

制造业自动化替代人工的实践与优化——以线路板生产为例

李先强

福州瑞华印制线路板有限公司, 中国·福建 福州 350101

摘要: 随着制造业自动化技术的快速发展, 传统生产模式中的人工操作正逐步被高效、智能的自动化设备所替代。论文以线路板(PCB)生产企业为例, 探讨自动化设备替代人工的实践经验、面临的挑战以及优化策略。通过案例分析, 揭示了自动化设备在提升生产效率、降低成本、保证质量方面的优势, 同时总结了实际应用中存在的问题, 并提出了针对性的解决方案。论文进一步扩展了优化策略部分, 涵盖了企业技术升级和长远发展的可能路径, 力求为行业未来发展提供全面参考。

关键词: 自动化设备; 线路板生产; 人工替代; 优化研究; 智能化制造

Practice and Optimization of Automation Replacing Manual Labor in Manufacturing Industry — Taking PCB Production as an Example

Xianqiang Li

Fuzhou Ruihua Printed Circuit Board Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350101, China

Abstract: With the rapid development of manufacturing automation technology, manual operations in traditional production modes are gradually being replaced by efficient and intelligent automation equipment. The paper takes PCB production enterprises as an example to explore the practical experience, challenges, and optimization strategies of replacing manual labor with automation equipment. Through case analysis, the advantages of automation equipment in improving production efficiency, reducing costs, and ensuring quality were revealed. At the same time, the problems existing in practical applications were summarized, and targeted solutions were proposed. The paper further expands the optimization strategy section, covering possible paths for enterprise technology upgrading and long-term development, striving to provide comprehensive references for the future development of the industry.

Keywords: automation equipment; PCB production; artificial substitution; optimization research; intelligent manufacturing

0 前言

制造业是国民经济的支柱产业, 而自动化设备的广泛应用正推动制造业迈向智能化、数字化的转型升级。线路板生产作为电子制造业的核心环节, 具有高复杂性、高精度要求等特点, 传统依赖人工操作的方式难以满足现代市场对效率和质量的高要求。因此, 自动化设备在该领域的应用具有重要的研究价值。论文将围绕线路板生产企业的实践展开研究, 通过分析自动化设备替代人工的现状, 总结实践中的经验与问题, 并提出优化建议, 为制造企业在自动化转型中提供理论与实践支持。同时, 结合未来发展趋势, 探索如何利用前沿技术推动行业进步。

1 制造业自动化设备替代人工的背景

1.1 劳动力成本上升与市场需求变化

近年来, 随着劳动力成本的不断上升和市场竞争的加剧, 制造企业面临着越来越大的压力。一方面, 发达地区的

劳动力成本不断攀升, 对企业盈利能力形成了显著的制约; 另一方面, 市场对产品质量的一致性和稳定性要求日益提高, 迫使企业寻求更高效的生产方式。此外, 随着消费者需求的快速变化和订单交付周期的缩短, 企业必须加速响应市场需求, 从而提高竞争力。在这样的背景下, 数字化转型需求变得尤为迫切, 通过数据驱动的生产流程实现高效管理已经成为行业趋势。

1.2 自动化技术的优势

自动化设备的引入为制造业提供了一条切实可行的解决路径。这些设备通过集成机器人、传感器以及控制系统等技术, 能够实现生产过程的全面自动化和智能化。在效率方面, 自动化设备可以大幅缩短生产周期; 在精确性上, 自动化操作减少了人为失误的可能性, 提高了产品的一致性; 在灵活性方面, 自动化设备适应多品种小批量生产的能力也显得尤为突出。同时, 自动化设备的可扩展性使其可以轻松与物联网、大数据和人工智能系统集成, 为企业提供长期发展

和技术升级的可能性。

1.3 线路板生产的自动化需求

线路板生产作为电子制造业的关键环节，其生产过程复杂且精度要求极高，传统依赖人工操作的模式往往受到工人经验和技能水平的限制。通过引入自动化设备，企业能够更好地满足高精度的加工需求，同时大幅提升生产效率。因此，线路板生产行业的自动化升级成为制造业转型升级的一个重要范例。

2 线路板生产中自动化设备的应用实践

2.1 应用环节概述

线路板生产是一项工艺复杂、精度要求极高的制造过程，涉及多道关键工序。自动化设备的应用使得生产过程的效率和稳定性得到了显著提升。在钻孔环节，数控钻孔机替代了传统的手工操作。钻孔机通过计算机程序控制钻头位置，以极高的精度和速度完成成百上千个孔洞的加工，不仅减少了人工干预的误差，还确保了钻孔的一致性。传统人工钻孔通常因手动调节钻头位置而出现偏差，而数控钻孔机可以将误差控制在微米级范围内。

在图形转移环节，自动化设备的引入有效提高了精度和生产效率。过去，线路板图形的转移主要依靠光绘底片和显影技术完成，这种方式对操作人员技能要求高，且容易因底片质量或显影条件不稳定导致缺陷。激光直写技术通过高能激光束直接将电路图形刻蚀到基材上，不仅避免了传统光绘中可能产生的偏差，还使整个过程更加环保，无需使用光绘胶片和显影剂，大幅减少了化学废弃物的产生。

在电镀环节，自动化电镀设备通过精密控制系统实现了电镀液的均匀分布。机器人臂根据设定程序控制电镀槽内基材的移动和浸泡时间，确保镀层厚度一致。此外，自动化设备还能够监测电镀液的浓度、温度和电流强度，避免因人工测量误差导致的质量问题，从而大幅提升产品的一致性和可靠性。

表面处理是线路板生产中保证其耐用性和可靠性的关键环节。热风整平 (HASL) 和沉金是最常见的表面处理工艺。自动化热风整平设备通过精确控制热风温度和压力，确保焊盘表面覆盖的锡层均匀平整；自动化沉金设备则通过化学镀金液与基材表面的化学反应，形成均匀稳定的镀层。整个过程无需人工操作，大大减少了人为失误的可能性。

在成品检测方面，AOI (自动光学检测) 设备通过高速摄像头和图像处理技术，对线路板的外观、走线宽度以及焊接点进行全面检测。与传统人工检测相比，AOI 设备不仅速度更快，检测精度也更高，能够识别出微小的缺陷甚至潜在风险，为后续工序提供了重要保障。

2.2 实践优势与案例分析

自动化设备在线路板生产中的广泛应用，不仅简化了生产流程，还显著提升了企业的整体竞争力。其最显著的优

势之一是生产效率的提升。例如，在钻孔环节，自动化钻孔机一次可以处理数百张线路板，显著缩短了生产时间。某企业通过引入自动化钻孔机，将单板的钻孔时间缩短了 50% 以上，使其整体生产能力翻倍。

生产成本的降低也是自动化设备的重要优势。减少对人工的依赖后，企业不仅节省了劳动力支出，还减少了因人员流动造成的培训和管理成本。结合设备的高精度操作，产品的不良率也显著下降。例如，通过激光直写技术取代传统光绘显影，某企业的电路图形缺陷率由原先的 2% 降低到不足 0.5%，进一步降低了原材料浪费和返工成本。能效提升是自动化设备带来的另一大收益。例如，在电镀环节，自动化设备通过精准控制化学反应条件，将电能和化学药剂的消耗降低到最低。某企业通过引入自动化电镀设备，年均节约电能 15%，折合节省电费约 50 万元。此外，热风整平设备通过优化热风系统的能耗比，在实现高质量焊盘涂层的同时降低了能源成本。数字化管理进一步放大了自动化设备的优势。某企业将自动化设备与 ERP 系统整合，实现了从原材料采购到成品出厂的全流程管理。生产过程中，每道工序的数据都会实时上传到中央数据库，生产管理人员可以通过数据分析及时发现异常，调整生产参数。这种高度透明和智能化的管理方式，不仅提高了运营效率，还增强了企业应对市场波动的灵活性。在实践中，这些优势不仅体现在单一生产环节的改进，更体现在整体生产流程的优化。例如，某线路板生产企业通过全面引入自动化设备，整体生产效率提升了 50%，次品率从 5% 下降到 1%。该企业还通过数字化管理，将交货周期缩短了 30%，为客户提供了更加灵活和高效的服务。综合来看，自动化设备的应用为企业带来了显著的经济效益和市场竞争能力，同时也为整个行业的智能化转型提供了示范案例。

3 自动化设备替代人工的挑战

3.1 初期投入与技术适配

尽管自动化设备为线路板生产企业带来了诸多优势，但其实施过程中仍然面临一些显著的挑战。首先是初期投入高昂的问题。自动化设备的采购和安装成本较高，尤其是高端设备，往往需要数百万元的投资，这对中小型企业来说无疑是一个巨大的资金压力。此外，自动化设备需要与企业现有的生产工艺和管理系统相匹配，这一过程中可能涉及设备选型、工艺改造以及长时间的调试周期。

3.2 人才与维护问题

人才储备不足也是一个关键难题。自动化设备的操作和维护需要专业技术人员，但许多传统制造企业在技术人才的培养方面存在短板，这直接影响了设备的应用效率。设备的维护与升级成本同样不容忽视。自动化设备的维护费用较高，且设备更新换代的速度较快，企业需要具备持续的资金投入能力以保持设备的先进性。

3.3 管理模式转型

自动化设备的广泛应用对企业的传统管理模式提出了新的要求。许多企业需要快速适应数字化运营方式,从而实现了对生产流程的全面监控和优化,这对于尚未完成数字化转型的企业来说是一个不小的挑战。

4 优化策略

4.1 降低成本与共享资源

为了更好地推动自动化设备的应用并克服现有挑战,企业需要从多方面采取措施以降低初期投入成本。首先,企业可以采用融资租赁模式,与设备供应商合作,分期支付设备成本。这种方式不仅缓解了初始资金压力,还让企业能够尽早使用高端自动化设备,提高生产效率。其次,企业应积极争取政府提供的各类政策支持,例如技术改造专项资金、税收减免等,这些政策能够大幅降低企业的财务负担。最后,中小型企业还可以通过行业联盟共建共享资源,例如联合建立共享生产线,实现设备共用。这种模式特别适合资金有限但又希望实现自动化生产的小型企 业,不仅降低了采购和运营成本,还通过共享资源提高了设备利用率。

4.2 技术升级与定制化

在提升自动化设备与工艺的适配性方面,企业应注重引入定制化设计和模块化升级策略。通过定制化设计,企业可以根据具体生产需求调整设备功能,确保其性能与生产目标完美契合。模块化升级则为企业提供了一种循序渐进的改造方式,可以在不影响现有生产流程的前提下逐步引入新技术。此外,企业应与高校及科研机构建立合作关系,通过产学研结合,开发适配性更高、效率更优的自动化解决方案。这种协作不仅能为企业提供技术支持,还能推动行业整体技术水平的提升。

4.3 人才培养与维护

自动化设备的成功应用离不开高素质的技术人才,因此加强人才培养是企业不可忽视的一环。企业可以通过与设备供应商合作,为员工提供专项培训,涵盖设备操作、维护以及故障处理等内容。这不仅能提高员工的技术水平,还能降低设备因操作不当导致的损坏风险。与此同时,企业可与高校联合培养自动化技术人才,吸引新一代具备先进技能的毕业生加入。为了提高设备维护效率,企业还应建立内部技术支持团队,负责日常检修和突发问题处理。在管理方面,企业需制定详细的维护制度和计划,包括定期检查、保养以及记录设备运行数据,确保设备的长期稳定运行。

4.4 智能化与柔性制造

推动长远技术升级是企业实现可持续发展的重要保障。通过引入人工智能技术,企业可以将数据分析和预测能力提升到一个全新的水平。AI 算法可以实时监控生产线的运行状态,优化操作参数,从而降低设备故障率并提高生产效率。此外, AI 还可以分析市场需求变化,帮助企业制定更精准

的生产计划,最大化满足客户需求。

柔性制造是未来自动化生产的重要方向。开发具有快速切换能力的柔性生产线,可以让企业灵活应对市场需求的变化。例如,在同一条生产线上,通过调整设备操作模式,即可切换生产不同种类或规格的产品。这种生产模式不仅能够降低设备的闲置率,还使企业在应对小批量多品种订单时更加高效。

物联网技术的深入应用进一步推动了自动化设备的智能化发展。通过在设备中嵌入传感器,企业能够实时获取关键生产数据,如温度、湿度、压力等。这些数据通过物联网平台进行集中处理和分析,不仅有助于优化生产流程,还能预测并防止设备潜在故障,确保生产的连续性。

此外,区块链技术的引入也将为自动化生产带来深远的影响。区块链在供应链管理中提供了高度透明和不可篡改的记录能力,确保每一个生产环节的质量和可靠性。例如,企业可以通过区块链技术追踪原材料的来源、生产过程的每一步及最终产品的去向,提升整体供应链的信任度。这种技术对于高价值、高复杂度的制造业领域,如线路板生产,尤其具有重要意义。

4.5 综合支持与行业协作

为了进一步提升自动化设备的应用效果,企业应注重与行业内其他公司和机构的协作。例如,通过建立共享实验室或研发中心,联合开发下一代自动化技术。此外,行业协会和政府也应发挥作用,为企业提供政策支持和技术指导。同时,通过举办论坛或技术交流会,可以让企业获取行业前沿信息并分享成功经验,从而在技术创新和商业模式优化上共同进步。

优化策略的实施不仅需要企业的主动参与,还需要全行业形成合力,通过多方协作,共同推动制造业的智能化和高质量发展。

5 总结与展望

自动化设备替代人工是制造业发展的必然趋势,尤其在电路板生产企业中,其应用已显著改善了生产效率、产品质量和运营成本。然而,这一转型过程中仍然存在诸多挑战,如高昂的初始投资、技术适配问题以及人才短缺等。通过制定科学的优化策略,企业可以有效克服这些问题,充分发挥自动化设备的潜力。

未来,随着人工智能、物联网、区块链等新兴技术的进一步发展,自动化设备将在智能化、柔性化和高效化方向上取得更大的突破。电路板生产企业应积极拥抱这些技术,构建高效、灵活和可持续的生产体系。同时,政策层面的支持和行业内的协作也将为企业的技术升级和转型提供重要保障。展望未来,制造业的智能化发展将不仅限于生产过程,还将延伸至产品设计、供应链管理以及客户服务等各个环节。这一趋势将重新定义制造业的价值链,并为全球经济

的高质量发展注入新的活力。线路板生产企业作为其中的代表,有机会通过不断创新和实践,成为这一变革浪潮中的引领者。

参考文献:

- [1] 李靖.自动化技术在电路分析中的应用[J].电子技术与软件工程,2021(15):64-65.
- [2] 刘培宁.计算机技术在自动化设计中的应用[J].信息记录材料,2021,22(7):167-169.
- [3] 周涛.自动化焊接设备在工程机械制造中的运用[J].内燃机与配件,2021(2):103-104.
- [4] 高帆,金烨.基于工业机器人的指尖陀螺组装自动化生产线设计研究[J].机器人技术与应用,2020(4):31-34.
- [5] 卢韬.非标自动化设备的特点与创新设计[J].内燃机与配件,2020(10):216-217.
- [6] 胡韵华,杨慧霞.自动化及保护设备行业市场经济运行情况分析与发展预测[J].电器工业,2018(8):24-37.
- [7] 肖仁强.非标自动化设备设计开发过程研究[J].中国设备工程,2017(18):203-204.
- [8] 罗松.大数据在自动化车间的应用[J].中国设备工程,2017(13):109-110.
- [9] 韩景春,曹雪雷.自动化设备托起制造业的未来——访青岛力鼎自动化设备有限公司总经理刘宗毅[J].金属加工(冷加工),2015(15):22-23.
- [10] 钟宣勇.自动化设备发展探析[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2014(5):224-225.