

面向航天电子产品的表面贴装数字化 生产线构建技术研究

弋 洁 杨艺峰 徐 阳

(湖北三江航天红峰控制有限公司, 孝感 432000)



摘要: 为了加快推进国有企业数字化转型工作, 构建高质量发展新格局, 针对航天电子产品印制板组件生产及装配特点, 综合考虑质量管控因素, 开展表面贴装数字化生产线构建技术研究。通过梳理工艺路线, 统筹规划工艺布局, 将独立运行的自动化设备组建成线, 并结合信息化手段、以质量提升为中心构建 SMT 生产线管控系统, 实现印制板组件表面贴装元器件全自动贴装, 信息化手段管控车间现场生产运行、质量管控、物料配送等, 推进车间现场无纸化发展, 建成面向航天电子产品的 SMT 数字化生产线。

关键词: 航天电子产品; SMT 生产线; 数字化

Research on Construction Technology of SMT Digital Production Line for Aerospace Electronic Products

Yi Jie Yang Yifeng Xu Yang

(Hubei Sanjiang Aerospace Hongfeng Control Co., Ltd., Xiaogan 432000)

Abstract: In order to speed up the digital transformation of state-owned enterprises and build a new pattern of high-quality development, a research on the technology construction of SMT digital production line was carried out in accordance with the characteristics of the production and assembly of printed board components with comprehensive consideration of quality control factors in aerospace electronics. Through carding process and overall layout planning, the independently running automatic equipments were formed into a line, and the management system of SMT production line was built that combined with the information technology and quality improvement methods. Through these means, the surface mount components of printed board components can be fully automatic mounted. The production run, quality control and material distribution on the workshop on-site can be controlled by information means for promoting the development of workshop site paperless. Finally, the SMT digital production line for aerospace electronic products can be built.

Key words: aerospace electronic products; SMT production line; digitization

1 引言

中国航天制造企业作为国家安全保障和国家经济发展的支柱性产业之一和中国制造业发展最高水平的典型代表, 在新的时期对于构建先进制造体系具有重要的引领作用^[1]。目前, 国家积极推动数字经济和实体

经济融合发展, 新一代信息技术和制造业深度融合, 以此促进国有企业数字化、网络化、智能化发展, 增强国有企业的竞争力、创新力、控制力、影响力、抗风险能力, 提升产业基础能力和产业链现代化水平^[2]。据此, 开展面向航天电子产品的 SMT 数字化生产线构建技术研究势在必行。

2 航天电子产品印制板装配特点

航天电子产品的核心部件在于印制板组件，印制板元器件焊接质量直接关系到整个航天电子产品稳定、可靠运行。目前，航天电子产品设计思路朝向“结构功能一体化、系统分系统集成化、软件硬件相互渗透化”发展，在有限的空间下，设计的印制板组件元器件密度越来越高，所要实现的产品功能越来越多。据此，航天电子产品印制板组件在保留表面贴装元器件与通孔插装元器件混合安装方式的基础上，表面贴装元器件逐渐增多，以某型印制板组件为例，表面贴装元器件多达 800 个，且多为小尺寸、细间距、多引线元器件，包括大量片式电阻、电容以及 QFP、BGA、SOP、QFN 封装器件等，焊接难度大，质量风险高，使航天电子产品依赖于自动化设备完成印制板锡膏印刷、表面贴装、回流焊接实现印制板组件焊装，取代以往人工焊接或采用半自动设备辅助焊接工作。

3 航天电子产品印制板 SMT 生产线现状

硬件设施上，公司现有印制板装配车间包含多台自动化设备用于印制板组件表面贴装及检测工作，包括丝网印刷机、全自动多功能贴片机、九温区热风回流炉、锡膏测厚仪、AOI 自动光学检测设备等，但车间现场设备均独立运行，即由操作人员将裸板放入丝网印刷机完成锡膏印刷后，人工搬运至贴片机入口完成贴片工作，再将贴片完成的印制板放入回流炉入口轨道进行回流焊接，以此完成印制板组件表面贴装工作。因多为操作人员配合自动化设备开展表贴工作，故效率低，严重制约了车间印制板组件产能。

信息传递上，因航天电子产品质量管控要求，每块印制板的装配情况应可追溯。目前，车间现场生产任务执行、质量文件收集等信息均依赖人员口头或纸质传递方式，即由车间调度接到生产任务后分配至表贴车间操作人员执行，物料信息批次登记、质量流程卡报工、检测记录打印等依赖人工完成并统计、汇总，

导致操作人员大量时间花费在填写记录、收集记录以及整理汇报生产状态等辅助生产工作中。

在过去的 20 年里，因生产模式为小批量、多品种的批研混合生产模式，且通孔插装元器件较多，生产能力能够满足科研生产需求。但随着公司科研生产任务增多、配套单机数量剧增，生产模式已变成了大批量、多品种的批研混合生产模式，以往的生产方法已无法满足公司转型升级发展需要。

因航天电子产品特有的生产模式，SMT 生产线需满足所有型号航天电子产品印制板组件贴装要求。因此，需要寻求柔性流水线式生产方式，借助信息化手段开展面向航天电子产品的 SMT 数字化生产线建设。

4 航天电子产品 SMT 数字化生产线构建

在满足航天电子产品印制板装配质量的情况下，综合考虑印制板组件产出效率最大化，采取柔性流水线式设计航天电子产品印制板表面贴装生产线，运用信息化手段搭建航天电子产品印制板表面贴装生产线管控系统，将硬件设施规划和信息系统搭建相互融合，把控印制板装焊质量的同时，将操作人员生产辅助时间降至最低，达到整体提升印制板装焊效率的目的。

4.1 航天电子产品 SMT 数字化生产线硬件设施规划

航天电子产品印制板表面贴装生产线的建设基于成熟、可靠的再流焊工艺方法，在表面贴装工作开始前需考虑湿度敏感器件、印制板除潮、国产镀金引线去金搪锡等准备工作。自动化表面贴装过程中需考虑每道工序完成质量的把控，确保回流焊接完成的印制板组件焊接可靠、装配正确。配置 X-ray 设备检测印制板组件隐藏焊点质量，后续通孔插装元器件依靠手工焊接方法完成，配置飞针测试仪检测印制板组件装配正确性，并通过全自动水清洗机清洗印制板，完成整个印制板组件装配。根据印制板装配工艺路线（如图 1 所示），规划印制板表面贴装数字化生产线硬件设施，划分成四个区域，分别为准备区域、表贴区域、检测及故障排查区域以及手工焊接区域。

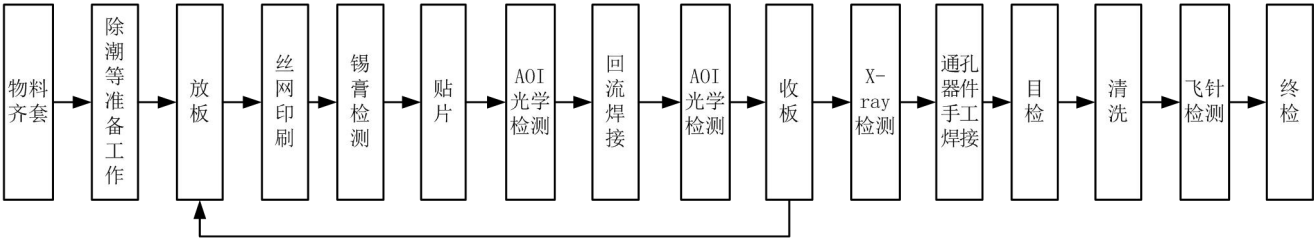


图 1 航天电子产品印制板装配工艺路线图

因现有航天电子产品印制板组件生产模式为大批量、多品种的批研混合模式，故综合考虑资源调用效率最大化，实现快速换线，满足每月甚至每周科研生产计划，是表面贴装生产线设计建设的关键因素之一。将航天电子产品印制板表面贴装数字化生产线规划建设于同一车间内。

4.1.1 准备区域

准备区域主要完成印制板装配前物料齐套、湿度敏感器件除潮、印制板除潮、国产镀金表贴元器件去金搪锡、漏板存放及提取等，在贴片机附近配置智能料仓用于线边二级库存储待装配元器件；在丝网印刷机附近配置漏板货架用于快速拿取漏板实现快速换线；在车间区域内配置三层系统分管干燥箱，用于多种湿度敏感器件、印制板分开除潮，保障生产线稳定运行。

4.1.2 表贴区域

表贴区域主要依据航天电子产品印制板组件工艺路线，完成印制板从裸板到表贴器件完成焊接的所有工序。配置送板机、收板机以及接驳台将丝网印刷机、锡膏测厚仪、全自动贴片机、炉前 AOI 检测设备、回流焊接炉、炉后 AOI 检测设备串联起来，实现一道工序一个检测设备用于判读前道工序贴装质量，确保生产线上过程质量可控；并将线上所有设备电气互联，即线上传感器实时感应印制板所处设备位置，在未收

到后方设备要板信息时，一直停留在前方设备暂存，确保印制板在线上稳定运行。同时，锡膏测厚仪、炉前 AOI 检测设备后端均配置检查站式接驳设备，即检测设备报错后，检查站接收到设备指令后，印制板搬出后会停留在检查站传感器感应处，待处理。

4.1.3 检测及故障排查区域

检测区域主要完成表面贴装元器件特殊器件，如 BGA、QFN 封装隐藏焊点检查；完成印制板组件故障诊断；配置高清图像显微镜用于检测表面贴装元器件焊点细微问题等。完成印制板组件焊点检测和辅助故障排查。

4.1.4 手工焊接区域

手工焊接区域主要完成通孔插装元器件的装焊以及表面贴装元器件的修补。

4.2 航天电子产品 SMT 数字化生产线信息系统搭建

在完成航天电子产品 SMT 生产线硬件设施构建的基础上，融合物联网技术和信息化技术搭建电装管理系统，将底层具备通讯接口的自动化设备进行接口改造，与上层协同管理系统打通，实现顶层管理系统和底层执行设备信息互联。将航天电子产品 SMT 数字化生产线信息系统框架结构划分为三层，分别为管理层、集成层、执行层，具体生产线信息系统框架如图 2 所示。

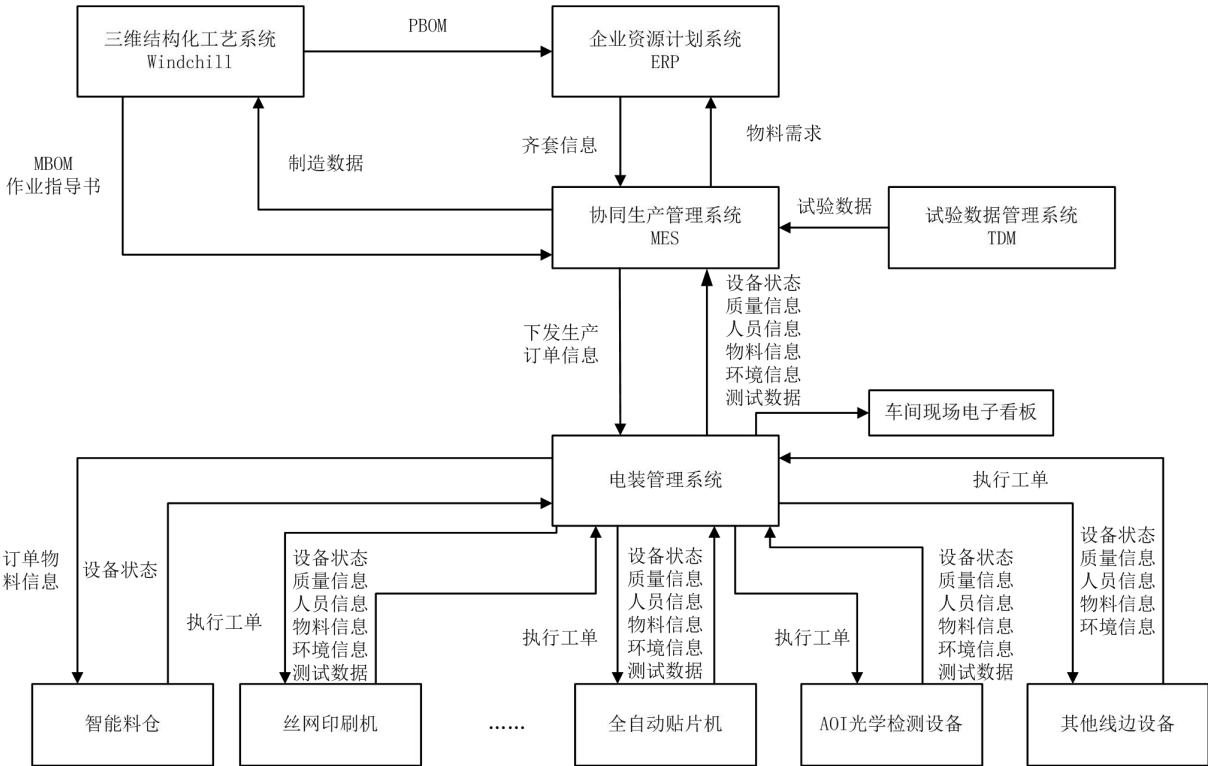


图 2 航天电子产品印制板表面贴装数字化生产线信息系统框架图

4.2.1 管理层

管理层主要职责为生产管理部门制定出生产计划后，开始整合生产准备信息，由协同生产管理系统传递生产指令，并提取三维结构化工艺系统、企业资源计划系统信息，包括待执行印制板组件工艺技术状态、物料需求情况等生产订单信息，整合完毕后下发生产订单信息（包括生产批次、产品信息、物料信息等）至电装管理系统，待电装管理系统分解执行信息后开始生产；同时，协同生产管理系统负责接收电装管理系统打包传递的产品履历信息以及实时生产状态信息。

4.2.2 集成层

集成层主要职责为接收到协同生产管理系统传递的生产订单信息，将生产订单信息拆分成子订单与每块印制板信息绑定，从“人、机、料、法、环”五个方面建立印制板装配执行数据结构树，包括生产时印制板所处车间环境情况、执行生产操作人员信息、执行生产涉及现场设备信息、生产所需物料配套明细、工装配套及齐套信息、生产执行工艺路线以及设备执行对应印制板用表贴程序等，如图 3 所示。将结构树转化的生产执行指令传递至各执行设备，开始生产；同时，负责提取设备上传的设备运行状态、质量数据、物料使用等信息，并汇总，以生产订单对应的产品代号建立数据库，包括同一产品代号、同一生产批次、各个印制板组件的质量履历文件，即质量流程卡、批次登记表、检测记录，再将质量履历文件以及生产状态信息一同传至协同生产管理系统。其中，贴装及检测设备执行程序作为把控印制板组件技术状态的关键因素，在电装管理系统设置表贴程序管控模块，按产品代号、阶段管理，确保印制板组件技术状态可控、贴装质量可追溯。

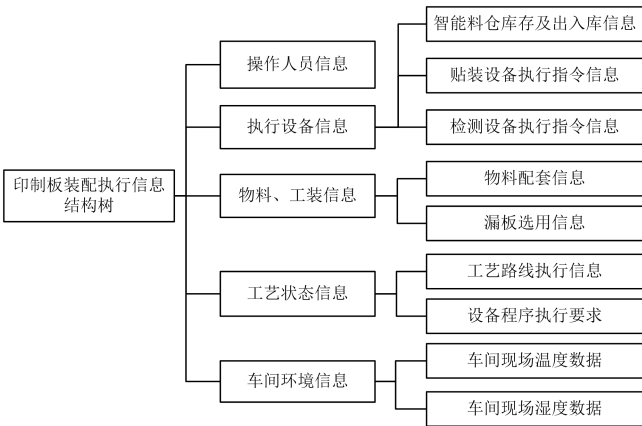


图 3 印制板装配执行数据结构树

4.2.3 执行层

执行层主要职责为车间现场设备按照印制板装配执行数据信息开始逐一设置设备执行程序，按照生产订单智能料仓出料，操作人员将物料摆放至全自动贴片机料站，并使用全自动贴片机配套条码识别设备提取物料信息与料站站位绑定，印制板配套漏板装于丝网印刷机内，完成除潮工序的印制板摆放至送板机，开始生产。其中，现场的物料信息全部基于二维码识别技术构建物料数据管理系统，即在印制板、元器件等物料及漏板上赋予物料唯一码，当印制板进入生产线开始，经过的固定扫码设备读取到印制板信息后，会将运行到的设备信息、对应的印制板信息、生成的质量信息（检测结果、对应物料批次信息）实时传递至集成层进行数据整合处理；能够提取线下设备（如 X-ray 检测设备、飞针测试仪）的检测结果，通过设备边数据采集终端和条码识别设备采集印制板信息，将检测结果匹配上传至电装管理系统，成为产品质量履历信息的一部分。

5 总体效果

通过寻求柔性流水线式生产方式，借助信息化手段对公司现有的 SMT 生产线改造升级，建成面向航天电子产品的 SMT 数字化生产线，达到的效果如下：

- a. 表面贴装生产线实现 100%自动化装配印制板组件，并按照“装配一工序、检测一工序”原则管控印制板表面贴装质量，保障航天电子产品印制板组件表面贴装元器件焊接可靠；
- b. 满足现行航天电子产品大批量、多品种的批研生产模式，实现表面贴装生产线快速换线；
- c. 建成电装管理系统，将哑设备与上层协同生产管理系统、企业资源计划系统等系统通讯打通，车间现场生产、质量、技术状态信息不再依赖人员手工填写或口头传递，全部由信息系统实时监控车间现场情况、集成产品质量文件、控制物料流动情况，实现车间现场质量、生产信息传递及数据采集无纸化。尤其借助信息化手段取代操作人员填写质量流程卡、产品元器件批次登记表、打印收集检测报告，解决了操作人员将大量时间、精力投入到生产辅助工作的难题；
- d. 整体提升航天电子产品表面贴装生产线产能达 60%以上，满足航天电子产品批产及研制任务按时按需交付要求。

（下转第 44 页）