

文章编号: 1000-6788(2009)05-0017-10

基于仿真技术的连锁零售企业配送中心布局决策模型

郑海鳌¹, 陈智民², 尤建新¹

(1. 同济大学 经济与管理学院, 中国科技管理研究院, 上海 200092; 2. 深圳大学 管理学院, 深圳 518060)

摘要 合理的配送中心布局可以大大降低企业的物流营运成本和提高物流系统的运营效率. 从零售业连锁经营和配送中心本质特征分析入手, 将连锁零售企业的配送中心布局决策问题界定为以设施成本、物流成本和快速反应能力等多重子目标达到最优的多目标多配送中心选址问题. 在对影响配送中心选址布局的因素进行定性分析和定量分析的基础上, 运用蒙特卡罗静态仿真进行成本分析和 Arena 动态仿真进行响应时间分析相结合的方法构建了多目标多配送中心布局决策分析模型, 并采用 AHP 和 TOPSIS 相结合的综合评价方法分析相关指标和数据来确定最优方案. 最后, 以一家大型连锁超市作为研究算例, 以珠三角地区作为布局分析区域, 构建实物模型以验证决策模型的科学性和有效性.

关键词 连锁经营; 配送中心; 布局决策; 静态仿真; 动态仿真

中图分类号 F253.4

文献标志码 A

Decision-making model of distribution centers location based on simulation-tool for chain retail enterprises

ZHENG Hai-ao¹, CHEN Zhi-min², YOU Jian-xin¹

(1. School of Economics and Management, Chinese Academy of Science & Technology Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Management, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract A rational distribution center location can greatly reduce the cost of construction and operation for the chain commercial company. Based on the analysis of the essential characteristics of retail chain business and distribution center, the distribution centers location problem of chain retail enterprises is regarded as a multi-objective multi-distribution center location problem which requires the multiple objectives of facilities costs, logistics costs and a rapid response capability to be optimized at the same time in the article. On the basis of the qualitative and quantitative analysis of the factors influencing the location of distribution center, it constructs a decision-making model of multi-object and multi-distribution centers location based on combining the static simulation of Monte Carlo used for cost analysis with dynamic simulation of Arena used for response time analysis. Then, it adopts the ideas of the comprehensive factor evaluation methods of AHP and TOPSIS to evaluate the related indicators and data. The optimum scheme can be found out. Finally, a chain supermarket enterprise is taken as a case study, the Pearl River Delta as a target area, and an implemented simulation model is constructed to verify the scientificity and validity of the decision-making model.

收稿日期: 2007-12-19

资助项目: 上海市科学技术委员会重大项目 (06DZ22924); 上海市重点学科建设项目 (B310)

作者简介: 郑海鳌 (1981-), 男, 湖北人, 博士研究生, 研究方向: 管理理论与工业工程; 陈智民 (1962-), 男, 陕西人, 教授, 研究方向: 管理系统仿真、生产运营管理; 尤建新 (1961-), 男, 江苏人, 博士生导师, 研究方向: 质量管理、科技管理.

Keywords chain operation; distribution center; location decision-making; static simulation; dynamic simulation

1 引言

连锁经营以其标准化、集中化和专业化的特点已经成为世界零售业发展的趋势。从沃尔玛和家乐福等国外连锁商业巨头的成功经验来看,其强大的竞争优势除了归功于其强大的经济实力和品牌效应之外,更是他们运用先进物流配送手段的结果。“连配送”是连锁零售企业核心竞争优势的重要源泉,而配送系统的合理规划 and 建设则是其“连配送”强大功能发挥的前提。在配送系统中,配送中心的布局决策决定了整个配送系统的模式、结构和形状。在既定的条件下,不同的配送中心选址及布局方案将可能使整个企业物流系统的绩效产生巨大的差异。合理的配送中心布局可以大大降低企业的物流营运成本和提高物流系统的运营效率。Ronald^[1] 等人曾在 1993 年提出物流系统设计的四个核心战略规划区域模型 (Four major strategic planning areas in logistics system design),他认为四个核心区域为客户服务水平、选址决策、库存决策和运输决策 (Customer Service levels, Location decisions, Inventory decisions, Transport decisions),而选址决策是其它所有决策的基础。因此,对于致力于长远发展的中国连锁零售企业来说,配送中心布局的合理性和科学性显得尤为重要。

关于物流配送设施选址和布局的理论及模型研究一直是物流领域研究的热点与难点问题。配送设施选址和布局理论,是在早期经典设施选址理论的基础上,伴随着电子计算机等现代科学技术的广泛应用而发展起来的^[2]。近二十年来,关于设施选址理论发展迅速,很多配送中心选址及网点布局的定量方法被开发出来。这些方法主要是把成本或利润当成首要考虑因素,从成本最优或利润最优的角度进行研究。总的来说,求解配送中心的选址模型分为连续型和离散型两种,其中相对比较成熟且已经得到实际运用的四种方法是重心法、最优化规划方法、启发式方法和仿真方法。但这些方法在目前的运用中仍然存在着很多缺陷,比如:重心法的自由度过多,往往由迭代法计算求得的最佳地点实际上很难找到或是不适合构建配送中心^[3];最优化规划方法是目前应用最广泛的选址方法,如混合-整数线性规划法 (Mixed-integer linear programming)^[4],但此模型考虑的因素往往相对比较简单,如考虑多重因素,可能很难建立合适的模型或者模型太复杂难以求解;启发式方法采用的是逐次逼近法,得到的可行解可能与最优解有比较大的偏差,如鲍莫尔-瓦尔夫 (Baumol-Wolfe)^[5]模型和库恩-哈姆伯格 (Kuehn-Hamburger)^[6]模型;仿真方法最突出的优势就是其对现实情况的精确描述和强大的动态模拟功能,通过计算机进行模拟找解析解也较为简单,具有较强的实用价值,常用来解决大型的、十分复杂的问题^[7],如早期的亨氏公司 (H.J. Heinz Company) 仓库选址仿真模型^[8],但目前在我国的研究还很不成熟。从国内的研究情况来看,无论是在理论上还是在实践上,都没有什么重大的突破,没有取得突出的成果。在理论上,基本上都是照搬国外的一套,没有很多的创新之处;而在实践上,由于配送中心在我国是最近几年才开始兴起,再加之物流人才的匮乏,配送中心的选址基本上都是凭借管理人员的经验进行定性分析,往往缺乏一套科学合理的流程和定量分析方法,从而使配送中心选址和布局决策缺乏科学性,极可能带来不必要的损失。

2 配送中心布局的影响因素分析

配送中心的选址与布局决策,应以企业发展战略为导向,以企业物流配送系统优化为基本目标,从整个业务区域的大系统出发,使配送中心的地域分布与区域物流资源和需求分布相适应。布局决策不仅仅要考虑满足当前零售点的需要,还应考虑企业未来的业务发展战略,同时还必须以企业的资金实力和融资能力为基础,要考虑建设配送中心的设施成本与企业的承受能力相匹配。基于此,本文将连锁零售企业配送中心布局决策问题界定为以设施成本、物流成本和服务水平等多个子目标综合最优的多目标多配送中心选址问题。

作为一个复杂的多目标决策问题,配送中心的选址与布局受到诸多因素的影响。在选址与布局决策过程中,应当对这些影响因素采取定性分析和定量分析相结合的分析方法,才能获取科学合理的决策支持。根据对各主要影响因素所采取的主要分析方法的不同,我们将上述因素归为定性分析因素和定量分析因素两大

类。在配送中心选址与布局的决策过程中, 定性分析因素是最基本的约束条件和过滤条件, 往往是通过定性因素的分析寻找配送中心的备选地址并确定备选方案, 它主要包括连锁网点的分布、现有配送中心或大型仓库的分布、供应商的分布、环境因素 (包括自然条件、交通条件、社会环境) 等; 定量分析因素则是评价备选方案优劣的直观性因素, 它除了包括传统意义上的成本因素 (即设施成本和物流配送成本), 还包括配送中心预期的配送服务水平 (即快速响应能力) [9-10]。本文重点研究定量分析因素。

2.1 设施成本

设施成本是指不随配送业务量变化的固定投入及运营成本, 包括建设分摊成本 (或租赁成本) 和固定营运支出。配送系统的总建设分摊成本 (或总租赁成本) 往往随着配送中心设施数量的增多而增加, 随着设施数量的减少和单个配送中心规模的增大而减少。固定营运支出是指配送中心设施建成后所需花费的各种固定费用, 即是指不随配送业务量的变化而变化的支出成本, 包括固定资产的折旧、磨损、维护保养费用、固定员工工资、固定管理费用以及燃料、水、电等固定动力和能源成本等。整个配送中心网络的营运成本遵循规模递减规律, 即是营运成本随着配送中心设施数量的减少, 单个配送中心规模的增大而减少, 但当配送中心设施数量减少到一定程度, 单个配送中心运作出现规模不经济的情况, 运营成本又将会出现上升的情况。综合分析来看, 配送设施总成本随着设施数量的减少、单个配送中心规模的增大而减少, 因为设施的合并能使企业在建设成本和固定营运成本方面都得到规模经济效益。

2.2 物流配送成本

物流配送成本主要包括库存成本和运输成本。随着电子商务的发展以及生产销售模式的改进, 订货周期和补货时间均大大缩短, 配送中心的周期性库存水平和安全库存水平也得以有效的降低, 采购成本和缺货损失费用也得以大大降低, 库存成本在配送总成本中所占的比重也是呈现逐渐下降的趋势。根据 Nozick^[11] 等人的研究表明, 在现代物流配送技术条件下, 物流系统中配送中心设施的数量对整个物流系统的周期库存持有成本的影响很小; 而在特定的库存政策下, 物流系统中配送中心设施的数量增加时, 整个物流系统的安全库存量就会大量增加, 相应的安全库存成本也会大幅上升, 当配送中心数量到一定数量以上 (10 个或者 10 个以上时), 安全库存近似与配送设施数量呈线性关系。因此, 与配送中心选址和布局决策相关的库存成本主要是安全库存成本。

配送中心的运输成本则包括供应商到配送中心的内向运输成本和配送中心到连锁门店的外向运输成本两部分。从运输成本的定量分析来看, 外向运输成本分析相对比较容易, 可根据各配送中心向各零售点承担的运输规模和运输距离进行计算, 而内向运输成本分析显然要比外向运输成本分析复杂得多, 这主要是因为连锁零售企业的商品数量数以万计, 供应商的选择也可能会经常发生变更, 而货源地可能是生产基地也可能是区域物流中心。故而众多采购的商品到配送中心的运输量和运输距离都难以确切的统计和推算出来。但从当前产业发展来看, 产业集群的态势已呈现出来, 区域性物流设施也日益完善, 商品供应商为增强自身产品的价格竞争优势, 也经常会选择在零售业发达的地方兴建工厂或仓库设施。故配送系统的商品供应主要来源于各个商品集散地, 包括产业集群聚集地、区域物流中心等, 配送中心商品内向运输的源头区域可以进行比较明确地分类, 并可以根据各源头区域到各配送中心的预计运输规模和运输距离估算出运输量, 从而可以确定内向运输成本。综合来看, 随着配送系统中配送设施数量的增加, 内向运输成本上升, 但配送设施距离顾客更近, 外向运输成本下降得更快; 但当设施的数量增加到某一点, 外向运输的批量减小到以至于无法保证到达所有配送点的运输达到规模经济时, 增加设施的数量也会使运输成本增加。

2.3 快速响应能力

现代连锁零售企业应当是快速响应型企业, 而不仅仅是传统的成本领先型企业。配送中心能否给各连锁分店实现及时配送是衡量其服务水平高低的重要指标。可以用配送中心对连锁零售点的订单响应时间的长短来衡量配送中心的快速响应能力。从配送中心对各连锁分店的服务过程来看, 配送中心对各连锁分店订单需求的响应时间 (Response time) 主要包括订单处理时间和运输时间。配送中心对其配送客户即各连锁网点的订单需求响应时间越短, 各连锁零售点对顾客需求的反应越快, 不仅仅可以大大降低各连锁零售点的库存水平和缺货损失, 还可以赢得顾客的忠诚度和满意度, 将能为企业创造不可估量的价值。因此, 企业在决定配

送设施的布局时应当充分考虑满足顾客(零售点) 适时需求的响应时间.

3 基于仿真技术的配送中心布局决策模型

基于前文的分析, 本节构建了一个基于仿真技术的配送中心布局多目标决策分析模型, 如图 1 所示. 该模型运用系统流程分析的思想, 通过预处理程序分析生成预选配送系统网络规划方案, 然后运用系统仿真的技术和方法构建静态和动态的配送系统仿真模型, 对预选配送方案进行仿真模拟分析, 并得出备选配送布局方案的费用清单、服务质量等各种参数指标以供决策评价, 最后通过综合评价程序, 从而确定科学合理的配送中心布局方案. 此模型中, 布局决策主要分为三个阶段: 备选方案设计、定量分析(静态和动态仿真分析) 以及综合评价.

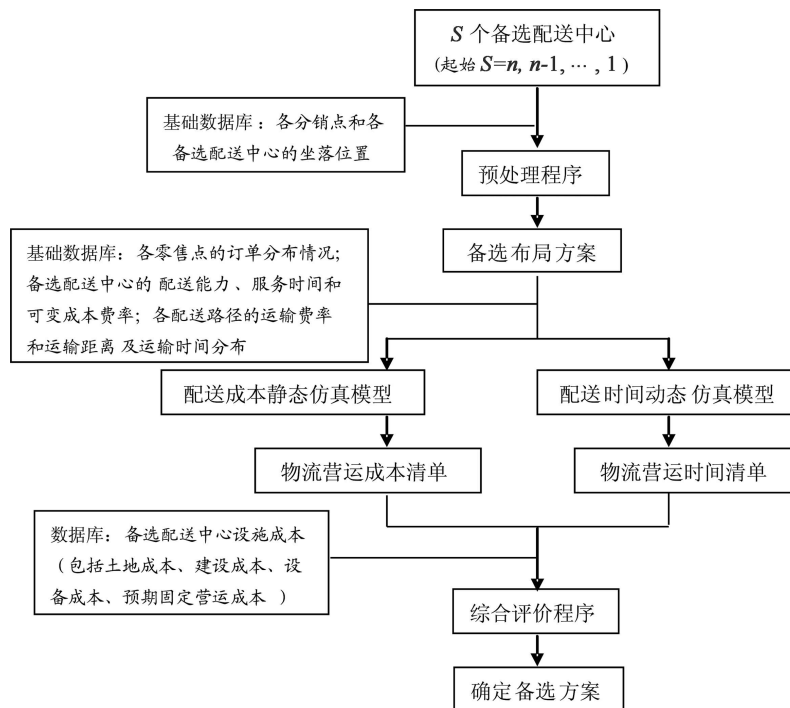


图 1 基于仿真技术的配送中心布局决策分析模型

3.1 备选方案设计

备选配送中心布局方案设计主要包括两个环节: 地址筛选和预选配送方案设计. 备选地址的选择是否恰当, 将直接影响到后续最优方案的确定. 备选地址过多, 后续优化方案的工作量和成本将过大, 过少则可能导致最后的方案严重偏离最优方案, 选址定位效果差. 预选配送方案设计是指根据 m 个零售点(包括现有以及预期的零售点) 的实际分布情况和 S (S 为备选方案中配送中心个数, $S = n, n-1, \dots, 1$) 个候选配送中心坐落的位置, 以最短的配送服务半径原则确定 S 个备选配送中心的配送服务对象, 从而拟定多种较为合理的备选配送方案 B_1, B_2, \dots, B_l . 在进行备选配送方案设计时, 应当尽可能减少单个配送中心覆盖范围过大或者配送中心过于密集的待评估方案, 否则将使无效的备选方案过多, 从而增加评估分析的工作量, 将不利于备选方案的优化.

3.2 定量分析

3.2.1 模型假设条件和符号含义

1) 各零售点所面临的需求相对稳定且相互独立, 不考虑季节性变化. 各零售点订单发出的标准为一个 Truckload(标箱), 即订货量达到一个 Truckload 的运输单位时向配送中心发出订单. 各零售点的订单到达过程为 Poisson 过程, 各零售点订单发出的时间间隔服从参数为 $1/\beta_{Ri}$ 的负指数分布 $\text{Expo}(\beta_{Ri})$, 各零售点日订单发出次数即日需求量期望值和标准差分别为 $\lambda_{Ri} = T_{Ri}/\beta_{Ri}$ 和 $\sigma_{Ri} = \sqrt{\lambda_{Ri}}$, 其中, $i = 1, 2, \dots, m$ 为门店的编号, T_{Ri} 为零售点日营业时间长度.

2) 各零售点的商品配送由一个配送中心独立承担, 各配送中心订单处理服务时间服从参数为 $1/\beta_j$ 的负指数分布 $\text{Expo}(\beta_j)$, 其中, $j = 1, 2, \dots, n$ 为配送中心的编号, 各配送中心订单处理服务时间相互独立。

3) 各配送中心的配送能力根据预期配送业务量规模确定; 配送中心的配送能力主要表现为配送中心装配流水线批量规模处理订单的能力, 在仿真模型中将配送规模界定为资源组合量, 且每一个单位的资源组合在同一时间内能且仅能处理一个运输单位的商品。配送中心的规模越大, 规模经济效益就越大, 平均运营成本就越低。

4) 与配送中心选址与布局决策有关的库存费用主要表现为安全库存费用; 配送中心库存容量不受限, 采取连续检查的库存策略, 配送中心向各供应商的预计平均订货提前期为 LT_j ; 配送中心对各零售点的现货供应期望服务水平为 α 。

5) 配送系统的商品供应主要来源于各个商品集散地 k , 供应点 k 给配送中心 j 的商品供应运输量占配送中心 j 的年均商品配送量的比重为 ρ_{kj} , 其中, $k = 1, 2, \dots, p$ 为商品供应地的编号。

6) 各配送路径的单位运输成本为一常数; 各配送中心至各零售点的运输时间服从正态分布 $N(\mu_{ji}, \sigma_{ji}^2)$ 。

i : 各零售点序号, $i = 1, 2, \dots, m$; j : 各备选配送中心序号, $j = 1, 2, \dots, n$; k : 各商品供应点序号, $k = 1, 2, \dots, p$; λ_{Ri} : 零售点 i 的日需求量期望值; σ_{Ri} : 零售点 i 的日需求量标准差; β_{Ri} : 零售点 i 订单发出的时间间隔期望值; T_{Ri} : 零售点 i 日营业时间长度; β_j : 配送中心 j 订单处理服务时间期望值; μ_{ji} : 从配送中心 j 到零售点 i 的运输时间期望值; σ_{ji} : 从配送中心 j 到零售点 i 的运输时间标准差; LT_j : 配送中心 j 向各供应商的平均订货提前期; α : 配送中心对各零售点的现货供应期望服务水平; Z_α : 配送中心现货供应期望服务水平的参数, 即为距离配送需求量均值的标准差的倍数, Z_α 满足 $P(Z \leq Z_\alpha) = \alpha$, 如当 $Z_\alpha = 1.96$ 时, 表示有 97.5% 的需求可以被现货满足; ρ_{kj} : 供应点 k 给配送中心 j 的商品供应量占配送中心 j 的年商品配送量的比重; itc_{kj} : 从商品供应点 k 到配送中心 j 的单位运输成本; otc_{ji} : 从配送中心 j 到零售点 i 的单位运输成本; itl_{kj} : 从商品供应点 k 到配送中心 j 的年运输总量; otl_{ji} : 从配送中心 j 到零售点 i 的年运输总量; CC_j : 配送中心 j 的年分摊建设成本或年租赁成本; FOC_j : 配送中心 j 的年固定营运支出; FC : 配送设施年分摊总成本; SF_j : 单位库存费用 (年); SSC_j : 配送中心 j 的年安全库存成本; SSC : 配送系统的年安全库存成本; ITC_j : 配送中心 j 的内向运输成本; OTC_j : 配送中心 j 的外向运输成本; TTC : 配送系统内年总运输成本; PDC : 配送系统内年物流配送总成本; $ADPT_i$: 配送系统对零售点 i 的每笔订单配送服务的平均响应时间长度, 包括订单处理时间和运输时间的总和; TO_i : 各零售点 i 的年订单需求量; $ADPT$: 配送系统内订单配送服务的平均反应时间长度;

$$\lambda_j = \begin{cases} 1, & \text{配送中心 } j \\ 0, & \text{否则} \end{cases}; \quad \eta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{零售点 } i \text{ 由配送中心 } j \text{ 服务} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

3.2.2 定量分析指标的数学模型及分析方法

根据前文的分析, 各备选配送方案的设施成本指标、配送成本指标和时间指标的数学模型如下:

$$1) \text{ 年分摊设施成本: } FC = \sum_{j=1}^n \lambda_j (CC_j + FOC_j)$$

2) 年分摊物流配送成本:

$$PDC = SSC + ITC + OTC$$

$$SSC = \sum_{j=1}^n \lambda_j SSC_j = \sum_{j=1}^n \left(\lambda_j \times SF_j \times Z_\alpha \sqrt{LT_j \times \sum_{i=1}^m \eta_{ij} \sigma_{Ri}^2} \right)$$

$$ITC = \sum_{j=1}^n \lambda_j ITC_j = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \lambda_j (itc_{kj} \times itl_{kj})$$

$$OTC = \sum_{j=1}^n \lambda_j OTC_j = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \lambda_j (\eta_{ij} \times otc_{ji} \times otl_{ji})$$

3) 响应时间 (各零售点订单平均配送服务时间与各零售点订单量的加权平均值):

$$ADPT = \frac{\sum_{i=1}^m (TO_i \times APDT_j)}{\sum_{i=1}^m TO_i}$$

从以上模型可以看出, 备选配送方案的年分摊设施成本和安全库存成本可以根据各备选方案的具体情况较为直观的统计计算出来; 而内向和外向运输成本、响应时间则需要通过进一步深入的仿真分析方可得出较为正确的结果. 运输成本分析与响应时间分析具有不同的特性: 成本分析是对一段时期内各方案预期发生的成本进行模拟分析; 而时间分析是随着仿真时钟的推进, 对整个动态变化的物流配送过程进行模拟分析. 因此, 在本研究中, 前者将采用静态仿真模型进行成本分析, 后者采用动态仿真模型进行响应时间分析. 静态仿真和动态仿真的主要区别就在于处理与时间有关事件的方式上: 静态仿真不考虑在时间期内的动态变化, 而动态仿真则是跨时间实时评估系统的绩效.

3.2.3 基于成本分析的静态仿真模型

1) 静态仿真概念模型设计. 采用蒙特卡罗仿真 (Monte Carlo simulation) 方法来评估分析各备选配送方案的年总运输成本. 蒙特卡罗仿真方法的基本思想是: 首先建立一个概率模型或随机过程, 使它的参数等于问题的解, 通过对模型 (或过程) 的抽样试验, 来计算所求参数的统计量, 最后给出所求解的近似值^[12]. 本模型运用蒙特卡罗仿真方法, 将能很好地解决为满足各零售点随机需求而产生的配送运输成本问题, 不仅比一般的解析统计方法的可信度和准确性更高, 还能进行较为深入的敏感性分析. 仿真模型的求解流程如图 2 所示.

本仿真模型是以各零售点的订单需求情况为基变量来分析内向运输成本和外向运输成本的, 主要是基于以下考虑: 在整个配送系统来看, 外向运输是由各零售终端的订单需求而产生的; 内向运输是根据各配送中心的需求来确定的, 而各配送中心的需求又是由各零售点的需求引致产生的, 故内向运输实际上是由各零售点的需求而间接决定的; 故从一个较长的时间段来分析, 内向运输和外向运输的总量和成本均是由各零售终端的需求来决定的.

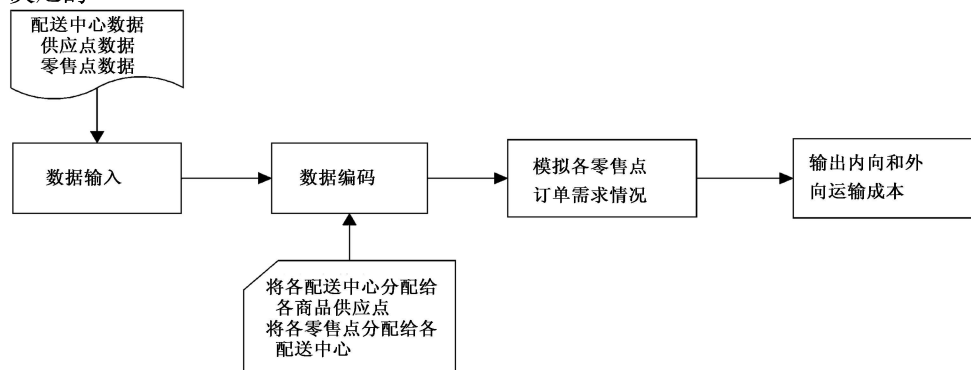


图 2 基于成本分析的静态仿真概念模型

2) 仿真模型需要的数据

- 各供应点、配送中心和零售点的坐落位置
- 各零售点的订单需求量的概率分布情况
- 各配送运输路径的运输距离和运输费率
- 各供应点给各配送中心年供应量占各配送中心年总配送量的比例参数

3) 仿真结果输出

- 各供应点到各配送中心的运输费用
- 各配送中心到各零售点的运输费用
- 备选配送方案年运输总成本

3.2.4 基于时间分析的动态仿真模型

1) 动态仿真概念模型设计. 运用实体描述离散事件的动态系统仿真方法来模拟各备选配送中心给其配送服务对象配送商品的全过程, 从而评估分析订单配送服务全过程的响应时间. 配送服务全过程的实体流程

图如图 3 所示, 运用 Arena^[13] 软件构建的动态的物流配送系统仿真模型如图 4 所示. 显然, 零售终端通过 EOS 发出订单后, 订单到达配送中心到订单处理服务完成的整个过程, 正是 $M/M/S$ 排队模型; 订单到达过程、订单处理服务过程和运输配送过程均为随机过程.

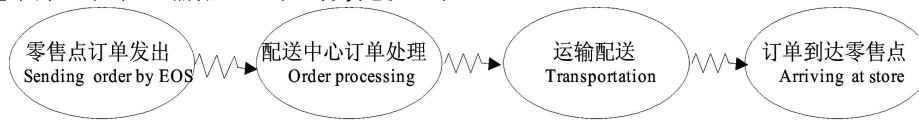


图 3 连锁零售企业配送系统实体流程图

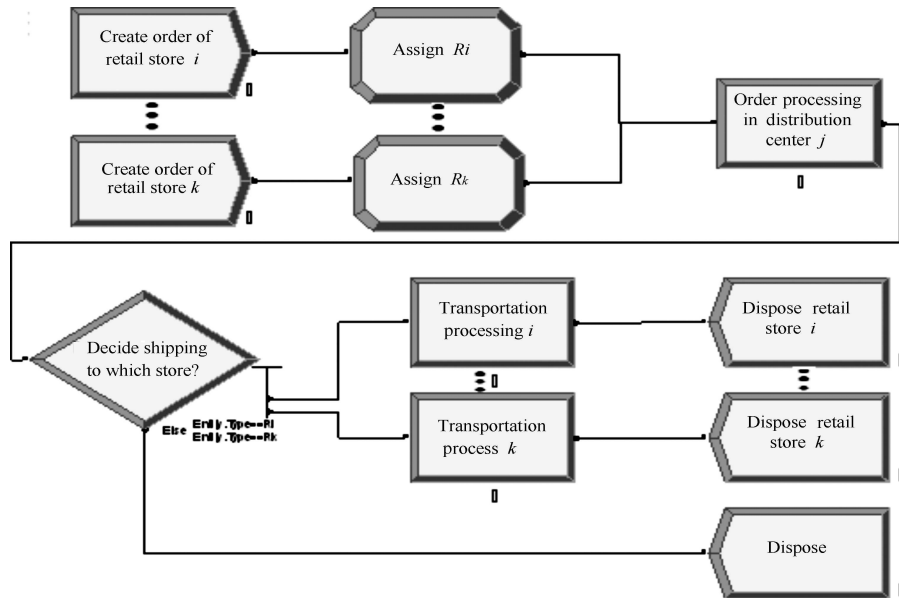


图 4 基于时间分析的 Arena 动态仿真模型

2) 仿真模型需要的数据

- 各配送中心、零售点的坐落位置
- 各零售点的订单到达时间
- 各配送中心的订单处理能力和服务时间
- 各配送路径的订单运输时间分布情况

3) 仿真结果输出

- 各零售点订单的队列等待时间
- 各零售点订单在配送中心的处理服务时间
- 各零售点订单的运输时间
- 各零售点订单的配送服务总时间

3.2.5 算例及仿真分析

针对前文提出的布局决策模型, 给出了一个具体的算例¹, 并按照前文的决策思路和方法进行实证分析以验证模型的科学性和有效性. R 商业集团是一家立足深圳辐射珠三角地区的大型连锁零售企业集团, 在珠三角地区现有和预设立的零售点 43 个, 现欲筹备建设大型物流配送中心为各零售点进行配送服务. 根据该商业集团的业务经营情况, 集团的配送体系中需建设的配送中心个数至多为 3 个, 至少为 1 个. 经过初步选址筛选, 已确定 3 个备选配送中心, 备选配送中心分别坐落在深圳市龙岗区、广州市花都区 and 佛山市顺德区. 备选方案设计如表 1 所示; 经静态仿真和动态仿真模拟分析的各备选方案综合分析报告如表 2 所示.

3.3 综合评价

备选配送布局方案主要依据三个评价目标进行评估, 即设施成本 (M_1)、物流配送成本 (M_2)、响应时间 (M_3). 由于设施成本不随零售点订单需求的变化而变化, 而物流配送成本直接受各零售终端需求的变化而变化, 前者是一个常量, 而后者是一个变量, 故不能简单叠加计算; 而成本指标和时间指标更是属于两个不同的概念范畴, 响应时间更不能与上述成本直接相加计算. 可见, 对备选配送方案三类指标的评估分析属于复杂

1. 算例及数据来源: 本文的算例是以深圳市 R 连锁商业集团为蓝本, 相关数据主要来源于 R 商业集团投资发展部提供的资料以及中国物流网 (<http://www.china-logisticsnet.com/>) 和广东物流网 (<http://www.gzlogistics.com.cn/>) 的公开数据.

表 1 备选配送方案设计

备选方案 编号	配送中心 组合	DC_1 的服务 对象	DC_2 的服务 对象	DC_3 的服务 对象
I	DC_1, DC_2, DC_3	$R_1 - R_{20}$	$R_{21} - R_{30}$	$R_{31} - R_{43}$
II	DC_1, DC_2	$R_1 - R_{20}$	$R_{21} - R_{43}$	-
III	DC_1, DC_3	$R_1 - R_{24}$	-	$R_{25} - R_{43}$
IV	DC_1	$R_1 - R_{43}$	-	-
V	DC_2	-	$R_1 - R_{43}$	-

注: 根据连锁零售点和供应点的布局情况, 建设两个配送中心 DC_2 和 DC_3 的组合方案明显劣于备选方案 II 和 III, 以及仅建设一个配送中心 DC_3 的方案明显劣于备选方案 IV 和 V, 故予以排除。

表 2 备选方案各指标分析报告

备选方案 编号	设施成本 (单位: 百万元)	物流配送成本 (单位: 百万元)	响应时间 (单位: 小时)
I	29.97	70.23	2.00
II	22.23	72.96	2.26
III	17.38	77.42	2.32
IV	12.19	94.46	3.24
V	12.86	88.87	3.02

的多目标决策问题 (Multiple criteria decision making, MCDM). 对于 MCDM 问题, 可采用权值分析法、层次分析法 (AHP)^[14] 或密切值法 (TOPSIS method)^[15-16] 等进行分析. 本文综合运用 AHP 法和密切值法的思想和算法对备选配送方案的统计和仿真结果进行评价, 评价程序分为两个阶段进行:

3.3.1 运用 AHP 法确定评价指标权重

借鉴 AHP 确定指标重要性权重的思想, 通过对相关专家或决策人员进行调研, 采用群体决策的方法确定指标权重. 由于本仿真算例是以 R 商业集团为研究对象, 故本次调研对象为 R 商业集团高层管理人员、战略投资发展部及其决策咨询机构的十名专家, 即本次调研样本为 10, 且回收样本的数据合格率为 100%.

1) 构造层次结构和判断矩阵

根据各专家人员关于各评价指标对于决策总目标重要性程度的两两比较结果, 即 $a_{ij} = M_i/M_j$, 专家 k 的比较结果记为 $a_{ijk} (k = 1, \dots, s)$, 记 $A_k = (a_{ijk})_{n \times n}$, 则 A_k 为专家 k 关于指标 M_1, \dots, M_n 相应于决策总目标的判断矩阵. 以专家 1 的判断结果为例, 构建各决策指标 M_1, M_2, M_3 的判断矩阵 A_1 如下:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/4 & 1/3 \\ 4 & 1 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 求解特征值与特征向量

记 A_k 的最大特征值为 $\lambda_{k \max}$, 属于 $\lambda_{k \max}$ 的标准化特征向量为 $\omega_k = (\omega_{1k}, \omega_{2k}, \omega_{3k})^T$, 则 $\omega_{1k}, \omega_{2k}, \omega_{3k}$ 给出了专家 k 关于 M_1, M_2, M_3 相应于决策总目标的重要性权重值. 求解 A_1 的最大特征值为 $\lambda_{1 \max} = 3.018$, 属于 $\lambda_{1 \max}$ 的标准化特征向量为 $\omega_1 = (0.122, 0.559, 0.319)^T$,

3) 一致性检验

一致性指数 $CI = \frac{\lambda_{\max} - 3}{3 - 1}$, 一致性指标为 $CR = \frac{CI}{RI}$, 其中 RI 为平均随机一致性指数, 且当 $n = 3$ 时, $RI = 0.58$. 当 $CR \leq 0.10$, 即认为此判断矩阵具有满意的一致性, 权值合理; 否则, 需重新调整判断矩阵. 以 A_1 为例, $CR = 0.016 \leq 0.10$, 此判断矩阵具有满意的一致性, 权值合理.

4) 确定评价指标权重

分别对各位专家的调查结果进行类似的数据处理, 经测算, 所有专家的判断结果均通过了一致性检验. 计算各专家意见的加权值, 即得到各项指标的权重 $\omega = (0.132, 0.573, 0.295)^T$.

3.3.2 运用 TOPSIS 法确定最优方案

1) 建立决策矩阵

根据仿真结果和统计分析数据, 各备选配送方案 B_1, B_2, \dots, B_l 在各决策指标 M_1, M_2, M_3 下的取值为 b_{ij} , 则决策矩阵为 $B=(b_{ij})_{l \times 3}$.

$$B = \begin{bmatrix} 29.97 & 70.23 & 2.00 \\ 22.23 & 72.96 & 2.26 \\ 17.38 & 77.42 & 2.32 \\ 12.19 & 94.46 & 3.24 \\ 12.86 & 88.87 & 3.02 \end{bmatrix}$$

2) 将决策矩阵 B 化为加权规范化决策矩阵. 令: $x_{ij} = \omega_j \times b_{ij} / \sqrt{\sum_{k=1}^l b_{kj}^2}$ ($i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, 3$), 可得如下决策矩阵 $X = (x_{ij})_{l \times 3}$:

$$X = \begin{bmatrix} 0.0883 & 0.2212 & 0.1011 \\ 0.0655 & 0.2297 & 0.1143 \\ 0.0512 & 0.2438 & 0.1173 \\ 0.0359 & 0.2974 & 0.1638 \\ 0.0379 & 0.2798 & 0.1527 \end{bmatrix}$$

3) 确定决策点集的“最优点集 x^+ ”和“最劣点集 x^- ”

“最优点集 x^+ ”是指各备选方案各项指标表现最优的集合, “最劣点集 x^- ”是指各备选方案各项指标表现最劣的集合. 由于成本和服务时间均为负向指标, 故有:

$$\begin{aligned} \text{最优点集 } x^+ &= \left(\begin{array}{ccc} 0.0359 & 0.2212 & 0.1011 \end{array} \right) \\ \text{最劣点集 } x^- &= \left(\begin{array}{ccc} 0.0883 & 0.2974 & 0.1638 \end{array} \right) \end{aligned}$$

4) 计算各备择方案的密切值

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (x_{ij} - x_i^+)^2}, \quad i = 1, \dots, l$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (x_{ij} - x_i^-)^2}, \quad i = 1, \dots, l$$

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)}, \quad i = 1, \dots, l$$

表 3 备选方案密切值分析报告

备选方案编号	d_i^+	d_i^-	C_i
I	0.0506	0.0999	0.6638
II	0.0324	0.0880	0.7313
III	0.0320	0.0810	0.7166
IV	0.0999	0.0520	0.3424
V	0.0792	0.0547	0.4084

根据以上数据和上述密切值计算法则, 可得各备选方案的密切值, 如表 3 所示.

5) 确定最优方案

根据密切值判断法则, 备择方案的密切值越大, 该方案与最优方案越接近, 最优方案即为备择方案 II, 各方案的优劣排序为: II > III > I > V > IV. 若仅以传统简单的成本最优化原则, 最优方案则为备择方案 III, 但方案 III 的响应时间指标较劣于方案 II, 这样将对配送中心的快速响应能力产生较大的影响, 将直接影响到企业未来的客户服务能力和盈利能力. 从战略发展的视角来看, 要使企业的预期设施成本、物流配送成本和快速响应能力等多个目标达到综合最优, R 商业集团应当选择备择方案 II, 即该商业集团在珠三角的物流配送系统中建设 DC_1 (深圳市龙岗区) 和 DC_2 (广州市花都区) 两个配送中心.

4 结语

连锁零售企业配送中心布局决策问题是一个多目标多配送中心问题. 在当今激烈的市场竞争环境下, 快速反应能力是企业立于不败之地的核心能力. 而传统的选址决策模型多以成本最优为决策目标, 也很难将配送服务质量量化考虑. 本文构建的布局决策模型和分析方法为量化配送中心的服务质量提供了可供借鉴的方

法, 并为多目标的综合评价提出了较科学并可实施的方法, 对连锁零售企业的配送中心布局决策具有较大的借鉴意义.

参考文献

- [1] Ballou R H, Masters J M. Commercial software for locating warehouses and other facilities[J]. Journal of Business Logistics, 1993, 14(2): 71–107.
- [2] Ballou R H. Business Logistics Management: Planning, Organizaing and Controlling the Supply Chain[M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc, 1999.
- [3] Ballou R H. Potential error in the center of gravity approach to facility location[J]. Transportation Journal, 1973, 13: 44–50.
- [4] Geoffrion A M, Graves G W. Multicommodity distribution system design by benders decomposition[J]. Management Science, 1974, 20(5): 822–844.
- [5] Baumol W J, Wolfe P. A warehouse-location problem[J]. Operations Research, 1957, 6(2): 252–263.
- [6] Kuehn A A, Hamburger M J. A heuristic program for locating warehouse[J]. Management Science, 1963, 9(2): 643–666.
- [7] Rosenfield D B, Copacino W C, Payne E C. Logistics planning and evaluation when using ‘what-if’ simulation[J]. Journal of Business Logistics, 1985, 6(2): 89–109.
- [8] Shycon H N, Maffei R B. Simulation-tool for better distribution[J]. Harvard Business Review, 1960, 38(6): 65–75.
- [9] Held J R. Distribution center site selection[J]. Economic Development Journal, 2003, 2(3): 31–37.
- [10] 徐杰, 等. 物流中心选址的影响因素分析及案例 [J]. 北方交通大学学报, 2001, 25(5): 80–82.
Xu J, et al. Research of logistics center location and case analysis[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2001, 25(5): 80–82.
- [11] Nozick L K, Turnquist M A. Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for location distribution centers[J]. Transpn Res E (Logistics and Transpn Rev), 1998, 34(3): 173–186.
- [12] Ridlehoover J. Applying Monte Carlo simulation and risk analysis to the facility location problem[J]. The Engineering Economist, 2004, 49: 237–252.
- [13] David K W, Sadowski R P, Deborah A. Simulation with Arena[M]. McGraw-Hill, Inc, 2002.
- [14] Saaty T L. How to make a decision: The analytic hierarchy process[J]. Interfaces, 1994, 24(6): 19–43.
- [15] Chen C T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114(1): 1–9.
- [16] Olson D L. Comparison of weights in TOPSIS models[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2004, 40(7-8): 721–727.

附 1 调查结果统计表

专家编号	专家基本信息	专家权重	判断结果		
			M_1/M_2	M_1/M_3	M_2/M_3
1	集团副总经理 A	0.12	1/4	1/3	2
2	集团副总经理 B	0.12	1/5	1/5	1
3	华南区副总经理	0.11	1/5	1/3	3
4	战略投资发展部总监	0.11	1/4	1/2	3
5	采购部总监	0.08	1/7	1/5	3
6	财务中心总监	0.08	1/2	2	5
7	设备采购部总监	0.08	1/5	1/3	3
8	战略投资发展部专家 A	0.10	1/5	1/2	3
9	战略投资发展部专家 B	0.10	1/4	1/3	2
10	战略投资发展部专家 C	0.10	1/2	1/2	1

附 2 调查结果分析表

专家编号	$\lambda_{k \max}$	ω_{1k}	ω_{2k}	ω_{3k}	CR
1	3.018	0.122	0.559	0.319	0.016
2	3.000	0.091	0.455	0.455	0.000
3	3.039	0.103	0.640	0.257	0.034
4	3.018	0.136	0.626	0.238	0.016
5	3.065	0.072	0.650	0.278	0.056
6	3.006	0.276	0.596	0.128	0.005
7	3.039	0.103	0.640	0.257	0.034
8	3.004	0.122	0.650	0.230	0.003
9	3.018	0.122	0.559	0.319	0.016
10	3.000	0.200	0.400	0.400	0.000
加权值	-	0.132	0.573	0.295	-

注: 专家权重根据受调查者的从业经验、知识背景和资历情况确定.