑夹杂引起的横向断裂	126
3.2.2	疏松缺陷引起的横向断裂	134
3.2.3	轨头内部出现马氏体组织引起横向断裂	137
3.2.4	焊后正火及全长热处理缺陷引起横向断裂	145
3.3	闪光焊接头表面裂纹及其引起的横向断裂	155
3.3.1	未焊合缺陷引起的横向断裂	155

3.3.2 推凸表面热裂纹引起的横向断裂	156
3.3.3 焊瘤边缘或推凸飞边引起的疲劳裂纹和横向断裂	159
3.4 钢轨表面电极灼伤、推凸和打磨外伤等引起的疲劳裂纹和横向断裂	164
3.5 轨腰纵向裂纹和 S 形断裂	169
3.6 断口没有明显疲劳特征的脆性断裂	178
.....	
4 气压焊接头伤损类型和伤损图谱	
.....	
5 铝热焊接头伤损类型和伤损图谱	
.....	
5.1 起源于焊筋边缘溢流飞边的横向疲劳裂纹和横向断裂	191
5.2 热裂纹引起的横向断裂	203
5.3 起源于疏松和夹渣的轨腰纵向裂纹和 S 形断裂	209
5.4 焊缝金相组织异常引起的伤损	218
5.5 焊筋一侧的轨腰裂纹	227
5.6 未 焊 合	229
.....	
6 钢轨焊补及接续线区域伤损	
.....	
6.1 钢轨焊补区域伤损	230
6.2 钢轨接续线区域伤损	236
参考文献	238



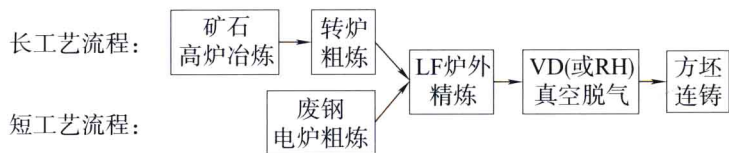
钢轨失效分析与材质工艺

1.1 钢轨生产工艺与材质性能

1.1.1 钢轨的生产工艺

(1) 钢轨钢的冶炼工艺

钢轨钢的冶炼分为以铁矿石为原料的冶炼和以废钢铁材料为原料的冶炼两种工艺流程。前者称为长工艺流程，后者称为短工艺流程。其区别在于前者在粗炼过程中，矿石需经过高炉冶炼后对铁水进行脱硫处理，而后在转炉中完成粗炼。而以废钢为原料的冶炼则通过电炉完成粗炼过程。钢轨钢的冶炼工艺流程如下：



在进入转炉冶炼前需对铁水进行预处理，即对铁水进行脱硫处理。脱硫处理的目的是降低钢中的硫含量。

脱硫处理后的铁水进入转炉进行冶炼。根据钢种成分要求，冶炼出成分合格的钢水。在冶炼中，通过氧化反应将碳降到所炼钢种的规定范围，去除P、S及其他杂质、有害气体（H、O、N）以及非金属夹杂物（氧化物、硫化物、氮化物等）。对钢轨进行脱氧处理。

转炉冶炼后的钢水，进入LF包进行炉外精炼。采用钢包底吹氩气使钢液获得搅拌，加速渣—钢之间的化学反应，去除夹杂，降低氧和硫的含量，实现成分控制。在精炼中采用电弧加热保证钢水温度。

LF包进行炉外精炼后，钢水进入RH真空精炼炉脱气或VD炉进行脱气，以达到去除有害气体氢气的目的。

经真空脱气的钢水，通过方坯连铸机进行浇铸，完成冶炼浇铸过程。

(2) 钢轨轧制工艺

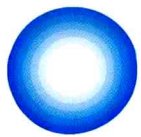
传统的钢轨轧制方法采用的是孔型法。随着钢轨现代生产工艺的发展，钢轨的生产采用了先进的万能轧制法。与孔型法相比，万能轧制法的优点是：钢轨的头部和底部加工后晶粒细化，改善了组织和性能；断面尺寸和精度高，轨头和轨底的表面精度好；轧制时钢轨变形和延伸均匀，内部应力小，冷却后弯曲度小。从生产上讲，降低了生产成本和能耗，孔型易于调整，导位装置易于安装。

钢轨轧制工艺流程如下：

坯料→加热→除鳞→开坯→粗轧→二次除鳞→万能轧制→打印→锯切→预弯→冷却→矫直→检测→探伤→加工→质量检查→入库。

坯料从加热炉出来后利用高压水进行第一次高压水除鳞，冲掉钢坯表面的氧化铁皮。

随后，钢坯进入BD1和BD2轧机进行开坯和粗轧，形成钢轨初步轮廓。在进入串列式可逆轧机（UR/E/UF）之前，



还要再次利用高压水去除钢轨上的二次氧化铁皮,从而保证成品表面质量。

经过二次高压水除鳞后的钢坯进入万能轧机进行粗轧和精轧,形成成品。

轧制好的成品钢轨经过打印、定尺锯切后送入步进式冷床进行预弯和冷却,冷却后进入平立复合矫直机进行矫直。

矫直后进入检测中心,对钢轨的表面质量和内部质量进行涡流和超声波探伤,对钢轨断面尺寸及平直度进行激光检测。

经对钢轨切头、钻孔、倒棱和轨端热处理后,进行成品检查并入库。

(3) 钢轨全长热处理工艺

随着我国铁路事业的发展,列车运量和速度不断提高,钢轨承受的负荷也越来越大,特别是小半径曲线上的钢轨,由于磨耗严重,寿命显著降低。为提高钢轨强度,增加钢轨的耐磨性,发展了钢轨全长热处理工艺,大大延长了小半径曲线钢轨的使用寿命。

钢轨全长热处理工艺经历了由淬火一回火的工艺向欠速淬火工艺转变的发展过程。目前,世界上各国钢轨全长热处理工艺普遍采用将奥氏体状态的钢轨连续冷却,得到细片状珠光体组织的欠速淬火工艺。所得到的细片状珠光体组织比回火索氏体组织具有更高的耐磨性能和抗接触疲劳性能。

目前,国际上主要采用三种钢轨全长热处理模式,即离线钢轨全断面加热淬火、离线轨头淬火和在线余热淬火。

(4) 钢轨制造缺陷

钢轨在制造过程中产生的缺陷主要有型式尺寸及平直度偏差、表面及内部质量缺陷等。

型式尺寸及平直度偏差缺陷表现为因轧制矫直工艺控制不当,造成断面尺寸不满足公差要求,钢轨出现波浪弯曲、端头硬弯及扭曲。

钢轨在轧制和矫直过程中,因轧辊、导位板等设备及工艺原因,使钢轨表面产生裂纹、纵向线纹、磨痕、折叠、导位板刮伤、热刮伤、氧化皮压入、轧痕等表面缺陷。

因冶炼轧制工艺控制不当,使钢轨内部出现白点、缩孔、气泡、夹渣及偏析等低倍组织缺陷。此外,在钢轨内部还会出现粗大夹杂物、脱碳层较深及异常组织等高倍组织缺陷。

1.1.2 钢轨的材质性能

(1) 钢轨的材质

目前我国大量使用的钢轨主要有三个钢种,即抗拉强度等级为880MPa级的U71Mn,980MPa级的U75V和U76NbRE。

为提高钢轨的强韧性、耐磨性和抗疲劳性能,延长钢轨使用寿命,减少或延缓钢轨的伤损发生,目前铁路部门在重载或小曲线半径的线路上,已大量使用全长热处理钢轨。对U71Mn钢轨进行热处理后,其抗拉强度可达到1180MPa以上;对U75V钢轨和U76NbRE微合金钢轨进行热处理后,其最抗拉强度可以达到1230MPa以上。

(2) 钢轨的性能

在动载作用下,钢轨为抵抗弹性挠曲变形应具有足够的刚度,同时还应具有一定的柔性,由于轮轨接触面积很小,钢轨承受的压强较大,为抵抗变形和磨耗,钢轨还应具有足够的硬度,但硬度过高又增加了脆性,使钢轨易于折断。因此,要求钢轨应有良好的强韧性,同时还应具有较高的耐磨性。

钢轨质量好坏直接影响钢轨的使用性能,而钢轨质量受钢轨化学成分、力学性能、显微组织和外形尺寸等多方面因素的影响。

钢轨的化学成分直接影响钢轨的力学性能。钢中除含铁以外,还含有C、Si、Mn、P、S等多种元素,每种元素对钢轨的强韧性、耐磨性等都有影响。

钢轨的疲劳强度、韧塑性、残余应力和纯净度会影响钢轨使用中的抗疲劳和断裂的性能。残余应力高,使钢轨在受到动弯应力时易发生断裂;夹杂物含量高,在使用中容易在夹杂物处形成疲劳裂纹源,造成核伤。

此外,钢轨的外形尺寸也直接影响钢轨在使用中的平顺性和焊接对接性能。

因此,为使钢轨具有良好的耐磨、耐压、抗疲劳和断裂等性能,满足线路的使用要求,保证线路运输安全,应对出厂的钢轨建立严格的验收检验制度。为了满足我国铁路提速重载不断发展的要求,铁道部针对不同线路和使用要求制定了一系列的相关标准,如《43 kg/m~75 kg/m热轧钢轨订货技术条件》(TB/T 2344—2003)、《250 km/h客运专线60 kg/m

钢轨暂行技术条件》和《350 km/h客运专线60 kg/m钢轨暂行技术条件》等,对钢轨各项指标进行了明确的规定。表1.1.2—1为我国《43 kg/m~75 kg/m热轧钢轨订货技术条件》(TB/T 2344—2003)及欧洲标准 prEN13674-1:2003 (E) Railway Applications-Track-Rail Part 1:Vignole Railway Rails钢轨化学成分及机械性能表。

表 1.1.2—1 钢轨化学成分及机械性能

标 准	钢牌号	化学成分(%)								机械性能(不小于)		
		C	Si	Mn	P	S	V	Nb	RE (加入量)	抗拉强度 R_m (MPa)	伸长率 A (%)	HB
TB/T 2344— 2003	U71Mn	0.65 ~ 0.76	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.40	≤0.030	≤0.030	≤0.030	≤0.010	—	880	9	
	U75V	0.71 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	0.70 ~ 1.05	≤0.030	≤0.030	0.040 ~ 0.12	≤0.01	—	980	9	
	U76NbRE	0.72 ~ 0.80	0.60 ~ 0.90	1.00 ~ 1.30	≤0.030	≤0.030	≤0.030	0.020 ~ 0.05	0.020 ~ 0.05	980	9	
prEN13674-1: 2003 (E)	EN260	0.62 ~ 0.80	0.15 ~ 0.58	0.70 ~ 1.20	≤0.025	0.008 ~ 0.025	—	—	—	880	10	260 ~ 300

(3) 客运专线钢轨技术条件与普通线路钢轨技术条件的比较

表1.1.2—2为我国铁路钢轨标准《43 kg/m~75 kg/m热轧钢轨订货技术条件》(以下简称TB 2344)及客运专线钢轨主要技术条件《250 km/h客运专线60 kg/m钢轨暂行技术条件》(以下简称250 km/h)和《350 km/h客运专线60 kg/m钢轨暂行技术条件》(以下简称350 kg/m)的相关技术要求对照表。

从表中可以看出,“250 kg/m”和“350 kg/m”比“TB 2344”增加了踏面硬度和疲劳裂纹扩展速率两项要求。其中规定U71Mn硬度(HBW10/3000)为260~300;U75V和U76NbRE硬度(HBW10/3000)为280~320。

在“TB/T 2344”已有要求的项目中,型式尺寸、外形、长度及允许偏差,表面质量,化学成分,氧含量,拉伸,非金属夹杂物,定尺长度等七项,“250 kg/m”和“350 kg/m”的要求数值与“TB/T 2344”有所不同。

①尺寸允许偏差

表1.1.2—3为“TB 2344”、“250 kg/m”和“350 kg/m”中对于尺寸允许偏差规定的对照表。

从表1.1.2—3中可以看出,“250 kg/m”和“350 kg/m”在某些参数上均比“TB 2344”有更高的精度要求,其中“350 kg/m”的要求更加严格。

②平直度及扭曲

表1.1.2—4为平直度及扭曲要求。

从表中可以看出,“250 kg/m”和“350 kg/m”比“TB 2344”增加了几项要求,表明高速轨对钢轨的平直度有更高、更严格的要求,速度越高,平直度要求也越高,其中“350 kg/m”要求最严。对于高速轨来说,平顺性的要求是非常重要的指标,它直接影响列车通过的平稳性、舒适性以及安全性。

③化学成分

表1.1.2—5为各标准及技术条件化学成分对照表。



表 1.1.2—2 TB/T2344 与客运专线钢轨技术条件要求项目对照

技术要求 项目名称	标准及技术条件		
	TB 2344	250 km/h	350 km/h
型式尺寸、外形、长度及允许偏差	√	√ *	√ *
化学成分	√	√ *	√ *
氢 含 量	√	√	√
氧 含 量	√	√ *	√ *
拉 伸	√	√ *	√ *
轨端热处理	√	—	—
低 倍	√	√	√
显微组织	√	√	√
脱 碳 层	√	√	√
非金属夹杂物	√	√ *	√ *
落 锤	√	√	√
超声波探伤	√	√	√
表面质量	√	√ *	√ *
残余应力	√	√	√
疲劳性能	√	√	√
断裂韧性	√	√	√
硬 度	—	√	√
疲劳裂纹扩展速率	—	√	√
定尺长度	√	√ *	√ *

注：“—”代表没有要求，“√”代表本技术条件中有要求，“√*”代表本技术条件有要求,但与 TB/T2344—2003 有区别。

表 1.1.2—3 尺寸允许偏差要求对比

项 目	允许偏差 (mm)		
	TB/T 2344	250 km/h	350 km/h
钢轨高度	±0.6	√	√
轨头宽度	±0.5	√	√
轨底宽度	+1.0 -1.5	±1.0	±1.0
轨腰厚度	+1.0 -0.5	√	√
轨底边缘厚度	+0.75 -0.5	√	√
接头夹板安装面斜度	+1.0 -0.5	√	±0.35
接头夹板安装面高度	+0.6 -0.5	√	√
轨底凹陷	≤0.4	≤0.3	≤0.3
端面斜度	≤0.8	≤0.6	≤0.6
断面不对称	±1.2	√	√
长 度	±6.0(有孔), ±10.0(无孔)	±30	±30
螺栓孔直径	±0.8	±0.7	±0.7
螺栓孔位置	±0.8	±0.7	±0.7
轨头顶面断面	—	±0.6	+0.6 -0.3

注：“√”表示与 TB/T2344 的要求相同,“—”表示没有要求。

与“TB/T 2344”相比,“250 kg/m”中U71Mn的C、Si、Mn成分范围没有变化,P、S上限有所降低,提高了要求。“250 kg/m”和“350 kg/m”中U75V的C、Si、Mn成分范围均比TB/T 2344缩小,目的是使钢轨具有有良好的强韧性匹配,以满足客运专线钢轨的性能要求。“250 kg/m”和“350 kg/m”中增加了EN260,即目前国内所称的U71MnK。“350 kg/m”中只规定了两个钢轨牌号,即EN260 (U71MnK) 和U75V。

表 1.1.2—4 平直度及扭曲要求

部 位	项 目	允许偏差 (mm)		
		TB/T 2344	250 km/h	350 km/h
轨端 0 ~ 2 m	垂直 (向上)	0 ~ 1 m ; $\leq 0.5/1$ m	0 ~ 1.5 m ; $\leq 0.5/1.5$ m	0 ~ 1 m ; $\leq 0.3/1$ m 0 ~ 2 m ; $\leq 0.4/2$ m
	(向下)	0 ~ 1 m ; $\leq 0.2/1$ m	0 ~ 1.5 m ; $\leq 0.2/1.5$ m	0 ~ 2 m ; $\leq 0.2/2$ m
	水 平	0 ~ 1 m ; $\leq 0.5/1$ m	0 ~ 1.5 m ; $\leq 0.7/1.5$ m	0 ~ 1 m ; $\leq 0.4/1$ m 0 ~ 2 m ; $\leq 0.6/2$ m
距轨端 1 ~ 3 m	垂 直	—	$\leq 0.4/1.5$ m	$\leq 0.3/2$ m
	水 平	—	$\leq 0.6/1.5$ m	$\leq 0.6/2$ m
轨 身	垂 直	除轨端 1 m 以外 ; $\leq 0.5/3$ m 或 $\leq 0.4/1$ m	除轨端 1.5 m 以外 ; $\leq 0.4/3$ m 或 $\leq 0.35/1$ m	除轨端 2 m 以外 ; $\leq 0.3/3$ m 或 $\leq 0.2/1$ m
	水 平	$\leq 0.7/1.5$ m	$\leq 0.6/1.5$ m	$\leq 0.45/1.5$ m
全 长	扭 曲	$\leq$ 全长 1/10 000	全长 ≤ 2.5 mm	全长 ≤ 2.5 mm
		—	轨端 1 m 内 ; ≤ 0.45 mm	轨端 1 m 内 ; ≤ 0.45 mm
	上、下弯曲	—	≤ 5 mm	≤ 10 mm
	侧 弯 曲	—	弯曲半径 $R > 1500$ m	弯曲半径 $R > 1500$ m

表 1.1.2—5 钢轨化学成分 (%) 对照表

标 准	牌 号	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	RE (加入量)
TB/T 2344	U71Mn	0.65 ~ 0.76	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.40	≤ 0.030	≤ 0.030	0.030	≤ 0.010	—
	U75V	0.71 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	0.70 ~ 1.05	≤ 0.030	≤ 0.030	0.04 ~ 0.12	≤ 0.01	—
	U76NbRE	0.72 ~ 0.80	0.60 ~ 0.90	1.00 ~ 1.30	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.030	0.020 ~ 0.05	0.020 ~ 0.05
250 km/h	U71Mn	0.65 ~ 0.76	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.40	≤ 0.025	≤ 0.025	0.030	—	—
	EN260 *	0.65 ~ 0.75	0.10 ~ 0.50	0.80 ~ 1.30	≤ 0.025	≤ 0.025	0.030	—	—
	U75V	0.71 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	0.04 ~ 0.08	—	—
	U76NbRE	0.72 ~ 0.79	0.60 ~ 0.90	1.00 ~ 1.30	≤ 0.025	≤ 0.030	≤ 0.030	—	—
350 km/h	EN260 *	0.65 ~ 0.75	0.10 ~ 0.50	0.80 ~ 1.30	≤ 0.025	≤ 0.025	0.030	—	—
	U75V	0.70 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	0.04 ~ 0.08	—	—

* 注:目前国内称为 U71MnK。



④氧含量

对成品钢轨氧含量要求见表1.1.2—6，客运专线钢轨对氧含量有了更高的要求。

表 1.1.2—6 氧含量要求对比

	TB/T2344	250 km/h	350 km/h
氧含量(%)	30×10^{-4}	20×10^{-4}	20×10^{-4}

⑤非金属夹杂物

“250 kg/m”和“350 kg/m”中对夹杂物的要求更加严格，特别是B、C、D类夹杂物比普通线路的钢轨提高了1级，对钢轨的精炼工艺也有了更高的要求，详见表1.1.2—7。

表 1.1.2—7 非金属夹杂物要求对比

	A类(硫化物)	B类(氧化铝)	C类(硅酸盐)	D类(球状氧化物)
TB/T2344	≤ 2.5	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 2.0
250 km/h	≤ 2.5	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 1.5
350 km/h	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0

⑥表面质量

对于热轧状态下形成的表面缺陷和冷刮伤缺陷深度，“TB/T 2344”、“250 kg/m”和“350 kg/m”均作了详细规定，详见表1.1.2—8。

表 1.1.2—8 表面缺陷深度要求对比

	TB/T2344	350 km/h	250 km/h
热轧状态下刮伤、轧痕、纵向线纹、折叠、氧化皮压入深度(mm)	轨头踏面 ≤ 0.50 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm	轨头踏面 ≤ 0.35 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm	轨头踏面 ≤ 0.35 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm
冷态下形成的纵、横向划痕、碰伤深度(mm)	轨头踏面和轨底下表面 ≤ 0.40 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm	轨头踏面和轨底下表面 ≤ 0.30 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm	轨头踏面和轨底下表面 ≤ 0.30 mm 其他部位 ≤ 0.50 mm

从表1.1.2—8中的对比可以看出，高速轨对于轨头踏面及轨底的表面质量有更严格的要求。除此而外，“250 kg/m”和“350 kg/m”还补充规定了刮伤部位、处数、宽度和深度，以及修磨处数和深度等，同时还规定了应对轨底面进行自动检测，表明对于高速轨来说其表面质量是一个较为重要的指标。只有表面质量达到规定的要求，才能保证高速钢轨使用性能的要求。

⑦定尺长度

表1.1.2—9为“TB/T 2344”、“250 kg/m”和“350 kg/m”中定尺长度的要求。从表中可以看出，对高速钢轨的定尺长度有了更高的要求，其目的是减少接头的数量，提高线路的平顺性。

表 1.1.2—9 定尺长度

	TB/T2344	250 km/h	350 km/h
定尺长度(m)	12.5;25	100	100

1.2 钢轨焊接及焊补

1.2.1 钢轨焊接方法

钢轨焊接方法主要有四种，即闪光焊、气压焊、铝热焊和窄间隙电弧焊。闪光焊应用最为广泛，现已成为世界各国钢轨焊接的主要手段，数量也占据统治地位；铝热焊主要用于钢轨的线上焊接；气压焊在我国和日本有较为广泛的应用；窄间隙电弧焊主要在日本应用。

除了焊接以外，对于钢轨或高锰钢辙叉出现的局部缺陷，一般采用电弧焊的方法进行缺陷修补工作。

(1) 闪光焊

闪光焊又叫接触焊，属于电阻焊的一种。钢轨闪光焊是将待焊的钢轨分别上下夹紧（如图1.2.1—1所示），平顺对直，然后接通电源，并使钢轨两端相互接近直至接触。电流通过待焊钢轨端部产生的热量，不断形成金属过梁，随着过梁爆破产生闪光、飞溅使被焊端面得以清洁，并使之加热至

表面熔化状态。另一方面,在焊接过程中,通过短时间的直接短路,使钢轨端部加热达到一定厚度。当钢轨端部以及近区达到一定的温度分布要求时,立即加压顶锻,在压力作用下相互结晶,使两节钢轨焊接在一起。

钢轨闪光焊的作业效率高,能够高度机械化、自动化,接头质量又较优良和可靠,因此发展很快,并被优先采用。由于依赖电力和大型专用设备,因而闪光焊最适合于在焊接工厂进行。当前,铁路行业也发展了移动闪光焊,以适应现

场焊接作业需求。

(2) 气压焊

气压焊是用气体火焰将待焊金属工件端面整体加热至塑性或熔化状态,通过施加一定顶锻力,使工件焊接在一起。气压焊可分为固态(或称塑性)气压焊(即闭式气压焊)和熔态(或称熔化)气压焊(即开式气压焊)。

钢轨气压焊属于固态气压焊,如图1.2.1—2所示。将被焊工件端面对接在一起,为保证紧密接触,一方面须将表面

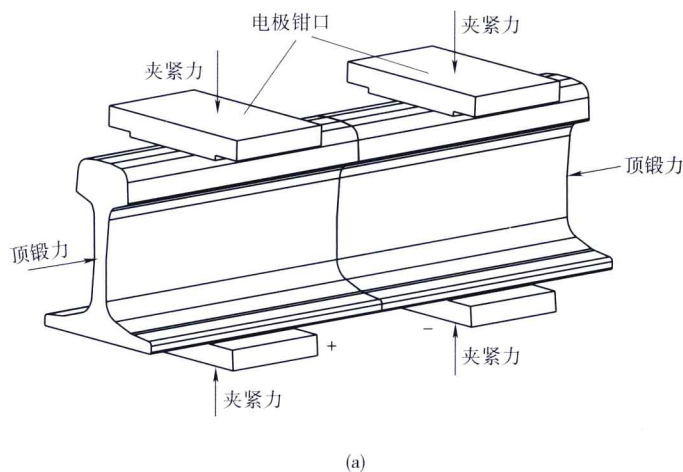


图1.2.1—1 钢轨闪光焊



(b)

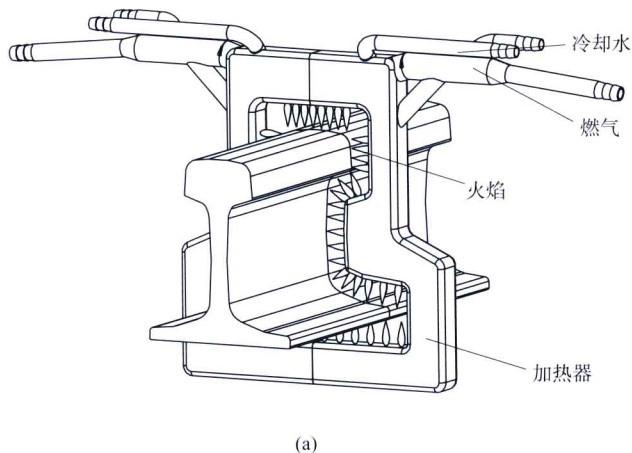


图1.2.1—2 钢轨气压焊



(b)



处理平整、干净,另一方面需施加一定的初始压力,然后使用多点燃烧的加热器对端部及附近金属加热,到达塑性状态后(低碳钢约为 $1200^{\circ}\text{C}\sim 1250^{\circ}\text{C}$)立即加压(顶锻),在高温和顶锻力促进下,被焊界面的金属相互扩散、晶粒融合和生长,达到分子之间的金属键连接,从而完成焊接。

气压焊的作业效率虽较闪光焊低,但具有设备重量轻、不依赖大功率电力、机动性好等优点,因此,气压焊更适用于野外作业。钢轨气压焊的焊接质量与闪光焊比较,稳定性明显偏低,但气压焊的理论质量要高于闪光焊,几乎可以达到钢轨母材的水平。

(3) 铝热焊

铝热焊是热剂焊的一种,也是钢轨焊接最为常用的一种。铝热焊是在待焊件之间留出一定的间隙,周围用模具围上,然后点燃坩埚中的焊剂(主要由铝粉和氧化铁组成),通过氧化还原反应,放热生成液态金属,将液态金属注入焊件之间的间隙,完成金属的焊接(见图1.2.1—3)。

钢轨铝热焊是一项古老的技术,具有使用器具轻、机动性好、操作方便、不依赖电力、焊接时间短等特点。即使在

完全没有电的情况下也可以进行钢轨焊接,这一点与闪光焊和气压焊相比最为突出。因此,铝热焊比较适于荒野施工或用于抢修。另外,铝热焊在焊接过程中没有纵向移动(闪光焊和气压焊都需要顶锻),适合对中要求较高的钢轨焊接以及长轨之间的焊接。但和闪光焊和气压焊相比,铝热焊接头为铸造组织,不仅焊缝金属晶粒粗大,而且偏析程度较高,因此内在质量明显较低。例如,抗拉强度低10%,韧性低50%,无法通过落锤试验,疲劳强度低一个等级等。铝热焊受到焊剂、环境、焊接工艺参数的影响较大,其焊接接头质量稳定性也低于闪光焊和气压焊。

(4) 窄间隙电弧焊

钢轨窄间隙电弧焊接方法如图1.2.1—4所示。将钢轨待焊端部留 $14\sim 18\text{ mm}$ 的间隙,轨底衬上模具,预热后采用手工焊条进行焊接,轨底第一道焊接采用单面焊双面成型,第二层以上采用单道焊接的方式,每道焊接完毕进行除渣。轨底焊完后,用模具围住轨腰和轨头两侧,采用连续焊接的方法焊接轨腰和轨头,焊接过程不进行除渣。焊后对接头进行热处理和打磨。

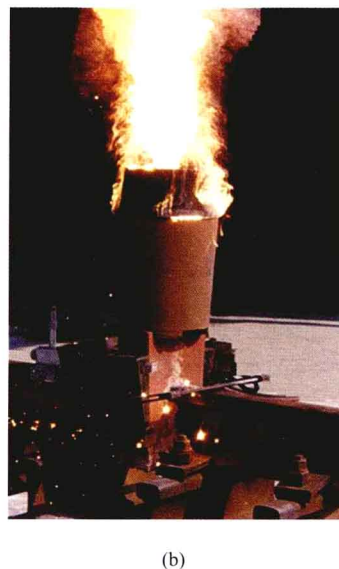
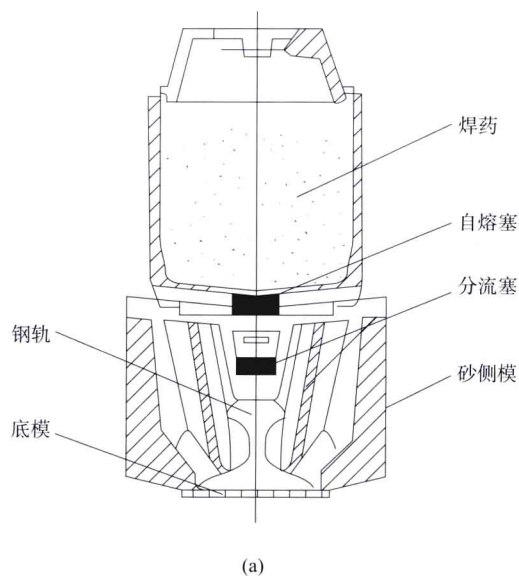


图1.2.1—3 钢轨铝热焊