

摘要

随着城镇化的快速发展和生活水平的提高，人们对于蔬果、肉类以及蛋奶产品的需求大幅增加，因此冷链物流行业也快速发展。并且近几年出台了许多有关冷链物流的文件规定，冷链物流将进入发展黄金期。但冷链产品因为易腐性和时效性的特点，在供应链的全程都需要低温储存，因此在运输时与常温储存的物品运输相比更为复杂，当前的冷链物流存在冷藏车辆少、成本高、运输时效性低以及产品损耗大等问题，因此需要对冷链物流的配送问题进行研究，改善当下问题状况。除了成本问题，较高的顾客满意度可以为企业树立良好口碑，留住客源，提高市场份额，促进冷链物流行业良好竞争，因此本文同时考虑顾客满意度。

本文在现有的研究基础上，从冷链物流的成本和顾客满意度出发，在时间窗和容量约束条件下，对其进行研究，寻找经济效益和顾客服务水平的平衡点。首先，对单目标车辆路径问题 and 多目标车辆路径问题进行了文献综述，对涉及到的相关理论进行介绍，为本文的研究内容奠定理论基础。其次根据冷链物流的特点，对顾客满意度和成本进行研究，在时间窗约束和车辆载运量约束下，建立了以固定成本、运输成本、货损成本、时间窗惩罚成本以及制冷成本构成的综合成本最小和顾客满意度最大的多目标冷链物流车辆路径模型。引入遗传算法的进化机制策略，设计了多目标哈里斯鹰算法来求解问题模型。针对模型设计，选用 Solomon 数据集，对数据进行改进，构建了 R101 和 C101 数据集，求解得出了合理的冷链物流车辆路径，证明了设计算法的有效性。

因此，本文研究的考虑顾客满意度的软时间窗多目标车辆路径问题能够为企业提多种车辆路径方案作为参考，也帮助冷链企业降低物流配送费用，提升企业经济效益；还能够提高顾客满意度，帮助企业在利润和顾客满意度之间寻找到平衡点，对于促进冷链企业的长期发展和良序竞争有着一定的意义。

关键词：冷链物流，软时间窗，顾客满意度，多目标车辆路径问题，哈里斯鹰算法

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
1 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究意义.....	3
1.3 研究综述.....	4
1.3.1 车辆路径问题研究现状.....	4
1.3.2 冷链物流车辆路径问题研究现状.....	5
1.3.3 多目标车辆路径问题研究现状.....	7
1.3.4 顾客满意度下的车辆路径问题研究现状.....	9
1.3.5 哈里斯鹰算法研究现状.....	10
1.4 研究内容及方法技术路线.....	11
1.4.1 研究内容.....	11
1.4.2 研究方法.....	12
1.4.3 技术路线图.....	13
1.5 创新点.....	14
1.6 本章小结.....	14
2 相关概念.....	15
2.1 冷链物流.....	15
2.1.1 冷链物流定义及流程.....	15
2.1.2 冷链物流适用范围及分类.....	15
2.1.3 冷链物流特点.....	17
2.2 车辆路径.....	18
2.2.1 车辆路径问题概述.....	18
2.2.2 基础容量约束车辆路径问题模型.....	21
2.2.3 车辆路径问题分类.....	22

2.2.4 车辆路径问题求解算法.....	23
2.3 多目标优化.....	23
2.3.1 多目标优化问题定义和模型.....	23
2.3.2 多目标优化问题的算法及相关概念.....	24
2.4 顾客满意度.....	25
2.4.1 顾客满意度的定义.....	25
2.4.2 车辆路径问题中的顾客满意度.....	25
2.5 本章小结.....	27
3 多目标配送路径数学模型设计.....	29
3.1 问题描述.....	29
3.2 模型假设及参数说明.....	30
3.2.1 模型假设.....	30
3.2.2 参数变量说明.....	31
3.3 成本描述.....	31
3.3.1 固定成本.....	31
3.3.2 运输成本.....	32
3.3.3 制冷成本.....	32
3.3.4 时间窗惩罚成本.....	33
3.3.5 货损成本.....	34
3.4 顾客满意度.....	34
3.4.1 时间满意度.....	35
3.4.2 产品新鲜度满意度.....	35
3.5 建立配送路径优化模型.....	36
3.6 本章小结.....	37
4 改进多目标哈里斯鹰算法.....	39
4.1 哈里斯鹰算法.....	39
4.1.1 哈里斯鹰算法生物学原理.....	39
4.1.2 哈里斯鹰算法描述.....	39
4.2 改进的多目标哈里斯鹰算法.....	42

4.2.1 编码.....	42
4.2.2 构建初始种群.....	43
4.2.3 全局搜索.....	44
4.2.4 局部搜索.....	44
4.2.5 快速非支配排序.....	44
4.2.6 拥挤度算子.....	45
4.2.7 选择算子.....	46
4.2.8 加入遗传算法进化操作步骤.....	46
4.2.9 精英保留策略.....	48
4.3 本章小结.....	50
5 冷链物流多目标车辆路径问题实验分析.....	51
5.1 实验数据及参数设置.....	51
5.2 R101 实验分析.....	54
5.2.1 多目标哈里斯鹰算法实验结果.....	54
5.2.2 改进的多目标哈里斯鹰算法实验结果.....	57
5.2.3 两种算法实验结果对比分析.....	60
5.3 C101 实验分析.....	62
5.3.1 多目标哈里斯鹰算法实验结果.....	62
5.3.2 改进多目标哈里斯鹰算法实验结果.....	65
5.3.3 两种算法实验结果对比.....	68
5.4 本章小结.....	70
6 结论与展望.....	73
6.1 结论.....	73
6.2 展望.....	73
参考文献.....	75
致 谢.....	83
攻读学位期间发表的学术论文及科研情况.....	85

1 绪论

1.1 研究背景

近年来，我国脱贫攻坚战已取得全面胜利，乡村振兴也在全面推进，2023年推动巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接工作依然是重中之重。冷链物流行业贯穿一、二、三产业，支撑国家经济建设，促进消费升级的重要产业；是巩固脱贫攻坚成果，有效衔接乡村振兴，推动国家乡村振兴等战略实施的重要抓手。在2023年2月13日《中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》文件中，“冷链物流”多次出现，文件明确提出加强粮食烘干、农产品产地冷藏、冷链物流设施建设；支持建设产地冷链集配中心；要加快完善县乡村电子商务和快递物流配送体系，推动冷链物流服务网络向乡村下沉。同时还对于冷链物流相关基础设施建设、健全完善冷链物流追溯体系、推动全链条节约减损、绿色发展、加快数智化转型等多方面提出要求，涉及冷链物流未来的发展方向等相关内容有19项。因此，在2023年，冷链物流将迎来黄金发展期。

并且，随着我国城镇化的稳步推进，城镇人口不断增加，在联合国开发计划署发布的报告中指出，预计到2023年，我国城市居民人口将新增3.1亿，城市人口总数超过10亿，城镇化率将达到70%。城镇居民对肉蛋奶、禽类、蔬菜水果等易腐食品消费量大，但又不能自产自销，因此城镇化发展加大了通过物流方式实现农产品由农村向城市输送的需求。易腐食品在运输过程中又离不开冷链，因此，在城镇化水平的提升、收入的提高和生活节奏的不断加快，冷链供应产品需求量将不断增加，这将会推动冷链物流行业稳定持续发展。

据中国物流与采购联合会的数据显示，2022年我国食品冷链物流需求总量达到3.2亿吨，市场规模超过4916亿元，与十年前相比分别增长了9倍和8倍。2022年全国冷藏车保有量预计将达到38万辆，而十年前这个数字仅为4.5万辆，十年间增长了9倍。2022年全国冷库市场容量预计将达到2.1亿立方米，十年前则是0.97亿立方米，冷库容量更是实现增长将近翻两番。这些数据可以看出过去十年来冷链物流发展取得了一系列成就，冷链物流市场迅速扩大。我国冷链物流行业起步较晚，虽然近几年飞速发展，但

仍然相对落后，与冷链物流先进国家相比冷藏运输率低、发生断链比例高、冷链利润也较低。我国肉类冷链运输率为 30%，果蔬冷链运输率 15%，水产品冷链运输率 40%，而发达国家的冷链运输率可以达到 80%~90%。在运输过程中，因为冷链基础设施不完善，断链情况会时有发生，国内肉类、果蔬、水产品冷链过程断链比例高达 50%，67%，42%，远远高出发达国家断链比例。我国的冷链利润率是 8%，发达国家可高达 20%~30%，断链情况的发生，运输网络落后，基础设施不完善，使得在途中冷链货物受损率较高，导致了成本居高不下，查阅中国食品工业协会的数据可以看出，我国每年在运输途中，约有上千万吨、总价值上亿的水果和蔬菜被浪费。这些问题严重制约着我国冷链物流的发展，因此在未来的一段时间内，仍需不断完备冷链物流系统，充分发挥冷链物流效应，积极探索如何降低货物损耗率，如何控制成本。

对于易腐产品来说，货损率与运送时间长短和低温环境是否稳定有很大的关系，因此找到一条合理的车辆运输路径非常重要，能够有效降低货物损耗率，缩减成本。目前国内相关企业对车辆路径规划这一方面的重视程度不够，也缺乏相关的基金投入力度，尤其是一些在当地已经运营多年的小中型企业，缺乏路径规划意识。因此在研究冷链物流时，对于冷链物流的车辆路径优化研究是一项重要内容。

随着社会的进步，现在生活工作时间也越来越紧凑，对于单纯关注产品品质的好坏，顾客对送达时间也有了更高的要求。这也与顾客对企业的满意度高低有一定的关联。随着互联网的发展，顾客的选择不再局限于自身周边的范围，可选择性越来越大。对于企业来说，顾客满意度越高，与企业的耦合度就会越高，企业就更容易对客户关系进行维护和开拓，占领一定的市场份额。关注顾客满意度会促进冷链物流市场良性竞争，使冷链行业稳步发展。因此，在冷链物流发展中关注顾客满意度的大小，会为冷链物流的发展带来潜在价值。

基于以上背景，从现有研究出发，对冷藏车的车辆路径进行优化，找到冷链物流运输网络中的最优运输路径，尽可能地减少运输距离，缩短运输时间，保证产品在合适的时间，以最佳的新鲜度送到顾客手中。因此本文以车辆最大载运量和软时间窗作为约束条件，构建以固定成本、运输成本、制冷成本、时间窗成本和货损成本的综合成本最小且顾客满意度最大的多目标冷链物流配送模型，找出最佳配送路径，为企业提供具有一定理论依据的车辆路径优化方案。

1.2 研究意义

物流配送作为物流行业的最后一个环节，运输成本和配送效率是该产业发展的关键因素，本文对考虑顾客满意度（时间满意度和产品新鲜度满意度）和成本最小化，有载运量限制和软时间窗限制的冷链物流车辆路径问题进行研究，具有重要的理论意义和现实意义。本篇论文的研究意义主要体现在：

1、理论意义：

(1) 本文将多种现实约束综合考虑，拓展了车辆路径问题的模型。在基础的路径优化问题上，将车辆最大载运量和软时间窗等多个约束条件同时进行考虑，并将顾客满意度（时间满意度和产品新鲜度满意度）和成本同时作为优化目标进行考虑，构建了顾客满意度最大且综合成本最小的多目标车辆路径优化模型。使得车辆路径问题更加接近现实情况，扩展了冷链物流配送路径优化问题的现有研究内容。

(2) 针对本文设计的冷链物流车辆路径问题模型设计了相应的算法进行求解，设计了结合遗传算法改进的多目标哈里斯鹰算法，通过模拟仿真实验证明了改进算法的有效性。该问题的研究成果，不仅为其他相关类型的车辆路径优化问题的研究提供了理论支持和依据，丰富了冷链物流车辆路径优化问题的研究内容和求解方案，提供了新的解决思路。另一方面也推动哈里斯鹰算法持续改进，拓宽了哈里斯鹰算法的研究和应用领域。

2、现实意义：

对于消费者来说，考虑顾客满意度的车辆路径规划，满足了顾客对于时效性、产品新鲜度的要求，提高了服务质量，优化了服务体验感。对于相关企业来说，为他们在冷链产品配送中提供了合理及有效的车辆配送路线以供借鉴，帮助企业尽可能的缩短运输距离，减少运输时长，降低运输成本，提高配送的效率，能够加快资金的周转率，实现资源的有效配置。将顾客满意度加入到优化目标的考虑当中，实现顾客满意度最大，有助于增强顾客和企业之间的黏性，提高顾客对企业的忠诚度，有利于企业对市场进行开拓和维护，扩大市场份额，企业和顾客实现双赢。顾客满意度和成本最小化综合考虑，能够帮助企业在利润和顾客满意度之间寻找到平衡点，对于企业的长期发展有着深远的意义。

1.3 研究综述

1.3.1 车辆路径问题研究现状

1959年，Diantzig和Ramser首次提出车辆路径问题（Vehicle Routing Problem, VRP）^[1]，提出后受到了众多学者的关注，到现在，由最开始基础的车辆路径问题装载容量约束车辆路径问题（Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP），扩展出了许多其他变型车辆路径问题，如有时间窗约束的车辆路径问题（VRP with Time Window, VRPTW）、优先顺序约束的车辆路径问题、多中心车辆路径问题以及多车型车辆路径问题等。车辆路径问题的定义如下：一定数量的顾客，分别有着不同的货物需求，根据这些顾客所在的位置和需求以及一些约束条件（容量约束、时间窗约束、车型约束和行驶里程约束等），规划合理的路线，安排车辆从配送中心出发为顾客配送货物，车辆在配送完成后再返回配送中心，使顾客的需求得到满足，并达到如运输路程最短、配送时间最少、总成本最小、使用车辆数最小等目的。

目前，随着物流的快速发展，如何合理设计配送路线，降低成本成为关注的重点，车辆路径问题在物流配送领域成为研究热点。在国外，Solomon^[2]根据实际生活中的数据，设计了一些经典通用的车辆路径算例，至今仍被各个学者作为实验算例求解模型。在1986年，Solomon等人^[3]对带有时间窗的车辆路径问题进行研究分析，达到使用车辆数最小、总行驶里程最短和配送用时最短的目标。1987年，Solomon等人^[4]又对带有时间窗的VRP进行了算法设计，并对他们的性能效果进行对比分析，结果表明插入式启发式方法结果较好。Baker等人^[5]将领域搜索方法与遗传算法相结合，求解经典的容量约束车辆路径问题，改进的遗传算法在CVRP中的求解效果与禁忌搜索和模拟退火算法相比具备竞争力。Ramachandran Pillai R等人^[6]设计一种改进的萤火虫算法，尖峰神经萤火虫优化（SFO），用来求解包含时间约束和容量约束的动态VRP。随着社会的不断进步，车辆路径问题越来越复杂，学者在研究时考虑的条件也越来越多样化。Wang等人^[7]将顾客、多中心协作以及资源共享共同考虑，设计取送货一体，同时考虑时间窗的多中心协作式车辆路径问题，设计了混合遗传算法和粒子群优化算法的启发式算法（GA-PSO）解决文章提出的问题。Vincent等人^[8]为了解决最后一公里问题，提出VRPTW的变型体，将包裹储物柜作为交付选项之一，问题称为带包裹锁的车辆路径问题（VRPPL），延长收货时间，降低配送成本，用模拟退火算法来解决问题。Zhou等人^[9]

考虑环境利益,用电动车配送,加入混合时间窗约束,提出一种基于粒子滤波和莱维飞行的多目标鲸鱼优化算法求解问题。

在国内,李大卫^[10]等人对最近距离搜索启发式算法进行改进修正,用来求解 VRPTW,证明了算法的有效性,也是国内最早使用启发式算法来解决 VRP 问题的一批学者。范厚明等人^[11]研究同时集送货问题,并且集货需求是随机的,通过改进的遗传算法求解目标问题。孙继洋等人^[12]对城市内的公交形式路径进行研究,构建以公交最短运行时间及乘客最短出行时间为目标,建立多对多模式下的灵活公交车系统,用启发式算法对其进行求解。芦娟等人^[13]考虑将顾客需求依据背包进行离散化拆分,以装载力为约束条件,能够减少旅程时间,降低总成本,并设计了结合自适应的禁忌搜索算法求解问题。葛显龙等人^[14]基于顾客对于交付选择的个性化定制偏好,以顾客偏好和时间窗为约束,建立模型,用改进邻域搜索算法对实际配送案例进行求解分析。石小娟等人^[15]使用改进天鹰算法,设计了一种新的解码编码方式,求解了时变的带有时间约束的车辆路径问题。朱利^[16]依据农产品物流的特性,易腐性和时效性,构建优化模型,用粒子群算法求解,达到总成本最小的目的。高娇娇等人^[17]在研究两级 VRP 的基础上,使用卡车和无人机共同配送,考虑两种工具合理分配任务,降低成本,提高效率。颜瑞等人^[18]考虑在疫区、灾区等特殊应急区域进行物流配送时,为了解决末端配送问题,突破区域限制等难题,采用无人机、卡车协同配送,解决特殊物流配送难题。王勇等人^[19]对客户信用度进行分级,将客户信用值作为时间窗违反的惩罚成本参数构建模型,降低因为顾客违约而造成的成本,减少了配送中违约顾客的点数。

可以看出,国内外除了对基础车辆路径问题的研究,在近几年,将车辆路径问题不断扩展,从配送产品、顾客需求、公交路径规划以及特殊物流的路径规划等各方面都做出了研究,也在降低成本、减少车辆使用数量等方面也积极寻求解决方案。

1.3.2 冷链物流车辆路径问题研究现状

随着城镇化的不断扩张,人们对肉蛋奶等生鲜产品的庞大需求,推动着冷链物流的迅猛发展。冷链物流需要保证冷链产品从生产、加工,再到配送、销售到顾客手中,都要处在合适的低温环境中,确保产品不变质,保障食品安全,降低冷链物流中的货损^[20]。与常温物流不同,冷链物流的成本较高,不仅包括冷藏车辆使用成本,还包括制冷剂成本、信息投入成本和产品损坏成本。因此,如何有效降低成本是国内外学者在对冷链物流的研究中最关心的一部分。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/948026034102007005>