

边境贸易走廊的智能化升级——时空数据挖掘驱动的滇缅跨境农产品供应链优化

毕书豪

云南财经职业学院，云南省昆明市，650222；

摘要：滇缅边境贸易走廊作为中国——东盟农产品流通关键枢纽，面临通关滞后、物流损耗与信息壁垒三重挑战。本研究提出时空数据挖掘驱动的跨境供应链优化框架，通过整合口岸流量、冷链轨迹、市场波动等多维数据，构建动态风险预警与智能调度系统。通过跨境供应链时空耦合优化理论，解构地缘风险与数据决策的互动机制；开发适配低带宽的网络环境，支持边境贸易走廊的高效运行；设计智能升级实施路径，涵盖数字孪生平台、跨境数据特区等政策工具。研究为陆地边境走廊智能化升级提供可复用的“瑞丽模式”，应用于云南智慧口岸建设，未来将延伸至中老泰经济走廊，服务“一带一路”数字经济合作。

关键词：跨境农产品供应链；时空数据挖掘；边境贸易智能化；滇缅经济走廊；供应链弹性优化

DOI：10.64216/3080-1486.25.03.009

1 研究背景与意义

滇缅边境贸易走廊作为中国-东南亚农产品流通的关键枢纽，依托约 1997 公里边境线的地缘优势，已形成以瑞丽、腾冲为核心的跨境流通网络。在 RCEP 协定全面实施的背景下，该区域正从传统货物中转站向区域性农产品定价中心转型^[1]，热带水果、咖啡豆等高附加值生鲜品类贸易量持续增长，直接关联超百万边民生计，形成“口岸经济+特色农业”的产业生态。然而，当前供应链面临三重结构性矛盾：通关效率滞后导致生鲜损耗率居高不下，造成口岸高峰期拥堵严重；物流基础设施薄弱引发运输环节损耗，年均损失率达 15%~20%；信息壁垒致使供需匹配失衡，30%以上贸易商依赖传统中介渠道。随着中缅跨境光缆、智慧口岸等数字化基建落地，时空数据挖掘技术为破解上述痛点提供新路径：通过整合口岸通关流量、物流温湿度轨迹、市场需求波动等多维时空数据，可实现跨境物流动态优化、风险预警前置化及供应链弹性提升。本研究聚焦该技术驱动下的智能化升级方案，对强化中国—东盟农产品供应链韧性具有战略意义。

2 国内外研究综述

跨境供应链优化研究方面，主要聚焦于多式联运协同，（蔡湖南，2024）提出“陆海空+保税新模式，推动陆港物流降本增效”，货物通关时间压缩了近三分之二

^[2]。（张敏，2022）验证 RCEP 原产地规则数字化对生鲜通关的加速效应，更侧重于政策适配性。但现有成果多集中于港口枢纽，对陆地边境走廊的适配性不足。在时空数据挖掘物流应用中，（张建同，2024）在技术层面上基于时空距离聚类的冷链物流路径优化研究，获得配送成本更低解^[3]。当前应用多限于封闭物流系统，跨境多主体数据融合仍是瓶颈。在滇缅贸易走廊区域存在特异性缺失，（Somsawat，2022）指出现有智能供应链模型未适配缅甸口岸基础设施水平，缺乏“通关-物流-市场”全链路时空分析。

3 滇缅跨境农产品供应链现状分析

1. 滇缅跨境农产品贸易特征。在品类结构上，以生鲜农产品为主（水果、蔬菜占比高），辅以干货（坚果、茶叶），生鲜品类对物流时效要求严苛。流通路径方面，缅甸入境的农产品主要是从缅甸产地到边境集散中心（如瑞丽、畹町），再转运至中国境内分销网络。以陆路运输为主，公路占比超 90%，冷链覆盖不足导致损耗率高。从关键节点看，瑞丽、腾冲等口岸承担核心通关职能，但高峰期拥堵严重；中转仓设施简陋，缺乏标准化冷链仓储设施，生鲜农产品临时存储条件差；中缅双边检验标准差异大，重复查验延长通关时间^[4]。

2. 供应链现状与核心问题。贸易规模持续增长，但品类集中度高（热带水果、豆类占主导），易受市场波动冲击。在参与主体上，缅甸端小规模农户为主，组织

化程度低；国内以贸易商、批发市场主导，缺乏规模化供应链企业整合。供应链发展瓶颈凸显，主要表现在信息流方面，农户、贸易商、口岸间信息割裂，价格形成机制不透明；物流方面，跨境段多式联运衔接差，山区公路通行效率低；资金流方面，中小贸易商融资难，跨境结算依赖非正规渠道。同时，供应链面临运输途中生鲜腐败损耗，因疫情、政策调整等问题口岸突发性关闭，或因局部冲突、汇率波动影响缅甸供应链安全等风险与挑战。究其深层次原因是信息不对称，产地市场数据缺失，贸易商利用信息差压价；物流低效，缅甸境内路网薄弱，国内口岸智能化查验设备不足；资金风险，银行跨境服务缺位，民间借贷推高融资成本；质量监管标准不一致，国内抽检覆盖率不足等因素。

3. 现有数据资源体系与升级需求。时空数据来源方面，动态数据包括车辆 GPS 轨迹、口岸申报数据、气象预警等，静态数据包括产区地图、检验标准库、市场价格指数等，但缅甸产地种植数据和实时道路状态数据难以获取。多源数据融合方面，面临技术层面中缅海关申报系统异构、数据格式不兼容，以及政策层面跨境数据共享受限等挑战。智能化升级需求方面，主要包括整合路况、天气、口岸排队时长等数据生成生鲜运输最优路径，以及基于温湿度传感器和产品模型的变质预警、关联海关申报异常与政策变动信息的滞关预警、融合产区产量预测与中方市场需求数据的价格波动预警。

当前供应链矛盾核心在于跨境协同能力薄弱与生鲜品控需求迫切，需要通过时空数据挖掘技术打通信息孤岛，构建动态响应机制。

4 滇缅跨境农产品供应链结构优化

1. 优化目标与原则。在效率与效益提升中，缩短跨境物流响应周期，减少农产品损耗率，如压缩生鲜类产品平均通关时间，可提升供应链整体利润率。在风险与成本管控上，降低因天气突变、口岸拥堵、政策调整导致的供应链中断风险，通过路径优化降低运输成本。竞争力与可持续性强化方面，构建弹性供应链网络，响应“一带一路”倡议，推动绿色通关（如电子化单证减少纸质浪费）和平等互信的跨境贸易^[5]。

2. 时空数据挖掘技术框架。通过多源异构数据融合，整合卫星遥感（作物生长监测）、口岸 LOT 设备（货车流量/温湿度）、跨境交易平台订单、气象预警等实时数据，融合地理空间坐标与时间戳，如缅甸产地到云南

口岸 GPS 时空轨迹，构建时空立方体模型。再通过动态模式识别高频拥堵节点，如瑞丽口岸早高峰货车积压，并基于 LSTM 神经网络预测短期需求波动，如缅甸西瓜旺季出口量，可以实现关联规则的挖掘，发现如“雨季+口岸关闭”进而推导出“可选择的替代路线”等决策链。最后通过智能决策引擎，采用多目标遗传算法，平衡“时效-成本-风险”三角矛盾；开发跨境贸易数字系统，模拟预测因系统因素变动对供应链的冲击。

3. 供应链优化实施策略。第一，建立信息共享与协同决策平台。通过建设中缅双语跨境数据等交易平台，可实现产地种植计划、中国市场需求、口岸通关状态实时同步，建立多方（农户、物流商、海关）联合决策机制，动态调整出货批次；第二，加快物流网络智能调度落地。可结合实时路况与天气，动态规划冷链运输路线，实现路径优化，衔接缅甸段公路运输与云南段铁路干线，减少中转耗时，实现多式联运协同；第三，完善跨境贸易的金融风控与质量追溯。基于贸易流数据为中小农户提供信用贷款，实现区块链金融风控；利用 RFID+时空轨迹数据，实现“缅甸农田→中国超市”的分钟级全链条溯源；通过历史价格波动模型，推荐期货套保策略，可实现农产品期货风险对冲。

5 智能化升级方案设计构想

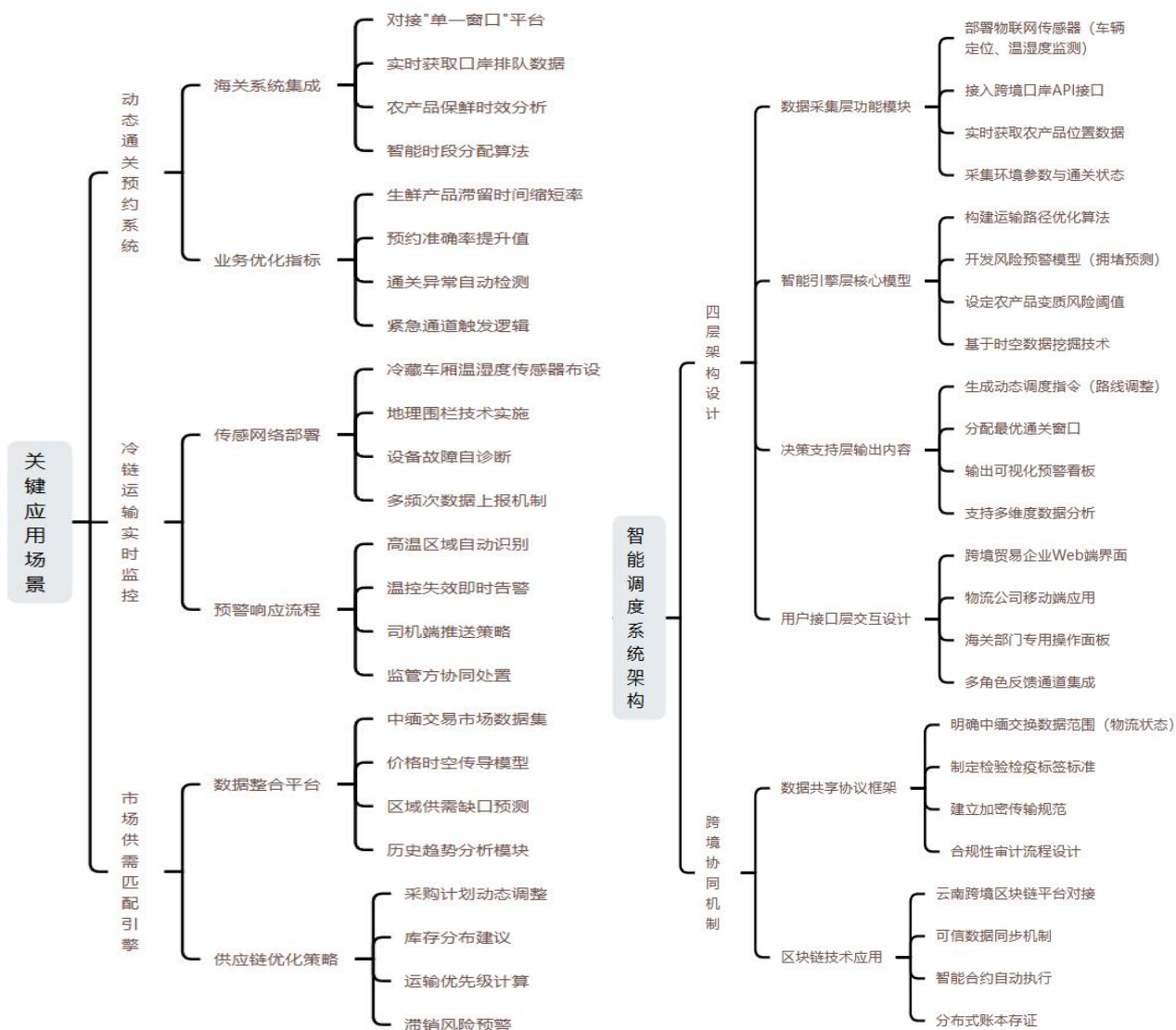
1. 智能调度系统架构。可采用数据采集层、智能引擎层、决策支持层和用户接口层四层架构设计，运用跨境协同机制，如中缅数据交换协议设计框架及区块链技术的运用，实现滇缅跨境农产品供应链智能化。

2. 关键应用场景设计。通过动态通关预约系统，对接海关“单一窗口”系统，基于实时口岸排队数据与农产品保鲜时效，智能分配预约时段，缩短生鲜产品滞留时间。通过冷链运输实时监控，在冷藏车厢内布设温湿度传感器，结合地理围栏技术，当车辆进入高温区域或温控失效时，自动触发预警并推送至司机与监管方。通过市场供需匹配引擎，整合中缅农产品交易市场数据，构建价格时空分析机制，预测区域供需缺口，指导供应链调整采购计划与库存分布。

3. 效益评估指标体系。效率指标方面，通过口岸平均通关时间压缩率、单日处理量增长率、异常通关事件下降值、电子化单据占比等指标，实现通关效率提升；通过对车辆周转率提升幅度、空驶里程减少量、准时到达率变化、多式联运衔接效率等指标，实现运输效能改

进。损耗指标方面,通过农产品变质率下降值、叶菜类损耗降低百分点、预冷处理达标率、包装破损改善度等指标,进行质量损耗控制;通过运输损耗成本占比下降、

冷链能耗优化值、保险理赔率变化、退货率降低幅度等指标,实现成本节约成效^[7]。



6 实证数据分析

本研究选取瑞丽口岸某跨境水果贸易企业近两年数据,通过对GPS物流轨迹、口岸通关记录、产区气象数据等时空数据,对冷链温湿度记录、企业库存周转日志、海关抽检报告等业务数据实时记录。同时,实验设置了传统模式和智能模式进行对照,传统模式依赖人工调度和纸质报关,智能模式则采用时空预测模型和电子围栏监管,完成实验设计。

结果分析表明,智能模式在路径优化、风险防控和通关效率方面都取得了显著成果。通过时空聚类算法,中缅段干线里程缩短超18%,冷链车辆空驶率下降41%。基于温湿度时序数据的LSTM预警模型,可提前6小时预警农产品变质,企业损耗率降低27%。智能报关系统

将单次通关时间波动范围压缩67%,雨季拥堵峰值减少54%。

案例显示,某缅甸水果供应链通过产量预测、区块链溯源和路径优化等智能方案改造后,运输周期缩短,腐损率降低,利润提升。某生鲜电商跨境次日达,创新点包括建立航空物流数字系统和采用动态库存分配,实现了快速送达和高订单履约率。关键核心在于数据驱动的价值、电子围栏技术的应用以及实施挑战,将口岸时空数据流纳入统一分析框架,不仅验证了智能系统在复杂跨境场景的适应性,更为跨境智慧供应链建设提供了可复用的“瑞丽模式”。

7 政策建议与实施路径

1. 技术层面。建设跨境供应链数字平台：整合中缅两国口岸、物流企业、产区的多源时空数据，开发动态风险推演系统。以瑞丽-木姐为试点平台，接入缅甸主要水果产区数据，制定时空数据安全交换标准，建立区块链存证机制保障农产品溯源数据，未来扩展至中老泰跨境走廊^[5]。

2. 机制层面。建立中缅智能供应链联合机构，研发适配缅甸基础设施的轻量化 AI 模型，制定跨境冷链设备共享标准。合作基础为依托云南自贸区德宏片区，联合缅甸商务部、仰光科技大学等机构。创新跨境冷链保险产品，设计智能温控设备实时传输数据至保险风控平台，实现动态保费定价，可使缅甸水果运输保险成本明显下降。

3. 政策层面。推动“智慧口岸”提升中国边贸便利，纳入 RCEP 数字贸易条款，将电子围栏监管技术列为跨境农产品快速通关推荐方案，建立 RCEP 成员国农产品数据互认白名单。设立农产品跨境数据特区，对榴莲、牛油果等主要农产品豁免数据出境安全评估，采购智能温控设备企业享受增值税即征即退。

4. 阶段性发展。为加快推进边境贸易走廊智能化升级，可将发展分为三个阶段：试点深化阶段，可以在瑞丽等口岸建成“智慧农产品跨境走廊”，验证相关平台与政策，并发布数据安全交换指南；区域推广阶段，扩展至中缅主要农产品品类，促成中缅企业互信交易机制；机制固化阶段，推动“智慧边贸”标准纳入中国-东盟数字贸易协定，提升缅甸主要农业区网络覆盖率。构建“技术-机制-政策”三维评估体系，实时监测跨境贸易风险，主动服务“一带一路”数字经济走廊建设^[6]。

8 结语

通过时空数据挖掘，可提升滇缅跨境农产品供应链弹性，确定智能化升级的规模经济临界点，为边境贸易走廊的智能化升级提供了重要支持。未来研究可关注区块链赋能的跨境数据确权，以确保数据的安全性和可信度，为探索绿色智能供应链发展实现碳中和目标夯实基础。

参考文献

- [1]《区域全面经济伙伴关系协定》（RCEP）[EB/OL]. 中华人民共和国商务部. 2012-11-20. http://fta.mof.gov.cn/rcep/rcep_new.shtml
- [2]中国陆港 50 人 | 蔡湖南：陆海空+保税新模式，推动陆港物流降本增效[EB/OL]. 陆港网. 2024-08-08. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1806799824452100653>
- [3]张建同, 经科. 基于时空距离聚类的冷链物流路径优化研究[J]. 物流科技, 2024, 47(1): 164-169.
- [4]周晓东. 滇缅双边贸易潜力研究[D]. 云南大学, 2021.
- [5]孙立蓝. 中缅边境经济贸易交易会发展研究[D]. 广西大学, 2020.
- [6]段海波. “一带一路”建设下的滇缅边境贸易发展研究[D]. 中央民族大学, 2018.

作者简介：毕书豪，出生年月：1988 年 12 月，性别：男，民族：汉族，籍贯：云南玉溪，学历：硕士研究生（博士在读），职称：助教，研究方向：经济统计 职业教育。