

分类号 [U-9]
密 级 公开

单位代码 10618
学 号 31302109



重庆交通大学

专业硕士学位论文

基于改进粒子群算法的家电物流 配送车辆调度优化问题研究

研究生姓名: 邹旭辉

导师姓名及职称: 梁喜 教授

陈亚莉 高级工程师

申请专业学位类别 工程硕士 学位授予单位 重庆交通大学

论文提交日期 2018年4月5日

专业领域名称 交通运输工程 论文答辩日期 2018年6月2日

2018年6月2日

Research on vehicle scheduling optimization of household appliances logistics distribution based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm

A Dissertation Submitted for the Degree of Master

Candidate: ZouXuHui

Supervisor: Prof. LiangXi

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, China

重庆交通大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立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，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：邹旭辉

日期：2018 年 6 月 2 日

重庆交通大学学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆交通大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所将本人学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》，并进行信息服务（包括但不限于汇编、复制、发行、信息网络传播等），同时本人保留在其他媒体发表论文的权利。

学位论文作者签名：邹旭辉
日期：2018 年 6 月 2 日

指导教师签名：梁勇
日期：2018 年 6 月 2 日

本人同意将本学位论文提交至中国学术期刊（光盘版）电子杂志社 CNKI 系列数据库中全文发布，并按《中国优秀博硕士学位论文全文数据库出版章程》规定享受相关权益。

学位论文作者签名：邹旭辉
日期：2018 年 6 月 2 日

指导教师签名：梁勇
日期：2018 年 6 月 2 日

摘 要

从 2000 年开始至今,我国的计算机和互联网技术的广泛应用极大程度地促进了电子商务行业的发展。电子商务逐渐改变了人们的生活方式、购物方式以及消费习惯,人们对于网络购物的依赖性越来越高,极大地促进了物流行业的发展。加快我国现代物流企业的发展,逐步满足人们对于网络购物日益增长的需求,已逐渐成长为物流行业向前发展的不竭推动力。家电物流的配送运输一般使用配送中心集中配送运输。但是往往面临着零售户分布不均、闹市区较为集中等困境,影响了配送车辆优化调度的进一步的发展。车辆调度问题被视为物流配送环节中极为重要的一个问题,已成为制约我国物流配送效率提升的核心问题。

车辆调度问题的发展已有几十年的时间,在不同的时代背景下,对车辆调度问题提出的解决建议也不同,在电子商务环境下,人们对于商品的购买不仅仅是只追求产品的质量,同时也要求产品的配送效率。目标客户的满意程度对物流企业的竞争能力往往会产生直接影响。物流配送车辆路径优化作为整个物流配送链条中关键环节,也一直被视为是社会发展和经济活动所必不可少的一环。合理的车辆调度可极大提高物流配送的经济效益,进而节约配送成本,提高商品的配送效率,增加人们的满意度,提升物流企业的竞争力。

本文在阅读大量的文献和参考已有成果的基础之上,结合家电物流企业的实际配送环境,介绍物流配送的相关概念及其功能因素、粒子群算法及其原理、家电物流配送特征以及车辆调度的相关概念,研究了家电物流企业配送车辆的调度问题,之后构建了物流配送车辆调度优化模型,并以 H 企业为例验证了算法和模型的有效性。主要工作如下:

①构建了家电物流配送车辆的调度优化模型。通过对配送车辆调度问题的研究,提出提高配送车辆的配送效率应作为重点研究问题,本文以配送时间和成本最小化为约束,以家电配送时间最短、家电配送成本最小为目标,构建了带时间窗约束的物流配送车辆的调度优化模型。

②求解算法方面。对求解车辆调度问题的算法进行了分析研究,针对标准粒子群容易陷入局部最优的缺陷,通过引入细菌觅食的复制和迁移算子,将其进行改进,提出了改进粒子群算法,来提高对于规模大车辆调度问题的搜索效率和解的质量。

③实证研究。结合 H 家电物流企业在配送商品时出现的问题,对改进粒子群算法模型有效性进行验证。通过对比标准的粒子群算法和改进后的粒子群算法的配送时间和配送成本数据,进而得运用改进粒子群算法进行车辆调度优化比标准

粒子群算法在车辆调度问题上的优化效果更好。

关键词：家电物流，改进粒子群算法，配送，车辆调度

ABSTRACT

Since 2000, the widespread application of computer and network technology in China has greatly promoted the development of e-commerce. E-commerce has gradually changed people's lifestyles, shopping methods, and spending habits. People's dependence on online shopping has become increasingly high, which has greatly promoted the development of the logistics industry. Accelerating the pace of development of modern logistics companies and gradually satisfying people's increasing demand for online shopping has gradually become a driving force for the continued development of the logistics industry. The vehicle scheduling problem is regarded as a crucial issue in the logistics distribution process and has gradually become a key issue that restricts the efficiency of logistics distribution in China.

The development of vehicle scheduling problems has been for several decades. In the context of different eras, the proposed solutions to vehicle scheduling problems are also different. Under the e-commerce environment, people are not only pursuing the quality of products for the purchase of goods. At the same time, it also requires product distribution efficiency. The level of satisfaction of distribution customers can have a direct impact on the competitiveness of logistics companies. Logistics distribution vehicle path optimization is the key link in the entire logistics and distribution chain, and is also considered as an indispensable part of social development and economic activities. Reasonable vehicle scheduling can greatly improve the economic efficiency of logistics distribution, save distribution costs, and can improve the efficiency of product distribution, improve people's satisfaction, and then improve the competitiveness of logistics companies.

Based on relevant literature and existing achievements, this article combines the problems faced by home appliance logistics companies in the distribution environment, studies the logistics distribution vehicle scheduling problem, and establishes an optimal model for logistics and distribution vehicle scheduling. Examples verify the effectiveness of the algorithm and model. The main work is as follows:

①Construct a home vehicle logistics distribution vehicle scheduling optimization

model. In order to better study the vehicle scheduling problem in the e-commerce environment and improve the distribution efficiency, this paper combines the two aspects of delivery time and cost minimization to build a logistics distribution with time windows with the goal of the shortest delivery time of home appliances and the lowest cost of home appliances distribution. Improved Particle Swarm Optimization Model for Vehicle Scheduling

② The solution algorithm. The algorithm to solve the vehicle scheduling problem is analyzed and researched. For the defects of the standard particle swarm, the bacterial foraging replication and migration operator is introduced and improved. An improved particle swarm optimization algorithm is proposed.

③ Empirical research. Combining with the problems of H home appliance logistics companies in delivering goods, the effectiveness of the improved particle swarm algorithm model is verified. By comparing the delivery time and distribution cost data of the standard particle swarm optimization algorithm and the improved particle swarm optimization algorithm, the improved particle swarm optimization algorithm can be used to optimize the vehicle scheduling than the standard particle swarm optimization algorithm for vehicle scheduling problems.

KRY WORDS: home appliance logistics, improved particle swarm optimization, distribution, vehicle scheduling

目 录

第一章 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	2
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 家电物流研究现状	3
1.2.2 配送车辆调度优化研究现状	3
1.2.3 粒子群算法研究现状	4
1.3 研究内容与方法	5
1.3.1 研究内容	5
1.3.2 研究方法	7
1.4 技术路线图	8
1.5 创新点	9
第二章 相关理论基础	11
2.1 家电物流配送相关理论	11
2.1.1 物流配送概念	11
2.1.2 物流配送功能要素	11
2.1.3 家电物流配送的特点	12
2.2 车辆调度	13
2.2.1 车辆调度概念	14
2.2.2 车辆调度特点	14
2.3 车辆调度问题求解算法	15
2.3.1 精确算法	15
2.3.2 传统启发式算法	16
2.3.3 现代启发式算法	17
2.4 本章小结	20
第三章 改进粒子群算法设计	21

3.1 粒子群算法基本原理	21
3.1.1 粒子群算法的概述	21
3.1.2 粒子群算法的原理	21
3.1.3 粒子群算法的数学描述	23
3.1.4 粒子群算法的参数分析	26
3.2 菌群算法	26
3.2.1 细菌觅食基本思想	26
3.2.2 细菌觅食优化算法模型	27
3.2.3 细菌觅食优化算法流程	28
3.3 粒子群算法的改进	30
3.3.1 粒子群算法的改进路径	30
3.3.2 改进粒子群算法的流程	31
3.4 本章小结	34
第四章 H 家电物流公司案例分析	35
4.1H 家电物流公司现状分析	35
4.1.1 H 家电物流公司概况	35
4.1.2 H 公司家电业物流现状	35
4.1.3 H 公司的物流管理体系	36
4.1.4 H 公司的物流运营现状	38
4.2H 公司物流现状分析	39
4.2.1 H 公司物流 PEST 分析	39
4.2.2 H 公司物流 SWOT 分析	40
4.2.3 H 公司 STP 分析	42
4.3H 公司需要解决的问题	42
4.3.1 企业仓储布局及管理费用过高的问题	42
4.3.2 企业配送中车辆配货及装卸时效低的问题	44
4.3.3 企业商品运输过程中路径优化问题	44
4.4 本章小结	45
第五章 改进粒子群算法在家电配送车辆调度问题的应用	46
5.1 H 家电物流配送车辆调度问题的数学模型	46
5.1.1H 家电物流配送的基本流程	46

5.1.2H 家电物流车辆调度模型构建	46
5.2 改进粒子群算法在车辆调度问题中的应用	48
5.2.1 粒子编码	48
5.2.2 粒子进化方式	48
5.2.3 改进粒子群算法车辆调度模型步骤	49
5.3 实验仿真与结果分析	50
5.4 本章小结	53
第六章 结论与展望	54
6.1 研究结论	54
6.2 研究展望	54
致 谢	56
参考文献	57

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

近年来,我国的经济高速发展,经济增长速度不断加快,物流业总体规模也伴随着急剧增长。社会物流配送成本占 GDP 的比重仍高达 16.9%,占比远远高于英、美、日、法等发达国家。物流产业虽已经过几十年的快速发展,取得了很大的成绩,但较为粗放的运作水平尚未得到有效改善,与英、美、日、法等发达国家仍存在不小差距,在我国国民生产总值中物流配送费用占比仍然居高不下,与英、美、日、法等国家相比仍较为滞后。物流开销占比过高使得国家经济的发展受到一定程度的制约,使得企业的竞争力无法得到进一步的提升。

从当前阶段物流发展状况来看,物流配送已经开始与我们每个人都密切相关,由国家发展改革委员会权威公布的《2017 年全国物流运行情况通报》可以得知,我国 2017 的社会物流年总费用为 12.1 万亿元, GDP 占比率为 14.6%,与 2016 年相比较下降了 0.3 个百分点,但从全球市场的横向比较来看,比日本和美国仍然高了约 7.5%,比全球平均水平高了 4.5%。从以上来看,即使是参照全球中等水平 10% 的比率,社会物流总费用在我国仍有 4.05 万亿的下降空间。目前物流成本在我国仍然占据生产成本的 30%—40%,但是这个数据比例在西方发达国家只有 10%—15%。由此看来我国物流行业成本存在较大优化空间。

从家电业来看,产品同质化、需求多样化、服务创新化、渠道多元化等市场竞争问题日益凸显,家电企业对物流的要求也越来越高,家电物流不但承担了配送职能,更多时候体现了企业的差异化能力和最后一公里用户体验能力。根据比达咨询公司最新统计结果发现目前鞋帽服装等服装品、手机数码产品、和生活电器类产品是用户网购的三大组大占比种类,考虑性别因素,女性网购产品第一名是鞋帽服装类占据着高达 75.8%的比例,但是相较而言,生活电器类只占 27.6%;男性鞋帽服装类也占据网购排名第一名,生活电器只占了 31.2%。由于家电业受价格高和消费频次低的限制,在互联网时代,家电业物流一直没有得到突破性发展,加上物流业信息化程度低、从业人员文化水平较低并且因为需要投入大量的资源导致很多企业都不具备低成本高效率的进行物流运作,所以很多企业为了降低成本节约资源,选择与第三方物流合作,但是这样的选择对企业造成了很大的局限性,在目前家电业微利时代的现状下限制了企业的长远发展。

现代物流的目标是在降低配送成本的同时也要保证甚至提高客户的满意度。但是这两者是相互依存、相互制约的。一般来说,成本的降低必然伴随着服务质

量的下降，同理而言，客户满意度的上升必然也伴随着成本的上升。如何寻找客户满意度和成本的平衡点是目前物流管理研究的热点所在。

物流配送车辆调度优化问题一直是现代物流管理的核心问题，其旨在研究如何在降低配送成本的基础上来提高物流配送车辆的利用效率。配送车辆调度优化问题往往与企业财务成本和企业物流管理配送管理有着密切联系。

家电物流的配送运输一般使用配送中心集中配送运输。但是往往面临着零售户分布不均、闹市区较为集中等困境，这为配送车辆优化调度带来了很大的麻烦。又加上配送车型和家电数量不匹配，而且在很多种情况下客户网点分布都是呈无规则分布的。除去以上常规影响因素，在实际的物流配送过程中很可能还会出现一些非常规因素甚至是突发事件，这些事件的发生必然也会导致配送车辆调度优化问题更加复杂化、困难化。总的来说，家电配送车辆调度优化问题如果不能得到有效的解决，企业的物流配送成本也就会随之上升。

1.1.2 研究意义

在理论上，家电物流车辆调度问题是保持家电物流配送服务合理运行的重要问题，一直受国内外专家学者青睐。近些年如何实现配送油耗最小和路程最短问题一直被学界所关注，进行了大量的研究，但是如何在最大限度地满足顾客需求的情况下，以实现家电物流企业物流配送成本最小为目标，进行家电物流配送车辆的调度优化方面，研究较少。因此，本文选择通过拟合相应的目标函数，构建与家电物流配送企业实际情况较为相符的物流配送车辆调度优化模型，这种做法将会使物流配送理论得到一定的延伸。

在实际应用方面，物流配送车辆调度优化算法可以在一定的时间段内完成配送车辆调度计算，配送结果能够使企业更加合理的进行物流配送资源配置，进而提高家电的配送速度，降低家电配送成本。家电物流配送车辆调度具有特殊的行业特点，因此对具有相似配送特征的其他行业的物流配送业务具有一定的参考价值。

本文通过对 H 企业的家电配送情况、道路交通情况、企业的配送车辆及车载量等因素进行了分析论证，运用改进粒子群算法对企业的配送车辆调度进行合理的规划设计与算法优化，在一定程度上降低家电物流配送的成本，提高家电经营企业的经济效益。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 家电物流研究现状

物流(logistics)概念于美国产生, 约翰.F.格鲁威尔(John. F. Growell)^[1]第一次提出了物流这一概念, 并且研究了影响农产品运输的成本因素。L.D.H.We^[2]通过研究发现市场营销能够为企业的农产品营销带来时间、场地、所有权效用。克拉克.韦尔德^[3]对农产品经营过程中的集中、运输、储存等职能进行可研究。

目前对家电物流的研究主要集中在家电自营物流建设、家电物流外包两个方面。自营物流建设方面。家电自营物流建设多集中在大型企业, 如海尔、国美、苏宁等。郝凝兰^[4]从规模经济角度进行了分析发现自营物流一般集中于大型企业。李泽^[5]将国内典型家电销售企业作为案例提出了一种家电连锁销售物流选择新模式。家电物流外包方面。孙苓菲^[6]对国美物流模式进行了分析, 认为国美电器应实行家电物流外包服务, 提升自己核心竞争力。罗文丽^[7]认为家电产业链条应向上下游进一步的延伸, 突破现有供应链一体化等制度和管理障碍。申家星^[8]从物流业务及管理运行机制上对家电制造企业进行了深入的剖析。金彩红^[9]对我国家电企业物流运营模式分析, 指出家电物流外包是小型家电企业选择物流配送的最佳模式。

结合以上内容, 可以发现有很多学者已经聚焦于关于国内家电物流配送的科学研究, 而且取得了一些进展, 但是这些进展主要是偏重于宏观角度, 偏重于理论分析。缺乏对特定领域乃至某一个行业的研究。基于此本文选择了家电物流配送领域的领军企业 H 企业对其物流配送路线优化问题进行研究。

1.2.2 配送车辆调度优化研究现状

物流配送车辆调度优化问题在 1959 年由 Dantzig 和 Ramser^[10]首次提出, 他们研究了加油站输送汽油这一科学问题, 并据此提出了相对应的数学规划模型及求解算法。而 Bodin, Golden 等人^[11]在则阐述了一般的车辆优化调度问题。Laporte 和 Nobert 等^[12]对具有车载容量限制和运输距离约束的车辆优化调度问题进行了研究。Bernadet 和 Desrosiers 等^[13]考虑增加时间约束来研究一般车辆优化调度问题; 罗鸿斌^[14]将一种经过改进的粒子群算法其应用于多车辆调度问题, 并证明该方法的可行性; 王征等^[15]构建了带行驶时间约束的物流配送车辆调度优化模型; 刘家利等^[16]提出了一种针对多个物流配送中心的物理车辆配送路径优化模型。陈钢铁等^[17]提出了一个改进的地震后物质运输车辆调度优化模型。李坤等人^[18]研究了卸货集装箱堆场如何进行空间分配以及车辆调度集成; 殷脂等^[19]构建了一种对多配送中心物流车辆调度进行优化的数学模型。刘波等^[20]发现应急车辆调度具有鲁棒性; 蔺宇等^[21]提出了一个车辆调度模型与时间窗口约束在循环提货场景中; 王

永等^[22]提出了一个混合邮政车辆调度模型，集成了三级中心位置和车辆调度；陈钢铁^[23]运用研究模糊网络和时间规划方法对应急车辆调度进行了优化；曹夏夏等^[24]提出了运用集合划分精确算法来解决出发时间和客户满意度问题。

1980 年以来，物流配送车辆调度优化问题引起了应用数学，运筹学，物流科学，计算机应用，图论与网络分析以及交通规划策划与管理等方面的专家的高度重视，逐渐成为了运筹与优化研究领域的前沿和研究。由于现代物流的不断发展，路线问题不断的复杂化，出现了诸如多车辆优化调度，随机车辆优化调度问题，装卸混合车辆优化调度等越来越多的难题。

解决物流配送车辆调度优化问题的方法主要有以下几种，精确优化方法，启发式优化算法，模拟及交互优化算法。第一种方法在过去被广泛的运用，其他三种方法代表了其更新的研究思路。随着人工智能技术的引入与不断发展，模拟退火算法、遗传算法、人工神经网络和专家系统一大批新方法新技术的出现，解决大规模多目标车辆物流调度优化问题也有了更多的工具和方法。目前，对于算法的研究主要集中在启发式规则和搜索方法的改进上，以提高搜索速度和质量。主要有混合遗传算法，如禁忌搜索，部分自适应遗传算法，一阶聚类分析和重新优化的两阶段方法，蚁群算法，免疫算法，粒子群算法等。

以上综述了国内外对物流配送车辆优化调度问题的研究进展情况，对该问题的求解算法一般有两种，精确式求解和启发式求解。但是这些算法一般都偏重于对理论进行研究。一些情况下，这些算法在物流配送路线的优化问题上能有所作用，但家电行业物流配送较一般物流配送具有特殊性，受很多因素的制约如销售季节、行业法律法规等。

1.2.3 粒子群算法研究现状

通过文献研究，可发现国内外学者已经对物粒子群算法进行了很多的研究，相应的在粒子群算法的应用和改进方面也已经取得了丰硕的成果，但是对粒子群算法的改进较多地集中在了预测模型方面。

白春华等^[25]使用支持向量机扩展端点的极值，并使用粒子群算法对它们进行优化以获得更精确的固有模态函数；Yin 等人^[26]构造了 PSO 算法和其他算法的组合来进行家电物流配送车辆调度优化；李润求等^[27]采用 PSO 优化建立的模型，进而在很大程度上提高了煤矿爆破风险识别技能；陈荣等^[28]采用支持向量机和粒子群组合的方法建立预测模型，该模型能较好地拟合旅游区客流，为旅游区提供合理的流量预测；烟贯发等^[29]采用改进粒子群对支持向量机模型进行了优化，并用水质改进对其进行了验证；龙文等^[30]采用改进粒子群算法对支持向量机算法进行了优化改进，构建了一种地下水深度监测模型，提高了预测精度；姜明辉等^[31]使

用 PSO-SVM 方法建立个人信用评估模型为良好控制消费者信用风险提供了可靠的参考；郑灿等^[32]提出了一种结合 PSO 和差分进化方法的混合方法，能够有效提高 PSO 收敛速度，避免其早熟收敛；潘少伟等^[33]使用粒子群算法改进 BP 神经网络以避免陷入局部最优解；张永革等^[34]提出了一种基于搜索最大功率点的改进 PSO 算法，可以更好地控制搜索速度，并对该系统进行了实证研究；傅强等^[35]将粒子群优化和神经网络算法相结合提高了综合模型识别的精准度；李松等^[36]运用了粒子群算法来改进神经网络方法，拟合混沌时间模型有效提高了神经网络训练的准确性；肖智等^[37]采用粒子群算法优化 SVM 以适应数据之间的非线性关系，并构建了相关预测模型；孙斌等^[38]采用粒子群优化算法对支持向量机方法进行优化，保证了分段关联预测的准确性；行鸿彦等^[39]用 PSO 优化的 BP 神经网络构建了温度补偿模型，并验证改进了 BP 神经网络进而能够避免自身缺陷，从而有效地提高补偿效果；杨凡等^[40]提出了惯性权重自适应粒子群优化算法（AS-PSO）；张万旭等^[41]将粒子群算法用于惯性权重非线性动态调整，并验证了其有效性；李松等^[42]运用 BP 神经网络对粒子群优化算法进行了改进；包广清^[43]运用粒子群优化算法提出了一种提高传统算法的优化效率和参数设置的改进模型；章杰宽等^[44]提出了一个优化的用于旅游需求预测 PSO 模型；黄震^[45]运用仿真实验验证了利用量子粒子群算法能够在不陷入局部最优的情况下进行车辆调度优化求解。

上述关于粒子群算法的文献大多集中在 PSO 算法与支持向量机，差分方程和 BP 神经网络的结合上来构造和求解模型。主要用于煤矿瓦斯风险识别，旅游区域客流预测，混沌时间和高速公路交通，为本文的模型优化提供了有价值的解决思路。

综上，PSO 算法能够用于家电物流配送车辆的调度优化。然而，通过研究发现，大多数传统的 PSO 都有其局限性。首先，传统的优化算法大多是线性优化，因此，优化结果与初始值选择密切相关，易导致局部收敛。第二个是优化函数必须是连续的，而家电物流配送车辆的调度决策变量大多为离散变量，因此，很容易使用传统的线性或非线性算法来搜索安全资源分配的最优解，从而存在一定程度的误差。因此，本文提出将改进 PSO 运用于家电物流配送车辆优化调度模型中，将配送车辆数量最小和配送时间最快作为目标函数，进而构建家电物流配送车辆调度优化模型，最后以 H 家电物流配送企业为案例来进行实证分析。

1.3 研究内容与方法

1.3.1 研究内容

本文将家电物流企业配送车辆作为研究对象，选用粒子群算法研究其作用机

理，并以某家电物流配送作为研究对象进行验证，主要研究内容包括：①相关理论综述；②家电物流配送车辆调度优化模型的构建；③PSO 算法改进及模型求解步骤；④实证研究。每一部分的相关内容中的逻辑关系如图 1.1 所示。

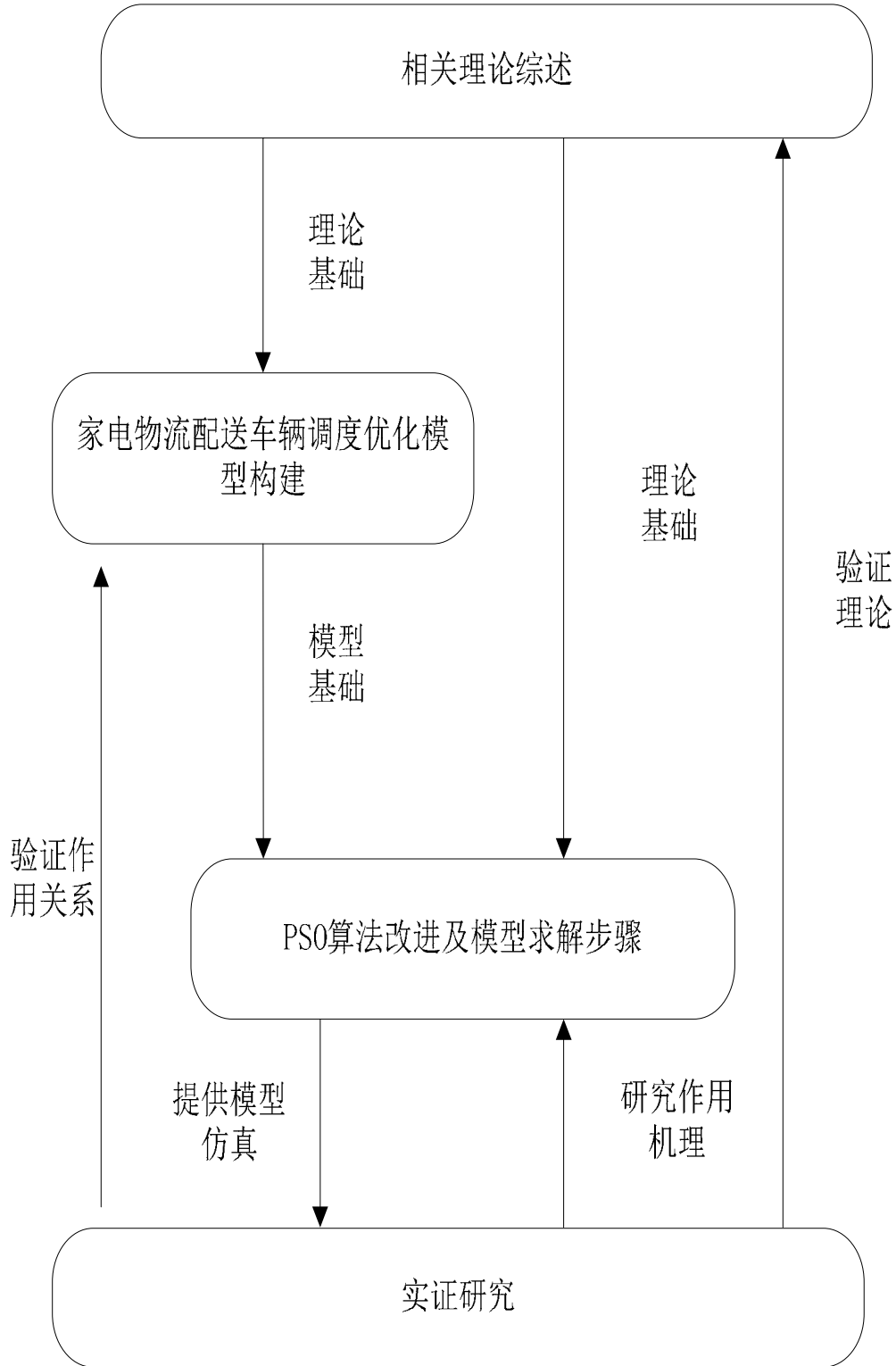


图 1-1 研究内容逻辑关系

具体包括以下内容：

第一章为绪论。

本章基于通过对相关领域的文献的研究，归纳了家电物流车辆优化调度优化研究现状和粒子群算法的研究状况，通过分析发掘现有研究存在的不足或局限之处，确定拟要解决的现实问题，并进一步确立本文所要研究问题的切入点，设计本研究的技术路线。

第二章为相关理论综述。

本章主要介绍了当前物流配送的内涵及相关概念，除此之外还涉及其功能因素、粒子群算法及其原理、家电物流配送特征以及车辆调度的相关概念界定，旨在厘清本研究基础内容的同时，学习现有知识及算法的经典及优势之处，为全文研究奠定基础。

第三章为改进 PSO 算法模型的构建及求解。

首先阐述了粒子群算法的基本原理，解释了菌群算法能够和传统粒子群算法相结合的特性，在此基础上运用细菌觅食算法对 PSO 算法进行改进，提出了其改进过程和预期功效。

第四章和第五章为实证研究章节。

将其运用至 H 企业家电物流配送企业，首先分析 H 家电物流公司的现状，考察企业的实际情况，通过实地调研搜集模型所需的相关数据。最后将搜集的数据代入上章建立的物流配送车辆调度优化模型，对 H 家电物流公司的物流配送车辆进行更加合理的调度，进而通过分析计算结果对比证明了改进 PSO 算法能够进行物流配送车辆调度优化。体现了研究成果的科学性和可行性，为物流配送车辆调度优化问题研究提供了新的研究思路。

第六章为结论与展望。

本章节按照上述研究对研究成果进行归纳概括，得出本文的研究结论，同时指出本研究存在的不足之处，并将理论与企业实践相结合对日后的研究予以展望，确立下一步的研究方向。

1.3.2 研究方法

本文的研究方法主要包括：

文献研究法。结合文章研究内容阅读国内外相关文献，了解目前国内外研究家电物流配送路线优化的构成要素、模型及其求解方案。

定量研究法。构建以目标客户满意度最高和物流配送成本最小为目标的数学模型，然后运用细菌觅食算法改进后的蚁群算法求解其问题，并给出具体的求解过程和步骤。

案例分析法。根据家电物流配送行业的特点，建立家电物流配送车辆调度优

化模型，结合 H 企业家电物流配送中心的具体情况，对模型的参数进行设置，然后运用软件进行模型运算，优化 H 家电物流公司的车辆调度，进而实现提高客户满意度和降低物流配送成本的目标。

实地调查法。通过在 H 企业调研，对物流基地、配送中心和各个二级配送中心运营状况有更深层次的接触和了解，还通过各销售门店对行业内竞争对手进行了实地调查和走访，完成对物流配送路线等资料的收集和整理。

1.4 技术路线图

本文技术路线如图 1-2 所示。

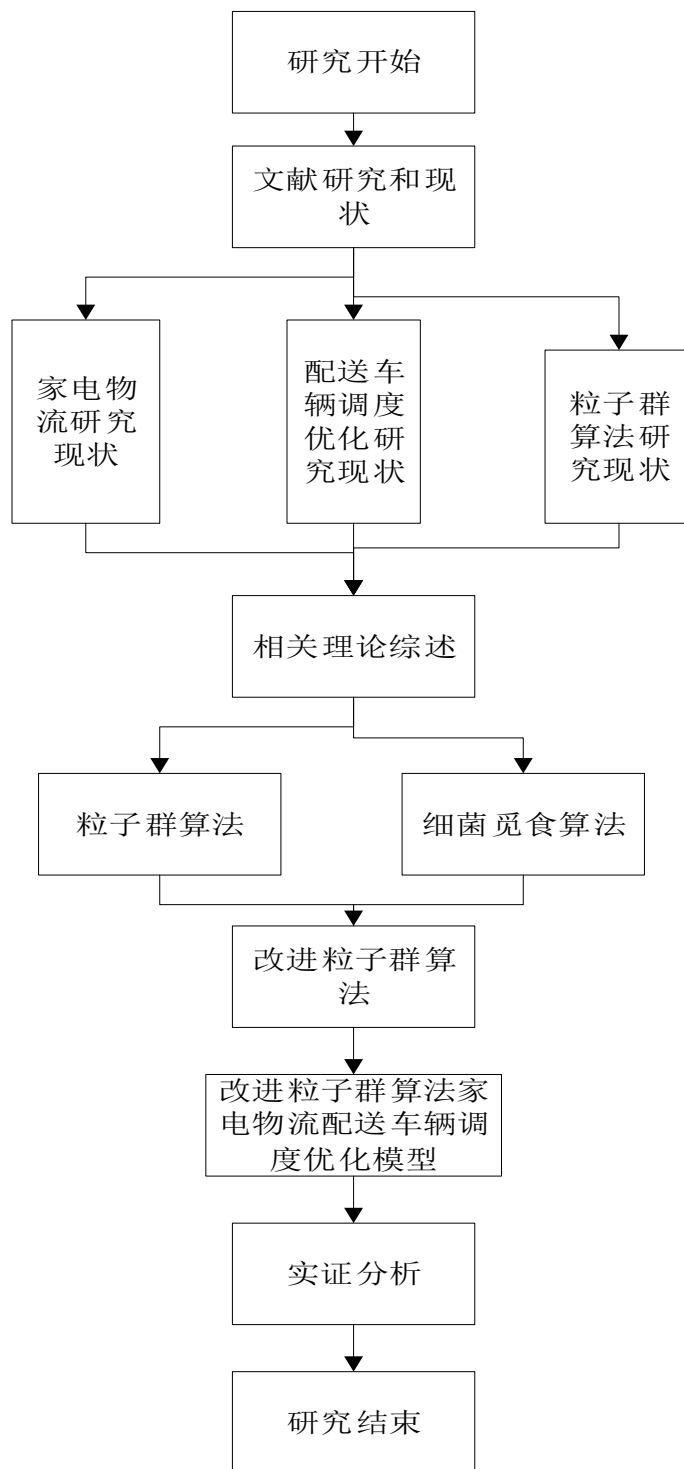


图 1-2 技术路线图

1.5 创新点

本文开展的研究依据改进 PSO 算法, 将其运用至家电物流配送车辆调度优化, 文章主要创新点为以下两点:

- (1) 在明晰物流配送车辆投入与安配送时间的非线性函数关系基础上, 建立

了家电物流配送调度优化模型。本文主要针对家电物流的特征，采用菌群算法对原有的粒子群算法进行改进进而构建家电物流配送车辆调度优化模型，采用定量分析方法分析车辆调度与配送时间的数学关系，进而搜寻求解家电物流配送车辆调度的较优方法。

（2）为解决家电物流配送中的车辆调度优化问题，提出了一种基于菌群算法的改进 PSO 算法。通过研究发现，大多车辆调度的算法都存在一定的局限性。因为，大多数传统的优化算法都是线性优化。所以优化结果与初始值选择密切相关，易导致局部收敛。因为优化函数必须连续，家电物流配送车辆的变量大多是离散的。所以使用传统的线性或非线性算法搜索家电物流配送车辆调度优化的最优解很容易出现误差。为克服以上的缺陷，本文在提出了一种基于菌群算法的改进 PSO 算法，并选择具有一定代表性的 H 家电物流配送公司进行实证研究。实验结果表明，该方法综合考虑了全局最优值的影响，有效提高了 PSO 算法的计算效率，简单易行，能准确找到模型的最优解。

第二章 相关理论基础

将菌群算法改进后的 PSO 算法应用在家电物流配送车辆调度优化问题，需要学习和掌握物流配送的含义以及 PSO 的相关理论。本章首先阐述了物流配送的相关理论，并阐述了粒子群优化的概念，为建立家电物流配送车辆调度优化模型奠定了理论基础。

2.1 家电物流配送相关理论

2.1.1 物流配送概念

物流配送系统是物流供应链上的一个重要环节，它由商流、物流、资金流紧密结合，由互相联系又互相区别的元素组成。在物流配送系统中，物料是其作业对象，而实现物料的实体流动是配送系统的最终目的，一般意义上，物流配送的模型如图 2-1 所示。

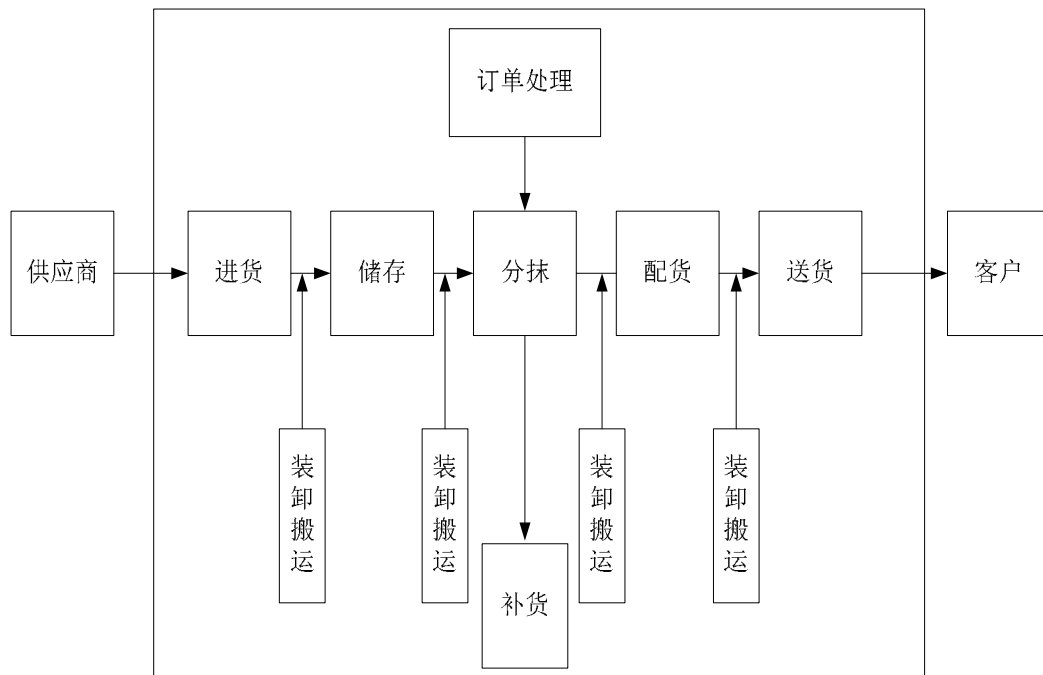


图 2-1 物流配送功能模型

2.1.2 物流配送功能要素

当今经济快速发展，物流配送的功能及其形式日益丰富与创新，通常情况下，其核心的功能要素仍然包括：备货、储存、分拣及配货、配装、配送运输、送达服务。

①备货

备货是车辆配送前的准备工作。备货工作包括来源，订单或采购，进货及相

关质检，结算，交接等工作。物流配送的优势是它可以根据一定数量消费者的需求而进行一定批量的备货。备货是决定配送成败的最初工作。如果备货的成本很高，配送的效益将会大打折扣。

②储存

配送储备是根据配送作业需要在一定时间内分配资源的保证。这类储备数量大且储备结构较完整。还有一种临时存放形式，就是经过分拣，配送，形成临时交付的货件，这种临时存款主要是调整配送速度，临时存放时间不长。

③分拣及配货

分拣和配货作为配送的功能元素，关乎配送任务的成败。分拣和配货也是交付和送货的前提。送货是一种高级发展的形式。通过分拣和配货，送货服务水平将会得到很大的提升。

④配装

配装是具有现代特征配送系统的一个功能元素，其涉及充分利用运能和运力问题，也是现代配送与传统配送巨大的区别之处。

⑤配送运输

干线运输一般只有一条固定的运输线路。配送运输是用于大量的配送用户，而且都具有较为复杂多变的运输路线。构建最佳配送路线，如何有效地将客户与运输路线进行匹配是配送和运输的关键。分配线路的合理性，配送速度的快速与否，对配送的成本和收益影响都非常大。

⑥送达服务

向用户配送商品到户还不是配送工作的结束。货物交付和用户接货可能会存在一定的不协调现象，也就会导致交付前的配送工作无效。因此，要圆满完成货物的送达，需十分注意卸货地点以及客户实施反馈的信息。

2.1.3 家电物流配送的特点

由于家电产品的特殊性，家电物流配送也相应的具有很多其独有的特点。

①家电物流作业对象的单品价值普遍较高，大部分都有精密的电子设备。运输过程中颠簸与野蛮装载和卸载可能导致电器故障和损坏。因此，在家电物流运作过程中，对运输，搬运和卸货的要求相对较高。在存储部分，通常不可能直接堆叠，并且需要高层货架。

②家电物流配送季节性波动较大。如空调销售旺季一般为（4月~7月），每日大量的出货和备货，及时送货率和准时率要求相对较高。五一，国庆，春节等节日前后的家电销售通常会大幅增加，物流需求将比平时大量增加。如何合理配置所需车辆和仓储资源，并对操作人员进行合理安排，都是家电物流业务，组织

需要考虑的重要问题。

③家电物流需要高度的网络布局。常见的网络布局有中央配送中心（CDC）、本地配送中心（LDC）、区域配送中心（RDC）。其中本地配送中心（DCC）是家电物流网络中常用的节点类型之一。深入研究销售网络数据，交通条件，地理环境，客户分布等因素。近两年，国内物流案例为家电物流网络优化提供了典型材料和参考。

④家电物流业务与订单管理直接相关。家电生产计划主要由订单驱动，而牛鞭效应将推动家电库存的增加。随着家电领域家电型号和库存调整功能需求的减少，实施零库存模式的家电制造企业的库存调整功能变弱，这就对家电生产企业和家电物流运营机构的灵活性提出了极为苛刻的要求。例如，对于空调产品的销售，虽然波动性很大，但仍有规则可循。然而，为了确保经销商在旺季不会缺货，上游公司往往会增加订单数量。制造商自然会增加供应商以满足订单需求。采购量最终导致库存增加。随着渠道商控制能力的提高，无条件退货条款的签署客观上增加了渠道分销商的订货量。最终，在整个供应链条中，冗余产品一般都积压在了制造商或分销商的仓库，这也就导致了很多企业所谓的“零库存”实际上只是库存转移，而违背了零库存的初衷。

2.2 车辆调度

随着物流密集型分销和集成的发展，经常需要整合分销的各个方面。物流和配送的核心部分是货物的收集，货物的组装和交付。配送系统的优化主要是配送车辆的优化调度，包括收集路线的优化，货物组装和配送路线的优化，以及货物集合，货物组装和配送的一体化。在国外，此类工作已被广泛应用于生产与生活的各方面，如报刊发送、生产线优化、牛奶配送路线优化、电话预定送货线路设计，垃圾运输车线路优化、选择废纸站纸，连锁店配送等。VSP 被提出后，Bodin、Golden、Agitha 和 Yaşar 等许多学者^[46-49]对 vsp 从不同角度，按不同的标准进行了分类。

按任务特点划分，一般有有纯装问题和纯卸题及装卸混合问题。

按车场、配送中心的数目划分，一般有单车场和多车场两种问题。

按配送车辆的类型划分，可以划分为单车型和多车型问题

按优化目标数来划分，可划分为单目标和多目标问题。

由于每种情况都有其独有的提点，因此车辆调度优化模型构建及运算往往会存在很大的差异。

2.2.1 车辆调度概念

车辆调度定义为设置送货车辆的路线，使送货车辆可以通过设定的装卸点^[50]平稳有序地完成送货任务，并在一定的约束条件下达到距离。车辆调度工作内容一般包括制定计划、过程监督（控制）与科学统计分析^[51]。

①科学地组织运输活动。

科学合理地安排物流配送车辆，使配送工作能够平稳有序进行，对配送线路进行优化配置，保证物流配送任务能够在按预期完成的情况下实现最小的运力投入即成本最低。

②监督、领导运输工具的安全运行。

实时动态了解和分析原定执行过程中物流配送影响因素的变动情况，并及时调整各环节的工作，为作业单位和人员制定相应调整措施。

③及时沟通了解配送任务的具体执行情况，对物流配送工作进行统计和分析。

在此基础上提出相应的改进意见和完善措施，进而提高运输配送车辆和人员的工作效率和营运成果，保证完成甚至超额完成原定的运输计划。

2.2.2 车辆调度特点

车辆调度具有以下四个方面的特点：

①计划性。计划性是调度工作的基础和依据。在配送工作开始前事先划分好物流配送车辆的配送区域，要求配送车辆按照事先划分好的配送区域及线路执行配送任务^[52]。

②机动性。机动性是指要加强交通信息的反馈^[53]，快速了解交通状况，灵活地处理出现问题，并发出调度命令，确保配送按计划完成。对体积不均匀或货物属性（体积/重量等）差异较大的情况，可以在最初分配的相邻区域之间进行微调，保证运输的高效灵活。

③预防性。运输过程中存在着各种多变的影响因素，受外界环境的影响相对较大。需要调度员根据相关数据和个人经验及时预见可能会出现的问题。这包括两个方面：一是采取预防措施，消除影响分配的不利因素；第二，做好准备工作，制定快速有效的应急措施。在个别车辆发生故障或其他紧急情况时，应在当天替换车辆完成后再次交付任务^[54]。

④及时性。调度工作的时间尤为重要。无论工作时间的利用，交付环节的具体衔接，配送效率的提高以及运输时间的缩短，都体现出较强的时间观念。因此，调度部门需要快速发现问题，反馈信息，问题处理必须果断干练。

本章主要介绍了车辆调度以及物流配送的相关概念，为本文后续的家电物流配送车辆调度优化模型的构建及具体运算求解提供了一定的方法支撑。

2.3 车辆调度问题求解算法

经过 60 多年的发展，以及众多交叉性学科的专家学者的努力，算法研究理论结构体系不断完善，尤其是车辆调度问题方面，取得了一定的成就。按照发展的历程，车辆调度的算法分为早期的确定性算法和近期的随机性算法，具体情况见图 2-2。

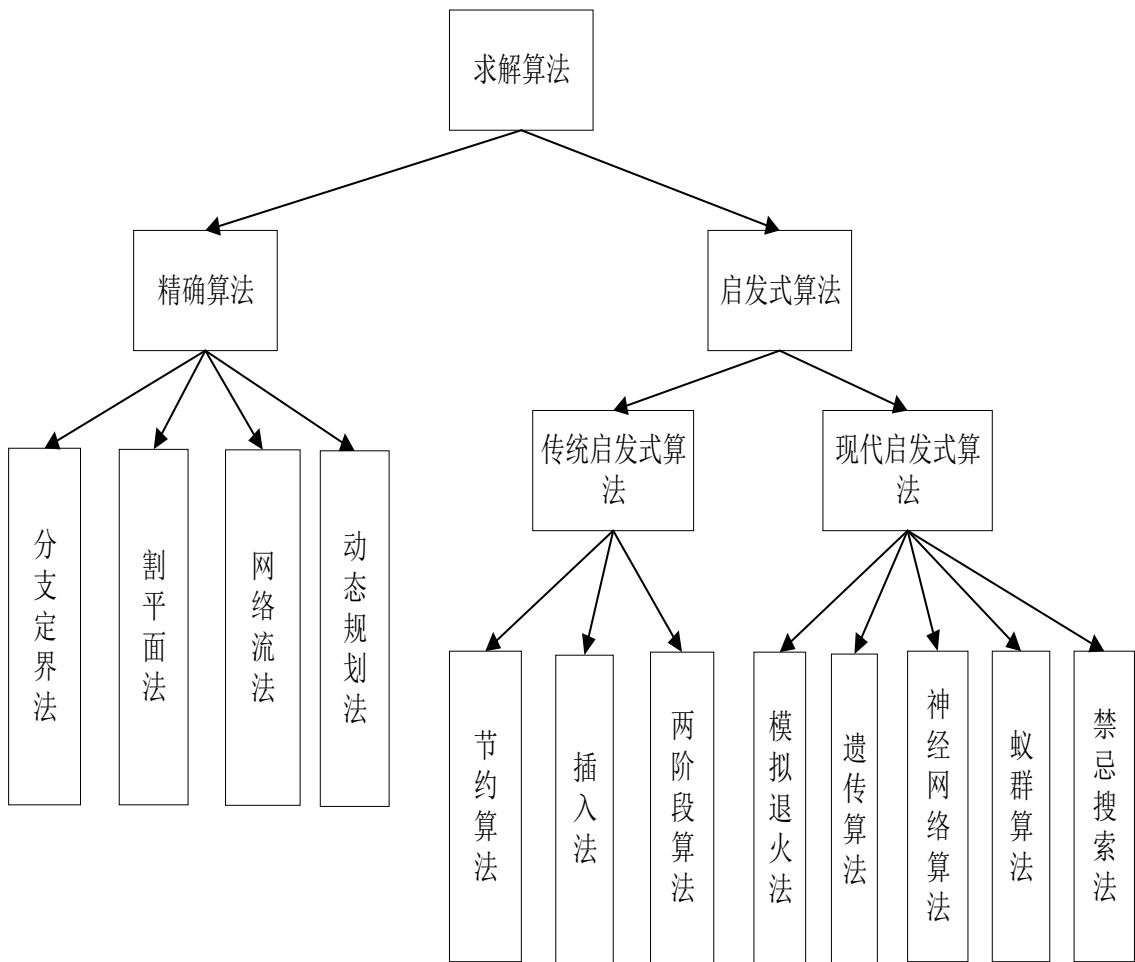


图 2-2 几种求解算法

2.3.1 精确算法

精确算法是指能够求出问题最优解的算法，又称确定性算法。它往往是通过有限次的计算得到最优解，一般适用于规模小，计算量小的求解问题。当研究规模较大，计算量较多时，精确算法很难给出满意的解，但可以提供问题的可行解或者为启发式方法提供初始解，以便于搜索到最优解。精确算法主要包括分支定界法、割平面法、动态规划法以及网络流法等。

①分支定界法

分支定界法主要是通过选择不同的分支变量和子问题进行分支，是一种搜索

和迭代的方法，是求解整数规划问题最常用的方法之一。它的主要思路是首先将全部可行解分割为很小的子集；其次对每个子集的解集定一个目标下界；然后对于在每次分枝时，超过已知目标可行解集时的子集将不再进行分枝，这个过程称为减枝，直至求出问题的最优解。

分支定界法的优点：由于设定好目标下界，把搜索树上的所有结点的限界进行比较，从而找出限界的最小结点，这种方式对子问题的检查较少，能够最快的求得最优解，平均速度快。

分支定界法的缺点：进行求解时，要计算搜索树上的所有结点对应的耗费矩阵，从而花费较多的内存空间。此外对于各结点的权值的估计若是不好，在极端的情况下将与穷举搜索法作用类似。

②割平面法

割平面法主要针对求解整数规划问题，它的思路是在不考虑整数约束的情况下，来求解一般的线性规划问题，割平面法一般具有两个性质，一是从原先的线性规划求得的可行域中至少割掉目前的非整数最优解，二是在不割掉任何包含整数的可行域中继续进行线性规划求解问题，重复以上操作，直至找到最优的整数解。

③网络流算法

网络流算法源于对交通网络的研究，它的实质是找出有向图中的原点到目的地流量的大小，与线性规划问题密切相关。

假设 $G=(V,E)$ 是一个有向图的网络流，其中每条边 (u,v) 满足 $c(u,v) \geq 0$ ，如果 $(u,v) \in E$ ，则 $c(u,v) = 0$ 。即网络流有源点 s 和汇点 t 。

设 G 是一个流网络，其容量为 c ，设 s 为网络流的源点， t 为汇点，那么 G 的流是一个函数 $f:V \times V \rightarrow R$ ，满足以下性质：

容量限制：对所有顶点 $u,v \in V$ ，满足 $f(u,v) \leq c(u,v)$ ；

反对称性：对所有顶点 $u,v \in V$ ，满足 $f(u,v) = -f(v,u)$ ；

流守恒性：对所有顶点 $u \in V - \{s,t\}$ ，满足 $\sum_{v \in V} f(u,v) = 0$ 。

$f(u,v)$ 称为从顶点 u 到顶点 v 的流，流的定义为：

$$|f| = \sum_{v \in V} f(s,v) \quad (2-1)$$

即从源点 s 出发的总的流。

2.3.2 传统启发式算法

传统启发式算法根据一定的标准，多采用迭代增量，根据过去的经验或者实验分析的数据，从开始原始可行解，逐步生成完成的解，但这种算法生成的解质量不高。现在的启发式算法的初始解一般是传统的启发式算法的解。传统启发式

算法代表性的算法有节约法、插入法、两阶段算法等。

比如节约里程的基本原理：假设 A 为配送中心，B 和 C 为客户，三者之间的相互距离分别为 a 、 b 、 c ，如下图 2-3 所示。从 A 对 B、C 进行配送货物时，有两种配货方式。一种是利用两辆车为 B 和 C 两客户分别进行送货，此时车辆配送路线为 A-B-A-C-A，车辆配送路程为 $2b+2c$ 。另一种是用一辆车配送货物，则车辆配送路线为 A-B-C-A 或者 A-C-B-A，车辆实际路程为 $a+b+c$ 。此时可节约的运行距离为 $2a+2b-(a+b+c)=a+b-c$ 。根据三角形两边之和大于第三边之定理，得出 $a+b-c>0$ ，则 $a+b-c$ 这个节约量被称为“节约的里程”。

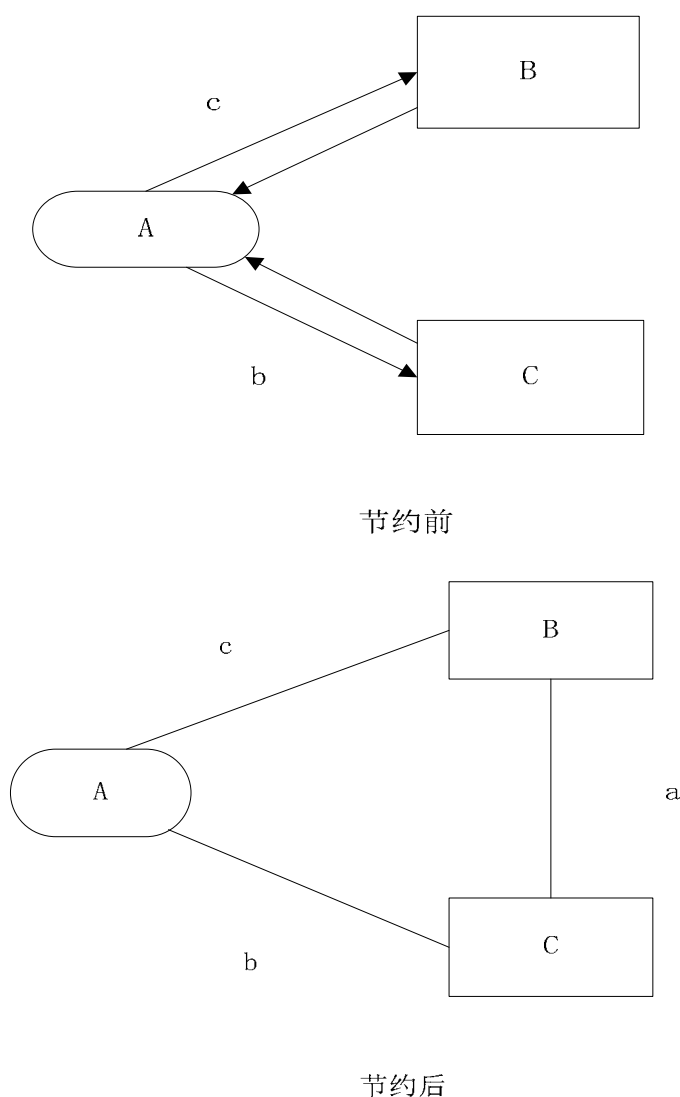


图 2-3 节约里程原理图

2.3.3 现代启发式算法

现代启发式算法的灵感主要来自自然现象的内在机理。这类算法可以广泛的应

用到函数计算和函数的组合优化，对算法的组织结构信息依赖性较小。它的发展为求解规模大、计算量大的复杂问题提出了新的思路。根据仿生分支的不同，现代启发式算法主要分为以禁忌搜索法、模拟退火法为代表的普通的启发式算法和以粒子群优化、蜂群算法、蚁群算法、鱼群算法、遗传基因算法、神经网络等为代表的生物启发式算法。以下简述几种主要的现代启发式算法。

①遗传算法

遗传算法是引用了“物竞天择，适者生存”的进化特点，与传统算法不同的是该算法的初始解是随机产生的，以适应度为依据，经过一系列的遗传操作，使得后代种群的个体的适应度不断提高，从而对种群逐步优化，达到最优解。

遗传算法的优点：遗传算法搜索过程灵活，最终得到一组优化解而不是一个；对全局的搜索能力较强；遗传算法以目标函数为搜索信息，具有较好的普适性。

遗传算法的缺点：很少有以定量的标准来选择参数；局部搜索能力不强，容易陷入局部最优；算法交叉过程消耗大量的计算时间，不太适合解决大规模的 VRP 问题。

②蚁群算法

蚁群算法是研究蚂蚁群落寻找食物的行为的一种算法。蚂蚁在寻找食物的途径中，会在路口释放出一种会挥发的信息素。当其他的蚂蚁再次经过时，选择信息浓度较大的路径，形成一个正的反馈机制，路径信息就会沿着信息浓度进行传递，最终整个蚁群获得最优路径。

蚁群算法的优点：蚁群算法具有较强鲁棒性、搜索较好解的能力；易于并行计算；易于与其他算法相结合等。

蚁群算法的缺点：搜索时间比较长；收敛速度比较慢；易限于局部最优；容易导致算法出现停滞的现象。

③人工神经网络

人工神经网络主要是通过模拟生物神经元细胞信息传递的过程，往往从简单的神经元开始传递，一直到复杂的网络系统，这个网络也可用来模拟人类大脑的某些机理或机制。它的基本原理如图 2-4 所示，多种信息源从左端汇入，进入中间枢纽后，在连接强度 w 下进行求和，当超过给定的某一阈值时，对信息进行传导。

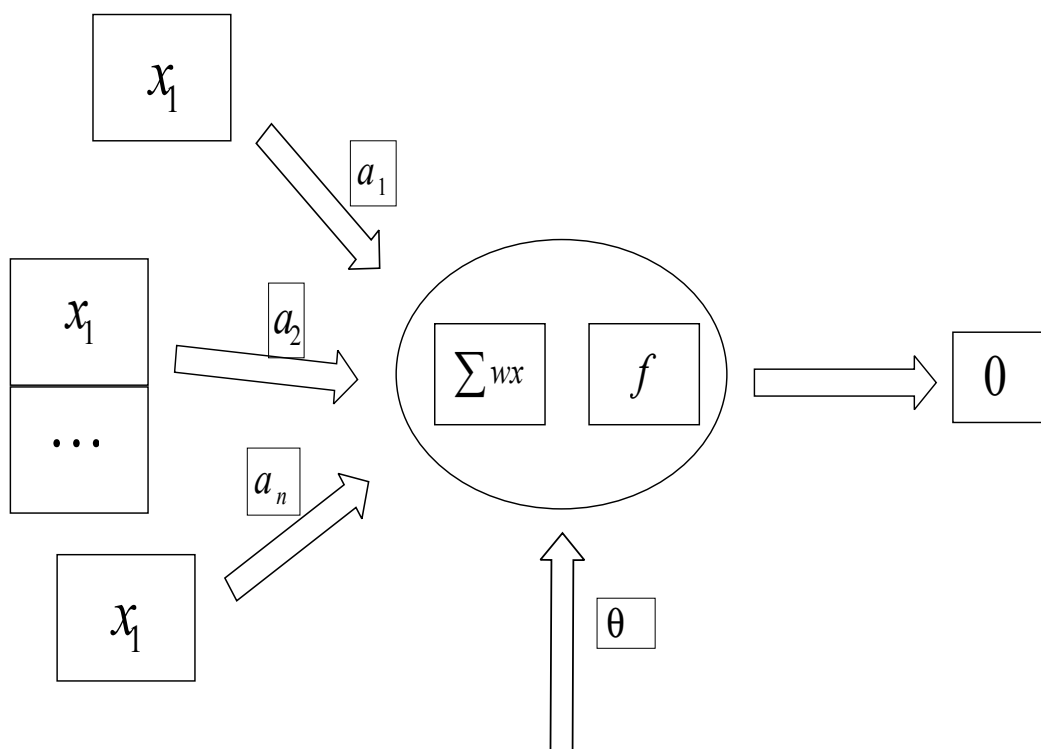


图 2-4 神经元传导模型图

④细菌觅食算法

细菌觅食算法主要是通过趋化、复制和迁徙等行为，来实现寻优的新型的群体智能算法。具有与群体智能算法并行搜索、易于跳出局限极小值等优点，是现代启发式算法的又一热点。

总之，通过对车辆调度算法的分析，总结出几种优化算法的特征，如表 2-1 所示：

表 2-1 几种优化算法的特征

类别	优点	缺点	应用时间	适用性
精确算法	求出最优解	计算时间长	20 世纪 50 年代	适用于规模小、计算量小的问题
传统启发式算法	减少搜索次数，求解时间缩短	容易出现局部最优，解较优的可行解不一定是最优解	20 世纪 60 年代至 90 年代	可以解决大规模的问题
现代启发式算法	提高了搜索效率和解的质量	解较优的可行解不一定是最优解	20 世纪 90 年代至今	可以解决大规模多约束的问题

2.4 本章小结

本章主要介绍了车辆调度以及物流配送的相关概念，为本文后续的家电物流配送车辆调度优化模型的构建记忆具体运算求解提供了一定的方法支撑。通过对车辆调度问题算法的研究，在前人研究的理论基础之上，分析了几种优化算法的发展历程以及各自算法的优缺点，为本文的提出的改进粒子群算法的优化做了一定的铺垫。

第三章 改进粒子群算法设计

3.1 粒子群算法基本原理

3.1.1 粒子群算法的概述

粒子群优化算法也称为鸟群觅食算法（Particle Swarm Optimization），简称 PSO，是由 J.Kennedy 和 R.C.Eberhart 等人，在 1995 年通过对鸟群捕食时的研究，提出的一种模拟简化的社会模型。研究人员了解到虽然鸟群在觅食期间中飞行方向不断发生变化，经常分散或集聚，但是鸟群的整体分布总是趋于一致的。学者通过研究这种现象，了解到由鸟群的个体和群体间有信息共享机制的存在。PSO 算法就是利用这种信息共享机制引导全部群体向疑似最优解的方向转移。为了便于理论研究，假设“粒子”是一种只有速度和加速度，没有质量和体积的抽象物质。其中“群”属于微粒群，满足临近原则、品质原则、多样性原则、稳定性原则以及适应性原则等，这 5 个基本原则普遍适用于人工生命的模型。

PSO(粒子群优化算法)与遗传算法相似，两者都是一种以迭代进化为基础的种群智能优化算法。但是二者也有一定的区别，粒子群算法是在解空间对最优解进行搜索，而遗传算法则是通过交叉变异的方式来寻找最优值。

3.1.2 粒子群算法的原理

粒子群算法起源于模拟鸟群的运动和觅食活动规律的下建立起来的一种群智能算法，该模型以鸟类（或者鱼群）飞行（游泳）的自然规律为基础，假设在某个已知区域内只有一个地方有食物，一群鸟联合起来为了寻找这唯一的食物，初始时，这群鸟随机的分布在这块已知区域内。已知该区域内的所有的鸟都知道食物的大致方向和位置，但不知道食物具体的位置，这些鸟儿是独立的个体，他们既不竞争也不合作，鸟儿之间可以互换信息，每只鸟儿根据周围鸟群的飞行姿态适当调整自己的位置，并遵循与周围最近的个体保持一定距离、飞向群体中心、避免离群等原则。而且群体能够通过对社会信息共享这一方式，形成一种进化模式，确定整个群体中当前获得食物的最佳信息，然后与自己的最佳信息作比较，从而来调整自己的飞行速度和位置。鸟儿在位置转化时必须交换信息，然后调整种群的最佳位置，这个过程不断循环，直到最终找到食物。粒子群算法就是通过利用这种模式，加入速度、加速度和多维搜索等数学性质形成了一种群智能优化算法。

PSO 算法是基于全局最优及个体最优的目的不断变换速度和刷新位置，该算法结构简单、极易操作实现且搜寻效率很高，可以在寻优过程表现出其较好的寻

优能力。但是，PSO 算法的缺点也同样明显。

首先，群体全部粒子均飞向全局最优的极值，但当种群迭代至一定程度后全部粒子将局限于一个较小区域，具体飞行状态如图 3-1 所示。

此时将比较容易深陷局部最优值点，因为未得到外部信息的引导，算法便较快进入停止状态，所以当运用 PSO 算法求解高维数、多峰值等非线性问题时经常不易搜寻至最优值。

此外，因为改进 PSO 算法在迭代进程中群体粒子的方位的不断变化具有较强的目标性，一般情况下当某个位置满足粒子时来不及充分探索周围便已飞至了别处，这便使粒子极易与其附近极优点失之交臂，即粒子群优化算法的局部搜寻能力就会比较弱。

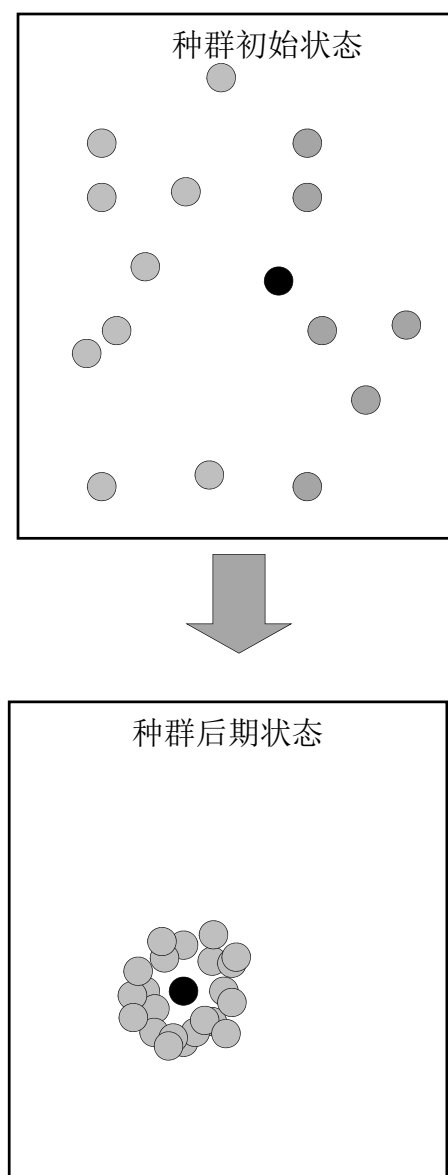


图 3-1 粒子群优化算法前后迭代粒子状况

3.1.3 粒子群算法的数学描述

粒子群算法思想主要是给一群在一定范围内，寻找最佳位置的鸟建群，假设一群鸟在寻找一块食物而在天空中飞行着，但没有一只鸟知道食物的具体位置，每只鸟只知道自己离对方有多远，并且大致了解对方的位置，在这种情况下，搜寻此刻离食物最近的鸟的周围区域，会是可以想到最简单有效的搜索策略。基于这种思想，将天空中每只鸟可以看成是一个粒子，忽略其质量和体积，每个粒子都具有由优化函数决定的适应值和影响他们飞行的方向和距离的速度，这样粒子就能够通过信息共享机制，追随最优的粒子在解空间中搜索最优解。因此，将上述原理可以描述为：

在 D 维空间中，假设一个由 m 个粒子组成的种群进行搜索其最优位置，每个粒子的状态可以用自身所处的位置和其所拥有的速度两个因素来描述。其中第 i 个粒子在 D 维的空间中第 i 次迭代的位置和速度表示为 $X_i^t = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})^T$ 和 $V_i^t = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})^T$ 。而在迭代过程中，粒子 i 经历的最优位置即具有最好适应值的位置，记为 $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{id})^T$ ，种群中所有粒子经历过的最好适应值的位置记为 $G = (g_1, g_2, \dots, g_d)^T$ ，公式中 T 代表着迭代的次数，粒子每一次迭代后，其更新位置和速度的公式如下：

$$V_{ij}^{t+1} = w * V_{ij}^t + c_1 r_1 * (P_{ij}^t - X_{ij}^t) + c_2 r_2 (g_j - X_{ij}^t) \quad (3.1)$$

$$X_{ij}^{t+1} = X_{ij}^t + V_{ij}^{t+1} \quad (3.2)$$

$$1 \leq i \leq N, 1 \leq d \leq D$$

其中 w 为惯性权重， c_1, c_2 为认知常数，其中 c_1 叫做自我认知常数，代表着粒子对自身的认知的能力。 c_2 叫做社会认知常数，代表着当前粒子群体的认知能力。 r_1, r_2 是一组随机分布在 $[0,1]$ 区间内的随机数。粒子的在某一维的速度满足 $v_i \leq v_{\max}$ ，如果在某次迭代过程中，由于粒子的加速的原因使它在某一维的速度 v_{id} 超过了这一维的最大速度 $v_{\max d}$ ，则在本次的迭代过程中，当前粒子在这一维的速度将会被重新设定为该维的最大速度 $v_{\max d}$ 。

迭代中止的条件要根据问题的不同，做相应的选择，但从经验上来说，比较常见选择有两种：一是达到设置的最大迭代次数时迭代中止；二是搜索到满足期望的最小适应值的最优位置时迭代中止。

其标准的粒子群算法流程如下所示：

第 1 步：对一组微粒进行初始化（假设某粒子群的大小为 m ，粒子的速度和初始位置信息是满足随机的原则）；

第 2 步：计算适应度（依据各自的适应度函数）；

第 3 步：调整粒子群中的微粒，如果此时的适应值比它之前经历过的最好位

置 p_{best} 的有更好的适应度时，则将此次迭代过程所得到的粒子位置作为当前的最好位置 p_{best} 。

第 4 步：对粒子群中每个微粒适应度计算，如果某一粒子的适应值比整个粒子群所经历最好位置适应度更高，那么将重新设置的索引号为当前粒子的索引号并根据粒子群算法中的方程，改变所有微粒的速度及其所处的位置。

第 5 步：如当前迭代的条件不满足中止条件，一般情况下为还没有得到足够的适应值或者当前迭代次数还没有能够达到一个预设最大代数，那么则程序流重新回到步骤 2，继续执行。

其基本粒子群的流程图如 3-2 所示：

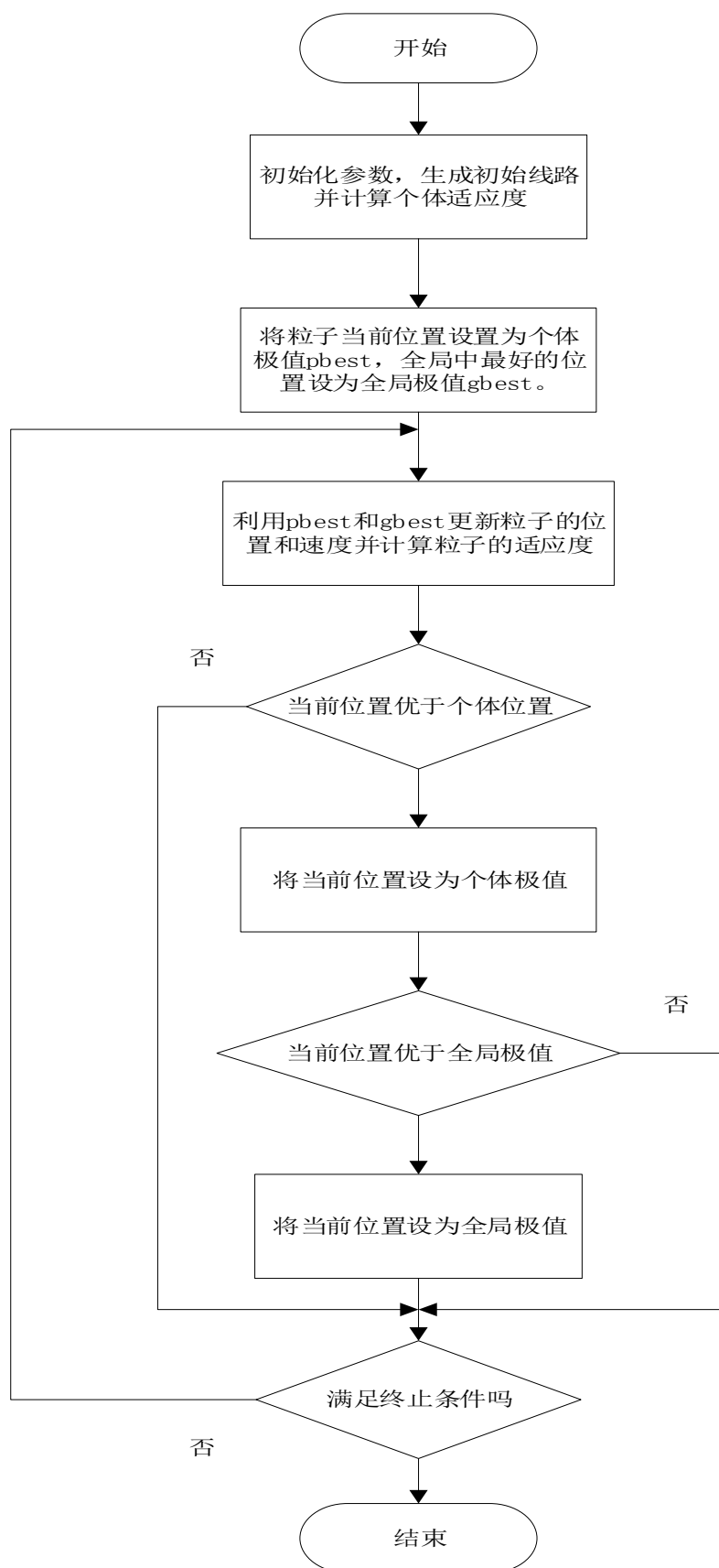


图 3-2 基本粒子群流程图

3.1.4 粒子群算法的参数分析

粒子群优化算法的主要参数有 6 种，即粒子本身的最大速度 v_{\max} ，粒子本身的最大迭代次数 T ，粒子本身的惯性权重 w ，粒子群的群体规模 m ，求解问题时所选取的认知常数 c_1, c_2 。

v_{\max} 决定粒子当前所处的位置与粒子群最好位置之间可以选取的距离。惯性权重 w ，一方面它能够扩展当前粒子可搜索的空间，另一方面保持着微粒运动的惯性，使粒子有能力探索新的区域，从而使粒子能够进行新的搜索。

认知系数或者学习因子 c_1, c_2 ，代表着粒子群中的每个粒子趋向全局最优位置运动的能力。当学习因子值较高时，粒子可能会越过目标区域。在上述公式中的后两部分，

当假设 $c_1 = c_2 = 0$ 时，能够避免粒子一直以当前的速度进行搜索，到达搜索边界为止，但是这种搜索使粒子只能搜索有限的区域，将会有可能跳过粒子群的最优解。

当 $w = 0$ 时，那么粒子群算法公式相当于没有了第一部分，在这种情况下，速度的更新就只受到当前位置 P_{best} 和历史最好位置 g_{best} 这两个因素的影响。在这种形势下，如果一个粒子位于全局最优值点，那么此粒子会静止在当前最优值点的位置，而其它粒子则会飞向自身寻找到的最优值与种群最优值之间的位置，这将会导致这些粒子只具有局部搜索能力，此时的粒子群算法只是作为局部搜索的算法。

而粒子是否具有扩展搜索空间的趋势，是由上述公式中的第一部分所决定的，这部分影响着粒子在已知区域内的全局搜索能力。第二部分代表着粒子认知能力，如果 $c_1 = 0$ 那么粒子能够去搜索新的空间，在粒子间彼此相互作用下，算法的收敛性非常快，有利于算法的收敛，但过早的收敛无法保证粒子对搜索空间进行足够的搜索，同样有可能陷入局部最优值。第三部分代表了粒子的社会能力，如果 $c_2 = 0$ 那么所有粒子只有自我认知的能力而没有社会信息共享的能力，此时，整个粒子群算法相当于单个粒子进行的搜索，得到最优解的几率也是很小的。

3.2 菌群算法

3.2.1 细菌觅食基本思想

细菌觅食算法（Bacterial Foraging Optimization，简称 BFO）是以大肠杆菌避害趋利的觅食行为为基础，而提出的一种新型的群智能优化算法。自然界中细菌依靠其体表鞭毛的不同转动方向来实现其游动的。当鞭毛逆时针旋转时，鞭毛给细菌螺旋桨式的推动，从而使细菌按照原来的运动方向向前游动；当鞭毛顺时针

旋转时，使鞭毛散开，在力的作用下使得细菌呈翻转状态，从而使细菌的运动方向发生变化。

通过对大肠杆菌的研究，可以发现大肠杆菌的觅食（即趋化）行为，主要分为以下几步：

- （1）大肠杆菌在自然环境中随机地游走，寻找可能的食物来源区；
 - （2）判断是否进入此区域，条件是如果营养富集则继续前进，进入此区域，反之，则改变移动方向；
 - （3）觅食，并适当翻转改变运动方向，向营养可能更丰富的区域内迁徙。
- 其迁徙的趋势如图 3-3 所示。

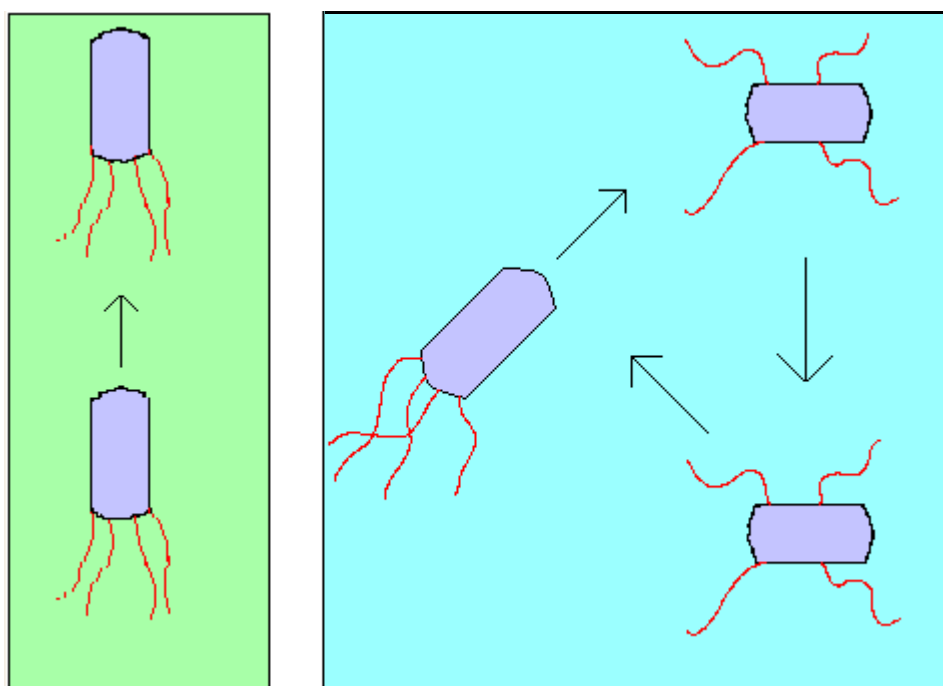


图 3-3 大肠杆菌的觅食迁徙趋势

3.2.2 细菌觅食优化算法模型

在 BFO 模型中，本文主要模拟了细菌的 3 个特性：趋化，繁殖和迁徙^[55,56]。

①趋化

趋化主要是指细菌对富营养化区域聚集的行为称为趋化性。在趋化的过程中，细菌通过翻转和运动两种方式，躲避对自身有害的物质，向着营养丰富的位置进行移动。为了便于分析，在细菌觅食算法中，将细菌的趋化觅食过程中状态更新公式可以简化为：

$$\varphi_i^{t+1} = rand() \quad (3.3)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + C(i)N(\varphi_i^{t+1}) \quad (3.4)$$

当细菌个体在执行时，则位置更新为：

$$X_i^{t+1} = X_i^{t+1} + C(i)N(\varphi_i^{t+1}) \quad (3.5)$$

其中, φ_i 表示由随机函数随机生成的任意角度, 用 i 来表示某个细菌在翻转时产生的翻转角; X_i 表示细菌个体 i 在完成一次趋化行为后的位置; $N(i)$ 是角度的标准化函数; $C(i)$ 表示细菌个体 i 游动的步长。

②繁殖与消亡

繁殖也称为复制。在繁殖时, 细菌根据各自的适应度进行排序, 适应度较好的一半细菌进行分裂, 在原位置上将会生成两个新个体。这些新的个体具有与上一代细菌相同的觅食能力, 而适应度较差的一半细菌个体将会死亡。

③迁徙

分散是细菌的第三个特性。细菌的趋化性能够提高局部搜索能力, 细菌的繁殖过程能够加快收敛速度, 但是这样容易陷入局部最优而出现早熟。在 BFO 模型中引入了分散机制。当细菌在完成若干代的繁殖后, 通过进行分散操作, 以一定概率将细菌个体驱散到空间的任意位置, 但是这种操作也有可能扼杀精英细菌, 引起“逃逸”现象。

3.2.3 细菌觅食优化算法流程

基于细菌觅食的原理, 提出了 BFOA 算法, 它的基本实现步骤如下:

①参数初始化

对 BFOA 算法中涉及的所有参数初始化。包括细菌种群大小 m ; 优化空间的维数 D (变量的个数); 个体 i 在解空间的位置 X_i ; 迭代次数 T_{\max} ; 细菌个体趋化、复制和迁徙过程的执行次数 N_c 、 N_{re} 及 N_{ed} ; 趋化步长 $C_{(i)}$; 分散概率 P_{ed} ; 细菌间引力深度 $attractd$ 和宽度 $attractw$; 斥力高度 $repellanth$ 和宽度 $repellantw$ 。

②趋化

首先根据 (3.3) 和 (3.4) 对每个细菌进行翻转操作, 确定翻转的方向后, 执行前进的操作并计算每个个体的适应值。通过比较细菌的前一个与后一个适应值, 在没有达到限制步数 N_s 时, 较好的则根据 (3.5) 在同同一方向继续进行, 并更新新的适应度的函数值。

③繁殖与消亡

根据细菌群体的适应值大小进行升序排序, 对前 $m/2$ 个体执行复制操作, 对排在后面的 $m/2$ 个体执行灭绝操作。

④迁徙

将细菌每一个个体以一定的概率重新在搜索空间进行初始化操作。

⑤检查终止条件

当迭代次数达到 T_{\max} 或最优解停滞不再变化时, 则输出最优解否则转到步骤②。

其细菌觅食优化的流程图如图 3-4 所示。

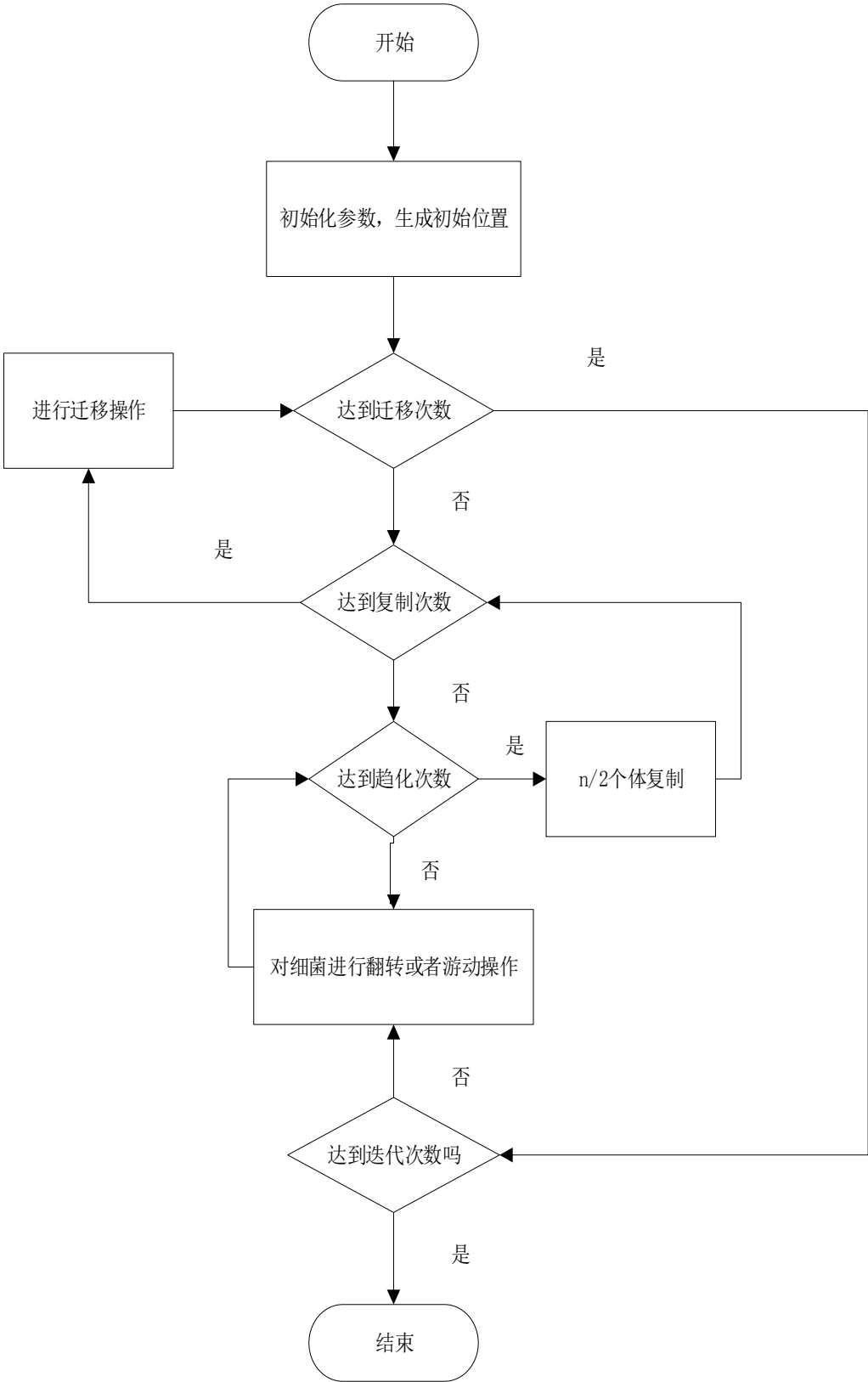


图 3-4 细菌觅食优化流程图

在细菌进行趋化时，趋化过程表示为细菌的一个活动周期，当活动周期结束

时细菌将处于最优状态，并依照优胜劣汰的进化规则进行复制。

复制过程即细菌的繁殖。复制时，状态或者适应度较差的一半细菌消亡，状态较好的一半细菌将一分为二并具有相同的特性，当复制结束后，细菌的总数保持不变，趋化与复制操作能够提高细菌的搜索精度和收敛能力。多次复制操作后，将细菌以一定的概率重新分散到任意区域，即迁移操作，可以避免早熟现象的发生。

3.3 粒子群算法的改进

精确算法适用于规模小，计算量小的问题，当研究的问题规模件较大时，一般计算时间较长，问题得不到及时地解决。传统启发式算法虽然可以解决规模较大的问题，利用时间少，但是容易陷入局部最优状态，所得的解也不一定是最优解；而现代启发式算法，不但可以解决大规模多约束的问题，而且提高搜索效率和解的质量。通过引入细菌觅食的思想，结合基本粒子群算法所形成的改进粒子群算法，一方面能够解决规模较大的问题，突破局部最优的束缚，而且能够提高搜索效率，提高解的质量，使之得到的解为最优或接近最优。

3.3.1 粒子群算法的改进路径

虽然粒子群算法有着概念简单、参数较少、容易操作，收敛速度快，求解效率高等众多优点，并且作为智能算法中的一个较新的分支，自从提出以来，就受到了广泛的关注，但是也存在着一一定的缺陷，其中最主要的一点就是对高维复杂问题进行优化时，存在着“早熟”的现象，这种缺陷严重制约了粒子群算法的实际应用。因此，为了克服粒子群算法的“早熟”现象，往往对标准粒子群算法做出改进，常用的改进途径主要有以下几种：

①收敛速度的改进

收敛速度的改进的主要方式是通过调整算法的基本参数，即惯性权重 w 和学习因子 c_1, c_2 。Eberhart 和 shi 的研究表明，惯性权重 w 对搜索范围和搜索精度有一定的影响，郭文忠等人提出了惯性权重进行自适应变化的策略^[55]，使粒子在寻优的过程中不断通过最优粒子的距离来调整惯性权重的值，该方法在多峰函数的寻优中效果显著。高尚等学者通过实验证明，在个体极值与全局极值不变的条件下，惯性权重 w 和学习因子 c_1, c_2 之间存在着一个三角形收敛区域^[56]。

②种群多样性的改进

种群的多样性主要的改进方式有空间邻域法和邻域拓扑法两种。拓扑结构是指整个群体中所有粒子之间的相互连接方式；而邻域结构主要指某个单个粒子与其他粒子之间的连接方式，决定了粒子之间信息的传递方式，体现出种群的多样

性。

③目标函数的改进

对于目标函数常见的改进方式有函数延伸法和动态目标函数法两种。Parsopoulos 的研究中表明, 为了避免算法寻优过程中返回已搜索到的局部最优值, 通过两步转化过程自适应的改变目标函数。Eberhart 提出了动态惯性权重的方法, 借助于噪声环境的存在克服算法的早熟收敛。

④通过混合算法进行改进

对粒子群算法进行改进也可以通过与其他算法混合来实现。通过混合的策略, 将两种算法的优点结合在一起以达到改进的目的。

总之, 为了克服“早熟”的缺点, 相关学者通常对算法的参数设置、拓扑结构以及通过混合算法对算法结构进行改进。而本文则是将细菌的行为机制中的趋化、繁殖、迁移算子引入到粒子群算法中, 提出了一种改进的措施。在保证收敛速度的条件下增强了粒子群算法的局部搜索能力, 以达到克服算法早熟收敛的目的。

3.3.2 改进粒子群算法的流程

针对 PSO 算法其迭代后期极易深陷部分最优, 收敛准确度低, 容易发散等不足, 国内外学者以基本 PSO 算法为基础从各个方面进行了改进, 涌现出了大量的研究成果。根据 PSO 算法的改进的多种方法, 对其分类如下:

①对粒子群优化算法中不同参数的创新的内容主要包含: 惯性比重的变换学习因子的更新, 群体规模的选用, 算法停止条件的设置等;

②和不同的优化算法连接, 扬长避短, 有着重点的更新, 构成混合算法;

③方法拓扑架构的创新, 其拓扑架构可以划分成全局以及局部两种, 能够按照这两种有分类的改进。

综合多种多样的 PSO 改进方法, 总结其重要目的有三个:

①增强群体多样性, 防止陷入“早熟”现象;

②加快算法收敛速度, 以满足实际问题需求;

③增强粒子的局部搜寻能力, 提升 PSO 算法的精度。

对家电物流配送车辆调度问题进行优化改进选择使用改进 PSO 算法, 选择此算法主要是基于以上目标进行有选择性的考虑, 提出了融合 PSO 算法自身的特性, 结合菌群算法的特点^[57], 在保障算法的寻优准确度的同时也保障了方法寻优的速度, 从而实现全局最优, 这是一种有效经济的方法, 也是目前该研究领域的热点问题。

基于粒子群算法, 防止粒子群算法早熟收敛以及陷入局部最优的现象, 本文通过引入菌群的复制、消亡与迁徙等过程 x_i , 增强粒子群法的寻优能力以及收敛

速度。为此，结合二者的优点，同时避免粒子群算法的早熟。其粒子群改进算法实现步骤如下：

①初始化。

设置改进粒子群算法中的参数，假设粒子群的个数为 m ，迭代次数 T_{\max} ，认知系数或学习因子 c_1 和 c_2 ，分散的概率 p ，搜索域为 $[Ud, Ld]$ ，粒子速度变化范围为 $[v_{\min}, v_{\max}]$ ，初始化开始粒子的位置和速度 v_i ，粒子个体的最优为 p_i ，粒子群全局的最优为 p_g 。

②计算个体的适应值。

通过计算个体的适应函数值，将个体的当前适应值和之前的适应最优值进行比较，如果当前的适应值优于之前的最优值，则更新粒子最优值和全局最优值，反之，则不进行更新最优值。

③个体状态更新。

对粒子的速度进行迭代进化。如果 $v_i > v_{\max}$ ，将当前速度更新为 v_{\max} ；若 $v_i < v_{\min}$ ，当前速度设置为 v_{\min} 。

④复制与消亡。

先按照粒子的适应值大小将粒子进行升序排序，将适应值较小的一半粒子进行复制，将适应值较大的的一半个体进行灭绝操作，并将淘汰个体中的历史最优值复制产生新的个体，将新个体的适应度值与其对应的历史最优值进行比较，然后更新粒子个体历史最优值以及全局最优值。

⑤迁徙操作。

将粒子以迁移概率 p 重新初始化到搜索空间的任意位置中。

⑥检验终止。

判断终止条件时，满足条件则退出搜索循环，反之则转到步骤②继续优化。

其改进粒子群优化流程图如 3-5 所示。

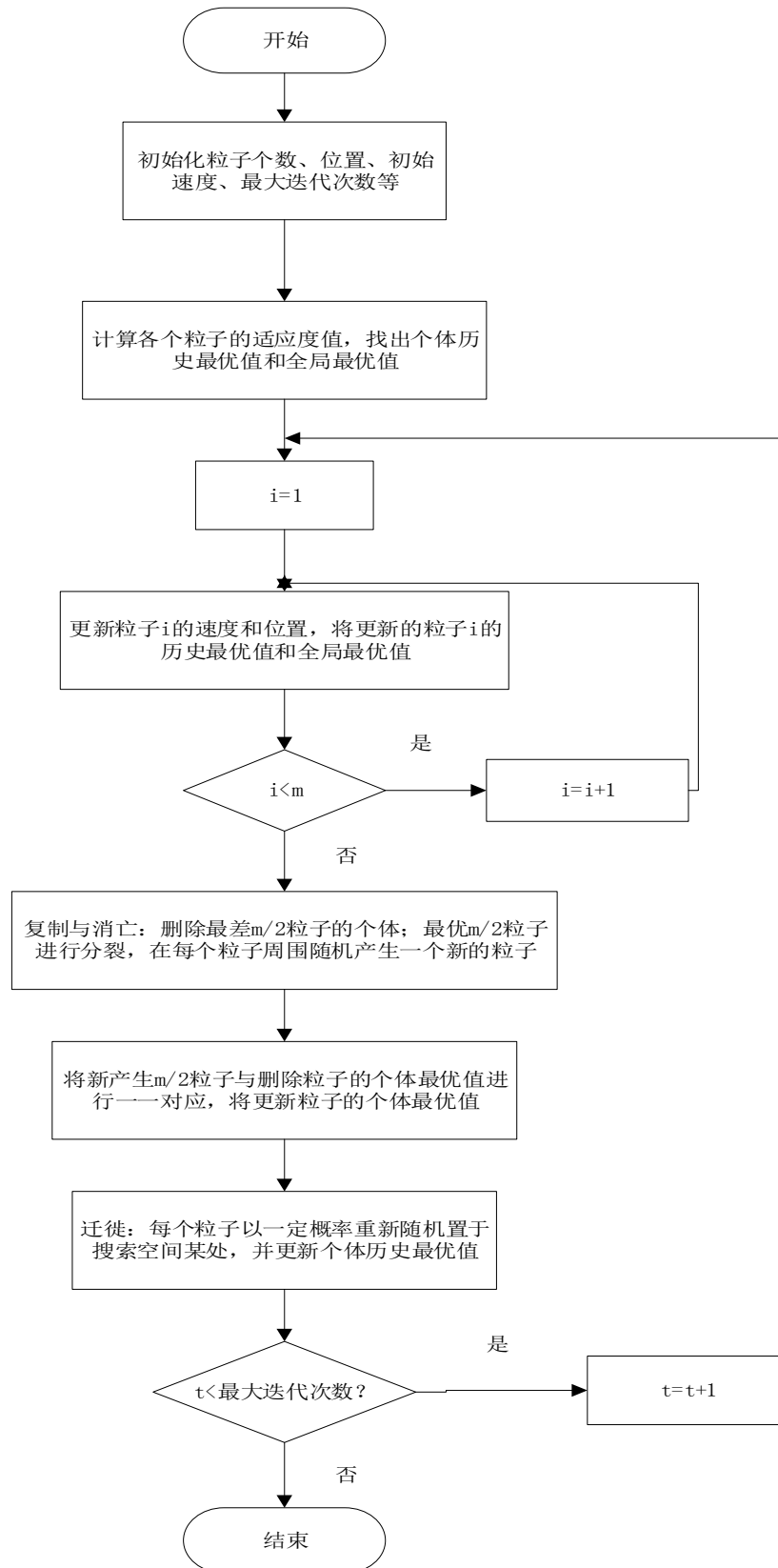


图 3-5 改进粒子群优化流程图

3.4 本章小结

本章主要介绍了粒子群算法的原理和存在的缺点、细菌觅食算法的原理等。为了防止粒子群算法早熟收敛以及陷入局部最优的状态，结合细菌群的复制、消亡、迁徙等过程，提出了一种引进菌群算法部分机制的改进粒子群算法，有利于使提升粒子群更优的寻优能力和收敛速度。

第四章 H 家电物流公司案例分析

4.1H 家电物流公司现状分析

4.1.1H 家电物流公司概况

H 公司成立于 1984 年，始终以实事求是的态度，历经三十多年的不断变革与创新，连续被评为全球大型家电物流第一品牌。目前，H 公司逐渐从家电产品生产制造型企业转型为面向全社会孵化创客的平台型企业。该公司主要由 SH.600690 和 HK.01169 两大上市公司组成，SH.600690 公司主要负责品牌制造服务，其目标是把产品销售到全世界，而旗下又分为：数字及个人产品集团 DPG、空调集团 ACG、装备部品 EPG、金融服务 CAP、以及住房产业等。HIG.1169 公司主要负责渠道、物流、服务，其目标就是把世界卖给中国。其旗下又分为：子公司物流、子公司售后、子公司 IHS、子公司电器、子公司 E 家、子公司乐家等，该集团共有 GE、三洋等七大品牌组成。

4.1.2 H 公司家电业物流现状

H 家电物流公司于 1999 年成立，在 2010 年纳入香港上市公司 1169.HK，隶属于 H 集团旗下的独立的第三方物流服务公司。而该 H 子公司紧抓互联网时代虚实网融合物流市场机会，融合营销网、物流网、服务网、互联网四网资源为一体，以高差异化的供应链解决方案，提升服务竞争力，实现客户与用户的最佳体验，打造互联网时代下虚实网融合物流第一品牌，并持续引领物流行业的服务标准。其先进的物流技术和管理理念得到政府和业界的广泛认可和一致好评，并分别从国家标准、技术、管理等领域树立行业标杆。此外还多次获得“中国物流百强企业”、“中国物流综合实力五十强企业”、“中国最具竞争力物流企业”、“国家重点物流企业”等殊荣，该公司先进的物流技术和管理也先后获得省、市科技进步一等奖，管理创新成果特等奖等荣誉。2016 年 H 子公司规模达到 75 亿，增幅 43%，发展势头相对较快。

H 子公司的定位是成为中国大件物流领导品牌，其发展历程先后经历了企业物流→物流企业→平台企业的转型。最初为企业物流 1999 年-2004 年，整合采购、配送、成品分拨，提出了以“三个 JIT”的速度实现短时间、近距离的配送。同时提出了“一流三网”的创新同步模式，被盛赞为“中国物流管理觉醒第一人”，并且提高了家电供应链一体化服务能力。2004 年-2010 年经过不断的颠覆转型为物流企业，从“卖服务”到“卖方案”，形成即需即送的物流网、全程可视的信息网，搭建社会化物流平台，提供供应链集成服务。2010 年至今进一步转型为平台

企业，从配送平台转化为交互平台，着眼于提升四网融合的竞争力、最后 1KM 送装同步和用户交互体验引领，提供高差异化的物流服务。H 企业的物流子公司依托领先的管理理念和先进的物流技术、整合世界一流的网络资源，搭建领先 1 公里的社群交互平台，建立开放的专业化和标准化的大件物流居家生活服务平台；H 企业始终坚持为用户创造最佳体验，目前 H 企业涉及的家具、卫浴、家电、健身器材等物流服务，通过行业互补为客户和用户提供无盲区全覆盖、可视一体化的专业物流服务。H 子公司物流是国内知名的能够进村入户的居家生活大件物流送装服务平台。

4.1.3 H 公司的物流管理体系

H 子公司在不断的转型中以及在物流领域的不断探索，已经形成了一套属于自己的独立的物流管理体系，并且也是开放的物流管理平台体系。从商流转入到物流后，一直在研究和摸索 H 子公司能够立足物流界超强影响力的根源和法宝。仓储配送中心的工作内容、配送总量、以及信息化的使用情况，结合 H 子公司仓储配送的经验，项目的业务内容可分为综合管理、仓储管理、运营管理、防损安全和质量管理等五个方面。综合管理含有设备管理、单据管理、行政管理、信息管理，仓储管理包含收退货、拣货、补货、分货/越库、发货管理，运营管理主要分为配送、装卸、车辆调度和客服管理。业务主流程分为：产品入库、仓储保管、帐务管理、产品出库、返单管理、费用结算。具体操作还要依据不同业务模式来制定项目操作流程与机制，B2B 业务运营相对较为简单简要流程为：首先根据商品订单号及核对订单信息后仓库使用 HLES3.0 系统扫描入库，入库后仓库做好产品保管以及质量安全的监控，每日进行 RF 盘点，保证帐卡物的一致性，线长根据客户订单进行 TMS 配车发运，货到客户后在终端 APP 上签收返单。B2C 项目简要业务流程为：商家到货订单到始发仓后，通过系统对接或者客户工作台导入订单，中心对接入的到货订单安排仓库扫描入库，始发仓再根据销售订单情况进行 TMS 线路配车，直配区域直接配车发用户送装签收，经网点区域由区配资源发至所在区县的网点处，网点再安排给用户送装一体。逆向操作按逆向流程网点取件返 TC 入库，TC 再发运至始发仓做不良品返厂或其它方式处理。

H 子公司以客户和用户为中心，通过智慧物流网、云店营销网和社区服务网的综合体系，建立领先 1 公里的价值交互平台，为用户提供全流程最佳场景体验。H 公司“你需要、我送到”的供应链解决方案，在大数据支持下，可以快速响应并满足终端用户的需求，只要“你需要”，无论用户身在城市还是农村，H 子公司物流都能“我送到”，通过为差异化的“极速送装无处不达”的解决方案，为用户提供极致体验。该公司在全国设立 30 个分公司，自主经营，自挣自花。以河

南分公司为例，举例说明该公司的组织架构和功能模块。河南区域对总部直属公司负责，其物流总部分为财务部、人力部、营销部、VMI、质量中心、审计、资源部（仓储资源部和配送资源部）、车小微、客服等团队组成。河南区域以郑州为中心来布局，共设立7个分拨中心即7个TC库，分别是郑州、商丘、洛阳、鹤壁、漯河、南阳、信阳，以郑州为分割点郑州、洛阳、鹤壁、商丘主要覆盖豫北区域，漯河、南阳、信阳主要覆盖豫南区域。每个TC的覆盖范围基于在0—200公里之间，这样有效的缩短了与客户和用户之间的距离，从而也拉短了配送里程范围，能够有效提升服务速度。也是基于此该公司目前可以做到24H限时达，超时免单的服务承诺。各个TC针对业务项目不同设立各个项目主管，主要含B2B主管、B2C主管、仓储主管、商务主管、线路经理等，其一线岗位主要有B2B线长、结算员、库存管理员、质量专员、B2C专员、行政专员等。各司其职，各尽其责，从终端员工到TC经理到当地小微总再到区域总最后到总部，采取倒三角的模式，逐步逐层倒逼问题的根源，尤其是资源的差，最终倒逼出总部资源平台流程机制的完善与修订，按月度 and 季度取KPI指标对差异进行关差与还原。因岗位较多，这里简述一下H公司小微总、TC经理、B2C专员三个不同岗位的岗位描述和权责价值，小微总横向KPI指标主要是市场竞争力目标，即外部社会化收入和社会化利润，纵向承接用户口碑、全流程客户体验、全流程用户体验、干线网络搭建。现代配送中心的物流经理必须具备以下几个基本素质：有极强的沟通和协调能力；具有较突出的个人技能；能正确评价和理解物流技术的发展；受过较专业的预算管理训练；具有较强的服务理念和服务意识，是一流的项目职业经理人。TC经理KPI指标取向中横向市场竞争力占比35%，其中包含全流程客户体验（零索赔）和用户口碑两项内容，纵向战略承接分为全流程用户体验、全流程交互、信息化签收、库存管理四项内容。B2C项目专员主要职责分为：客户满意度（零索赔）、配送准时率（主价值单）、不良品产生率、干线及时率、退货及时率和客诉率六大项内容。各个岗位分工不同各项KPI制定不同，但都围绕着一个大目标在走，那就是客户与用户的最佳体验。

针对物流体系的各项KPI绩效，H子公司用人理念是人，人即人才，赛马不相马，能者上庸者下，采取长板凳计划和后备鲶鱼机制，能够建立起健康的企业文化氛围。对物流的持续稳定发展起到了一定的促进作用。对新入职员工首先线上和线下同步培训企业文化，再者一对一师傅引导培训。对在岗人员，分为后备人才梯队、低绩效人员、转岗人员常规技能提升，主要目标为实现各项能力提升通用、专业、管理、创新等。具体措施利用并转化现有培训资源；拓展培训平台，启用先进的培训理念与培训方法；整合线上培训模式，全方位实现员工自主、自主学习；引进外部先进培训资源，拓宽视野；开展有趣、有效的互动方式吸引全

员学习。特色关键性项目有：物流讲师资源池扩大培训资源，给三高人员（即高能力、高业绩、高潜力）提供展现平台，教学相长，实现经营体员工综合能力增值提升；物流手机咨询平台利用彩信互动，将行业发展动态、最新资讯、优秀案例进行资源共享，给大家提供一个更加快捷、更加及时、更加有效的学习平台；线上学习平台引入线上培训，拓宽培训平台，提高员工自主学习的能力，使员工工学结合，提升个人竞争优势；引进外部师资培训利用外部专业的培训力量，全方位提升员工工作效率与专业素质，其中 Office 办公应用培训已启动，英语等其他培训项目已经开展；走出去-接轨全国性商务会议组织高层领导参与物流相关的峰会、论坛与会议，以便及时了解最新国家政策、方针、发展动态，学习并借鉴其他企业优秀案例，进而调整并完善发展战略，保持思想的与时俱进；开展专项培训项目根据业务转型需求，针对各部门特色业务，组织开展以提升专业技能为基本导向的专项培训等。

4.1.4 H 公司的物流运营现状

目前 H 子公司在全国拥有 15 个基地发运中心，9 个 VMI 原材料中心，103 个配送中心（TC），750 个 HUB 转运中心，3000 多条循环班车配送专线，60000 个车小微资源，7600 家社会化送装服务网点，1000 家居送装服务网点，可覆盖全国 2800 个区县及 48000 个镇用户服务 0 盲区，全国可调配车辆资源达到 16000 余辆，拥有 1500 多名专业的服务工程师，全国拥有 300 多万平米仓储面积。年物流运量已达到 4000 万立方以上。其自建物流园区已达到 18 个（含河南郑州、洛阳两个），自建园区面积已达 97 万平米，占地面积 3863 亩。是首家中国物流示范基地，首家国家级服务业标准化示范单位，AAAAA 级物流企业，中国物流百强居第 13 位。

H 子公司是大件物流行业唯一能全网络到村入户送装同步的物流服务平台。拥有“四网竞争力”。

第一，覆盖到村仓储网：全国三级 TC 网络布局，实现直配到镇，全国覆盖无盲区。依托生产基地、客户需求，建立辐射带动力强的区域物流中心，服务于社会各行业。

第二，按约送达配送网：上网进区、到村入户，实现“鼠标一点，送货到家”。首先构建了虚实融合物流服务一体化平台、干直发平台，包含 14 个 CDC 辐射全国的干线网；区域配送平台，包含 3000 多条循环班车专线；最后 1KM 服务平台，包含 6 万人车合一服务云终端。其次，以 H 子公司物流核心的系统必须满足精准、高效、快捷的方式，来增进用户体验、增强模式创新、“七定”服务标准化、服务创新、24H 按约送达、送装同步等要求。

第三，建立送装一体化服务网，建立最后 1KM 送装一体化高差异化用户体验

平台。H 子公司利用物流向前与营销网融合，建立产销一体化流通链条；利用物流向后与服务网融合，建立送装一体化服务模式，聚做三个零的目标：实现用户零抱怨、客户零积压、品牌零损失等。目前已经承接惠康、GE、爱仕达、HP、Acer、小鸭等 14 个品牌的售后服务。

第四，即时交互信息网：全流程可视化物流服务信息平台。实现社会化客户、用户的产品及定单的全流程服务信息可视化。H 子公司物流核心系统主要有商业智能分析、自动化仓库管理、订单全流程管理、GPS 实时跟踪、TMS 运输管理等。通过精准、高效的出入库与库内作业管理，然后订单实时通过系统按线路最优化配车指导进行配车，GPS 跟踪到每一辆车的运行状态，最终订单全流程节点预实差实时显示、预警报警。

4.2 H 公司物流现状分析

4.2.1 H 公司物流 PEST 分析

以 PEST 法从政治、经济、社会文化、技术四个方面对 H 公司做简要概述分析：

P 政治法律环境。国家出台了一系列相应的法律法规，如 921 交通法，限制了一些超长、超宽等不标准、不规范车型不能上路，促使物流市场向正规化、标准化的提速。也使一些非正规化的物流企业逐渐被淘汰或者被迫转型，也将会使整个物流业态提升到一个更好的高度。H 子公司在这个大环境下，依然严格来要求和规范自己，搭建标准化的、专业化的物流体系。本着真诚到永远的理念，为顾客提供安全、便利、快捷的服务，通过全员参与，最大限度的满足顾客的需求并不断的持续改进，努力建设成为一流的专业物流公司。其不但对本公司的业务拓展起到了良好的发展空间，同时也促使了国内物流行业在不断的进步与优化。

E 经济环境，物流业的发展与社会经济的发展息息相关。2014、2015 年随着经济的全球化发展，家电业在很大程度上受到一些了冲击，对物流业来说也是一次巨大的颠覆和挑战。但 H 子公司在这场危机中，为了适应火热的全球化疯狂浪潮，稳定和适应发展，抓紧了机遇，积极应对面临电商时代高频率的呼唤和紧张环境，最后化险为夷，在创新和实践中，搜索出来“OEC”管理模式、“人单合一”模式和“市场链”管理，加大网路力量布局，加强物流技术的不断升级，提高员工的竞争力，促使了 H 子公司能够在白热化的互联经济环境中找出一条引领大件物流的路子，且成为行业标杆。

近年来我国 GDP 一直在稳步提升，这也标志着中国经济发展水平的不断进步和提高，人民生活水平也在不断的提高，这也促使了家居行业市场的不断扩大，

自然国内物流市场需求也会逐步旺盛，从而也促使 H 子公司在为日后的发展和竞争中领先奠定了一定的基础。

S 社会文化环境。中国是一个人口大国，国内市场需求量较大。所以对本土的物流企业来讲肯定有一个很好的发展优势。近年来，随着人们生活水平的不断提高，现在都开始追求高品质的生活，人们不光是对产品的质量或者售后服务重视，对物流的速度和服务体验将会是更高一个层次的要求和意愿。所以说对物流行业来讲，也是一个促进，必将打掉那些原来那种粗糙、简单、非标准化服务的企业。H 子公司本着一切从用户体验出发的理念，建设自己的企业文化，创造资源，美誉全球，除了利用媒体和新闻等方式能够提高知名度，更是把用户的需求和企业服务交互起来，可以说这也是一种文化，也是 H 子公司的一个发展优势。只有不断适应人们的需求，方能不断向前发展。

T 技术环境。科教兴国、人才强国一直是我国教育的思想理念。对人才的重视，对技术的重视，可以说是任何企业都毋庸置疑的。H 子公司与各高校、各研究机构等一直都在研讨关于如何发展国内物流，降低成本，提效服务等等环节。H 子公司最早在物流技术上开发使用 HLES 物流条码扫描系统，之后又不断升级到 LHES2.0、3.0，包括到现在的 WMS3.0，在技术手段投入和系统研发上从未放弃过，相继推出 SAP、OMS、TMS、APP、EAI、HCSP、BMS 等一些先进的物流管理系统，通过这些技术手段能够让商家客户全流程看到产品的流通情况，让用户可以随时接收或查询到自己所购买的商品所处的位置，感受到无时无刻是在被服务中的。最终实现客户和用户享受的是全流程的信息化服务体验。

4.2.2 H 公司物流 SWOT 分析

H 子公司在物流业发展的十几年期间，占有一定的品牌优势，同时结合公司的大数据也抓住了历史发展的一些机会，竞争永远存在，威胁与机会一样永远存在。只有抓紧自己的优势，突破、修正自己的劣势，才能一直走在物流脚步的前端。以下通过 SWOT 法分析 H 公司的优劣势以及其所面临的机会和威胁。

①优势。以车小微切入，建立人车与用户自交互平台，并向移动电商转型。一切以用户评价付薪，自进入（一切资源无障碍进入）、自抢单（在线即时抢单/日结算）、自交互（用户即时评价交互）、自优化（用户评价即时优化）；H 子公司的差异化服务其不同于一般物流企业，因为有车小微移动电商平台，其也不同于电商平台，因为有面对面用户交互和端到端服务体验，可以做到深、快、好、轻，成就大件物流引领地位。深即网络深，全国零盲区覆盖，到村入户。快即速度快，3H 极速达，超时免单。好即体验好/价值交互，按约送达，送装同步；定制方案，增值交互。轻即轻资产，轻资产布局，全流程生态圈体系；开放的社会化

物流服务平台。别人做仓配服务，分割价值链（送产品，挣物流差价），H 子公司做全流程解决方案，做短价值链创造价值（黏用户，平台增值分成），可满足电商平台解决方案、品牌商解决方案、渠道商解决方案、行业解决方案；全流程可视化服务运营体系从订单管理-发货管理-配送管理-用户管理，H 公司采取开放的全流程可视化服务平台，使用智能预约、自动配车、线路规划、一路顺管家、全流程可视等一系列先进系统解决了预约难、配车难、监控难、成本高、用户不可视、人车用户交互差、差评还原不深入等许多难题，其核心服务产品有送装一体、按时送达、超时免单、当日达、夜间配、3H 极速达、开箱验机、预约取件、代收货款共八大物流核心产品。

②劣势。此公司是从原有的企业物流转型而发展起来的，如果不彻底抛开原有的解构模式就很难融进当今的大物流时代。H 子公司在当地区域虽配有当地的财务、人力、行政、售后等团队，但未充分发挥出自主经营的权利，一切主要还是看总部公司的决策和裁决，使当地的职能化缩小，同时也压制了的团队力量的迸发以及个人价值的展现，不能充分发挥当地小微的主动性和积极性，势必造成社会化业务的拓展或者导致物流发展缓慢。H 子公司未能和集团完全脱离出来，在面向复杂的社会环境下提供物流服务有一定局限性，别的家电产品品牌公司会有一定的抵触性，毕竟都是家电产品的商业竞争对手，也会因为此关系会让 H 子公司丧失掉一些本可以抓住的客户资源。

③机会。H 子公司专注物流已 18 年，在快速发展的互联网时代，抓住了电商移动互联的契机，自 2012 年开始专注和研究电商物流服务，经过两年的摸爬滚打和不断探索，2014 年实现了与阿里的合作，布局了全国无盲区的网络覆盖，从最初年承接的电商订单只有几万单发展到现在年订单几百万单，从最初的只做家电产品到现在的全行业、多渠道产品，从最初的一、二级市场配送到现在的送货到村、安装到户，业务规模可以说是猛速的增长，也正是抓紧了这次机会，才得以 H 子公司能够在短短的几年时间做到中国大件物流引领品牌。在目前国内物流行业还不是太成熟的情况下，H 子公司走在了最前沿，在未来的发展征途上只有不断创新才能保持良好的业态趋势。

④威胁。快速发展的电子商务时代，威胁与机会是并存的，有机遇就有挑战，尤其是对物流这个充满神奇色彩的行业。各大物流都在深入网络布局、自建物流园区、深耕四五级市场的送装一体、建立自己的物流体系。竞争是日趋激烈，但如果谁抓紧了用户，那个物流就会赢得市场。H 子公司必须始终如一的坚守自己的定位，并专注做有竞争力的社会化服务平台才能立于不败之地。

4.2.3 H 公司 STP 分析

H 子公司的战略目标定位是：基于物流的居家服务体验平台。目前转型方向分为三步：

第一步，做全、做强大件物流优势，提供大件全流程一体化解决方案，做到三全服务，全品类：家电、家具（含卫浴）、健康器材、骑行工具、全渠道（以线上撬动线下、线上线下库存共享）。全流程即前端揽收+干线+仓储+区配+送装+维修+增值。

第二步，做透中小件样板，实现中小件仓配一体化。其中互补品类有：快消、服装、小家电、3C 数码、汽车后、医药等，然后依托网络(仓配)、做大规模。

第三步，突破零担快运模式，做 B 端+C 端零担快运（分区试点）。通过两种方案，其一，网点转型，即成为揽货点、订单入口（以 B 端为主）；其二，接入和整合盛丰的干线、中转场优势资源。

H 子公司是在互联网时代抓住契机迅速发展起来的大件物流公司。一方面，基于长期以来关注和研究物流的发展方向和走势，有稳定扎实的物流基础和稳定的资源保障；另一方面，在于创新，创出属于自己的品质物流，创出符合时代发展的物流，做为平台型企业，担任着社会责任和时代赋予的使命，优化每个阶段的不同市场需求的流程机制，优化市场资源，逐步完善和制定符合国家标准标准化物流服务，做为大件物流的引领，贯穿整体的全流程物流服务体系。完全的抛开集团企业的约束，更加的自主，更加的开放，更加的服务用户体验，建立健全一套符合市场需求和用户最佳体验的有竞争力的供应链物流解决方案，增厚整体利润。

4.3 H 公司需要解决的问题

4.3.1 企业仓储布局及管理费用过高的问题

H 公司物流在全国设立 103 个仓储物流中心，2000 个 HUB 转运库，其初期布局为满足 H 公司家电业直配到乡到镇的需求而设立，满足乡镇 48 小时送达时效的需求。后期因为种种原因，H 公司对乡镇经销商大多采用县区代理管理配送的模式，其仓库物流布局已不符合互联网时代模式下的商品流转。由于仓库较多，多点存货，仓库间调货费用高、时效慢，库存共享难、型号冗余、综合库存额度大。据 2016 年统计，H 公司库龄产品超 30 天的共 119 万台，金额 15.9 亿，占比 61%，资金成本 1.3 亿/年，而且这个数量还在逐步上升，这无疑给 H 公司造成了极大的成本浪费。以河南区域为例展示 H 公司仓储及费用状况，H 公司以郑州仓储为 DC 分拨中心，下设 6 个转运 TC 库，分别是商丘、洛阳、鹤壁、漯河、南阳、信阳，

每个 TC 的覆盖范围基于在 0—200 公里之间，223 个 HUB 中转库，以 5 公里半径覆盖，每县区至少一家，其国内以及河南省内的仓储布局如图 4-1、图 4-2 所示：

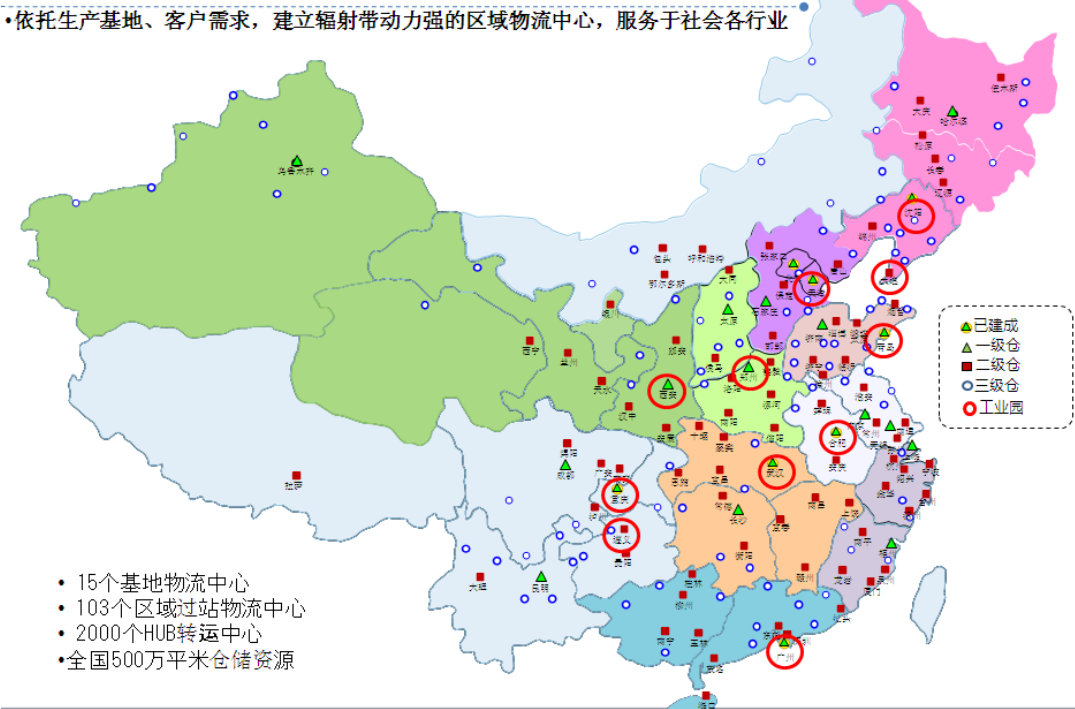


图 4-1 H 公司物流仓储全国布局情况

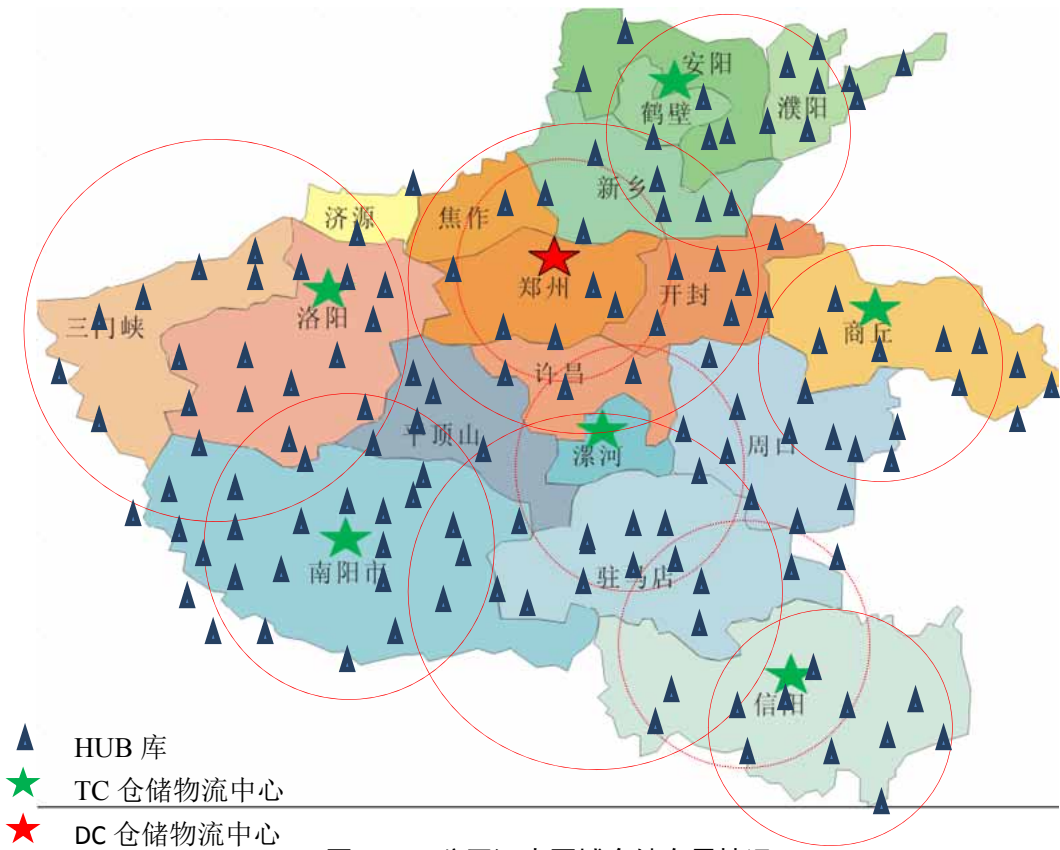


图 4-2 H 公司河南区域仓储布局情况

H 公司的物流仓储布局，从直观上很容易看出其大大缩短了与客户的配送距离范围（相对于 SN、JD 等家电仓布局，H 公司是其 2 倍以上的仓储数量），其优势在于常用货物能有效提高配送时效和提高货物的周转速度，尤其是 80 公里范围的客户可以做到 24H 送达，极大的满足了下行经销商客户的市场需求。但依据“牛鞭效应”，往往会造成较大库存，同时对于客户需求的长尾产品大部分需要郑州 DC 仓中转到下属 TC 再进行配送，造成时效和管理成本的浪费，也就是货量和仓储配备不均。具体货物配比量、仓储面积及支付费用如表 4-1 所示。

表 4-1 部分地区仓储配备费用

仓储	面积	月均货量（方）		月均仓储 费用（万 元）	月均出库 方数	月均入库 方数	月均装卸费 （万元）
		常规产品	长尾产品				
郑州	84152	31924	47886	151.5	79810	81517	72.0
漯河	18200	12000	3470	18.2	26637	26136	24.8
南阳	6320	19000	2490	7.6	11785	11706	11.9
鹤壁	7360	9532	990	7.4	9500	10500	9.8
信阳	5660	9000	900	5.9	10418	11279	11.7
商丘	6000	9100	1000	7.6	9996	9999	10.3
洛阳	12111	16121	1580	21.6	16985	17233	16.9
合计	139803	106677	58316	219.7	165131	168370	157.4

4.3.2 企业配送中车辆配货及装卸时效低的问题

H 公司济源 DC 库 7.2 万平仓储，设立 6 个库房，为满足配载率，H 公司单车配货平均需要经过 4 个库房转站，其装载率和装载时效如表 4-2 所示。

表 4-2 车辆装载率和装载时效。

车型	平均装载率	平均转站库房数	平均装卸时长
17.5 米	95%	6	3.0H
9.6 米	92%	4	1.2H
6 米	90%	3	0.5H
4.2 米	99%	2	0.3H

从此表 4-2 可以看出，H 公司车辆在装载率较合理的情况下，转站库房较多，装卸时长较长，可能在线路规划和装配顶点设计上不合理，造成成本上升。

4.3.3 企业商品运输过程中路径优化问题

H 公司在区域运输配送的过程中，往往配送车辆需要达到多个卸货点，目前 H 公司的配送员大多是依据以往经验来进行路线规划，但由于突发事件及配送员更换等问题，H 公司没有一个有效的配送路径，目前 H 公司家电业物流共有配送线路 177 条，平均每月结算的配送费用大约 450 万，这无疑是一笔不小的费用支出，

如何优化这些配送路径，从中节约成本提高效率，对 H 公司来说极为重要。例如周口区域的鹿邑县和郸城县线体距离商丘 TC 较近，可由原来的漯河 TC 配送切换到商丘 TC 配送，平顶山区域的汝州、宝丰、郏县线体距离洛阳 TC 相对较近，可由原来的漯河 TC 切换到洛阳 TC 配送，通过线体路径的整合优化，这样不但可以大大缩短与客户的距离，提高配送时效，还可以降低公司的运营成本。

此外，还有物流配送中心建设化不够完善，有待提高，家电物流配送中心的建设没有统一的标准，尚且存在许多不规范和不完善的地方。比如物流配送中心车位和装卸平台的不标准容易造成内部运输车辆运输效率低下等。

最后，由于配送多方面的原因，物流配送的及时性差，造成服务满意度较低。主要原因在于送货的准确性、安装的及时性、配送的路况选择等。

4.4 本章小结

本章主要介绍了 H 物流公司的概况、现状以及在物流配送过程中主要存在的问题，为下文对于物流配送过程中车辆调度问题的优化提供了依据。

第五章 改进粒子群算法在家电配送车辆调度问题的应用

5.1 H 家电物流配送车辆调度问题的数学模型

5.1.1H 家电物流配送的基本流程

结合 H 家电物流的作业对象的单品价值普遍较高、配送季节性波动较大、需要高度的网络布局、物流业务与订单管理直接相关等特点，进行家电物流的配送时，根据订单和居民需求量情况，划分配送区域，结合配送车辆的容量，确定车辆数量，并在满足合理时间和最小配送成本的情况下，初步设计几种合理的家电物流的配送顺序，然后进行方案的比较与选择，其操作一般步骤如下所示。

①划分配送区域。收集客户的地理位置信息，并按照客户的需求划分一定的配送区域，并根据人口的数量和交通条件的情况作相应的调整。

②确定车辆的配载。将不同的货物进行分类，根据货物的大小，分别由不同配载的车辆完成配送。

③初步设定车辆配送的顺序。根据客户的需求以及客户要求的配送时间合理规划路径和配送车辆，提高配送效率。

④合理安排配送车辆。确定配送车辆时要根据车辆的装载能力和客户的需求以及时间窗等限制条件，选择适当的配送方式。

⑤完成最终的配送顺序和车辆配载方案的选择。

通过 H 家电物流配送车辆调度问题的分析，结合改进粒子群算法，增强群体多样性，防止陷入“早熟”现象、加快算法收敛速度，以满足实际问题需求、增强粒子的局部搜寻能力，提升算法的精度，在基本粒子群的基础之上，引入的菌群的复制、消亡与迁徙等过程防止粒子群算法早熟收敛以及陷入局部最优的现象。为了简化分析，将家电物流配送车辆看作是一个个粒子，其速度、方向受配送需求点的影响，其流程主要分为初始化配送车辆的速度和位置、计算配送车辆的适应值、配送车辆的状态更新、复制与消亡、迁徙操作、检验终止等。

5.1.2H 家电物流车辆调度模型构建

时间窗下的家电物流车辆路径问题是一般的车辆路径问题与家电物流配送特点结合而形成的。带时间窗的家电物流运输车辆调度问题可以描述为：假设在某一家电物流公司的配送仓库中，有 K 辆配送的车辆，其容量分别为 $q_k (k=1,2,\dots,k)$ ；现有 L 个发货点需要进行配送，其中 $L=1,2,\dots,L$ ；第 i 个任务点的需求量假设为 $g_i (i=1,2,\dots,L)$ 且满足 $(g_{i\max} \leq q_{i\max})$ ，要求各个客户需求点仅由一辆车进行服务； T_i 表示配送任务 i 时需要的时间，而任务点 i 必须在规定的窗口 $[ET_i, LT_i]$ 内完成

配送，其中 ET_i 为完成配送任务 i 的开始时间， LT_i 表示完成配送任务 i 时的允许最迟结束时间。假如配送车辆在 ET_i 之前到达任务点，将会增加等待成本，如果在 LT_i 之后完成配送，将会增加惩罚成本。

①问题约束

车辆路径问题实际上是配送车辆在家电物流的仓库和客户需求配送点之间的调度问题。从前面的车辆调度问题中已经介绍了对车辆进行调度时受多种条件的约束，随着约束条件的不同所建立的模型也不尽相同。本文研究的家电物流车辆调度问题结合带时间和车辆容量约束的路径问题，这也是当今物流行业针对配送效率方面竞争的需要解决的主要问题。此外，该模型对车辆的载重进行了限制。其具体的前提条件和约束条件如下所示：

②前提条件：

- (1) 家电物流的配送仓库已知，客户配送点的位置已知；
- (2) 客户的需求量也是已知的；
- (3) 仓库到各个客户配送点以及各个客户配送点的距离已知；
- (4) 送达客户的货物可以进行混装；
- (5) 仓库物流配送中心有相当大的货运运输能力。

③约束条件：

- (1) 假设只有一个配送仓库；
- (2) 每一条配送线路起点都是仓库物流中心，在配送点完成配送任务后，最后返回到仓库中心；
- (3) 每个配送点都只能由一辆车进行配送，但每辆车可以为多个配送点配送；
- (4) 所有物流配送的车辆型号都一样，即载重量相同；
- (5) 每条配送路径上各个配送点的配送量之和不超过配送车辆的最大载重量。
- (6) 运输车辆在满足客户的需求时，尽可能使总费用最小化。

④建立的数学模型如下所示：

定义自变量：

$$y_{ki} = \begin{cases} 1 & \text{任务 } i \text{ 由车 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5.1)$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 从点 } i \text{ 行使到点 } j \text{ 进行服务} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5.2)$$

带有时间窗的目标函数为：

$$\min Z = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijk} + p_E \sum_{i=1}^l \max(ET_i - s_i, 0) + P_L \sum_{i=1}^l \max(s_i - LT_i, 0) \quad (5.3)$$

车辆容量约束：

$$s.t. \sum_i g_i y_{ki} \leq q_k, \forall k \quad (5.4)$$

要求访问每个客户需求点：

$$\sum y_{ki} = 1, i = 1, 2, \dots, L \quad (5.5)$$

每个客户需求点被一辆车访问：

$$\sum x_{ijk} = y_{ki}, j = 0, 1, 2, \dots, L; \forall k \quad (5.6)$$

$$\sum x_{ijk} = y_{ki}, i = 0, 1, 2, \dots, L; \forall k \quad (5.7)$$

消除子回路：

$$X = (x_{ijk}) \in S \quad (5.8)$$

变量取值范围：

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1; i, j = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k$$

$$y_{ik} = 0 \text{ 或 } 1; i = 0, 1, 2, \dots, L, \forall k$$

在上述式中：建立的数学模型，所使用的变量定义为：用 0 配送仓库表示，有 K 辆配送车辆，其容量分别为 $q_k (k = 1, 2, 3, \dots, K)$ ；现有 L 个客户需求点，1, 2, ..., L 表示各客户需求点的编号；假设第 i 个任务点的任务量为 $g_i (i = 1, 2, \dots, L)$ ，其中点 $i (i = 0, 1, 2, \dots, L)$ 表示各配送任务点。其中 c_{ij} 表示从点 i 到 j 的运输成本； s_i 为配送车辆到达任务点 i 的时间； P_E 表示配送车辆提前到达任务点的单位时间成本，由此增加的时间等待成本可以表示为 $P_E * (s_i - ET_i)$ ； P_L 表示晚点送达的单位处罚成本，由此增加罚金成本可以表示为 $P_L * (LT_i - s_i)$ 。

此外，在上述模型中：式 (5.4) 表示在每条配送路径都限制由一辆配送车辆完成配送任务；式 (5.5) 保证了每个配送点都得到配送车辆的服务；式 (5.6) 限制了各任务点的配送任务只能由一辆配送车辆完成；式 (5.7) 为了消除局部的回路。在上述的约束条件下，满足总费用 Z 最小。

5.2 改进粒子群算法在车辆调度问题中的应用

5.2.1 粒子编码

在模型求解中，为了避免生成过多的无效解，对个体进行自然数编码。在物流配送过程中有 M 个配送点的配送任务需要完成时。假设每个粒子即代表一个可行解，并用 M+1 维向量来表示，用 0 表示配送仓库，并且要求每辆配送车辆都从仓库出发，则 2-M+1 维表示配送点的服务顺序。比如在有 8 个客户配送点的 VRP 中，粒子可表示为 $x(0, 4, 2, 1, 7, 5, 3, 6, 8)$ ，即为一条配送路径。

5.2.2 粒子进化方式

为了适应整数编码，本文在个体进行学习时，采用交叉操作，并对粒子的进化过程做了简单修改，删除速度等式。即将粒子的进化式修改为：

$$x_{id}^{k+1} = c(p_{id} - x_{id}^k) + c(g_{id} - x_{id}^k) \quad (5.9)$$

式中 c 表示为交叉算子,并在进行交叉操作过程时,随机选取父代个体编码的30%,取整后遗传给下一代的个体。

5.2.3 改进粒子群算法车辆调度模型步骤

基于改进粒子群算法的原理,求解车辆调度问题的具体步骤如下:

①初始化参数

初始化种群的大小为 m ,需要配送的任务点数量为 L 。对每个粒子的位置信息进行初始化时,每个位置向量 X 的第一个分量为1时,其余分量为 $2-L$ 的自然序列的随机排序。得到的排序则是一条车辆的配送路径,也是问题的一个可行解。设种群迭代次数为 T ,本算法中设迭代次数 $T=200$;设车的容量为 g 。

②计算初代的适应度值

计算每个粒子的适应度值。粒子在初代时,每个粒子的当前位置即为其个体历史的最优位置,个体的适应度值为其历史最优的适应度值。区域内所有的粒子中适应度值最优个体所在的位置,即为当前粒子全局最优位置。

在计算每个粒子的适应度值时,车辆将按照单个粒子路径顺序进行调度以便进行配送服务。当到达配送点 i 并且无法容纳配送点 i 的货物时,配送中心将发送第二辆车。第二辆车继续从配送点 i 开始运送。当所有货物交付后,每辆车都在自己的配送路径内进行优化,以此优化自己的配送路径。然后计算所有车辆分配路径的总和就是粒子的适应度值。

③粒子进化

每个粒子根据上述公式进行迭代进化。随后更新粒子的个体历史最优值、最优位置及全局最优位置等信息。

④复制与消亡

粒子在迭代进化过程中,对粒子每隔10代粒子进行复制和消亡操作。所有粒子都按当前时刻的适应值进行排序。删除其适应度值较低的 $m/2$ 个体,并复制适应度值较高的前 $m/2$ 个体。将适应值高的一半个体进行复制操作来产生新的个体。

⑤迁移操作

如果粒子迭代演化,所有粒子每隔50代就会迁移一次。假设 $P=0.1$ 是粒子可能迁移的概率。对每个粒子生成0到1之间的随机数。如果生成的随机数小于 P 时,则粒子将在搜索空间中随机再生一个新的位置。

⑥检验是否符合结束条件

如果当前的迭代次数达到了事先设定的最大次数 T 时,则迭代停止,输出最优解,反之转到步骤②继续进行操作。

其基于改进粒子群算法来求解车辆路径问题的流程如图5-1所示。

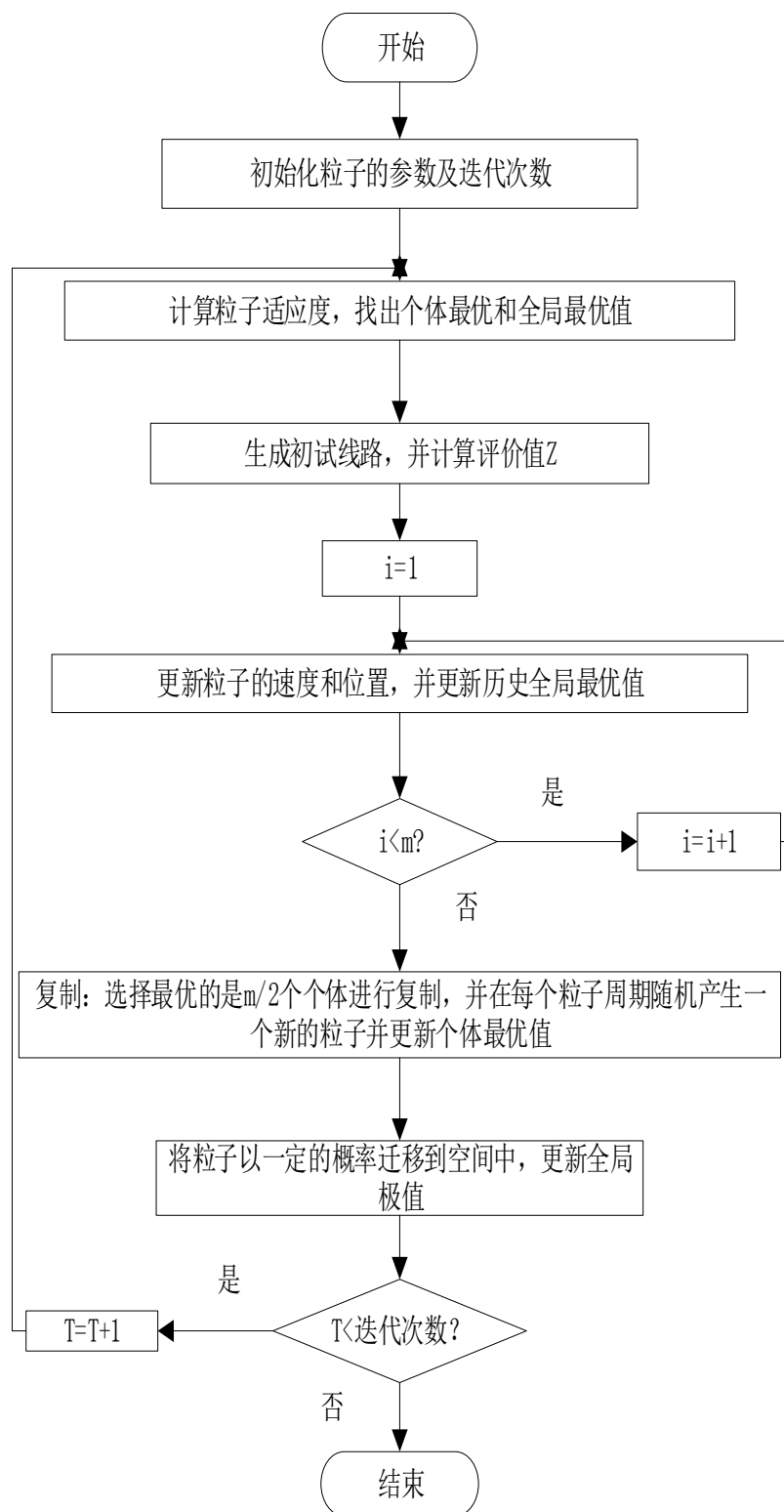


图 5-1 车辆调度问题改进后的算法流程图

5.3 实验仿真与结果分析

为了验证算法的有效性, 对文献 VRPTW 的案例进行实验分析。本文结合 H 家电物流公司现阶段存在的问题, 做出了一定的分析。为了方便计算, 假设 H 物

流公司在济源市内，某一配送阶段有 8 个任务点、1 个配送仓库、3 辆运输车辆，并且假设每辆车的装载量相同为 8t，每个任务点的需求量、装卸货的时间以及任务点的时间窗 ET、LT 的要求如表 5-1 所示。比如客户需求任务点 1，货运量为 2t，配送时间为 1.1 个小时，要求从接单到收货最早到达时间为 1 小时，最晚到达时间为 4 小时。

表 5-1 各货运点的货运量及时间窗

任务序号	1	2	3	4	5	6	7	8
货运量	2	1.5	4.5	3	1.5	4	2.5	3
配送时间	1.1	2.1	1.1	3.1	2.1	2.5	3	1
时间窗	1, 3	4, 5	1, 2.5	4, 6	3, 6	2, 5	5, 8	1.5, 4

配送仓库与各需求点之间的距离如表 5-2 所示，其中用 0 表示仓库，而 1, 2, ..., 8 数字表示各任务点。

表 5-2 仓库与任务点以及各任务点之间的距离

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	34	56	82	95	220	110	145	95
1	34	0	60	40	100	65	75	110	60
2	56	60	0	75	110	100	75	80	75
3	82	40	75	0	100	50	85	90	140
4	95	100	110	100	0	100	80	75	100
5	220	65	100	50	100	0	80	90	85
6	110	75	75	85	80	80	0	85	100
7	145	110	80	90	75	85	70	0	90
8	95	60	75	140	100	85	100	90	0

在配送过程中，假定配送车辆以某一固定的速度匀速行驶，并且在有效时间窗范围之外的惩罚单位成本和等待单位成本都为 60，即 $PE=PL=60$ 。然后对该案例分别运用遗传算法、粒子群算法以及本文提出的改进粒子群算法三种方法进行计算。在运算前，本文假设将参数最大迭代次数设为 200，群体的规模设为 100，并分别计算 50 次，其计算结果如下所示。

当假设参数最大迭代次数的为 200 时，三种算法的进化迭代对比如图 5-2 所示。从图中可以看出，三种算法随进化迭代次数的增加，当前最优值都呈现递减趋势，三种前期递减速率都较快，之后，随着迭代次数的增加，运用遗传算法，最优值将趋于平缓，标准粒子群法和改进粒子群法的趋势走向近似，随着迭代次数的增加，当前最优值逐渐减小，但是改进粒子群算法比标准粒子群算法和遗传算法的

最优值都小。

三种算法的运行结果对比如表 5-3 所示，三种算法的最优解都为 950，改进粒子群的平均行使成本小于基本粒子群算法，粒子群算法的平均行使成本小于遗传算法。改进粒子群算法的搜索成功率大于基本粒子群算法，基本粒子群的搜索成功率大于遗传算法。改进粒子群算法的平均耗时小于基本粒子群算法，基本粒子群算法平均耗时小于遗传算法。

表 5-3 三种算法运行结果对比

算法	最优解	平均行驶成本	搜索成功率 (%)	平均耗时
遗传算法	950	993.5	66	11.21
基本 PSO	950	980.4	85	6.63
改进 PSO	950	963.9	90	5.26

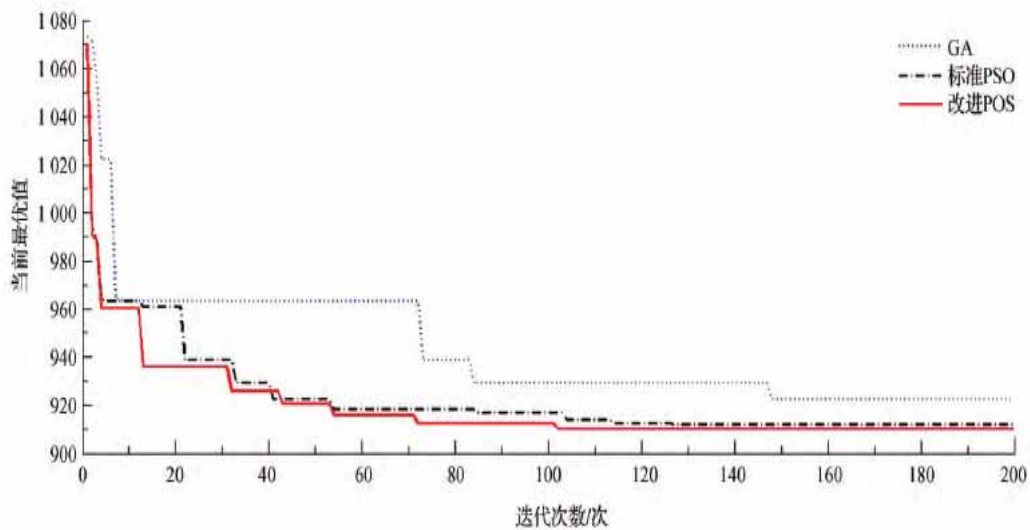


图 5-2 三种算法的进化迭代对比

因此，通过对比计算可以得到如下结果，在满足成本最小，时间最短的限定条件下，最优配送路径为：车 1 为 0→3→1→2→0；车 2 为 0→6→4→0；车 3 为 0→8→5→7→0；此时总行驶配送成本为 $Z = 950$ 。

总之，通过对 H 物流公司的某案例进行分析，从运行结果和三种算法进化迭代对比可以看出：利用遗传算法进行搜索时，搜索效率相对较低，平均耗时和平均行驶成本较高，并且难以得到最优解；通过对比可以发现，利用标准粒子群算法进行计算时，收敛速度相对较快，但是后期的搜索精度就会下降，容易陷入局部最优状态。而改进粒子群算法与标准粒子群相比，在搜索效率和精度上都有着明显的提高，由此，证明了本文提出的改进粒子群算法在车辆调度优化问题方面

的求解效果更好。

5.4 本章小结

本章首先结合实例进行了 H 物流公司配送车辆调度方面遇到的问题，引用改进粒子群算法，并通过仿真，对上述的算法进行了分析比较。仿真结果表明了改进后的粒子群优化算法比标准的粒子群优化算法。

第六章 结论与展望

6.1 研究结论

本文对物流配送车辆的优化调度进行了理论分析。通过分析细菌种群算法和标准粒子群优化算法的原理，提出了一种改进的粒子群优化算法，并提出了一种用于家电物流配送车辆调度的优化算法。

本文通过研究学习得到以下收获：

首先，通过混合策略，将两种算法的优点结合以达到改进的目的。将微生物行为机制中的趋化、繁殖、迁移算法引入到粒子群算法中，提出一种改进措施。在保证收敛速度的条件下增强粒子群算法的局部搜索能力，可以达到克服算法早熟收敛的目的。

其次，针对标准的粒子群优化算法的早熟收敛和容易陷入局部最优，将细菌种群的复制，消亡和迁移引入到标准粒子群算法中。可以有效地克服了传统算法的“早熟收敛”和局部最优问题。

然后，以 H 企业现状为基础，将 PEST 分析法、SWOT 分析法、STP 分析法融入到家电物流配送企业中。通过对以上三种分析法的运用找到家电物流配送企业所存在的各类问题。为以后的家电物流配送企业寻找自身问题，提供了有效可行的分析办法。

最后，结合 H 企业物流配送车辆调度存在的问题，将提出的改进粒子群算法与标准粒子群算法进行仿真分析计算，对比分析后证明本文提出的改进粒子群算法对改进 H 企业物流配送车辆调度存在的问题有着显著效果。其收敛速度更快、求解精度也更高，为车辆调度问题的优化提出了一种新的方法。

6.2 研究展望

本文对家电物流配送车辆调度优化问题做出了初步探讨，针对标准的粒子群优化算法的早熟收敛和容易陷入局部最优，将细菌种群的复制，消亡和迁移引入到标准粒子群算法中，能够在一定程度上解决传统算法的“早熟收敛”和局部最优问题取得了一定成果，但仍存在不足之处，后续研究可从以下三方面做出改进：

①未结合 GPS、GIS 等先进技术进行实时动态优化。在本文研究中，两点间距离采用欧式距离（即地理坐标上两点间直线距离），而在实际情况中，两点间实际路程距离往往受到诸多因素影响，与欧式距离相去甚远，引入 GPS 导航所得距离更符合实际情况。另外，本文研究假设均认为道路情况正常，而实际情况中需考虑交通是否拥挤、路况是否正常等问题，采用 GIS 系统可以进行实时的动态车辆调度，可以进一步提高路线优化效率。

②模型优化算法可进一步改进。本文采用的菌群混合粒子群算法虽取得较好优化结果,但随着车辆调度优化问题的复杂化,为使优化结果更加符合实际情况,相应算法也应进一步优化。

③本文结合 H 企业家电物流配送车辆调度问题,对家电物流配送车辆调度问题进行优化改进选择使用改进 PSO 算法,提出了融合 PSO 算法自身的特性结合菌群算法的特点,在保障算法的寻优准确度的同时也保障了方法寻优的速度,从而实现全局最优,这是一种有效经济的方法,但是所选取的数据样本不够大,代表性不够强,后续可将该模型运用更多的算例进行验证性研究,将理论算法与工作中的实际问题进行结合,以保证所提处的模型的可靠性和有效性。

致 谢

时间过得飞快，不知不觉间两年的研究生生活已经即将结束。在这期间我始终怀着一颗求知与感恩的心面对身边的人与事。在此，我想对那些在研究生期间给予我帮助、引导、激励的人表达我最诚挚的谢意。

首先要感谢我的导师梁喜教授以及陈亚莉工程师，他们在我论文的写作直至最后的定稿，都付出了大量的时间和精力。在我整个研究生生涯中，我深受老师们的关心和爱护。老师的谆谆教导深深的鼓舞了我。在生活中老师们总是对我关怀备至，在学习上老师们为我指点迷津，能师从梁喜老师，我深感庆幸。在这里向老师们再次表达我最诚挚的敬意和感谢！

其次我也要向这两年我所有的授课老师表达深深的感谢，你们精彩绝伦的授课使我受益良多，更使我养成了多角度思考问题的良好习惯。再一次向所有的授课老师表达我最忠诚的感谢！

最后也是我最要感谢的还是我的父母，是他们给予了我毫无保留的支持，使我能够顺利完成学业。

参考文献

- [1] John F. Growell. Service capability and performance of logistics service providers[J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2004, 40(5):385-399.
- [2] 迈克尔·波特著. 陈小悦译, 竞争优势[M]北京华夏出版社, 2001:1-31.
- [3] Clark F E, Weld L D H. Marketing agricultural products in the United States[J]. 1932.
- [4] 郝凝兰. 大型企业的选择——自营物流[J]. 市场周刊(新物流), 2008, (8):56-57.
- [5] 李泽. 典型家电连锁销售企业物流模式的综合评价比较分析[J]. 物流工程与管理, 2014, 36(2):33-34.
- [6] 孙苓菲. 国美物流运作模式的研究[J]. 商场现代化, 2017, (4):69-70.
- [7] 罗文丽. 家电物流突破可期[J]. 中国物流与采购, 2012, (11):25-27.
- [8] 申家星, 程建. 家电制造企业物流外包策略及实施研究[J]. 物流科技, 2011, 34(09):6-9.
- [9] 金彩红. 我国家电企业物流模式的问题与对策[J]. 东方企业文化, 2015, (16):126+128.
- [10] Dantzig G B, Ramser J H. The Truck Dispatching Problem[J]. Management Science, 1959, 6(1):80-91.
- [11] Bodin L, Golden B. Classification in vehicle routing and scheduling[J]. Networks, 1981, 11(2):97-108.
- [12] Miliotis P, Laporte G, Nobert Y. Computational comparison of two methods for finding the shortest complete cycle or circuit in a graph[J]. RAIRO – Operations Research, 2011, 15(3):233-239.
- [13] Bernadet C, Touron-Poncet H, Desrosiers C, et al. Invertebrate distribution patterns and river typology for the implementation of the water framework directive in Martinique, French Lesser Antilles[J]. Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems, 2013, 65(408):01.
- [14] 罗鸿斌. 多车场多车型车辆调度问题的改进粒子群算法[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(7):251-253.
- [15] 王征, 胡祥培, 王旭坪. 行驶时间延迟下配送车辆调度的干扰管理模型与算法[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(2):378-387.
- [16] 刘家利, 马祖军. 存在车辆租赁及共享且有时间窗的多配送中心开环 VRP[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(3):666-675.

- [17]陈钢铁, 帅斌. 震后道路抢修和应急物资配送优化调度研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(9):166-171.
- [18]李坤, 唐立新, 陈树发. 多集装箱堆场空间分配与车辆调度集成问题的建模与优化[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(1):115-121.
- [19]殷脂, 叶春明. 多配送中心物流配送车辆调度问题的分层算法模型[J]. 系统管理学报, 2014, 23(4):602-606.
- [20]刘波, 李砚. 应急物资车辆调度的鲁棒双层优化模型[J]. 系统工程, 2016, 34(5):77-81.
- [21]蔺宇, 徐天依. 循环取货带有时间窗约束的入库道口车辆调度[J]. 工业工程与管理, 2015, 20(1):28-33.
- [22]王永, 杨晓洁, 胥冬川等. 基于禁忌遗传算法的邮政运输车辆调度问题[J]. 系统工程, 2014, 32(8):102-109.
- [23]陈钢铁, 帅斌. 基于模糊网络和时间依赖的应急车辆调度优化研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(8):171-176.
- [24]曹夏夏, 唐加福, 刘黎黎. 基于集划分的精确算法求解机场接送车辆调度问题[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(7):1682-1689.
- [25]白春华, 周宣赤, 林大超, 等. 消除 EMD 端点效应的 PSO-SVM 方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(5):1298-1306.
- [26]P. Y. Yin, J. Y. Wang. Optimal multiple-objective resource allocation using hybrid particle swarm optimization and adaptive resource bounds technique[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2008, (216):73-86.
- [27]李润求, 施式亮, 念其锋, 等. 基于 PSO-SVM 的煤矿瓦斯爆炸灾害风险模式识别[J]. 中国安全科学学报, 2013, 23(5):38.
- [28]陈荣, 梁昌勇, 陆文星, 等. 基于季节 SVR-PSO 的旅游客流量预测模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(5):1290-1296.
- [29]烟贯发, 张雪萍, 王书玉, 等. 基于改进的 PSO 优化 LSSVM 参数的松花江哈尔滨段悬浮物的遥感反演[J]. 环境科学学报, 2014, 34(8):2148-2156.
- [30]龙文, 梁昔明, 龙祖强, 等. PSO-LSSVM 灰色组合模型在地下水埋深预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1):243-248.
- [31]姜明辉, 袁绪川. 个人信用评估 PSO-SVM 模型的构建及应用[J]. 管理学报, 2008, 5(4):511-515.
- [32]郑灿赫, 孟广伟, 李锋, 等. 基于 PSO-DE 混合算法的结构可靠性优化设计[J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2014(9):41-45.
- [33]潘少伟, 梁鸿军, 李良, 等. 改进 PSO-BP 神经网络对储层参数的动态预测研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(10):52-56.

- [34]张永革,石季英,张文等. 复杂遮阴条件下光伏系统 MPPT 控制改进 PSO 算法仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, S1:39-46.
- [35]傅强, 胡上序, 赵胜颖. 基于 PSO 算法的神经网络集成构造方法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004, 38(12):1596-1600.
- [36]李松, 刘力军, 刘颖鹏. 改进 PSO 优化 BP 神经网络的混沌时间序列预测[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(6):245-248.
- [37]肖智, 李玲玲. PSO-SVM 在高速公路交通量预测中的应用[J]. 管理评论, 2011, 23(12):32-37.
- [38]孙斌, 姚海涛. 基于 PSO 优化 LSSVM 的短期风速预测[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5):85-89..
- [39]行鸿彦, 邹水平, 徐伟等. 基于 PSO-BP 神经网络的湿度传感器温度补偿[J]. 传感技术学报, 2015, 06:864-869.
- [40]杨帆, 胡春平, 颜学峰. 基于蚁群系统的参数自适应粒子群算法及其应用[J]. 控制理论与应用, 2010, 27(11):1479-1488.
- [41]张万绪, 张向兰, 李莹. 基于改进粒子群算法的智能机器人路径规划[J]. 计算机应用, 2014, 34(2):510-513.
- [42]李松, 刘力军, 翟曼. 改进粒子群算法优化 BP 神经网络的短时交通流预测[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(9):2045-2049.
- [43]包广清, 毛开富. 改进粒子群算法及其在风电系统中的应用[J]. 控制工程, 2013, 20(2):262-266.
- [44]章杰宽, 朱普选, ZhangJiekuan, 等. 动态粒子群算法优化灰色神经网络的旅游需求预测模型研究[J]. 管理评论, 2013, 25(3):60-66.
- [45]黄震. 混合量子粒子群算法求解车辆路径问题[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(24):219-223.
- [46]Bodin A, Bäckdahl H, Gatenholm P, et al. Process for producing vessels containing bacterial cellulose:, EP2079845[P]. 2014.
- [47]Golden B, Bodin L, Doyle T, et al. Approximate Traveling Salesman Algorithms[J]. Operations Research, 1980, 28(3):694-711.
- [48]T.G. Agitha. Trademark Dilution - The Indian Approach[J]. Social Science Electronic Publishing, 2008.
- [49]Yaşar M, Kiracı K, Kayhan S, et al. A Concentration Analysis In The Turkish Domestic Air Transporation Industry using with CRm and Herfindahl-Hirschman Indexes[J]. 2017, 16(3):687-704.
- [50]张倩, 鲁渤, 杨华龙. 物流配送车辆路径问题的鲁棒优化方法[J]. 系统科学与数学,

2017, 37(1):79-88.

- [51]王旭坪, 张珺, 易彩玉. B2C 电子商务环境下订单拣选与配送联合调度优化[J]. 中国管理科学, 2016, 24(7):101-109.
- [52]周梦, 李芳. 基于云平台下的快递业车辆调度优化问题研究[J]. 物流工程与管理, 2016, 38(8):49-51.
- [53]张婷, 赖平仲, 何琴飞, 等. 基于实时信息的城市配送车辆动态路径优化[J]. 系统工程, 2015(7):58-64.
- [54]唐金环, 戢守峰, 沈贵财. 时变网络下考虑碳排放的车辆路径优化[J]. 系统工程, 2015(9):37-44.
- [55]郭文忠, 陈国龙, 陈振. 离散粒子群优化算法研究综述[J]. 福州大学学报, 2011(5):631-638.
- [56]高尚, 汤可宗, 蒋新姿等. 粒子群优化算法收敛性分析[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(12):1625-1627.
- [57]Passino K M. Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control[J]. IEEE Control Systems, 2002, 22(3):52-67.