

# 高速铁路 双块式轨枕智能制造技术

王明慧 王 剑 郑亚民 编 著  
蒋树平 张 桥 李永生

西南交通大学出版社

· 成 都 ·



智能制造作为“中国制造 2025”国家战略的重要组成部分，已成为制造业发展的必然趋势。欧美、日本等发达国家将智能制造列为支撑未来可持续发展的重要智能技术，我国也将智能制造作为当前和今后一个时期的主攻方向及抢占新一轮产业竞争制高点的重要手段。

通过人与智能机器的合作共事，扩大、延伸和部分取代人类专家在制造过程中的脑力劳动；智能制造把制造自动化扩展到制造柔性化、智能化和高度集成化。

本书以典型的轨枕制造为切入点，针对其作业环境和工艺要求，研究开发智能制造技术系统，实现生产过程整体智能化，模具智能清理，智能喷脱模剂，钢筋、套管的智能组装及安装，成品智能检测的机器人作业，对提高流水线工业的智能制造水平、拓展工业机器人应用领域和促进机器人产业链健康发展，具有十分重要的意义。

当今时代，智能化技术发展迅猛，工厂化生产正在逐步实现人机协作。郑万高铁重庆段轨枕场对轨枕生产

线的智能化技术提升研究与实践表明，依靠单机智能、

装备互联基本实现了轨枕的智能化生产；在建筑业工人日益短缺的趋势下，降低企业的人力资源成本，提高产品质量和生产效率，提升整体效益，使轨枕生产更加绿色环保，为该行业提供了引领示范作用。

随着国家工业化水平的持续提高、产业的调整升级以及发展方式的转变，高速铁路轨枕智能化制造是发展方向，将来一定会有越来越多的企业参与到轨枕智能制造的队伍中来。

由于作者水平有限，本书不足之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

作者

2022年9月

# 目 录

◆ 1 绪 论 .....	001
1.1 国内外研究现状 .....	003
1.2 背 景 .....	006
◆ 2 高速铁路双块式轨枕场建设技术 .....	009
2.1 轨枕场概况 .....	009
2.2 轨枕场主要参数的确定 .....	011
2.3 轨枕场主要功能区设计 .....	014
2.4 资源配置 .....	019
◆ 3 高速铁路双块式轨枕智能化制造技术 .....	022
3.1 生产工艺 .....	022
3.2 传统工艺存在的问题 .....	024
3.3 工位设置 .....	025
◆ 4 桁架制作智能化技术 .....	028
4.1 桁架生产、运输 .....	028
4.2 箍筋加工工位 .....	030
4.3 模具清理智能化技术 .....	031
4.4 喷涂脱模智能化技术 .....	038
4.5 套管组装、安装智能化技术 .....	043

4.6	钢筋组装、安装智能化技术 .....	049
4.7	混凝土布料工位 .....	061
4.8	轨枕出、入窑智能化技术 .....	063
4.9	蒸养工位 .....	075
4.10	智能脱模工位 .....	076
4.11	轨枕检测智能化技术 .....	078
4.12	轨枕清理码垛工位 .....	088
◆ 5	生产管理智能化技术 .....	090
5.1	现状分析 .....	090
5.2	方案设计 .....	091
5.3	管理系统架构 .....	092
5.4	关键技术 .....	094
5.5	小 结 .....	099
◆ 6	总体效果分析 .....	102
6.1	工程质量优异 .....	102
6.2	施工成本降低 .....	102
6.3	推广应用前景 .....	103
6.4	社会效益 .....	104
	参考文献 .....	105

# 1

## 绪 论

铁路混凝土轨枕作为铁路线的重要组成部分，起着支撑和稳定钢轨的作用。

我国混凝土轨枕发展初期，轨枕的主要型号包括弦 61 型、弦 65B 型等，该类混凝土轨枕命名较为混乱。直至 1984 年，为了改变这种混凝土轨枕命名混乱的情况，将混凝土轨枕的类型减少为 S-1 型、S-2 型、S-3 型、J-2 型。而后又按照混凝土轨枕承载力的不同把这些混凝土轨枕归类为 I 型、II 型，通过不懈努力，相继又设计出了 III 型和新 III 型双块式混凝土轨枕。

随着铁路运输事业的不断发展，I 型混凝土轨枕由于其承载力低，已不能适应现阶段我国铁路的使用需求，因而逐渐被淘汰。现阶段在我国，混凝土轨枕铺设的主流型号为 II 型和新 II 型轨枕。II 型、新 II 型混凝土轨枕的外形均为带挡肩形式。图 1-1 即为带挡肩的混凝土轨枕结构形式。这种轨枕由于其承载能力相对较高，所以在使用时可以用于铺设次重型及重型轨道。

近年来，我国高速铁路建设飞速发展，高速铁路无砟轨道在充分借鉴国外高速铁路无砟轨道成熟技术的基础上，经过引进消化吸收再创新，形成了具有自主知识产权的无砟轨道结构形式，主要有以下 7 种形式：CRTS I 型板式、CRTS II 型板式、CRTS III 型板式、CRTS I 型双块式、

CRTS II 型双块式、道岔区板式、道岔区轨枕埋入式。其中，CRTS I 型双块式无砟轨道是我国高速铁路采用的主要无砟轨道形式，尤其是在西南山区建设高速铁路，CRTS I 型双块式无砟轨道已成为首选的轨道结构形式。

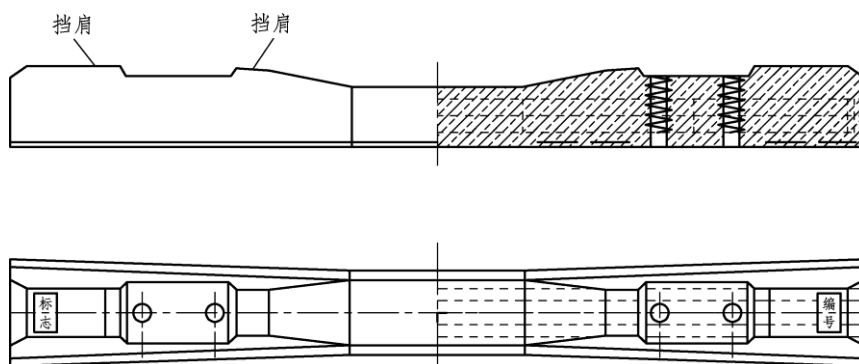


图 1-1 带挡肩混凝土轨枕

CRTS I 型双块式无砟轨道主要由下部支撑体系、现浇混凝土道床板、双块式轨枕、高弹性扣件、钢轨组成。这种轨道结构初期的投资比较小，具有制造施工工艺简单等优点，在武广铁路、杭黄铁路、兰新铁路、成贵铁路等多条客运专线应用，技术成熟，比较适合我国的国情，应用市场广阔。

CRTS I 型双块式无砟轨道 SK-2 型双块式轨枕预制技术的应用领域广阔，该施工工艺简单、易操作，施工过程中采用循环生产线，施工进度快，产品质量易控制，设备设施可以多次周转，降本增效，是一种适用广泛、经济环保的双块式轨枕制造技术，该项技术具有良好的推广应用前景。

由于双块式轨枕的诸多优势，其在全球范围内的应用日益广泛。同样，在我国，各种型号的双块式混凝土轨枕被规模化制造出来，基本能够满足我国铁路建设的使用需求。

过去国内轨枕预制大部分采用工厂集中、机械化施工。面对人工成本过高和资源环境约束加大等问题，研究智能化制造技术并在轨枕制造业中



进行示范应用，使轨枕制造由传统建造向智能制造转变，加快轨枕制造智能化升级，符合国家推进供给侧结构性改革和促进经济提质增效转型升级的产业政策。

## 1.1 国内外研究现状

### 1.1.1 国外研究现状

世界范围内，双块式轨枕的产生和发展比我国要早，其中以日本及欧洲一些国家最为先进。当时其主要是通过设计新颖的结构从而达到节约资源及投资的目的。

早在 20 世纪 60 年代初，法国、荷兰、匈牙利等国家就开始对双块式轨枕的应用进行研究。

世界各国对双块式轨枕的研究和开发主要集中于对轨枕的结构设计及制造工艺技术上。结构设计方面，法国最开始研发了“Vogneus”型双块式轨枕，该类混凝土轨枕的中间连接铁采用角钢；瑞士和匈牙利的混凝土轨枕中间连接铁为圆管，内部灌注水泥砂浆或仅使用圆管。捷克研发的双块式轨枕中间连接铁为 2 个槽钢；此外，捷克还制造了一种双铰式（即中间连接为钢筋混凝土块）结构形式，轨枕全长贯穿预应力钢筋进行张拉锚固。荷兰同样在 20 世纪 60 年代首次试验研究了 Zlg-Zag 型轨枕，它是在梅花式的块体支承之间采用中间连接铁的形式。

在生产过程和工艺技术上，许多国家采用的双块式轨枕生产工艺是一种定型产品工艺，生产线上的两条行走轨道上都安装有机械设备，设备可沿轨道向前行进，其工作范围位于轨道范围内。设备运行时需要两套模具交替使用，其中一套模具由工人完成配件安装，然后开始下料，过后依次捣振和压花，最后将模具直接反转进行脱模。与此同时，处于下方的模具翻转至上方重复上述操作，以此类推，不断交替进行，这个生产过程连续性很强。

国外双块式轨枕生产技术主要基于德国短模（1×4 型）生产线，对于长模（2×4 型）生产智能化技术，尚未取得实际应用。

### 1.1.2 国内研究现状

我国通过借鉴国外生产工艺,结合我国实际情况,形成了一套独特的双块式轨枕生产工艺。该生产过程主要分为两条主线,其中一条是混凝土轨枕的装配成型过程,另一条主线则是钢筋桁架的生产加工过程。轨枕生产过程主要经过混凝土的拌和、浇筑入模(模具已经装配完整并喷涂脱模剂)、振动成型、蒸汽养护、冲击脱模等工序。钢筋的加工服务于装配过程,使轨枕的成型过程形成一个完整循环。

近年来,随着科技的发展,双块式轨枕预制也逐渐由“人工+机械”的作业方式转变为“人工+自动化”的作业方式,通过对部分工序实现自动化,可消除一部分传统作业方式的弊端,但仍存在生产线各工位相互之间配合不密切、生产效率和利用率不高、劳动力成本较大的问题。

通过对双块式轨枕预制进行分析研究总结,我国自主研发出“自动化+智能化+信息化”的全新作业方式,通过对双块式轨枕自动化、智能化预制技术研究,科学合理有效地消除了传统作业方式的弊端,并提高了生产信息精度和生产线整体连接配合,严格保证了双块式轨枕的产品质量,大幅度降低了施工风险和企业成本,提高了生产效率和产品的一致性,使在恶劣环境和极端环境下工作成为可能。

目前,我国轨枕行业智能制造仍然处于起步阶段,京张(北京—张家口)高铁梁枕场和郑万(郑州—万州)高铁湖北段制枕场在短模(1×4)机械化生产线的基础上,引入智能化后,已基本实现少人化作业。对于批量生产时设备持续性、稳定性和生产效率等问题,郑万(郑州—万州)高铁重庆段轨枕场进行进一步探索和实践,形成了一整套长模(2×4型)智能化制造技术。

### 1.1.3 国内外双块式轨枕生产工艺对比分析

对比国内外双块式轨枕生产工艺不难发现,二者的区别集中体现在脱

模工艺上。我国传统的混凝土轨枕生产工艺是在浇筑完毕后经过蒸汽养护，养护过后混凝土达设计强度的70%时脱模，即“干脱”。而国外一些国家和地区则是在浇筑完毕后直接进行脱模，即“湿脱”。脱模程序上的不同必然会造成整个混凝土轨枕生产过程所采用的生产技术及工艺存在较大区别。

采用我国传统工艺脱模时为了能够振捣密实，需保证混凝土的流动性，因此我国用于生产双块式轨枕所采用的混凝土水灰比较国外的要大。同时，由于我国混凝土轨枕经养护到一定强度后脱模，需采取冲击脱模方式进行脱模。我国传统工艺养护时需带模养护，而国外则可不带模具进行养护。

我国采用的干脱方式最为明显的优势是生产效率高、产量大，每条生产线每天的生产取决于周转速度和模具数量。但由于这种干脱模式使用了较高的水灰比，对混凝土轨枕强度及耐久性有不利影响。我国传统生产方式需在养护阶段带有钢模，较厚的钢模不利于热量的传递且由于钢模的存在，水蒸气同混凝土轨枕的接触面积大大减小，阻碍了水蒸气的进入，不利于混凝土轨枕的养护。冲击式脱模方式也会对混凝土轨枕结构造成损伤，甚至直接造成结构断裂。

国外由于其在养护前进行脱模，为了保证其具有一定的外形稳定性，水灰比较我国采用的水灰比低，混凝土质量更好，同我国相比生产同等强度等级的混凝土轨枕节省了水泥用量，而且提高了耐久性。湿脱法在脱模过程中对混凝土损伤小，即便在脱模时产生了损伤，也可在其初凝前进行简单磨平修复。但湿脱工艺也存在不足之处，如其效率较低、产品表面光洁度较差、生产环境要求严格等。

纵观国内外双块式轨枕发展不难看出，我国双块式轨枕的应用及生产工艺技术发展迅速；但在诸多生产细节方面依然有提升的空间。通过改进生产工艺，以进一步满足我国铁路事业的发展需求，为我国铁路事业发展

提供更有力的保证。

## 1.2 背景

### 1.2.1 技术背景

随着现代信息技术的快速发展，物联网、大数据、云计算等高新科技在工程建设质量管理领域的广泛应用为传统质量监控模式的转型升级提供了较为坚实的基础。机器人是制造业皇冠顶端的明珠，其研发、制造、应用占比是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。《“十三五”先进制造技术领域科技创新专项规划》中明确提出要推进我国机器人面向制造业典型行业的研发与应用，实现我国机器人技术与产品的典型领域拓展应用。

轨枕制造一般具有劳动力密集和重复作业的特点，具有人工成本过高、产能过剩和资源环境约束加大等问题。研究开发面向恶劣高危和非结构化重复作业环境的智能机器人并在轨枕制造业中进行示范应用，符合国家推进供给侧结构性改革和促进经济提质增效转型升级的产业政策。

智能制造是指“人机一体化智能系统”，基于新一代信息通信技术与先进制造技术的深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行和自适应等功能新型生产方式。

智能制造覆盖智能制造技术及其系统，其中智能制造系统不仅能够在实践中不断地充实知识库，具有自学习功能，还有搜集与理解环境信息和自身信息，并进行分析判断和规划自身行为的能力。通过人与智能机器的合作共事，扩大、延伸和部分取代人类专家在制造过程中的脑力劳动；智能制造把制造自动化扩展到制造柔性化、智能化和高度集成化。

在轨枕生产过程中研发智能制造技术，应用工业机器人，有利于企业降低人力资源成本、降低生产运行维护成本、提高生产效率、提高产品质量和生产稳定性。

以典型的轨枕制造为切入点,针对其作业环境和工艺要求,研究开发智能制造技术系统,实现生产过程整体智能化,模具智能清理,智能喷脱模剂,钢筋、套管的智能组装及安装,成品智能检测的机器人作业,对提高流水线工业的智能制造水平、拓展工业机器人应用领域和促进机器人产业链健康发展,具有十分重要的意义,这也是未来工业制造技术发展的方向和趋势。

### 1.2.2 工程背景

郑万高铁(郑州—万州)重庆段正线线路起始于鄂、渝省界DK635+420,终于万州北站DK819+278,正线全长184 km,桥隧占比98%。本段线路位于重庆市境内,沿线自湖北巴东县引入,经重庆市巫山县、奉节县、云阳县,最后至万州区(见图1-2),设计行车速度350 km/h。

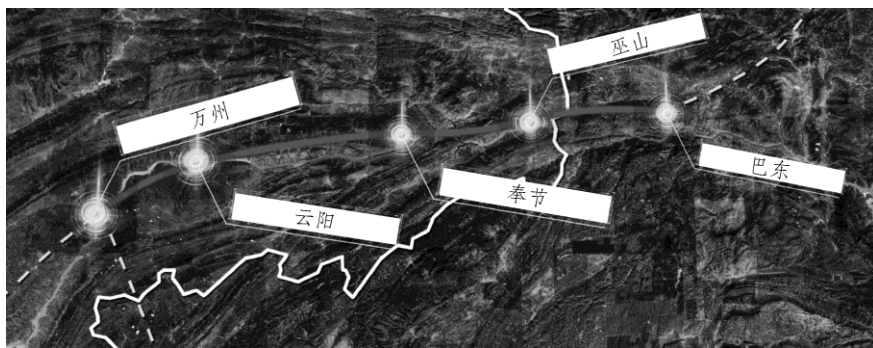


图 1-2 线路平面图

郑万高铁重庆段轨枕场负责58.25万根双块式轨枕预制工作,占地约44 000 m<sup>2</sup>,场建采用永临结合的方式。轨枕型号为CRTS I型无砟轨道SK-2型双块式轨枕,技术条件满足TB/T 3397—2015《CRTS双块式无砟轨道混凝土枕》规范要求,轨枕生产线采用机械化生产线。为提高生产线的标准、精度、效率和产品质量,降低能耗,结合该生产线开展智能化整体技

术提升研究与应用实践。该高速铁路轨枕智能化制造技术采用全机械化长模（2×4 型）轨枕生产线，该项技术在长模智能化施工工艺上没有成熟先例可供借鉴，属国际首次。同时，因涉及新技术较多，如工业 PLC（可编程逻辑控制器）控制技术、精确定位技术、3D 扫描测量技术、人工智能深度学习技术，以及 MES 系统（制造执行系统）、仿真软件、云平台应用等，涉及多学科综合，难度巨大。



## 高速铁路双块式轨枕场建设技术

### 2.1 轨枕场概况

#### 2.1.1 总体概况

郑万高铁重庆段轨枕场位于郑万铁路奉节车站维修车间用地范围内，建设用地采取永临结合方式，如图 2-1 所示。郑万高铁重庆段轨枕场主要负责全线 58.25 万根 CRTS I 型无砟轨道 SK-2 双块式轨枕的预制，轨枕预制工期为 2 年 3 个月。



图 2-1 轨枕场平面效果图

### 2.1.2 轨枕场设置及交通情况

轨枕场临近长江及高速公路，位于县道旁约 50 m，距离高速公路出口约 4 km，交通便利，大宗材料主要通过高速公路送达。工厂建设采用永临结合的方式，节约成本，并能满足材料、设备和产品的运输需要。

### 2.1.3 轨枕场平面布置

根据现场实际情况，轨枕场先期完成路基土方施工，在基床顶面施工设备基础，进行水电气管路预埋，然后进行场地硬化，完成后进行彩钢房、生产车间安装，最后安装调试设备等。总体安排先施工场区范围，后施工存枕区范围。

轨枕场总体布置呈长方形，共设置 6 个功能区，分别为办公生活区、试验区、轨枕养护区、轨枕生产区（含保障区）、轨枕存放区、混凝土制备区，如图 2-2 所示。

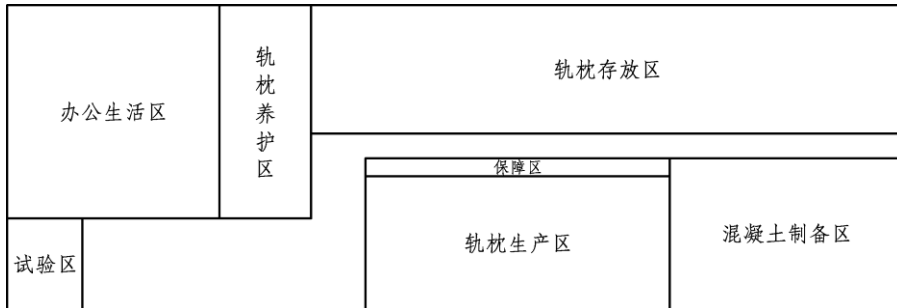


图 2-2 轨枕场平面布置图

### 2.1.4 地形、地质和气候特点

轨枕场所在地奉节县朱衣镇，属构造剥蚀丘陵地貌，场区范围主要为缓冲洪积堆形成的缓坡阶地。

沿线主要岩土有块石土、松软土、细砂、粗砂、细圆砾土、粗圆砾土、卵石土、漂石土、粉质黏土、泥灰岩、白云岩、夹泥岩。

奉节县属于中亚热带湿润季风气候，日照充足，夏季炎热，冬季暖和，雨量充沛，无霜期长，日照时间长；海拔高度变化很大，受地形地貌影响，垂直变化较为明显，形成典型的立体气候。

## 2.2 轨枕场主要参数的确定

### 2.2.1 生产线选型

基于工期及生产效率等方面考虑，与 $1\times 4$ 生产线进行了比选分析（见表 2-1），最后拟采用 $2\times 4$ 轨枕生产线。

表 2-1 生产线比对

序号	项 目	$2\times 4$ 生产线	$1\times 4$ 生产线	比对结果
1	生产效率	1 次生产 8 根， 5 min 1 节拍	1 次生产 4 根， 4 min 1 节拍	生产效率： $2\times 4$ 生产线是 $1\times 4$ 生产线的 1.6 倍
2	兼容性	能生产双块式轨枕及传统预应力轨枕，比如ⅢC、Ⅲa、Ⅲqc 型轨枕及各类地铁枕等	只能满足单一的双块式轨枕的生产，不能兼容其他轨枕加工	$2\times 4$ 生产线比 $1\times 4$ 生产线适用范围广
3	成本	按单班产量 800 根（100 套模具）计算成本为 350 万元	按单班产量 800 根（200 套模具）计算成本为 400 万元	$2\times 4$ 生产线比 $1\times 4$ 生产线成本低
4	简化程度	脱模翻转机构简单、易操作	脱模时需要大型翻转机构	在实现同种功能的情况下， $2\times 4$ 生产线工序较简洁
5	实际应用单位	兰新线、宝兰线、郑万河南段、黔张常线等项目	贵广铁路贺州轨枕场、郑万湖北段等	应用都比较广泛

### 2.2.2 设计生产能力

轨枕场共计生产 58.25 万根轨枕，考虑供应标段的供应工程量和生产工期、成品库容量条件，将轨枕生产分为几个不同的阶段，单班、双班搭配生产。工装配置按每天 1 920 根配备，每个月生产 25 天，设计生产能力满足工期要求。

### 2.2.3 生产能力分析

在实际生产过程中，尚需考虑其他因素的影响，制枕实际生产周期与桁架加工设备的工效、混凝土原材料及配合比、养护方式、混凝土强度及弹性模量增长速度等密切相关，现场应根据工程项目实际情况合理确定模型和窑池数量。

(1) 模具数量的确定（仅供参考）：

$$M = T_g n_1 \eta$$

式中  $M$ ——轨枕生产总数量（根）；

$T_g$ ——总工期生产时间（min）；

$n_1$ ——生产线套数；

$\eta$ ——生产线效率（根）。

$$\eta = n_2 n_3 n_4 n_5$$

式中  $n_2$ ——每日工作班数；

$n_3$ ——每套模具每班循环次数， $n_3 = \text{每工作班总时长} / \text{一套模具循环一次的时间}$ （一般为 1）；

$n_4$ ——模具套数， $n_4 \leq N$ ；

$n_5$ ——每套模具轨枕数量（根）。

$$N = T / t_0$$

式中  $N$ ——生产线能容纳最大模具数量（套）；

$T$ ——每工作班总时长 (min)，一般为 12 h；

$t_0$ ——每工位最大生产节拍 (min)。

每工位最大生产节拍为各工序占用生产时间最大值， $2 \times 4$  双块式轨枕生产线取 6 min；每工作班按照 12 h 计算，配置模具 120 套。双班生产时，模具可以周转使用，一般情况下，模具最大配置数量为 120 模。另外双班生产时，需要考虑混凝土强度的因素，如果静停、升温、恒温、降温 4 个阶段总养护时间大于 12 h，养护时间在 12 h 的基础上，每增加 1 小时，增加 10 套模具。各制枕场在模具配置时应根据总生产量、工期要求、生产线数量等因素综合考虑。

(2) 养护窑设计数量  $N$  (仅供参考)：根据车间及生产线规划每个养护窑存放模具数量  $Y_n$ ，根据模具总数量及每个养护窑存放数量确定养护窑数量，生产时需预留 2 个周转窑。

$$N = M / Y_n + 2$$

式中  $N$ ——养护窑数量；

$Y_n$ ——养护窑存放模具数量。

双块枕生产线采用  $2 \times 4$  长模生产时，养护窑平面尺寸可采用 12 m (长)  $\times$  2.5 m (宽)，每个养护窑可放置两排模具，每个养护窑深度可根据养护窑放置模具数量规划，深度不宜超过 4.5 m (可放置 10 层)。养护窑底部需设置两条模具支撑横梁，高度不宜小于 15 cm，防止模具养护过程中泡水。养护窑侧壁需要加设两条防撞槽，防止采用桥式起重机吊运模具时，模具摆动撞击养护窑侧壁。

(3) 双块枕养护区需要建设养护车间，车间面积可按下式计算 (仅供参考)：

$$S = \frac{N}{n} S_1 + S_2$$

式中  $S$ ——养护棚总面积 ( $\text{m}^2$ )；

$N$ ——7 d 最大生产量 (根)；

$n$ ——每垛根数；

$S_1$ ——每垛占地面积，包含每垛之间的距离（ $\text{m}^2$ ）；

$S_2$ ——预留叉车通行面积（ $\text{m}^2$ ）。

(4) 双块枕存放区面积可按下式计算（仅供参考）：

$$A_s = \frac{N}{n} S_1$$

式中  $A_s$ ——双块枕存放区域占地面积（ $\text{m}^2$ ）；

$N$ ——双块枕计划储存量，可根据制造、存放、使用三者每月数量  
关

系确定（根）；

$n$ ——每垛根数；

$S_1$ ——每垛占地面积，包含每垛之间的距离（ $\text{m}^2$ ）。

#### 2.2.4 存枕区面积

轨枕存放区主要实现轨枕的储存功能；轨枕存放区面积应满足施工组织设计对制枕速度、存枕数量和相关技术条件对轨枕存放的要求。轨枕存放区面积可按下式计算：

$$A_s = TNt_g / (4 \times 8) \times 1.3 \times (2.4 + d)$$

式中  $A_s$ ——轨枕存放区域占地面积（ $\text{m}^2$ ）；

$T$ ——存枕周期（月）；

$N$ ——轨枕每日生产量（根）；

$t_g$ ——每月实际工作天数（ $d$ ），可取 25；

$d$ ——轨枕垛与垛之间的空隙（ $m$ ），无资料时可取 0.2。

### 2.3 轨枕场主要功能区设计

#### 2.3.1 场房布置

轨枕生产车间采用规格尺寸为 24 m×100 m 的轻钢结构, 牛腿标高 8 m, 钢筋车间采用尺寸为 18 m×100 m 的轻钢结构, 2 个场房中间共用一排支腿。

### 2.3.2 轨枕预制生产区

内设 1 台 10 t 自动出入窑设备, 用于吊运轨枕模具出入养护窑。双块式轨枕生产采用机组流水线法, 由钢模具、模具输送辊道、混凝土灌注设备、振动台、翻模机、轨枕传送辊道、链式传送机、模型清理区、扣件安装台位等组成。

为增大安全系数, 轨枕车间生产线布置以尽量减少桁车吊运工作为原则, 能在地面完成的工序操作不进行吊运作业。

养护窑池底结构主要承受模型与混凝土重量, 每套模型含混凝土质量 5 t, 4 点支承。每个养护窑放置 20 模, 放置 2 列。考虑起重机下放钢模时, 冲击作用使受力加大, 因此养护窑池底采用筏板基础。养护窑池壁偶然承受钢模低强度冲击, 因此采用钢筋混凝土池壁。制枕养护窑施工前先进行地基承载力检查, 检查数值均大于 200 kPa, 地基承载力按 200 kPa 进行设计。

双块枕蒸汽养护需要选择锅炉规格。轨枕蒸汽养护的耗热量计算主要考虑升温空间、恒温空间和降温空间的热量损耗, 轨枕的静停环境温度为 5~35 ℃, 根据项目的实际情况, 考虑热量损耗, 对耗热量进行计算的目的是最终确定蒸汽锅炉的承受负荷。需要考虑的热量损耗因素包括:

(1) 模具及附属结构所消耗的能量  $Q_1$ 。

$$Q_1 = G_1 \cdot c_1 (T_h - T_a) + G_2 \cdot c_2 (T_h - T_a)$$

式中  $Q_1$ ——加热模板和附属结构所需热量 (kJ);

$G_1$ 、 $G_2$ ——模板和附属结构的质量 (kg);

$c_1$ 、 $c_2$ ——模板和附属结构的比热容 [kJ/(kg·K)];

$T_h$ ——模板和附属结构的温度（℃）；

$T_a$ ——环境温度（℃）。

(2) 加热轨枕制品所消耗的能量  $Q_2$ 。

$$Q_2 = \rho \cdot c \cdot V(T_h - T_0)$$

式中  $Q_2$ ——加热混凝土所需热量（kJ）；

$\rho$ ——混凝土表观密度，取 2 400 kg/m<sup>3</sup>；

$c$ ——混凝土比热容，取 1.0 kJ/（kg·K）；

$V$ ——混凝土体积（m<sup>3</sup>）；

$T_h$ ——混凝土恒温温度（℃）；

$T_0$ ——混凝土浇筑完毕时的温度（℃）。

(3) 养护窑围护结构、门窗、管道等所消耗的能量  $Q_3$ 。

$$Q_3 = 3.6A \cdot K \cdot t_1 \cdot \omega(T_p - T_a) + 3.6A \cdot K \cdot t_2 \cdot \omega(T_h - T_a)$$

式中  $Q_3$ ——在周围环境中散失的热量（kJ）；

$A$ ——散热面积（m<sup>2</sup>）；

$K$ ——围护层的传热系数[W/（m<sup>2</sup>·K）]；

$\omega$ ——透风系数，查表取用；

$T_p$ ——混凝土平均温度（℃）；

$t_1$ ——升温阶段所经历的时间（h）；

$t_2$ ——恒温阶段所经历的时间（h）；

$T_h$ ——混凝土恒温温度（℃）；

$T_a$ ——环境温度（℃）。

(4) 充满养护窑空间所消耗的能量  $Q_4$ 。

$$Q_4 = 1256V_s$$

式中  $Q_4$ ——蒸汽充满自由空间的耗热量（kJ）；

1 256——每立方米蒸汽的热容量（kJ/m<sup>3</sup>）；



$V_s$ ——自由空间体积 ( $\text{m}^3$ )。

(5) 蒸汽用量。

$$G_z = \frac{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)\beta}{2500}$$

式中  $G_z$ ——蒸汽用量 (kg)；

$\beta$ ——损失系数，取 1.3~1.5；

2500——蒸汽含热量 (kJ/kg)。

### 2.3.3 钢筋加工、存放区

桁架加工车间设置一台桁架自动焊接生产线，一台自动弯箍机，一台 10 t 门吊。钢筋加工、存放区共占地 735 m<sup>2</sup> (105 m×7 m)。双块式轨枕的钢筋从存放、加工、焊接都在钢筋区完成，因此分别设置钢筋桁架自动焊接生产线、箍筋生产线、原材料存放区、半成品存放区 4 个区域。

原材料存放区：14 m×7 m；桁架自动焊接生产线：51 m×5 m；箍筋生产区：40 m×5 m。根据设备厂家提供的双块式轨枕钢筋生产设备的生产能力，按照单班作业时间 10 h 计算，单日产量约为 1 200 根轨枕钢筋，可以满足生产线生产轨枕的钢筋用量。

根据以往施工经验，考虑到钢筋桁架设备故障率问题，钢筋桁架存放区布置满足不少于 7 天生产需要，场地布置时预留第二套桁架生产线空间。

### 2.3.4 混凝土制备区

轨枕生产按照每小时生产 80 根轨枕，每小时所需混凝土为 0.089 m<sup>3</sup>×80=7.12 m<sup>3</sup>，选用 60 型立轴行星式搅拌站 1 台，搅拌站一盘出料的数量为 1.0 m<sup>3</sup>，生产时间为 4 min，每小时可拌和 15 m<sup>3</sup>，能满足混凝土连续供应需要。

配套使用 6 个 150 t 罐，满足生产要求。拌和区设在轨枕生产车间东侧。出料口设施在布料机对等位置，车间外侧，中间使用传送皮带进行混

凝土运输。此区域配备装载机 1 台，负责上料、洗石及场区其他工作。

双块枕对石子含泥量要求较高，需购置一台洗石机。为保护当地环境并保证洗石水质干净，同时配备一套净水设备。为保证砂的质量，同时配备一台筛砂机。

料仓设计 10 个仓，包含 1 个洗石仓及 1 个筛砂仓。

粗骨料 2 个料仓，2 个料仓尺寸为  $16\text{ m} \times 10\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，最大存料量  $960\text{ m}^3$ ，约可拌和  $960\text{ m}^3 \times 1\,400/786 = 1\,709.9\text{ m}^3$  混凝土，可供应  $1\,709.9/142.4 = 12$  个工作日；细骨料 2 个料仓，料仓尺寸为  $16\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，最大存料量  $576\text{ m}^3$ ，约可拌和  $576\text{ m}^3 \times 1\,400/337 = 2\,392.9\text{ m}^3$  混凝土，可供应  $2\,392.9/142.4 = 16.8$  个工作日；中粗砂 4 个料仓，料仓尺寸为  $16\text{ m} \times 10\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，最大存料量  $1\,920\text{ m}^3$ ，约可拌和  $1\,920\text{ m}^3 \times 1\,500/688 = 4\,186\text{ m}^3$  混凝土，可供应  $4\,186/142.4 = 43.44$  个工作日。

### 2.3.5 轨枕养护区

轨枕养护棚占地面积  $2\,400\text{ m}^2$ ，通道设计  $4\text{ m}$  宽，水养棚最大存枕能力  $n = [80 \times (30 - 4) - 17 \times 6] / (3.38/32) = 1.87$  万根。水养棚设一个蓄水池，结构尺寸为  $8\text{ m} \times 4\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，最大可蓄水  $96\text{ m}^3$ ，通过主管道接到轨枕二次养护车间，对轨枕进行喷淋养护。轨枕在养护后由叉车倒运至车间外轨枕存放区进行存放。

水养棚顶部布置雾化喷头，沿管线间距  $1\text{ m}$  一个，地面、棚顶及两侧均铺设 6 个分水管，场棚外设有监视系统，内部有控制系统，当里面湿度低于要求时，自动开启喷淋设施。水养棚中间预留  $4\text{ m}$  叉车通道。

### 2.3.6 轨枕存放区

双块枕存放区面积可按下列式计算：

$$A_s = \frac{N}{n} S_1$$

式中  $A_s$ ——双块枕存放区域占地面积 ( $\text{m}^2$ )；

$N$ ——双块枕计划储存量，可根据制造、存放、使用三者每月数量  
关  
系确定（根）；  
 $n$ ——每垛根数；  
 $S_1$ ——每垛占地面积，包含每垛之间间距（ $m^2$ ）。

### 2.3.7 施工用电设计

轨枕场装机总容量：钢筋生产设备 500 kW（设备启动），轨枕生产设备 181 kW，搅拌机设备 120 kW，办公生活区 100 kW，合计 901 kW。共设 2 台变压器，1 台 1 000 kV·A 变压器设备供整个搅拌站、箍筋生产、办公生活区使用，1 台 630 kV·A 变压器供桁架生产线自动化设备使用。另配一台 500 kW 柴油发电机作为备用电源。

## 2.4 资源配置

### 2.4.1 主要生产机械设备配置

从轨枕生产的整个工艺流程来看，轨枕生产的机械设备主要包含有混凝土生产设备、钢筋自动生产设备、轨枕生产及养护设备、轨枕生产辅助设备。轨枕生产采用自动化流水线作业模式，每个环节紧密相扣，因此场内的机械及相关人员也必须进行合理化配置，保证生产的同时也不造成资源浪费。机械配置如表 2-2 所示。

表 2-2 主要生产机械设备配置

序号	名称	单位	数量
混凝土生产设备			
1	搅拌站	座	1
2	装载机	台	1
3	电子汽车衡	台	1

4	筛砂机	台	1
5	洗石机	台	1
6	洗石净水设备	台	1

续表

序号	名称	单位	数量
轨枕生产及养护设备			
7	模具传送辊道	组	7
8	单辊传送辊道	组	1
9	倾翻传送辊道	组	1
10	脱模传送辊道	组	2
11	振动台	组	1
12	高架轨道、运灰车	组	1
13	翻转脱模机	台	1
14	缓冲翻模轨道	组	4
15	轨枕脱模机	台	1
16	轨枕码垛机	台	1
17	自动钢模吊具	个	2
18	温控系统	套	1
19	钢模	套	120
钢筋自动生产设备			
20	桁架自动焊接生产线	台	1
21	箍筋自动加工设备	台	1
轨枕生产辅助设备			
22	生物质锅炉	台	1
23	锅炉除尘设备	套	1
24	变压器 1	台	1
25	变压器 2	台	1

26	发电机组	台	1
27	桁车 1	台	2
28	桁车 2	台	1
29	叉车	台	2

#### 2.4.2 主要试验仪器

试验仪器主要有：压力试验机、万能材料试验机、混凝土含气量测定仪、干燥箱、水泥物理检验全套设备、试验室用振动台、砂石成套筛、试验用强制式搅拌机、标准养护室、标准养护箱、混凝土贯入阻力仪、混凝土氯离子电通量测定仪和混凝土弹性模量测定仪。

#### 2.4.3 主要检测仪器

检测仪器主要有：大、小轨距测量仪，坡度、扭曲测量仪，孔径规，底角距套管中心测量仪，万能角度尺，套管中心距检测仪，数显游标卡尺（2 000 mm、500 mm、300 mm/0.01 mm），组合塞尺，测量仪校正台，抗拔仪，卷尺（3 000 mm/1 mm），钢板尺（100 mm、150 mm、200 mm、300 mm/1 mm）。

#### 2.4.4 劳动力组织

做到人员快速进场，配齐枕场班子，配全相应部室；综合办公室负责人力资源管理，要对主要管理人员和关键岗位施工人员建立台账，并确保人员的专业、技术业务能力符合认证要求，以便快速开展各项施工准备工作，动态掌握上岗人员的变动情况。

