



基于机器学习的中小物流企业低碳转型发展 现状与改进策略

林筱北

(科廷大学新加坡校区, 新加坡 117684)

摘要:在全球碳中和浪潮与新加坡“绿色计划 2030”的双重驱动下,物流行业的低碳转型已成为不可逆转的趋势。然而,占行业主体的中小物流企业却在绿色转型中面临独特的困境。本文聚焦新加坡中小物流企业,深入分析其在低碳转型过程中的困境,探讨如何使用机器学习为这些企业提供低成本、提高效率,同时提出从技术应用、商业模式、政策支持等多维度来改进策略,真正为中小物流企业在大数据时代的寻找生存之道。

关键词:机器学习;中小物流企业;低碳转型;新加坡;绿色物流;数据驱动

收稿日期:2026年2月20日

中图分类号:C931.9

通讯作者:林筱北,科廷大学新加坡校区

Development status and improvement strategies of low carbon transformation of small and medium sized logistics enterprises based on machine learning

Lin Xiaobei

(Curtin Singapore, 117684 Singapore)

Abstract: Driven by the global wave of carbon neutrality and Singapore's "green plan 2030", the low-carbon transformation of the logistics industry has become an irreversible trend. However, small and medium-sized logistics enterprises, which account for the main body of the industry, are facing unique difficulties in the green transformation. This paper focuses on small and medium-sized logistics enterprises in Singapore, deeply analyzes their difficulties in the process of low-carbon transformation, and discusses how to use machine learning to provide these enterprises with low cost and improve efficiency. At the same time, it proposes to improve strategies from the multidimensional aspects of technology application, business model and policy support, so as to truly find a way for small and medium-sized logistics enterprises to survive in the era of big data.

Key words: Machine learning; Small and medium-sized logistics enterprises; Low carbon transformation; Singapore; Green logistics; Data driven

0 引言

气候变化是一个紧迫的全球挑战,促使各国致力于实现碳中和目标,加快绿色转型。作为重要

的国际贸易和金融中心,新加坡于2021年启动了“2030年绿色计划”,承诺到2050年实现净零排放,并将提高碳税作为主要政策工具。在这一框架内,



物流部门作为碳排放的重要来源，已成为可持续转型的优先事项。全球范围内，物流约占碳排放量的10%，其中“最后一公里”运输尤其是排放密集型运输。在高度城市化的新加坡，密集的配电网满足了消费者的需求，但也带来了巨大的环境成本。然而，该行业内部的差距使绿色计划复杂化。拥有充足资金和技术资源的大型物流公司已经开始采用新能源车队、智能路由系统和环保包装。相比之下，占该部门大多数的中小型企业面临着越来越大的压力，从与大型企业的竞争到严格的环境条例，同时又受到有限资源的限制。这让他们陷入了一个悖论：避免转型风险过时，同时追求转型会威胁到金融压力。大数据和机器学习的进步为这一僵局提供了有希望的解决方案。通过从大量运行数据集中提取模式、优化决策和预测趋势，机器学习可以以相对较低的成本提高效率和减少排放^[1]。

1 新加坡中小物流企业特点及低碳转型发展背景

1.1 新加坡中小物流企业的特点

新加坡的物流业呈现出明显的双层结构。在一个层面上，数量有限的大型跨国物流公司和新加坡邮政和YCH集团等本地领导者在其广泛的全球网络和技术专长的支持下，主导着包括国际货运和复杂供应链管理在内的高价值细分市场。在另一个层面，众多中小型物流企业构成了该部门的骨干，主要集中于国内配送、区域运输和最后一公里电子商务配送。最近的数据表明，中小企业占新加坡物流公司的90%以上，雇佣了该行业近70%的劳动力^[2]。这些企业对于维持城市物流流畅性和支持社区级供应链运作至关重要。

这些中小企业有几个共同的特征。就规模而言，大多数公司的员工不到50人，运营的车队不超过10辆，主要服务于当地或区域市场。他们的商业模式通常侧重于专门的利基市场：在线零售配送、食品和饮料物流、有限的冷链服务，或为商业客户提供专门的货运解决方案。一个关键优势在于其适应性、快速响应能力和个性化服务。然而，许多企业缺乏内部研发能力，数字化水平参差不齐。相当多的国家仍然使用人工排班和纸面程序，这妨碍了业务的透明度和效率。在财务上，这些

公司的利润率很低，面临着持续不断的现金流挑战，特别容易受到成本增加的影响。因此，对新技术或基础设施的投资需要谨慎考虑和长期战略。

1.2 新加坡中小物流企业低碳转型发展背景

中小型物流公司向绿色运营的转变受到外部需求和不断增长的内部激励的影响。政策和管理措施是一个主要的外部因素。新加坡政府明确承诺碳定价，计划将碳税从目前的每吨5新元提高到2024年的每吨25新元，并预计到2030年达到每吨50~80新元。这种方法直接将碳排放与财务影响联系起来，从而提高了合规成本^[3]。与此同时，陆路运输管理局(LTA)继续收紧商用车的排放标准，加快淘汰旧柴油车型，并使采用环保替代品成为运营的必要条件。市场竞争是另一个日益增长的推动力。随着主要物流供应商和电子商务平台越来越多地宣传其可持续发展努力并推广“绿色物流”产品，客户的期望正在发生变化。许多公司客户，特别是跨国公司和高附加值部门的客户，现在认为环境绩效是选择物流合作伙伴和授予合同的决定性因素。拥有可靠的生态认证的物流公司越来越有可能赢得有利可图的协议，而那些未能采用可持续做法的公司面临着被逐步淘汰供应链合作的风险。与此同时，消费者环保意识的提升也在显著改变市场预期。具有环保意识的年轻购物者表现出对强调社会和生态责任的品牌的强烈倾向，促使许多中小型物流运营商，特别是在最后一公里电子商务交付中，迫切升级其可持续性方法。

2 新加坡中小物流企业低碳技术应用现状及挑战

2.1 低碳技术应用现状

目前，新加坡中小型物流企业对低碳技术的采用仍处于早期阶段，其特点是“反应性强于前瞻性规划，零散性强于系统性实施”。这在很大程度上受到市场压力、监管激励和企业意识的影响，这些因素共同塑造了该行业当前的绿色技术吸收格局。

在新能源汽车领域，少数中小企业已开始试验电动卡车或摩托车短途运输。政府资助的试点项目使一些公司能够在城市物流运营中测试电动



商用车一些公司已经采用了减排装置或过渡到生物燃料,试图降低碳足迹,但由于技术效率低下,结果往往有限,运营费用仍然很高。在智能选线方面,多家企业引入了选线优化软件,以减少怠速时间和里程。基于云的平台和支持全球定位系统的跟踪系统正在逐步集成,以提高交付效率。在绿色包装方面,一些电子商务公司已经淘汰塑料袋,取而代之的是生物可降解材料或包装免费送货。越来越多的公司也在探索对环境影响较小的可重复使用的包装系统和材料^[4]。然而,不断上涨的材料费用和运营复杂性继续挤压利润率,限制了更广泛的采用。在碳排放监测方面,大多数中小企业缺乏完善的碳核算机制。许多公司只通过人工日志或简单的电子表格跟踪基本的燃料消耗量,而不拥有整个供应链的端到端碳数据。

2.2 低碳技术应用的挑战

中小物流企业向低碳经营转型面临多重结构性障碍。资本约束是最根本的问题,对电动汽车和系统升级等绿色技术的高投资与中小企业已经很紧的现金流和低利润率相冲突。长期的投资回收期和不确定的回报进一步阻碍采用。由于复杂的申请流程和缺乏抵押品,许多公司也很难获得绿色贷款或补贴,使它们在财务上无法进行必要的升级。由于缺乏数据分析、系统集成和低碳技术方面的专业人才,因此难以采用和维护先进的解决方案。许多公司尚未完全数字化其基本运营数据,导致部署智能物流系统的基础薄弱。缺乏内部专业知识往往导致依赖外部供应商,这可能成本高昂,有时与公司的具体运营需求不符。绿色技术的效益往往取决于规模经济,而规模经济对于车队规模和运营量有限的小公司来说很难实现。充电站网络、共享仓储和协同碳核算系统等举措要求全行业的集体行动具有成本效益^[5]。如果没有这种合作,中小企业的单位成本会更高,议价能力也会降低,与更容易投资于可持续基础设施的大型企业相比,它们处于竞争劣势。此外,组织惰性和文化阻力是显著的。管理层通常倾向于保守策略,优先考虑短期稳定而非长期环境目标。同时,一线员工可能由于培训缺口、担心技术转移或仅仅是抵制变革而对新系统表现出较低接受度。习惯做法和心态差距进一步减缓了转

型,因为可持续性尚未深入到新加坡许多中小型物流企业的组织文化或日常运营价值观中。

3 新加坡中小物流企业低碳转型发展的关键技术——机器学习

在中小物流企业面临的各种挑战中,机器学习技术以其独特的价值取向,有望成为推动绿色转型的关键力量。与需要大量资本投资的新能源汽车不同,机器学习是一种强调数据而不是物理资产的软技术。其主要优势在于确定现有运营中的优化机会,以较低的增量成本同时提高效率和环境可持续性。

3.1 机器学习在绿色物流中的应用现状

路径优化和智能调度是机器学习在物流中最成熟的应用之一。通过采用遗传算法、强化学习和实时优化模型,这些系统动态地合并多个数据源,包括实时交通流、天气更新、订单集中和道路施工细节,以快速生成有效的路由策略。这使得中小型物流企业的油耗降低了10~20%。随着不断的数据收集和算法改进,系统表现出越来越强的适应性和预测能力,进一步提升了整体运营性能^[6]。

配送需求预测利用时间序列分析、回归模型和机器学习,结合历史订单模式、季节变化和其他元素,以生成高精度订单预测。这有助于物流公司精简运输能力和降低碳排放。汽车能耗建模依赖于OBD设备获取实时驾驶数据,并将其与路况和负荷因子合并。机器学习构建定制模型,提供反馈以增强驾驶实践,在不改变硬件的情况下实现燃油经济性。碳排放测量系统利用机器学习集成行驶距离和车辆类型等变量,创建一个碳足迹模型,该模型可精确计算排放量,精确定位高影响路线,并支持脱碳策略。异常检测应用机器学习来仔细检查车辆数据,识别故障趋势并发出警报,以防止高能耗和高排放,减少停机风险,并减少碳排放。

3.2 机器学习在中小企业机中的显著优势

相对于大型企业,机器学习特别适合中小企业的需要。首先,成本很低。机器学习解决方案越来越多地通过SaaS模型提供,允许公司通过订阅访问复杂的算法服务,而无需建立专门的团队。免费或低成本的试验大大降低了试验壁垒。第二,成果是迅速和可衡量的。机器学习的效果可以直接



量化和验证；例如，路线优化系统能够清晰地比较里程和燃油使用情况，增强企业信任并为未来投资提供信息。第三，增量采用是可行的。业务可以从特定的痛点开始，例如初始路线优化，然后逐渐扩展到包括需求预测、分散财务承诺和缓解转型障碍等功能。第四，数据资产积累具有较高的价值^[7]。机器学习将日常运营数据转换为资产，不断改进算法，增强竞争力，并创建由数据驱动的正反馈回路。

4 构建能够提升中小物流企业绿色竞争力的策略

解决中小型物流企业面临的低碳转型挑战需要一种整合技术供应、商业模式、政策支持和产业生态系统的多维方法。任何单一方面的努力都是不够的；只有通过集成协作，这些企业才能在数据驱动的绿色转型中获得竞争优势。

4.1 提供轻量级解决方案的技术力量

技术供应商必须认识到中小企业和大公司之间的根本区别，不再使用过于复杂的产品，而是提供适合小企业实际需要的轻量级解决方案。

易于部署，只需最少的设置，理想情况下提供即插即用功能，甚至可以通过移动应用程序访问核心功能。为一线员工设计的用户友好界面，避免了复杂的行话和流程，以减少培训开销。模块化体系结构，允许公司只为他们需要的功能进行选择 and 付费，并提供随时间扩展的选项。反映中小企业财务能力的具有成本效益的定价模型，例如基于使用的费用、每辆车的费率或与效率收益相关的基于共享的安排^[8]。此外，技术供应商应在实施之外提供持续支持。这包括持续培训、数据分析和优化指导，以确保客户充分利用这些工具。对于那些数据能力有限的公司，供应商还可以协助收集和清理数据，以降低数字化采用的障碍。

4.2 构建拥抱共享经济和合作共赢的商业模式

鉴于自主绿色转型的高成本，中小企业可以从共享经济模式和产业合作中受益。在采用电动汽车方面，第三方运营商可以购买电动卡车车队，并通过租赁安排提供这些车队，将高昂的前期成本转化为可管理的运营费用。对于充电基础设施，物流协会或集群可以与充电供应商协商，在高密度

区域建立共享站，从而无需昂贵的独立安装。在数字化方面，行业协会或领先企业可以开发共享数据和算法平台。SME可以通过API连接以访问基础服务，同时保留数据所有权和隐私。这种“行业云”模型减少了每家公司的技术投资，并通过汇集数据提高了算法的准确性。对于可持续包装，以行业为主导的联合采购举措可以提高讨价还价能力，降低环保材料的单位成本。在能力共享方面，不同中小企业可以探索终端配送的协同集成。同一区域内的多个物流企业可以对目的地相似的订单进行合并配送，由一个企业完成，其他企业按比例共享。这种联合配送模式不仅可以降低各企业的配送成本，还可以减少道路上的车辆总数，从而实现经济与环保的双赢。

4.3 实施针对性政策支持

政府政策必须更加精准地引导和支持中小物流企业绿色转型。在财政方面，应通过减少申请障碍、简化审批程序和加快资金分配来加强现有补贴和资助项目。引入“绿色过渡券”制度可以让中小企业购买绿色技术和咨询服务，先付款后报销，缓解现金流压力，同时确保资金用于真正的转型。对于购买新能源汽车的中小企业，除了直接补贴外，提供贷款折扣或融资担保有助于解决融资问题^[9]。在基础设施方面，政府应战略性规划新能源物流车辆的充电网络，优先在物流园区、配送中心和批发市场等高车辆密度区域安装充电站，以缓解“范围焦虑”。可向合作建设和共享充电设施的企业提供优惠土地或电价等激励措施。在数据和技术支持方面，政府可以利用现有公共服务平台提供免费或低成本数字转型诊断，帮助中小企业确定挑战并规划解决方案。来自运输当局的匿名交通流数据可以与物流公司共享，以优化配送路线。应向中小企业推广碳会计方法和标准，以降低合规成本。在示范和指导方面，政府可以选择绿色转型承诺强、基础扎实的中小企业作为试点案例，为创建可复制模式提供关键支持。这些标杆企业的成功将鼓励更多中小企业参与绿色转型^[10]。

4.4 构建多方利益相关者协同支持的产业生态

行业协会和中介组织是构建支持网络的重要



力量。协会可以建立信息共享平台,及时向会员传播政策更新、技术趋势和市场机会;组织技术培训和经验交流,促进相互学习;倡导共同产业需要政府的政策支持;制定绿色标准,指导企业规范化发展。大型物流公司和电子商务平台应承担起行业“连锁领头羊”的角色。通过绿色采购政策,他们可以优先与表现出环境绩效的中小企业合作,利用市场机制推动绿色转型;通过技术共享,为合作中小企业提供数字化工具,提高运营效率;通过企业授权,他们可以优先为中小企业绿色订单积极转型,创造积极的激励。金融机构还需要创新其产品和服务。开发绿色物流专用信贷产品,将企业环保绩效纳入信用评价模型,对绿色绩效好的企业给予优惠利率;探索基于碳减排的绩效挂钩贷款,将减排效果与融资成本挂钩;通过绿色债券、绿色信托等工具拓宽中小企业融资渠道。教育机构和科研机构要加强人才培养和基础研究。在职业教育中增加绿色物流及数据分析相关内容,为行业提供物流与技术并重的复合型人才;针对中小企业需求开展应用研究,推动机器学习算法与物流场景深度融合,降低技术应用门槛。

5 结语

新加坡中小物流企业的低碳转型正处于关键窗口期。一方面,日益严格的环保法规、不断上升的碳税成本、客户对绿色服务的需求,都在倒逼企业加速转型;另一方面,机器学习等数字技术的成熟,为中小企业提供了以较低成本实现效率与环保双赢的可能。这是一场数据驱动的绿色博弈,博弈的筹码不再是资本规模,而是数据洞察能力和技术应用水平。中小物流企业在这场博弈中并非注定处于劣势。相比大型企业,它们船小

好掉头,决策链条短,对技术变革的反应更为敏捷。只要找准切入点,善用外部资源,完全可以在绿色转型中实现弯道超车。关键在于摒弃被动等待的心态,主动拥抱技术变革,从最迫切的痛点入手,以渐进方式积累能力,逐步构建数据驱动的绿色竞争力。

参考文献:

- [1] 李嘉博. 供应链视角下绿色物流发展路径研究[J]. 物流科技, 2023(14)
 - [2] 张蕾. 绿色低碳技术对我国物流业可持续发展影响分析[J]. 商业经济研究, 2023(08)
 - [3] 茅丹丹; 顾平. 绿色供应链视角下的我国物流产业集群创新发展路径研究[J]. 物流工程与管理, 2021(11)
 - [4] 王建新; 曹智铭; 谭淳丰. 人工智能技术应用能驱动企业绿色转型吗. 湖南大学学报(社会科学版), 2026(01)
 - [5] 王平; 张誉杰. 人工智能赋能企业绿色转型——数据要素与数字化转型的双轮驱动机制. 统计与管理, 2025(09)
 - [6] 高晓雅. 绿色供应链视角下我国物流企业创新发展路径探讨[J]. 中国商论, 2024(01)
 - [7] 王伊阳. “双碳”目标下物流企业发展现状及应对策略[J]. 产业创新研究, 2023(20)
 - [8] 邵安春. 绿色物流对物流企业实现可持续发展的作用研究[J]. 全国流通经济, 2023(20)
 - [9] 陈雨嫣. 基于绿色供应链视角下的我国物流企业创新发展路径研究[J]. 中国物流与采购, 2023(17)
 - [10] 晏少东. 低碳经济环境下企业绿色物流管理创新分析[J]. 商场现代化, 2023(04)
- 作者简介: 林筱北(2005-), 女, 汉族, 福建新罗人, 科廷大学新加坡校区在读本科生, 主要研究方向为物流管理。