



中建铁路建设有限公司
CHINA STATE CONSTRUCTION RAILWAY CO., LTD

高速铁路 板式无砟轨道施工技术



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

高速铁路板式无砟轨道施工技术

中建铁路建设有限公司 编著

中国铁道出版社

2012年·北京

内 容 简 介

本书所涉及的板式无砟轨道种类齐全,涵盖了目前国内已在高速铁路(客运专线)投入使用的CRTSI型、CRTSII型、CRTSIII型所有三种板式无砟轨道。涉及了无砟轨道预制板场的建场方案、模具选型、钢筋加工、轨道板混凝土施工、预应力张拉、轨道板运输,铺设现场的基础工程沉降观测评估、CPⅢ网测设、底座混凝土施工、轨道板铺设和精调、CA砂浆灌注、轨道精调等板式无砟轨道预制和铺设的各个工序与环节,具有较强的实用性和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路板式无砟轨道施工技术/中建铁路建设有限公司编著. —北京:中国铁道出版社,2012. 1
ISBN 978-7-113-14060-1

I. ①高… II. ①中… III. ①高速铁路-板式轨道:
无砟轨道-工程施工 IV. ①U238

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 276226 号

书 名:高速铁路板式无砟轨道施工技术
作 者:中建铁路建设有限公司 编著

责任编辑:张苍松 编辑部电话:010-51873651 电子信箱:WL@tdpress.com
编辑助理:张少涵
封面设计:崔丽芳 张 兵
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,北京市西城区右安门西街8号)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
版 次:2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷
开 本:880mm×1230mm 1/16 印张:19.5 字数:633千
印 数:1~2000册
书 号:ISBN 978-7-113-14060-1
定 价:80.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

编辑委员会

主任委员：况 勇 王金宽

副主任委员：王永义

委 员：刘歆泽 周晋筑 张书国 郝传志
刘小明 毛文杰 刘衍文 徐细军
代忠华 董惠定

主 编：王永义

副 主 编：张书国 董惠定

编 辑：游金亮

序

高速铁路列车运行的安全性和舒适性,对轨道的平顺性、稳定性提出了极高的要求,带来了我国线路设施方面技术路线的深刻变革。伴随着我国高速铁路的建设与持续发展,具有稳定性高、刚度均匀性好、结构耐久性强、维修工作量显著减少和技术相对成熟等一系列突出优点的无砟轨道,得到了大量推广和运用。无砟轨道在铁道线路上的使用,能从根本上改善列车运行的基础条件,提高旅客列车运行平稳性、安全性、舒适性,并且大幅缩短维修时间,降低维护成本。

我国对无砟轨道的研究始于20世纪60年代,先后经历了普速铁路无砟轨道结构的早期研发与应用、高速铁路无砟轨道结构的前期室内试验研究与小规模试铺、遂渝线无砟轨道试验段的自主研发与成区段铺设等发展阶段。在40多年的研究与实践中,我国在无砟轨道的结构设计、施工方法、轨道基础的技术要求等方面积累了一定经验,为进一步发展无砟轨道技术打下了良好基础。

但是,我国无砟轨道大规模铺设的时间短,设计、施工与运营经验不足,与先进国家相比尚有差距。2005年,铁道部引进了国外无砟轨道先进技术,结合京津城际轨道交通工程、武广和郑西客运专线工程建设,分别引进了纵连板式、双块式和单元板式无砟轨道技术。

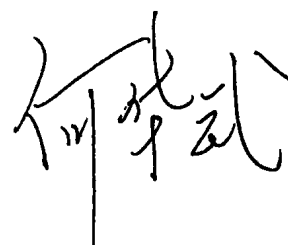
然而,由于国情、路情的不同,无砟轨道引进技术在我国高速铁路工程建设应用过程中,存在着无砟轨道与不同线下工程条件和环境条件的适应性,无砟轨道与我国高速铁路ZPW2000无绝缘轨道电路的适应性,无砟轨道工程材料的技术标准与我国国标、高速铁路相关标准的差异性,无砟轨道施工方法、施工装备、物流组织与我国高速铁路具体条件的适应性等诸多适应性、可靠性、安全性问题。为此,我国铁路在前期研究成果和消化吸收无砟轨道引进技术的基础上,针对我国国情和高速铁路具体技术条件,自2006年底开始,铁道部组织开展了无砟轨道成套技术深化研究及再创新。

经过近年来国内高速铁路工程建设的研究与实践,我国铁路已在无砟轨道的设计理论和设计方法、结构选型和结构设计、工程材料、站场接口、施工装备及工艺、耐久性与经济性分析、质量管理信息系统、养护维修技术等方面,取得一系列的研究创新成果,特别是开发应用了具有中国自主知识产权的CRTSⅢ型板式无砟轨道结构,适应我国高速铁路建设与持续发展的需要。

中建铁路建设有限公司作为我国铁路建设的一支新生力量,自成立以来,立足铁路专业化发展方向,紧紧抓住铁路建设大发展的有利时机,相继承担哈尔滨—大连、石家庄—武汉、沈阳—丹东和成都—重庆等一批高速铁路项目的施工,取得许多优异成果。这本文集记录了该公司广大工程技术人员在无砟轨道施工领域不断探索、不断前进的足迹,也记录了他们在攻克无砟轨道的技术难题中勤于实践、勇于创新所取得的成果。文集论文题材广泛,富有新意,涵盖了目前国内已在高速铁路投入使用的 CRTS I 型、CRTS II 型、CRTS III 型板式无砟轨道,从轨道板预制到现场铺设的各个工序和环节,具有较强的实用性和可操作性。

相信随着无砟轨道在我国铁路建设中的进一步优化和应用,包括施工技术在内的各项技术一定会有更大的突破和更多的创新。

铁道部总工程师 中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '何平武'.

2011年9月

前 言

伴随着我国高速铁路(客运专线)建设的快速发展,无砟轨道技术的应用也越来越多。近年来,中建铁路建设有限公司相继承担了哈尔滨—大连客运专线铁路 CRTS I 型板式无砟轨道的预制和铺设、石家庄—武汉客运专线铁路 CRTS II 型板式无砟轨道的铺设、湖北城际铁路 CRTS III 型板式无砟轨道的预制等工程项目的施工,取得一系列成果。无砟轨道施工技术正逐步发展成为我公司的优势技术和技术品牌之一。

为及时总结交流所取得的无砟轨道施工技术成果,充分展示公司在无砟轨道工程领域所具备的施工实力和技术水平,并为即将施工的无砟轨道工程提供技术指导和参考,公司将第二届工程技术交流会定位为无砟轨道技术专题,就此进行了广泛的论文征集,从应征论文中遴选出 52 篇汇编成论文集。

本集论文涉及的板式无砟轨道种类齐全,涵盖了目前国内已在高速铁路(客运专线)投入使用的 CRTS I 型、CRTS II 型、CRTS III 型所有三种板式无砟轨道。论文的内容涉及无砟轨道预制板场的建场方案、模具选型、钢筋加工、轨道板混凝土施工、预应力张拉、轨道板运输,铺设现场的基础工程沉降观测评估、CP III 网测设、底座混凝土施工、轨道板铺设和精调、CA 砂浆灌注、轨道精调等板式无砟轨道预制和铺设的各个工序与环节,具有较强的实用性和参考价值。

技术发展没有止境,无砟轨道技术也是如此。本论文集只是对公司目前无砟轨道施工技术的一个小结,随着无砟轨道应用规模的不断扩大和应用领域的进一步拓展,其施工技术一定会有更大的突破和更多的创新。

本论文集的编辑工作得到了公司领导及技术中心、工程管理部、物资设备部、试验检测中心、企业文化部和武黄项目部、哈大项目部、石武项目部等的大力支持,在此深表谢意!

由于时间和水平所限,论文编辑印刷过程中难免存在疏漏不足之处,敬请读者批评指正。

2011 年 9 月

目 录

· CRTS I 型板式无砟轨道 ·

1. CRTS I 型轨道板生产厂房与生产线设计	杨 永	1
2. CRTS I 型轨道板场资源配置方案	陈永长 王金柱 朱明明	4
3. CRTS I 型轨道板模板制作、安装及使用	刘衍文 陈永长	12
4. 浅谈 CRTS I 型轨道板混凝土配合比设计及优化	申云龙	18
5. CRTS I 型轨道板原材料质量控制及影响	董继宽	27
6. CRTS I 型轨道板预制工序优化及关键工序控制	杨 永 黄 河	35
7. CRTS I 型轨道板自动张拉施工控制	孙东宇	39
8. CRTS I 型轨道板裂纹原因分析及控制措施研究	张海峰	43
9. CRTS I 型轨道板绝缘控制与检测	衣绍彦	48
10. 浅谈无砟轨道基础工程的沉降观测与评估	孙学来	53
11. 严寒地区 CPⅢ 网的测量控制	孙学来	66
12. 无砟轨道 CPⅢ 控制网的测量方法和测量要点	张 飞	74
13. CRTS I 型板式无砟轨道铺设施工进度及资源配置分析	刘衍文	82
14. CRTS I 型板式无砟轨道底座及凸台施工测量	任宏伟	86
15. 路基上 CRTS I 型板式无砟轨道混凝土底座及凸台施工工艺	孙海涛	91
16. 桥梁上轨道板底座的施工质量控制	曹鸿宇	96
17. CRTS I 型板式无砟轨道铺板施工工艺试验研究	李旭东	100
18. CA 砂浆搅拌运输施工技术	乔鹏峰	108
19. CRTS I 型板式无砟轨道 CA 砂浆现场拌制质量控制要点	李宽唐	111
20. CRTS I 型板式无砟轨道砂浆充填层质量控制要求	章 谦	115
21. CRTS I 型板式无砟轨道凸台树脂灌注袋法施工及质量控制	牛 欢	119
22. CRTS I 型轨道板铺设施工设备工装配置及创新	张 旭	123
23. CRTS I 型板式无砟轨道安全生产管理	黄河清	128
24. CRTS I 型轨道板铺设现场组织管理	王 浩	133
25. CRTS I 型板式无砟轨道铺板施工物流组织	钟 舟	139
26. CRTS I 型轨道板铺板施工现场物资管理	潘传所	144
27. CRTS I 型轨道板翘曲变形研究	傅成志 刘衍文	147
28. CRTS I 型板式无砟轨道精调方案	张 杰	153
29. CRTS I 型板式无砟轨道钢轨精调技术	张 飞 张 旭	161

· CRTS II 型板式无砟轨道 ·

1. 高速铁路桥梁工程沉降观测研究分析	陈 硕	168
2. CRTS II 型板式无砟轨道 CPⅢ 网控制及应用	陈 硕	176
3. 桥梁上 CRTS II 型板式无砟轨道特点及设计理念的探索	张晓东	184
4. 许漯特大桥 CRTS II 型板式无砟轨道相关技术研究	尹冰峰	189
5. 特长桥梁 CRTS II 型板式无砟轨道施工关键技术	周晋筑 潘向锋 尹冰峰	192

6. 混凝土桥面喷涂聚脲防水层施工技术与控制要点研究	尹冰峰	200
7. CRTSⅡ型板式无砟轨道精调测量技术应用	潘向峰	206
8. CRTSⅡ型板式无砟轨道 CA 砂浆灌注工艺和质量控制	韦陆军	210
9. CRTSⅡ型轨道板纵连及剪切连接施工	尹冰峰 刘子涛	215
10. 浅析特大桥上 CRTSⅡ型板式无砟轨道施工组织 and 进度管理	刘子涛	223

· CRTSⅢ型板式无砟轨道 ·

1. CRTSⅢ型无砟轨道板场建场方案研究	徐细军 于海涛 卞京	227
2. CRTSⅢ型板式无砟轨道选用 WJ-8 型扣件的曲线段轨道板承轨台 调整研究	徐细军 于海涛 卞京	234
3. CRTSⅢ型轨道板模板技术要点浅析	刘歆泽	243
4. CRTSⅢ型轨道板模具及成品板检测工装技术研究	徐细军 卞京 姜志恒	249
5. CRTSⅢ型轨道板预制工艺	于海涛 徐细军 卞京	255
6. 炎热地区 CRTSⅢ型轨道板夏季施工技术研究	徐细军 卞京 周彤	264
7. CRTSⅢ型轨道板钢筋骨架绝缘技术研究	柳巨旺 李刚	268
8. 浅谈炎热地区 CRTSⅢ型轨道板高性能混凝土配合比设计	韩立东	272
9. 增强型复合掺合料与矿粉在 C60 高性能混凝土中的应用	李宏丽 闫贻锐	276
10. CRTSⅢ型轨道板预制及质量通病的预防	卞京 徐细军 韩振国	281
11. CRTSⅢ型轨道板生产组织管理	于海涛 卞京	289

CRTS I 型轨道板生产厂房与生产线设计

杨 永

摘 要: CRTS I 型轨道板场生产厂房根据工期安排、技术要求以及流水线作业方式进行布设。采用 3 跨式结构,其中两跨为轨道板预制生产线,一跨为钢筋加工生产线。实现工厂化、自动化、机械化、标准化生产,保证轨道板流水线作业达到机械化程度较高,质量控制措施到位。

关键词: 厂房;生产线;设计

1 生产厂房和生产线设计概况

板场主要功能区包括预制生产区、轨道板存放区、砂石料存放区、办公生活区等四部分,根据现场地形,因地制宜,力求紧凑,满足生产工艺和施工工期要求,做到工序衔接合理,物流顺畅,生产规模适度预留余量。

板场采用生产厂房作业形式,按照生产工艺、运输、存放条件要求可以划分为厂房内、外两大部分。钢筋原材存放区、钢筋加工区、混凝土浇筑区、翻板检查区、张拉封锚区、水养区布置在厂房内。材料存放区、混凝土制备区、轨道板存放区和辅助生产区在厂房外。厂房内外各功能区之间配置运输车辆、桁吊、钢轨轨道和辊轮运输线等物流设施,减少交叉影响,保证生产物流通畅。

厂房按照生产线分为轨道板预制生产线和钢筋加工生产线。轨道板预制生产线主要包括混凝土浇筑区、翻板检查区、张拉封锚区、水养区以及运输通道等。钢筋加工生产线主要包括钢筋存放区、钢筋加工区、钢筋半成品存放区、钢筋绑扎区、钢筋成品存放区以及运输通道等。

生产厂房和生产线的的设计使轨道板达到机械化流水线作业。

2 厂房和生产线设计

2.1 设计原则

- (1)轨道板场总体规划;
- (2)《CRTS I 型轨道板质量控制手册》;
- (3)《CRTS I 型轨道板验收细则》;
- (4)《CRTS I 型轨道板生产暂行技术条件》。

2.2 设计依据

- (1)CRTS I 型轨道板生产工艺流程;
- (2)生产台座、模型数量及主要机械设备配置。

2.3 设计顺序

- (1)板场全面规划形式;
- (2)主要设计参数确定;
- (3)生产线布置设置。

2.4 设计方法

- (1)板场全面规划形式

板场的设计规划受征地情况的影响。以荒地、坡地、闲置场地和现有道路为首选,尽量不占用或少占用

耕地。既要满足施工生产需要,又要充分考虑当地的实际。要进行现场察看、比选,兼顾短期和长期制板任务的规划。板场中心里程受供板距离控制。

板场划分为生产厂房作业区、混凝土搅拌区、存板区以及生活区,其中混凝土搅拌区包括砂石料存放区、混凝土搅拌站、蒸汽锅炉房、原材料存放区等,如图 1 所示。

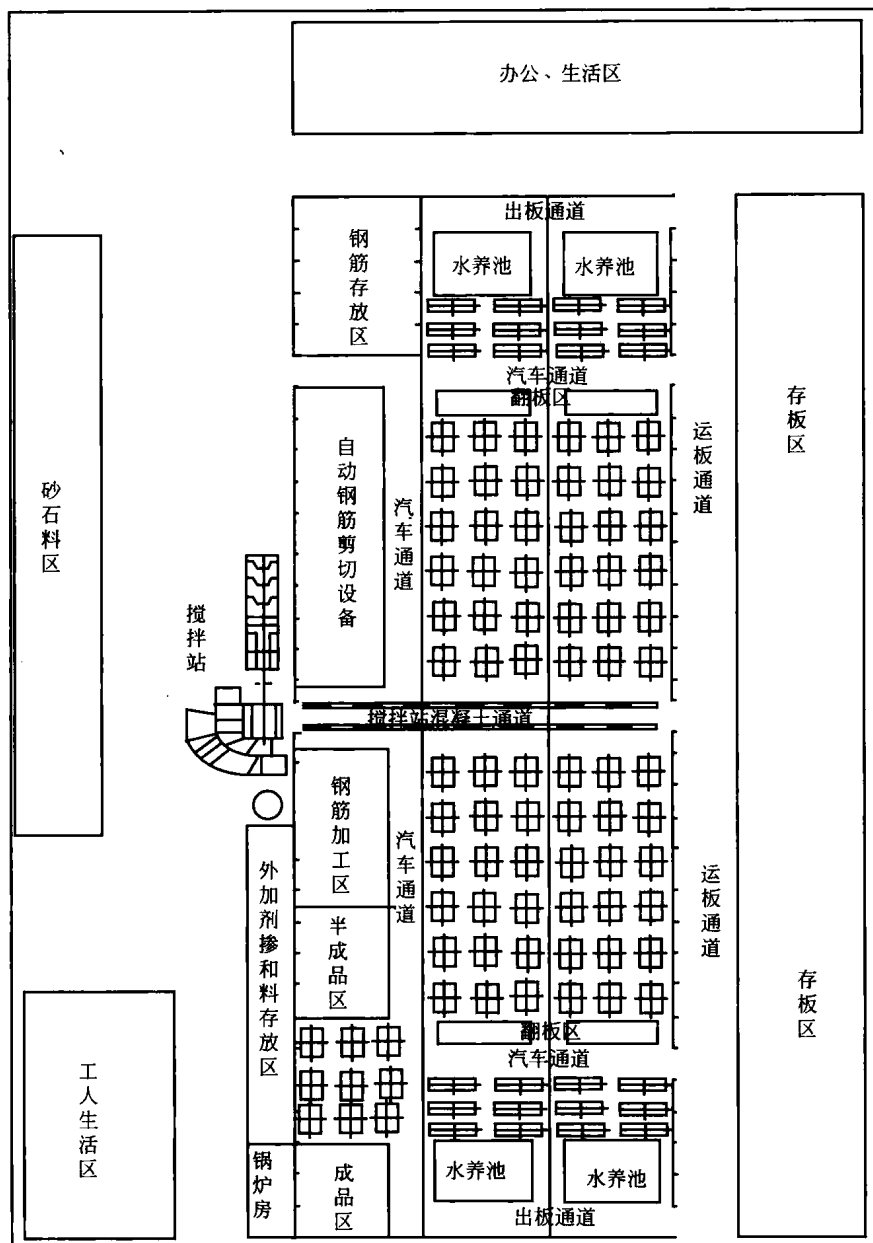


图 1 CRTSI 型轨道板场平面布置示意图

(2)主要设计参数确定

主要设计参数是厂房设计的先决条件。

- a. 轨道板数量的确定。轨道板数量的确定是所有技术条件确定的前提条件。
- b. 工期要求。首先通过业主工期要求以及统一施工组织设计来安排确认板场总体工期,也是厂房布局的前提。
- c. 制板台座数量。通过轨道板数量以及工期要求,计算出所需模具数量来确定所需台座数量。
- d. 张拉台座数目。根据有关规范要求,模具数量以及模具利用率来计算张拉台座数量。
- e. 水养池大小确认。根据轨道板类型,每天轨道板生产数量,轨道板的尺寸确认水养池长度和宽度。
- f. 运输通道。厂房内运输通道是轨道板生产流水线作业的保证,是使轨道板作业生产效率达到最大化的保证。

(3) 生产厂房面积设计

根据制板台座数量,张拉台座数量、水养池大小、运输通道可以确定生产厂房面积。

(4) 生产厂房方位设计

厂房作业区、混凝土搅拌区、存板区是一个流水线作业的整体。混凝土搅拌站混凝土快速运至生产厂房,预制完成的轨道板快速运输至存板区。在板场设计中厂房作业区是板场的核心。

(5) 生产线布设

生产线的布置必须根据生产流水线的要求进行布设,保证生产的流水线作业机械化程度达到最高,有效的提高轨道板预制的生产工效。

生产车间厂房为三跨结构,每跨均为 15 m,其中两跨为轨道板预制生产线,一跨为原材料存放以及钢筋加工生产线,预制生产线每跨配置 10 t 桁吊 4 台,原材料存放及钢筋加工生产线跨配置 10 t 桁吊 3 台。厂房钢柱纵向间距 6 m,端头两侧钢柱间距 5 m。顶板、侧板采用 8 cm 厚彩钢板。厂房中间高 9 m。预制生产线跨旁边分别设置宽 40 cm,深 50 cm 水沟,以便车间排水,排水沟顶上盖 5 cm 厚预制水泥盖板,横向两侧均设排水坡。

a. 原材料存放及钢筋加工生产线含钢筋原材和 PC 钢棒存放区、自动钢筋剪切弯制设备区、钢筋加工区、半成品存放区、钢筋骨架绑扎区、成品存放区。钢筋原材、PC 钢棒等原材料利用车间桁吊卸车。为提高钢筋剪切和弯制生产效率及制作精度,以 XQ120 型自动钢筋剪切线和 TJK-Q2W32 型自动钢筋弯曲设备为主,小型钢筋切断机、弯曲机配合。XQ120 型自动钢筋剪切线剪切钢筋直径范围 10~38 mm,TJK-Q2W32 型自动钢筋弯曲设备弯曲钢筋直径范围 10~32 mm,满足轨道板钢筋制作需要。钢筋骨架绑扎在定型胎具上一次绑扎成型,按制板模具数量的 1/8 配备钢筋骨架绑扎胎具,能满足每天轨道板生产需求。

b. 两跨预制生产线以车间中心对称布置模具、翻板区、张拉封锚台座、水养池、出板通道及汽车通道。搅拌站紧挨生产车间,搅拌机和车间中心在一条线上。轨道板模具和翻板区、张拉封锚台座、水养池、出板通道分四个区布置,每个区设置 18 套模具、1 个翻板池、1 条汽车通道、6 个张拉封锚台座、一个水养池和一条轨道式汽车两用出板通道。模具为定型厂制钢模,底模采用预埋高强螺栓固定在台座上,侧模和端模采用铰接方式连接在底模上,可侧向旋开,方便拆模,侧模设置安装高频振捣器底座。水养池容量需满足 4 天生产量,轨道板水养后运至存板区以轨道小车运输为主,汽车运输为应急备用。成品钢筋骨架用运输小车运至模具附近,桁吊吊装入模;混凝土通过轨道小车运至模具附近,桁吊吊装浇筑;混凝土采用高频式振捣器振捣;混凝土采用自动蒸汽设备养生;轨道板拆模后桁吊运至翻板区翻板检查后再运至张拉台座进行张拉封锚,采用自动张拉设备张拉,张拉后自动标记;锚穴内采用橡胶圈自动成槽;张拉封锚完成后采用专业测量软件进行成品板自动检测。自动张拉设备(1 台主机带 4 个千斤顶)需配备 3 台,2 台可满足正常生产,1 台备用。车间内设置多条汽车运输通道,混凝土、出板运输以轨道小车为主,汽车运输为应急备用,混凝土浇筑和拆模以桁吊吊运为主,当其中 1 台或 2 台桁吊发生故障时,利用汽车通过汽车通道将混凝土和轨道板运至生产地点,保障轨道板正常生产。

CRTS I 型无砟轨道板厂厂房的设计理念直接影响到轨道板预制的工效。应以工厂化、自动化、机械化、标准化生产设计厂房和生产线。积极推广钢筋自动剪切弯制生产线、锚穴自动成槽、自动蒸养、自动张拉、成品板自动检测软件及仪器等新设备、新工艺的应用。

CRTS I 型轨道板场资源配置方案

陈永长 王金柱 朱明明

摘要:轨道板场的资源配置是否合理,对轨道板的质量、生产效率、经济效益等会产生很大的影响。本文按照轨道板生产线设备、轨道板生产线工装、轨道板场人员配置的顺序,对 CRTS I 型无砟轨道板场的资源配置做简要阐述,希望为同类板场的资源配置提供参考和借鉴。

关键词:轨道板;预制;资源;配置

1 引言

从 CRTS I 型无砟轨道板的技术条件可以看出,产品质量要求高,控制标准严格,传统的预制工艺不能满足精度要求,因此 CRTS I 型无砟轨道板一般采用工厂化预制施工的作业模式。为了保证产品质量、提高生产效率,确定科学的轨道板预制工艺和组织合理的生产流水线,成为轨道板预制工艺研究的主要内容。

2 轨道板生产工艺介绍

2.1 轨道板预制工艺原理

CRTS I 型无砟轨道板为后张预应力结构,主要由钢筋和混凝土两种材料组成,其中钢筋又分为普通钢筋和预应力钢筋。为了满足轨道板技术条件的各项要求,有效控制产品质量,我们将轨道板预制过程分解为钢筋加工、混凝土浇筑及蒸养、翻板检查、预应力张拉、封锚、水养等 6 个工序,为了满足轨道板板面平整度的要求,混凝土工程在高精度模板进行。确定上述工序后,为了提高生产效率,通过在各个工序内以及工序之间确定合理的工装配置、作业方法和组织管理模式,从而确定生产厂房内的功能分区和工位布置,最终形成轨道板预制生产线。

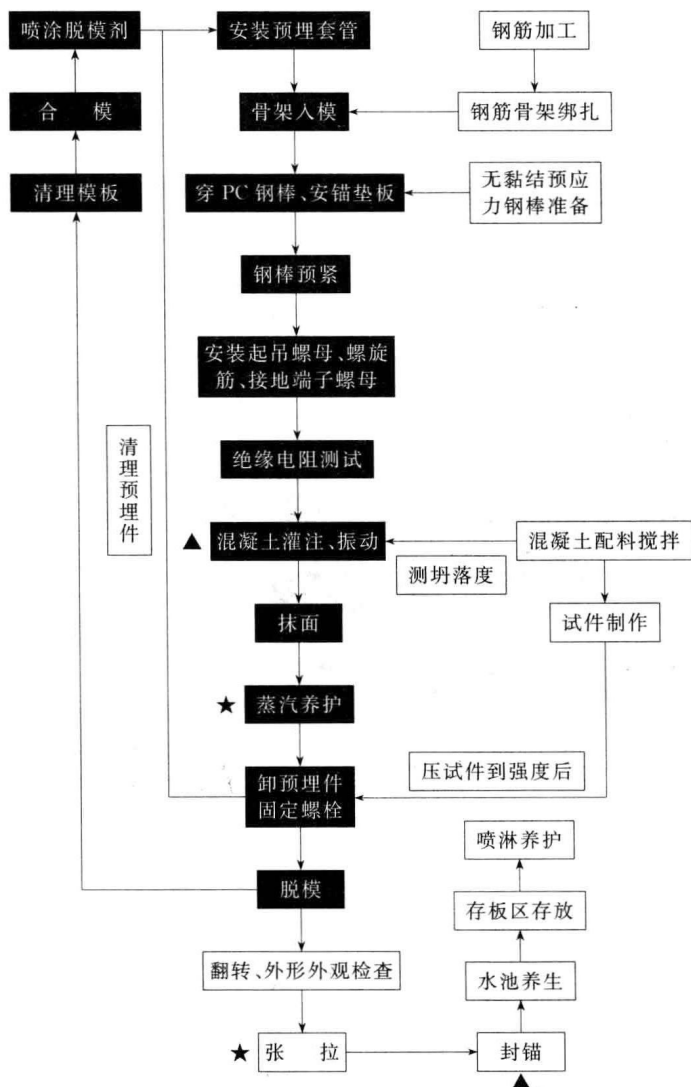
2.2 轨道板预制工艺流程

CRTS I 型无砟轨道板的工艺流程可以概括为:钢筋骨架制作完成后,到固定模板位置安装就位,浇筑混凝土,蒸汽养护至脱模强度脱模,进行翻板检查,检查合格后进行预应力张拉和锚穴孔封锚作业,水养完成后运输至存板区存放,工艺流程如图 1 所示。

3 轨道板场资源配置

3.1 生产线布置

根据拟定的轨道板生产工艺流程,将轨道板生产线划分为以下五个功能分区:钢筋骨架制备区、混凝土浇筑区、翻板检查区、张拉封锚区、水养区,其中钢筋骨架制备区又分为原材料存放区、钢筋加工区、半成品堆放区、钢筋绑扎区四个部分,各功能分区在厂房内按照物流顺序呈“U”形排列,工位布置如图 2 所示。钢筋骨架制备区相对独立,占据厂房内一整跨的区域,按照“一”字型排列组织流水作业,形成钢筋骨架的制作能力。各功能分区之间通过设置必要的运输通道和配置相应的起吊、运输设备以合理组织物流。



注：“★”表示重点工序，“▲”表示关键工序，阴影图框表示该工序占用模具。

图 1 轨道板施工工艺流程图

轨道板生产过程物流组织顺序如下：钢筋骨架制作完成后，由轨道小车或汽车配合桥式起重机从钢筋加工区搬运至混凝土浇筑区，由该区域内的桥式起重机吊装至对应模板进行就位；同时拌和站制备的混凝土装入混凝土料斗用小型汽车或轨道车运至混凝土浇筑区，并由桥式起重机吊至对应模板上方进行混凝土浇筑；蒸汽养护完成后脱模，由桥式起重机将轨道板吊装至翻板检查区进行翻板检查，张拉封锚后，吊入水养池，水养完成后由轨道运输车配合龙门吊吊至存板区存放。

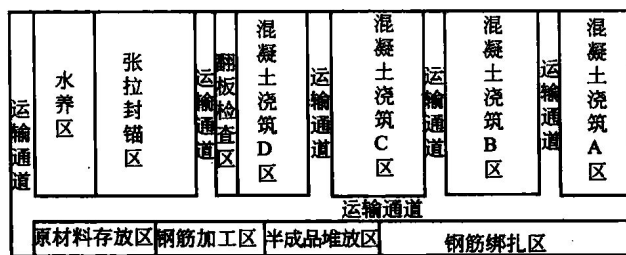


图 2 生产厂房布置图

3.2 工序组织

生产线功能分区划定后，各功能分区之间以及分区内部需要进行合理的工序组织，以保证各生产过程之间的衔接配合。根据轨道板的施工工艺，轨道板预制过程可以分为钢筋工程、混凝土工程、预应力工程三个主要阶段，这三个阶段之间既彼此联系，又相对独立，因此既要保证上述三个阶段大流水作业的协调配合，又要合理规划三个阶段内部的小流水作业。在工艺流程和生产线布局的条件来看，钢筋工程作业区相对独立，通过拉开钢筋工程与混凝土工程的作业开始时间，钢筋工程的生产效率可以满足混凝土工程的进度要求；预应力工程则需要在混凝土蒸养结束后才可以进行，本身存在较大的作业时间差（蒸养时间 15 h），因此它们之间相对独立，可以分别组织流水作业。

从上述分析中可以看出,钢筋工程、混凝土工程、预应力工程之间的流水组织可以通过拉开作业时间差或本身存在的作业时间差进行,能够保证施工生产的顺利进行,下面着重研究上述三个主要工程的内部流水。

3.2.1 钢筋工程流水线

钢筋工程生产线分为下料、弯制、焊接、绑扎 4 个工序,钢筋工程流水线的组织原则是:钢筋下料、钢筋弯制、钢筋焊接和钢筋绑扎四个环节的生产效率应相互匹配,即下料效率满足弯制、焊接效率要求,弯制效率满足绑扎效率要求。下面以钢筋骨架日产量 80 片为例,说明钢筋工程流水线的工序组织。钢筋工程各工序持续时间、工装配置如图 3 所示,正常情况下钢筋加工区共有 31 人共同作业。

任务名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
75cm 以上钢筋构件下料弯制					专用钢筋弯曲配套系统和钢筋剪切系统 1 套,5 人																			
75cm 以下钢筋构件下料弯制											小型钢筋切断机和弯制机各 1 台,各配 1 人													
接地端子焊接											弧焊机 2 台,各配 1 人													
锚垫板焊接											弧焊机 2 台,各配 1 人													
钢筋绑扎	绑扎胎具 10 个,每胎具配 2 人																							

图 3 钢筋工程各工序持续时间及人员、工装配置

3.2.2 混凝土工程流水线

混凝土工程流水线可以分为脱模、清模、骨架入模及调整、混凝土浇筑、蒸养等 7 个工序,混凝土工程流水线的组织目标是:工序之间前后搭接、不窝工。轨道板脱模时间由同条件养护试件的强度决定,理论上说生产线所有模板可以统一组织流水作业,然而脱模强度必须由实际试验确定,若全部模板作为一个检验批,生产效率将大大降低,若一个模板作为一个检验批,试验工作量势必异常庞大,为了兼顾生产效率和试验强度,经验上一般设置不大于 12 套模板为一个检验批,下面就以 12 套模板组成的混凝土工程流水线为例,说明其工序组织。混凝土工程各工序的持续时间、工装配置如图 4 所示,从现场测试的情况来看,脱模、清模、骨架入模及调整、混凝土浇筑的工作效率均在 15 min/模板左右。可以看出从脱模到混凝土浇筑完成需要 3.5 h,正常情况下生产线上共有操作人员 27 人。

需要指出的是,上述骨架入模及调整涵盖了骨架入模、穿预应力钢棒、锚垫板安装、绝缘测试等相关工序,实际操作过程中,这些工序是分开操作的,并且工人在这些工序之间有穿插作业,图 4 中给出的是这些工序到达骨架安放质量的平均效率,主要用于为现场施工组织及工装配置提供依据。

任务名称	1	2	3	4
	桁吊 1 台,千斤顶 4 台,7 人			
脱模				
	钢丝球,4 人			
清模				
	桁吊 1 台,6 人			
骨架入模及调整				
		桁吊 1 台、振动器 4 台、轨道小车 1 台、料斗 2 个,10 人		
混凝土浇筑				

图 4 混凝土各工序持续时间及人员、工装配置

3.2.3 预应力工程流水线

预应力工程流水线可以分为翻板检查、预应力张拉、封锚 3 个工序,这 3 个工序组织限制条件有:①轨道

板从脱模至入水时间控制 8 h 以内；②张拉台座数量满足使用要求。下面仍以 12 块轨道板组成的预应力工程流水线为例，说明其工序组织。预应力工程各工序的持续时间、工装配置如图 5 所示，从现场测试的情况来看，翻板检查的工作效率为 15 min/块，张拉封锚工作效率均为 1h/块，从图上可以得出如下结论：

循环	任务名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
第一循环	翻板检查	■			桁吊 1 台, 2 人								
	预应力张拉	■					张拉设备 3 套, 每套设备 3 人, 共 9 人						
	封锚			■						6 套设备, 每套设备 2 人, 分 3 组, 共 7 人			
	水养								■				
第二循环	翻板检查					■							
	预应力张拉				■								
	封锚						■						
	水养									■			

图 5 预应力工程各工序持续时间及人员、工装配置

- a. 从脱模到最后—块板入池需要 8 h, 正常情况下生产线上共有操作人员 20 人；
- b. 每批板脱模至入水的时间间隔为 4.75 h 和 5.25 h, 可以控制在 8 h 以内。
- c. 张拉台座至少需要设置 15 个台位, 现场设置 15 个台位满足要求。

3.3 生产线资源配置计算

根据轨道板生产工艺流程, 其主要控制生产周期的工序为占用模型的工序作业时间, 板式无砟轨道轨道板预制最少施工时间 18.5 h, 板场模型数量多时, 较难实现同步生产, 还需延后 2.5 h, 故每天轨道板模型占用周期至少为 21 h。

综上所述, 取轨道板模具日周转效率为 1.1。

3.3.1 生产线设备配置

(1) 轨道板生产模具配置计算

模具配置计算如下：

$$Q = \{0.3 \times q + 0.7 \times q + 0.6 \times p \times q + (X - 2 - p) \times \alpha \times q\} \times 28$$

- 式中 Q——轨道板设计总量；
 q——模具配备总量；
 p——冬季施工月份数量；
 α——模具日周转效率, 取 1.1；
 X——有效施工工期。

考虑到轨道板生产前期由于生产工艺不成熟, 工人熟练程度不高, 第一个月生产效率以 0.3 计, 第二个月生产效率以 0.7 计。考虑到设备保养维护及其他意外因素的印象, 轨道板每月生产有效天数以 28 天计。

(2) 搅拌站生产能力配置

搅拌站生产能力配置计算如下：

$$Q = \gamma \times \alpha \times q \times L$$

- 式中 Q——搅拌站生产能力；

γ ——搅拌站生产能力富余系数,取 1.2;

q ——模具配备总量;

α ——模具日周转效率,取 1.1;

L ——轨道板混凝土设计数量。

根据所需搅拌站生产能力 Q 进行搅拌站选型。

(3) 生产线桁吊配置

轨道板生产线每 40 套模具配置 4 台桁吊,用于轨道板的脱模、吊装、运输和翻板工作。

(4) 钢筋加工生产线设备配置

配备 2 台 10 t 桁吊、1 套专用钢筋弯曲配套系统和钢筋剪切系统、4 台电焊机及若干小型钢筋弯曲机及钢筋切断机。

(5) 张拉设备配置

张拉设备配置计算如下:

$$n = \gamma \times \alpha \times q \times t / 24$$

式中 n ——张拉设备数量;

γ ——张拉设备富余系数,考虑张拉设备需定期标定,取 $\gamma = 1.5$;

q ——模具配备总量;

α ——模具日周转效率,取 1.1;

t ——一台设备张拉一块轨道板所需时间,以 h 计。

(6) 封锚设备配置

封锚设备配置计算如下:

$$n = \gamma \times \alpha \times q \times t / 24$$

式中 n ——封锚设备数量;

γ ——封锚设备富余系数,取 1.1;

q ——模具配备总量;

α ——模具日周转效率,取 1.1;

t ——一套设备封锚一块轨道板所需时间,以 h 计。

3.3.2 生产线工装配置

(1) 生产台座配置计算

生产台座配置计算如下:

$$N = \beta \times q$$

式中 N ——轨道板生产台座数量;

β ——轨道板台座富余系数,取 1.1;

q ——模具配备总量。

考虑到施工过程中意外因素的影响,轨道板台座设计数量略大于模具配置数量,多余台座作为预留台座,前期用于存放钢筋笼,可方便施工,当遇到意外因素影响,需要增加模具时,作为正式生产台座,确保工期。

(2) 料仓配置

搅拌站设置 6 个料仓,其中 3 个为已检、细骨料、粗骨料料仓,3 个为待检料仓,料仓大小以正常生产 7 天用料为宜。另建 3 个大型料仓作为备用仓,供冬季施工备料使用。

(3) 钢筋绑扎胎具配置

每种板型钢筋绑扎胎具配置计算如下:

$$n = \gamma \times \alpha \times q / 20$$

式中 n ——同一板型钢筋绑扎胎具数量;

γ ——钢筋胎具富余系数,取 1.1;

α ——模具日周转效率,取 1.1;

q ——同一板型模具配备总量。

绑扎一个钢筋笼的时间大约为 1 h,钢筋绑扎胎具利用时间以 20 h 计。

(4) 翻板检查台座配置

翻板检查台座配置计算如下: