

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2014.08.024

需求变动下的冷链品配送路径规划

王淑云, 孙虹

(烟台大学 经济管理学院, 山东 烟台 264005)

摘要: 为探讨顾客需求变动下冷链品配送路径的规划与优化模型选择问题, 首先以带时间窗的车辆路径问题模型为基础, 构建了以配送总成本最小化为目标的冷链品配送模型; 然后, 通过节约算法进行配送路径的优化; 最后, 通过算例比较了运用随机性配送模型(考量顾客需求的变动)与确定性配送模型(使用给定需求期望值)所规划的优化路径及其差异。结果显示, 当顾客需求波动幅度较大时, 随机性模型规划优于确定性模型, 当顾客需求波动幅度较小时, 确定性模型规划优于随机性模型; 此外, 随着需求变动程度的增大, 两种模型所得出的配送总成本都会相应增加, 因此, 最后提出了降低顾客需求不确定性的相关建议。

关键词: 运输经济; 冷链物流; 节约算法; 冷链品; 车辆路径问题

中图分类号: F540

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2014)08-0144-07

Distribution Routing Planning for Cold Chain Items under Variable Demand

WANG Shu-yun, SUN Hong

(School of Economics and Management, Yantai University, Yantai Shandong 264005, China)

Abstract: To discuss the planning and selection of optimization model for distribution routing of cold chain items with variable demand of customer, first, we established a distribution model of cold chain items with the objective of minimizing the total distribution cost based on the model of vehicle routing problem (VRP) with time window. Then, the distribution routing is optimized by saving algorithm. At last, we compared the optimal routes planned by the stochastic distribution model (considering demand variation of customer) and the deterministic distribution model (based on a given demand expected value) and their differences by a numerical example. The result reveals that (1) the planning by the stochastic model is superior to the deterministic model when demand fluctuates wildly and vice versa; (2) the total distribution costs obtained by the 2 models will increase with the increase of the degree of changes in demand. Therefore, we proposed some suggestions to reduce the demand uncertainty of customer.

Key words: transport economics; cold chain logistics; saving algorithm; cold chain item; VRP

0 引言

随着人们生活水平的提高, 电子商务的快速发展, 冷链品的需求量与日俱增, 据罗兰贝格日前发布报告预测, 中国冷链物流行业未来将保持年均25%的高速增长, 至2017年, 市场规模将达4700亿元。冷链品配送作为冷链物流的最后一个环节,

由于冷链品保质期短、易变质的特性致使配送成本远远高于常温品, 配送路径的合理规划不仅可以降低物流的运作成本, 而且能够保证冷链品质量并提高顾客服务水平。因此, 如何既减少配送距离、降低物流损耗, 又满足顾客对时间窗和产品品质要求, 就成为了冷链配送管理中至关重要的问题。此外, 由于冷链品的需求量易受天气变化、销售的淡旺季

收稿日期: 2013-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(71372122); 山东省人文社会科学规划项目(13CGLJ17)

作者简介: 王淑云(1965-), 女, 山东栖霞人, 教授, 博士。(wsyyt@163.com)

等因素的影响。因此, 冷链物流企业在顾客需求变动情况下配送路径的规划就成为影响企业盈利的重要因素。

车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP) 最早由 Dantzig 和 Ramser 提出, 目前已经成为运输配送中的核心问题, 其中冷链品的车辆路径规划是在该理论上发展起来的。随着冷链物流业的高速发展, 冷链品的配送优化也成为国内外学者所关注的焦点, 不仅构建出了冷链品配送的数学模型, 而且通过运用启发式优化算法对配送路径进行优化^[1-9]。近几年, 随着对冷链品配送问题不断深入的研究, 学者们开始将顾客需求的不确定性加入冷链品的 VRP 模型, 构建冷链品的随机性配送优化模型^[11-15]。

综上, 以确定性需求研究冷链品的配送问题过于理想, 脱离现实情况, 考虑顾客需求的不确定相对符合运作实践, 但二者的区别及可操作性需要予以探讨以更好地指导配送运作及其管理。本文拟采用节约算法规划冷链品的配送路径, 并通过建模、算例对比分析考虑随机因素所建立的随机性模型与不考虑随机因素所建立的确定性模型的区别及其可操作性, 以期我国的冷链物流配送提供理论指导与依据。

本文的研究框架如下: 第1部分描述了本研究探讨的问题, 并构建数学模型; 第2部分运用节约算法规划冷链品的配送路径; 第3部分通过 Solomon 标准示例集的案例进行模型测试与分析; 最后根据分析结果提出结论与建议。

1 模型建立

本文以配送总成本最小化为目标, 构建需求变动下的冷链品配送路径规划模型。

1.1 问题描述

一个配送中心向 N 个顾客配送冷链品, 各顾客节点之间的距离及顾客节点到配送中心的距离已知, 任意两节点间的距离 d_{ij} 对称, 且满足三角不等式 $d_{ik} \leq d_{ij} + d_{kj}$ 。每个顾客的需求量服从一个已知的随机分布 F , 允许缺货, 但会造成相应的缺货成本。

配送中心以配送总成本最小化目标, 预先规划配送路径。配送车辆将按照预定的配送路径完成配送任务。在规划配送路径时, 配送中心有两种方案可以选择: 第1种, 不考虑顾客需求的随机因素, 直接根据顾客需求量的期望值规划配送路径; 第2种, 考虑顾客需求的随机因素, 根据顾客的需求量

所服从的分布和既定的顾客需求量满足率规划配送路径。

1.2 模型假设

配送需求点的地理位置、时间窗要求已知; 顾客需求不确定, 车辆到达顾客节点时才获知顾客需求量; 允许缺货, 但会产生相应的缺货成本; 车辆从配送中心出发, 按预定路线行驶, 最后回到配送中心; 配送过程中车辆匀速行驶, 行驶速率为常数; 每个顾客节点的冷链品只能由一辆车一次性配送完成; 随着时间的积累冷链品品质下降, 会导致相应的变质成本; 不考虑车辆在配送中心装卸货的时间; 车辆完成预定路线配送任务后, 若有剩余货物, 需运送回配送中心;

1.3 符号说明

$V = \{0, 1, \dots, n\}$ 为顾客节点集合, 其中 0 代表配送中心; $K = \{1, \dots, m\}$ 为冷藏车集合; f 为冷藏车固定成本; c 为冷藏车单位时间行驶成本; c_e 为运输过程中单位时间因冷藏车厢内外热传导产生的制冷成本; c'_e 为卸货过程中单位时间因热侵入产生的制冷成本; c_θ 为运输过程中单位时间导致冷链品品质下降的比率; c'_θ 为卸货过程中单位时间导致冷链品品质下降的比率; g 为单位冷链品的缺货成本; ξ_i 为顾客节点 v_i 的需求量, 为服从已知分布的随机变量; d_k 为 k 车配送路线上的实际总需求量; s_k 为 k 车的实际载货量; Q 为冷藏车的容量; μ_i 为顾客节点 v_i 的服务时间; t_{ij}^k 为冷藏车 k 从节点 v_i 到节点 v_j 的行驶时间; t_i^k 为冷藏车 k 到达顾客节点 v_i 的时刻; $[e_i, l_i]$ 为顾客节点 v_i 的时间窗; $[e_i, L_i]$ 为顾客节点 v_i 可接受的时间窗; a 为冷藏车早到单位时间的等待成本; b 为冷藏车晚到单位时间的惩罚成本; r_k 为 k 车配送路线上的节点集合; x_{ij}^k 为决策变量, 若 k 车路径上有从节点 v_i 到 v_j 的路段, 取 1; 否则, 取 0; y_i^k 为决策变量, 若 k 车路径上包含节点 v_i , 取 1; 否则, 取 0。

1.4 数学模型:

顾客需求随机情况下, 带时间窗的冷链品配送成本主要由六部分组成: 固定成本、行驶成本、制冷成本、变质成本、惩罚成本和缺货成本。

固定成本是指派遣每辆冷藏车所担负的固定成本, 包含冷藏车的固定损耗、驾驶员的工资等, 假设每辆冷藏车的固定成本为 f , 共有 m 条配送路线, 即需要 m 辆冷藏车, 则固定成本为:

$$C_1 = mf.$$

本文假定冷藏车匀速行驶,认为行驶成本与冷藏车的行驶时间成正比。冷藏车单位时间的行驶成本为 c ,冷藏车 k 从顾客节点 v_i 到顾客节点 v_j 的行驶时间为 t_{ij}^k ,则配送车辆的行驶成本为:

$$C_2 = c \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} t_{ij}^k x_{ij}^k,$$

式中, x_{ij}^k 为 0~1 变量,若 k 车路径上有从节点 v_i 到 v_j 的路段,取 1;否则,取 0。

制冷成本是为了保持冷藏车厢内冷链品所限定的温度而产生的成本,具体可分为两部分:冷藏车行驶过程中冷藏车厢内外热传导所造成的制冷成本,以及冷藏车在顾客所要求的时间窗之前到达,等待时间冷藏车厢内外热传导所造成的制冷成本;卸货过程中冷藏车门开启热侵入所导致的制冷成本。 c_e , c'_e 分别为单位时间因车厢内外热传导产生的制冷成本和单位时间因卸货期间热侵入产生的制冷成本,则配送车辆的制冷成本为:

$$C_3 = \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} (x_{ij}^k c_e \hat{t}_{ij}^k + y_j^k c'_e \mu_j),$$

式中, $\hat{t}_{ij}^k = t_{ij}^k + \max\{e_j - t_j^k, 0\}$ ($v_i \in V, v_j \in V, k \in K$), $\max\{e_j - t_j^k, 0\}$ 为冷藏车的等待时间。

变质成本是因配送过程中时间的积累冷链品品质下降所产生的,包括运输过程和卸货过程所导致的变质成本。 c_θ , c'_θ 分别为运输过程中单位时间导致冷链品品质下降的比率和卸货过程中单位时间导致冷链品品质下降的比率, μ_i 为在顾客节点 v_i 的卸货时间,则冷链品的变质成本为:

$$C_4 = p \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} y_i^k \theta_i^k \xi_i,$$

式中, $\theta_i^k = c_\theta \sum_{v_i=1}^i \hat{t}_{(i-1)i}^k + c'_\theta \sum_{v_i=1}^{i-1} \mu_i$ ($v_i \in r_k$), y_i^k 为 0~1 变量,若 k 车路径上包含节点 v_j ,取 1;否则,取 0。

惩罚成本是因配送车辆在顾客节点时间窗之前或之后到达所导致的, a , b 分别为冷藏车早到单位时间的等待成本和晚到单位时间的惩罚成本, $\max\{e_i - t_i^k, 0\}$, $\max\{t_i^k - l_i, 0\}$ 分别为冷藏车在顾客节点 v_i 处早到、晚到的时间,所以则配送过程中的惩罚成本为:

$$C_5 = \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} (a \max\{e_i - t_i^k, 0\} + b \max\{t_i^k - l_i, 0\}).$$

缺货成本是因配送车辆实际载货量小于配送路线上顾客节点的总实际需求所致, g 为单位冷链品的缺货成本, s_k , d_k 分别为冷藏车 k 实际载货量和配送路线 r_k 上的总需求量,其中 $s_k \leq Q$,所以配送过程

中的缺货成本为:

$$C_6 = g \sum_{k \in K} \max\{d_k - s_k, 0\}.$$

综上,目标函数为:

$$\begin{aligned} \min C = & mf + c \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} t_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} \\ & [x_{ij}^k c_e \hat{t}_{ij}^k + y_j^k c'_e \mu_j] + p \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} y_i^k \theta_i^k \xi_i + \\ & \sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} (a \max\{e_i - t_i^k, 0\} + b \max\{t_i^k - l_i, 0\}) + \\ & g \sum_{k \in K} \max\{d_k - s_k, 0\} \end{aligned} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{k \in K} \sum_{v_i \in V} x_{ij}^k = 1, v_j \in V, \quad (2)$$

$$\sum_{v_j \in V} x_{ij}^k = \sum_{v_j \in V} x_{ji}^k, v_i \in V, k \in K, \quad (3)$$

$$\sum_{v_i \in V \setminus |v_0|} x_{0i}^k = \sum_{v_j \in V \setminus |v_0|} x_{j0}^k, k \in K, \quad (4)$$

$$x_{ij}^k (\max\{t_i^k, e_i\} + \mu_i + t_{ij}^k - t_j^k) \leq 0, \\ v_i \in V, v_j \in V, k \in K, \quad (5)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\}, v_i \in V, v_j \in V, k \in K, \quad (6)$$

$$y_i^k \in \{0, 1\}, v_i \in V, k \in K, \quad (7)$$

$$t_i^k \leq L_i, v_i \in V, k \in K, \quad (8)$$

$$s_k \leq Q, k \in K, \quad (9)$$

$$P\{\sum_{k \in K} s_k \geq \sum_{k \in K} d_k\} = q. \quad (10)$$

式(1)为目标函数,由六部分组成:固定成本、行驶成本、制冷成本、变质成本、惩罚成本和缺货成本。式(2)和式(3)确保每个顾客节点有且只有一辆车为其服务;式(4)确保车辆由配送中心并最终返回配送中心;式(5)为连续两个顾客节点上冷藏车离开时间的约束;式(6)和式(7)表明决策变量为 0~1 变量;式(8)确保配送车辆必须在顾客时间窗结束之前到达;式(9)为冷藏车容量限制;式(10)确保达到顾客需求量满足率。

2 配送路径优化

构建带时间窗的配送车辆路径问题时,一般需要考虑时间窗、运输里程两个因素。根据冷链品的特性,在构建配送路线时,将时间窗设为首要因素,运输里程其次,即在保证顾客可接受时间范围送达的基础上合理规划路径,使得运输里程最小,进而使得配送总成本最小化。由于冷藏车达到顾客节点之前不知道顾客的实际需求量,只知道顾客需求服从的随机分布,本文将根据顾客需求量满足率确定配送量。雷炜^[15]通过模拟试验,比较了运用扫描

法、最近插入法、节约算法所得到的路线规划, 结果表明节约算法得出的车辆线路安排, 既能很好地满足网点的需求服务水平, 而且能够有效地提高车辆的利用率, 为此, 本文将运用节约算法进行配送路线的优化。

节约算法最早由 Clarke 和 Wright 于 1964 年提出, 以解决冷藏车数不固定的冷藏车路径问题 (VRP)。这种算法的基本思路是, 按节约值从大到小构造路径, 在车容量限制下, 按照从大到小的顺序将相互对应的两个顾客节点插入路径当中, 直到所有的顾客都被插入路径当中。1983 年, Solomon 将这种解法应用于求解带时间窗的冷藏车路径问题。在求解这一问题时, 除了考虑将两个点之间节省最大的两个顾客插入路径时, 还要考虑时间窗限制, 并且时间窗优先。此方法的基本原则是使配送总成本达到最低。

节约算法具体求解步骤如下:

- (1) 将顾客节点按时间窗的先后顺序进行排序;
- (2) 计算费用节约值。冷藏车由节点 v_i 出发经过节点 v_j 所产生的时间节约值 $s_{ij} = 2(t_{0i} + t_{0j}) - (t_{0i} + t_{ij} + t_{j0}) = t_{0i} + t_{0j} - t_{ij}$, 令 $M = \{s_{ij} | s_{ij} > 0\}$, 并将 s_{ij} 按照从大到小的顺序排列;
- (3) 从配送中心开始, 首先把时间窗要求最早的需求点作为第一个配送对象, 然后寻找总成本最低的顾客节点, 并将其也加入路线上;
- (4) 重复步骤 (3) 的算法, 直到此线路已经达到冷藏车载重限制;
- (5) 重复步骤 (3) 和步骤 (4) 的算法, 并重新建立一条新的配送路线, 最终把所有的顾客节点都被安排进配送线路。

3 算例分析

一个配送中心向 20 个顾客配送冷链品, 算例选自 Solomon 标准示例集, 配送中心及顾客节点的位置坐标 (x_i, y_i) 、服务时间窗 $[e_i, l_i]$ 与 R109 前 20 个单元一致, 各顾客需求量服从独立的正态分布, 且期望需求量 $E(\xi_i)$ 等于标准示例中客户确定的需求量, 如表 1 所示。每辆冷藏车最多可装载 50 单位的冷链品, 行驶速度为 30 km/h, 单位冷链品的价格为 100 元。冷藏车的固定成本为 120 元, 单位时间行驶成本为 35 元, 行驶过程及卸货过程单位时间的制冷成本分别为 15, 20 元, 单位时间的等待成本和惩罚成本都为 90 元, 单位商品的缺货成本为 15 元, 运输过程中和卸货过程中单位时间致使冷链品品质

下降的比率分别为 0.5%, 1%。

表 1 顾客节点信息

Tab. 1 Information of customer nodes

节点 v_i	x 坐标/ km	y 坐标/ km	需求量 期望值 u	e_i/min	l_i/min	μ_i/min
0	35	35	-	0	230	0
1	41	49	10	133	198	5
2	35	17	7	22	87	4
3	55	45	13	98	143	6
4	55	20	19	123	184	8
5	15	30	26	20	93	9
6	25	30	3	76	131	2
7	20	50	5	61	110	1
8	10	43	9	75	124	4
9	55	60	16	74	129	9
10	30	60	16	107	150	7
11	20	65	12	42	101	5
12	50	35	19	38	97	8
13	30	25	23	131	196	10
14	15	10	20	32	114	10
15	30	5	8	35	96	14
16	10	20	19	52	107	8
17	5	30	2	124	189	2
18	20	40	12	69	114	5
19	15	60	17	52	109	2
20	45	65	9	105	156	4

为了深入研究顾客需求变动幅度对配送路径规划的影响, 在顾客需求期望值不变的前提下, 令顾客需求量方差分别为 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 运用节约算法规划冷链品配送路径:

方案一: 采用不考虑随机影响的确定性需求模型, 即以表 1 中的顾客需求量期望值代表顾客实际需求, 其配送路径规划如表 2 所示。

表 2 确定性模型的配送路径

Tab. 2 Distribution routes of deterministic model

第 1 条	第 2 条	第 3 条
0-2-15-4-0	0-3-1-13-0	0-5-8-18-6-0
第 4 条	第 5 条	第 6 条
0-7-19-11-10-0	0-12-9-20-0	0-14-16-17-0

方案二: 对于需求随机的模型规划, 假定配送中心既定的顾客需求满足率为 95%, 根据概率论的知识, $X \sim N(u, \sigma^2)$, 当 $x = u + z_\alpha \times \sigma$, 查正

态分布表得 $z_{\alpha} = z_{0.05} = 1.65$ 。将数据代入模型，根据节约算法计算配送路线，如表3、表4所示。

表3 随机性模型的配送路径之一 ($\delta=1, 2, 3$)

Tab.3 First distribution route of stochastic model ($\delta=1, 2, 3$)

第1条	第2条	第3条	第4条
0-2-15-4-0	0-5-8-7-0	0-9-20-1-0	0-12-3-0
第5条	第6条	第7条	
0-14-16-17-0	0-18-6-13-0	0-19-11-10-0	

表4 随机性模型的配送路径之二 ($\delta=4, 5, 6, 7$)

Tab.4 Second distribution route of stochastic model ($\delta=4, 5, 6, 7$)

第1条	第2条	第3条	第4条
0-2-15-4-0	0-5-8-7-0	0-9-20-10-0	0-12-3-1-0
第5条	第6条	第7条	
0-14-16-17-0	0-18-6-13-0	0-19-11-10-0	

用 matlab 8.0 中的 $R = \text{normrnd}(MU, SIGMA, m, n)$ 函数为每个顾客节点生成一组随机数，作为顾客节点的实际需求量。为了减小样本的随机性，同一方差情况下为每个顾客节点生成 10 个随机数，即共生成 1 400 组随机数。

将数据带入预先规划的配送路径和数学模型，分别计算各个需求方差 ($\delta=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$) 下分别利用确定性模型和随机性模型所规划出的路径进行配送时的固定成本、行驶成本、制冷成本、变质成本、惩罚成本、缺货成本以及总成本，如表 5 所示。

表5 配送成本汇总表 (单位: 元)

Tab.5 Summary of distribution costs (unit: 元)

方差 δ	路径类型	固定成本	行驶成本	制冷成本	变质成本	惩罚成本	缺货成本	总成本
1	确定	7 200.0	5 497.7	2 386.2	1 993.1	0.0	659.8	17 736.8
	随机	8 400.0	5 627.7	2 770.3	2 020.4	0.0	12.7	18 831.1
2	确定	7 200.0	5 497.7	2 412.4	2 073.3	0.0	1 139.3	18 322.7
	随机	8 400.0	5 627.7	2 755.6	2 241.7	0.0	68.5	19 093.5
3	确定	7 200.0	5 497.7	2 357.8	2 091.4	0.0	1 980.1	19 127.0
	随机	8 400.0	5 627.7	2 637.1	2 313.9	0.0	386.1	19 364.8
4	确定	7 200.0	5 497.7	2 320.2	2 136.9	0.0	2 572.4	19 727.2
	随机	8 400.0	5 789.6	2 697.0	2 266.6	0.0	532.3	19 685.5
5	确定	7 200.0	5 497.7	2 352.0	2 217.4	0.0	2 737.3	20 004.4
	随机	8 400.0	5 789.6	2 660.7	2 340.9	0.0	703.3	19 894.5
6	确定	7 200.0	5 497.7	2 345.3	2 201.1	0.0	3 372.4	20 496.5
	随机	8 400.0	5 789.6	2 732.6	2 360.5	0.0	819.6	19 982.4
7	确定	7 200.0	5 497.7	2 251.0	2 140.7	0.0	3 890.1	20 979.5
	随机	8 400.0	5 789.6	2 724.1	2 416.7	0.0	754.8	20 085.3

由表 5 中的数据可知，随着需求方差的变动，固定成本、行驶成本、制冷成本、变质成本以及惩罚成本相对比较稳定，缺货成本、总成本变化趋势相对比较明显。运用表 5 中的数据绘制车辆成本(固定成本、行驶成本、制冷成本之和)、变质成本、缺货成本以及总成本的折线图，如图 1~图 4 所示。

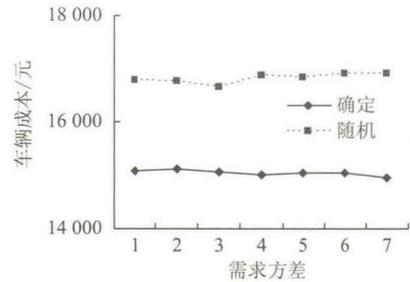


图1 车辆成本

Fig.1 Vehicle costs

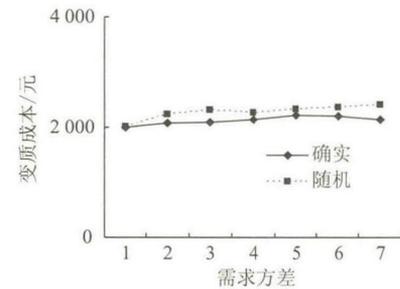


图2 变质成本

Fig.2 Deterioration costs

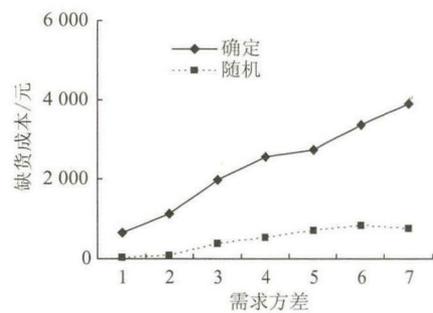


图3 缺货成本

Fig.3 Stockout costs

通过对随机性模型与确定性模型所构建的配送路径比较分析，可得出如下结论：

(1) 采用确定性模型，可以降低冷链物流企业的固定成本。

由图 1、图 2 可知，车辆成本、变质成本平稳波动。车辆成本、变质成本主要由车辆数量、行驶距离决定，由于本文假定配送车辆按照预先规划好的

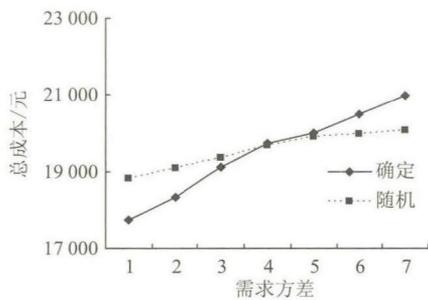


图4 总成本
Fig.4 Total costs

路径行驶, 确定性模型的车辆路径固定不变; 随机性模型的根据需求方差的不同有两种类型的配送方案, 但由于二者的车辆数相同, 只有个别路径有差异, 所以车辆成本、变质成本平稳波动。

随机性模型的车辆成本、变质成本始终大于确定性模型的车辆成本、变质成本, 因为随机性模型将需求随机性考虑在内, 致使配送车辆数、行驶路线长度、车辆装载量增加, 导致车辆成本、变质成本上升。本文的算例只有 20 个顾客节点, 在一次配送任务过程中, 相较于随机性模型, 确定性模型少一条配送路径, 即减少了配送车辆的使用数量进而降低了企业的固定成本。若企业的规模很大, 所节省的固定成本、场地费用是相当可观的。

(2) 采用随机性模型, 可以提高客户的需求满足率。

由图 3 可知, 确实性模型的缺货成本始终大于随机性模型的缺货成本, 主要是由于确定性模型没有考虑需求随机因素, 当顾客需求发生变动时会导致相应的缺货成本, 并且随着顾客需求方差的增大, 确定性模型的缺货成本随需求方差的增大而增大的确实相当明显。若冷链物流企业注重客户关系的维护, 采用随机性模型规划配送路径可以根据所要达到的顾客服务水平做出相应的比较灵活的调整。

(3) 配送成本随着需求方差的增大而增大

由于顾客需求方差增大会增加供需双方的信息不对称程度, 致使配送方的配送成本增加。由图 4 可知, 当需求方差比较小时, 确定性模型的总成本小于随机性模型的总成本, 因为当顾客需求方差比较小时, 确定性模型的车辆成本小于随机性模型的车辆成本, 且相较于车辆成本, 变质成本、缺货成本差距较小; 然而, 当需求方差比较大时, 随机性模型的总成本小于确实性模型的总成本, 因为随着顾客需求方差的增大, 由于确定性模型没有考虑需

求随机因素的影响, 导致缺货成本大幅度增加, 最终导致总成本大于随机性模型的总成本。

4 结论与思考

由于冷链品易变质、对温度敏感的特性, 配送成本远远高于常温货物, 所以在保证冷链品品质的基础上降低配送成本就成为冷链物流企业所关注的焦点。根据上述的分析可知, 冷链物流企业可以根据公司战略及经营状况选择相应的配送路径规划模式, 但无论采用何种配送路径规划模式, 顾客需求的随机性是导致配送成本增加的主要原因, 所以降低顾客需求的不确定性是冷链物流企业降低配送成本最直接、最有效的手段。故此, 为了降低顾客需求的不确定性, 本文提出以下几点建议:

(1) 加强需求信息共享, 建立战略合作关系

若冷链物流企业与上下游企业之间信息不能共享, 将会产生大量信息孤岛, 造成资源与资金的双重浪费。所以供应链中各节点企业为了提高整体的竞争力而进行的彼此协调, 建立战略合作伙伴关系、树立“共赢”意识, 供应商、制造商、分销商和客户动态地共享信息、紧密协作, 实现信息高度共享, 保证信息的准确性和实时性, 及时了解市场动态和物流服务过程, 提高冷链物流配送的准确性、针对性、高效性和完整性。

(2) 利用需求预测方法, 掌握市场需求变动趋势

冷链品的需求量是气候、市场等众多因素作用的结果, 物流企业可以通过利用历史数据, 结合市场行情, 利用数据挖掘技术、时间序列分析等科学方法, 预测未来的需求量, 为企业的配送计划和控制决策提供依据, 降低顾客需求量的不确定性。

(3) 运用电子信息技术, 构建冷链物流信息平台

冷链物流对配送中的时间和温度控制有着更高的要求, 信息化是实现实时控制的有力手段。利用现代 RFID 与物联网技术, 构建冷链物流信息平台, 通过对冷链物流配送全过程的管理, 实现降低成本和提高服务水平两个目的。首先, 通过冷链物流信息平台实现配送过程的可视化, 做到对冷链品运输车辆及时准确的调度, 从而提高运输效率, 避免无效运输。其次, 把冷链品的配送车辆纳入物联网, 利用 RFID 温度标签可以提供温度的监控, 实现车载冷链品的动态感知, 动态监控在途冷链品的质量与安全。

本文研究了顾客需求变动情况下冷链品的配送路径规划与选择问题,利用节约算法进行配送路线的优化,通过算例比较了利用随机性模型与确定性模型所规划的配送路径的差异,提供了配送路径选择的相关建议,以期能为我国的冷链物流的配送环节提供理论指导与依据。

参考文献:

References:

- [1] HU X, WANG Z, HUANG M, et al. A Computer - enabled Solution Procedure for Food Wholesalers' Distribution Decision in Cities with a Circular Transportation Infrastructure [J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 36 (7): 2201 - 2209.
- [2] CHENG C, WANG K. Solving a Vehicle Routing Problem with Time Windows by a Decomposition Technique and a Genetic Algorithm [J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36 (5): 7758 - 7763.
- [3] AZI N, GENDREAU M, POTVIN J. An Exact Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Time Windows and Multiple Use of Vehicles [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 202 (3): 756 - 763.
- [4] AMORIM P, BELO-FILHO M A F, TOLEDO F M B, et al. Lot Sizing Versus Batching in the Production and Distribution Planning of Perishable Goods [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 146 (1): 208 - 218.
- [5] SHUKLA M, JHARKHARIA S. Artificial Immune System-based Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Window Constraint for the Delivery of Agri-fresh Produce [J]. *Journal of Decision Systems*, 2013, 22 (3), 224 - 247.
- [6] 王海丽, 王勇, 曾永长. 带时间窗的易腐食品冷藏车辆配送问题 [J]. *工业工程*, 2008, 11 (3): 127 - 130.
WANG Hai-li, WANG Yong, ZENG Yong-chang. Distribution of Perishable Food Based on Models with Time Windows [J]. *Industrial Engineering Journal*, 2008, 11 (3): 127 - 130.
- [7] 缪小红, 周新年, 林森, 等. 第3方冷链物流配送路线优化研究 [J]. *运筹与管理*, 2011, 20 (4): 32 - 38.
MIAO Xiao-hong, ZHOU Xin-nian, LIN Sen, et al. Study on Routing Optimization for Cold-chain Logistics Distribution of 3PL [J]. *Operations Research and Management Science*, 2011, 20 (4): 32 - 38.
- [8] 王淑云, 赵敏. 蓄冷式冷链物流多温共配的动力机制 [J]. *公路交通科技*, 2012, 29 (2): 144 - 148.
WANG Shu-yun, ZHAO Min. Impetus of Multi-temperature Joint Distribution Based on Storage-type Cold-chain Logistics [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2012, 29 (2): 144 - 148.
- [9] 石兆, 符卓. 时变网络条件下带时间窗的食品冷链配送定位-运输路径优化问题 [J]. *计算机应用研究*, 2013, 30 (1): 183 - 188.
SHI Zhao, FU Zhuo. Distribution Location Routing Optimization Problem of Food Cold Chain with Time Window in Time Varying Network [J]. *Application Research of Computers*, 2013, 30 (1): 183 - 188.
- [10] LIU Q. A Study on Vehicle Routing Problem in the Delivery of Fresh Agricultural Products under Random Fuzzy Environment [J]. *International Journal of Information and Management Sciences*, 2008, 19: 673 - 690.
- [11] CHEN H K, HSUEH C F, CHANG M S. Production Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows for Perishable Food Products [J]. *Computers & Operations Research*, 2009, 36 (7): 2311 - 2319.
- [12] BRIO J, MARTINEZ F, MORENO J A, et al. Fuzzy Optimization for Distribution of Frozen Food with Imprecise Times [J]. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2012, 11 (3): 337 - 349.
- [13] LIN Y K, YEH C T, HUANG C F. Reliability Evaluation of a Stochastic-flow Distribution Network with Delivery Spoilage [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 66 (2): 352 - 359.
- [14] SAZVAR Z, MIRZAPOUR AL-E-HASHEM S M J, BABOLI A, et al. A Bi-objective Stochastic Programming Model for a Centralized Green Supply Chain with Deteriorating Products [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 150: 140 - 154.
- [15] 雷炜. 需求不确定条件下的车辆线路规划问题研究 [D]. 广州: 中山大学, 2010.
LEI Wei. Research on the Vehicle Routing Planning with Uncertain Demand [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2010.