

# 考虑减排强度的社区团购中心仓选址研究

## ——以云南省为例

刘倩, 童瑶莹

云南财经大学物流与管理工程学院, 云南 昆明

收稿日期: 2024年12月17日; 录用日期: 2025年1月9日; 发布日期: 2025年1月22日

### 摘要

随着环境保护意识的增强和绿色物流理念的推广, 低碳发展逐渐成为各界关注的焦点。针对社区团购冷链产品的“网络中枢”中心仓选址优化问题, 本文构建了以总成本最小化和碳排放强度最小化为双重目标的决策模型。在模型中引入碳排放强度等约束条件, 通过加权处理兼顾成本与碳排放的优化需求, 实现不同目标的单位和数量级差异消除, 并提供动态调整的可能性。为求解该模型, 本文采用遗传算法, 最后结合实际数据对云南省某社区团购仓配网络体系进行优化分析。结果表明: (1) 在云南省设立昆明、曲靖、红河和大理四个中心仓库为最优方案; (2) 企业可依据低碳权重的不同设置, 调整选址配置方案以更贴合社会发展的低碳导向。研究结论指出, 该模型通过双目标优化兼顾碳排放和成本, 能为社区团购网络体系的优化提供有效的借鉴。本文所建立的模型和设计的算法具有较好的实用性, 可为不同区域的社区团购冷链产品提供低碳导向的选址优化决策支持。

### 关键词

社区团购, 冷链产品, 减排强度, 双目标模型, 遗传算法

# Research on the Site Selection of Community Group Buying Center Warehouses Considering Emission Reduction Intensity

## —A Case Study of Yunnan Province

Qian Liu, Yaoying Tong

School of Logistics and Management Engineering, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming Yunnan

Received: Dec. 17<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 9<sup>th</sup>, 2025; published: Jan. 22<sup>nd</sup>, 2025

文章引用: 刘倩, 童瑶莹. 考虑减排强度的社区团购中心仓选址研究[J]. 统计学与应用, 2025, 14(1): 171-181.  
DOI: 10.12677/sa.2025.141017

## Abstract

With the growing awareness of environmental protection and the promotion of green logistics concepts, low-carbon development has gradually become a focal point of attention across various sectors. Focusing on the optimization of the “network hub” central warehouse location for community group buying of cold chain products, this paper constructs a decision-making model with dual objectives of minimizing total costs and minimizing carbon emission intensity. The model incorporates constraints such as carbon emission intensity, and through weighted processing, it balances the optimization needs of cost and carbon emissions, eliminating the differences in units and magnitudes of different objectives, and providing the possibility for dynamic adjustments. To solve this model, this paper employs a genetic algorithm, and finally, it optimizes and analyzes the warehouse distribution network system of a community group buying in Yunnan Province using actual data. The results indicate that: (1) Establishing four central warehouses in Kunming, Qujing, Honghe, and Dali in Yunnan Province is the optimal solution; (2) Enterprises can adjust the location configuration plan according to different low-carbon weights to better align with the low-carbon orientation of social development. The research conclusion points out that the model, through dual-objective optimization, considers both carbon emissions and costs, and can provide effective reference for the optimization of community group buying network systems. The model established in this paper and the designed algorithm have good practicality and can provide decision support for low-carbon-oriented location optimization of cold chain products for community group buying in different regions.

## Keywords

Community Group Buying, Cold Chain Products, Emission Reduction Intensity, Dual Objective Model, Genetic Algorithm

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在全球化和城市化的背景下, 电子商务的迅猛发展带动了物流行业的快速扩张。社区团购作为新零售模式的一种创新形式, 以其便捷性和高效性迅速受到消费者的欢迎。然而, 社区团购“最后一公里”的配送问题, 尤其是中心仓的选址问题, 成为制约社区团购可持续发展的关键因素。根据国务院印发《2024~2025年节能降碳行动方案》, 我国计划通过提高交通运输等各领域的效率, 减少重要行业的二氧化碳排放量。如何在确保配送效率的同时减少碳排放, 成为物流行业面临的重要挑战。基于上述背景, 本文旨在探讨在考虑碳排放强度的基础上对社区团购“网络中枢”中心仓选址进行布局优化, 达到降低物流成本的同时进行社区团购的可持续发展进而提高企业的市场竞争力。

冷链产品的选址问题一直是学术研究热点之一。吴暖等人提出了冷链物流中心选址的新目标和评价指标体系, 他们引入了偏向度计算方法, 量化了备选方案的偏向情况[1]。蒋鸿羽等人提出了一种两阶段优化方法, 结合P-中值法构建了中心仓选址优化模型, 然后, 通过ArcGIS平台的网络分析功能, 对网格仓选址进行优化[2]。Singh等考虑冷链运输过程中的产品价值损耗, 建立了一种考虑服务距离限制的冷库选址-分配问题的混合整数线性规划(MILP)模型[3]。Moreno *et al.*等假设需求量、供应量不确定, 以成本最小为目标, 建立基于情景的随机规划模型[4]。Boonmee C等人在考虑输入参数不确定性的情况下, 提

出了救援物流中的综合设施选址问题、库存问题和分配问题, 所提出的模型侧重于最小化响应时间和计划预算[5]。霍非舟等人建立了一个考虑运输损耗的应急物资储备库选址模型, 使用百度地图和 OSM 路网数据, 应用 NSGA-II 算法求解模型[6]。李宗坤等人提出了一种基于危险度评价指标体系, 新的溃坝洪灾避难场所选址评价模型, 并运用了改进突变评价法[7]。吴迪等人为降低岛上物资需求不确定对物流网络稳定性的影响, 将中心岛选址数量纳入决策, 以系统总成本最小化为目标, 建立了海运物流网络选址-库存-路径优化模型[8]。易海燕等人调研了社区团购供应链模式并建立了考虑新鲜度损耗的混合整数选址模型, 借助蚁群算法设计两阶段求解模型[9]。

此外, 随着减排理念的广泛推广, 国内外众多专家展开了考虑减排效率的冷链优化研究。Chibeles 等考虑利润最大化和环境影响最小化建立了绿色供应链决策模型, 并利用基于模拟退火的多目标元启发式算法(MBSA)进行求解[10]。韩建军等人针对粮食运输的低碳需求, 构建了轴辐式多式联运网络枢纽节点选址-路径优化模型, 并设计了改进遗传算法进行求解, 为实现粮食低碳高效运输提供了有效的方法[11]。徐泽水等人在货损成本函数中引入病毒感染风险货损因子。基于此, 建立以配送总成本最小化为目标的冷链车辆低碳路径优化数学模型, 设计基于自适应大领域搜索的遗传算法(ALNSGA)求解[12]。鲍春玲等人针对冷链物流配送路径问题, 提出了考虑碳排放的联合配送路径优化模型, 并通过改进遗传算法求解, 发现联合配送方式在降低配送成本和碳排放方面具有明显优势[13]。樊自甫等人构建了考虑冷链配送中心制冷成本与碳排放成本的选址模型[14]。施瑾等人针对“最先一公里”问题, 构建了考虑减排效率的多目标决策优化模型, 设计了改进的 NSGA-II 算法求解模型[15]。王旭坪等将时空距离度量融入初始路径构造中, 构建了考虑碳排放与时空距离的冷链配送路径优化模型, 设计了一种两阶段启发式算法进行求解, 然而, 目前兼顾减排与社区团购中心仓布局优化的研究依然处于少量阶段, 同时考虑成本和碳排放的目标, 实现经济效益和环境效益的双重效果[16]。通过数学建模和算法的结合, 能够为实现低碳环保的物流体系提供支持。

综上所述, 社区团购冷链产品低碳化是社区团购行业急需解决的问题, 而降低社区电商“网络中枢”产运环节冷链设施制冷能耗是实现低碳供应链的有效方法。现有研究多集中于单一模式的物流配送, 缺乏对多模式、多目标的综合考虑。本文考虑碳排放强度对社区团购冷链产品“网络中枢”——中心仓的选址及规模、数量等的影响, 构建双目标模型, 分别以中心仓总成本最小与碳排放强度最低为目标, 利用权重赋值将其转换为单目标函数, 再以遗传算法(GA)进行求解。

## 2. 问题描述及建模

### 2.1. 问题描述与相关假设

社区团购平台由于创立时间与发展历史的演变, 根据社区团购平台的经营和发展属性分为三个大类: 第一类是各地域本土社区团购平台, 以满足同城居民日常生活需求为主, 在各自的地盘耕耘多年, 有稳定客源基础和供货渠道; 第二类以兴盛优选为代表的老牌社区团购平台, 其特点为成立时间早、消费者体量大、覆盖区域广、供应链配套完善; 第三类是以美团优选、多多买菜、叮咚买菜为代表的互联网巨头自营的社区团购平台, 这些平台依靠互联网巨头自带流量、执行效率高、市场影响力大[17]。

根据上述三大类型对社区团购模式统计归纳为四种, 如图 1 所示, 本文选取模式四也是当下人们多采用的各个巨头社区团购供应链流程。在四级仓配体系中, 商品先由供应商发往共享仓或者直接发至中心仓, 完成初步分拣后再发往网格仓, 经由细分后送至团长处。本文假定企业仅考虑从中心仓到网格仓再到团长(团长到消费者可忽略不计)的总成本以及碳排放效率。即社区团购冷链产品“最后一公里”是包括“中心仓-网格仓-团长”的三级物流网络[18]。冷链产品的物流网络考虑需要功能上具有制冷效果以保持产品的新鲜程度的中心仓, 使其可以存放、加工处理来自共享仓的冷链产品, 并将其运往各个区域

内的多个网格仓进行下一流程网络的运输。由于中心仓在进行恒温控制保证冷链相关产品质量的过程中会导致二氧化碳的大量排放。因此, 本文对中心仓的制冷成本, 运输车辆的运输量和运输距离方面进行考虑, (即在省域范围内进行中心仓选址以及中心仓数量的确定) 以使得社区团购冷链产品“网络中枢”——中心仓的总成本最小和碳排放强度最小。

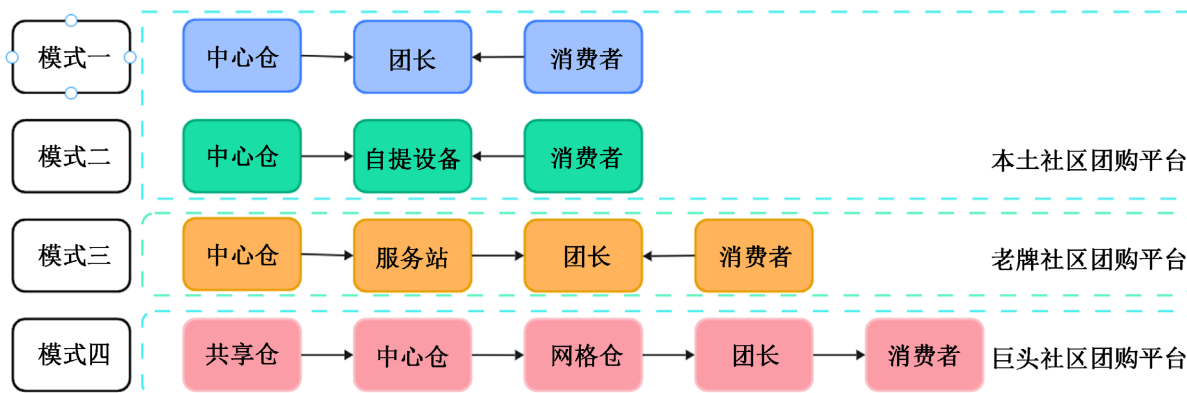


Figure 1. Community group buying model  
图 1. 社区团购模式

为了更准确地分析问题, 现针对该模型设定以下假设条件:

- (1) 假定中心仓采用单一的制冷方式, 且所有冷链产品的温度均被控制在同一范围内(同时, 运输车辆亦采用单一的制冷方式);
- (2) 日均到达中心仓的冷链产品数量采用平均值进行估算。
- (3) 鉴于中心仓仓储阶段存储时间较短, 故在此阶段不考虑货物损耗。
- (4) 从中心仓至网格仓以及网格仓至团长的供应链运输车辆均选用相同类型; 同时, 从预冷站至冷藏配送中心的所有运输车辆亦选用相同类型, 且所有运输车辆均保持匀速行驶。运输过程仅考虑距离和速度因素, 其他情况不予考虑。
- (5) 假定中心仓的租赁成本(按年计算)为固定值。
- (6) 碳排放量仅与冷链产品的运输量和运输距离相关。
- (7) 为便于计算运输过程中产生的碳排放量, 以各市级中心点作为“网格仓”位置, 以确定中心仓至网格仓的运输距离。
- (8) 假定中心仓之间的容量差异可忽略不计, 因此中心仓的碳排放量为固定值, 仅与中心仓的数量呈正相关关系。
- (9) 本模型的运输过程仅代表日常运输情况, 不考虑突发情况下的应急运输成本。

## 2.2. 中心仓选址模型构建

本文以最小化中心仓总成本  $F_r$  和碳排放强度  $F_c$  为目标函数, 构建了相应的数学模型。其中, 中心仓总成本涵盖冷链产品的运输成本  $C_1$ 、中心仓运营成本  $C_2$ 、货损成本  $C_3$  以及碳交易成本  $C_4$ 。具体模型表述如下:

$$\min F_r = \min(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) \tag{1}$$

$$\min F_c = \min \frac{CE}{GDP} \tag{2}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{r \in R} X_{rj} \geq 1, X_{rj} \leq Y_r, \forall r \in R, \forall j \in J \\ \sum_{r \in R} Y_r = K, X_{rj} \in \{0, 1\}, Y_r \in \{0, 1\} \end{cases} \quad (3)$$

目标函数(1)表示最小化中心仓总成本; 目标函数(2)表示对碳排放强度的定义。式(3-4)为约束条件表示各需求点有且仅有一个中心仓为其服务以及中心仓备选点数量约束(至少选择一个中心仓); 且(4)式 $Y_r$ 为0~1变量, 经过计算总成本确定是否选用 $r$ 点作为中心仓, 当 $Y_r = 1$ 说明备选点 $r$ 被选中, 否则未选中, 具体 $\sum_{r \in R} Y_r$ 的取值与实际情况有关, 最小为1;  $K = \{1, 2, 3, \dots, k\}$ ,  $k \in P$ 。

#### 1) 货损成本 $C_1$

货损成本取决于货损量, 与冷链产品的新鲜度和单价有关。一般认为, 社区团购冷链产品的货损主要发生在运输阶段。假定货损量的大小与运输货物总量成正比, 通过货损量与货物运输总量的比值可以得到货损率。为方便计算, 货损率取常数, 货损成本计算公式为:

$$C_1 = \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \varepsilon_3 \varepsilon_1 d_r^j Q_r^j X_{rj} \quad (4)$$

其中:  $C_1$ 为年货损成本, 元;  $\varepsilon_3$ 为运输过程中的货损率, %;  $R$ 为中心仓备选点集合,  $r \in R$ ;  $J$ 为所有网格仓的集合,  $j \in J$ ;  $d_r^j$ 为第 $j$ 个网格仓到第 $r$ 个备选中心仓的距离;  $\varepsilon_1$ 为单位货物的运输费率, 吨/公里;  $Q_r^j$ 为第 $j$ 个网格仓在第 $r$ 个中心仓备选点的需求量;  $X_{rj}$ 为中心仓对网格仓的服务情况,  $X_{rj} = 1$ 说明选择中心仓备选点 $r$ 为网格仓 $j$ 服务,  $X_{rj} = 0$ 说明备选点 $r$ 未被采用。

#### 2) 运输成本 $C_2$

$$C_2 = \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \varepsilon_1 d_r^j Q_r^j X_{rj} \quad (5)$$

其中:  $C_2$ 为年物资运输成本, 元。

#### 3) 中心仓相关成本 $C_3$

中心仓的相关成本包括租赁成本(/年)、与单量相关的可变成本(包括人工、水电以及建造材料成本等), 可变建设成本与共享仓的订单量成正比。

$$C_3 = \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} (A_r + \delta_r) Y_r \quad (6)$$

$$\delta_r = a(1 + P_r) \quad (7)$$

其中:  $A_r$ 为中心仓备选点 $r$ 的租赁成本, 元/年;  $\delta_r$ 为第 $r$ 个中心仓备选点与单量相关的可变成本, 元;  $a$ 为中心仓的人工运营费, 元/年;  $P_r$ 为备选点 $r$ 所在地区的选址权重(与该市级人均GDP有关);  $Y_r$ 为0~1变量, 经过计算总成本确定是否选用 $r$ 点作为中心仓, 当 $Y_r = 1$ 说明备选点 $r$ 被选中, 否则未选中, 具体 $\sum_{r \in R} Y_r$ 的取值与实际情况有关, 最小为1。

#### 4) 碳排放成本 $C_4$ , 碳排放量 $CE$

碳排放成本与中心仓制冷功能相关的碳排放量(根据设定, 只与中心仓个数有关)和在其至网格仓运输相关的碳排放量有关。

$$CE = S \sum_{r \in R} Y_r + 365e Q_r^j d_r^j \quad (8)$$

$$C_4 = \gamma CE \quad (9)$$

其中:  $\gamma$ 为碳税, 单位: 元/t;  $e$ 为平均每日运输过程的单位碳排放量, 单位: kg/t-km;  $S$ 为固定容积中心仓所产生的年碳排放量, 单位: 个/t; 碳排放强度 = 碳排放量/GDP。

### 2.3. 双目标的处理

由上述可知, 模型具有双目标函数, 为便于模型的计算, 我们考虑将两个目标的单位消除, 并设  $\omega$  为低碳目标的权重值, 称为低碳权重, 取值为  $\{0\sim 1\}$ 。因此目标函数  $F_r$  和  $F_c$  可以用下式表达:

$$\min \omega F_r + (1 - \omega) F_c = \omega \frac{F_r}{F_r^*} + (1 - \omega) \frac{F_c}{F_c^*} \quad (10)$$

其中  $F_r^*$  和  $F_c^*$  分别表示单一成本目标的最小化成本值和单碳强度目标的最小化碳强度值。

## 3. 案例分析

本文以 xx 巨头社区团购企业在云南省内的供应链条体系(即模式四)为研究对象, 进行考虑减排效率的仓配网络节点选址的“网络中枢”优化分析, 即在云南省范围内结合现有设施进行中心仓的个数及选址优化。

### 3.1. 中心仓选址基础数据

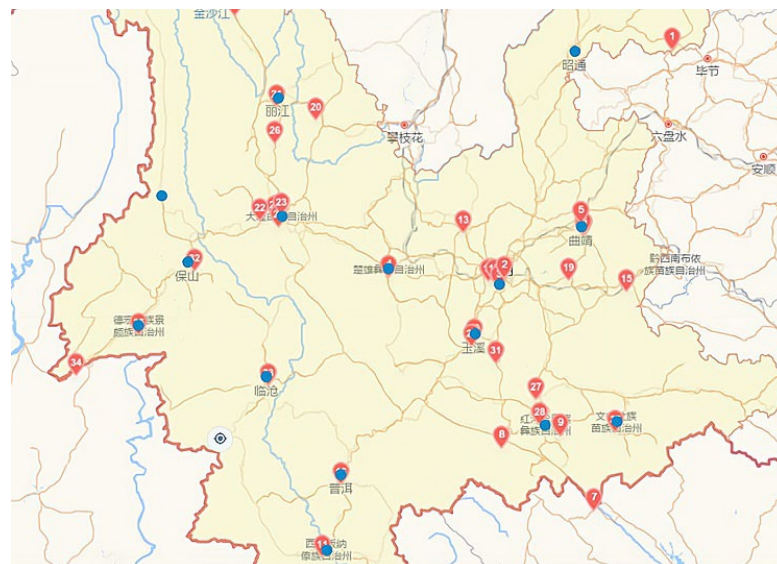
截至 2023 年 8 月, 全省 12370 个行政村(社区)。据统计, 现存中心仓平均面积多为 2 万平方米, 覆盖周围 200 公里左右的 40~70 个网格仓, 每个网格仓一般覆盖周围 5~10 公里范围的 300~500 个团长。即按每个中心仓可服务社区数量 2400~7000 个计算, 则需建立 3 或 4 个中心仓。截至最新的数据, xx 巨头社区平台在云南省设有 3 个中心仓位置, 分别是: 昆明、曲靖、玉溪。为提升用户体验以及简化中心仓到网格仓的运输过程, 可将中心仓的选址数量扩大至 4 个, 并对这两种方案选址进行对比分析。

现将各市级的中心点作为网格仓位置简化实例, 共计 16 个, 分别记为  $j_1$ 、 $j_2$ 、 $j_3$ ... $j_{16}$ 。

中心仓备选点筛选条件为:

1. 仓库面积在一万五平方米与三万平方米之间;
2. 仓库位置处于交通便捷处, 临近主干道;
3. 具备冷藏条件或能够使用冷藏设备。

按照上述条件筛选出了 37 个中心仓备选点, 分别记为  $r_1$ ~ $r_{37}$ 。所涉及中心仓  $r$  以及网格仓  $j$  的相关信息见图 2 和表 1、表 2。



**Figure 2.** Involves the alternative points of the central warehouse, and the grid warehouse represents the distribution of points  
**图 2.** 所涉及中心仓备选点, 网格仓代表点分布图

**Table 1.** The specific location coordinates of the candidate points in the central warehouse  
**表 1.** 中心仓备选点具体位置坐标

编号	中心仓备选点	lng (高德经度)	lat (高德纬度)
1	华业肉联有限公司	104.864598	27.45131823
2	昆明宝象万吨冷储物流有限公司	102.886839	25.03309765
3	明品福云南东盟国际冷链物流中心	102.8232907	24.93423966
4	滇驰冻品批发超市	101.5223601	25.04858118
5	曲靖传丰食品有限责任公司	103.787748	25.62524827
6	祥达祥瑞花园	103.8225249	25.50028342
7	大驰物流	103.9431954	22.53605695
8	万园之园食品有限公司	102.8487719	23.21277513
9	双利枇杷冷链物流分拣中心	103.5442809	23.3391568
10	磨憨口岸国际快件监管中心	101.6970186	21.21693146
11	西双版纳合发商贸有限公司	100.7445039	22.0206074
12	相源冷冻食品配送中心	104.4138973	28.62225839
13	武定县食品公司	102.4033246	25.52644684
14	金豪美食汇	103.8201712	25.49703104
15	云南罗平古邑食品有限公司	104.3210871	24.90071085
16	普洱综合物流园	100.9600495	22.81683212
17	阮家村物流	102.76435	25.00441449
18	晨悦	102.6955884	25.00561519
19	汇全冷冻食品批发	103.6501301	25.01141859
20	三川实业	100.6723183	26.71613812
21	众合冷冻食品	100.210077	26.85273196
22	漾濞县文智现代农业开发有限公司	100.0054235	25.65154655
23	冷冻食品	100.2603476	25.71216872
24	云南四方街商贸有限公司	100.2257	25.58658006
25	大理石秀野蔬菜专业合作社	100.1833776	25.67938354
26	鹤庆县茧丝公司盛锋制丝厂	100.1834004	26.47058126
27	开远市生猪定点屠宰厂	103.2570641	23.73085285
28	红河红产绿色食品投资有限公司	103.3003729	23.46342981
29	云南玉溪凤凰生态食品有限责任公司	102.5044341	24.30895885
30	云南鸿丰商贸有限公司	102.5407806	24.36302068
31	通海县坤宏冷库	102.7918965	24.12544108
32	隆阳区天缘屠宰加工厂	99.23728704	25.11793912
33	临沧市临翔区农产品交易批发市场	100.1116884	23.88827603
34	瑞丽市东一牲畜交易屠宰有限公司	97.84454905	23.9964616
35	新农缘生态农业发展有限公司	98.57662925	24.4270871
36	香格里拉松茸园区	99.71384805	27.80767258
37	云南鲜锋冷链物流中心	104.1941016	23.38077628

### 3.2. 中心仓选址权重和参数设置

由于网格仓的代表选取的是各市级的中心点,但由于各市级的人口以及消费水平差异不能忽略不计,本文结合各市级 2023 全年度行政区总 GDP、人均 GDP 及人口数量,采用由高到低计分的方式进行权重计算[19],结果也在表 2 进行展示。根据云南省开展的 2023 年度人口变动情况抽样调查,在第七次人口普查数据基础上得到云南省 15~59 岁人口占总人口的 63.43%。假如按照每个家庭每周参与线上社区团购 2 次,每次 2kg,得到需求量计算公式为:

$$W \times \frac{1}{3} \times \frac{2}{7} \times 0.002 = \frac{w \times \beta_1 \times \frac{17}{45}}{\beta_2} \times \frac{1}{3} \times \frac{2}{7} \times 0.002 \quad (11)$$

计算所得网格仓代表点的需求量见表 2 所示。

**Table 2.** The demand for grid warehouse representative points

**表 2.** 网格仓代表点的需求量

网格仓代表	GDP/ 亿元	排 名	常驻人口/ 万人	人均 GDP/ 万元	权重	lng (高德经度)	lat (高德纬度)	需求量 /kg, 日
A 昆明市	7864.76	1	868	9.06078341	0.092747286	102.8329979	24.87998027	623
B 曲靖市	4048.91	2	568.8	7.11833685	0.072864166	103.7960004	25.49010034	408
C 玉溪市	2564.75	4	226.5	11.32339956	0.115907702	102.5470001	24.3519998	163
D 保山市	1254.2	9	240.7	5.210635646	0.053336703	99.16144999	25.11202176	173
E 昭通市	1644.12	7	485.4	3.387144623	0.034671226	103.7170002	27.33820034	348
F 丽江市	671.73	13	125	5.37384	0.055007283	100.2260006	26.85459897	90
G 普洱市	1090.91	10	234	4.662008547	0.047720889	100.9660001	22.82520058	168
H 临沧市	1050.23	11	220.2	4.769436876	0.048820539	100.0889994	23.88419996	158
I 楚雄彝族自治州	1827.04	5	234.2	7.801195559	0.079853991	101.5279997	25.04549985	168
J 红河哈尼族彝族自治州	2889.42	3	436.3	6.622553289	0.067789265	103.3749998	23.36429996	313
K 文山壮族苗族自治州	1462.32	8	339.7	4.304739476	0.044063839	104.2160003	23.40030005	244
L 西双版纳傣族自治州	778.27	12	133.3	5.838484621	0.059763442	100.7970004	22.00729989	96
M 大理白族自治州	1731.1	6	334.2	5.179832436	0.053021398	100.2680001	25.60639898	240
N 德宏傣族景颇族自治州	595.28	14	133.7	4.452356021	0.04557486	98.58479948	24.43230006	96
O 怒江傈僳族自治州	262.09	16	53.5	4.898878505	0.050145519	98.85679947	25.81759976	38
P 迪庆藏族自治州	303.74	15	39.5	7.689620253	0.078711893	99.7030997	27.81900117	28

### 3.3. 遗传算法结果

利用遗传算法对中心仓选址模型进行求解。将遗传算法中的参数设置为:规定种群包含 300 个个体,进化 10 代,交叉概率 0.8;变异概率 0.1;染色体长度  $N = 98$ 。另外,先将低碳权重值  $\omega$  设为 0.5;选址模型的冷链产品运输成本中单位运输费率  $\epsilon_1$  取 0.8,货损率  $\epsilon_2$  取常数 0.045,运输过程中二氧化碳排放因子来自 IPCC 公布的数据, $e$  取公路基准  $0.8 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{km}$ ;  $\gamma$  为碳税,结合文献设为 45 单位:元/t;  $S$  为单位中心仓固定年碳排放设为 1 t。将结果选择的中心仓点与网格仓代表点以及对对应关系见图 3、图 4 展示,



运营结果与原有中心仓在此假设下的成本对比见表 3 所示。



Figure 3. The number of central warehouses is 4  
图 3. 中心仓个数为 4

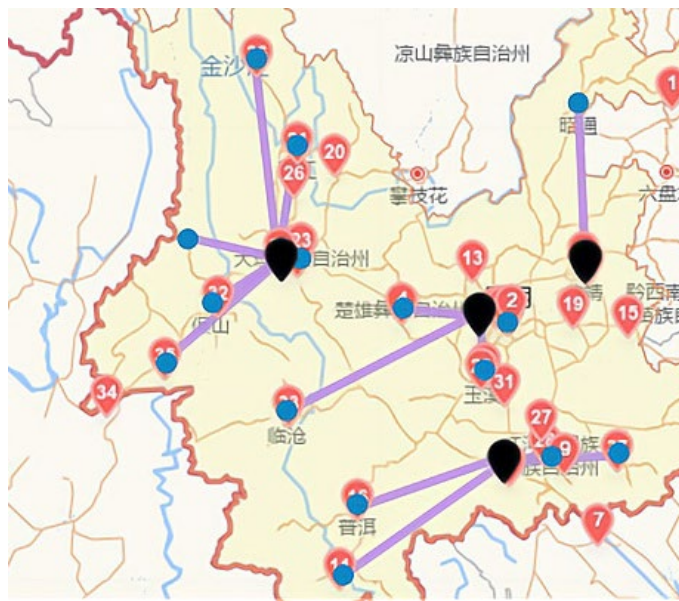


Figure 4. The number of central warehouses is 3  
图 4. 中心仓个数为 3

Table 3. Comparison of operational results  
表 3. 运营结果对比

中心仓个数	选择点及对应关系	目标函数值
4	8-GJKL、14-BE、18-ACIH、22-DFOPN	3997.86
3	2-ABCIE、28-GLJK、32-DFHMNOP	4370.54
3 (原设仓位)	昆明 曲靖 玉溪	4255.6

根据设置低碳权重在 0.5 条件下, 得出该最优解为选择四个中心仓位置点: 分别位于昆明、曲靖、红河和大理。

### 3.4. 结果分析

随之社会对于环境保护的重视日益加重, 低碳权重在未来的占比只会逐渐增高, 本文设计改变模型中的低碳权重, 分别将其设置为 0.4、0.6、0.7、0.8 和 0.9, 结果如表 4 所示。

Table 4. Result

表 4. 结果

权重设置		中心仓选取为 3		中心仓选取为 4	
低碳权重 $w$	成本权重 $1-w$	碳强度值	成本目标值	碳强度值	成本目标值
0.4	0.6	3943.6	5386.9	4047.3	4236.5
0.5	0.5	3852.6	5778.9	3988.1	4397.6
0.6	0.4	3944.1	5931.3	4254.3	5089.5
0.7	0.3	3774	6355.2	3881.6	5939
0.8	0.2	3271.8	6397.2	3795.1	6145.4
0.9	0.1	3206	6575.4	3580.7	6360

由图 4 可见, 当低碳权重增加, 碳强度值的占比上升, 成本目标就会逐渐增大。表中还是以选择 3 和 4 个点位为中心仓为例。由于低碳目标与总成本最小的目标在模型结果中此起彼伏, 对比 3 和 4 个中心仓的选择, 虽然碳强度值数有所增高, 但相对整体而言更合乎低碳以及成本最小目的, 因为中心仓个数的增加, 会使得相关仓库碳强度增加, 但相应地会使运输路线缩短从而使成本值降低。

总的来说, 低碳权重与成本权重取值对目标函数结果的影响很大, 在实际情况中应结合相关国家政策以及环境理念选择最适合企业的方案, 从而兼顾到低碳与成本去决策。

## 4. 结束语

社区团购冷链产品“网络中枢”中心仓的选址优化不仅关系到产品质量的保障和顾客便捷体验的提升, 更是各社区团购企业实现可持续发展的关键所在。

(1) 本文基于最小成本和最小碳排放强度的双重目标, 构建了综合考虑企业成本及中心仓和运输过程碳排放的选址优化模型, 并引入减排效率的权重。通过 MATLAB 运用遗传算法对模型进行求解, 以云南省为案例开展实证分析。研究结果显示: ①在云南省建立四个中心仓库(分别位于昆明、曲靖、红河和大理)为最优方案, 总成本为 3997.86 万元; ②在不同碳排放权重设置下, 最优解有所变化, 即总成本与碳排放强度呈相对变化关系。较高的碳排放强度权重能够推动企业选择更绿色低碳的配置方案, 有助于社会的可持续发展, 但相应地增加了企业建设成本。

(2) 本文进一步综合考虑碳排放强度与冷链产品高物流损耗的特性, 设计了便于企业依据不同目标权重采取优化决策的模型, 为企业在实践中的方案选择提供了参考依据。

(3) 通过改进遗传算法求解模型, 并借助实际案例验证模型的可行性及算法的有效性。研究表明, 所构建的模型在低碳与成本平衡的中心仓选址问题中具有较高的可行性, 可实现不同权重下的灵活选择, 支持企业在不同发展阶段根据目标权重进行科学合理地决策。

但是, 本文也存在一定的局限性, 一方面, 研究假设冷链产品类型较为单一, 未来研究可考虑多产

品情境; 另一方面, 模型仅涵盖中心仓与运输碳排放, 未包含网格仓等其他物流节点的碳排放。因此, 后续研究将进一步扩展至全物流网络的碳排放测算, 为社区团购企业的科学决策提供更加全面的依据。在实际应用中, 如何平衡成本、效率与环境效应仍为未来研究的重点, 后续可进一步探索需求动态变化、多品类货物运输需求及相关物流网络的优化问题, 以适应复杂多变的物流环境。

## 参考文献

- [1] 吴暖, 谭力旗, 尤恂. 后疫情时代冷链物流中心选址及其方法[J]. 物流技术, 2023, 42(8): 69-73.
- [2] 蒋鸿羽, 吴金卓. 基于两阶段优化的社区团购仓配网络节点选址研究[J]. 西安理工大学学报, 1-10.
- [3] Singh, A.K., Subramanian, N., Pawar, K.S., et al. (2016) Cold Chain Configuration Design: Location-Allocation Decision-Making Using Coordination, Value Deterioration, and Big Data Approximation. *Annals of Operations Research*, **270**, 433-457.
- [4] Ozturk, D. and Fatmagül, K.L. (2020) GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for Parking Site Selection. *Kuwait Journal of Science*, **47**, 2-15.
- [5] Boonmee, C. and Kasemset, C. (2020) The Multi-Objective Fuzzy Mathematical Programming Model for Humanitarian Relief Logistics. *Industrial Engineering & Management Systems*, **19**, 197-210. <https://doi.org/10.7232/iems.2020.19.1.197>
- [6] 霍非舟, 姜淑轶, 胡宸希, 等. 考虑运输损耗的应急物资储备库选址[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(9): 3588-3595.
- [7] 李宗坤, 张开楷, 葛巍, 等. 考虑淹没区域危险度的溃坝洪灾避难场所选址评价[J]. 郑州大学学报(工学版), 2024, 45(6): 1-8.
- [8] 吴迪, 韩欣丽, 石帅杰, 等. 需求不确定下边远群岛海运物流网络选址-库存-路径优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24(5): 268-282.
- [9] 易海燕, 章圳琰. 基于新鲜度损耗的社区团购电商配送中心选址研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2020, 18(2): 59-67.
- [10] Chibeles-Martins, N., Pinto-Varela, T., Barbosa-Póvoa, A.P. and Novais, A.Q. (2016) A Multi-Objective Meta-Heuristic Approach for the Design and Planning of Green Supply Chains—MBSA. *Expert Systems with Applications*, **47**, 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.036>
- [11] 韩建军, 张梦琪, 郭妍妍, 等. 低碳驱动下粮食转运枢纽选址及路径优化研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(3): 211-218.
- [12] 徐泽水, 温晶, 王新鑫, 等. 改进制冷成本的冷链物流低碳车辆路径优化研究——基于 ALNS 遗传算法[J]. 软科学, 2024, 38(1): 92-100.
- [13] 鲍春玲, 张世斌. 考虑碳排放的冷链物流联合配送路径优化[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(5): 95-100, 107.
- [14] 樊自甫, 郭璐瑞, 张萌. 低碳政策下的冷链配送中心协作选址[J]. 物流技术, 2024, 43(4): 13-21.
- [15] 施瑾, 邵举平, 孙延安. 考虑减排效率的生鲜农产品“最先一公里”冷链设施配置优化[J]. 工业工程与管理, 2024, 29(5): 190-201.
- [16] 王旭坪, 董杰, 韩涛, 等. 考虑碳排放与时空距离的冷链配送路径优化研究[J]. 系统工程学报, 2019, 34(4): 555-565.
- [17] Li, X.F. (2023) Multi-Objective Vaccine Delivery Problem Considering Low Carbon and Customer Loss Aversion. *Expert Systems with Applications*, **223**, Article ID: 119870.
- [18] 胡玉真, 王思睿, 左傲宇. 社区新零售背景下网格仓需求预测-配送决策迭代优化研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-13. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.1251>, 2024-08-13.
- [19] 闫森, 齐金平. 考虑需求不确定的多级应急物流设施选址研究[J]. 运筹与管理, 2022, 31(9): 7-13.