

PCB制造业能源管理在碳中和目标下的发展路径探讨

张如兴

广东 广州 510000

DOI:10.61369/WCEST.2025110005

摘要：在碳中和目标下，PCB制造业能源管理面临挑战。可通过构建智能能源监测系统、采用清洁工艺替代技术、开发节能项目等方式实现能源管理。同时，需构建碳资产管理体系、标准化流程、双重绩效评价体系、绿色金融激励机制及PDCA循环优化模型，建立知识管理系统，探索“技术突破 – 项目支撑 – 体系保障”路径实现可持续发展。

关键词：PCB制造业；能源管理；碳中和

Exploring the Development Path of Energy Management in the PCB Manufacturing Industry under the Carbon Neutrality Goal

Zhang Ruxing

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : Under the goal of carbon neutrality, energy management in the PCB manufacturing industry faces challenges. It can be achieved through the construction of intelligent energy monitoring systems, the adoption of clean process alternative technologies, and the development of energy-saving projects. At the same time, it is necessary to build a carbon asset management system, standardized processes, a dual performance evaluation system, a green financial incentive mechanism, and a PDCA cycle optimization model, and to establish a knowledge management system. The path of "technological breakthrough – project support – system guarantee" should be explored to achieve sustainable development.

Keywords : PCB manufacturing industry; energy management; carbon neutrality

引言

2020年我国提出“双碳”政策，明确二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和，在此背景下，PCB制造业作为电子信息产业基础，虽发展迅猛，但在能源消耗与碳排放上面临严峻挑战。《巴黎协定》对碳排放管控技术的新要求及电子产品碳足迹国际认证标准的完善，促使PCB制造业探索能源管理新路径。构建智能能源监测系统、采用清洁工艺替代技术、合理开发与实施节能项目等，成为其实现碳中和目标的关键举措，对推动行业可持续发展及全球碳减排意义重大。

一、PCB制造业碳中和目标下的政策与技术背景

(一) 国际碳中和政策框架解析

《巴黎协定》旨在将全球平均气温较工业化前水平升高控制在 2°C 之内，并努力限制在 1.5°C 以内，围绕此协定，其技术标准体系不断演变，对各国碳排放管控技术提出新要求^[1]。欧盟碳边境调节机制，作为一种碳关税措施，试图对进口高碳产品征收碳税，以避免碳泄漏，确保欧盟内部企业竞争力。我国双碳政策则以“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”为目标，积极推动能源结构调整、产业升级等一系列举措。两者虽出发点和侧重点有所不同，但都致力于全球

碳减排。同时，电子产品碳足迹国际认证标准不断完善，对PCB供应链提出了更为严格的要求，从原材料采购到生产过程，再到产品使用与废弃处理，整个生命周期的碳排放都被纳入考量，这促使PCB制造业必须紧跟政策与标准步伐，探索能源管理新路径。

(二) 行业发展现状与减排痛点

当前，PCB制造业作为电子信息产业的基础，发展态势迅猛，但同时在能源消耗与碳排放方面面临严峻挑战。从行业发展现状看，随着电子产品更新换代加速，PCB制造规模不断扩大，对能源的需求持续攀升^[2]。然而，其能源利用效率整体偏低，大量能源在生产过程中被浪费。在减排痛点上，化学沉铜、层压固

化等高耗能工序成为碳排放的“重灾区”。这些工序的工艺参数设置不够合理，未能充分兼顾能源消耗与碳效指标的平衡。目前，行业内缺乏有效的能源管理体系和先进的节能减排技术，难以精准量化各环节碳排放当量，致使碳排放难以得到有效控制，与碳中和目标存在较大差距。

二、能源管理关键技术突破路径

(一) 智能能源监测系统构建

在 PCB 制造业能源管理中，构建智能能源监测系统是关键。借助工业物联网技术，将各类生产设备连接起来，实现设备级能耗数据的实时采集与传输。运用传感器精准捕捉设备的用电、用水、用气等能耗参数，确保数据的准确性与完整性^[3]。同时，引入数字孪生技术，为每台设备建立虚拟模型，高度模拟设备实际运行状况，实时反映能耗变化。在此基础上，利用深度学习算法对采集到的海量能耗数据进行深度分析，开发能效异常诊断模型。该模型能够智能识别设备能耗的异常波动，提前预警潜在的能源浪费或设备故障问题，为企业及时调整生产策略、优化能源使用提供有力支持，助力 PCB 制造业在碳中和目标下实现高效的能源管理。

(二) 清洁工艺替代技术集群

在 PCB 制造业能源管理迈向碳中和目标的进程中，清洁工艺替代技术集群意义重大。一方面，直接电镀技术对传统化学沉铜工艺的替代能产生显著减排贡献。传统化学沉铜工艺流程复杂，涉及多种化学药剂使用，能耗高且易产生大量污染物。而直接电镀技术简化流程，减少化学药剂消耗与污染排放，从源头上降低碳排放^[4]。另一方面，紫外激光直接成孔技术值得关注，对其设备能效比进行经济性分析很有必要。该技术在成孔环节，相比传统机械钻孔等方式，可实现更精准高效加工，减少材料损耗与能源浪费。通过分析其设备能效比，能进一步优化工艺参数，提高能源利用效率，助力 PCB 制造业在实现清洁生产的同时，达成碳中和目标。

三、节能项目开发与实施策略

(一) 节能改造项目开发模型

1. 项目全周期管理流程设计

在 PCB 制造业的节能项目开发与实施策略方面，创建阶梯式开发模型意义重大。能效审计是基础，通过全面深入的能源使用情况审查，精准掌握 PCB 制造各环节能耗数据，为后续改进提供依据。基于审计结果进行技术选型，选择符合行业特点与企业实际的节能技术，如先进的生产设备、节能型照明系统等。同时，开展投融资评估，权衡项目成本与潜在收益^[5]。制定项目投资回报期与碳配额效益的复合评价标准，兼顾短期经济利益与长期碳减排效益。投资回报期反映资金回笼速度，碳配额效益考量项目对企业碳资产的积极影响，二者结合引导企业合理配置资源，推动节能改造项目高效实施，助力 PCB 制造业向碳中和目标迈进。

2. 风险防控机制构建

在 PCB 制造业节能项目开发与实施中，风险防控机制构建至关重要。需着重识别工艺替代带来的产线匹配风险。以工艺替代为切入点，由于新的节能工艺可能与原有产线存在适配差异，若不能有效识别，可能导致生产效率降低、产品质量不稳定等问题。为此，可建立基于失效模式分析（FMEA）的技术适应性评估矩阵^[6]。通过对潜在失效模式、后果及原因进行深入分析，量化各项风险指标，进而评估新技术在现有产线中的适应性。此矩阵能帮助企业提前察觉可能出现的风险点，为采取针对性的防控措施提供依据，确保节能改造项目顺利开展，使 PCB 制造业在追求碳中和目标进程中，平衡好节能与生产稳定性的关系。

(二) 典型项目实践分析

1. 余热回收系统改造案例

在 PCB 制造业中，层压机热效率损失问题突出，对能源管理影响较大。针对此，对导热油循环系统进行改造可有效节能。通过对导热油的流量、温度等参数优化，提升其热传递效率，降低热量损耗。例如，精准调控导热油的流速，使热量更均匀地传递至层压机各部位，减少局部过热或过冷导致的能量浪费，从而显著提升能源利用率。此外，热泵技术的集成应用也能实现降碳效果。热泵可将低品位热能转化为高品位热能，用于层压机预热等环节，减少对高碳排放能源的依赖。通过余热回收系统改造案例分析可见，这些节能技术的组合应用，有效提高了能源利用率，实现了降碳目标，为 PCB 制造业在碳中和目标下的能源管理提供了可行路径^[7]。

2. 空压机联控优化项目

在 PCB 制造业的空压机联控优化项目中，节能项目开发与实施策略聚焦于多台空压机协同供气。通过深入研究用气规律，建立分时用气需求预测模型，精准把握不同时段的用气需求^[8]。依据此模型，对多台空压机进行协同控制，使空压机的供气能力与实际用气需求紧密匹配，避免因供气过剩或不足造成能源浪费或生产延误。同时，引入变频群控系统，利用其可调节空压机运行频率的特性，在满足用气需求的前提下，有效降低空压机的能耗。最后，通过实际运行数据收集与分析，全面验证变频群控系统的节电有效性，为后续在 PCB 制造业大规模推广应用提供有力的数据支撑，助力实现碳中和目标。

四、能源管理体系创新机制构建

(一) 制度设计方法论

1. 碳资产管理体系架构

在碳中和目标下，PCB 制造业的碳资产管理体系架构应注重系统性与科学性。从组织架构来看，需设立专门的碳管理部门，成员涵盖能源专家、环境工程师以及财务人员等，以确保具备多领域专业知识，为有效管理提供支撑。在权责划分方面，明确各层级、各岗位在碳数据核算、碳排放控制、碳交易决策等方面的责任，避免职责不清导致管理混乱。监控流程要构建全面的监测系统，对企业各类生产活动的碳排放进行实时追踪与分析，及时

发现异常并采取措施。同时，依据^[9]，将 ISO50001 标准中能源管理的先进理念与碳交易机制中的关键管理要素进行深度整合，形成高效的碳资产管理体系，助力 PCB 制造业实现低碳转型。

2. 标准化流程构建

在 PCB 制造业能源管理体系创新机制构建的标准化流程构建方面，要制定覆盖设备采购、生产排程、废弃物处置的能效管理制度。在设备采购环节，明确能源效率指标，优先选择高能效设备，从源头把控能源消耗^[10]。生产排程过程中，通过精确计算与优化，依据订单需求、设备产能及能源成本等因素，合理安排生产顺序与时间，减少设备闲置能耗。对于废弃物处置，建立环保且节能的处理流程，实现资源回收再利用，降低废弃物处理的能源投入。同时，开发智能化管理流程的数字支撑系统，利用大数据分析、物联网等技术，实时监测能源使用情况，及时发现能源浪费点，为能源管理决策提供数据支持，助力 PCB 制造业在碳中和目标下实现能源管理标准化、高效化。

（二）绩效考核与激励机制

1. 双重绩效评价体系

在 PCB 制造业能源管理中，构建双重绩效评价体系具有重要意义。此体系结合经济指标（节能量）与环境指标（碳强度）来综合衡量能源管理成效。通过节能量指标，能直观反映企业在能源节约方面的实际成果，衡量企业是否高效利用能源，降低能源消耗总量，助力成本控制。而碳强度指标则聚焦于单位产值碳排放，体现企业在减少温室气体排放方面的努力，契合碳中和目标。在此基础上，制定分级分类的差异化考核标准，针对不同规模、生产工艺的 PCB 制造企业，设定与之匹配的考核要求，使考核更具针对性与科学性，全面、准确地评估企业能源管理绩效，为激励机制的有效实施提供坚实依据，推动 PCB 制造业朝着碳中和目标稳健发展。

2. 绿色金融激励机制

在 PCB 制造业能源管理体系创新机制构建的绿色金融激励机制方面，可大力探讨碳资产质押融资模式在节能项目中的运用路径。通过将企业拥有的碳资产作为质押物，向金融机构获取贷款，为节能项目提供资金支持，有效解决节能改造面临的资金瓶颈。与此同时，设计基于碳排放权交易的内部转移定价机制，明确企业内部不同部门间碳排放权的交易价格，引导各部门主动节能减排。如此一来，一方面拓宽了企业绿色发展的融资渠道，另一方面利用价格杠杆调动企业内部各部门的节能减排积极性，从

金融层面激励 PCB 制造企业在碳中和目标下更有效地开展能源管理工作，助力企业实现低碳转型与可持续发展。

（三）持续改进机制设计

1. PDCA 循环优化模型

在 PCB 制造业能源管理中，构建 PDCA 循环优化模型以实现持续改进。在规划阶段，基于碳中和目标，全面评估企业能源使用现状，精准制定能源管理计划，明确节能指标与具体措施。实施环节，严格按照计划有序推进各项节能举措，涵盖设备升级、工艺优化等方面。检查阶段，运用开发的能源管理成熟度评估工具，对能源使用数据进行实时监测与深入分析，精准找出能源浪费点与潜在问题。改进阶段，依据检查结果，及时调整能源管理策略与措施，形成管理闭环。通过不断循环这一过程，持续优化能源管理体系，推动 PCB 制造业在碳中和目标下不断提升能源利用效率，探索出切实可行的发展路径。

2. 知识管理系统构建

在 PCB 制造业能源管理中，知识管理系统构建十分关键。首先要设计节能技术知识库架构，这一架构需全面涵盖 PCB 制造各环节的节能技术，如线路板蚀刻节能技术、电镀节能工艺等，确保信息分类清晰、易于检索。同时，开发具备自我学习功能的智能决策支持系统。该系统能够自动收集、分析生产过程中的能源数据，结合过往经验数据实现知识沉淀。当面临能源管理相关决策时，系统可依据沉淀的知识及实时数据，快速提供科学合理的决策建议，促进节能技术在企业内部的广泛共享与高效应用，从而助力 PCB 制造业在碳中和目标下不断优化能源管理。

五、总结

在碳中和目标引领下，PCB 制造业能源管理的转型与发展至关重要。能源管理创新对实现碳中和起着关键作用，它不仅有助于提高能源利用效率，还能有效减少碳排放。所提出的“技术突破 – 项目支撑 – 体系保障”三位一体发展路径，为行业在碳中和征程中提供了清晰的理论框架。而加强工艺装备革新，能从生产源头提升能源利用效率，降低能耗；完善碳排放核算体系，有利于准确衡量碳排放，助力企业科学规划减排路径；深化政产学研协同创新，可整合各方资源，共同攻克技术难题，推动行业绿色发展。通过这些发展方向，PCB 制造业有望在碳中和目标下实现可持续发展，在环保与经济之间寻得平衡，为全球碳中和事业贡献力量。

参考文献

- [1] 童恩华. 碳中和目标下安徽省绿色发展研究 [D]. 沈阳大学, 2022.
- [2] 陈立扬. 碳达峰、碳中和目标下的绿色税制优化研究 [D]. 首都经济贸易大学, 2022.
- [3] 周轶栋. 碳中和目标下我国绿色出口竞争力的提升路径研究 [D]. 东南大学, 2022.
- [4] 薛蕊. 碳中和目标下煤电企业价值评估研究 [D]. 华北电力大学(保定), 2022.
- [5] 牛士豪. “碳中和”目标下中国省域碳排放效率测算及分析 [D]. 兰州财经大学, 2023.
- [6] 郑丽红. 碳中和目标下商业银行绿色金融发展路径探讨 [J]. 中国集体经济, 2022(32): 107–109.
- [7] 李全生. 碳中和目标下我国能源转型路径探讨 [J]. 中国煤炭, 2021, 47(8): 1–7.
- [8] 崔海燕. 碳中和目标下我国绿色金融的发展路径探究 [J]. 广东经济, 2023(2): 60–63.
- [9] 彭威, 梁东林, 殷贵华, 等. 碳中和目标下国有粮食仓储企业低碳发展路径探索 [J]. 粮油食品科技, 2022, 30(4): 206–210.
- [10] 鲁宇, 和颖婷, 华婷, 等. 碳中和目标下能源企业转型路径研究 [J]. 经济师, 2021(12): 41–43, 132.