

主编 ● 中铁第四勘察设计院集团有限公司 许克亮 耿明

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF  
THE LONG RAIL PRODUCTION SYSTEM FOR  
HIGH SPEED RAILWAY

# 高速铁路 长轨生产系统 研发与应用



- 长轨生产工艺
- 同步吊装技术
- 钢轨输送系统

# 高速铁路长轨生产系统 研发与应用

中铁第四勘察设计院集团有限公司

许克亮 耿 明 主编

湖北科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

高速铁路长轨生产系统研发与应用 / 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 许克亮, 耿明主编. — 武汉: 湖北科学技术出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5706-0510-1

I. ①高… II. ①中… ②许… ③耿… III. ①高速铁路—轨道(铁路)—研究 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 231969 号

## 高速铁路长轨生产系统研发与应用

GAOSU TIELU CHANG GUI SHENGCHAN XITONG YANFA YU YINGYONG

策 划: 刘 玲

责任校对: 傅 玲

责任编辑: 兰季平

封面设计: 喻 杨

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13-14 层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 武汉市金港彩印有限公司

邮编: 430023

督 印: 王冬生

787×1092 1/16

18.5 印张 450 千字

2018 年 11 月第 1 版

2018 年 11 月第 1 次印刷

定价: 268.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

# 《高速铁路长轨生产系统研发与应用》

## 编 委 会

主编单位: 中铁第四勘察设计院集团有限公司

顾 问: 朱 丹 乐建迪 邱绍峰 殷 勤 史明红

王华成 王 峻

主 编: 许克亮 耿 明

副 主 编: 张 浩 周明翔 刘大玲 张 琨 莫 骏

刘 辉

参编人员: 罗小华 游鹏辉 张俊岭 张保军 刘 奥

郑 燕 周 芑 黄信基 倪 琍 许 勇

胡 威 彭方进 孙 骥 王小岑 李成洋

汪永元 卫 垚 魏 璇 张银龙 赵铁柱

崔万里 马建文 孙敬伟 梅志山 夏 季

严祥彬 郭文浩 蒋欣中 喻 岚 何 翔

汪宇亮 陈 潇 陈荣顺 孟庆宇 李加祺

李经纬 林 飞 肖 俊 廖永亮 姚应峰

骆礼伦 王 俊 代 刚 舒 冬 胡立翔

肖潜飞 谢 钦 朱泽群

# 前 言

在人类开拓的各类道路中有一种铺上钢轨的路,称之为铁路。就铁路而言,轮轨关系是动与静的奇妙组合,是对速度和平顺的辩证。由于车辆技术和道路条件的制约,列车运行速度和载重会受到限制。因此,提高车辆速度和改善路况,成为人们至今不懈的追求。

早期铁路受生产技术和生产条件限制,钢轨不可能在工厂就轧制得无限长,更直白地说钢轨不可能与线路等长(当然线路的绝缘和道岔也要求有断开)。这样就存在线路轨道的连接问题。由于存在钢轨的热胀冷缩,轨道连接采取“夹板连接”形式。这种有缝连接虽然可以保证车辆连续运营,解决了钢轨热胀冷缩的问题,但却也成为轨道线路伤损的薄弱环节。有缝轨道的不连续和不平顺存在,在车轮冲击下使钢轨变形加剧,从而促进接头病害,使病害进一步发展,又加剧轮轨冲击力,造成更大的车辆和轨道损伤,直接威胁到行车安全,阻碍车辆平稳运行和速度的提高。其后果是铁路的低速运行被公路的高速所赶超。效益变差的铁路有段时期被称为“夕阳产业”。无疑,有缝线路不宜承担高速运营任务,减少钢轨接头,直至实现无缝线路,才可能做到高速运行,从而发挥铁路在能源、环保等方面的优势,焕发新生,夺得先机。

近代铁路在实现了钢轨锁定技术后,轧钢厂生产出更长尺寸的定尺轨,从而减少线路钢轨接头数量已成为可能。尤其是采取焊接方式进行钢轨连接,极大地改善了铁道线路的不平顺和磨耗不均匀现象,提高了线路质量,降低了维修成本,延长了车辆和线路使用寿命。更重要的是可以把列车运行速度提高到 300km/h 以上,实现了高速铁路的新发展。无缝线路是实现铁路高速的必要条件,也是重载铁路的发展方向。

无缝线路离不开长轨生产。长轨生产包括钢厂生产、焊接基地生产和现场焊接。轧钢厂生产指钢厂生产更长定尺的钢轨以减少焊接接头。目前,国内钢厂生产的定尺轨有 25m、50m 和 100m,分别应用在不同的线路上。基地生产是把定尺轨焊接成长轨条,以减少铁路现场的焊接工作量。既争取施工时间又保证焊接质量。例如,我国以前是把 25m 定尺轨焊成 200m 的长轨条,现在采取把 100m 定尺轨焊接为 500m 的长轨条。现场焊接指在轨道施工现

场把长轨条焊接成无缝线路(或者是维修时对伤轨的更换焊接)。由于现场的效率、质量因素,现场焊接应尽量少。

从焊接技术看,实现的铁轨焊接主要有四种方法,分别是电弧焊、气压焊、闪光焊和铝热焊。各有优缺点,综合比较,固定式闪光焊采用工厂生产方式,技术稳定,性能可靠,是我国长轨条生产的主要技术发展方向。

焊轨工作看似简单,实际的质量控制并不容易。由于功能需要,钢轨是异型钢,顶厚底薄。这种截面厚薄不均的母材,对焊接而言极不容易控制温度在各部位的平均升降。而部位温度不均衡会形成焊缝处金相的不同,晶体结构的变化及热处理后残余应力会产生不同的应力变形,进而改变轨型尺寸,造成隐患。由于现场焊接没有基地的专用环境,也没有基地处理的充裕时间,现场焊接不如基地焊接的质量保证。这是强调建设长轨基地的主要原因。其次,焊轨基地占地多、造价高、规模化生产的特点,决定了它能协调多条线路的需求。而临时焊轨基地一般只负责一条新线建设,因此单位长轨生产成本居高不下。这是建设固定长轨生产基地优于临时焊轨基地的重要考虑。但也需要指出,出于基地场地和运输限制等原因,无缝线路生产不可能完全放弃现场焊接的工作。

中铁第四勘察设计院集团有限公司在高速铁路建设中,对长轨生产设计积累了丰富的理论知识与实践经验,不仅成功完成多处长轨生产基地的项目建设,而且在应用中开发多个专用装备、工件,付出了大量的劳动,获得了专业技术的认可和奖励。

本书从钢轨连接技术分析起,详细阐述了高速铁路长轨生产的特点和技术,从焊接前准备,焊机设备和焊后处理等方面重点介绍了固定长轨生产基地各生产工艺、设备、工序、流水节拍、场地布局和解析,并在建设理论上也有探索。书中不乏工程应用举例和专用设备开发思路,图文并茂,给人以“千淘万漉虽辛苦,吹尽狂沙始到金”的感受。

本书编委在成书过程中查阅收集了大量资料,特别是由相关专家、领导提供了大量未公开资料,在此对书中所引文献的作者们表达崇高的敬意!并对为长轨生产做出贡献的工程建设者,为本书付出大量心血的参与者,表示诚挚的感谢!

“地上跑”要赶超“天上飞”,高铁正实现这一点。让我们期待在铁路人的不懈努力下更美好的铁道成就。

编者

2018年6月

## 术 语

**钢轨** rail

直接支承和引导车辆的轨道部件。

**钢轨接头** rail joint

两根钢轨相连接的部分,简称接头。

**长钢轨** long rail

超过标准长度的钢轨(包括厂焊钢轨),也称长轨。

**长轨条** long rail string

用厂焊长钢轨焊接而成,达到无缝线路设计所需长度的钢轨。

**无缝线路** continuous welded rail track

钢轨连续焊接的轨道结构。

**固定式闪光焊接(固定式接触焊)** stationary flash-butt welding

用闪光焊机在基地或车间焊轨作业线的焊接工位焊接钢轨,焊接电源由电力网经配电变压器供电。

**气压焊接** gap pressure welding

用气体火焰加热钢轨,在压力作用下获得牢固接头的焊接方法。

**铝热焊接** thermit welding

以氧化铁为氧化剂,以铝粉为还原剂的一种热剂焊。

**焊接接头** welding joint

用焊接方法连接的钢轨对接接头,也称焊头。焊接接头包括焊缝和热影响区。

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 铁路及钢轨发展	1
1.1.1 铁路发展简史	1
1.1.2 钢轨发展简史	8
1.2 高速铁路钢轨连接技术	11
1.2.1 钢轨接头连接	11
1.2.2 钢轨焊接技术	17
1.2.3 焊接技术发展	20
1.3 长轨生产系统	23
1.3.1 现场焊接	23
1.3.2 临时焊轨基地	34
1.3.3 永久性焊轨基地	37
1.4 生产系统研发管理	38
1.4.1 研究必要性	38
1.4.2 内涵和做法	41
1.4.3 主要技术成果	45
第 2 章 长轨生产技术	47
2.1 生产流程	47
2.1.1 生产工位	47
2.1.2 生产节拍	48
2.1.3 生产能力	49
2.2 生产工位布置	50
2.3 存放标准	52
2.3.1 短轨存放	52
2.3.2 配轨间存放	53
2.3.3 时效场、长轨存放	53
2.4 长钢轨运输	53
2.4.1 长钢轨运输车	53
2.4.2 运输条件	58

2.5	选址关键因素	58
2.5.1	综合指标评价体系	59
2.5.2	可行性评价的基本内容	62
2.5.3	经济评价的基本内容	63
2.6	焊轨基地的规模	64
2.6.1	新建、改建铁路需求量	64
2.6.2	线路维修需求	65
2.6.3	其他维修需求	65
2.6.4	总需求	65
2.7	线路相关标准	66
<b>第3章</b>	<b>基地总图研究</b>	<b>67</b>
3.1	总图模块化	67
3.1.1	概述	67
3.1.2	总图布置主要原则	67
3.1.3	单体模块化	68
3.1.4	功能分区模块化	76
3.2	工艺布置方案	78
3.2.1	一字型布局方案	78
3.2.2	L型布局方案	79
3.2.3	N型布局方案	79
3.2.4	U型布局方案	80
3.3	工艺布置方案比选	80
<b>第4章</b>	<b>生产工艺及设备</b>	<b>82</b>
4.1	准备生产线	83
4.1.1	钢轨入厂验收	83
4.1.2	短轨装卸、存储	83
4.1.3	焊前检查	85
4.1.4	焊前除锈	87
4.1.5	选配轨	95
4.2	热工艺生产线	99
4.2.1	焊接	99
4.2.2	焊后粗加工	116
4.2.3	焊后正火	120

4.3	冷工艺生产线 .....	124
4.3.1	焊后时效处理 .....	124
4.3.2	焊后精加工 .....	125
4.3.3	焊后检测 .....	134
4.3.4	焊后存储 .....	139
4.4	试验 .....	140
4.4.1	生产检验 .....	140
4.4.2	型式检验 .....	141
<b>第5章</b>	<b>专用装备研发 .....</b>	<b>144</b>
5.1	短轨场起重系统 .....	144
5.1.1	研发需求 .....	144
5.1.2	设备方案 .....	144
5.2	辊道输送系统 .....	152
5.2.1	研发需求 .....	152
5.2.2	设备方案 .....	153
5.3	平移上轨系统 .....	161
5.3.1	研发需求 .....	161
5.3.2	设备方案 .....	161
5.4	钢轨群吊系统 .....	164
5.4.1	研发需求 .....	164
5.4.2	设备方案 .....	165
5.5	焊缝全断面铣削系统 .....	177
5.5.1	研发需求 .....	177
5.5.2	设备方案 .....	177
5.6	生产过程控制系统 .....	183
5.6.1	研发需求 .....	183
5.6.2	系统方案 .....	184
<b>第6章</b>	<b>工程应用 .....</b>	<b>195</b>
6.1	武汉局武昌南长轨基地 .....	195
6.1.1	项目概况 .....	195
6.1.2	选址及总体设计 .....	197
6.1.3	生产设施 .....	205

6.2	上海局芜湖北长轨基地	220
6.2.1	项目概况	220
6.2.2	选址及总体设计	222
6.2.3	生产设施	231
6.3	南昌局向塘长轨基地	242
6.3.1	项目概况	242
6.3.2	选址及总体设计	244
6.3.3	生产设施	247
6.4	广州局红海长轨基地	257
6.4.1	项目概况	257
6.4.2	选址及总体设计	257
6.4.3	生产设施	261
6.5	郑州局小李庄长轨基地	262
6.5.1	项目概况	262
6.5.2	选址及总体设计	262
6.5.3	生产设施	267
<b>第7章</b>	<b>发展与展望</b>	<b>271</b>
7.1	中频逆变直流焊接新技术	271
7.1.1	背景	271
7.1.2	中频逆变直流焊原理	272
7.1.3	中频焊接的优势	273
7.1.4	研发方向	273
7.2	钢轨激光强化新技术	274
7.2.1	背景	274
7.2.2	激光强化原理	275
7.2.3	激光强化的优势	276
7.2.4	研发方向	276
7.3	钢轨全寿命周期管理新技术	277
7.3.1	钢轨运营在线监测系统	277
7.3.2	钢轨全寿命周期维护辅助技术	280
	<b>参考文献</b>	<b>283</b>

# 第 1 章 概 述

## 1.1 铁路及钢轨发展

### 1.1.1 铁路发展简史

#### (1)世界铁路发展

铁路是人类近代文明的标志性成果,也是人类现代化的重要助推器之一,是一种载运量大、快速而便捷的交通方式。世界上最早的有轨交通大约产生在 1767 年,实际上是以马匹为动力的马车,其车轮行走在木质轨道上,这种交通形式持续了 100 多年。

1825 年 9 月 27 日,世界第一条铁路在英国启用。这条铁路全长约 27km,由英国达勒姆郡斯托克顿(Stockton)到达林顿(Darlington),由乔治·斯蒂芬森(George Stephenson)指挥修建(图 1-1),因此他也被称为“铁路之父”。



图 1-1 世界第一条铁路斯托克顿—达林顿铁路

1829年,英国斯蒂芬森设计的以蒸汽为动力的机车的问世以及在此前后出现的以轧制方法生产的钢轨,使阻碍铁路发展的两大问题得到解决,为铁路的迅速发展创造了条件。根据记载:英国在1830年公开运营的第一条铁路是利物浦至曼彻斯特铁路,德国是在1835年开始有铁路,日本是在1872年开始有铁路。

至1887年拥有铁路的主要国家共10个,其中,美国铁路总里程为24.12万km,英国铁路总里程为3.15万km,德国铁路总里程为3.98万km,详见图1-2。

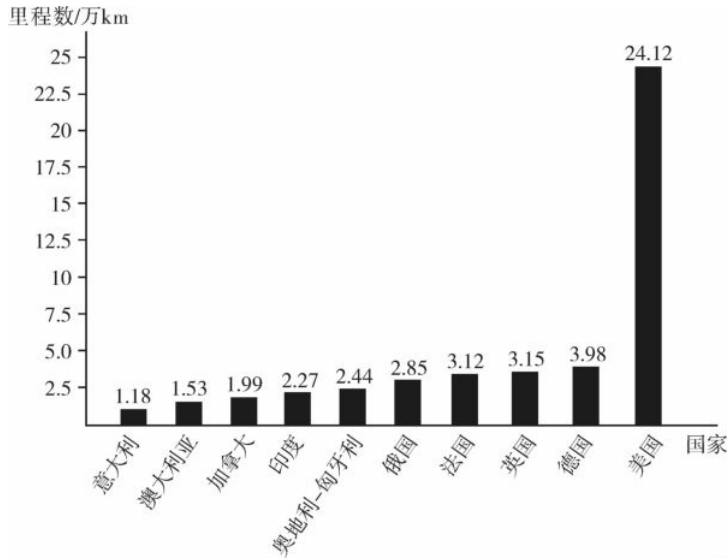


图 1-2 1887 年一些国家拥有铁路情况统计表(单位:万 km)

从1830年至今,现在世界上共有铁路总里程约140万km。长期以来,无论是货运还是客运,铁路运输均占整个运输量的50%以上,尤其是近几十年得到迅速发展的高速铁路和重载列车技术,再次向世人证明,铁路至今仍然是人类高效安全的陆路运输工具。

### (2) 中国铁路发展

150多年前,铁路被清朝统治者视为破坏风水。而如今,铁路作为“国民经济命脉”,变成亮丽的国家名片。从0.5km的“展示铁路”到“八纵八横”的铁路交通网构建完毕,从“龙号”机车到时速350km的“复兴号”高速列车,中国铁路发展史,见证了一个国家的百年巨变。

1) 中国铁路的开端。19世纪,中国继日本及印度之后成为第三个修建铁路的亚洲国家。

我国的第一条铁路建于1864年,是在北京宣武门外建的一条0.5km的铁路,这条铁路是由当时的英国商人杜恩德出资修建的(图1-3)。



图 1-3 北京宣武门铁路

1875年,英国在上海铺设了14.5km长的吴淞铁路,成为中国第一条营运铁路(图1-4)。



图 1-4 吴淞铁路

第一次见到火车的中国人对这一新兴事物充满恐惧。尽管如此,受“师夷长技以治夷”思想影响的“洋务派”清政府官员还是被迫接受了铁路,于1881年建造了第一条由清政府主张兴建的官办铁路——唐胥铁路(图1-5)。



图 1-5 唐胥铁路

而中国第一辆火车是当时唐胥铁路总工程师的夫人仿照英国著名的蒸汽机车“火箭号”造成的,并把它命名为“中国火箭号”。因为中国工人在机车两侧各刻一条龙,于是把它叫作“龙号”机车(图 1-6)。



图 1-6 “龙号”机车

八国联军入侵之后,国内要求保卫路权,自修铁路的呼声越来越大,清政府终于决定自行兴建第一条完全由中国人自行设计施工的铁路——京张铁路。该铁路由铁路工程专家詹天佑主持设计建造(图 1-7)。



图 1-7 京张铁路

1912年,中华民国宣告成立。中华民国临时大总统孙中山提出了宏伟全面的铁路建设计划,规划了连通全国的3条主要干线,总长20万km。在此后的《实业计划》“第四计划”中,孙中山又进一步周密化,规划了5条贯通全国的铁路大干线,细分为中央铁路系统、东南铁路系统、扩张西北铁路系统等。

1937年,我国自行设计、建造的第一座双层铁路、公路两用桥钱塘江大桥落成。该桥由当代桥梁专家茅以升博士设计建造。然而竣工不到2个月,杭州城被日军攻陷。为了切断交通枢纽,茅以升不得不亲手炸毁这座耗时3年完工的大桥(图1-8)。



图 1-8 钱塘江大桥

因为民国时期频繁的战乱和外部势力影响,中国铁路在这一时期一直发展缓慢。从1864年到1949年的85年间,旧中国仅仅修了2.1万 km 铁路。

2) 新中国铁路的发展。1950年,新中国政府决定填补西部地区的铁路空白,开始建设成都到重庆的成渝铁路,1950年6月开工建设,1952年6月通车,成为新中国成立后修建的第一条铁路(图1-9)。



图 1-9 成渝铁路

宝成铁路是全国第一条电气化铁路。于1952年7月1日在成都动工,1958年建成通车,1975年7月完成铁路电气化工程改造(图1-10)。



图 1-10 宝成铁路

大秦铁路是中国新建的第一条双线电气化重载运煤专线,1992 年底全线通车,2002 年运量达到 1 亿 t 设计能力。为最大限度发挥大秦铁路作用,有效缓解煤炭运输紧张状况,自 2004 年起,原铁道部对大秦铁路实施持续扩能技术改造,大量开行 1 万 t 和 2 万 t 重载组合列车,全线运量逐年大幅度提高,2008 年运量突破 3.4 亿 t,成为世界上年运量最大的铁路线。2010 年 12 月 26 日,大秦铁路提前完成年运量 4 亿 t 的目标,为原设计能力的 4 倍(图 1-11)。



图 1-11 大秦铁路万吨重载列车

京津城际铁路是一条连接北京和天津两大直辖市的城际铁路,设计时速为 350km,是满足中国高速铁路定义的中国大陆第一条城际高速铁路,也是《中长期铁路网规划》中的第一个开通运营的城际客运系统。2008 年 8 月 1 日开通运营(图 1-12)。