

预制轨枕全自动码模系统开发

张雷^{1,2}, 李欣², 张震², 贾英新², 李永伟³

(1. 河北省智能测控技术创新中心, 河北 石家庄 050000; 2. 河北省机电一体化中试基地有限公司, 河北 石家庄 050000; 3. 浙江赛勒新能源材料有限公司, 浙江 金华 321000)

摘要:针对轨枕的半地下坑式养护工艺中模具的存取过程自动化程度低, 安全隐患大的弊端, 基于传感器技术、伺服驱动技术和运动控制技术设计了一套轨枕模具全自动码放系统。该系统由2台码模机智能交互, 可实现多个养护窑并联作业, 与轨枕输送系统和蒸养系统通信协作, 实时获取工位和窑位状态, 综合决策窑位、工序优先级, 自由动态规划运动路线, 完成模具的精准快速定位和全自动存取。全自动码模系统的部署和测试表明, 模具的平均存取时间减少了37.5%, 班组人员由原来3人减少为1人, 并大大减少了工人的劳动强度, 为企业提高了效率并节约了成本。

关键词:轨枕模具; 智能码垛; 自动控制算法; 人机交互

中图分类号: TP29

文章编号: 1000-0682(2025)03-0015-05

文献标识码: B

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.03.003

Development of fully automatic palletizing system for prefabricated rail sleepers

ZHANG Lei^{1,2}, LI Xin², ZHANG Zhen², JIA Yingxin², LI Yongwei³

(1. Hebei Intelligent Measurement and Control Technology Innovation Center, Hebei Shijiazhuang 050000, China;

2. Hebei Mechatronics Intermediate Pilot Base Co., Ltd., Hebei Shijiazhuang 050000, China;

3. Zhejiang Saile New Energy Materials Co., Ltd., Zhejiang Jinhua 321000, China)

Abstract: To address the low level of automation and significant safety risks in the mold storage and retrieval process of the semi-underground pit maintenance technology for sleepers, an automatic palletizing system was designed based on sensor technology, servo drive technology, and motion control technology. This system employs intelligent interaction between two mold palletizing machines, enabling parallel operation of multiple curing-kiln, communicates and collaborates with the sleeper conveying system and steam curing system, obtain real-time status of work station and kiln positions, comprehensively decides the priority of kiln positions and process, freely and dynamically plans motion routes, and achieves precise and rapid positioning and fully automatic storage and retrieval of molds. The implementation and testing of the fully automatic palletizing system demonstrated that the average mold storage and retrieval time was reduced by 37.5%, the work team size decreased from 3 to 1 people, and workers' labor intensity was significantly reduced. This system improved efficiency and reduced costs for the enterprise.

Keywords: sleeper mold; intelligent palletizing; automatic control algorithm; human-computer interaction

0 引言

随着“八横八纵”铁路网的全面铺开, 我国的高

铁建设进入新篇章, 对轨枕的需求量日趋增大。现阶段轨枕生产过程中, 通过半地下坑式车间配合智能温控系统可以快速准确的完成蒸养过程^[1], 在保证质量的同时, 加快轨枕预制速度, 提高模具的周转率。由于半地下坑式车间结构的特殊性, 模具的存取成为预制轨枕蒸养环节的关键工序, 目前国内主要靠人工控制天车操作^[2], 对操作工素质要求较高, 存在很大的安全隐患, 并且存取模具速度缓慢, 无法满足生产需求, 生产效率低下。

近年来, 随着码垛技术飞速发展, 码垛机的应用

收稿日期: 2024-10-22

基金项目: 河北省科学院科技计划项目(20802); 石家庄市中试熟化平台项目—数智化装备制造中试熟化平台(234790134A)

第一作者: 张雷(1987—), 高级工程师, 学士, 主要从事自动控制方面的研究。E-mail: zhangleij1987@126.com

通信作者: 贾英新(1978—), 正高级工程师, 学士, 机电一体化方向。E-mail: 13673215725@126.com

范围也越来越广泛^[3],在混凝土砌块成型生产线^[4]、金属冲压件搬运码垛^[5]、混凝土预制构件码垛^[6]等重载领域发挥着重要作用。该文基于传感器技术、伺服驱动技术和运动控制技术开发了一种预制轨枕专用的码模系统,应用在轨枕预制生产线中,与养护前端的布料振捣工序自动衔接^[7],可实现半地下坑式蒸养车间内的轨枕模具的全自动存取。通过该系统的部署,平均模具存取时间从 8 分钟/次缩短至 5 分钟/次,班组人员由 3 人降为 1 人,提高了生产效率、降低了生产成本,促进了预制轨枕码模由机械化向数字化、智能化的转变。

1 结构设计

1.1 码模装置结构设计

系统设计 8 个蒸养窑,采用紧凑的 2×4 矩阵布局,每个蒸养窑码放两列轨枕模具,每列可以垂直堆叠 12 层,整体而言,蒸养车间能够容纳总数为 192 块的轨枕模具,使空间利用效率达到最大化。为精准管控这些模具,建立空间直角坐标系,确保每一块模具都能在三维空间中通过唯一的 X,Y,Z 坐标进行定位。

蒸养车间的总长度超过 50 米,为提高码模速度,将车间划分为 A 和 B 两个区域,每个区域独立配置 1 台码模机进行作业。2 台码模机安装在蒸养窑上方的码模车架上,具有相同的结构:X/Y 水平方向的走行装置、Z 垂直方向的提升装置以及模台抓取装置。在养护窑中间位置设置过渡平台,引入灵活的摆渡小车系统,实现模具在 2 个区域间的高效交互。此外,全自动码模系统分别与轨枕输送系统和蒸养系统通信协作,实时读取各工位状态和模具养护进度,由 A 区码模机将进料工位上的模具存入蒸养窑,并将蒸养完成的模具取至出料工位。码模装置结构如图 1 所示。

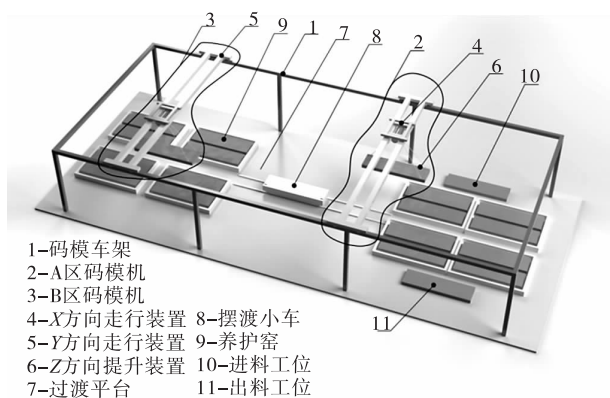


图 1 码模装置结构图

1.2 控制系统结构设计

控制系统结构分为五大核心单元:逻辑控制中枢、人机交互界面、执行调控模块、位置感知系统以及网络通信桥梁,如图 2 所示。逻辑控制中枢以西门子 1500 系列 PLC 为核心,携手 A 区与 B 区子站,构建基于 ET200MP 的分布式 I/O 架构^[8-9],为码模机的动态运行与精细过程控制提供坚实支撑;人机交互界面融合触摸屏和上位机系统,为操作人员提供友好的图形化操作平台,可以一目了然地监控系统的运行情况、生产实时数据和即时报警信息;执行调控模块与位置感知系统则紧密协作,利用伺服、变频器及液压驱动方案,结合高精度编码器、光电传感器及激光位移等传感器技术,确保码模机实现精确无误的运动控制与稳定运行;针对蒸养车间面积大、设备分散、生产环境复杂等特点,设计基于工业无线局域网技术^[10]的网络通信桥梁,通过西门子 SCALANCE 系列模块部署无线 PROFINET 网络,实现各单元间无缝、高效的数据交换与协同工作,构建灵活、高度集成的控制系统整体。

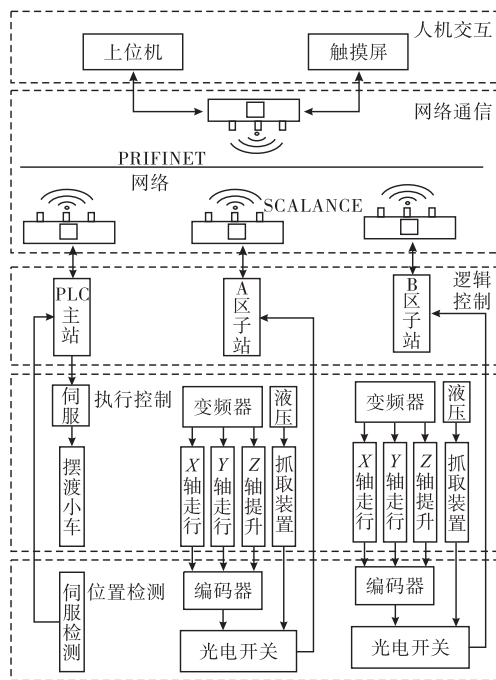


图 2 控制系统结构图

2 控制系统设计

2.1 下位机系统

下位机系统以西门子 1513-1PN 为控制核心,通过与轨枕输送系统、蒸养系统通信协作,实时获取工位和窑位状态,结合窑位、工序需求优先级,动态规划码模机的运动路径,自动计算目标位置,分配

动作顺序,实现双机协同交互运行,进而实现模具存取的全自动智能化控制。码模系统的全自动动作流程图如图 3 所示。

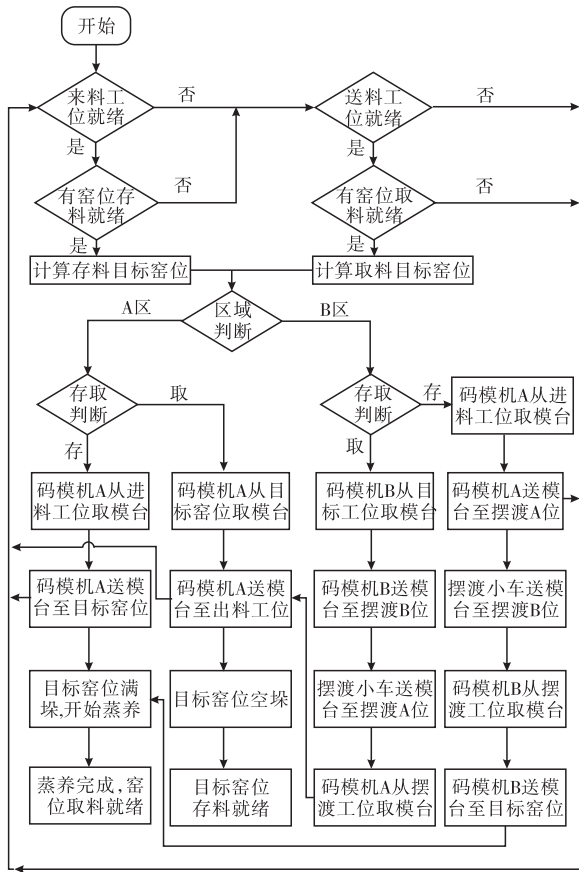


图 3 全自动流程图

系统启动后,第一步是执行模具存取决策流程:PLC 控制逻辑遵循优先从生产线取模具的原则,若检测到进料工位已就绪,且存在至少一个窑位处于存料就绪状态,则立即启动存模具操作,确保轨枕输送线的流畅不中断;若不满足存模具条件,随即检查出料工位是否已就绪、是否有窑位处于取料就绪状态,若满足条件则执行取模具操作,以满足输送线的后续工序需求;如果上述存取模具的条件均不满足,码模机将自动切换至原位待机模式,同时 PLC 循环检测存取条件。

第二步是执行目标位置计算流程:PLC 经过逻辑判断后,确认可执行存取模台的操作时,会依据预设的优先级及顺序,对各个半地下坑式蒸养窑的每一层进行快速而有序的遍历,直到找到符合条件的窑位,随即计算出该窑位的三维坐标,为后续操作提供精准的位置引导。

经过前两步的决策和计算,码模机会执行以下 4 种自动化作业流程:

(1) A 区存模具:当目标窑位位于 A 区时, A 区

码模机自动前往进料工位,精准抓取模具后,直接移动至指定窑位并平稳放下,完成存模操作。

(2)跨区域存模具:当目标窑位位于 B 区时,首先由 A 区码模机将进料工位的模具抓取并运送至过渡平台,随即无缝衔接至下一工作流程,无需等待。与此同时摆渡小车迅速介入,将模具安全转运至 B 区,由 B 区码模机重新抓取模具并存放至指定窑位。

(3) A 区取模具:针对 A 区需取出的模具,由 A 区码模机直接移动至目标窑位并抓取模台,随后前往出料工位释放,完成取模操作。

(4)跨区域取模具:若需从 B 区窑位去模具,首先由 B 区码模机将模具取出并运送至过渡平台,随后经摆渡小车转运至 A 区, A 区码模机从小车上重新抓取模具后运送至出料工位。

在码模机自动运行过程中,当窑位达到满垛条件,即累积存放 24 个模具时,系统会通过即时通信机制自动启动蒸养程序,养护周期结束后,窑位会自动转成取料就绪状态,准备迎接下一阶段的取模操作;相反,当目标窑处于空垛状态时,系统会自动将该窑标记为存料就绪状态,以便接收并存储新一批模具。

当码模机在完成一轮完整的动作流程后,程序将返回至第一步的判断与决策环节,形成一个闭环的自动化作业循环。这一过程无需人工干预,确保码模机可以持续高效的执行各项任务,实现全自动无人化作业。下位机的部分程序如图 4 所示。

1	OPN	"目标参数"	%DB3
2	L	%DBD12	%DBD12
3	T	#层	
4	L	%DBD20	%DBD20
5	T	#列	
6	L	%DBD16	%DBD16
7	T	#行	
8	L	P#0.1	
9	L	#层	
10	*D		
11	T	#层中间值	
12	L	P#2.0	
13	L	#列	
14	*D		
15	T	#列中间值	
16	L	P#20.0	
17	L	#行	
18	*D		
19	T	#行中间值	
20	L	#层中间值	
21	L	#列中间值	
22	+D		
23	T	#计算中间值	
24	L	#行中间值	
25	+D		
26	T	"目标位置对应有无间接地址"	%MD112
27	L	P#0.1	
28	+D		
29	T	"目标位置上层对应有无间接地址"	%MD116
30	L	P#0.2	
31	-D		
32	T	"目标位置下层对应有无间接地址"	%MD120

图 4 PLC 程序图

2.2 人机交互系统

触摸屏与上位机共同组成人机交互系统,其中触摸屏选用西门子精智面板 TP900,集成在 PLC 主站上。为优化用户的交互体验,触摸屏融合图形化显示和动态动画效果,设计了蒸养窑、参数设置、报警查询和用户管理等多个界面,不仅展示设备的当前运行状态,还呈现了蒸养窑窑位详情、正在执行的操作流程以及故障报警等关键信息,如图 5 所示。

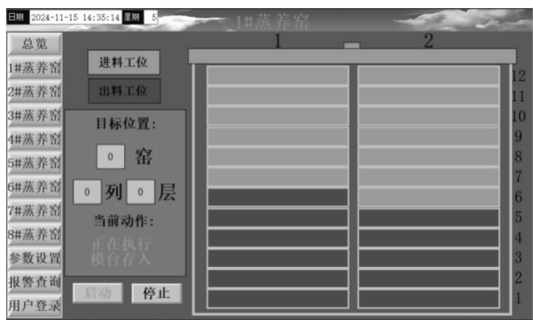


图 5 触摸屏界面

上位机采用 WINCC7.5 组态软件,部署在轨枕生产车间的中控室,除码模系统的运行监控外,上位机系统集成了人员管理、数据记录、生产报表等管理功能。人员管理功能可以为每位操作工配置独立的登录凭证,登录后可以实时跟踪个人出勤状况、生产进度及任务达成情况;数据记录功能可以将生产过程中的关键数据,如模具在各班次的流通量、模具存取的平均耗时以及各个设备的运行率和故障率等存入系统的数据库中;生产报表功能是通过内置算法将数据库中的数据分类汇总,自动生成各种生产报表,如班产报表、模具流转分析报告等,同时,上位机还支持将报表导出为 Excel 格式文件,方便用户进行深入的数据挖掘和分析。

2.3 定位与安全系统设计

码模机需要完成的动作主要有 X 与 Y 走行装置在水平方向的往复运动、Z 提升装置在垂直方向的升降运动以及模具的抓取和放下。其中,除模具的抓取和放下是由液压装置完成外,其余动作均涉及大惯量运动,这意味着在重载条件下,刹车后的冲击力和惯性成为影响码模机定位精度的关键因素。为解决这一问题,该文设计了一套集成编码器和光电式感应开关的复合位置传感定位系统。

在 X, Y 走行装置电机的中心轴上集成高精度多圈式绝对值旋转编码器,在 Z 提升装置上部署拉绳编码器,以此构建码模机的三维运动坐标系。码模机运动过程中接近目标坐标点时,自动划分较大范围的减速区域和较小范围的爬行区域,采用三段

速控制方法:码模机首先以高速模式向目标位置移动,随后在减速区域内首次减缓速度,进入爬行区域后进一步精细调整速度,直至感应到接近开关信号后,实现精准且平稳的停止。针对 X, Y 向可能出现的因走行装置打滑而累积的编码器误差问题,在码模车架上布局多个等间距的光电式感应开关,作为固定的坐标校准点,每当码模机经过这些感应开关时,系统将自动校准并更新编码器的数值,从而消除累积误差,提高长期运行的定位精度。在 Z 向控制上,采用双重编码器校验机制,除拉绳编码器外,再额外配置了 1 台旋转编码器,在提升或下降过程中,2 台编码器同步工作,实时记录并相互校验 Z 向位置数据,以提升位置反馈的可靠性,达到平稳调速和精准制停的目的。

为确保码模机的安全运行,设计基于时基中断的运动故障检测算法,检测流程如图 6 所示。

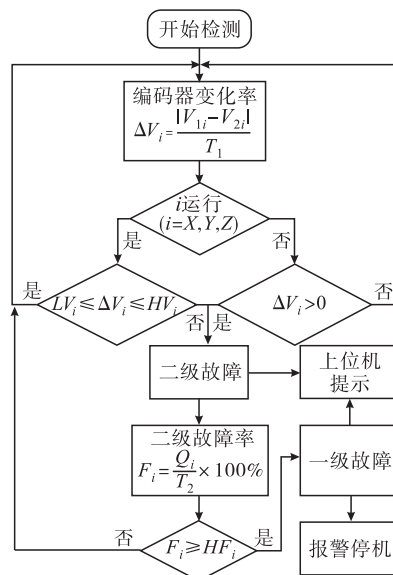


图 6 运动故障检测算法

码模机在任意方向运动过程中,实时自动记录当前时间周期的编码器数值 V_{1i} (i 代表 X, Y, Z 三个方向,下述 i 具有同等定义),和上一时间周期的编码器读数 V_{2i} ,通过计算编码器数值变化量与中断周期 T_1 的比值得到编码器数值的变化率 ΔV_i 。如果码模机在 i 方向正在运行,编码器变化率在正常范围内(变化率大于低限 LV_i 且小于高限 HV_i),则说明码模机在该方向运行正常;如果码模机在 i 方向正在运行,但是编码器变化率超出了正常范围,或者码模机在 i 方向处于静止状态,但是编码器的变化率却大于 0,则说明码模机在该方向的运动出现故障。此故障定义为二级故障,不影响码模机的当前运动,只在人机交互系统中显示,提醒操作人员注意;系统

会将此故障的具体信息,如发生时刻、变化率数值以及当前故障计数等存入数据库,方便操作人员对故障信息进行管理和分析。另外,系统会根据故障诊断周期 T_2 内发生的二级故障数量 Q_i 实时计算二级故障率 F_i ,如果二级故障率超过了预设的故障率高限 HF_i ,则触发一级故障,系统会强制停机,并在上位机系统中提醒操作人员进行故障排除和修复。操作人员可以根据现场经验和码模机的实际运行情况自定义报警阈值,在保证安全生产的前提下,减少系统误报警,提高生产效率。

3 现场应用

全自动码模系统在中铁集团某工程公司制梁场的预制轨枕生产线上进行了试用,如图7所示。



图7 现场安装使用情况

在传统模式下,一个班组需配备3名操作工,其中2名专注于天车控制以完成模具的存取作业,另1名则负责根据蒸养窑、进料及出料工位的状态进行复杂调度,使得平均模具存取时间为8分钟/次,

此流程不仅作业周期长效率低,且由于交叉作业频繁,存在不容忽视的安全隐患。引入轨枕全自动码模系统后,仅需1名操作工进行现场巡视与监控,即可确保系统顺畅运行,平均模具存取时间也缩短为5分钟/次,提高了生产效率,大幅降低了人力成本,同时消除了人为操作错误与交叉作业带来的安全风险。

4 结论

预制轨枕全自动码模系统的实地部署和测试表明,模具的平均存取时间减少了37.5%,提高了生产效率,同时班组人员减少了2人,并大大减少了工人的劳动强度,节约了人工成本。系统的开发和应用于预制轨枕生产领域的智能化码垛提供了技术支持,为相关行业的转型升级提供了实践案例与参考。

参考文献:

- [1] 冯栋梁. 双块式轨枕智能运输与养护技术研究与应用[J]. 科技与创新,2021(21):167-169.
- [2] 王明慧,王剑,孟庆斌,等. 高速铁路双块式轨枕智能制造技术[J]. 铁路技术创新,2020(04):101-106.
- [3] 刘天宋,张俊,张任天,等. 基于视觉的工业机器人码垛控制系统[J]. 工业仪表与自动化装置,2023(01):51-55+126.
- [4] 王剑. 加气混凝土砌块生产线智能化控制系统研发[D]. 南京:南京理工大学,2022.
- [5] 余稳胜,王苗苗,王蕊. 冲压件回收机器人搬运码垛系统设计[J]. 制造业自动化,2023,45(12):115-118.
- [6] 庞增栓,邓菲. 混凝土预制构件码垛控制系统设计[J]. 机床与液压,2016,44(10):31-33.
- [7] 郑爱国,康祥梅. 双块式轨枕智能化生产的有效途径分析[J]. 中国设备工程,2022(09):44-47.
- [8] 张涛. 分布式I/O系统在工业现场的应用[J]. 中国仪器仪表,2023(08):32-35.
- [9] 黄贺. 基于SIMATIC ET200SP分布式I/O的辊压机控制系统的结构设计[J]. 水泥技术,2023(05):77-80.
- [10] 于海斌,曾鹏,梁炜,等. 无线化工业控制系统:架构、关键技术及应用[J]. 自动化学报,2023,49(03):540-549.