

基于 FX5U 位置控制的 PCB 内层芯板物流仓储控制系统设计

胡忠华, 崔兴强

(深南电路股份有限公司, 广东 深圳 518117)

摘要:在 PCB 制造业智能化推进过程中, PCB 内层芯板生产具备典型的多品种、小批量、工艺复杂等特性, 其种类和层数越来越多, 工艺流程越来越复杂, 经常面临工序板件堆积数量多、转工难的生产状况, 根据业务和智能制造需求, 该文设计了基于位置控制的 PCB 内层芯板物流仓储控制系统, 通过 FX5U 实现各组成部分间的协同和总控, 主要包括系统硬件组成和控制方案设计, 并对系统的 PLC 控制分布式网络、位置控制电路设计、交互任务和数据设计、监控显示等做了详细分析。经过实践运行, 系统稳定, 达到了控制精度要求, 提高了生产效率, 可以加速 PCB 制造行业的数字化、智能化转型进程。

关键词:位置控制; PCB; 内层芯板; 物流仓储

中图分类号: TP23

文章编号: 1000-0682(2024)05-0034-06

文献标识码: B

DOI: 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.05.007

Design of PCB inner layer core board storage and logistics control system based on FX5U position control

HU Zhonghua, CUI Xingqiang

(Shennan Circuits Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518117, China)

Abstract: In the process of promoting the intelligence of PCB manufacturing industry, the production of inner layer PCB has typical characteristics such as multiple varieties, small batches, and complex processes. The variety and number of layers are increasing, and the process flow is becoming more and more complex, often facing the production situation of a large number of stacked process boards and difficult conversion. Based on business and intelligent manufacturing needs, this article designs a PCB inner layer core board logistics and warehousing control system based on position control. Through FX5U, the coordination and overall control between various components are achieved, mainly including system hardware composition and control scheme design. Detailed analysis of the PLC control distributed network, position control circuit design, interactive tasks and data design, monitoring and display of the system is also conducted. After practical operation, the system is stable, meets the control accuracy requirements, improves production efficiency, and can accelerate the digital and intelligent transformation process of the PCB manufacturing industry.

Keywords: position control; PCB; inner layer core board; logistics storage

0 引言

21 世纪以来, 随着新一代信息技术的出现, 世界各国制造业大国纷纷推出抢占未来制造业的制高点战略规划^[1], 《中国制造 2025》将“智能制造工程”

收稿日期: 2024-03-20

第一作者: 胡忠华(1976—), 女, 安徽人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为智能制造、大数据分析、AI。

作为五大工程之一,提出信息化和工业化两化融合。通过建设离散型智能制造模式的 PCB 工厂,实现能耗降低、安全可控、生产高效、成本降低。在供应链决策系统方面,实现生产流程数字化、订单交付可视化、质量管控精确化,降低不良品率^[2]。PCB 实现智能化生产,最重要的是要建立智能物流^[3-4],通过合适的加工工艺流程和加工设备及智能控制系统,满足产品制造和计划匹配。

针对 PCB 物流系统的研究开发,目前已有一些研究。宋新建^[5]研究了 PCB 物料运送的 AGV 系统;刘高强^[6]重点研究了 AGV 运输系统在 PCB 生产车间的应用实现;而对具体 PCB 工厂跨楼层跨工序转工,其加工工艺和流程布局、设备种类以及工厂基建结构都不相同,因此需要针对具体工厂楼层和布局建设适合的工艺设备流程 and 控制系统,实现产品的快速输送和转工。

PCB 内层芯板生产具备典型的多品种、小批量、离散化、变更更多和工艺复杂等特性^[7],相比一般的制造型企业更加复杂。其主要制作流程如下:下料→内层图形→内层蚀刻→内层冲槽→内层检验→棕化→配板→层压,内层检验工序是内层制作的重要质量保证,是转入外层的最后一道工序。PCB 制造层数越来越高,对内层线宽和间距的可靠性和质量要求极高。在 PCB 制造中,经常面临 PCB 内层芯板待产多、种类多的场景,半成品内层芯板种类有 16 inch, 24 inch, 36 inch, 48 inch 等,某一时间内内层 AOI 检验后的内层芯板统计如下:

20PNL 以上工单数 1072 个:尺寸 ≤ 24 inch, 940 个, 36 inch \geq 尺寸 > 24 inch, 132 个;

20PNL 以下工单数 237 个:尺寸 ≤ 24 inch, 202 个, 36 inch \geq 尺寸 > 24 inch, 35 个;

另外还有不配套管理的内层芯板统计如下:

20PNL 以上工单数 226 个,尺寸 ≤ 24 inch, 202 个, 36 inch \geq 尺寸 > 24 inch, 24 个;

20PNL 以下工单数 312 个,尺寸 ≤ 24 inch, 275 个, 36 inch \geq 尺寸 > 24 inch, 37 个。

在内检工序放置传统载具存放内层芯板已不能满足生产需要,研究 PCB 内层芯板半成品存储与转工具有重要的意义。该文根据具体厂房规划布局和 PCB 内层芯板的生产模式,设计了基于 FX5U 位置控制的芯板仓储控制系统,可作为 PCB 智能制造系统的重要组成部分,有效提升 PCB 生产计划的执行效率。

1 PCB 工厂布局规划设计

在 PCB 制造中,外层加工设备(钻机、压机等)震动大、负荷重,多楼层厂房生产流程规划中,外层加工布局设计在一层,内层加工布局在厂房高层。内层检验后转工到棕化外层前工序,对应的内层产品需要从高层运输到一层。传统的运输主要是装有内层芯板的载具车通过货梯运输到棕化工序的待产区。立体仓库多应用于存储原材料、半成品、成品等,其突出的优点是空间利用率高,适合 PCB 制造过程中的小批量,数量多半成品存储,在跨多楼层空间设计存取内层芯板在制品的立体仓储及传送,设计布局如下:(1)垂直传送提升;(2)立体货架在制品存储;(3)水平传送。规划设计 2 排高层货架与 1 条巷道共同组成的结构,同时在巷道中设计一台堆垛机^[8-9]实现在制品内层芯板出入库。芯板物流仓储系统布局部分见图 1 所示,主要组成部分见图 2 表示。内层芯板内层检验 AOI 后收板机收板,由 AGV 搬运至提升机对接载位,提升机上升到高层从输送线取内层芯板;提升机下降至一层,放板于输送线上,通过输送线传送、堆垛机自动存放于立体仓库中。棕化工序要内层芯板板件时,堆垛机从立体仓库取板后放于出库输送线上,通过 AGV 送至棕化放板位。

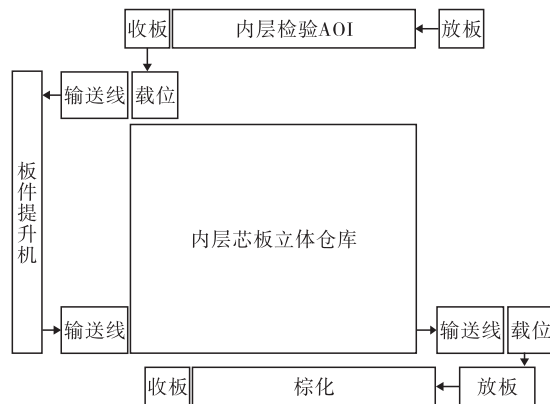


图 1 内层芯板物流仓储系统布局图

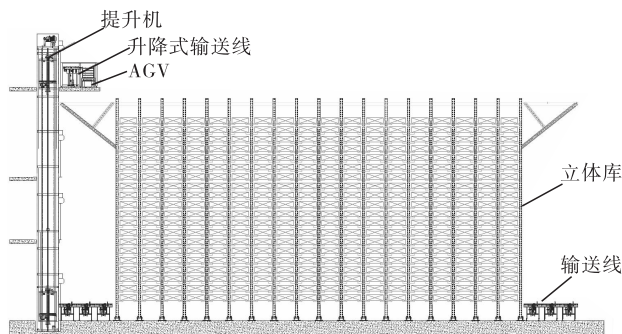


图 2 内层芯板物流仓储系统组成图

2 硬件控制方案设计

2.1 控制结构与网络配置

根据机械硬件组成部分,设计系统控制结构如图 3 所示,最上层为上位机^[10]管理系统,负责和制造执行(MES)交互生产信息,并通过 PLC 调度垂直传送提升、堆垛机存取、水平输送和自动导引车 AGV^[11-12]完成内层芯板的转移。上位机管理系统负责仓储业务逻辑的处理,下层 PLC(FX5U)负责具体物流设备的控制。PLC 是物流仓储硬件控制的核心,分为监控系统和调度系统。监控系统通过 MT8102IE 实现对整个系统的监视和各个设备的控制,通过 IO 采集传感器、感应器信息,对提升机、堆垛机及输送线等设备的运行状态和参数进行实时监控。调度系统主要通过 IO 控制电机驱动提升机、堆垛机、输送线执行内层芯板的存储及转移。

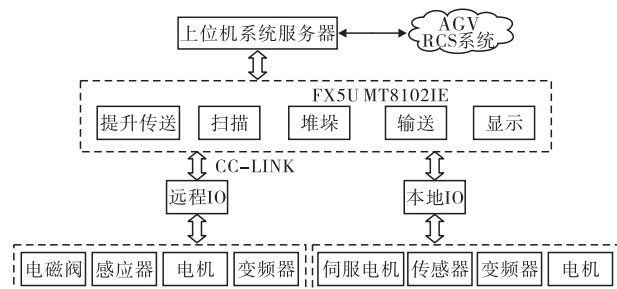


图 3 控制系统结构图

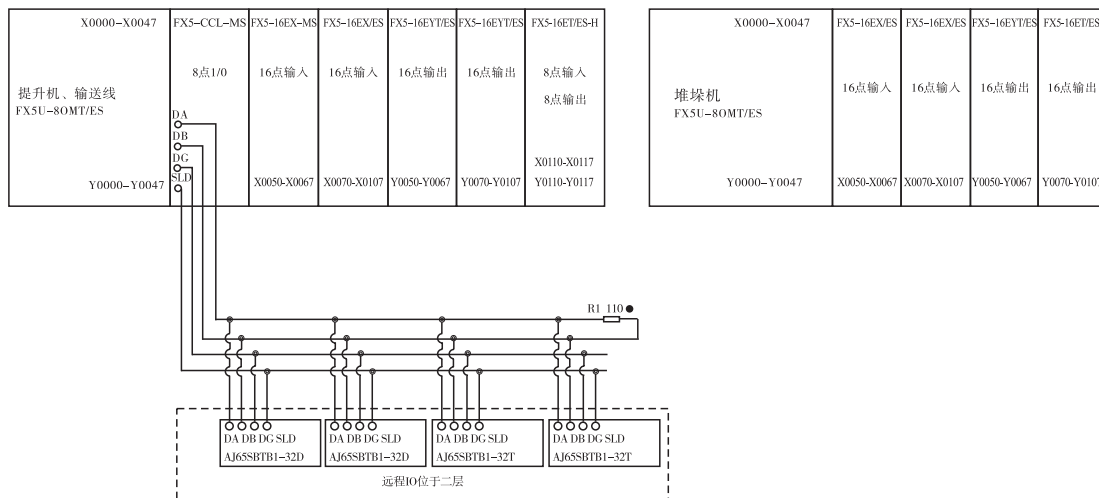


图 4 PLC 控制模块接线图

2.3 位置控制电路设计

堆垛机位置控制电路设计是设计核心。堆垛机对立体仓库的货位位置定位精度高,横向移动和升降控制采用伺服电机控制,功率 2000 W,伺服驱动

2.2 分布式 PLC 控制网络设计

提升机、输送线、堆垛机是内层芯板物流仓储硬件组成的核心部分,它负责完成内层芯板的制造转工任务。提升机设计垂直的移动货叉结构,在垂直方向转运芯板;输送线采用滚筒设计,水平方向转移芯板。堆垛机设计水平的移动货叉结构,完成立体货架内存取内层芯板。提升机、输送线和堆垛机根据上位机发送的信息执行内层芯板的位置转移,精确的位置控制是控制系统设计的关键技术,三菱 FX5U 采用了最新的处理器和高速总线技术,能够实现高速、高精度的位置控制;同时,还采用了高性能的数字信号处理器,能够实现高速模拟量和数字信号处理。根据设计要求:芯板立体存储位置精度误差 $< 3 \text{ mm}$, CPU 选择 FX5U-80MT/ES,能驱动 4 轴定位,满足货叉结构伺服 X,Z 轴定位精度要求。提升机和输送线布局于高楼层和一层,楼层距离大于 10 m,电气控制柜设计位置在一楼,一楼输送线和提升机直接通过 I/O 模块 FX5-16EX 和 FX5-16EYT 控制;二楼输送线 I/O 控制线跨楼层施工难度大,要求也高。所以设计分布式控制系统,提升机和输送线共 CPU,提升机和一楼输送线部分通过 FX5U 直接控制,二楼输送线部分通过 CC-LINK 扩展远程 I/O 控制,FX5-CCL-MS 作为主站,AJ65SBTB1-32D(DC 输入)和 AJ65SBTB1-32D(晶体管输出)作为远程 I/O 从站,其 PLC 控制模块接线图如图 4 所示。

器对应伺服驱动器为 ASD-B2-2023-B;其控制电路设计如图 5 所示,货叉伸缩移动采用变频器控制电机,绝对编码器 E6CP-AG5C 反馈货叉伸缩移动位置。

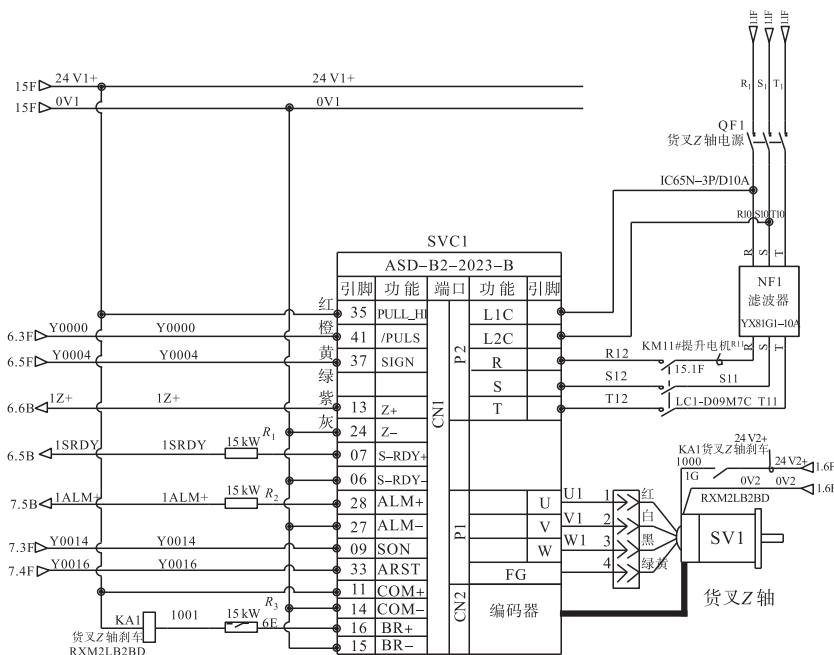


图5 堆垛机控制器伺服系统控制电路图

3 系统 IO 分配和控制程序设计

3.1 远程 IO 配置

一楼控制柜主站与二楼输送线从站(I/O)之间的 CC-LINK 通信关系映射在软件中设计如图 6 所示。设计远程 IO 配置链接侧 RX 为 00000-0008F 对应 FX5U 输入为 X1000-1217;远程 IO 配置链接侧 RY00000-0008F 对应 FX5U 输出为 Y1000-1217;输入输出各 144 个 IO 点位,见图 7 所示。实际使用 IO 如 X1035:一层 1#输送启动,X1036:一层 1#输送停止,X1037:一层急停。Y1124:一层 1#输送启动,Y1140:一层三色指示灯红,Y1141:一层三色指示灯绿,Y1142:一层三色指示灯黄。

设置项目									
No.	链接侧					CPU侧			
	元件名	点数	起始	结束		元件名	点数	起始	结束
-	SB								
-	SW								
1	RX	144	00000	0008F	指定软元	X	144	1000	1217
2	RY	144	00000	0008F	指定软元	Y	144	1000	1217
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									

图6 CPU 主站与从站 IO 对应设计

3.2 位置控制系统关键 I/O 设计

堆垛机的位置控制在三个维度移动,X 方向行走通过驱动轴带动车轮,在导轨上做水平移动;Z 方向提升电机通过链条驱动载货台做垂直移动;货台

上的货叉在 Y 方向作伸缩运动。通过 X,Y,Z 三个方向定位可将目标位置的内层芯板取出或将内层芯板存入目标位置。在 X,Z 轴伺服控制中,设计伺服接近信号为高速输入 X00 和 X01,伺服准备信号为高速输入 X02 和 X03;Y 轴编码器输入为通用输入 X70~X77。具体堆垛机 X,Z 轴伺服驱动和 Y 轴编码关键 I/O 设计见表 1 所示。

表1 堆垛机 X,Y,Z 轴伺服/编码控制 I/O 表

I/O 地址	功能说明	I/O 地址	功能说明
X00	Z 轴伺服接近	Y01	堆垛机 X 轴脉冲
X01	X 轴伺服接近	Y04	堆垛机 Z 轴方向
X02	Z 轴伺服 READY	Y05	堆垛机 X 轴方向
X03	X 轴伺服 READY	X70	编码器线 1 褐色
X04	Z 轴伺服 Z 信号	X71	编码器线 2 橙色
X05	X 轴伺服 Z 信号	X72	编码器线 3 黄色
X10	Z 轴伺服 FLS	X73	编码器线 4 绿色
X11	Z 轴伺服 RLS	X74	编码器线 5 蓝色
X12	X 轴伺服 FLS	X75	编码器线 6 紫色
X13	X 轴伺服 FLS	X76	编码器线 7 灰色
Y00	堆垛机 Z 轴脉冲	X77	编码器线 8 白色

3.3 控制程序设计

3.3.1 作业流程设计

内层芯板立体仓库作业流程主要为入库、出库和移库。入库作业流程:当内层芯板载盘入库时,经过输送线和提升机送到堆垛机上架入库口,堆垛机收到上位机发送的入库指令和目标地址,通过自动寻址,将货物存放到指定货位。在完成入库作业后,

堆垛机向上位机管理系统反馈入库完成信息。如图 7 所示。

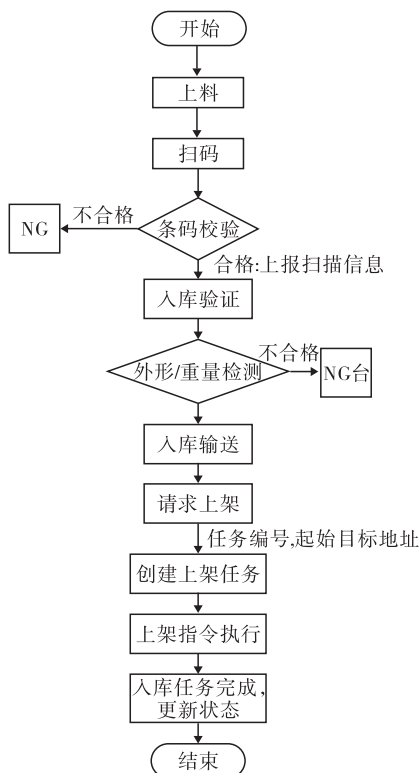


图 7 入库作业流程图

出库作业流程:当棕化工序需要内层芯板,堆垛机收到上位机发送的出库指令和目标货位地址,通过自动寻址,先到指定货位取内层芯板至堆垛机下架口。再由输送线将货物送到出库口,在完成出库作业后,堆垛机向上位机反馈出库完成信息。移库作业同出库作业流程类似。

3.3.2 作业流程交互数据区设计

设计上位机和 PLC 交互过程如下:上位机读取堆垛机 PLC 的状态,当堆垛机处于空闲状态时下发任务;上位机生成一个任务,写入任务命令区对应的数据。PLC 读取任务命令区并判断任务是否为新任务,如是则开始作业;任务完成后,将执行的任务和完成状态写入任务完成反馈区,同时将任务命令区清 0;上位机读取反馈区信息和任务执行完成状态,确认任务完成。

控制交互数据区的信息主要是任务和位置等数据,上位机和 PLC 定义专用存储区作为数据交互区,主要数据交互如下:(1)状态区(D5102):当前堆垛机的状态和模式,PLC 控制器写入;(2)任务命令区(D5000~D5016):上位机写入需要执行的任务命令,PLC 读取到任务后,开始执行;(3)任务完成反馈区(D5120、D4900):当 PLC 执行任务完成后,写

入完成任务的任务号及完成状态;(4)确认区(D5018):上位机读取任务完成反馈区的任务号,并确认任务完成。设计的关键交互信息和地址如表 2 所示。

表 2 堆垛机关键交互信息表

序号	功能描述	PLC 地址
1	PC→PLC 任务号	D5000
2	PC→PLC 作业类型	D5002
3	PC→PLC 入库行	D5004
4	PC→PLC 入库列	D5006
5	PC→PLC 入库层	D5008
6	PC→PLC 出库行	D5010
7	PC→PLC 出库列	D5012
8	PC→PLC 出库层	D5014
9	PC→PLC 命令开始	D5016
10	PC 响应成功	D5018
11	PLC→PC 堆垛机状态	D5102
12	PLC→PC 堆垛机模式	D5104
13	PLC→PC 堆垛机排号	D5112
14	PLC→PC 堆垛机列号	D5114
15	PLC→PC 堆垛机层号	D5116
16	PLC→PC 堆垛机故障代码	D5118
17	PLC→PC 堆垛机完成	D5120
18	PLC 接受指令成功	D5122

3.3.3 控制程序设计

控制程序采用 PLC 梯形图编制,关键程序有任务控制、任务状态反馈和位置示教模块;任务下发控制程序主要是上位机发送给 PLC 的程序,如图 8 所示,L200 寄存器为与上位 PC 联机/脱机信息,在和上位联机状态下,D5102 堆垛机状态为 1 时,代表堆垛机 PLC 空闲状态,可下发任务。D5002 为作业类型,D5502 为作业类型中转地址,D5602 为作业类型判断,当 D5602 = 1 时,为入库命令,当 D5602 = 2 时,为出库命令,当 D5602 = 3 时,为移库命令。然后将作业类型转换为中间寄存器 M3100、M3101、M3102。同时将 D5120 置 0 和 D5122 置 1,表示接受任务指令成功。

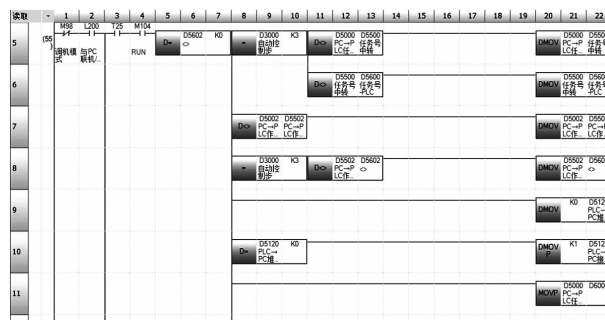


图 8 任务控制程序图

任务反馈程序主要是 PLC 向上位机反馈状态信息,如图 9 所示,D5104 反馈操作模式,手动模式下 D5104 = 1,自动运行模式 D5104 = 2,联机运行模式 D5104 = 3;D5112、D5114、D5116 为 PLC 向上位机反馈的行、列、层信息。



图 9 任务反馈程序设计图

X、Z 轴示教是位置控制程序的关键,如图 10 所示为 X 轴(移动)示教各个位置的程序。D851 为 X 轴示教,其各个位 D851.0、D851.1、D851.2 等分别为各 X 轴示教控制位。D1500 为当前 X 轴位置地址,D1504 为 X 轴伺服待机位地址。同理,对于 Z 轴(升降)示教程序类似。

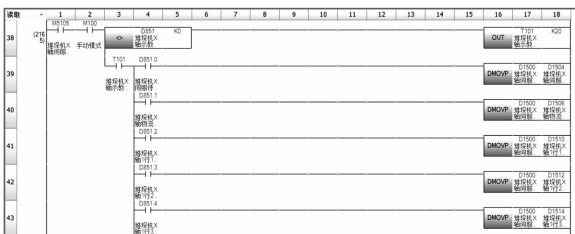


图 10 X 轴示教程序

3.4 监控显示

根据需求和功能,分析实际应用情况,设计的监控显示由以下部分组成:整机监控、手动点动、单步运行调机、参数配置。(1)整机监控,显示仓库货位状态和任务号,见图 11;(2)手动点动和单步运行调机,在手动和单步模式下,通过直接点击界面上的按钮控件就可以调试和出入库操作,见图 12;(3)参数配置,系统初始化和参数设置。

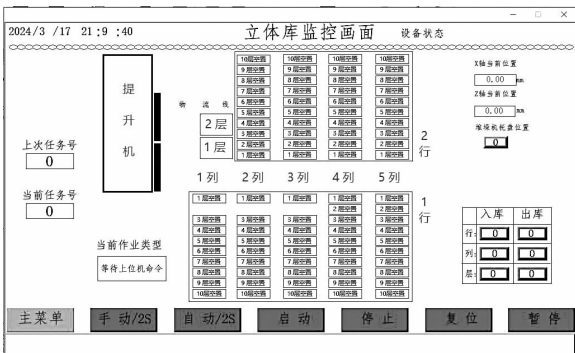


图 11 监控显示

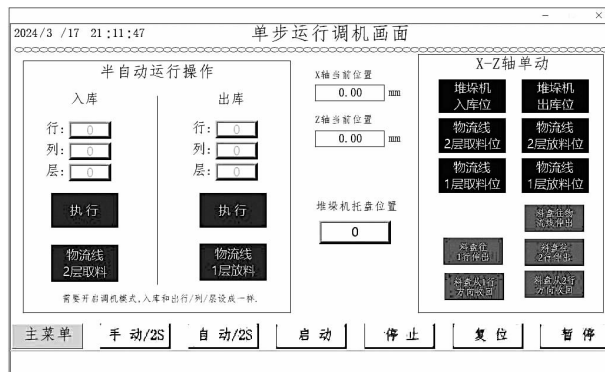


图 12 单步运行图

4 结语

PCB 内层芯板生产具有典型的多品种、小批量、变更多和工艺复杂等特性,经常面临 PCB 内层检验后种类多、板件数量多、要求高的生产状况,该文对 PCB 制造的内层芯板物流进行分析,设计了基于 FX5U 位置控制的 PCB 内层芯板物流仓储控制系统。首先介绍了内层芯板的物流仓储组成,规划了系统 PLC 控制结构和分布式控制网络,设计了位置控制电路和关键 IO,最后对存取作业流程和关键控制程序设计、存取任务及交互数据、监控显示作了详细分析。实际运行情况表明,将基于 FX5U 位置控制的 PCB 内层芯板物流仓储控制系统设计应用到 PCB 内层检验工序,内层芯板按批次和工单在仓储有序存放,系统能实时显示内层芯板档案号、芯板层次、数量等,大幅减少了操作人员的转运和查找操作,工单转工信息实现自动记录,方便数据查询,取得了较大的经济效益,促进实现 PCB 制造内层物流信息化、标准化和精益化,有助于打造 PCB 全流程供应链的竞争力。

参考文献:

- [1] 饶有福,王云,邹国童,等.面向工程机械制造智能工厂的通用数据采集系统研发与应用[J].制造业自动化,2023,45(5):13-16.
- [2] 曹磊磊,孙军,雷川,等.离散型智能制造模式在 PCB 工厂的探索与应用[C].2023 秋季国际 PCB 技术/信息论坛,2023:79-86.
- [3] 金楠,吴双,徐健,等.离散制造车间件箱物流输送控制系统的应用[J].制造业自动化,2023,45(4):208-212.
- [4] 林金堵. PCB 产业的智能制造之我见[J].印制电路信息,2017(5):22-25.
- [5] 宋新建.一种 PCB 物料运送的 AGV 系统[J].印制电路信息,2022(5):51-53.

(下转第 64 页)

4 结论

根据乙烯裂解炉热电偶的 FMEA 分析,结合热电偶的相关参数,对热电偶进行设计改进和优化补偿措施。该次设计方案中选择的测温元件为 K 分度的单支式热电偶,考虑到使用寿命,选用的测量端形式为绝缘式。该热电偶的长期最高工作为 1100 ℃,短期最高工作温度为 1200 ℃。

热电偶测温核心元件选用高品质测温芯;保护管在高温、酸碱环境中易引起腐蚀,选用耐高温、腐蚀速率慢的 Inconel 800H 合金。接线盒设计时,选用 ADC12 铸铝材质,表面喷聚氨酯涂层。

参考文献:

- [1] 陶小利,高嵩,黄宏伟,等. 耐高温压力变送器在特殊场合应用的分析[J]. 工业仪表与自动化装置, 2021(6):112-113.
- [2] 陈垦伦, 灵敏仪, 梁佩博, 等. 基于 FMEA 的某型高温熔盐压力变送器可靠性分析[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2023(02):33-39.
- [3] 陈清清. K 型热电偶高温测温特性的研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2021.
- [4] 系统可靠性分析技术、失效模式和影响分析(FMEA)程序:GB/T 7826—2012 [S]. 2012.
- [5] 故障模式、影响及危害性分析指南:GJB/Z 1391—2006 [S]. 2006.
- [6] 可靠性维修性保障性术语:GJB 451A—2005[S]. 2005.

(上接第 30 页)

- [6] JANI F, ADHAMDOUST S R, HOSSEINIS, et al. Process monitoring of polyolefin slurry – phase polymerization in continuous stirred – tank reactor via analysis of acoustic emission waves [J]. Brazilian journal of chemical engineering, 2023; 1 – 13.
- [7] 唐宇, 黄海龙. 反应釜实训装置的设计与应用 [J]. 机械设计与制造, 2023, 388(6): 176 – 179 + 183.
- [8] WU F, YANG F, MAD, et al. Design of virtual digital os-

cilloscope based on LabVIEW[J]. E3S Web of Conferences, 2021 (268) :1059.

- [9] 周细凤,曾荣周,林愿,等. 基于 NI Multisim 和 LabVIEW 的通信电子线路课程开放式虚拟实验平台[J]. 实验科学与技术,2020,18(5):135-139.
- [10] GE Z, GUO H, WANG T, et al. Universal graph filter design based on butterworth, chebyshev and elliptic functions[J]. Circuits, Systems, and Signal Processing, 2023,42(1):564-579.

(上接第 39 页)

- [6] 刘高强. AGV 自动运输系统在 PCB 生产车间的应用研究[D]. 成都: 西华大学, 2018.
- [7] 戴博, 杨根科. 面向高端装备制造企业的智能生产物流系统设计[J]. 制造业自动化, 2017, 39(6): 136 - 139.
- [8] 张晓东, 曹毅, 李秀娟. 立体仓库巷道堆垛机控制系统设计[J]. 自动化仪表, 2013, 34(5): 46 - 48.
- [9] 梁胜涛, 陈良坤, 舒奇奇, 等. 基于无线通信与 RFID 定位的智能仓储系统的设计[J]. 自动化技术与应用,

2020,39(1):169–172.

- [10] 吴淑梅,张志超,赵剑伟,等. 基于视觉与 PLC 的面相物流末端的智能分拣统[J]. 机电工程技术,2022,51(5):112-115.
- [11] 高净净. 基于 MES 与 AGV 互连的智能仓储系统设计[J]. 机电工程技术,2021,50(7):72-74.
- [12] 薛玉东,贺鹏飞,王中训,等. 基于分布式控制系统的带电作业工器具智慧仓储设计[J]. 电子设计工程,2023,31(24):42-46.

(上接第 43 页)

- [6] 张雁忠,刁嘉,翟化欣,等.基于嵌入式技术的风电场智慧监控系统[J].微型电脑应用,2023,39(10):91-94.
- [7] 晋高建.基于BAS-BPNN模型的风电机组塔筒倾斜度预测研究[J].电气技术与经济,2023(10):20-23+28.
- [8] 赵飞飞,张显云.三维激光技术在风力发电机塔筒垂直度检测中的应用[J].电视技术,2023,47(06):201-204.

- [9] 乐天达,赵强,章志鸿,等. 基于 PWKNN 算法的风电系统故障诊断研究[J]. 微型电脑应用,2024,40(01): 188-192.
- [10] 杜静,许亚能,谢双义,等. 基于 TMD 的风力机塔筒振动控制研究[J]. 太阳能学报,2021,42(02): 157-162.
- [11] 单立宇,张兰红,陈小海. 基于磁链预测的永磁直驱风力发电机 SVM-DTC 技术[J]. 电子设计工程,2023,31(4): 62-67.