

面向柔性电路板蚀刻产线的自动化管理设计

陆庭中 束长俊

酷网信息科技（常州）有限公司，江苏常州，210023；

摘要：为了提高柔性电路板蚀刻生产线的出品质量、效率和良率，设计一个柔性线路板蚀刻生产线的自动化管理系统是十分必要的。本文分析了柔性线路板蚀刻生产线自动化管理系统在数据采集、控制、监控、操作等方面的特点和优势，设计了一个基于分层柔性电路板蚀刻产线的自动化管理系统框架，并讨论了其中的数据采集与实时监控、基于故障检测的产线控制、基于消息的事务处理等关键技术。实践结果证明，采用本框架的生产线管理系统能够有效满足实际生产的需要。

关键词：柔性线路板；生产线；自动化管理系统

Design of Equipment Automation Programming for Flexible Circuit Board Etching Line

LU Tingzhong, SU Changjun

Coolnet Information Technology (Changzhou) Co., LTD., Changzhou 210023, China;

Abstract : To enhance the quality, efficiency, and yield of flexible circuit board etching production line, it is imperative to design an Equipment Automated Programming system for flexible circuit board etching production. This paper examines the characteristics and advantages of the automatic management system in terms of data acquisition, control, monitoring, and operation within flexible circuit board etch production lines. Furthermore, it proposes a hierarchical framework for the Equipment Automated Programming system based on flexible circuit board etch production lines while discussing key technologies such as data acquisition and real-time monitoring as well as fault detection-based production line control and message-based transaction processing. The practical results demonstrate that this framework effectively fulfills the requirements of actual production.

Keywords : flexible circuit board, production line, equipment automation programming

DOI:10.69979/3041-0673.24.6.046

引言

随着电子行业的快速发展，柔性电路板（Flexible Printed Circuit board, FPCB）作为电子制造领域的关键组件，以其轻薄、可弯曲、可折叠等特点，在智能设备中得到广泛应用^[1]。为了提高柔性电路板蚀刻生产线的出品质量、效率和良率，设计一个高质量的柔性线路板蚀刻生产线的自动化管理系统（Equipment Automation Programming, EAP），满足市场对高质量、高效率 FPCB 的需求十分必要^[2-3]。

本文对柔性线路板蚀刻生产线自动化管理系统（FPCB-EAP）的功能和特点进行了调研，总结对比 EAP 实施给产线带来的整体优势。进一步设计了一个基于分层的 FPCB-EAP 框架，讨论了其中的数据采集、产线控制、事务处理等关键技术。

1 FPCB-EAP 系统

EAP 软件在柔性电路板（FPC）生产线管理系统中的

应用，已成为推动电子行业智能化转型的重要力量。它能够根据预设的生产计划自动调整设备运行参数，确保生产过程的连续性和高效性；通过对人力、物料和设备资源的精准调度，企业能够避免资源浪费，降低生产成本。FPCB-EAP 是提高生产效率和产品良率的关键。随着技术的不断进步和应用的不断推广，该系统在提高生产效率、降低生产成本、提高产品质量等方面发挥更加重要的作用^[4-6]。

柔性线路板蚀刻产线自动化管理系统通常由以下四个部分组成，其技术优势如图 1 所示。

①数据采集系统：通过传感器等设备实时采集生产线上的各种数据，如温度、压力、气体流量、蚀刻速率等，并将这些数据通过监控系统传输到中央控制系统进行分析和处理。

②监控系统：对采集到的数据进行实时监控和显示，帮助操作人员了解生产线的运行状态。

③控制系统：负责整个生产线的运行控制和协调，

通常采用可编程控制器或工业计算机作为核心控制器^[4]。

④智能决策系统：基于数据分析结果，自动调整生产参数，优化生产流程，提高生产效率和产品质量。



图 1 产线 EAP 系统功能和优势

图 1 中，EAP 实施有助于提升产线自动化，减少人为干预，减少宕机和产品异常情况；有助于提高产品良率和产线效率，提升操作的交互性和直观性。

2 基于分层的 FPC-EAP 系统设计

设计了一个基于分层的 FPC-EAP 系统，如图 2 所示，其中：

(1) 设备层包括蚀刻机、清洗机、烘干机等生产设备，及传感器、执行器等自动化设备组件，属于生产现场，通过标准的通信协议（如 Modbus、TCP/IP）将不同厂商的设备集成到系统中。

(2) 数据层负责多源多类数据采集、存储和处理，包括生产数据、设备状态数据、质量数据等，通过数据库或数据仓库进行统一管理。

(3) 控制层：负责设备控制、工艺参数设置和实时状态监控；包括 MES（生产信息化管理系统）、CIM（集成制造系统）、事件调度中心（DC）等，通常采用 PLC（可编程逻辑控制器）或工业计算机作为控制核心^[5]。

(4) 应用层：提供远程控制（RCM）、驾驶舱大屏监控接口，及各种功能模块如全流程追溯、设备效率分析，良率管理，测试数据分析等，通过软件平台实现。

(5) 管理层：负责整个生产线的运营管理，通常与企业 ERP（企业资源计划）等系统对接，包括供应链管理（SCM）、产品周期管理（PLM）、客户关系管理（CRM）、绩效评估（HR）、办公系统（OA）等。

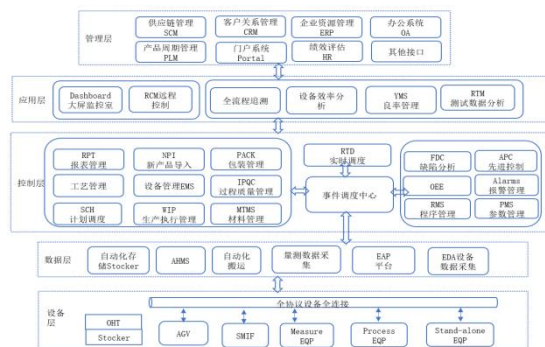


图 2 FPC-EAP 系统框架

2.1 数据采集与实时监控

通过传感器和 PLC 收集设备运行状态、工艺参数等信息，实时显示在监控界面上，全过程减少人为干预，实现孪生状态管理，如图 3 所示。



图 3 EAP 平台实现各种通信类型设备的全面连接

图 3 中，面向分布离散的设备，需要同步时钟信息，需要适配各种协议（PLC、Modbus、OPC、485 总线等）数据，从而形成统一通信模型，和统一事件格式，做到一体化的事务相应。

2.2 基于故障侦测的控制流程

本系统采用事件驱动机制实现流程管理的自动化，由故障侦测和分类（Fault Detection and Classification, FDC）功能实现，FDC 是先进制程控制的主要方法。FDC 功能包括产线数据采集、监控、实时数据分析、异常检测等功能模块，形成控制闭环，如图 4 所示。

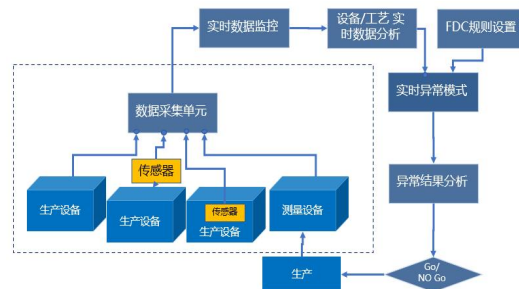


图 4 FDC 事件驱动生产过程和控制流程图

其中,

(1) FD (Fault Detection, 故障检测) 对生产过程中的状态及参数进行实时收集, 通过有效的侦测数据模型, 实现对设备在 process 过程中的错误进行实时的侦测, 由此实现对设备机能状况提供主动而快速的反馈。

(2) FC (Fault Classification, 故障分类) 根据故障的统计特征值, 对故障进行归类, 根据对应的故障类别找出对应的处理方法。通过 FDC, 实现提高设备利用率, 减少产品/工艺事故的发生率。

其中, FDC 规则设计如下:

(1) 实时监控与数据分析: 利用传感器网络全面监控生产线各环节, 实时采集温度、压力、电流等关键参数。通过大数据分析技术, 对采集到的数据进行深度挖掘, 识别异常模式, 预测潜在故障。

(2) 智能故障侦测: 结合机器学习与图像识别技术, 对生产线上的柔性电路板进行实时检测。系统能自动识别短路、开路、元器件缺失等常见故障, 提高故障侦测的准确性和效率。

(3) 故障分类与优先级排序: 根据故障类型、影响范围及紧急程度, 对侦测到的故障进行分类, 并设定优先级。例如, 生产线停机故障优先级最高, 需立即处理; 而轻微的质量缺陷则可在不影响生产的情况下进行修复。

(4) 自动报警与应急响应: 一旦侦测到故障, 系统立即触发报警机制, 通知相关人员。同时, 根据故障分类和优先级, 自动启动相应的应急响应流程, 包括停机、切换生产线或启动备用设备等。

(5) 持续学习与优化: FDC 系统具备自我学习能力, 通过不断积累故障数据和处理经验, 优化故障侦测与分类算法。此外, 系统还能根据生产线的实际运行情况, 提出改进建议, 帮助提升生产线的整体性能和稳定性。

2.3 事务处理中心

事务中心是实现生产过程事件驱动的核心功能, 在生产线关键节点设置在线检测设备(检测区域), 如 AOI (自动光学检测) 设备, 对蚀刻质量进行实时监测, 如图 5 所示。

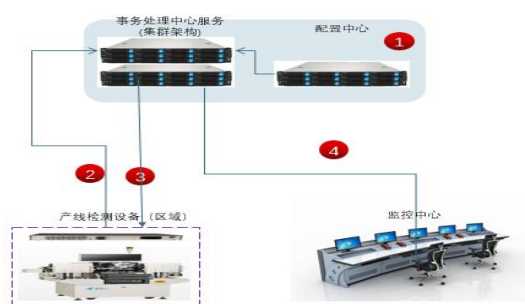


图 5 产线事务处理中心

图 5 中:

(1) 在配置中心, ①配置设备所属检测区域, 以及人员在该区域的权限, 能够处理不同级别的报警。②根据不同设备类型的报警配置不同的处理规则和处理级别。③配置原则会推送到事务处理中心, 并根据配置生效。

(2) 在线检测设备: 设备报警发生后, 系统采集报警信息, 并上报到事务处理中心

(3) 事务处理中心: 根据报警配置, 确定报警级别和处理级别, 发送通知到对应的座席终端。

(4) 监控中心: ①收到通知的座席, 显示设备报警, 并提醒人员处理; 没有接受到推送的座席终端, 不提示设备报警。②收到推送, 第一个打开终端界面的座席获取处理远程处理权限, 在该座席转送或者退出前, 其他座席可查看界面, 无法获得控制权限。

其中, 事务消息推送策略如下:

(1) 抢单模式, 推送全部最低级别处理群组对应的座席, 第一个打开的有处理权限。

(2) 轮询模式, 区域有多座席, 轮流推送给所有有处理权限的座席。

(3) 响应优先, 推送到当前空闲座席端, 如果座席都在忙碌中, 则等待, 并记录等待时间, 记录日志。并在座席空闲的第一时间推送。如果超时, 则根据配置, 是否必须本地处理决定是否推送。(推荐模式)

(4) 负载均衡模式, 根据可处理的座席的当天的负载, 优先推送负载较低的座席。

(5) 如果权限配置中, 每个座席没有重叠设备, 那么直接推送到对应座席, 即分区管理模式。

3 结语

本文设计了一个面向 FPCB 蚀刻生产线自动化管理软件框架, 并讨论其中的数据采集、产线控制、事务处理等关键技术。在实际运行中, 本系统产线发挥了良好

的效率和良率作用，如图 6, 7 所示。



图 6 生产效率提高

图 6 中，产线正常生产、等待等占比明显高于停机时间，产线效率得到提升。

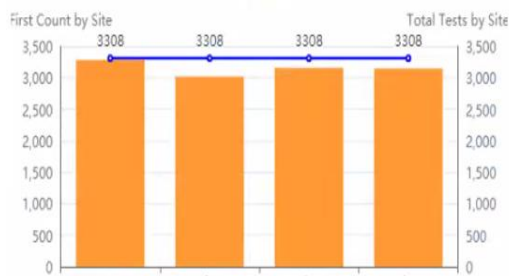


图 7 产品良率维持高水平

图 7 所示，产线良率最高 95%，最低 94%，从而保持了较高的产品良率水平。

随着 5G、物联网、人工智能等技术的融合，FPCB 蚀刻生产线自动化管理将能够实现更复杂的数据分析和决策支持，进一步推动 FPCB 行业的技术进步和市场扩张。

参考文献

- [1]Li, X., & Sun, Y. (2019). Application of artificial intelligence in the management of flexible circuit board etching production lines. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 103(5-8), 2231-2242.
 - [2]Wang, M., Chen, L., & Liu, Y. (2020). Digitalization and automation in flexible circuit board manufacturing: A review. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(7), 4562-4573.
 - [3]Zhang, W., Li, J., & Wang, H. (2021). Intelligent control system for flexible circuit board etching production line. Journal of Automation and Control Engineering, 9(4), 234-241.
 - [4]李争光. 基于 PLC 的柔性制造控制系统设计[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2023.
 - [5]门广见. 基于 PLC 控制的柔性自动化生产线系统设计[J]. 今日自动化, 2024(3): 156-158.
 - [6]彭志勇. 基于 PLC 控制器的柔性自动化流水线制造系统[J]. 中国新技术新产品, 2023(11): 47-50.
- 作者简介: 陆庭中, 男, 1977 年生, 酷网信息科技(常州)有限公司总经理, 研究方向为工业物联网, Email: 35216977@qq.com; 束长俊, 男, 1977 年生, 酷网信息科技(常州)有限公司总工, 研究方向为工业物联网。