

沙特阿拉伯跨境电商海外仓选址优化研究

哈弗得

东华大学 上海 200051

摘要: 本文针对沙特阿拉伯跨境电商海外仓选址问题, 构建了多目标优化模型, 并设计了改进的NSGA-II算法(NSGA-IImb)进行求解。研究基于沙特的市场环境、物流基础设施和政策法规, 综合考虑成本、服务和风险三个目标, 提出了一系列选址方案。通过敏感性分析和多场景验证, 展示了不同预算、需求和政策环境下的选址策略, 并为跨境电商企业提供了管理启示和决策建议。

关键词: 沙特阿拉伯; 跨境电商; 海外仓选址; 多目标优化; NSGA-II算法

引言

随着全球电商市场的快速发展, 跨境电商已成为国际贸易的重要组成部分。沙特阿拉伯作为中东地区最大的经济体, 拥有庞大的消费市场和不断增长的电商需求。近年来, 沙特电商市场呈现快速增长趋势, 2024年电商交易额同比增长30%, 预计未来几年将继续保持25%以上的年增长率。然而, 跨境电商企业在沙特建设海外仓时面临着复杂的决策环境, 包括高昂的建设成本、严格的政策法规和多样的客户需求。因此, 如何在沙特合理选址海外仓, 以实现成本最小化、服务最大化和风险最小化, 成为企业亟待解决的问题。

一、沙特阿拉伯跨境电商市场环境分析

(一) 市场概况与电商发展

沙特阿拉伯是中东地区最大的经济体, 拥有约3500万人口, 人均GDP超过2万美元, 消费市场庞大且购买力强。近年来, 沙特电商市场呈现快速增长趋势, 2024年电商交易额同比增长30%, 预计未来几年将继续保持25%以上的年增长率。沙特消费者对电子产品、服装鞋帽、家居用品等需求旺盛, 且对配送时效和服务质量有较高要求。此外, 沙特的电商渗透率在主要城市如利雅得、吉达和达曼分别达到67%、62%和58%, 显示出电商市场的巨大潜力。

(二) 物流基础设施现状

沙特的物流基础设施较为完善, 主要城市之间通过高速公路和铁路相连, 交通便利。吉达港和达曼港是中东地区重要的海运枢纽, 能够满足跨境电商的货物运输需求。此外, 沙特的航空运输也较为发达, 利雅得、吉

达和达曼等城市设有国际机场, 为跨境电商提供了多样化的物流选择。然而, 物流成本较高, 尤其是最后一公里配送成本, 占总物流成本的30%以上。根据沙特物流协会的数据, 公路运输成本平均为每公里每吨0.8-1.2里亚尔, 城际运输成本与距离的相关系数达到0.85以上。此外, 沙特的物流配送时效性也面临挑战, 城市内配送平均时间为4小时, 而跨区域配送时间可达36-48小时。因此, 企业在选址海外仓时需要综合考虑物流成本和配送时效性。

(三) 政策法规与投资环境

沙特政府积极推动经济多元化发展, 出台了一系列政策支持跨境电商和物流行业的发展。例如, 沙特“2030愿景”计划通过建设经济特区和提供税收优惠, 吸引外资进入物流和电商领域。然而, 跨境电商企业仍需遵守严格的法律法规, 确保运营合规。此外, 沙特的政策环境也在不断变化, 企业在投资建设海外仓时需要密切关注政策动态, 及时调整投资策略。例如, 经济特区的优惠政策可能随时调整, 企业在选址时需要充分考虑政策的稳定性和可持续性。

二、海外仓选址多目标优化模型

(一) 问题描述与目标设定

海外仓选址问题是在给定的候选地点集合中选择若干个位置建设海外仓, 以满足沙特境内客户需求, 同时优化总成本最小化、服务水平最大化和运营风险最小化三个目标。该问题属于多目标组合优化问题, 决策空间为候选地点的所有可能组合, 目标空间为三维目标函数构成的向量空间。候选地点主要分布在经济发达的城市群和交通枢纽节点, 如利雅得、吉达和达曼等。根据沙

特统计局的数据，利雅得地区人口808万，人均GDP为4.2万美元；吉达地区人口856万，人均GDP为3.8万美元；达曼地区人口498万，人均GDP为5.1万美元。这些地区的电商渗透率较高，市场需求旺盛，是海外仓选址的重点区域。

（二）模型假设与参数定义

假设候选海外仓位置集合在规划期内保持固定，客户需求已知且确定，运输成本与距离成正比，海外仓容量限制为硬约束。模型涉及的成本参数包括建设成本、运营成本、运输成本和库存成本；需求参数包括客户对各类商品的年需求量；容量参数包括海外仓的最大存储容量和日处理能力；服务参数包括配送时间、服务质量评分和覆盖范围；风险参数包括位置的综合风险评分。例如，建设成本根据地区不同有所差异，利雅得地区为800-1200万里亚尔，吉达地区为600-900万里亚尔，达曼地区为500-800万里亚尔，经济特区为400-700万里亚尔。运营成本则包括人力成本、水电费用、维护费用和管理费用等，其中人力成本根据沙特人力资源和社会发展部的数据，仓储作业人员平均月薪为4500里亚尔，管理人员平均月薪为8500里亚尔，技术人员平均月薪为6500里亚尔。

（三）决策变量与约束条件

决策变量包括是否在候选位置建设海外仓的二进制变量、海外仓向客户供应商品的数量、客户是否由海外仓服务的分配变量以及海外仓的库存水平。约束条件包括容量约束、需求满足约束、地理位置约束、沙特特殊约束和预算约束，确保选址方案在满足客户需求的同时，符合沙特的地理、文化和政策环境。例如，容量约束要求海外仓的存储容量和处理能力不能超过设计上限；需求满足约束确保每个客户的每类商品需求都能得到完全满足；地理位置约束限制海外仓的建设位置，确保其位于交通便利的区域；沙特特殊约束则考虑宗教文化、监管合规等因素，如清真认证要求和本土化要求；预算约束限制海外仓建设和运营的总投资规模，确保选址方案在企业财务能力范围内。

三、改进的NSGA-II算法设计

（一）算法局限性分析与改进策略

标准NSGA-II算法在处理多目标优化问题时存在局限性，如拥挤度距离计算无法有效处理目标函数的尺度差异，选择压力分配未能体现目标权重差异，收敛性能不足。针对这些问题，本文提出了改进的NSGA-IImb算

法，通过自适应拥挤度计算、动态权重调整和精英保留策略优化，提升了算法的性能。自适应拥挤度计算机制基于目标函数的权重和尺度差异，动态调整各目标在拥挤度计算中的贡献比例，避免因尺度差异导致的搜索偏向。动态权重调整机制根据算法的收敛阶段和多样性保持阶段，动态调整目标权重，强化重要目标的优化。

（二）算法流程与参数设置

NSGA-IImb算法的流程包括参数初始化、初始种群生成、目标函数评价、约束条件检查、自适应拥挤度计算、动态权重调整、精英保留和环境选择等步骤。参数设置基于沙特市场环境和模型特征，种群规模设定为100，最大迭代次数为500，交叉概率为0.85，变异概率为0.1。算法的时间复杂度为 $O(MN^2T)$ ，空间复杂度为 $O(N^2)$ ，计算开销增加15-20%，但显著提升了求解质量和收敛效率。例如，算法在处理沙特海外仓选址问题时，能够在287代达到收敛标准，比标准NSGA-II算法提前69代收敛，超体积指标提升4.3%，IGD指标改善29.8%。

（三）编码方式与操作设计

采用长度为15的二进制编码表示候选位置选择方案，每个基因对应一个候选位置，基因值1表示建设海外仓，基因值0表示不建设。交叉操作采用单点交叉，优先在区域边界位置进行交叉，保持区域内位置选择的完整性。变异操作采用多层次变异策略，优先选择具备清真认证和监管合规能力的位置进行变异。编码合法性检查和修复机制确保每个个体满足预算和区域覆盖约束。例如，当个体违反预算约束时，通过贪心删除策略移除成本效益比最低的位置；当违反区域覆盖约束时，通过强制添加策略补充未覆盖区域的位置。

四、案例验证与仿真分析

（一）数据构建与实验设计

基于沙特的市场环境和物流基础设施，构建了涵盖15个候选位置、15个客户需求点和5类商品的完整数据集。实验设计包括基准场景、对比实验、敏感性分析和鲁棒性分析等，采用标准NSGA-II、NSGA-III、MOEA/D和MOPSO等算法进行对比验证，每个算法独立运行10次，统计平均性能指标和标准差。数据采集采用多源融合策略，建设成本数据来源于沙特建设部《建筑工程造价标准2024版》、Colliers International Saudi Arabia《2024年房地产市场报告》等，需求数据基于沙特统计局《2024年人口普查报告》和沙特电商协会《2024年消费者行为调研报告》等。

（二）算法性能验证与结果分析

通过超体积指标 (HV)、反向世代距离 (IGD) 和间距指标等量化算法性能, 结果显示 NSGA-II 算法在所有性能指标上均优于对比算法。Pareto 前沿分析揭示了成本、服务和风险三个目标之间的权衡关系, 推荐的选址方案覆盖沙特 85% 的人口, 年投资回收率预计达到 18.5%, 所有选中位置都具备清真认证处理能力。例如, 成本优先解选择利雅得南部工业区、吉达伊斯兰港附近、朱拜勒工业城、吉赞经济城 4 个位置, 总投资 2840 万里亚尔、服务水平 0.823、风险水平 0.487; 服务优先解选择利雅得市区、吉达市区、达曼市区、哈立德国王国际机场周边、阿卜杜勒阿齐兹国王国际机场周边 5 个位置, 总投资 6320 万里亚尔、服务水平 0.918、风险水平 0.358。

（三）敏感性分析与启示

敏感性分析表明, 预算、需求和政策环境的变化对选址方案有显著影响。预算增加时, 企业可选择更多位置以提升服务水平; 需求增长时, 企业需优化选址以满足客户需求; 政策环境变化时, 企业需灵活调整选址策略以适应法规要求。管理启示包括多目标权衡管理、不同企业规模的适用性分析、分阶段投资策略以及政策环境适应性管理等, 为企业提供科学的决策支持。例如, 小型企业推荐采用“经济特区+第三方合作”模式建设 2-3 个海外仓, 预期投资回收期 3.5 年、年化收益率 22%; 大型企业推荐采用“全覆盖+自营为主”模式建设 8-10 个海外仓, 预期投资回收期 5.1 年、年化收益率 15%、市场占有率可达 25% 以上。

五、选址方案推荐与决策支持

（一）不同发展阶段的选址策略

根据沙特“2030 愿景”的阶段性特征, 提出三种不同发展阶段的选址策略。初期发展阶段推荐建设 4 个海外仓, 总投资 3150 万里亚尔, 覆盖人口 2280 万; 中期扩展阶段推荐建设 6 个海外仓, 总投资 5670 万里亚尔, 服务人口增至 3040 万; 成熟运营阶段推荐建设 8 个海外仓, 总投资 6890 万里亚尔, 覆盖人口 3420 万, 建立海运-空运-陆运立体物流网络。这些策略能够满足企业在不同发展阶段的需求, 确保投资效益最大化。

（二）区域功能定位与商品类别配置

区域功能定位: 利雅得都市圈为全国配送中心, 吉

达都市圈为海运门户和西部配送中心, 达曼都市圈为工业品配送中心。商品类别配置: 电子产品集中配置在机场附近仓库, 服装鞋帽采用分散配置, 美妆个护和母婴用品配置在具备清真认证能力的仓库, 家居用品配置在港口附近大容量仓库。这种配置能够充分利用各区域的优势, 提高物流效率和服务质量, 同时满足沙特市场的特殊需求。

（三）运营模式与技术配置选择

运营模式选择: 初期采用第三方合作海外仓模式, 中期采用混合模式, 成熟阶段采用自营为主模式。技术配置: 初期采用半自动化分拣系统, 中期升级为全自动化系统, 成熟阶段引入人工智能和物联网技术, 提升仓库运营效率和管理水平。

总结

本文针对沙特阿拉伯跨境电商海外仓选址问题, 构建了多目标优化模型, 并设计了改进的 NSGA-II 算法进行求解。研究综合考虑了成本、服务和风险三个目标, 通过敏感性分析和多场景验证, 展示了不同预算、需求和政策环境下的选址策略。研究结果表明, NSGA-II 算法在求解质量和收敛效率上优于标准 NSGA-II 等对比算法, 能够为企业科学选址提供决策支持。未来研究可进一步探索更多目标函数的优化模型, 以及结合人工智能技术的动态选址策略, 以应对跨境电商市场的复杂变化。

参考文献

- [1] 蒋莎. 基于粒子群算法的海外仓选址优化模型研究 [D]. 重庆师范大学, 2019.
- [2] 曹先荣. 不确定环境下跨境电商海外仓多目标选址模型研究 [D]. 合肥工业大学, 2019.
- [3] 梅宝林. 河南省跨境电商海外仓选址研究 [J]. 现代营销 (经营版), 2018, (22): 121-122.
- [4] 周阳宾. 面向中东的跨境电商攻略——如何解决中东电商市场的现有问题 [J]. 中国市场, 2018, (19): 187-189+191.
- [5] 李康. 冷链物流网络选址—路径—库存多目标优化模型及应用 [D]. 东华大学, 2018.