



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业论文

信阳市 A 连锁超市物流配送路径优化研究

Study on Optimization of Distribution Path of A Supermarket
Chain in Xinyang City

学 院 智能制造学院

专 业 物流管理

班 级 19 物流管理(本)1 班

学 号 19404030128

姓 名 凡 超

指导教师 王晓虎

职 称 讲 师

完成时间 2023 年 06 月 02 日

天津中德应用技术大学

本科生毕业论文

信阳市 A 连锁超市物流配送路径优化研究
Study on Optimization of Distribution Path of A Supermarket
Chain in Xinyang City

学 院 智能制造学院
专 业 物流管理
班 级 19 物流管理(本)1 班
学 号 19404030128
姓 名 凡 超
指导教师 王晓虎
职 称 讲 师

天津中德应用技术大学

本科生毕业设计（论文）选题申报表

学 院	智能制造学院	申 报 人	姓 名	王晓虎
专 业	物流管理		技术职务	中级
题目名称	信阳市 A 连锁超市物流配送路径优化研究			
题目类型	社会经济	题目来源	其他项目	
课题来源、背景及意义	<p>近些年来，以连锁化、信息化和规模化特征的连锁超市发展相当迅速，成为我国流通业的主要支柱产业。但是，在我国很多中小型连锁超市具有规模不大、组织化程度低、经营运作不规范等问题，尤其是物流配送这一环节相当薄弱，存在路线规划不合理、装载率不高、总行驶距离过长等问题，这极大地制约了连锁超市的发展。因此，进行配送路径优化至关重要。</p> <p>本文通过对 A 公司配送中心到门店的物流配送路径研究，依据连锁超市、物流配送等相关理论及路径优化的常用方法，对连锁超市车辆实际配送路径存在的问题进行定性与定量分析，基于问题采用相关方法进行配送路径优化，帮助企业达到缩短配送距离、降低配送费用、提高配送效率的目的，并提出可借鉴的实施方案。</p>			
任务及要求	<p>(1) 查阅相关文献资料，学习配送路径优化相关理论与方法；</p> <p>(2) 进行实地调研，收集相关数据并进行整理；</p> <p>(3) 确定研究方向与目标，对配送路径存在的问题进行定性以及定量的分析；</p> <p>(4) 结合专业知识，针对配送路径存在的问题，提出优化方案；</p> <p>(5) 整理研究过程与结论，撰写毕业论文。</p>			
工作条件	<p>1. 物流专业实训教室，可提供计算机以及选题需要用的相关软件等；</p> <p>2. 中国知网、国家统计局、中国统计年鉴以及物流年鉴等进行数据的搜集；</p> <p>3. 学校图书馆，可提供与选题相关的文献资料及论文研究撰写的场地。</p>			
知识与能力要求	<p>1. 掌握物流管理专业的基础理论及方法、解决问题的专业素质；</p> <p>2. 具备调查研究，分析问题的能力；</p> <p>3. 具备应用计算机及专业软件的研究问题，并具有对结果数据进行分析的能力。</p>			
系（教研室）审查意见：				
同意				
负责人(签名)： <u>薛立立</u> 2022 年 09 月 23 日				



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

毕业设计（论文）任务书

题 目：信阳市 A 连锁超市物流配路径优化
研究

学 院： 智能制造学院

专 业： 物流管理

学生姓名： 凡超

学 号： 19404030128

起止日期： 2022 年 10 月 24 日~2023 年 06 月 02 日

指导教师： 王晓虎

任务书下达日期：2022 年 10 月 21 日

任务书填写要求

1. 毕业设计（论文）任务书由指导教师根据各课题的具体情况填写，经专业负责人审查签字后生效。此任务书应在毕业设计（论文）开始前一周内填好并发给学生；
2. 任务书内填写的内容，必须和学生毕业设计（论文）完成的情况相一致；
3. 任务书内有关“学院”、“专业”等名称的填写，应写中文全称，不能写数字代码。学生的“学号”要写全号（如：16014010101）；
4. 有关年月日等日期的填写，应当按照国标 GB/T 7408—94《数据元和交换格式、信息交换、日期和时间表示法》规定的要求，一律用阿拉伯数字书写。如“2004年3月21日”或“2004-03-21”。
5. 本毕业设计（论文）课题成果的要求，内容要具体化和数量化。如“毕业设计（论文）一套；A0号装配图纸1张；A2号电气控制原理图纸2张；实物样机1台；产品2件”等。

毕业设计（论文）任务书

1. 毕业设计（论文）课题背景及意义

课题背景：

近些年来，以连锁化、规模化和信息化为特征的连锁超市发展相当迅速，成为我国流通业的主要支柱产业。连锁超市模式是现代零售行业中发展极佳的一种模式，充分发挥超市和连锁经营的双重优势，在民生产业中得到广泛应用，凭借其商品种类多、购物便捷性强、覆盖面积广等特点，深受广大消费者的青睐。但是，在当下激烈的零售市场竞争中，我国的一些中小型连锁超市由于缺乏规范的经营运作与完善的管理体系，在物流配送这一环节相当薄弱，配送成本居高不下，极大制约了连锁超市的发展。

本课题以信阳市 A 连锁超市物流配送业务为研究背景。A 公司创立于 1995 年，于 2000 年开始探索连锁经营，规模日益扩大，时至今日，已经在市内拥有一个大型的物流配送中心，拥有自己的车队，根据周边门店的日常需求进行货物配送。近些年来，随着经济生活水平的提高，A 公司业务量逐年递增。为了应对强大需求，A 公司也采取了一系列措施进行改善，但在配送体系改善方面仍然存在很大不足，物流配送路径仍然以经验为导向，缺乏理论分析与科学规划，导致车辆总行驶距离过长、装载率低、配送时间长、客户服务水平不高、配送成本高、公司利润率低。因此，对 A 公司现存的配送路径进行优化至关重要。

课题意义：

随着连锁超市市场竞争日益加剧，物流配送这一环节决定了连锁超市在同行业中竞争力的高低。而在实际中，很多发展规模不大的连锁超市在配送环节考虑不充分、投入力度不足，导致资源的大量浪费与物流成本过高。本课题通过对信阳市 A 连锁超市配送中心到门店的物流配送路径研究，依据连锁超市、物流配送等相关理论及路径优化的常用方法，对连锁超市车辆实际配送路径存在的问题进行定性与定量分析，基于问题采用相关方法进行配送路径优化，为 A 公司提出可借鉴的适合自身情况的配送方案，达到缩短配送行驶里程、降低配送费用、提高配送效率的目的，充分发挥连锁超市统一经营的优势，提高 A 公司的整体运营效率。同时，配送路径的缩短与装载率的提高有助于城市交通的健康发展和环境保护，积极响应政府的号召。

2. 毕业设计（论文）课题任务的内容和要求

(1) 收集连锁超市物流配送相关的国内外文献资料，明确本课题研究的目的地意义；

(2) 对连锁超市物流配送路径优化的相关文献资料进行研究，确定与本课题研究相关的理论与方法；

(3) 进行实地调研并收集相关数据，分析 A 连锁超市物流配送中心实际配送路径存在的相关问题；

(4) 针对配送路径存在的问题，选择合适的方法进行配送路径优化，并提出优化方案；

(5) 对本课题研究进行总结，为信阳市 A 连锁超市物流配送路径优化提供有一定理论和实践价值的指导依据。

毕 业 设 计（论 文）任 务 书

3. 毕业设计（论文）课题成果（包括毕业设计论文、图表、实物样品等）：

毕业论文 1 篇

4. 推荐参考资料：

[1]纪汝方.W 公司连锁超市物流配送路径优化研究[D].山东财经大学,2022.

[2]杨雅琪.带时间窗的生鲜连锁店配送路径优化研究[D].长春工业大学,2022.

[3]陈弈林,崔诚珉,李旺阳,孟祥玲,柯奇超,何雅莉,王璇.青岛市连锁商超共同配送路径优化—以 H 超市为例[J].中小企业管理与科技,2021(10):161-163.

[4]李小玲.基于改进遗传算法的连锁超市配送路线优化研究[J].甘肃科学学报,2022,32(06):148-152.

[5]陈长塔.A 连锁企业便利店配送路线优化研究[D].福州大学,2018.

[6]Zhan M. Research on Optimization of Logistics Distribution Route Based on Genetic Algorithm[J]. International Core Journal of Engineering, 2021, 7(2) : 67-87.

所在专业审查意见：

通过

负责人： 薛立立

2022 年 10 月 21 日



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计（论文）开题报告

题目：信阳市 A 连锁超市物流配送路径优化研究

学院：智能制造学院

专业：物流管理

学生姓名：凡超

学号：19404030128

起止日期：2022 年 10 月 24 日-2023 年 06 月 02 日

指导教师：王晓虎

开题日期：2022 年 11 月 18 日

一、开题报告内容（课题的目的意义、与本课题有关的国内外研究（应用）情况及发展趋势、课题主要研究内容、参考文献等）

（一）研究目的及意义

1. 研究目的

近些年来，随着我国综合实力不断增强，我国社会正处于数字化转型经济新时期，国内电商平台迅猛发展，对传统线下连锁商超造成了巨大的冲击。在当下激烈的零售市场竞争中，我国很多中小型连锁超市由于缺乏规范的经营运作与完善的管理体系，配送系统是不完善的，在物流配送这一环节相当薄弱，配送成本居高不下，配送效率极低，极大阻碍了连锁超市的发展。

连锁超市凭借其商品种类多、购物便捷性强、覆盖面积广等特点，深受广大消费者的青睐。随着社会的快速发展，连锁超市门店的数量不断增多，消费者需求愈来愈高，连锁超市必须要不断地探求新发展道路。配送是整个物流过程中与客户最紧密联系的一个环节，配送系统的高效运转对连锁超市运营来说是非常关键的。因此，连锁超市当务之急在于设计合理的物流配送方案，实现商品的快速转移，及时响应门店需求，为消费者提供最优质的服务体验，从而降低物流配送环节的成本支出，提高配送效率。

本文以信阳市 A 连锁超市物流配送业务为研究背景，A 公司目前以自营和共同配送的配送模式为旗下各门店供货。随着经济生活水平的提高，近些年来 A 公司业务量逐年递增。为了应对强大需求，A 公司也采取了一系列措施进行改善，但在配送体系改善方面仍然存在很大不足，物流配送路径仍然以经验为导向，缺乏理论分析与科学规划，无法及时响应门店需求，导致配送车辆装载率低、总行驶距离过长、运输成本过高。因此，对 A 公司现存的配送路径进行分析与优化至关重要。

2. 研究意义

本文针对 A 连锁超市配送中心到门店这一配送环节，在其配送中存在的诸多不合理的问题的基础上，进行物流配送路径优化，为 A 公司提出可借鉴的适合自身情况的配送方案，达到缩短配送行驶里程与费用、提高门店响应度与配送效率的目的，充分发挥连锁超市统一经营的优势，提高 A 公司的整体运营效率。同时，配送路径的缩短与装载率的提高有助于城市交通的健康发展和环境保护，积极响应政府的号召。

（二）国内外研究现状

1. 国外研究现状

Brito J (2019)^[1]在研究冷冻产品路径问题上，将避免在冷链分销路线时产生中断的约束纳入考虑范围，并构思出 GRASP-VNS 混合启发式算法，针对时间不确定的冷冻食品的运

输问题进行了求解。

Giusy Macrina (2019)^[2]等人提出了一种基于绿色物流的车辆路径问题，假设运输车辆为混合车辆，由电动汽车和传统燃油汽车组成，考虑汽车速度、加速度、加油设施以及道路坡度等因素，构建综合能源消耗的路径优化模型，最后使用数学启发式嵌入大邻域搜索寻找最优解，为使用可替代能源车辆的公司和机构的配送运输系统提供了一定的理论支撑与指导。

Kaboudani Y (2018)^[3]对具有交叉对接中心的配送网络中的车辆路径问题进行了研究，并提出了解决正向物流和逆向物流两种策略，为车辆最大化利用的实现提供了理论依据。

Karoonsoontawong, Punyim, et al. (2020)^[4]研究了具有软时间窗和超时约束的多行程时间的 VRP 问题，提出了改进的层次多目标公式和等价的单目标公式，并针对这一问题，构建迭代式多行程进行求解。

Zhan M. (2021)^[5]主要研究物流配送中的车辆路径优化问题，首先确立了配送路径的约束条件，其次建立车辆路径优化的数学模型，最后利用遗传方法进行实验计算，借助 matlab 软件进行实验计算与验证。

2. 国内研究现状

陈长塔 (2018)^[6]在求解 VRP 问题中，运用改进后的 K-means 聚类算法对配送区域进行合理划分，通过仿真实验对蚁群算法的关键参数设置进行探索，最后构建配送线路优化模型，并运用两阶段算法：聚类-蚁群算法对配送路线进行优化。

魏志秀 (2021)^[7]针对客户对服务时间的紧迫性，在主要以车辆载重量、容积利用率为约束的传统车辆路径问题中，加入时间窗约束并构建时间窗惩罚函数，建立以配送成本最小为目标的车辆路径模型。

李若楠 (2019)^[8]以县域连锁超市物流配送问题作为研究背景，结合遗传算法和爬山算法的特点，构建基于爬山-遗传算法的物流配送路径优化模型，不仅降低了区域连锁超市的物流配送成本，而且促进了县域农村连锁超市的发展。

杨雅琪 (2022)^[9]以 M 生鲜连锁店为例，分析了生鲜连锁企业配送现状及存在的问题。在考虑各市辖区交通拥堵状况的因素下，系统研究了带时间窗车辆配送的各项成本，建立以配送总成本最小为目标的数学模型。其次，将蚁群算法和入侵杂草算法相结合，设计了混合蚁群算法。并结合实际配送业务验证其有效性与可行性。结果表明，考虑交通拥堵因素，更能有效的减少配送成本，提高配送准时性，使得生鲜连锁店配送路径研究具有更大的现实意义。

付秋睿 (2019)^[10]主要研究的是冷链物流配送问题，在模型构建中对车辆行驶时间做

出严格的约束，同时基于热力学原理中热负荷的计算公式确定冷藏车制冷成本，充分考虑冷链物流的特征，使得模型更加贴切实际。通过对比分析设计适合模型求解的模拟退火算法，使得模型能够在较短的时间内收敛，得出较好的优化路径，为冷链物流公司在进行路径优化时提供一定的参考依据。

郭富蓉（2021）^[11]从客户角度出发，对基于时变需求的带模糊时间窗的 VRP 优化问题进行研究。针对同时取送货且实时变化的客户需求，构建以配送总成本最小与客户服务满意度最大的双目标规划模型，同时，研究滚动周期动态调度优化方法并通过混合蚁群算法进行优化求解得到优化方案，实现对配送中心服务时域内新增的客户需求进行快速响应，提高配送中心服务效率。

薛子翰（2021）^[12]构建了蓄冷箱式多温层的共同配送模式优化模型，并在多温共配模型的基础上建立了带时间窗的多温共配补货模型。分别运用标准遗传算法以及混合变邻域的遗传算法进行求解，并结合具体实例验证模型的实用性。

李小玲（2020）^[13]从“配”和“送”两个方面入手，即货物配载问题和车辆路径问题，建立一种改进的货物配载和车辆路径综合优化数学模型，通过改进的遗传算法进行求解。并结合具体实例对模型和算法进行实例验证，结果显示优化后的配送路线总体配送成本降低了 417.9 元，表明了模型的实用性以及算法的有效性。

纪汝方（2022）^[14]针对实际企业案例，通过实地调查 W 连锁超市的配送路线，选取市区门店的订货资料，分别对百货商品和家电商品两种配送模式进行研究，结合实际运输情况，将两种配送模式各自符合的限制因素考虑进去，建立目标为成本最小的 VRP 模型，采用遗传算法对两个优化问题进行相应求解，优化车型的选择方案，减少成本支出，提高车辆的装载率和容积率。

陈弈林, 崔诚珉等（2021）^[15]依据 H 超市各配送中心及门店的位置分布情况，将运输成本和客户满意度两大子目标合成一个总目标函数，建立共同配送路径规划模型，设计改进的禁忌搜索法对模型进行求解，最终得出结论：共同配送可以大幅度提高车辆装载率，缩短运距，从而节约配送的总成本。

何亚辉（2021）^[16]运用 MAKLINK 图论建立物流配送路径模型，采用 Dijkstra 算法作为初始规划算法得到初始路径参数，以此来得到蚁群算法的寻优目标函数，得出从物流配送起始点到结束点的最优路径。

综上所述，国内外学者在不同行业中，对物流配送路径优化都有大量相应的探索与研究，取得了非凡的研究成果。在解决路径优化（VRP）问题上，专家学者们逐渐向实际生活靠拢，从研究行业的背景切入，结合不同企业实际配送业务流程的特点，构建更符合实际情况的不同模型，同时构建寻优性能高、运算简单的现代启发式算法进行模型求解。

但是其研究对象主要为一些大型连锁企业、配送量较大的企业或者一些特殊行业的配送路径优化研究；在中小型连锁超市物流配送的研究，主要以配送模式的选择、配送中心的选址以及配送流程优化研究为主。因此，关于中小型连锁超市配送路径优化研究，结合连锁门店的地理位置、配送时间范围、车辆载重量、交通情况以及环境保护等多种因素，构建改进的路径优化模型是当下物流领域学者最关心的问题。

本课题将以信阳市小型 A 连锁超市物流配送业务为背景，对连锁超市配送中心到门店的物流配送路径进行研究。基于连锁超市、物流配送等相关理论及路径优化的常用方法，分析实际车辆配送路径存在的问题，并以此来构建路径优化模型，结合相关算法，利用 MATLAB 软件进行求解，帮助 A 连锁超市在响应门店服务时效要求的同时，实现配送距离最短、配送费用最小，并提出可借鉴的实施方案。

（三）研究内容

1. 文献资料的收集与研究分析

收集并分析国内外对连锁超市物流配送路径优化研究的相关文献资料，了解连锁超市物流配送的发展现状，明确本课题研究的目的与意义；深入学习相关理论与方法，确定本课题的研究内容、研究方法和研究思路。

2. 相关理论综述

对与本文课题研究相关的理论进行介绍：连锁超市物流配送、路径优化（VRP）、以及路径优化常用算法，为下文问题的研究奠定理论基础。

3. 信阳市 A 连锁超市配送概述与问题分析

进行实地调研，介绍 A 连锁超市目前的经营现状；收集相关数据，对连锁超市的配送现状进行调查，分析并总结 A 连锁超市物流配送中心实际配送路径存在的相关问题；针对问题，分析其影响因素并提出优化思路，为后文模型构建提供相应支撑。

4. 信阳市 A 连锁超市配送路径优化方案

基于 A 连锁超市实际配送存在的问题，考虑配送距离、配送车辆、车辆载重、门店到货时间要求等影响因素，确定模型的参数与约束条件，建立目标为成本最小的路径优化（VRP）模型，并结合启发式算法，利用 MATLAB 软件进行求解，验证模型和算法的有效性，最终得出最佳路径优化方案。

5. 总结

整理研究过程，对本课题得出的结论进行总结并分析不足之处。

技术路线图如图 1 所示。

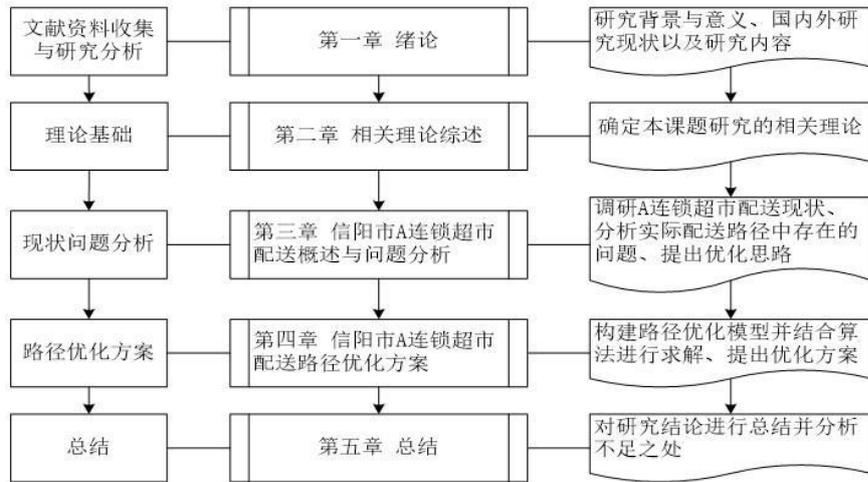


图 1 技术路线

（四）参考文献

[1] Brito J, Moreno J. Fuzzy Optimization for Distribution of Frozen Food with Imprecise Times[J]. Decision Making, 2019, 11(3): 337-349.

[2] MACRINA G, LAPORTE G, GUERRIERO F, et al. An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows[J]. European Journal of Operational Research, 2019, 276(3): 971-982.

[3] Kaboudani Y, Ghodsypour S H, Kia H, et al. Vehicle routing and scheduling in cross docks with forward and reverse logistics[J]. Operational research, 2018, 20(3): 1589-1622.

[4] Karoonsoontawong A, Punyim P, Nueangnitnarapon W, et al. Multi-Trip Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Overtime Constraints[J]. Networks and Spatial Economics, 2020, 20(02): 549-598.

[5] Zhan M. Research on Optimization of Logistics Distribution Route Based on Genetic Algorithm[J]. International Core Journal of Engineering, 2021, 7(2) : 67-87.

[6] 陈长塔. A 连锁企业便利店配送路线优化研究[D]. 福州大学, 2018.

[7] 魏志秀. 基于改进蚁群算法研究带时间窗的配送车辆路径优化问题[D]. 江苏大

学, 2021.

[8] 李若楠. 县域 L 连锁超市物流配送路径优化研究[D]. 河北工程大学, 2019.

[9] 杨雅琪. 带时间窗的生鲜连锁店配送路径优化研究[D]. 长春工业大学, 2022.

[10] 付秋睿. 重庆市 X 超市冷链物流配送路径优化研究[D]. 西南石油大学, 2019.

[11] 郭富蓉. 基于时变需求的带模糊时间窗车辆路径问题优化研究[D]. 兰州交通大学, 2021.

[12] 薛子翰. 连锁便利店冷链配送路径优化[D]. 东南大学, 2021.

[13] 李小玲. 基于改进遗传算法的连锁超市配送路线优化研究[J]. 甘肃科学学报, 2020, 32(06): 148-152.

[14] 纪汝方. W 公司连锁超市物流配送路径优化研究[D]. 山东财经大学, 2022.

[15] 陈弈林, 崔诚珉, 李旺阳, 孟祥玲, 柯奇超, 何雅莉, 王璇. 青岛市连锁商超共同配送路径优化—以 H 超市为例[J]. 中小企业管理与科技, 2021(10): 161-163.

[16] 何亚辉. 基于改进蚁群算法的物流配送路径规划算法[J]. 计算机与数字工程, 2021, 49(05): 920-924.

二、进度及预期结果

起止日期	主要内容	预期结果
(1) 2022. 10. 24-2022. 10. 31	(1) 确定题目、查找文献、完成任务书	(1) 确定题目、完成任务书
(2) 2022. 11. 01-2022. 11. 18	(2) 撰写开题报告, 准备开题答辩	(2) 完成开题答辩
(3) 2022. 11. 19-2023. 03. 18	(3) 收集数据, 进行论文初稿撰写 (4) 参加论文中期检查	(3) 完成论文初稿
(4) 2023. 03. 19-2023. 04. 14	(5) 修改、定稿论文, 准备参加论文答辩	(4) 完成论文初期检查
(5) 2023. 04. 15-2023. 06. 02		(5) 完成毕业答辩

完成课题的现有条件	<p>1. 物流实训教室，可提供选题相关的软件、计算机等；</p> <p>2. 本校图书馆，可提供本选题相关的文献资料及论文研究撰写的场地；</p> <p>3. 可利用中国知网、国家统计局以及中国统计年鉴等网站进行有关数据的搜集。</p>
指导教师 意见	<p>同意开题</p> <p style="text-align: right;">指导教师： <u>王晓虎</u> <u>2022年11月18日</u></p>
开题答辩 小组意见	<p>同意开题</p> <p style="text-align: right;">组 长： <u>胡成琳</u> <u>2022年11月18日</u></p>

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律 responsibility 由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

在当今社会中，以连锁式、规模式、统一式和信息化为特色的连锁超市发展得十分迅速，并日益成为了中国流通业的重点支柱产业。超市作为满足人们日常生活需求的场所，一方面向制造业集中采购商品，形成规模经济，另一方面通过资源共享、分散销售、统一配送，为连锁分店提供优质服务。连锁超市是现代零售行业中发展极佳的一种模式，在民生产业中得到广泛应用。在连锁超市的运营管理中，物流配送是充分发挥超市和连锁经营的双重优势的关键环节，直接影响连锁超市的成本支出、盈利水平与服务效率，最终决定着连锁企业的成本利润率的高低。因此，从现实生活和企业实际配送业务切入，对连锁行业的物流配送相关理论、车辆路径(Vehicle Routing Problem,VRP)优化问题开展丰富多彩的专研，是非常有价值的。

本文首先查阅与连锁超市物流配送、车辆路径优化研究相关的文献资料并加以分析，深度学习相关理论。再以信阳市 A 连锁超市为研究背景，对 A 连锁超市经营状况以及物流配送现状进行调查，分析得出 A 连锁超市存在车辆调度不合理、装载率不高、车辆运行路线不科学、配送成本高等问题。然后基于 A 连锁超市物流配送存在的痛点，选择日常百货物流配送中心作为研究对象，收集 A 连锁超市旗下 28 家分店的经营模式、地理位置、日均订货量以及常见配送货车等资料，对配送中心到门店这一环节的路径进行优化与研究：第一，根据不同分类基准，初步设计两种配送方案，并选择相应车型；第二，在车辆调度基础上，明确本课题为单中心多车型车辆路径优化问题；第三，构建以配送总成本最低为优化目标的日常百货配送路径优化模型，考虑相关约束条件，运用模拟退火算法工具和 MATLAB 软件进行求解，得到最佳配送区域及路线；第四，从成本与效率两个方面对优化结果展开对比分析，验证模型的有效性，得到最优方案，为 A 连锁超市物流配送提供一定的参考依据。

关键词：连锁超市；连锁超市物流配送；路径优化；模拟退火算法

ABSTRACT

In today's society, chain supermarkets characterized by chain, scale, unification and informatization are developing rapidly and increasingly becoming the key pillar of China's distribution industry. As a place to meet people's daily needs, supermarkets, on the one hand, purchase goods from the manufacturing industry to form economies of scale, and on the other hand, provide high-quality services for chain stores through resource sharing, decentralized sales and unified distribution. Supermarket chain is an excellent model in the modern retail industry, which has been widely used in the livelihood industry. In the operation and management of chain supermarkets, logistics distribution is the key link to give full play to the dual advantages of supermarkets and chain operation, which directly affects the cost expenditure, profit level and service efficiency of chain supermarkets, and ultimately determines the level of cost profit rate of chain enterprises. Therefore, it is very valuable to carry out a rich and colorful research on theories related to logistics distribution and vehicle path optimization problems in the chain industry, starting from real life and actual distribution business of enterprises.

First of all, this paper firstly reviews the literature related to the study of logistics distribution and vehicle route optimization of supermarket chains , and analyzes them to learn the relevant theories in depth. Then, using A supermarket chain in Xinyang City as the research background, we investigate the operation status of A supermarket chain and the current situation of logistics distribution. It is analyzed that A supermarket chain has many problems such as unreasonable vehicle scheduling, low loading rate, unscientific vehicle operation route and high distribution cost. After that, based on the pain points of A supermarket chain's logistics and distribution, the daily department store logistics and distribution center is selected as the research object, and information on the operation mode, geographical location, average daily order quantity and common distribution trucks of 28 branches of A supermarket chain are collected to optimize and study the path from the distribution center to the stores: Firstly, according to different classification benchmarks, two distribution schemes are initially designed and the corresponding vehicle models are selected; Secondly, on the basis of vehicle scheduling, it is clarified that this topic is a single-center multi-model vehicle path optimization problem; Thirdly, we construct a daily department store distribution path optimization model with the lowest total cost of distribution as the optimization goal, consider the relevant constraints, and

use simulated annealing algorithm tools and MATLAB software to solve the problem. Fourthly, the optimization results are compared and analyzed in terms of cost and efficiency to verify the validity of the model and obtain the optimal solution, which provides a certain reference basis for the logistics distribution of A supermarket chain .

Key Words: Chain Supermarkets; Chain Supermarket Logistics Distribution; Path Optimization; Simulated Annealing Algorithm

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 国外研究现状	1
1.2.2 国内研究现状	2
1.2.3 国内外研究评述	3
1.3 研究内容与框架	3
1.3.1 研究内容	4
1.3.2 研究框架	4
1.4 本章小结	5
第 2 章 相关理论及方法综述	6
2.1 连锁超市物流配送相关概述	6
2.1.1 连锁超市配送的定义	6
2.1.2 连锁超市物流配送的模式	6
2.2 配送路径优化问题相关理论	7
2.2.1 车辆路径问题描述	7
2.2.2 车辆路径问题的分类	8
2.3 配送路径优化问题的方法	8
2.3.1 模拟退火算法	8
2.3.2 遗传算法	9
2.3.3 蚁群算法	9
2.4 本章小结	9
第 3 章 信阳市 A 连锁超市配送概述与问题分析	10
3.1 A 连锁超市概况	10
3.2 A 连锁超市配送业务流程	10
3.3 A 连锁超市物流配送问题分析	11
3.3.1 A 连锁超市配送现状	11
3.3.2 现有配送现状存在的问题	11
3.4 本章小结	11
第 4 章 信阳市 A 连锁超市配送路径优化方案设计	12

4.1 A 连锁超市门店相关数据	12
4.1.1 日常百货配送中心信息	12
4.1.2 周边县城门店信息	13
4.1.3 市内门店信息	14
4.2 A 连锁超市路径优化方案设计	15
4.2.1 物流配送货车类型	15
4.2.2 优化方案设计 1	15
4.2.3 优化方案设计 2	16
4.3 本章小结	17
第 5 章 信阳市 A 连锁超市配送路径优化方案研究	18
5.1 问题描述	18
5.2 日常百货商品路径优化模型构建	18
5.2.1 模型假设	18
5.2.2 参数含义	18
5.2.3 模型构建	19
5.3 模拟退火算法求解模型	21
5.3.1 模拟退火算法原理	21
5.3.2 算法参数设置	22
5.4 日常百货商品路径优化方案分析	23
5.4.1 配送路径优化方案 1 展示	26
5.4.2 配送路径优化方案 2 展示	27
5.4.3 配送路径优化前后对比分析	28
5.4.4 两种优化方案配送成本对比分析	28
5.4.5 两种优化方案配送效率对比分析	29
5.5 日常百货商品路径优化方案选择	32
5.6 本章小结	32
第 6 章 总结	33
6.1 研究总结	33
6.2 展望与不足	33
参考文献	34
致 谢	35
附 录	37

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

近些年来,随着我国综合实力的不断增强,我国正处于数字化转型经济新时期,国内电商网络平台发展迅猛,对传统线下连锁商超的发展产成了巨大的冲击力。连锁超市凭借提供的商品多式多样、便捷性强、服务面积广等特点,深受广大消费者的青睐。伴随着社会经济高速的发展,连锁超市旗下门店的数量不断增加,消费者需求也愈来愈高,我国很多中小型连锁超市由于缺乏规范的经营运作与完善的配送体系,在物流配送这一环节相当薄弱,配送成本居高不下,配送效率极低,极大阻碍了连锁超市的发展。因此,连锁超市当务之急在于不断地探求新发展道路,设计合理的物流配送方法,实现产品的迅速转移,并以此减少物流配送环节的成本费用开支,提升物流配送效能,在新零售市场竞争中持有高比例市场份额。

本文以信阳市 A 连锁超市物流配送业务作为研究背景, A 公司在市内自建了一个综合型配送中心,拥有自己的车队,当下以自营模式为旗下各门店提供货物配送服务。近些年来,随着经济生活水平的提高,近些年来 A 公司业务量呈现逐年快速递增的趋势。为了应对强大需求, A 公司也采取了一系列措施进行改善,但在配送体系改善方面依然存在不足:车辆调度不合理,物流配送路径仍然以经验为导向,缺乏理论分析与科学规划,导致配送车辆装载率低、总行驶距离过长、运输成本过高。因此,对 A 公司配送中心的配送路径进行分析与优化至关重要。

1.1.2 研究意义

本文以信阳市 A 连锁超市的物流配送为例,针对 A 连锁超市配送中心到门店这一配送环节,在其配送中存在的诸多不合理的问题的基础上,进行物流配送路径优化,为 A 公司提出可借鉴的适合自身情况的配送方案,达到缩短配送行驶里程与费用、提高配送效率的目的,充分发挥连锁超市统一经营的优势,从而提高 A 公司的整体运营效率。同时,配送路径的缩短与装载率的提高有助于保护环境和保障城市交通的安全。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

配送路径的优化这一问题物流领域的焦点问题之一,在包含配送环节的各行业中都有一定的研究。国外学者在路径优化的研究中,充分结合行业面临的实际配送问题,并专

研更深入的算法来解决。

Brito J (2019) 在超市冷冻食品运输路径问题上, 考虑防止在路途中产生中断这一约束, 并针对问题构思混合式算法, 进行了实验与求解^[1]。

Giusy Macrina (2019) 等人提出了一种基于绿色物流的混合车辆路径问题, 考虑汽车速度、加速度、爬坡能力、加油设施点以及道路坡度等因素, 构建综合能源消耗的路径优化模型, 最后使用嵌入大邻域数学启发式算法搜索最优解, 为使用可替代能源车辆的公司和机构的配送运输系统提供了一定的理论支撑与参考依据^[2]。

Kaboudani Y (2018) 在车辆路径问题研究中, 从包含转移中心的配送网络出发, 考虑车辆正向、逆向流动, 为车辆最大化利用的实现提供了理论依据^[3]。

Karoonsoontawong, Punyim, et al. (2020) 主要研究软时间窗下的 VRPTW 问题, 在研究中添加超时惩罚概率这一约束, 对蚁群算法进行改进, 构建多层次目标的模型, 多步迭代, 开展模型求解, 并与单目标模型下求到的结果展开比较^[4]。

1.2.2 国内研究现状

与国外学者的研究成果相比较, 国内学者对于配送路径优化的研究相较晚些, 主要在 2000 年左右。但在借鉴国外学者经验的基础上, 通过更深层次地研究与物流配送、路径优化相关的理论与方法, 考虑更全面的要素, 构建更加贴切的模型, 改良算法。总的来说, 学者们已经研究了许多有价值的成果。

陈长塔 (2018) 在求解 VRP 问题中, 运用改进后的 K-means 聚类算法, 合理地分类相应配送区域, 通过仿真实验对蚁群算法的关键参数设置进行探索, 最后构建配送线路优化模型, 并综合聚类、蚁群算法, 使得配送路线得到优化^[5]。

魏志秀 (2021) 针对客户对服务时间需求的紧迫性, 在主要以车辆载重量、容积利用率为约束的传统车辆路径问题中, 加入时间窗约束并构建时间窗惩罚函数, 建立配送成本最小为目标的车辆路径模型^[6]。

李若楠 (2019) 以县域连锁超市物流配送问题作为研究背景, 根据遗传算法和爬山算法的特殊优点, 建立的综合型模型不仅使得配送成本下降, 同时增强了农村连锁超市的发展潜力^[7]。

杨雅琪 (2022) 以 M 生鲜连锁店为例, 在考虑各市辖区交通拥堵状况的因素下, 系统性研究了带时间窗车辆配送的各项成本, 将蚁群算法和入侵杂草算法相结合, 设计了混合蚁群算法。其次, 结合实际配送业务验证其有效性与可行性。最终结果表明, 考虑交通拥堵因素, 更能有效的减少配送成本, 提高配送准时性, 具有更大的现实意义^[8]。

付秋睿 (2019) 主要研究的是冷链物流配送问题, 对模型构建中的参数做出严格的约束, 充分考虑冷链物流配送的独有特征, 使得模型更加符合实际, 比如利用物理热力学原理中的热负荷计算表达式求出冷藏车的制冷成本。而且, 通过多次对比分析设计出的适合

模型求解的模拟退火算法，能够在较短的时间内收敛，得出较好的优化路径结果^[9]。

郭富蓉（2021）从客户角度出发，针对同时取送货且实时变化的客户需求，构建时变需求下的配送总成本最小与客户服务效益最大的双目标规划模型，并通过混合蚁群算法进行优化求解，实现了对服务时间内突增需求快速应对这一目标^[10]。

薛子翰（2021）首先建立了蓄冷箱式多温层的统一配送模式优化模型，并在传统模式的基础上，构建了带时间窗的多温共配补货模式。分别使用了两种改良算法进行了计算，结合事例证明了模型的可行性^[11]。

刘海莉（2019）以 S 连锁超市为背景，在软时间窗约束的路径优化模型中考虑碳减排，利用遗传算法工具论证，为最佳货物配载、配送路线决策提供重要的借鉴依据^[12]。

李小玲（2020）从“配”和“送”两个方面入手，即货物配载问题和车辆路径问题，建立一种改进的货物配载和车辆路径综合优化数学模型，并利用改进的遗传算法与具体实例来完成求解、验证^[13]。

赵向南，邢磊等（2019）综合考虑配送成本与求解结果的鲁棒性，构建的混合式数学模型与求解得出的路线，使得服务时间不定的外卖配送这一问题得到有效解决^[14]。

纪汝方（2022）围绕实际企业案例，调查超市的配送情况，收集门店的订货信息，分别探究自营的百货物品和外包的家电产品各自配送模式的特点，建立目标为成本最小模型，采用遗传算法对两个优化问题分别进行相应求解^[15]。

葛显龙，尹秋霜等学者（2019）对大型连锁超市的配送进行了详细研究，将其细化为集货、送货的两个环节，同时在算法的设计中融合越库路线的选择，最后经过实验证明配送成本能够降低^[16]。

陈弈林，崔诚珉等（2021）依据 H 超市各配送中心以及旗下店面的位置分布，设计将运输成本和客户满意度两大子目标合成的多目标函数，构建配送车辆路径模型，结合禁忌搜索法完成模型求解，最终得出结论：共同配送可以使车辆装载率大幅度地提高，运距极大缩短，从而节约了成本^[17]。

1.2.3 国内外研究评述

综上所述，国内外学者在不同行业中，对物流配送路径优化都有着大量相应的探索与研究，取得了非凡的研究成果。在解决中小型连锁超市配送路径优化研究（VRP）问题上，专家学者们逐渐向实际生活靠拢，从研究行业的背景切入，结合不同企业实际配送业务流程的特点，选择合适的车型，结合连锁门店的地理位置、配送时间范围、车辆载重量、周边交通状况以及环境保护等多种因素，构建改进的路径优化模型，同时构建寻优性能高、运算简单与准确的现代启发式算法进行模型求解。

1.3 研究内容与框架

1.3.1 研究内容

本课题对信阳市 A 连锁超市配送中心到门店的配送路径进行研究与优化。基于连锁超市、物流配送等相关理论及路径优化的常用方法，分析实际车辆配送路径存在的问题，并以此来构建优化模型，结合相关算法，利用 MATLAB 软件求解，帮助 A 连锁超市在响应门店服务时效要求的同时，实现配送距离最短、配送费用最小，并提出可借鉴的实施方案。

第 1 章是绪论。收集并分析国内外对连锁超市配送路径优化研究的相关文献资料，悉知当下连锁超市物流配送的发展状况，明确本课题研究的目的与意义；深入学习相关理论与方法，确定本课题的研究范围、优化方法和思路框架。

第 2 章是理论综述。介绍本课题涉及的相关知识与方法：连锁超市物流配送、路径优化（VRP）、以及路径优化常用算法，为下文问题的研究奠定理论基础。

第 3 章是信阳市 A 连锁超市配送概述与问题分析。进行实地调研，介绍 A 连锁超市目前的经营现状；分析并总结 A 连锁超市物流配送中心实际配送路径存在的问题。

第 4 章是信阳市 A 连锁超市路径优化方案的设计。收集相关数据，对连锁超市的配送业务量进行调查，针对超市实际运作情况，设计优化方案，为后文模型构建提供相应支撑。

第 5 章是信阳市 A 连锁超市路径优化方案的具体分析与研究。综合考虑汽车型号、配送距离、配送车辆数目、载重量等影响因素，设定模型的基本参数和约束条件，构建目标为总成本费用最小的路径优化模型，并结合启发式算法，利用数学建模软件来求解，并对模型和算法的有效性加以检验，最终确定最佳路线方案。

第 6 章是总结。整理研究过程，对本课题得出的结论进行总结并分析存在的不足之处。

1.3.2 研究框架

依据本文各章内容，得出思路过程图，如图 1-1 所示。

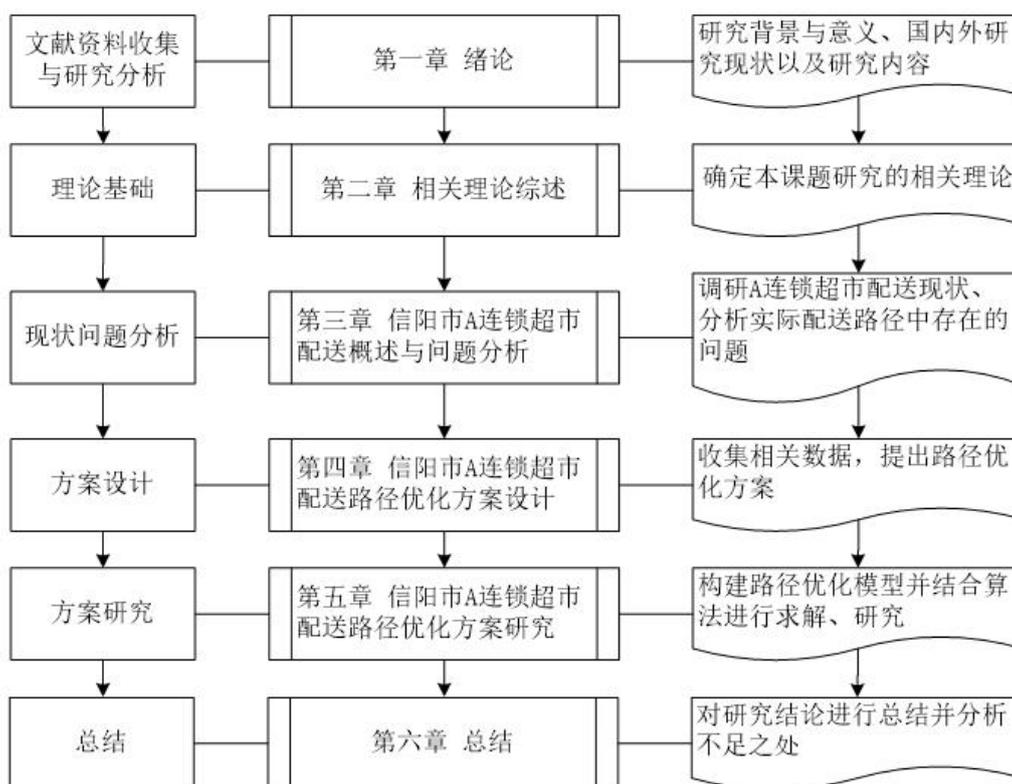


图 1-1 技术路线

1.4 本章小结

本章节首先介绍本文研究的背景，阐述研究意义。在此基础上进行文献资料的收集与研究分析，引出研究内容与思路，最终确定本文的总体框架，即技术路线图，为下文撰写做好准备。

第 2 章 相关理论及方法综述

2.1 连锁超市物流配送相关概述

2.1.1 连锁超市配送的定义

配送是企业通过特定的交通工具,根据顾客要求把商品由供应点传递给需求点客户的一项行为。

连锁超市配送是连锁企业提高核心竞争力最关键的一环,是离不开配送中心这一物流节点的。该环节首先获取各个连锁分店或者加盟店的订单需求,然后在配送中心进行配货、匹配车型、货物装载、制定配送计划,最后调度人员配送,将货物完好无损的送达。

2.1.2 连锁超市物流配送的模式

配送模式是连锁企业配送战略之一。企业的类型、运作模式、资金状况都对配送模式的选择有着不可忽略的影响力。连锁超市的现代配送离不开配送中心,当前配送模式主要分为以下几种。

1. 自营配送模式

自营配送模式是连锁超市集团总部,综合考虑自身各方面因素来自建物流配送中心,发挥集成规模效应统一采购商品并进行存储与保管,然后根据各门店需求统一配货与配送,从而统一营运与管理。此模式可以很好的发挥集成与分散的联合效应,协调内部供应链上下游,服务质量可以得到保证,但自建配送中心需要很大资金投入、管理复杂度高,一般适用于相较成熟的连锁体系的超市。如图 2-1 所示。

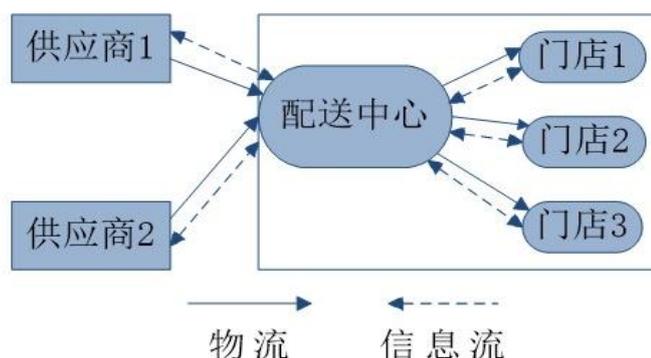


图 2-1 自营配送模式图

2. 第三方物流配送模式

第三方物流配送模式,主要是连锁超市集团总部将配送相关业务外包,交由专门的第三方物流公司来完成,从而将更多的投入花费在企业的核心业务,提高企业竞争力。但是

在整个供应链无法控制配送这一环节，如若第三方物流公司选择不恰当，对企业来说有很大的影响。该模式适用于配送业务小，有着其他竞争力很强的业务的企业。如图 2-2 所示。

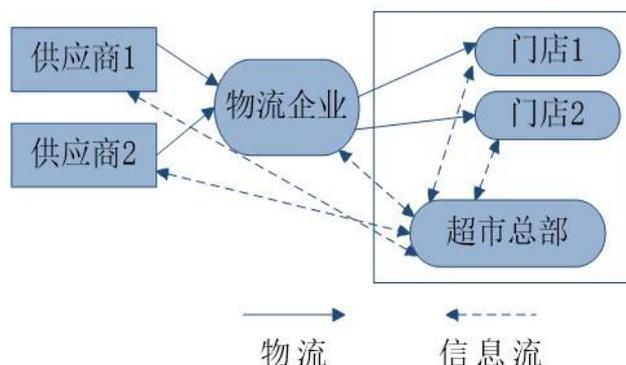


图 2-2 第三方物流配送模式图

3. 共同配送模式

共同配送模式，这种模式是不同的小型连锁集团总部共同出资共建配送中心，基于工具备、资源、信息、人力的共享，从而达到集约化管理。这对于业务量小的企业来说可以很好的解决成本问题，但是共同配送需要企业之间很强的信息共享与合作交流，整体权衡各方利益，通常来说是很困难的，企业间很容易出现矛盾。这种模式也有一定的限制性，是目前最常用的一种。如图 2-3 所示。

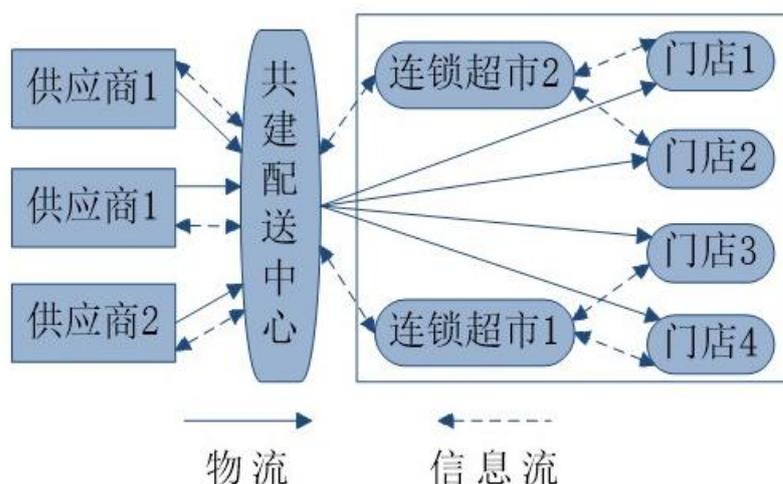


图 2-3 共同配送模式图

2.2 配送路径优化问题相关理论

2.2.1 车辆路径问题描述

车辆路径问题（VRP）早在 1959 年就已提出，具体指的是配送车辆从中心点出发，

依据提前规划制定的线路，在满足车辆载重、容积、服务时间等约束下，将商品准确无误送达目的地，实现最短运距、最低成本支出等目标。总的来说，车辆路径问题主要由配送车辆、配送中心、货物、配送路线、目的点、相关约束以及目标函数这七大要素构成，其中任一要素的变化都制约着配送路线的结果。

2.2.2 车辆路径问题的分类

车辆路径问题的解决、路线优化方案的制定都对企业的运转有着重大参考价值。因此，车辆路径问题近些年来引起众多学者专研，在实际案例中广泛实验、验证。随着逐渐结合企业实际背景，针对性地解决不同问题，路径优化有着丰富的类别。按照不同标准可分为如下类别，如表 2-1 所示。

图 2-1 共同配送模式图

分类依据	类型
配送中心数量	单配送中心问题、多配送中心问题
配送车辆型号	单车型问题、多车型问题
车辆装载情况	满载、非满载、满载非满载混合问题
车辆是否返回配送中心	开放式、闭合式问题
车辆配送任务	只送货、只取货、送取混合问题
服务时效要求	有时间窗约束（VRPTW）、无时间窗约束
优化目标数量（成本、时间、容量）	单目标、多目标问题

2.3 配送路径优化问题的方法

为了解决车辆路径问题，大量相关研究学者对求解方法展开探索。因为目标函数、约束条件的不同，相应地产生了多种多样的求解方法。车辆路径问题方法探索大致经历 3 个阶段，第一阶段主要是较简单的精确算法，这些方法最大的缺点就是只适用小规模群体；紧接着第二个阶段的传统启发式算法的出现解决了小规模局限问题，有插入算法、节约算法、邻接算法等，但是仍存在一些弊端，对于一些特殊问题无法求解；伴随互联网计算机技术的创新发展，第三阶段的现代式算法应然而生，且仍在更进一步完善。

2.3.1 模拟退火算法

模拟退火算法 (Simulated Annealing, SA) 借用物理学中的降温原理, 逐渐退火, 从局部进行搜索, 找寻能量最稳定状态。物体的能量状态是由固态→液态→结晶体, 在这个过程中, 物体内部系统的能量逐步达到最低状态。模拟退火是一种贪婪算法, 在搜索的过程中考虑了随机性的影响, 能够在一定的概率范围接纳比较差的解, 因此能够跳出局部最优解, 找到全局最优解, 即通过全局搜索获取最优解。

2.3.2 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 借用达尔文适者生存法则, 将路径网点转化为种群, 通过染色体的一系列行为, 逐步迭代, 搜罗最优解。这种方法操作简单、求解结果科学、客观, 但是求解时间较长, 极易有早熟现象, 全局搜索能力差, 导致陷入局部最优, 适用于多目标路径问题优化求解。

2.3.3 蚁群算法

蚁群算法 (Ant Colony Optimization, ACO) 是借用蚂蚁找食中释放信息素的自然现象, 记录已经走过的路线, 蚂蚁群体之间相互交流, 路径越短涵盖的信息素浓度越高, 使得后续觅食的蚂蚁选择最短路线, 随着越来越多蚂蚁的聚集, 不断更新信息素, 得到最佳路线。这种方法适合大规模群体求解, 便于与其他算法联合求解, 但是其存在搜索时间长、收敛慢等缺点。

2.4 本章小结

本章节首先介绍了物流配送相关概念, 详细论述配送作业流程; 其次介绍连锁超市的内涵、连锁超市物流配送的特点和三种配送模式的对比; 最后针对本课题介绍了配送路径优化理论与方法。

第 3 章 信阳市 A 连锁超市配送概述与问题分析

3.1 A 连锁超市概况

A 股份有限公司于 1996 年成立。在 2001 年 10 月 18 日开始连锁模式的探索、在信阳市当地正式建立中小型连锁超市，即 A 连锁超市。经过多年发展壮大，时至今日，在信阳市已有近 30 家连锁分店。

A 连锁超市的各分店形式多样，有以下四大主要品牌：西亚和美、西亚丽宝、西亚便利店、西亚美好生活；主营行业也各有不同，但总的来说有以下八大行业：超市大卖场、精品百货、时尚百货、便利连锁、家电企业、餐饮公司、主题公园、影城。除此之外，公司于 2011 年左右开始逐步开展外地经营，取得优异业绩。目前公司已形成了覆盖信阳市、驻马店市、广东广州、湖北等区域，总运营面积接近十六万多平方米的中型民营零售公司。

3.2 A 连锁超市配送业务流程

A 连锁超市在市内自建了一个大型配送中心，依托其完善的物流、商流、资金流、信息流一体化系统，发挥其集中采购、统一存储、分散销售、统一配送的经营模式，为 28 家门店提供配送服务，完成连锁超市整条链上下游之间的日常运转。

连锁超市的配送中心的业务流程大致可以为：超市门店从信息系统提交补货申请，配送中心相关部门业务员接收、审核、打印单据，仓管员按单拣货、按类分拣，发货员再次核验、合理装车，最后在一段时间区域内将货物完好无损配送至门店。如图 3-1 所示。

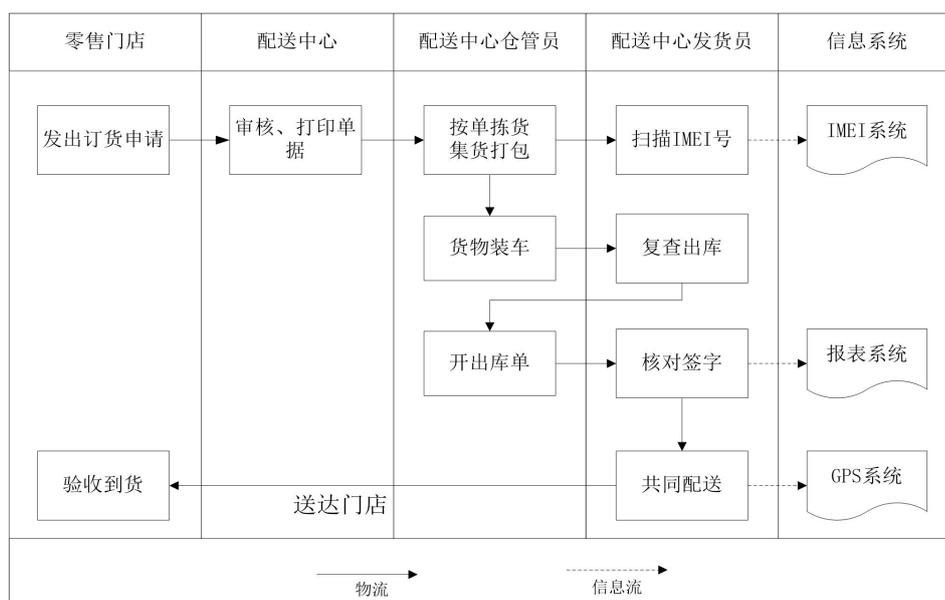


图 3-1 A 连锁超市配送业务流程图

3.3 A 连锁超市物流配送问题分析

3.3.1 A 连锁超市配送现状

A 连锁超市集团总部在市内浞河区建立了一个库房面积约 1 万平方米的大型综合物流配送中心，其中包括日常百货配送中心、生鲜产品配送中心、家电配送中心等。

A 连锁超市目前在信阳市区域内有 28 家门店。对于日常百货配送中心近 90% 的作业，选择自营配送模式、自己组建车队为旗下分店服务，少数特殊情况交由第三方物流来完成；对于生鲜产品和家电产品的配送，交给专业的物流公司来做。

3.3.2 现有配送现状存在的问题

面临线下零售市场同线上销售的双重强力竞争，连锁超市一直在不停地完善自身。近些年 A 连锁超市发展迅猛，在信阳市始终位于市场前端。配送是超市的整个物流的末端环节，前期环节的所有付出都是为之铺垫，只有这一环节赢，整体才是赢。但是其配送路径的计划与安排尚有不足之处，严重制约连锁超市的赢利，所以急需重视。

1. 车型选择不当、装载率不高

A 连锁超市经营的产品比较全面、多样化，配备的车型也是很齐全的。车辆是由配送部门集中管理的，通常都是随机调度，尽可能地保证没有闲余车辆。但这样做常常使得小批量货物匹配大载量车型，车辆装载率极低；大批量货物匹配多辆小载量车，车辆调度出现极大浪费现象。这必将造成资源的不充分利用、运输成本过高。

2. 车辆路线安排不恰当、主观性较强

A 连锁超市配送范围大，涵盖市内和周边县城，既有小型连锁分店也有大型综合门店。当前配送中心前往各门店的配送路线方案，还是以人工经验的最短路径为主，将就近的门店组合归为一条路线，没有综合考虑车辆载重量、门店需求量等约束，利用算法工具去深度分析、规划、制定，缺乏一定的科学依据，这会导致车辆配送距离总体过长、配送成本高、配送时效低。

上述问题能否正确处理决定着超市配送运作效率的高低，关键在于配送路径的优化，否则导致车辆运力利用率低、物流配送成本高、服务质量差、甚至不利于环境的保护和政府政策的落实。因此，路径优化方案的探索与设计事不宜迟。

3.4 本章小结

本章节首先介绍了 A 超市的连锁概况，接着阐述 A 连锁超市的配送业务流程，对 A 连锁超市初步认识；紧接着描述了连锁超市目前的配送现状，着重论述了现有配送现状存在的多方面问题。

第 4 章 信阳市 A 连锁超市配送路径优化方案设计

4.1 A 连锁超市门店相关数据

信阳市大体可分为市内两大区：浉河区和平桥区、周边八大县城。信阳市 A 连锁超市在市内两区总计有 14 家分店，既包括 4 家需求量大、种类多的综合门店，也包含 10 家需求量小、种类较少的小型分店；在周边的八个县城有 14 家分店，目前是均为综合型门店，还未进行小型分店业务的开展。在市内浉河区有一个日常百货配送中心，专门来为各个连锁店服务。

本文的研究重点在于百货配送中心向 28 家门店的配送路径优化问题，只考虑无需特殊配送要求的日常百货的统一集散与管理。地理位置分布如图 3-2 所示。



图 4-1 连锁超市地理位置分布

4.1.1 日常百货配送中心信息

通过调查，百货配送中心相关信息如表 4-1 所示。

表 4-1 百货配送中心相关信息

序号	日常百货配送中心	
0	地址	信阳市浉河区京港线宝石山庄东侧约 180 米
	经度	114.084126
	纬度	32.098361

4.1.2 周边县城门店信息

根据腾讯地图得到 A 连锁超市周边县城 14 家门店的经纬度，同时收集各门店的平均需求量与卸货时间。详细资料如表 4-2 所示。

表 4-2 周边县城 14 家分店信息

序号	地址	经度	纬度	需求量 (kg)	卸货时间
Z1	息县北大街沿河路鼎峰国际附近	114.524579	32.209987	1000	33.3
Z2	淮滨县南大街与公安街交叉口	114.548634	32.256837	1480	49.3
Z3	罗山县行政大道 6 号南侧约 120 米	115.046424	32.140315	1100	36.7
Z4	淮滨县西亚丽宝广场	114.745572	32.359664	1770	59
Z5	潢川县宁西路与环城路交叉口	114.746846	32.348653	1420	47.3
Z6	罗山县 018 乡道与兴楠大道交叉口西 400 米	114.907387	32.016946	1080	36
Z7	息县南北大街与息州大道交叉口	114.959634	32.005698	1150	38.3
Z8	固始县蓼北路 266 号对面	115.420348	32.445312	1440	48
Z9	固始县蓼城路与踏月寺街交叉口	115.420468	32.445267	1580	52.7
Z10	光山县紫水街道帝坤国际酒店附近	114.885942	31.646458	1440	48

序号	地址	经度	维度	需求量 (kg)	卸货时间
Z11	光山县弦山中路福万家百货 东南侧约 120 米	115.408492	31.810107	1560	52
Z12	商城县崇福大道 194 号	115.408479	31.810214	1500	50
Z13	商城县崇福大道西段 90 号	115.684738	32.191189	1330	44.3
Z14	新县黄河北路 259 号	115.68413	32.191953	1650	55

4.1.3 市内门店信息

依据 4.1.2 的数据调查步骤，根据腾讯地图得到 A 连锁超市市内两大区的 14 家分店的经纬度，同时收集各门店的平均订货量以及卸货时间。相关资料如表 4-3 所示。

表 4-3 市内 14 家门店相关数据

序号	地址	经度	纬度	需求量 (kg)	卸货时间
S1	浉河区东方红大道东方京城 A 区 2 号楼 5 楼	114.04531	32.11754	490	16.3
S2	浉河区东方红大道与张李湾 南路交叉口东 200 米	114.04586	32.11698	440	14.7
S3	浉河区胜利路步行街 168 号西 亚生活广场二楼	114.04783	32.11785	450	15
S4	浉河区报晓新村东北 2 门旁	114.04687	32.11753	480	16
S5	浉河区鸡公山大街书香门第	114.05324	32.11841	445	14.8
S6	浉河区 107 国道 308 厂斜对面	114.07835	32.11874	460	15.3
S7	平桥区万象城 B 座北门旁	114.06541	32.11246	1350	45
S8	平桥区明港镇西亚丽宝广场 平桥店西亚超市	114.09654	32.10323	1635	54.5
S9	平桥区新七大道与和谐路交 叉口东 240 米	114.08932	32.10246	440	14.7

序号	地址	经度	纬度	需求量 (kg)	卸货时间
S10	平桥区新五大道 91-45 号	114.09630	32.10238	465	15.5
S11	平桥区明港镇杨楼路口	114.08216	32.10276	470	15.7
S12	浉河区贸易广场对面	114.12453	32.10241	1600	53.3
S13	浉河区五星街湖东花园	114.11528	32.10231	415	13.8
S14	平桥区平桥大道与平中大街 交叉口	114.133703	32.102145	1805	60.2

4.2 A 连锁超市路径优化方案设计

4.2.1 物流配送货车类型

连锁超市货物日常配送，常用的三种厢式货车尺寸规格如表 4-4。

表 4-4 常见物流货车尺寸

货车车型(厢式车)	尺寸	容积	实际载重量	耗油量 (升/百公里)
4.2 米	4.2m×1.9m×1.8m	15 立方米	≤4t	11-12
5.2 米	5.2m×2.0m×2.2m	25 立方米	≤5t	13-15
6.8 米	6.8m×2.4m×2.7m	40 立方米	≤10t	18-20

4.2.2 优化方案设计 1

信阳市按照地理位置可以划分为：市内两区—浉河区、平桥区，周边八大县城—罗山、潢川、息县、光山、淮滨、新县、商城、固始。详细见表 4-5。

优化方案 1 设计思路：A 连锁超市配送可以按照地理区域划分，即各区县之间的距离、超市地理位置分布，将信阳市划分五个配送区域，单独组织车队配送。详细安排如表 4-6 所示。

表 4-5 区域划分—信阳市

	涵盖区域	门店数目	需求量
市内—两区	狮河区、平桥区	14 家	10945 kg
市外—周边县城	罗山、息县、潢川、光山、新县、淮滨、商城、固始	14 家	19210 kg

表 4-6 超市配送区域划分

区域	配送门店范围	配送门店类型	门店需求量	车型选择
I	市内门店	小型连锁店、大型综合店	10945 kg	4.2 米
II	市内门店			6.8 米
III	息县、罗山	大型综合店	4330 kg	5.2 米
IV	淮滨、潢川、固始	大型综合店	7690 kg	6.8 米
V	光山、商城、新县	大型综合店	7480 kg	6.8 米

为了能够更好的完成车辆调度、组织、管理，采用分类配送，按照地理区域分布，连锁超市划分得出的结果，车型选为：4.2 米车 1 辆、5.2 米车 1 辆、6.8 米车 3 辆。

4.2.3 优化方案设计 2

A 连锁超市有两种主流经营模式—大型综合门店、小型连锁分店，两者之间有很大的区别，如表 4-7 所示。

表 4-7 超市分类-依据门店类型

	平均需求量	特点
大型门店	1t 以上	订货批量大、订货间隔期长、经营品种全面
小型门店	500kg 以下	订货批量小、订货间隔期短、经营产品种类少

依据此分类标准发现：10 家小型分店全部分布在信阳市区内，且需求量相较来说不多；18 家综合门店主要覆盖在周边的 8 个县城-14 家，在市区内只有 4 家。

为了便于对连锁超市的配送实施统一管理，对信阳市整个区域的全部分店进行划分，将 A 连锁超市按照门店的类型分为 18 家综合门店、10 家小型分店。

优化方案 2 设计思路：将两种类型门店分开，分别组织车队配送。详细安排如表 4-8 所示。

表 4-8 配送方案

门店划分	门店数目	区域分布	需求量	车型选择
小型分店	10 家	市内两区	4555 kg	5.2 米
综合门店	18 家	市内两区、周边县城	25600 kg	4.2 米、5.2 米、6.8 米

结合划分指标进行分类，对 10 家小型分店—需求量为 4555 kg，单独安排 1 辆承载量为 5 吨的车；对 18 家综合门店—需求量为 25600 kg 的配送方案，需要结合现有车型，借用工具进一步求解。

4.3 本章小结

本章节对相关数据进行收集、分析，并设计优化方案，为第 4 章路径优化思路的具体化、方案的提出提供实际案例支撑。

第 5 章 信阳市 A 连锁超市配送路径优化方案研究

5.1 问题描述

基于对信阳市 A 连锁超市车辆选型的结果可知，本课题属于带容量约束的单车场多车种的路径优化问题(Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem, HFVRP)，不同于容量受限的车辆路径问题(CVRP)，它还需要确定每条配送线路匹配的车型。该问题主要研究两方面的内容：①确定各配送路线选用的车型；②确定各路线访问的先后顺序。

本课题的优化目标为：根据 A 连锁超市旗下 28 家连锁店的日常百货需求，合理调度公司独立组建的车队、规划车辆配送路线，使得百货商品高效的送达连锁店中，实现用车辆最少、行驶距离短、车辆装载率较高，配送成本降低，利润率得以增加。

5.2 日常百货商品路径优化模型构建

5.2.1 模型假设

为了研究更加符合实际、得出的优化方案更真实可靠，在正式构建数学模型前还需做出如下相关假设。

1. 利用地图软件坐标拾取器工具，A 连锁超市的百货配送中心、综合门店、旗下分店的具体位置（经纬度）是已知的；
2. 信阳市 A 连锁超市在市区内和周边县城的所有类型连锁店的需求量是明确知晓的，不考虑因季节性因素产生的波动；
3. 不同型号配送车辆的固定成本依据配送系统中的数据库统计得到的，假定为不变；
4. 配送车辆的变动成本取的是平均值，不考虑自然、经济、社会因素等所带来的影响与变动；
5. 百货配送中心拥有的车队的详细信息是已知的；
6. 配送道路条件一致，配送中车辆出现故障与意外不会发生、可以顺利把货物送达到店中；
7. 一个连锁门店的配送服务只能让一辆车单独来完成，不能经由多辆车来服务；
8. 一辆车可以装载多家连锁店的订货产品，且各连锁店的订购量是必定小于车辆最大装载量的；
9. 配送中心的日常百货商品的配送以重量为单位来计算，不考虑其他一些变量单位。

5.2.2 参数含义

本课题研究的日常百货商品的路径优化问题研究所必须参数及含义如表 5-1 所示。

表 5-1 参数含义

参数	含义
Z	目标函数
N	A 连锁超市百货配送中心和旗下 28 个连锁分店的集合体：0 表示配送中心，1...n 表示门店
k	车辆型号编码 (k=1,2,...K)
U_k	第 k 种车型的集合 ($U_k = 1, 2 \dots s_k$)
Q_k	车型 k 的最大载重量
F_k	车型 k 的固定使用成本
C_k	车型 k 的单位变动成本
q_i	分店所需货物的重量
d_{ij}	分店 i 与 j 之间的距离
W_k	车型 k 的空载机会成本

5.2.3 模型构建

A 连锁超市日常百货商品配送路径优化模型的目标是总配送成本达到最低,其中包括固定成本、变动成本、机会成本。

1. 固定成本

不同车型的折旧成本、司机日常配送的工资,与行驶距离无关。

$$Z_1 = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^{s_k} F_k \quad (5.1)$$

2. 变动成本

不同车型在配送过程中产生的可变成本,与行驶距离呈正相关。

$$Z_2 = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^{S_k} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_k d_{ij} \quad (5.2)$$

3. 机会成本

在配送过程中，不同车型的车辆常常因不满载现象产生的机会成本。

$$Z_3 = \sum_{k=1}^K W_k (Q_k - \sum_{u=1}^{S_k} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n q_i x_{iju}^k) \quad (5.3)$$

4. 目标函数

物流配送总成本=固定成本+变动成本+机会成本。

$$\text{Min} Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (5.4)$$

5. 约束条件

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{u=1}^{S_k} q_i x_{iju}^k \leq Q_k \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.5)$$

$$\sum_{u=1}^{S_k} \sum_{k=1}^K y_{iu}^k = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.6)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{u=1}^{S_k} x_{0ju}^k = 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^{S_k} x_{i0u}^k = 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.8)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{iju}^k - \sum_{l=0}^n x_{jlu}^k = 0 \quad j = 0, 1, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.9)$$

$$y_{0j} \leq \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^{S_k} Q_k x_{0ju}^k \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n x_{iju}^k = y_{iu}^k \quad j = 0, 1, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.11)$$

$$\sum_{j=0, j \neq i}^n x_{iju}^k = y_{ju}^k \quad i = 1, 2, \dots, n \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5.12)$$

$$x_{iju}^k \in \{0, 1\} \quad i \neq j = 0, 1, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (5.13)$$

$$y_{iu}^k = \begin{cases} 1 & \text{分店 } i \text{ 由 } k \text{ 车型的第 } u \text{ 辆车负责配送} \\ 0 & \text{分店 } i \text{ 不由 } k \text{ 车型的第 } u \text{ 辆车负责配送} \end{cases} \quad (5.14)$$

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & k \text{ 车型的 } u \text{ 辆车负责分店 } i \text{ 到分店 } j \text{ 的配送} \\ 0 & k \text{ 车型的 } u \text{ 辆车不负责分店 } i \text{ 到分店 } j \text{ 的配送} \end{cases} \quad (5.15)$$

y_{ij} = 从顶点 i 到 j 的货物流量，即车辆离开顶点 i 前往 j 时的货物装载量

公式 (5.5) 表示约束：车型 k 的第 u 辆车货物载重量不能大于其最大装载量；公式 (5.6) 保证门店 i 只可以由车型 k 的第 u 辆车来配送；公式 (5.7) 和 (5.8) 表示连锁超市配送路线为配送中心-旗下分店-配送中心；公式 (5.9) 保证车辆到达 1 个分店会离开该分店；公式 (5.10) 使得车辆离开配送中心的载重量不可以超过最大承重；公式 (5.11) 和 (5.12) 限制了一个连锁分店只能由 1 辆车来负责配送，同时一辆车只可配一条路线，即各车辆有自己独立的配送区域与路线。

5.3 模拟退火算法求解模型

5.3.1 模拟退火算法原理

模拟退火算法源于固态退火理论，是一种固态退火反应的仿真：把固态物质加热至一定高度，粒子随着不断增加的高温变成杂乱无章，在这个过程中其内能逐步增加；相反随着高温固体的徐徐冷却，颗粒也会逐步趋向有序，直到最后在常温状态下，粒子达到稳态，内能减为最小。

根据 Metropolis 原则，物质在温度为 T 时达到均匀稳定状态的可能性为 $\exp(-\Delta E/(k \times T))$ ，其中 E 为在温度 T 时粒子的平均内能， ΔE 为其变化量， k 为 Boltzmann 常量。因此，可以将内能 E 为函数值 f 、温度 T 为控制系数 s_k 来模拟，即根据初始解 ω 和控制系数 s_k ，重复完成“产出新解→求出函数差值→接纳或者放弃”的反复迭代，并逐步降低温度，即 s_k 值；演变退火过程，直到冷却停止时求得近似最优解。算法大致流程图见图 5-1。

模拟退火算法求解原理步骤如下：

第一步：选定初始解 x_0 ，令当前解 $x_i = x_0$ ，迭代步数 $k=0$ ，当下温度 $t_k = t_{\max}$ 。

第二步：通过一定概率的交换、逆转、插入，从邻域 $N(x_i)$ 中随机选择 x_j ，选择后计算 $\Delta f_{ij} = f(x_i) - f(x_j)$ 。如果 $\Delta f_{ij} \leq 0$ ，则 $x_i = x_j$ ；否则，若 $\Delta f_{ij} > 0$ ，判断是否 $\exp(-\Delta f_{ij}/t_k) > \text{rand}$ ，(rand 为 0-1 之间的均匀随机数)，若满足，接受新解，并更新当前解，即 $x_i = x_j$ 。一直重复第 2 步的步骤，直到当下温度达到内循环停止条件结束，转到第 3 步。

第三步： $k=k+1$ ， $t_{k+1} = C(t_k)$ ，(C 为温度下降的函数)，判断是否满足外循环终止条件，满足转到第 4 步，不满足转到第 2 步继续。

第四步：输出结果，求解停止。

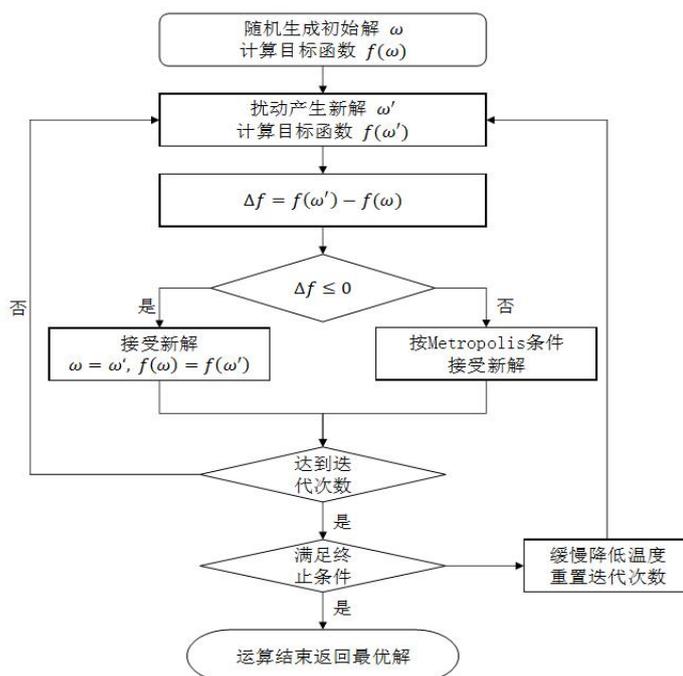


图 5-1 退火算法原理流程

5.3.2 算法参数设置

基于模拟退火算法求解原理与思路，确定需要设置的相关参数，参数对应的含义以及取值如表 5-2 所示。

表 5-2 相关参数

参数	含义	取值
T_0	初始温度	100
S	外循环最大迭代次数	2000
L	内循环最大迭代次数	300
k	衰减因子	0.99
p_s	交换概率	0.2
p_r	逆转概率	0.5
p_t	插入概率	0.3

5.4 日常百货商品路径优化方案分析

为了便于模型求解，需要对门店数据进行相应处理。第一，根据腾讯地图得到 28 家门店的具体位置，即经纬度，使用 QGIS 软件建立坐标系，得出对应的坐标见表 5-3；第二、依据坐标，计算配送中心和门店之间的最短距离，结合地图测距功能加以修正，最后得出距离矩阵，即表 5-4、表 5-5 与表 5-6。

表 5-3 各分店的地理位置

序号	名称	坐标	序号	名称	坐标
0	西亚配送中心	(62, 60)	15	西亚和美广场(息县店)	(140, 85)
1	西亚超市(和美店)	(60, 78)	16	西亚丽宝广场(淮滨店)	(178, 95)
2	西亚超市(东方大道店)	(50, 53)	17	西亚丽宝广场(罗山店)	(132, 80)
3	西亚超市(胜利路店)	(37, 77)	18	西亚和美超市(淮滨店)	(171, 90)
4	西亚超市(报晓店)	(33, 70)	19	西亚丽宝广场(潢川店)	(150, 75)
5	西亚超市(信高店)	(46, 65)	20	西亚和美超市(楠杆店)	(130, 69)
6	西亚超市(鸡公山大街店)	(50, 55)	21	西亚丽宝广场(息县店)	(135, 65)
7	西亚和美超市(平桥店)	(105, 75)	22	西亚丽宝广场(固始店)	(190, 70)
8	西亚超市(明港大道店)	(70, 68)	23	西亚和美超市(蓼北路)	(177, 65)
9	西亚超市(新七大道店)	(74, 65)	24	西亚和美超市(光山店)	(140, 50)
10	西亚超市(新五大道店)	(81, 55)	25	西亚丽宝广场(光山店)	(148, 45)
11	西亚超市(明港店)	(67, 75)	26	西亚丽宝广场(商城店)	(170, 55)
12	西亚和美广场 (贸易广场店)	(98, 87)	27	西亚和美超市(商城店)	(180, 44)
13	西亚超市(五星街店)	(66, 53)	28	西亚丽宝广场(新县店)	(155, 30)
14	西亚丽宝广场(平桥店)	(103, 45)			

表 5-4 市内 14 家门店之间的距离（单位：公里）

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	4.84	5.31	6.85	5.23	3.06	2.34	3.24	4.61	3.43	4.16	7.07	9.8	30.4	35.8
1		0	2.88	5.67	6.76	5.26	6.48	9.54	5.73	7.15	6.42	2.31	17.1	26.3	36.7
2			0	3.08	5.27	6.14	7.21	8.39	6.06	8.13	12.18	5.24	19.7	28.8	39.3
3				0	2.14	2.21	3.64	3.41	3.15	3.34	4.03	2.87	21.4	30.5	40.8
4					0	3.25	3.49	3.04	2.02	2.06	2.79	2.11	23.2	32.1	42.6
5						0	3.94	3.53	2.88	3.06	4.11	2.68	19.3	28.4	38.9
6							0	2.49	2.94	2.64	2.53	2.74	16.4	24.8	35.4
7								0	2.69	2.71	2.46	2.79	19.1	28.3	6.75
8									0	5.93	2.61	2.84	4.49	23.6	33.9
9										0	2.92	2.47	14.3	2.13	2.61
10											0	3.11	12.7	21.4	31.9
11												0	16.1	15.8	34.5
12													0	8.27	17.9
13														0	4.2
14															0

表 5-5 市外 14 家门店之间的距离（单位：公里）

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
15	0	14.3	5.52	9.41	5.71	17.1	13.54	8.8	21.9	18.6	21.4	18.9	20.6	26.3
16		0	7.3	4.74	12.9	14.3	15.6	25.3	20.9	19.8	27.9	25.8	27.4	30.1
17			0	6.5	7.2	6.49	6.4	9.6	16.8	15.4	20.6	15.1	18.3	22.7
18				0	7.35	14.6	13.1	10.9	17.8	15.9	21.4	14.8	20.4	21.1
19					0	16.2	11.1	10.3	8.5	9.8	14.7	10.8	15.6	22.5
20						0	4.24	23.1	20.5	20.8	25.8	11.6	14.4	24
21							0	19.2	15.8	16.1	25.4	18.7	9.3	20.1
22								0	4.75	17.3	4.2	22.5	24.6	26.4
23									0	3.63	14.4	5.6	5.6	10.4
24										0	12.8	12.5	12.7	13
25											0	21.8	25.6	15.6
26												0	6.3	14.8
27													0	19.3
28														0

表 5-6 28 家门店之间的距离（单位：公里）

	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0	37.2	31.6	18.7	22.7	36.3	20.7	22.9	4.4	48.7	30.2	10.9	28.6	30.4	38.1
1	19.8	32.7	26.9	18.4	19.6	35.2	30.8	16.2	27.1	25	25.6	29.2	31.1	29.9
2	22.2	34.9	29.3	20.9	22.1	37.8	33.4	18.8	29.7	27.6	28.2	31.7	33.8	32.3
3	23.9	36.5	30.7	22.4	23.6	39.4	34.8	20.5	31.4	29.2	29.8	33.6	35.4	33.8
4	25.7	38.4	32.8	24.2	25.7	41.3	36.6	22.3	33.5	31.1	31.7	35.8	37.3	35.9
5	21.7	34.6	28.8	20.6	21.7	37.5	32.9	18.4	29.3	27.1	27.7	31.4	33.3	31.7
6	18.3	31	25.4	17.3	18.1	34.2	29.4	14.9	25.8	24.6	24.4	28.1	30	28.7
7	21.4	34.4	28.5	20.4	21.3	37	32.3	18.2	29.1	26.8	27.5	31.1	33.1	31.5
8	16.8	29.7	24.2	15.6	17.8	32.1	27.6	13.6	24.4	22.5	22.8	26.7	28.6	27.3
9	16.2	29.1	23.7	15.1	17.2	31.7	27.1	13	23.9	22.2	2.4	26.2	28	26.8
10	14.9	27.6	22.3	13.2	15.7	30.2	25.7	11.5	22.1	20.6	20.9	24.5	26.7	25.6
11	16.8	30.2	25.3	16.8	18.1	32.6	28.4	14.5	25.2	23.7	24.4	27.8	29.9	28.4
12	8.1	16.6	18.13	15.4	15.8	25.6	23.4	16.2	28.1	27.3	26.6	31.5	33.6	29.2
13	6.5	6.8	10.6	11.1	15.5	16.1	15.4	14.7	23.9	23.1	24.8	17.2	22.6	28.9
14	25.4	3.34	16.8	24.7	25.1	27.03	16.1	26.7	28.6	28.4	32.4	25.7	24.3	30.6

A 连锁超市百货配送中心，目前拥有的三种车型：4.2 米、5.2 米和 6.8 米车。

不同型号厢式货车的购买价格不同，折旧年限、对应配送司机的工资也是不同的，所以车辆固定成本=车辆折旧额+司机工资；在考虑运输成本时，当前信阳市柴油价格为 5.49 元/升，根据各种车辆耗油量的统计，得出各种车辆的单位耗油成本；在考虑到车辆未被利用的机会成本时，依据市场配送收费标准，得出三种车型的机会成本为 60 元/吨、80 元/吨、120 元/吨。具体车型相关参数如表 5-7 所示。

表 5-7 车型参数

车型	固定成本（元/辆*天）	单位变动成本（元/公里）	机会成本（元/kg）
4.2 米	350	0.659	0.06
5.2 米	410	0.824	0.08
6.8 米	587	1.098	0.12

5.4.1 配送路径优化方案 1 展示

方案一：对于按照地理区域划分，确定超市配送方案的车辆选型为：1 辆 4.2 米车、1 辆 5.2 米车、3 辆 6.8 米车。因此，此方案是属于限制每种类型车辆的数目的多车型车辆路径问题，即 HFFVRP—Heterogeneous Fixed Fleet Vehicle Routing Problem。

根据 MATLAB，通过模拟退火算法，得到超市最佳配送路线，总计需要 5 辆车，与初步车辆选型相吻合，结果如图 5-2 所示。此方案车辆的平均装载率达到 80%左右，具体车型以及其配送路线见表 5-8。

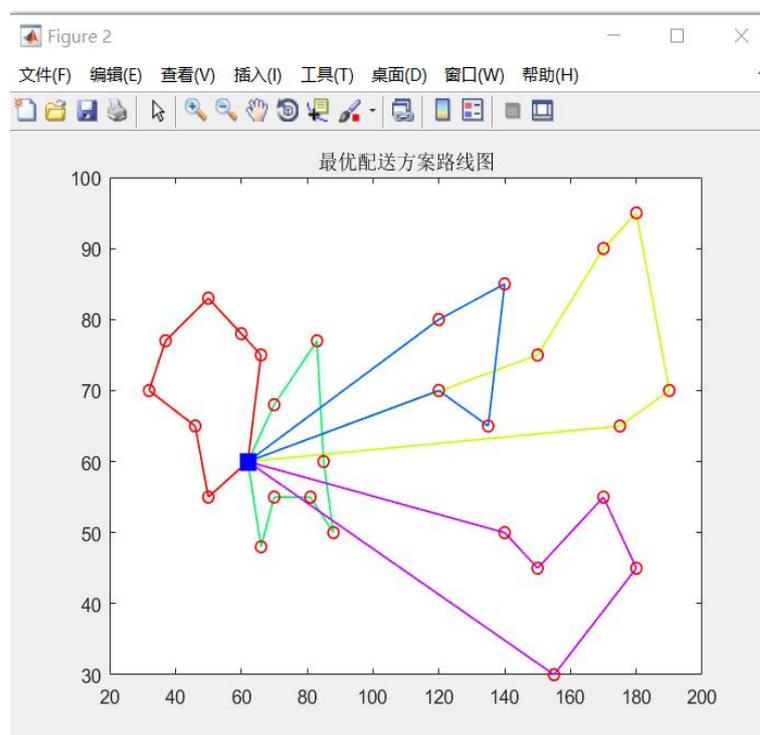


图 5-2 方案一配送路线

表 5-8 优化方案 1 配送路线

序号	车型	具体路线	行驶距离(km)	装载量(kg)	装载率
路线 1	4.2 米	0→6→5→4→3→2→1→11→0	27.01	3235	80.88%
路线 2	6.8 米	0→8→12→13→14→9→10→7→0	32.8	7710	77.1%
路线 3	5.2 米	0→17→15→21→20→0	67.9	4330	86.6%
路线 4	6.8 米	0→19→18→16→22→23→0	127.14	7690	76.9%
路线 5	6.8 米	0→24→25→26→27→28→0	114.27	7480	74.8%

5.4.2 配送路径优化方案 2 展示

方案二：按照门店类型划分，市内小型门店的配送车辆确定为：1 辆 5.2 米车，大型综合门店的车型、车辆数都是不确定，需要从现有 3 种车型—4.2 米车、5.2 米车、6.8 米车，综合考虑，来完成车辆调度与路线规划。所以，此方案是属于不限制每种类型车辆数目的多车型车辆路径问题，即 FSMVRP—Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem。

由 MATLAB 对构建的模型进行求解，结合模拟退火算法，最终得到只需要 4 辆货车：1 辆 5.2 米车，3 辆 6.8 米车，最佳配送线路如图 5-3 所示，详细路线如表 5-9 所示。

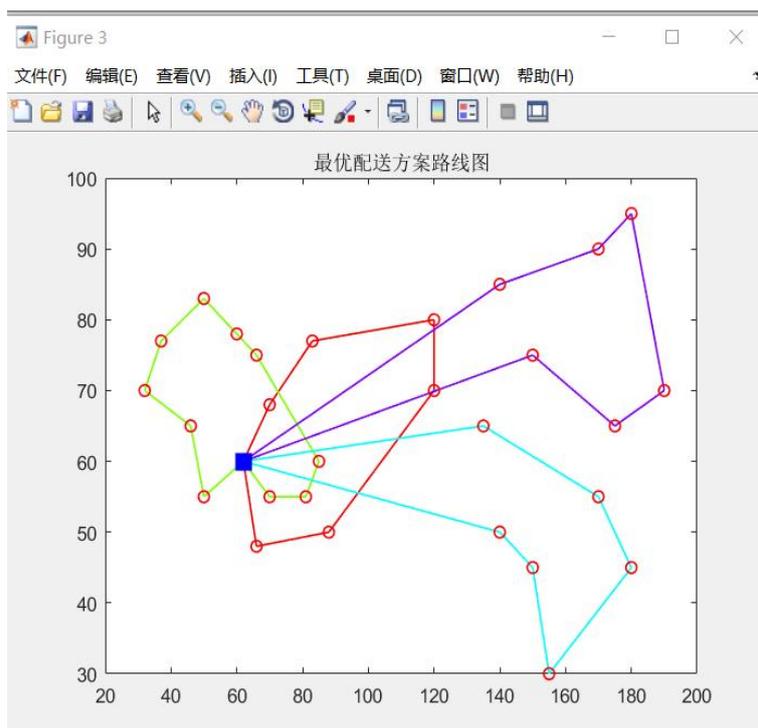


图 5-3 方案二配送线路

表 5-9 优化方案 2 配送路线

序号	车型	具体路线	行驶距离 (km)	装载量(kg)	装载率
路线 1	5.2 米	0→6→5→4→3→2→1→11→13→9→10→0	44.95	4555	91.1%
路线 2	6.8 米	0→15→18→16→22→23→19→0	126.2	8690	86.9%
路线 3	6.8 米	0→21→26→27→28→25→24→0	116.63	8630	86.3%
路线 4	6.8 米	0→8→12→17→20→14→7→0	70.74	8570	85.7%

5.4.3 配送路径优化前后对比分析

通过分析，设计的优化方案是合理的，解决了 A 连锁超市面临的实际问题，相关数据如表 5-10。

1. 车辆合理调度，车辆利用率提高

优化后的车辆装载率得到极大提高，充分利用现有资源，有助于减少配送成本的支出。

2. 配送距离缩减，配送成本降低

优化后的车辆行驶距离极大缩减，使得配送成本得以降低。同时，距离的缩短有利于降低城市交通对社会发展以及环境造成的危害。

表 5-10 优化前后对比

方案	行驶距离 (km)	平均装载率
原始方案	450~500	60%~70%
优化方案 1	369.12	79.26%
优化方案 2	358.52	87.5%

5.4.4 两种优化方案配送成本对比分析

由 5.2.3 构建的车辆优化模型，得出配送总成本=车辆固定成本×车辆使用数目+单位燃油成本×车辆行驶总距离+单位空载成本×车辆空载总量。

对两种优化思路得到的不同种路径进行对比、分析、总结，主要从配送距离、平均装载率以及配送各项成本方面开展评价，路径对比见表 5-11。

表 5-11 优化方案对比

方案	行驶距离 (km)	平均装载率	配送成本 (元)			
			固定成本	变动成本	机会成本	总成本
优化方案 1	369.12	79.26%	2521	374.8318	953.9	3849.7318
优化方案 2	358.52	87.5%	2171	359.0762	528.8	3058.8762
对比差异值	-10.6	+8.24%	-350	-15.7556	-425.1	-790.8556

根据路径评价的各项指标值，得出相较方案一，方案二在各个方面有很大的改善：

1. 配送路线更加简单合理

配送路线由原来的 5 条变为 4 条，市内的小型连锁分店与综合型门店的货物配送分开运行，其配送单独由 1 辆限载为 5 吨的车负责，便于对连锁超市两种配送，实施统一管理。

2. 车型选择最佳，车辆利用率提高

配送用车量由 5 辆减少为 4 辆，选型更合适，费用支出更少；更好地发挥车辆资源优势，使得平均利用率提高了 8.24%，所以机会成本得到极大降低。

3. 配送距离较短，配送总成本降低

车辆行驶距离缩减了 10.6 公里，变动成本得以减少；物流配送总成本降低，超市的连锁运营整体效率提高。

总的来说，从成本角度出发，方案二更加合适。但是，本文连锁超市的百货需求量取的是平均值，而在现实中门店的订货量是波动性的，受多方面因素的影响。因此，在车辆调度规划时，需要给予一些载重缓冲空间，从这个角度来分析，方案一更加贴切现实。对于 A 连锁超市实际配送来说，可以针对每日配送量，分析选择哪种方案，必要时可以综合两种方案完成货物配送。

5.4.5 两种优化方案配送效率对比分析

连锁超市物流配送效率取决于是否能在尽量短的时间内，将货物送达到目的地。

根据两种优化方案得出的配送路线，求出各个门店以及各条路线的卸货时间窗。为了尽可能消除车辆对交通以及环境的影响，综合 A 公司配送系统，在市内两大区的配送车辆速度取为 45 km/h，即 0.75 公里/分钟，在周边八大县城的配送车辆速度取为 48 km/h，即 0.8 公里/分钟。

根据车辆速度与货物需求量，得出各门店的装卸时间 s_j ；从门店 i 到门店 j，使用 k 车型所耗费的配送时间为 t_{ijk} ；门店 j 的卸货时间窗为 $[a_j, b_j]$ 。

各个门店的最早开始卸货时间：

$$a_j = b_i + t_{ijk} \quad (5.16)$$

各个门店的最早完成卸货时间：

$$b_j = a_j + s_j = b_i + t_{ijk} + s_j \quad (5.17)$$

因此，由公式（5.16）和（5.17），得出两种优化方案 28 家门店的卸货时间窗，如图 5-4、5-5 所示。

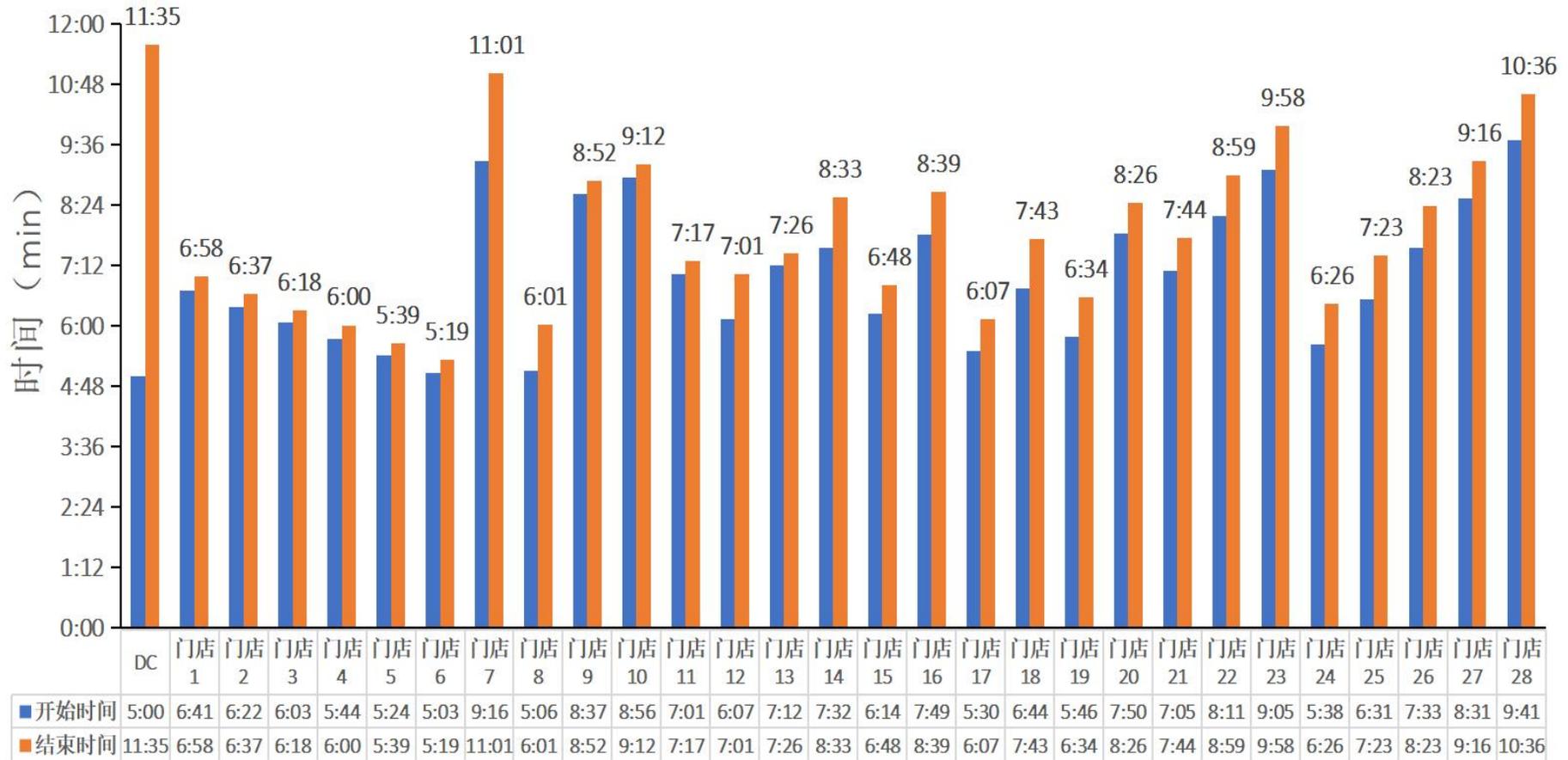


图 5-4 优化方案 1 卸货时间窗

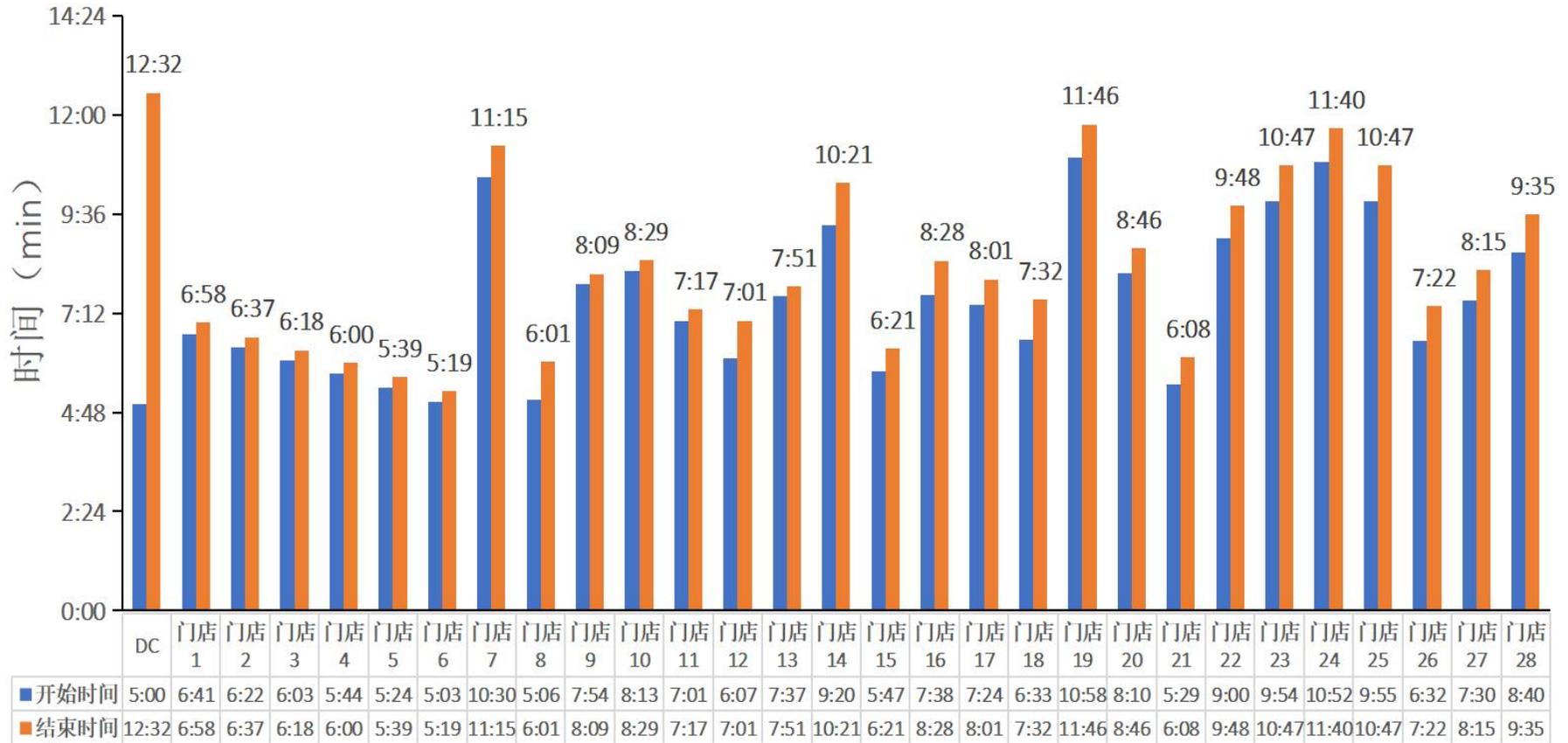


图 5-5 优化方案 2 卸货时间窗

通过对比两种优化方案服务时间窗可得：方案一的配送效率更高一些，具体对比如表 5-12 所示。

1. 最晚完成配送时间短

方案一车辆的最晚返回配送中心时间为 11:35，比方案二快了将近 1 小时。

2. 平均配送时间短

与方案二相比，方案一的平均配送时间缩短了将近 1 个小时，司机可以更快地完成当天的配送业务，整体配送效率高。

表 5-12 两种方案配送时间对比

	优化方案 1		优化方案 2	
	完成卸货时间	返回配送中心时间	完成卸货时间	返回配送中心时间
路线 1	7:17	7:26	8:29	8:35
路线 2	11:01	11:06	11:46	12:32
路线 3	8:26	8:52	11:40	12:18
路线 4	9:58	10:59	11:15	11:20
路线 5	10:36	11:35	——	——

5.5 日常百货商品路径优化方案选择

因为信阳市 A 连锁超市，有统一的共享信息平台。对于 28 家门店日常百货的配送，是由配送中心的配送计划部门，提前通过网络传达收货时间窗，以方便门店做好人员及设备的安排与准备，从而保证车辆到达门店时无需等待，更好地发挥连锁超市统一经营的优势。

所以，目前 A 连锁超市核心任务是尽可能降低配送成本。

因此，最终选择优化方案 2。

5.6 本章小结

本章节首先由上一章提出的优化思路，构建单中心多车型路径数学模型，借用退火算法来求解得到优化方案，然后对优化方案评价，验证模型的有效性：最佳的车型选择、路线合理化、车辆装载率得到提高、配送成本达到最优，这些有助于解决信阳市 A 连锁超市百货配送中心面临的困境与急需完善的问题。

第 6 章 总结

6.1 研究总结

随着连锁超市市场竞争日益加剧,物流配送这一环节决定了连锁超市在同行业中竞争力的高低。而在实际中,很多发展规模不大的连锁超市在配送环节考虑不充分、投入力度不足,导致资源的大量浪费与物流成本过高。本文研究的主要工作有:

1.在超市配送问题研究分析上,本文从连锁企业实际配送存在的问题出发,基于 A 连锁超市的配送模式、业务、流程,将实际问题具体化,结合影响问题的多种因素,提出相应优化思路:①车辆选型;②路径优化模型的构建;③求解模型;④模型验证。

2.在日常百货物流配送路径的优化模型的构建上,本文实地调研并收集若干数据,对超市配送相关数据加工和处理,以对货物需求量数据分析得出的最佳车辆调度方案为基础,构建以为配送总成本最低为目标的单中心多车型路径优化模型,促使建立的模型更加符合超市连锁经营现状。

3.在日常百货配送中心物流配送路径优化模型的求解上,本文采用的是模拟退火退火算法。依据固体退火原理,设置恰当的参数变量,得到全局最优解。求解得到的方案可以解决车辆大量不满载、配送区域分布及路线杂乱化、车辆资源利用率低下、配送距离过长、配送产生的成本居高等问题。

6.2 展望与不足

本文的模型构建与求解思路可以应用到类似车辆路径问题中,但针对现实仍存在一些不足之处,在未来可以从以下角度丰富研究内容。

1.本文属于静态路径优化问题,对于不确定因素忽略不计。而现实中连锁分店的日常订货量受季节性影响,波动性大。车辆配送中的一系列成本也不是恒定的,与社会经济状况有关。自然因素,比如雷雨、暴雪等,常常会延长车辆的行驶距离。所以,考虑因素动态性会得出更适合连锁企业的配送方案。

2.连锁超市面临的业务逐步扩大,大多选择根据服务覆盖率来扩建配送中心。在连锁超市路径优化问题上,未来可以研究多中心、多车型车辆问题,进一步完善研究内容,使得模型应用更广。

3.面对分店和加盟店的快速补货需求,连锁超市需要尽可能做到及时响应,为其提供优质服务。在模型构建中应该将时间因素考虑在内,加入硬时间窗、软时间窗约束,添加惩罚因素,进一步提高算法求解的有效性。某一种算法求解的结果很容易陷入局部最优,不同算法各有所长。在以后的研究中,可以综合算法求解,这往往可以取长补短,达到极佳效果。

参考文献

- [1] Brito J, Moreno J. Fuzzy Optimization for Distribution of Frozen Food with Imprecise Times[J]. *Decision Making*, 2019, 11(3):337-349.
- [2] MACRINA G, LAPORTE G, GUERRIERO F, et al. An energy-efficient green-vehicle routing problem with mixed vehicle fleet, partial battery recharging and time windows[J]. *European Journal of Operational Research*, 2019, 276(3):971-982.
- [3] Kaboudani Y, Ghodsypour S H, Kia H, et al. Vehicle routing and scheduling in cross docks with forward and reverse logistics[J]. *Operational research*, 2018, 20(3):1589-1622.
- [4] Karoonsoontawong A, Punyim P, Nueangnitnarapon W, et al. Multi-Trip Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows and Overtime Constraints[J]. *Networks and Spatial Economics*, 2020, 20(02):549-598.
- [5] 陈长塔. A 连锁企业便利店配送路线优化研究[D]. 福州: 福州大学, 2018.
- [6] 魏志秀. 基于改进蚁群算法研究带时间窗的配送车辆路径优化问题[D]. 镇江: 江苏大学, 2021.
- [7] 李若楠. 县域 L 连锁超市物流配送路径优化研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2019.
- [8] 杨雅琪. 带时间窗的生鲜连锁店配送路径优化研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2022.
- [9] 付秋睿. 重庆市 X 超市冷链物流配送路径优化研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2019.
- [10] 郭富蓉. 基于时变需求的带模糊时间窗车辆路径问题优化研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021.
- [11] 薛子翰. 连锁便利店冷链配送路径优化[D]. 南京: 东南大学, 2021.
- [12] 刘海莉. 基于低碳的 S 连锁超市冷链配送路径优化研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [13] 李小玲. 基于改进遗传算法的连锁超市配送路线优化研究[J]. *甘肃科学学报*, 2020, 32(06):148-152.
- [14] 赵向南, 邢磊等. 考虑不确定行驶时间的双目标外卖配送路径优化[J]. *大连海事大学学报*, 2019, 04(004):65-73.
- [15] 纪汝方. W 公司连锁超市物流配送路径优化研究[D]. 济南: 山东财经大学, 2022.
- [16] 葛显龙, 尹秋霜等. 考虑越库作业的连锁超市配送路径优化研究[J]. *数学的实践与认识*, 2019, 49(18):61-74.
- [17] 陈弈林, 崔诚珉等. 青岛市连锁商超共同配送路径优化—以 H 超市为例[J]. *中小企业管理与科技*, 2021(10):161-163.

致 谢

时光匆匆，转眼间我的大学生活即将结束。从刚步入大学时的憧憬与紧张，到现在对未来充满着期望。在这四年里我收获了很多，我不仅学到了很多专业知识，而且感受到生活的真实与美好。感谢我的父母与姐姐，在多年读书期间无条件地支持我，我才能有今天的成绩。同时，感谢在大学期间一起参加比赛、共同努力的老师与同学，在这众多实践与尝试中，我学到了很多，从各个方面提高了自己，不仅锻炼了我的人际交往能力和合作能力，而且开拓了我的视野，提高了我的思维能力。最重要的是让我深刻认识到理论结合实践、团队合作、沟通交流的重要性。

在论文的这个撰写过程中，感谢王晓虎老师的全面指导，从论文题目的选择、研究方向的确立、论文结构组成到研究工具的学习等多个阶段，老师都给予了我很大的帮助。在我无助时，经常性地为我解答疑惑。正是老师兢兢业业的态度，我的论文才能够顺利地完成。最后，感谢学校四年的栽培，为我提供一个优质平台，让我有机会去获取知识、提升自己。在未来工作中和学习中，我会继续秉承精益求精的思想，踏实努力，勇敢前进。

附 录

模拟退火算法代码

```
clear
clc
%% 用 importdata 这个函数来读取文件
data=importdata('fc208.txt');
Cap=[4000,5000,10000];
%% 提取数据信息
vertexs=data(:,2:3);           %所有点的坐标 x 和 y
customer=vertexs(2:end,:);     %顾客坐标
cusnum=size(customer,1);      %顾客数
v_num=10;                      %初始车辆使用数目
demands=data(2:end,4);        %需求量
h=pdist(vertexs);
dist=squareform(h);           %距离矩阵
%% 模拟退火参数
beta=10;                       %违反的容量约束的惩罚函数系数
MaxOutIter=2000;               %外层循环最大迭代次数
MaxInIter=300;                 %里层循环最大迭代次数
T0=100;                         %初始温度
alpha=0.99;                    %冷却因子
pSwap=0.2;                     %选择交换结构的概率
pReversion=0.5;                %选择逆转结构的概率
pInsertion=1-pSwap-pReversion; %选择插入结构的概率
N=cusnum+v_num-1;              %解长度=顾客数目+车辆最多使用数目-1
%% 随机构造初始解
currS=randperm(N);             %随机构造初始解
[currVC,NV,TD,violate_num,violate_cus]=decode(currS,cusnum,cap,demands,dist);
%对初始解解码
currCost=costFuction(currVC,dist,demands,cap,belta); %求初始配送方案的成本=车
辆行驶总成本+alpha*违反的容量约束之和
```

```

Sbest=currS; %初始将全局最优解赋值为初始解
bestVC=currVC; %初始将全局最优配送方案赋值为初始配送
方案
bestCost=currCost; %初始将全局最优解的总成本赋值为初始解
总成本
BestCost=zeros(MaxOutIter,1); %记录每一代全局最优解的总成本
T=T0; %温度初始化
%% 模拟退火过程
for outIter=1:MaxOutIter
    for inIter=1:MaxInIter
        newS=Neighbor(currS,pSwap,pReversion,pInsertion);
        %经过邻域结构后产生的新的解
        newVC=decode(newS,cusnum,cap,demands,dist); %对新解进行解码
        newCost=costFuction(newVC,dist,demands,cap,belta);
        %求初始配送方案的总成本=车辆行驶总成本+alpha*违反的容量约束之和
        %如果新解比当前解更好，则更新当前解，以及当前解的总成本
        if newCost<=currCost
            currS=newS;
            currVC=newVC;
            currCost=newCost;
        else
            %如果新解不如当前解好，则采用退火准则，以一定概率接受新解
            delta=(newCost-currCost)/currCost;
            %计算新解与当前解总成本相差的百分比
            P=exp(-delta/T); %计算接受新解的概率
            %如果 0~1 的随机数小于 P，则接受新解，并更新当前解，以及当前
            解总成本
            if rand<=P
                currS=newS;
                currVC=newVC;
                currCost=newCost;
            end
            %将当前解与全局最优解比较，如果当前解更好，更新全局最优解
            if currCost<=bestCost

```

```

        Sbest=currS;
        bestVC=currVC;
        bestCost=currCost;
    end
end
%记录外层循环每次迭代的全局最优解的总成本
BestCost(outIter)=bestCost;
%显示外层循环每次迭代的信全局最优解的总成本
disp(['第',num2str(outIter),'代全局最优解:'])
[bestVC,bestNV,bestTD,best_vionum,best_viocus]=decode(Sbest,cusnum,cap,demands,
dist);
disp(['车辆使用数目:',num2str(bestNV),', 车辆行驶总距离:',num2str(bestTD),',
违反约束路径数目:',num2str(best_vionum),', 违反约束顾客数目:
',num2str(best_viocus)]);
fprintf('\n')
%更新当前温度
T=alpha*T;
end
%% 打印外层循环每次迭代的全局最优解的总成本变化趋势图
figure;
plot(BestCost,'LineWidth',1);
title('全局最优解的总成本变化趋势图')
xlabel('迭代次数');
ylabel('总成本');
%% 打印全局最优解路线图
draw_Best(bestVC,vertexs);
toc

```