

国产高速高精度贴片机的关键技术突破与产业化路径研究

吴桑榆 李蕊婷

浙江万里学院 浙江宁波 315100

摘要：随着电子制造业对精度和效率要求的不断提升，贴片机作为表面贴装技术（SMT）核心设备的重要性日益凸显。我国在高端贴片机领域长期依赖进口，面临“卡脖子”困境。本文从国家战略背景出发，系统分析国产贴片机在关键技术领域取得的突破，包括精密运动控制系统、智能视觉识别、自动化供料等核心环节，并结合产品结构与性能数据探讨其工程实现路径。在此基础上，本文总结了国产贴片机在产业化过程中所采用的商业模式与市场拓展策略，提出实现贴片设备国产替代的关键要素，为推动我国高端装备制造自主化提供参考。

关键词：贴片机；智能制造；关键技术；国产替代；自主可控

表面贴装技术（SMT）是现代电子制造的核心，贴片机是SMT工艺链中最关键的设备之一，对电子产品质量和生产效率有决定作用。随着5G通讯、汽车电子、物联网等领域快速发展，贴片机市场持续扩张。全球研究报告指出，2023年全球SMT贴片机市场规模已达约420.5亿美元，预计到2030年达到645.2亿美元（年复合增长率约6.4%）^[4]。中国作为最大的电子生产基地和消费市场，占全球市场份额超过30%，市场需求旺盛。同时，我国SMT贴片机市场从2017年的177.17亿元增至2023年的328.1亿元^[1]，2024年预计约366.4亿元，年复合增长率持续保持在10%以上^[1]。在政策层面，“中国制造2025”、十四五智能制造规划等文件都强调突破核心装备和关键技术、推动工业软件和智能制造，支持产学研融合创新^[5]。然而，目前国内印刷、焊接、检测等SMT设备已基本国产化并占据较大市场份额，但高端高速贴片机领域仍由少数国外厂商垄断^[2-3]。因此，探究国产高速高精度贴片机的技术突破和产业化路径具有重要意义。

一、市场格局与发展趋势

我国已是SMT贴片机生产大国，国内企业在低端和中端市场具有价格优势，市场规模不断扩大^[1]。中国贴片机市场规模从2017年的177.17亿元增长至2023年的328.1亿元，预计2024年可达366.4亿元。这一增长主要受智能手机、新能源汽车电子化、物联网等领域需求增长驱动。随着国内需求提升，国产贴片机厂商开始开发

多种供料方案以匹配不同元件包装。另一方面，高端贴片机市场集中度很高。报告显示，全球前3大贴片机厂商（ASM、富士、松下）合计占据了接近50%的市场份额。我国高端市场严重依赖进口^[2-3]，主要来源于日本、韩国和欧美厂商。国内企业虽然数量众多（数百家），但多为民营小规模厂家，高端装备研发投入和技术积累相对不足^[3]。

二、关键技术突破

国产高速高精度贴片机的性能主要取决于精密运动控制、智能视觉识别与路径优化、以及高效稳定的供料系统等关键技术。以下分别分析这三方面的突破要点。

（一）精密运动控制系统

高速贴片机必须在微秒级完成元器件取放动作，同时保持微米级贴装精度，对运动控制系统的动态响应和定位精度要求极高。先进设备普遍采用大刚性铸件结构、线性电机和高分辨率编码器，以降低机械惯性、提高控制精度。例如，某国产品牌推出的RT-106/RT-110/RT-320系列，贴装速度可达每小时30000-90000片，贴装精度可达±0.04毫米；其精密机械设计和高速高精度伺服控制系统已取得突破。此外，运动控制算法也非常关键。通过优化轨迹规划（如最小化加速度冲击）、伺服调谐及实时误差补偿，可显著提升运动速度和稳定性。



图1 精密运动控制系统整体方案设计

作者简介：吴桑榆（2004-7），女，浙江省杭州市人，浙江万里学院2022级本科生，研究方向：会计学。

现代贴片机通常采用多关节并行运动结构，如双线性电机驱动的龙门架或X-Y-R三轴组合，以实现并行运动提升产能。运动控制器集成FPGA/DSP等专用硬件，可以做到纳秒级指令执行，确保同步运动的时序精度。国产控制器也开始突破百万脉冲以上的高分辨率编码器匹配问题，并实现了基于自研算法的实时轨迹跟踪和插补。随着国产运动控制芯片和伺服电机的性能提高，精密运动控制系统将在国产贴片机中发挥越来越重要的作用。政府政策也强调突破关键核心技术，支持企业与科研机构联合攻关核心运动控制模块。

(二) 智能视觉识别与路径优化

贴片机的视觉系统包括吸嘴视觉、元件视觉、标识视觉等，用于高精度的对位。高分辨率相机和高清镜头成为标配，通过边缘提取、圆心定位等图像算法实现对料盘和印刷板标记的快速识别。动态拍照（飞行视觉）技术近年来逐步成熟：在贴装头运动过程中同时拍照，可大幅减少待停留时间，提高效率。虽然飞行视觉对于高速生产效率影响巨大，但其对成像速度和同步控制要求很高，一般用于精度要求较低的贴装场景。

系统架构主要包括嵌入式控制单元、传感器模块、计算机视觉处理模块、路径规划模块及用户界面模块。我们选择了树莓派作为控制单元，结合激光雷达和RGB-D相机作为传感器，使用ROS进行模块间的通信。

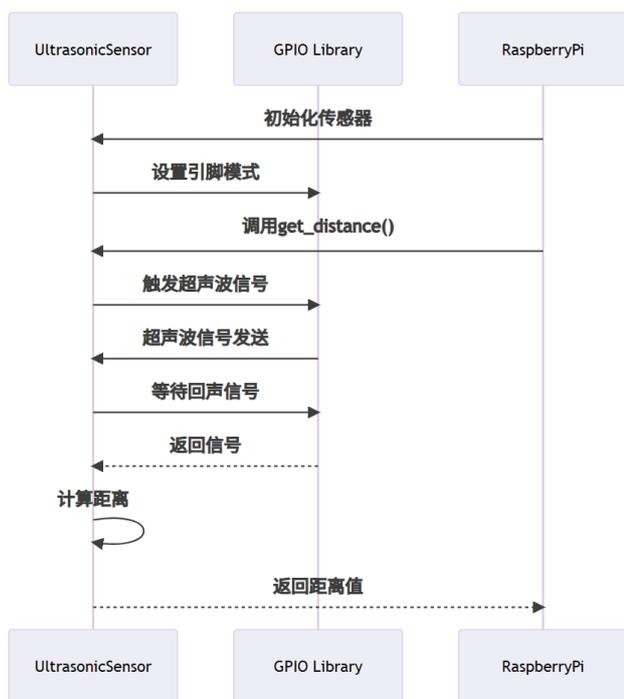


图2 时序图

贴装路径优化本质上是NP难问题，需要综合考虑吸嘴复位、换料、位姿切换等因素。先进算法（如聚类启发式、遗传算法、禁忌搜索等）被用于生成贴装顺序，使贴装头路径最短、换头次数最少，显著提高产线效率。此外，多头并行贴装和多线拼装也是提升效率的重要方法。在智能视觉识别方面，利用深度学习进行特征点识别、自适应阈值分割等技术可以进一步提高对不同封装和标记的鲁棒识别能力。

(三) 自动化供料系统与装配兼容性

贴片机供料系统是影响设备稳定性和柔性的核心环节。常见供料方式包括带状、管状、托盘和散装等，不同封装对应不同供料器。为了适应多品种小批量生产需求，智能供料系统需要具备高度兼容性与柔性。国产贴片子在供料模块上实现了模块化设计：可插拔的带式/盘式供料器、可替换式送料台车等，使机器能快速更换饲料类型，提高换料效率。例如，国产系统可兼容韩华（Hanwha）等品牌的带式供料器，实现零件的互换使用，供料定位精度可达 $\pm 20\mu\text{m}$ 。

同时，智能物料管理和自动识别技术正在推广应用：通过传感器和算法自动识别贴装元件类型，配合软件平台进行自动上料和换盘，使得贴片机能在不同产品间实现“秒级”切换，无需人工干预。此外，高速贴片机普遍采用连续供料系统，如高速带式供料器配合备用带卷，实现长时间无间断运行。某国产品牌的系统还设计了高精度补偿机制和在线监测，确保长时间运行中的供料稳定性。图2列出了贴片机中常见的多种供料器贴片机常见各种供料器类型示意（包括气动带式、精密带式、盘式、管式、散装等）；现代供料系统可自动识别不同规格元件并实现精确输送。

三、国产化路径与产业落地实践

(一) 国产化率与市场格局分析

当前，我国贴片机市场呈现出“低端自主可控、高端受制于人”的局面。国产贴片机企业主要包括中科同志、腾世机电、煌牌自动、博瑞精电、易通自动化等，这些企业多聚焦于中低端机型或特定场景下的小型化设备研发，产品在价格与服务响应方面具有一定优势。但在高速高精度等高端领域，国产设备的市场渗透率仍处于较低水平。

制约国产高端贴片机发展的核心因素之一在于关键零部件的依赖进口，包括高精度伺服电机、工业相机与镜头、高速图像处理传感器、精密控制器等“卡脖子”

技术。国产企业在高可靠性和长期稳定运行方面仍需持续攻关。目前，国内虽具备一定的集成能力，但在整机系统集成度、自动化水平与多场景兼容性方面与国际领先品牌仍有差距。

不过，随着国家对先进制造装备自主可控的重视日益加强，一系列产业政策相继出台，为国产贴片机的的发展提供了良好土壤。例如，“首台套”政策给予自主研发的高端装备在税收、采购和应用场景等方面多重扶持；同时，《“十四五”智能制造发展规划》《高端装备制造业发展规划》等政策也明确提出突破核心基础零部件和装备的攻关方向，为产业链整合与技术突破提供制度保障。

（二）典型产业化路径探析

为加快国产贴片机在中高端市场的落地与推广，企业普遍采取多元化的产业化路径。其中，模块化设计是当前较为主流的技术策略之一。通过标准化接口构建系统结构，使视觉识别单元、控制系统、送料模块等实现独立开发与快速更换，不仅提高了产品的可维护性，也显著降低了升级改造成本。当不同厂商的模块实现互联互通后，企业可根据用户需求灵活配置产线，提升系统的通用性和扩展性。

与此同时，租赁与租售结合的商业模式正逐渐兴起。鉴于贴片机价格昂贵、生命周期较长且更新迭代迅速，传统的一次性采购方式已难以满足中小电子制造企业的资金与弹性需求。租赁模式通过降低设备使用门槛，不仅帮助企业实现“轻资产化”运营，也为国产设备提供了更多试用和应用场景，缩短市场导入周期。设备服务商还可通过规模化采购、集中维护与远程运维技术，进一步提升设备使用效率与客户粘性。

此外，产学研协同创新被认为是国产贴片机实现技术突破的重要路径。依托高校和科研院所的基础研究能力，企业可以聚焦核心算法（如运动控制算法、图像识别算法）和关键硬件（如智能控制器、高速相机）协同

开发，加快研发周期。根据智能制造发展规划，国家鼓励组建由企业、高校、科研院所共同参与的联合创新体，共享试验平台与产线资源，实现从核心部件验证到整机装配、从理论研究到工程转化的“闭环推进”。

实践表明，已有部分国产设备企业通过与高校合作，完成了飞行视觉识别算法、多元路径优化模型等技术模块的迭代，并应用于市场反馈良好的商用型号中。通过构建以“企业为主体、市场为导向、政产学研用深度融合”的创新体系，国产高速贴片机产业有望实现系统性突破，加快从“可用”走向“好用”、“领先”的战略跨越。

四、结论与展望

高速高精度贴片机是电子制造产业链的“心脏”，其国产化具有重要战略意义。本文梳理了贴片机发展的市场格局，指出当前我国高端设备仍依赖进口，以及市场需求持续增长的背景；分析了精密运动控制、视觉识别与路径优化、智能送料等核心技术的突破方向，并结合市场数据和产业实践提供了示意图表。随着“中国制造2025”和智能制造等政策的推进，以及模块化、租赁、产学研等路径的探索，我国贴片机产业有望实现质的飞跃。未来研究可进一步关注国产关键零部件的集成技术及商业模式创新对产业生态的影响。

参考文献

- [1] 杨振华, 刘梦瑶. 表面贴装设备的国产替代问题探析[J]. 电子技术与软件工程, 2022(20): 12-15.
- [2] 工信部装备工业司. 《高端装备制造产业发展规划(2021-2025年)》[Z]. 2021.
- [3] 国务院. 《中国制造2025》[Z]. 2015.
- [4] 韩勇, 张小霞. SMT贴片智能控制系统的研究与实现[J]. 现代制造工程, 2021(6): 77-81.
- [5] 王硕, 郑林. 基于飞行相机的高速贴片路径优化方法[J]. 机械工程与自动化, 2022(10): 102-106.