

时间窗约束下冷链物流车辆路径优化研究

李辉 丁晓霞

云南财经大学物流与管理工程学院, 中国·云南 昆明 650221

摘要: 论文针对冷链物流配送路径的特性, 运用节约里程法, 建立基于时间窗约束下送货和取货同时发生的冷链物流车辆最优配送路径模型。最后以某生鲜食品连锁店为例, 运用论文建立的模型进行路径规划, 验证了模型的可行性。

关键词: 冷链物流; 时间窗; 逆向物流; 配送路径优化

Vehicle Routing Optimization Research of Cold Chain Logistics with Time Window of Reverse Logistics

Hui Li Xiaoxia Ding

College of Logistics and Management Engineering, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan, 650221, China

Abstract: According to the characteristics of cold chain logistics and vehicle routing, the paper puts forward cold chain logistics vehicle routing optimization problem with time window of reverse logistics. Based on the saving method, we established the model of cold chain logistics vehicle routing under time window with simultaneously pickup and delivery. At last, a case study about one fresh food supermarket we used the saving method to optimize the distribution route problems for instance to verify the model feasibility.

Keywords: cold chain logistics; time window; reverse logistics; delivery route optimization

0 前言

在物流行业迅猛前进的背景下, 运输环节成为物流链条中的关键部分, 其对于提升整个物流运作效率的作用日益凸显。顾客对食品的重视已经从原先的单一数量需求转变为更加注重新鲜农产品的品质问题, 因此冷链物流的分发枢纽在追求经济效益的同时, 也必须重视配送商品的安全性和配送的准时性。于传统物流的冷链运输环节, 运输车辆通常承担单一的送货或收货任务。这种单一方向的运输路线导致了运输成本的增加、客户服务周期的延长, 以及车辆碳排放的增加。通过优化配送路线, 企业能显著减少运输开支, 增强客户满意度, 推动环保物流的发展, 进而促进经济和社会的双赢。

1 文献综述

国内外学者及专家主要聚焦于冷链物流车辆路径问题的两大研究方向进行探究:

①针对冷链物流车辆路径优化问题在时间窗约束条件下的研究进展。陈梦等学者^[1]鉴于中国冷链物流配送成本居高不下的问题, 构建了一个综合考虑制冷成本与货物损耗成本的软时间窗冷链物流路径优化模型, 并利用遗传算法验证了该模型的有效性。刘琳^[2]则从降低整体物流成本的角度出发, 设计了包含时间窗限制的冷链物流配送模型, 并采用节约算法寻求最优解。Michael Saint-Guillain 等人^[3]则提

出采用多目标动态规划策略, 旨在优化时间窗约束下的车辆路径问题。此外, Wei Shi 与 Balseiro SR 等研究者^[4-5]选择蚁群算法作为解决手段, 以应对符合时间窗要求的车辆路径优化挑战。缪小红等人^[6]进一步深化了对冷链物流配送优化策略的研究, 并运用改良后的遗传算法得出了问题的优化方案。韩印等^[7]则额外纳入了道路交通条件对冷链物流车辆配送成本及路径规划的影响, 通过应用节约里程法进行了求解分析。

②集送货同步进行的场景下, 时间窗约束下的车辆路径优化问题研究。程文科^[8]从两个维度——无时间窗限制与有时间窗限制出发, 分别构建了逆向物流中带回程取货的车辆路径优化模型, 并采用了遗传算法求解得出最优方案。Sumaiya Iqbal 等人^[9]专注于软时间窗背景下的多目标车辆路径优化难题, 运用蜂群算法对既定模型进行了有效求解。闵嘉宁等学者^[10]则将时间窗约束转化为里程约束, 基于此框架深入探讨了集送货一体化的车辆路径规划问题。Sally Kassem 等人^[11]则巧妙融合了启发式算法与模拟退火技术, 开发了一个支持并行送货与取货操作的闭环物流网络模型。Zhang Tao 等人^[12]则运用了蚁群算法结合禁忌搜索策略, 针对时间窗约束下的同步送货与取货车辆路径问题, 得出了模型的最优解。

尽管冷链物流车辆路径优化领域已积累大量国内外研究成果, 为相关实践提供了坚实的理论支撑与指导, 但现有研究多集中于时间窗约束下的路径优化及集送货同步的路

径规划, 这些研究普遍侧重于蚁群算法、遗传算法及多目标动态规划等技术的应用, 而相对忽略了节约里程法在应对包含逆向物流且受时间窗限制的冷链物流车辆路径优化问题中的重要作用与潜在价值。该研究致力于探讨在限定时间框架内, 融合逆向物流的冷链运输车辆路线优化问题, 旨在解决实际操作中车辆既要送货又要收货的路线安排难题。借助节约里程原则, 对常规送货路线进行科学调整, 力求在降低配送成本的基础上, 实现提升客户体验、降低碳排放等多重环保与经济目标的高度一致。

2 带时间窗的逆向物流的冷链物流车辆路径模型建立

车辆路径优化问题(VRP)描述的是在若干限制条件(如配送所用车辆的数量、每辆车的最大承载重量以及配送的时间要求等)之下, 为了满足客户对送货数量和送货时辰的具体需求, 需规划出一条高效配送路线, 旨在减少运输费用及降低货物损耗。本研究探讨的是融合逆向物流的车辆路线优化问题, 即在面对严格的送货与收货时间限制下, 冷链配送中心需向众多客户执行送货任务的同时, 也进行货物回收的双向冷链物流配送挑战。

2.1 模型假设

本研究构建了一个融合逆向物流的配送路线架构, 主要服务于由单一配送节点向众多接收点进行货物的配送作业, 所有运输工具均自配送节点启程, 依计划完成对各个客户的送货以及收货任务, 最终返回配送节点。为了便于模型构建, 我们对模型进行了以下简化设定:

- ①配送中心的坐标已知;
- ②该配送站点配备了充足的运输车辆, 足以应对货物送达及回收的任务需求;
- ③运输车辆在整个配送与回收过程中保持着恒定的速度行驶;
- ④车辆需在既定的时间限制内, 同步完成货物的发送与收集工作。
- ⑤任何一辆运输车辆均须恪守其最大载重限制;
- ⑥固定单位里程的运输费用保持一致;
- ⑦各客户所需货物量(包括送货与收货量)及其地理位置、服务时段等信息已完全掌握;
- ⑧客户对货物准时送达的要求极为严格。

2.2 模型建立

论文所构建的物流配送总费用构成, 涵盖了配送车辆相关的固定开销(涉及车辆租赁费、折旧费以及人工薪酬)、在配送环节中发生的运输费用(主要包括燃油消耗及冷藏设备运作费用)、配送环节所需的冷藏能源消耗费用、为客户提供服务所耗费的时间成本(主要体现在装卸货物的耗时上), 以及未满足客户指定时间窗口而产生的额外罚金成本(这包括了由此给企业带来的声誉损失)。

设定情境为拥有 n 位客户, 配备 M 台同型号冷链运输车辆且每辆货车的最大承重限制为 Q 。

2.2.1 配送车辆固定成本

配送车辆的固定成本涵盖了车辆租赁费用、车辆折旧

损耗以及驾驶员的薪酬等多个方面, 基于这些因素可以计算出 M 辆配送车辆的总固定成本 C_g 为:

$$C_g = M_g \quad (1)$$

式中, C_g —— M 辆车的总固定成本; g ——冷链配送车的固定成本; M ——冷链配送车的数量。

2.2.2 与运输距离相关的配送车辆变动成本

配送车辆的变动成本随运输距离而变化, 主要包括燃油消耗费用和运输途中的制冷能耗。这一成本与客户数量的多少以及行驶距离的远近紧密相关, 通常行驶距离越长, 运输成本便越高。因此, 总运输成本是 M 辆配送车辆各自运输成本的总和, 具体表述为:

$$C_y = \sum_{m=1}^M C_m + \sum_{m=1}^M C_r = \sum_{m=1}^M (C_m + C_r) = \sum_{m=1}^M \left[(C^d \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} X_{ijm}) + (C^R \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} X_{ijm}) \right] \quad (2)$$

式中, C_y —— M 辆车的总运输成本; C_m ——第 m 辆车的运输成本; C_r ——第 m 辆车的制冷成本; C^d ——单位运输距离的运输成本; C^R ——单位运输距离的制冷成本; d_{ij} ——客户 i 与客户 j 之间的距离; X_{ijm} ——决策变量, 当第 m 辆车从 i 点到 j 点时为 1, 否则为 0。

2.2.3 与时间相关的货损成本与制冷成本

在冷链车辆的取送货流程中, 除了燃油费用、过路费及桥梁通行费等随运输距离直接变化的成本外, 还存在与运输时长紧密相关的货物损耗成本及制冷能耗成本, 这些成本包括因时间延长而增加的货物损坏费用以及制冷系统消耗的能源, 均与运输时长成正比。将这些与时间相关的成本总和记为 C_d , 则:

$$C_d = \sum_{m=1}^M (C_{md} + C_{mz}) \quad (3)$$

$$C_d = \sum_{m=1}^M \left[\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} \cdot \beta \cdot Y_{jm} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} \cdot \gamma \cdot Y_{jm} \right] \quad (4)$$

式中, C_{md} ——第 m 辆车的货物损失成本; C_{mz} ——第 m 辆车的制冷能源消耗成本; v ——运输速度; β ——单位时间内货物的损耗成本; γ ——单位时间内制冷设备消耗的能源成本; Y_{jm} ——决策变量。若第 m 辆车服务 j 客户时, Y_{jm} 为 1; 否则 Y_{jm} 为 0。

2.2.4 违反时间窗产生的惩罚成本

针对第 i 位客户的需求, 其指定的到达时间窗口设为 $[a_i, b_i]$ 时段。若配送车辆早于 a_i 时刻抵达, 则需静待至 a_i 时刻, 此等待期间将产生相应的机会成本损耗。若抵达时间落入 a_i 至 b_i 时段之间, 则视为准时送达。反之, 若配送延迟至 b_i 时刻之后则构成迟到情况, 客户将拒绝收货并要求等价赔偿, 此时所面临的惩罚成本涵盖了配送物品的价值以及

企业信誉损失。具体的成本计算方式可表述为:

$$C_x = \sum_{m=1}^M C_m(X_i)Y_{im} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$C_m(X_i) = \{ \{ \alpha_1(a_i - x_i) \} \} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

式中, $C_m(X_i)$ ——对于第 i 位客户, 由第 m 辆配送车产生的违规成本 (即惩罚成本); x_i ——到达第 i 个客户的时间; P ——货物的单价; D_i ——第 i 个客户的货物的需求量; α_1 ——机会成本; α_2 ——惩罚系数; C_s ——信用损失; Y_{im} ——决策变量。若第 m 辆车服务 i 客户时, Y_{im} 为 1; 否则 Y_{im} 为 0。

2.2.5 配送车辆总成本

基于上述各类成本的详尽剖析, 构建了涵盖逆向物流在内的冷链物流配送车辆路径的总成本模型。

$$\min F = C_g + C_x + C_y + C_d \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \min F &= Mg + \sum_{m=1}^M (c^d \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} X_{ijm}) + \\ &\sum_{m=1}^M \left[\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} \cdot \beta \cdot Y_{jm} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} \cdot \gamma \cdot Y_{jm} \right] + \sum_{m=1}^M C_m(x_i)Y_{im} \\ &= Mg + \sum_{m=1}^M C_m(x_i)Y_{im} + \sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \frac{d_{ij}}{v} (\nu \cdot c^d \cdot X_{ijm} + \beta \cdot Y_{jm} + \gamma \cdot Y_{jm}) \end{aligned} \quad (8)$$

S.t.

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^M X_{ijm} \leq M \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n D_i \leq MQ \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i \leq MQ \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n X_{ijm} \cdot (D_i + P_i) \leq Q \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ijm} = Y_{jm} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijm} = Y_{im} \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijm} = Y_{jm} \quad (15)$$

在上面的公式中, i 的取值范围是 0 至 n ; 同样, j 的取值范围也是 0 至 n ; 而 m 的取值则限定在 1 至 9 之间。该 (9) 式确保了路径的数量不会超出车辆的总数。而 (10) 式与 (11) 式则分别确保了送货与取货的总重量不会超过 M 辆车的最大承载能力。(12) 表明各个路线上装载的货物总量不得超出车辆的最大承载能力; (13) 与 (14) 则明确了配送车辆从配送中心出发并最终返回至配送中心的规则; (15) 则确保了每个客户站点仅由一辆配送车辆进行服务。

3 模型算法及实证

3.1 模型算法的基本思路

在本研究中, 我们运用了启发式算法中的最小距离法来

优化配送路径。该方法的优势在于能将货物送达和回收的过程统筹规划, 从而提升车辆使用效率, 减少物流成本。研究核心在于同步进行送货与收货作业, 在考虑车辆装载限制的同时, 也兼顾了客户的时间窗限制, 优先保障时间窗上限客户的配送需求。在分析两个配送点之间的距离节约值 S_{ij} 时:

$$S_{ij} = d_{ki} + d_{kj} - d_{ij} \quad (16)$$

S_{ij} 表示节点 P_k 到节点 P_i 两节点的节省值, d_{ki} 表示节点 P_k 到节点 P_i 的离。

在设置时间限制的物流路径规划过程中, 首要任务是实现送货与收货的同步操作, 并充分考虑到时间限制的约束。在此过程中, 从节点 i 至节点 j 所减少的信誉费用, 与运输的实际到达时间及客户的指定时间紧密相连。其次, 关注降低成本的程度, 其中包括降低的运输费用和减少的商品损耗费用。这两个方面的费用节省都与缩短距离成正比, 也就是说:

节点 i 至节点 j 间减少的货物损耗成本为:

$$F_{ij}^{YS} = S_{ij} \cdot c^d \quad (17)$$

节点 i 至节点 j 路径上节省的货物损失费用为:

$$F_{ij}^{HS} = \frac{S_{ij}}{v} \cdot (\beta + \gamma) \quad (18)$$

从节点 i 至节点 j 整个行程中节约的总成本计算如下:

$$\max F_{ij}^z = F_{ij}^{YS} + F_{ij}^{HS} - C_m(x_j) \quad (19)$$

3.2 节约里程法的操作步骤如下

第一阶段: 计算出所有两个客户节省值 S_{ij} , 并按大小排序。

第二阶段: 依照时间先后对所有客户的收货 (或取件) 时段进行排列。

第三阶段: 筛选出最早有时间要求的客户, 将其设定为首个路线的起始客户, 在所有 S_{ij} 中找出相应的客户, 求出 F_{ij}^{YS} 和 F_{ij}^{HS} ; 在选定的最大节约值的路径中, 若不满足顾客规定的时间窗时, 通过比较 F_{ij}^{YS} 和 F_{ij}^{HS} , 如果 F_{ij}^{YS} 大于 F_{ij}^{HS} , 那么选择此客户为下一个路径节点; 反之, 重新选择顾客, 直到找到满足节约总成本最大的客户作为第一条路径的第二个客户。即选择使得 $\max F_{ij}^z$ 。

第四阶段: 依照第三阶段的操作反复进行, 直到该路径触及时间窗口上限或车辆容量上限, 进而确定首条路线所服务的所有客户。

第五阶段: 将已安排配送的客户从名单中剔除, 针对剩余客户群体, 继续执行第三阶段和第四阶段的操作, 从而得出其他路线的送货安排。

4 实例计算与分析

4.1 相关数据说明

一家专业从事生鲜食品加工的企业负责向十家不同连

锁店铺提供冷冻食品的配送服务，这些店铺对于收货和发货的时间有着严格的规定。该企业的配送中心使用的是一辆载重上限为 3.5 吨的配送车辆，该车辆的最高行驶速度为每小时 30 公里，运输成本 c^d 是 1 元 / 公里，能源耗费成本具体包括燃油消耗与制冷能耗，其单位小时费用为 20 元。货物损耗的成本系数设定为每小时 80 元，而机会成本则按每分钟 2 元计算。当前市场上食品的单位价格 P 为 3000 元 / 吨。对于配送延误的惩罚，采用每分钟 5 元的费率，并附加 30% 的信誉损失系数 C ，作为额外惩罚。配送中心的物流网络布局如图 1 所示，图中标识了配送中心及其服务的 10 家

连锁门店；括号内的数值代表配送或回收的需求量，负值表示回收量；连接线路上的数字则代表相应道路的距离。关于这 10 家连锁店的装卸作业时间及客户对配送或回收时间的具体要求，详见表 1。

4.2 配送路径求解与分析

第一步：依据配送中心的物流网络布局图，计算出各节点间的最短路径距离，并将计算结果整理于表 2 中。
第二步：依据最短路径距离的计算成果，进一步得出了各节点间可节省的行驶里程，并根据节省里程的大小进行了排序，具体参见表 3。

表 1 10 个连锁店的装卸货作业时间、送货时间要求

连锁店	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
处理时间 (H)	0.3	0.5	0.3	0.2	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.2
连锁店要求的	6:00	6:10	6:50	6:50	5:50	5:00	6:50	5:40	6:30	5:30
送货时间	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	7:00	7:00	7:30	7:40	6:50	6:00	7:50	6:10	7:20	6:10

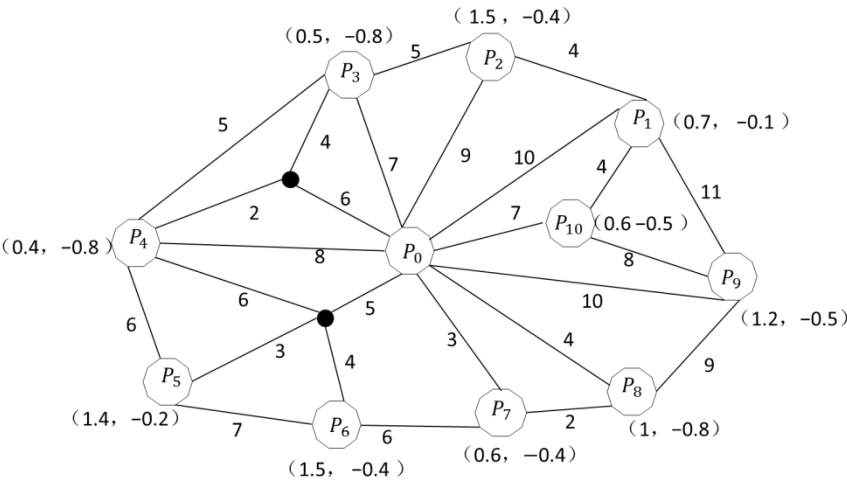


图 1 配送中心的配送网络图

表 2 配送中心至十家连锁门店的最短运输路径长度（单位：千米）

节点	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
P_0	0	10	9	7	8	8	8	3	4	10	7
P_1	10	0	4	9	14	18	18	13	14	11	4
P_2	9	4	0	5	10	14	17	12	13	15	8
P_3	7	9	5	0	5	9	15	10	11	17	13
P_4	8	14	10	5	0	6	13	11	12	18	15
P_5	8	18	14	9	6	0	7	10	12	18	15
P_6	8	18	17	15	13	7	0	6	8	17	15
P_7	3	13	12	10	11	10	6	0	2	11	10
P_8	4	14	13	11	12	12	8	2	0	9	11
P_9	10	11	15	17	18	18	17	11	9	0	8
P_{10}	7	4	8	13	15	15	15	10	11	8	0

表 3 配送路线节约行程排序表

序号	节约里程	序号	节约里程	序号	节约里程
1	$S_{12}=15$	9	$S_{13}=8$	16	$S_{29}=4$
2	$S_{110}=13$	9	$S_{210}=8$	16	$S_{68}=4$
3	$S_{23}=11$	11	$S_{24}=7$	19	$S_{25}=3$
4	$S_{34}=10$	12	$S_{35}=6$	19	$S_{46}=3$
4	$S_{45}=10$	13	$S_{67}=5$	21	$S_{79}=2$
6	$S_{910}=9$	13	$S_{78}=5$	22	$S_{310}=1$
6	$S_{56}=9$	13	$S_{89}=5$	22	$S_{57}=1$
6	$S_{19}=9$	16	$S_{14}=4$	22	$S_{69}=1$

第三步：对十家连锁门店的配送时间需求进行了时序上的排序，排序结果详细列于下表 4 中。

第四步：计算第一条路线 A。

依照时间优先原则，把最先营业的连锁门店安排在路线 A 的首位。也就是说，在 A 路线中，该客户 P_6 位居榜首。

表 4 将十家连锁店的配送时间需求按照其先后顺序排列

连锁店	P_6	P_{10}	P_8	P_5	P_1	P_2	P_9	P_3	P_4	P_7
连锁店要求的	5:00	5:30	5:40	5:50	6:00	6:10	6:30	6:50	6:50	6:50
送货时间	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	6:00	6:10	6:10	6:50	7:00	7:00	7:20	7:30	7:40	7:50

表 5 路线 A 的配送路径表

客户名称	抵达时间	客户要求时间	作业时间（分钟）	出发时间	抵达下一客户时间	出发时载重（吨）	客户满意度
P_0				5:30	$5:30+16=5:46$	3.3	
P_6	5:46	5:00--6:00	30	6:16	$6:16+14=6:30$	2.2	100%
P_5	6:30	5:50--6:50	18	6:48	$6:48+12=7:00$	1.0	100%
P_4	7:00	6:50--7:50	12	7:12	$7:12+16=7:28$	1.4	100%
P_0	7:28						

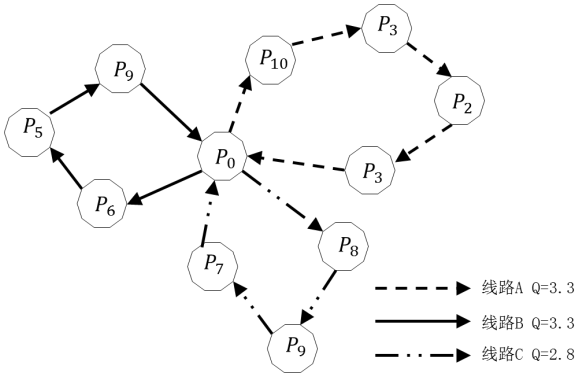


图 2 优化后的十家连锁门店配送网络布局图

表 6 车辆路径优化模型各项费用

	载重量 (t)	满载率	行驶距离 (km)	固定费用	变动运输费用	损失费用	惩罚费用	合计	运输成本 (元 / 吨公里)
线路 A	3.3	94.3%	29	300	29	96.7	0	425.7	4.45
线路 B	3.3	94.3%	27	300	27	90	0	417	4.68
线路 C	2.8	80%	27	300	27	90	0	417	5.5
合计			83	900	83	276.7	0	1259.7	

鉴于客户 P_6 的需求量为 1.5 吨（未超出 3.5 吨的容量限制），接着评估 A 路径上的下一个潜在服务对象。参考表 3 的数据，确定了具有最大节约里程的客户 S_{65} ，且能确保在客户要求的时间 P_5 前准时送达，因此惩罚成本 $C_m(x_5)$ 为零。此次配送节约的里程 S_{65} 为 9 公里，对应的运输成本节约 F_{65}^{YS} 为 9 元，货损成本节约 F_{65}^{HS} 达到 30 元，总计节约成本 39 元。由于客户 P_5 的需求量为 1.4 吨，未超过车辆的最大载重 Q ，继续在 A 路径上寻找第三个合适的客户。遵循这一逻辑，最终确定了 A 路径的完整配送序列 $P_0-P_6-P_5-P_4-P_0$ ，详情情况如表 5 所示。

第五步：遵循第四步的同样步骤，得出了 B 路径的具体安排： $P_0-P_{10}-P_1-P_2-P_3-P_0$ 以及 C 路径的规划： $P_0-P_8-P_7-P_9-P_0$ 。通过这一系列计算，最终能够确定一条既符合十家连锁店配送时间要求，又能实现总节约成本最大化的最优配送路径。该路径的详细图示可见于下图 2。

如上表 6 所示, 经过优化总配送成本达到了 1259.7 元, 相较于配送中心当前的平均配送成本 1534 元, 实现了 17.8% 的显著降低; 另外, 客户满意度实现 100% 的完美成绩, 装载率也提升至 89.5%, 这些指标均显著超越行业平均水平。此外, 该模式还确保了农产品的新鲜度, 促进了经济效益与环保效益的双赢发展。

5 结语

论文将逆向物流车辆配送路径规划方法, 在融入时间窗约束的条件下应用于冷链物流配送路径的优化问题之中。在解决此类问题时, 同时考虑了送货与取货作业, 不仅估算了车辆的固定费用与运输开支, 还全面纳入了配送途中货物的损耗费用、能源耗费成本以及因未能满足客户时间窗要求而产生的惩罚成本与信誉损失成本等因素, 构建了一套符合客户时间要求的冷链物流配送成本计算框架, 涵盖了逆向物流环节。该框架旨在最大限度地降低配送过程中的成本开销, 优化配送流程的效率, 提升客户的满意程度, 并致力于推动绿色物流与社会的持续发展。

参考文献:

- [1] 陈梦, 曾阳, 唐驿, 等. 食品冷链物流配送路径优化问题研究[J]. 物流工程与管理, 2015, 37(247): 145-147.
- [2] 刘琳. 冷链物流配送路径优化模型及控制算法[D]. 烟台: 烟台大学, 2012.
- [3] Michael Saint-Guillain, Yves Deville, Christine Solnon. A Multistage Stochastic Programming Approach to the Dynamic and Stochastic VRPTW[J]. Integration of AI and OR Techniques, 2015(9075): 357-374.
- [4] Wei Shi, Thomas Weise. An Initialized ACO for the VRPTW[J]. Intelligent Data Engineering and Automated Learning, 2013(8206): 93-100.
- [5] Balseiro S R, Loiseau I, Ramonet. An Ant Colony Algorithm Hybridized with Insertion Heuristics for the Time Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows[J]. Omr and Oraon Rarh, 2011, 38(6): 954-966.
- [6] 廖小红, 周新年, 林森, 等. 第3方冷链物流配送路径优化研究[J]. 运筹与管理, 2011, 20(4): 32-38.
- [7] 韩印, 师攀. 基于道路状况的冷链物流配送路径优化[J]. 物流科技, 2015(6): 90-93.
- [8] 程文科. 带回程取货的逆向物流车辆路径问题研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [9] Sumaiya Iqbal, M Kaykobad, M Sohel Rahman. Solving the multi-objective Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows with the help of bees[J]. Swarm and Evolutionary Computation, 2015(24): 50-64.
- [10] 闵嘉宁, 金成. 基于改进节约算法的集送货车辆路径优化[J]. 物流科技, 2015(6): 44-48.
- [11] Kassem S, M Y Chen. Solving Reverse Logistics Vehicle Routing Problems with Windows[J]. Int J Adv Manuf Technol, 2013, 68(1): 57-68.
- [12] Zhang T, W A Chaovaitwongse, Y J Zhang. Integrated Ant Colony and Tabu Search Approach for Time Dependent Vehicle Routing Problems with Simultaneous Pickup and Delivery [J]. Comb Optim, 2014(28): 288-309.