

基于工业互联网的电子元器件封装和贴片的智能制造系统

李晓军

(深圳市航盛电子股份有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 目前的电子元器件的封装和贴片工艺存在智能化程度较低、良率难以控制、设备难以实时监控, 以及样品瑕疵在线筛查等问题。本文开发了一种基于工业互联网的电子元器件封装和贴片的智能制造系统, 由数据采集层、网络层、平台层、软件层和应用层组成, 并研究了每层的具体构成和功能及相互之间的工作关系。基于电子元器件封装和贴片工艺及其相应的原材料和生产设备情况, 分别提出了基于工业互联网的器件封装和 SMT 贴片智能制造系统的部署方式和具体实施步骤。在从数据采集层到应用层的闭环系统中, 控制执行装置根据平台层生成的生产调整数据对电子元器件的封装或贴片流程的工艺参数进行调整, 提高了电子元器件封装和 SMT 贴片工艺流程的自动化和智能化程度, 从而提高了封装和贴片生产良品率和效率。

关键词: 工业互联网; 智能制造; 器件封装工艺; SMT 贴片工艺

中图分类号: TN929.5; TP393.09 **文献标志码:** A

1 引言

电子产品最重要的两种制作工艺为封装和贴片工艺, 其中封装用于单个元器件的封装, 贴片则是用于各种电子元件在印制电路板 (PCB) 上的组装。目前的电子元件大多需要依靠封装来提高可靠性和可装配性, 比如 LED 的封装, 传感器的封装, 芯片的封装等^[1-2]。电子相关的产品及其控制板卡则大多通过表面贴装技术 (SMT) 贴片的形式来组装, 比如 LED 灯珠、驱动芯片、电阻、电容和电感等各种电子元件在 PCB 上的组装^[3]。工业互联网是新一代信息通信技术与工业制造深度融合,

通过对人、机、物、系统等的全面连接, 构建的产业数字化和信息化平台^[4-8]。通过工业互联网平台赋能制造业, 加快制造业向数字化和信息化的智能制造转变, 提高生产效率和良率。工业互联网平台应用在电子元件制造上主要集中在电子元件的智能检测领域, 实现实时监控、质量追溯、云平台监测等功能^[9-11]。工业互联网平台赋能于电子元件封装和贴片工艺的智能制造的研究则未见报道。目前的光电器件和半导体器件等器件的封装工艺和电子元件的 SMT 贴片工艺存在智能化程度较低、良率难以控制、设备难以实时监控、样品瑕疵在线筛查等问题。本文开发了一种基于工业互联网的电子元件

封装和贴片的智能制造系统，用于提高电子元器件封装和SMT贴片工艺流程的自动化和智能化程度，从而提高封装和贴片生产的良率和效率。

2 工业互联网平台架构

2.1 工业互联网平台架构组成

本文设计了一种用于电子元器件的封装和贴片的工业互联网平台架构，由数据采集层、网络层、平台层、软件层和应用层组成，如图1所示。

数据采集层负责参数采集、图像采集、设备监控、故障预测、传输协议、智能搬运和数据预处理等工作。具体的数据采集方法为，通过布局在生产制造工艺各个环节的传感器、芯片和摄像头负责采集生产现场的工业数据；工业相机及软件构成的机器视觉系统负责图像采集

和分析；工控机和智能控制器负责设备监控和故障预测；工业网关和边缘网关负责传输协议和数据传输；AGV机器人负责智能搬运。数据采集的对象为用于电子元器件封装和贴片的生产设备、原材料、工艺参数、工业现场环境等工业数据，包括生产设备和原材料的物理信息变化数据和图像数据。数据采集的方式为布置在设备端的边缘传感器和工业相机感知、收集和捕捉生产过程中设备和原材料的光、温度、力、图像、位置、距离、电阻、电压和磁性等信息的变化，通过芯片处理器、工控机、智能控制器等数据处理装置进行信息分析处理转化为电信号，并对收集的工业数据进行异常检测、数据清洗和分类处理，得到预处理后的工业数据。然后通过工业网关和边缘网关构建的传输协议将工业数据传输至网络层。

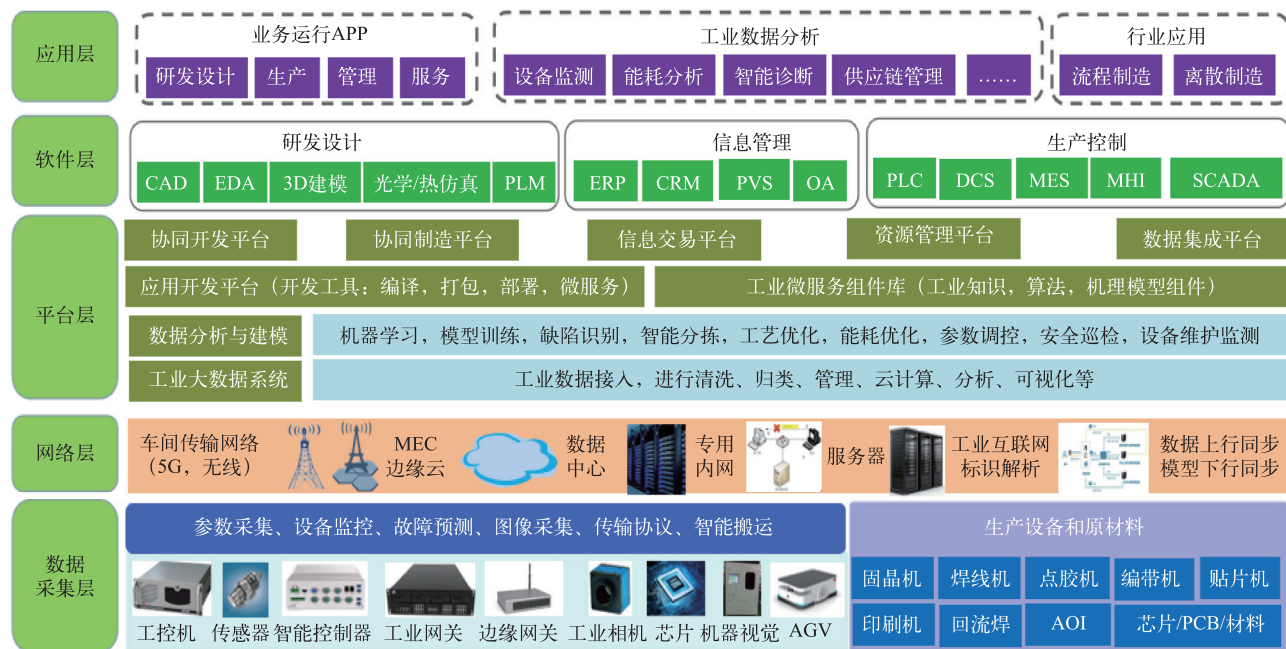


图1 工业互联网平台架构

网络层负责生产设备联网、数据网络传输、数据存储和传输协议搭建，包括车间传输网络（4G/5G，无线网络）、MEC（Multi-access Edge Computing，多接入边缘计算）边缘云、数据中心、局域网、服务器、工业互联网标识解析、数据上行同步和模型下行同步中的若干种或者全部组成。网络层连接数据采集层和平台层，将数据采集层采集和处理好的数据通过无线或有线网络传输到平台层或同时存储到服务器中以免数据丢失。

平台层基于收集到的各种数据形成不同的工业微服务组件库（工业知识、算法、机理模型组件），然后构建不同的平台，包括信息共享平台（数据可视化看板）、协同制造平台、故障处理平台、资源管理平台、大数据分析平台和应用开发平台（开发工具：编译、打包、部署、微服务）。平台构建方法为通过工业大数据系统将从数据采集层收集到的工业数据接入平台，进行清洗、归类、管理、云计算、分析、可视化等。为了减少无效数据，

降低数据传输负荷,在数据采集层和平台层均进行了数据清洗,包括对噪声和错误数据、缺失数据、重复数据、数据格式和数据类型进行数据清洗处理。然后平台层通过数据分析与建模进行机器学习、模型训练(经验教训模型、工艺参数模型、机理模型等)、缺陷识别和智能分拣等工作,实现工艺优化、能耗优化、参数调控、安全巡检和设备维护监测等功能。基于处理后的生产设备、原材料和工艺流程数据分别建立生产设备、原材料和工艺参数的数据分析模型,形成相应的经验教训库和工艺参数库。工业大数据系统侧重于将生产各环节的数据汇聚到以云计算为核心的数据中心,通过智能决策分析平台进行数据分析,为决策实现支撑,并进行反馈控制。数据分析与建模侧重于通过机器学习、算法、限制条件进行筛选等方式进行数据的分析和建模。

软件层中的研发设计软件和信息管理软件一般单独使用或运行,与智能制造系统无直接关联。软件层中的生产控制软件一般用于生产现场管理和控制,与智能制造系统有直接的密切关系,比如通过 PLC 设计在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令,通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备的动作执行^[12]。通过 DCS 执行更复杂和传输距离更远的工业过程,由不同的专用控制器控制整个工业过程中不同的区域,控制器之间通过高速通信网络互连,并连接到工业控制计算机,现场设备与特定控制区域的控制器通信,在工业控制计算机上进行整体控制、监控、数据记录和报警功能^[13]。通过 MES 提供包括制造数据管理、计划排程管理、生产调度管理、库存管理、质量管理、人力资源管理、工作中心/设备管理、工具工装管理、采购管理、成本管理、项目看板管理、生产过程控制、底层数据集成分析和上层数据集成分解等管理模块等功能^[14]。HMI(人机交互界面)则用于提供可视化管理、现场指令操作、故障监测和设备控制软件触控操作等功能。SCADA 用于执行数据采集和间接控制及监测工厂中的各种设备及参数^[15],SCADA 不能直接与现场设备通信,而是与 PLC 搭配使用,通过 PLC 并向现场设备发出命令,工业现场设备数据进入 PLC 中的 I/O 模块后,存储在特定的存储器位置或寄存器中,SCADA 读取或写入这些内存位置,然后由 PLC 实现对设备的具体控制。生产可视化软件(PVS)用于实时生成显示各项生产数据,形成生产车间运行看板,通过生产运行看板

可以实时监控和管理生产过程。

应用层则是基于数据采集层、网络层、平台层和软件层的应用,包括研发设计、生产、管理和销售服务等具体业务运行的 APP,设备监测、能耗分析、智能诊断和供应链管理等工业数据分析的应用,以及 LED、芯片、传感器等具体器件封装和 SMT 贴片等具体行业的应用。应用层包含部署在设备上和生产工艺现场的控制执行装置,比如机械臂和温度、压力、速度、暂停、断电控制装置等。当接收到平台层发出的生产调整数据后,软件层的工业控制软件和应用层的控制执行装置根据生产调整数据对生产设备和原材料的工艺参数进行调整,以提高和改善生产的效率和良率。

2.2 工业互联网平台各层之间工作关系

基于工业互联网平台的智能制造系统中,数据采集层、网络层、平台层、软件层和应用层各层之间的工作关系如图 2 所示。数据采集层通过传感器和摄像头等采集生产设备、原材料、工艺参数、工业现场环境等数据后,通过传输协议传输至网络层,然后网络层将数据储存备份后传输至平台层进行处理。平台层对网络层传输过来的数据进行清洗、归类、管理、分析和可视化后,然后进行数据分析与建模,包括大数据分析、模型训练、缺陷识别、组件库建立和模型算法等方法,工艺优化、能耗优化、参数调控、安全巡检和设备维护监测等结果,然后形成数据可视化看板、协同制造平台、故障处理平台和资源管理平台等不同应用平台。将不同应用平台与 PLC、DCS、MES 和 SCADA 等工业控制软件和系统相结合,实现对生产控制设备、原材料、工艺参数等构成的生产控制系统进行监控、控制和优化,从而实现在 LED、芯片、传感器等具体器件封装和 SMT 贴片等具体应用的基于工业互联网的智能制造系统的搭建。

工业互联网平台各软硬件功能模块如图 3 所示,数据采集装置采集工业现场数据,数据采集装置包括布局在生产制造工艺各个环节的传感器、芯片和摄像头,数据处理装置包括芯片处理器、工控机和智能控制器,通信模块包括工业网关、边缘网关和服务器。平台层包括工业大数据系统、数据分析与建模系统、工业微服务组件库,以及应用开发平台。软件层包括研发设计软件、信息管理软件和生产控制软件。控制模块包括工业控制程序和控制执行模块,工业控制程序通过电子元器件的工艺处理程序和现场控制软件对具体的控制执行装置发

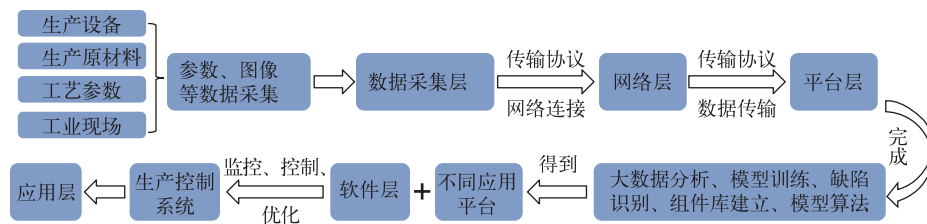


图2 工业互联网平台各层之间的工作关系

出控制指令，控制执行装置包括机械臂，温度、压力、速度、暂停和断电控制装置等。数据采集装置通过采集生产设备、原材料、工艺参数和工业现场等工业数据，数据处理装置对采集到的工业数据进行预处理，然后通过通信模块传输给平台层。平台层对预处理后的工业数据进行

数据分析与建模，得到生产调整数据，工业控制软件和控制执行装置根据生产调整数据对生产设备的贴片或封装流程的工艺参数进行调整，提高了电子元器件封装和SMT贴片工艺流程的自动化和智能化程度，从而提高了封装和贴片生产的良率和效率。

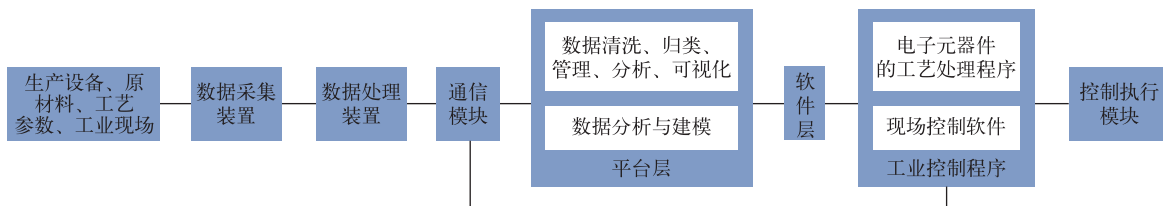


图3 工业互联网平台各软硬件功能模块

3 基于工业互联网的智能制造系统

3.1 基于工业互联网的器件封装智能制造系统

基于工业互联网的器件封装智能制造系统，如图4所示。在使用时需要进行封装的常见器件包括LED、芯片和传感器。最常见的LED封装为SMD（Surface Mounted Devices，表面贴装器件）封装和COB（Chips On Board，板上芯片）封装两种形式^[2]。SMD封装一般在采用金属支架为基底，最后得到是分立的LED单颗灯珠，属于点光源，这些灯珠后续再用贴片工艺做成照明、显示或背光产品，SMD封装的工艺为固晶、焊线、点胶、测试、固化、分选、编带及测试。COB封装一般在采用具有印制线路的陶瓷基板或者PCB为基底，无需焊线，最后得到是LED灯面，形成面光源，COB封装的工艺为点胶、固晶、测试、固化、灌胶封装和测试。芯片封装的基板可以是支架、PCB或柔性覆铜板，传感器也属于芯片中的一种，芯片的封装工艺为芯片切割、芯片贴装、焊线、光检、封胶、切割打标和测试。本文中设计的工业互联网平台用于不同的产线，数据采集对象有所不同。如果用于LED封装，其生产设备包括固晶机、焊线机、点胶机、紫外或高温固化设备、编带机和测试设备，生产原材料为支架、LED芯片、胶粘剂、金线和荧光粉

（用于白光LED）。如果用于芯片的封装，其生产设备包括磨削设备、划片机、点胶机、固晶机、焊线机、AOI（Automated optical inspection，机器视觉）检测设备、固化设备、塑封机、激光打标机、电镀设备、切筋成型设备和测试设备，生产原材料为基板、晶圆、引线框架、金属丝（金线、铜线、铝线等）、银浆和塑封料/环氧树脂。

3.2 基于工业互联网的SMT贴片智能制造系统

基于工业互联网的SMT贴片智能制造系统，如图5所示。SMT贴片工艺一般用于印制电路板及相关元器件（Printed Circuit Board Assembly, PCBA）或柔性印制电路板及相关元器件（FPCA）的组装，将设计好的电路在PCB或FPC上制作出来^[3, 16]。SMT贴片工艺为锡膏印刷、在线锡膏检测（Solder Paste Inspection, SPI）、电子元器件贴片、AOI检测、回流焊、测试、灌胶（部分产品可能有）和测试。本文中的工业互联网平台用于电子元器件在PCB或者FPC上的SMT贴片时，数据采集对象为生产设备包括印刷机、锡膏检测设备、贴片机、AOI检测设备、回流焊高温炉、灌胶机（可能有）和测试设备，生产原材料为被动式电子元器件（电阻、电容、电感和射频器件等）、分立器件（二极管、晶体管、传感器和光电器件等）、芯片、锡膏、胶粘剂、PCB或FPC电路板。

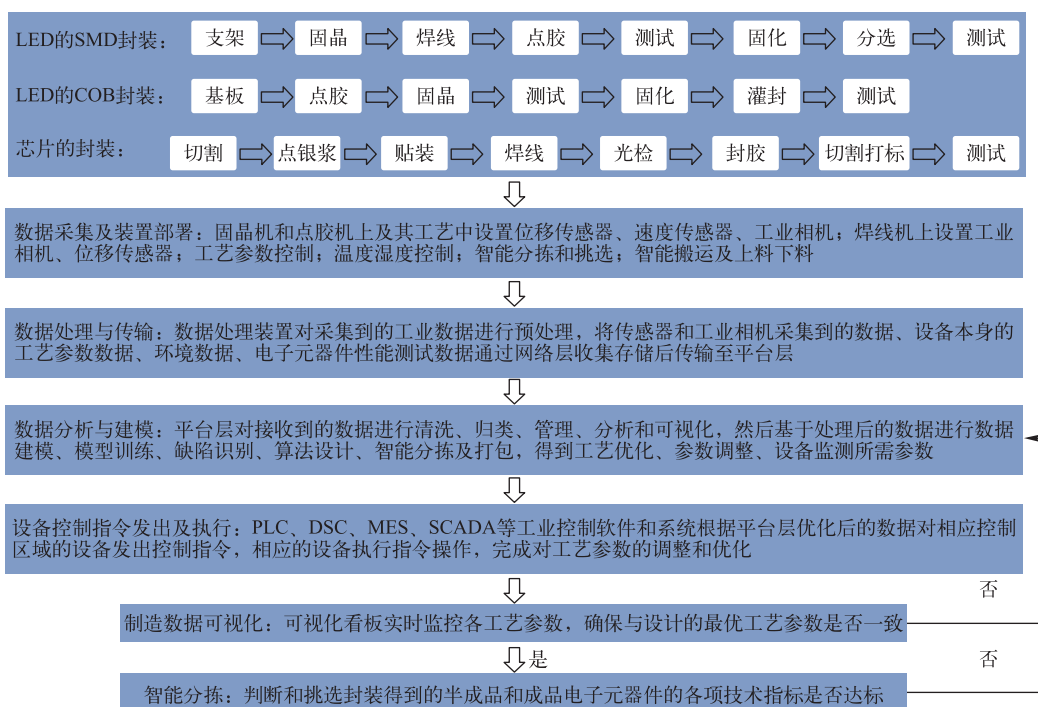


图4 基于工业互联网的器件封装智能制造系统

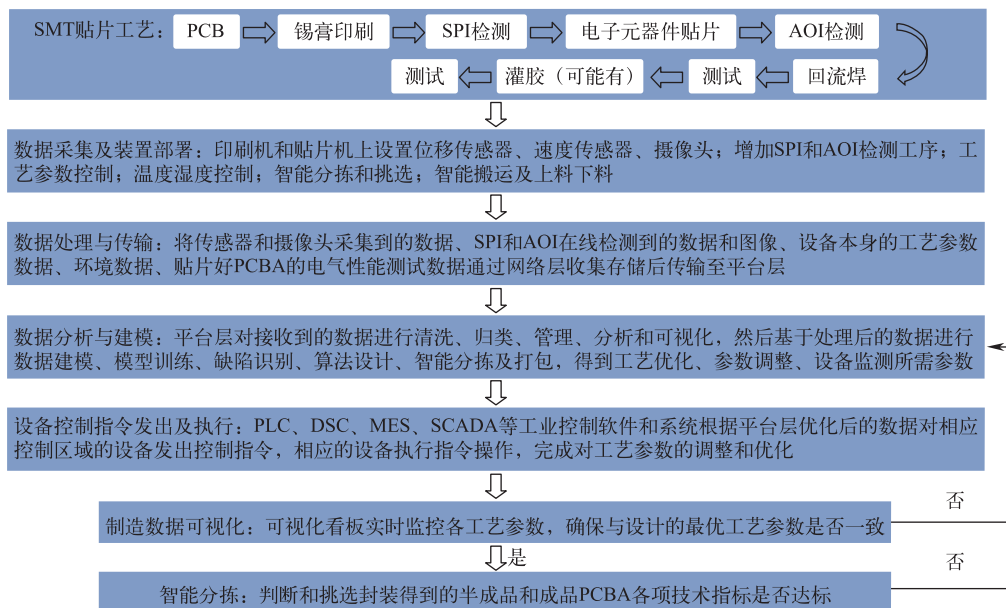


图5 基于工业互联网的SMT贴片智能制造系统

3.3 在实际生产中的应用

基于工业互联网的智能制造系统可以用于对实际生产过程中的各项实时数据进行监控和管理。某型号的域控制器和显示屏PCBA的SMT贴片工艺在实际生产中的各项监控数据, 数据采集和管理通过本文中的工业互联网平台实现, 如图6所示。工业生产现场的数据经过采集、

清洗、传输、计算处理后, 平台层将处理后的生产数据传输至计算机中, 通过生产可视化软件生成生产车间运行看板, 并通过显示屏实时显示。通过生产运行看板可以实时监控和管理各项生产数据, 包括生产状态、产出量、工序平均合格率、投入量、订单量、材料库存剩余量、产出量和订单量统计、各生产设备投入量/产出量/订单

量、各生产设备有效时间、各工序产出量、各工序合格率，以及生产事故通报情况。通过生产运行看板对生产各环节进行实时监督和管控，生产中出现故障时可以第一时间进行处理。因此基于工业互联网的智能制造系统可以

减少故障响应时间，提高生产效率，根据各工序的合格率、材料库存剩余量、产出量、投入量和订单量等数据，及时对生产计划进行调整，提高产品交付能力和设备使用率。

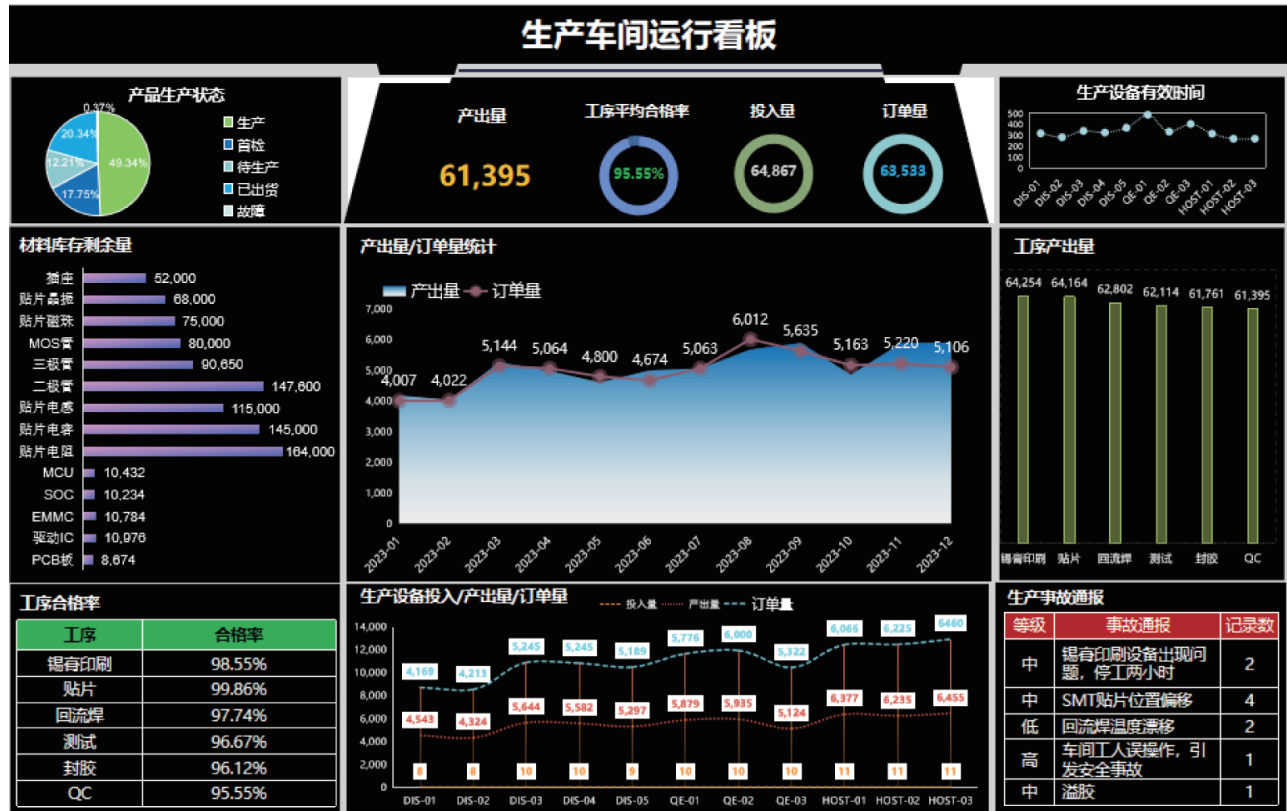


图 6 基于智能制造系统的 SMT 生产车间运行看板

4 结束语

本文开发了一种基于工业互联网的电子元器件封装和贴片的智能制造系统，由数据采集层、网络层、平台层、软件层和应用层组成。各层之间的关系为数据采集层采集的工业数据经过预处理后，通过传输协议通过网络层传输至平台层进行数据处理、分析与建模，形成不同应用平台、工业微服务组件库和生产调整数据，软件层的工业控制软件和应用层的控制执行装置结合生产调整数据，实现对生产控制设备、原材料、工艺参数等构成的生产控制系统进行监控、控制和优化，从而实现基于工业互联网的智能制造系统的搭建。最后，将设计的工业互联网平台应用于电子元器件的封装和贴片的实际应用中，构建了基于工业互联网的电子元器件封装和贴片智能制造系统。该智能制造系统具体的实施步骤为，在设

备端和工艺流程中各环节部署各种传感器和工业相机用于采集工业数据，通过数据处理装置对采集到的工业数据进行预处理，然后通过网络层收集存储后传输至平台层。平台层对接收到的工业数据进行分析、处理和建模，得到用于工艺优化、参数调整、设备监测所需的参数和数据，平台层对预处理后的工业数据进行数据分析与建模，得到生产调整数据，工业控制软件和控制执行装置根据生产调整数据对生产设备的贴片或封装流程的工艺参数进行调整，提高了电子元器件封装和 SMT 贴片工艺流程的自动化和智能化程度，从而提高了封装和贴片生产的良率和效率。IM

参考文献

- [1] LIU P, SHE C, TAN L, et al. Development of LED

- package heat dissipation research [J]. Micromachines, 2022, 13 (2) : 229.
- [2] DIEKER H, MIESNER C, PÜTTJER D, et al. Comparison of different LED packages [J]. Manufacturing LEDs for Lighting and Displays, SPIE, 2007 (6797) : 74-85.
- [3] 鲜飞. 贴片工艺技术概述 [J]. 电子测试, 2009 (4) : 42-47.
- [4] 工业互联网产业联盟. 工业互联网平台白皮书 [R]. 2019.
- [5] 李晨阳, 蔡冬, 凌立. 5G 工业互联网智能制造平台方案的搭建研究与数据应用 [J]. 智能制造, 2024 (4) : 71-76.
- [6] 许鹏, 张鹤鹏, 陈笑颖. 基于工业互联网平台架构的 iMES 设计及应用 [J]. 机电工程技术, 2024, 53 (9) : 218-226.
- [7] 刘垚圻, 李红光, 周一青. 基于工业 5G 的柔性智造孪生控制平台 [J]. 电信科学, 2022, 38 (S01) : 174-183.
- [8] 李伯虎, 柴旭东, 刘阳. 工业环境下信息通信类技术赋能智能制造研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24 (2) : 75-85.
- [9] 李凌, 杨灵运, 严芸. 基于 5G 工业互联网的电子器件智能检测研究与应用 [J]. 中国新技术新产品, 2020 (9) : 102-103, 142.
- [10] 金正国. 基于工业互联网的电子器件产品智能化检测系统设计 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2020 (7) : 164-167.
- [11] 侯涛, 朱奇, 张鹏. 面向 5G 技术的电子器件智能检测研究 [J]. 电子测试, 2020 (1) : 87-89.
- [12] 张浩. PLC 在智能制造与工业自动化中的关键作用 [J]. 中国金属通报, 2024 (5) : 122-124.
- [13] 顾文斌, 郑堃, 戴敏. 分布式制造系统智能协调控制理论与模型 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [14] 孙景. 基于 MES 的 SMT 生产线智能制造改进 [D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2019.
- [15] 庄军, 张增超, 公维春. 智能生产制造车间 SCADA 系统设计与开发 [J]. 智慧轨道交通, 2023, 60 (3) : 72-77.
- [16] 付强. 如何控制柔性电路板的 SMT 生产工艺 [J]. 电子电路与贴装, 2011 (1) : 17-20.

收稿日期: 2024-09-14