

考虑碳排放的连锁零售企业配送路径优化研究

张电, 孙源泽

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 随着发展低碳经济成为共识, 碳排放成本成为连锁零售企业营运过程中需考虑的众多成本之一。文中对连锁零售企业物流配送现状和流程进行分析, 构建以包含车辆成本、碳排放成本在内的配送成本最小为目标函数的连锁零售企业配送路径优化模型, 并选用节约法对其进行求解, 得出解决考虑碳排放的连锁零售企业配送路径优化的较简便方法。

关键词: 物流; 连锁零售企业; 配送路径; 碳排放; 节约法

中图分类号: U492.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)06-0047-05

节约资源、保护环境已成为全球的共识, 发展低碳经济也是中国实现可持续发展的必然选择。物流是中国十大规划振兴产业之一, 降低物流业的能源消耗是降低碳排放、促进低碳经济发展的有效手段之一。配送是物流体系中由运输派生出来的特殊功能, 其将物流与商流紧密结合, 尤其是对于连锁零售企业, 配送过程的质量和配送服务达到的水平具体而直观地体现了连锁零售企业物流系统对其需求的满足程度。目前中国连锁零售企业的物流仍存在设备落后、管理经营水平低下、系统运作效率不高、低碳物流技术发展滞后等问题, 使连锁零售企业在快速发展的同时, 不可避免地带来能源消耗大、环境污染严重等问题。因此, 研究连锁零售企业在物流配送中产生的碳排放并对其配送路径进行优化对实现碳减排和环境保护具有重要意义。

1 连锁零售企业配送优化现状

1.1 相关研究现状

目前, 国内已有部分学者针对连锁零售业物流配送路径优化和低碳物流进行了研究。牛晨从 5 个配送环节提出了构建连锁零售企业低碳配送体系的思路和方法, 但只是在传统物流配送中心选址模型和配送路径优化模型的基础上构建了基于双层规划的选址—选线整数规划模型, 并未将碳排放成本加入模型目标函数中予以考虑。王大文运用节约里程法对连锁超市的配送物流进行优化, 但优化过程中没有考虑配送成本, 仅以配送路径最短为目标。宋佳晋将碳排放成本化, 在车辆载重量和软时间窗约束条件下, 构建以总成本最小为目标函数的考虑碳排放的生鲜产品冷链配送路径优化模型, 其优化方

法可为研究连锁零售企业配送路径优化提供借鉴和思路。王丹丹构建系统动力学模型分析北京市连锁超市蔬菜配送过程, 提出连锁超市应根据实际订单量及相关政策等选择合适的配送模式, 实现降低单位碳排放量和单位配送成本的目标, 但并未涉及配送路径优化。齐云英基于 O2O 电商模式, 以配送成本最小为目标函数构建配送路径优化模型, 但模型中考虑的约束条件较简单, 未涉及电商模式下考虑碳减排的派送路径优化。目前物流配送优化及碳减排研究主要围绕连锁企业配送模式选择及低碳生鲜冷链配送路径优化方面, 考虑碳减排的连锁零售企业配送网络优化有待进一步研究。

1.2 连锁零售企业配送运作流程

如图 1 所示, 连锁零售企业的配送流程从连锁零售企业接到客户的需求订单开始, 之后向供应商下单订货, 等采购车辆到达后进行装卸作业, 并把货物搬运到仓库或配送中心进行保管和储存; 然后根据客户需求信息把产品进行分拣和加工, 达到客户要求的标准后, 装配到车辆进行配送, 按照一定的路线和顺序安排送达各门店进行销售。

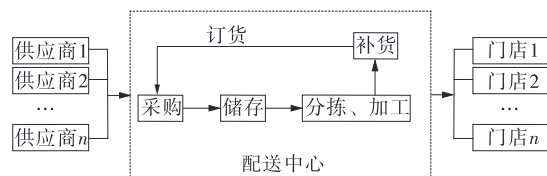


图 1 连锁零售企业配送运作流程

连锁零售商店配送运作流程可分为采购、储存、分拣及配货、补货、运输和接货等环节, 该文主要针对运作流程中的运输环节即从配送中心到各连锁门店间的货物运输过程进行优化。

2 基于碳排放的连锁零售企业配送路径优化模型

2.1 基本假设

为方便建立连锁零售企业配送路径优化模型,将实际问题简化,作如下假设:1) 连锁门店数量确定,各门店位置已知,两门店之间的距离近似取直线距离;2) 各连锁门店一定时间内需求量已知且固定不变;3) 配送中心货物足够,能满足所有门店的需求;4) 运输车辆数量充足,且为同一车型;5) 货物均能按要求准时送到各门店,每个门店只能由一辆车辆配送一次;6) 配送车辆从配送中心出发,配送完成后返回配送中心。

2.2 配送成本分析

2.2.1 车辆成本

(1) 固定成本。在一个配送周期内,配送车辆的固定成本是不会变的,包含司机工资、车辆折旧费、车辆保养费等,纳入固定成本计算的为使用中的车辆,不包括闲置车辆。计算公式如下:

$$C_1 = \sum_{k=1}^K r y_k \quad (1)$$

式中: C_1 为车辆总固定成本; r 为配送车辆的固定成本; K 为配送中心可用车辆数量; y_k 为(0,1)决策变量,第 k 辆车被使用时 y_k 取 1,否则取 0。

(2) 变动成本。车辆起动及配送过程中产生一定的变动成本,包括燃油消耗成本、车辆维护和保养所需成本等,通常与行驶路程及时间相关。计算公式如下:

$$C_2 = s \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ijk} \quad (2)$$

式中: C_2 为配送过程中车辆总的变动成本; s 为车辆单位行驶成本;节点集合 $V = \{V_0, V_1, \dots, V_N\}$, V_0 为配送中心; d_{ij} 为门店 i 与门店 j 之间的距离, $i, j \in (1, \dots, N)$; x_{ijk} 为[0,1]决策变量,车辆 k 经过门店 i 与门店 j 间的路段(i, j)时取 1,否则取 0。

2.2.2 碳排放成本

连锁零售企业物流配送过程中产生的碳排放主要由车辆运输环节消耗燃油所致。根据相关文献,配送过程中消耗燃油产生的碳排放量=燃油消耗量 \times CO₂排放系数,而运输过程中燃油消耗量的多少与车辆载货量及运输距离等因素相关。单位距离内燃油消耗量为:

$$\omega(X) = a(Q_0 + X) + b \quad (3)$$

式中:自变量 X 为运输车辆的载货量; Q_0 为运输车辆自重; a, b 为待定系数。

假设运输车辆最大载货量为 Q ,空载时单位距离燃油消耗量为 ω_0 ,满载时单位距离燃油消耗量为 ω^* ,则根据空载及满载时燃油消耗量构建方程组可求出系数 a, b ,式(3)转化为:

$$\omega(X) = \omega_0 + \frac{\omega^* - \omega_0}{Q} X \quad (4)$$

配送过程中,假设从需求点 i 到需求点 j 运输货物的量为 Q_{ij} ,则 i, j 路径之间的碳排放量为:

$$E_1 = e_0 \omega(Q_{ij}) d_{ij} \quad (5)$$

车辆向所有需求点运输完货物后返回配送中心的过程中,燃油消耗是碳排放产生的唯一来源,碳排放量为:

$$E_2 = e_0 \omega_0 d_{ij} \quad (6)$$

结合式(5)、式(6),全程配送中各环节产生二氧化碳排放量的总和为 $E = E_1 + E_2$ 。假设碳排放单价为 c_0 ,则在运输过程中产生的碳排放成本 C_3 为:

$$C_3 = c_0 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N [e_0 \omega(Q_{ij}) d_{ij} + e_0 \omega_0 d_{ij}] \quad (7)$$

2.3 模型建立

以总配送成本最小为目标的考虑碳排放的连锁零售企业配送路径优化模型如下:

$$\min C = \sum_{k=1}^K r y_k + s \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K d_{ij} x_{ijk} + c_0 \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N e_0 d_{ij} [\omega(Q_{ij}) + \omega_0] \quad (8)$$

约束条件为:

$$\sum_{i=1}^N q_i z_i^k \leq Q \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K z_i^k = N \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0}^k = \sum_{j=1}^N x_{0j}^k = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ih}^k - \sum_{j=0}^N x_{hj}^k = 0 \quad (12)$$

式(8)表示优化模型以配送总成本最小为目标函数。约束条件中,式(9)表示每辆配送车辆所需配送的所有门店的货物需求量总和不超过车辆最大载重量限制,其中 z_i^k 为[0,1]决策变量,车辆 k 为门店 i 提供服务则 $z_i^k = 1$,否则 $z_i^k = 0$;式(10)规定所有门店都能接受到配送服务;式(11)要求配送车辆从配送中心出发,完成配送任务后必须返回配送中心;式(12)表示每个连锁门店只能接受一辆配送车辆的

一次配送服务。

3 算例分析

3.1 算法设计

采用节约法求解考虑碳排放的连锁零售企业配送路径优化模型。节约法的核心思想是用节约准则对形成的车辆路径进行逐次逼近运算,最终得到最优路线。根据式(8),车辆的变动成本和配送的碳排放成本与运输车辆配送路径相关,碳排放成本还受车辆所载货物量影响,如靠前卸下较重的货物可降低的碳排放成本大于靠前卸下较轻的货物可降低的碳排放成本;车辆的固定成本仅与参与配送的车辆数相关。

3.2 算例设计

假设某连锁零售企业需使用若干载重量为 3 t 的车辆从配送中心向 10 个连锁门店配送货物,各连锁门店的位置及货物需求量 q_i 见表 1,其他相关参数见表 2,需合理安排车辆及配送路线,使包含碳排放成本的总配送成本最小。

表 1 各连锁门店位置及货物需求量

配送节点	坐标	需求量/t	配送节点	坐标	需求量/t
V_0	(0,0)	0.0	V_6	(23.5,-2.0)	1.2
V_1	(15.4,-7.6)	1.0	V_7	(-6.2,14.2)	0.7
V_2	(0.9,-14.0)	0.5	V_8	(7.5,2.9)	1.4
V_3	(-14.9,-14.2)	0.9	V_9	(-1.9,2.0)	1.5
V_4	(-7.4,4.9)	1.1	V_{10}	(8.9,15.9)	1.8
V_5	(-10.6,-1.8)	0.5			

表 2 相关参数设置

参数名称	参数值
车辆行驶单位里程成本 $s/(\text{元} \cdot \text{km}^{-1})$	3
满载时燃油消耗量 $\omega^*/(\text{L} \cdot \text{km}^{-1})$	0.38
空载时燃油消耗量 $\omega_0/(\text{L} \cdot \text{km}^{-1})$	0.16
配送车辆单位固定成本 $r/(\text{元} \cdot \text{辆}^{-1})$	200
CO_2 排放系数 $e_0/(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.10
碳排放单价 $c_0/(\text{元} \cdot \text{kg}^{-1})$	10

(1) 按各节点坐标计算配送中心及各门店之间的里程,两地间距离近似取直线距离,结果见表 3。

表 3 运输里程

节点	与下列节点之间的距离/km										
	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}
V_0	0.00	17.17	14.03	20.58	8.88	10.75	23.58	15.49	8.04	2.76	18.22
V_1	17.17	0.00	15.85	31.01	26.00	26.64	9.85	30.69	13.14	19.79	24.38
V_2	14.03	15.85	0.00	15.80	20.64	16.77	25.59	29.08	18.14	16.24	30.95
V_3	20.58	31.01	15.80	0.00	20.52	13.12	40.29	29.70	28.18	20.77	38.37
V_4	8.88	26.00	20.64	20.52	0.00	7.42	31.66	9.38	15.03	6.22	19.66
V_5	10.75	26.64	16.77	13.12	7.42	0.00	34.10	16.59	18.70	9.49	26.34
V_6	23.58	9.85	25.59	40.29	31.66	34.10	0.00	33.83	16.73	25.71	23.10
V_7	15.49	30.69	29.08	29.70	9.38	16.59	33.83	0.00	17.76	12.94	15.20
V_8	8.04	13.14	18.14	28.18	15.03	18.70	16.73	17.76	0.00	9.44	13.08
V_9	2.76	19.79	16.24	20.77	6.22	9.49	25.71	12.94	9.44	0.00	17.60
V_{10}	18.22	24.38	30.95	38.37	19.66	26.34	23.10	15.20	13.08	17.60	0.00

(2) 计算各节点之间的成本节约值,节约的成本包括车辆的变动成本及碳排放成本。车辆配送里程节约值见表 4,载重量节约值见表 5,成本节约值见表 6。节约成本为节约的车辆变动成本及碳排放成本节约值之和,即节约成本=节约里程数 \times (车辆行驶单位里程成本+单位距离燃油消耗量 \times 排放系数 \times 碳排放单价)。根据式(4),单位距离燃油消耗量=空载时油耗量+[(满载时油耗量-空载时油耗量)/车辆最大载重量] \times 节约载重量。

(3) 计算第一条配送路径。1) 找出表 6 中节约

数最大的数,为 V_6 行与 V_1 列交叉位置的 330.4 元。门店 6 与门店 1 的需求量分别为 1.2、1 t,车辆载重量为 2.2 t,未超载。因此,存在从 V_6 到 V_1 的配送过程。2) 再从表 6 中找出 V_1 行中除去 V_6 列以外的节约数最大值,为与 V_2 列交叉处的 157.1 元。门店 2 的需求量为 0.5 t,总载重量为 2.7 t,未超载。因此,存在从 V_1 到 V_2 的配送过程。3) 车辆剩余载重量 0.3 t 已无法满足余下任何门店的需求,故车辆 1 只能为门店 6、1、2 提供服务,其配送路径为 $V_0 \rightarrow V_6 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_0$ 。

表 4 各节点之间车辆配送里程节约值

节点	与下列节点之间的配送里程节约值/km									
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀
V ₁	0.00	15.35	6.75	0.05	1.29	30.91	1.98	12.07	0.15	11.01
V ₂	15.35	0.00	18.81	2.26	8.01	12.03	0.44	3.93	0.54	1.30
V ₃	6.75	18.81	0.00	8.94	18.21	3.88	6.37	0.44	2.57	0.43
V ₄	0.05	2.26	8.94	0.00	12.20	0.80	14.99	1.88	5.42	7.43
V ₅	1.29	8.01	18.21	12.20	0.00	0.24	9.65	0.09	4.02	2.64
V ₆	30.91	12.03	3.88	0.80	0.24	0.00	5.25	14.89	0.63	18.71
V ₇	1.98	0.44	6.37	14.99	9.65	5.25	0.00	5.78	5.32	18.52
V ₈	12.07	3.93	0.44	1.88	0.09	14.89	5.78	0.00	1.36	13.19
V ₉	0.15	0.54	2.57	5.42	4.02	0.63	5.32	1.36	0.00	3.38
V ₁₀	11.01	1.30	0.43	7.43	2.64	18.71	18.52	13.19	3.38	0.00

表 5 各节点之间载重量节约值

节点	与下列节点之间的载重量节约值/t									
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀
V ₁	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V ₂	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V ₃	0.9	0.9	0.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
V ₄	1.1	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
V ₅	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V ₆	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.0	1.2	1.2	1.2	1.2
V ₇	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.7
V ₈	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.0	1.4	1.4
V ₉	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.0	1.5
V ₁₀	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	0.0

注: 第 i 行与第 j 列的交叉值表示车辆先服务门店 i , 之后服务门店 j , 从门店 i 到门店 j 过程中的节约载重量即为门店 i 的需求量。

表 6 各节点之间成本节约值

节点	与下列节点之间的成本节约值/元									
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀
V ₁	0.0	157.1	69.0	0.5	13.2	316.3	20.3	123.6	1.5	112.7
V ₂	139.7	0.0	171.1	20.6	72.9	109.4	4.0	35.7	5.0	11.8
V ₃	67.5	188.2	0.0	89.4	182.2	38.8	63.8	4.4	25.7	4.3
V ₄	0.5	23.7	93.5	0.0	127.6	8.4	156.8	19.7	56.7	77.7
V ₅	11.7	72.9	165.7	111.0	0.0	2.1	87.8	0.8	36.5	24.0
V ₆	330.4	128.5	41.4	8.5	2.5	0.0	56.1	159.2	6.7	199.9
V ₇	18.9	4.2	60.9	143.2	92.2	50.1	0.0	55.2	50.8	176.9
V ₈	134.5	43.8	4.9	21.0	1.0	165.9	64.4	0.0	15.1	146.9
V ₉	1.7	6.2	29.2	61.6	45.7	7.2	60.5	15.4	0.0	38.4
V ₁₀	132.7	15.7	5.2	89.6	31.8	225.5	223.2	158.9	40.7	0.0

(4) 按照上述方法逐次计算其他配送路径, 直至所有门店都能接受服务。得: 车辆 2 的配送路径为 $V_0 \rightarrow V_{10} \rightarrow V_7 \rightarrow V_0$; 车辆 3 的配送路径为 $V_0 \rightarrow V_3 \rightarrow V_5 \rightarrow V_4 \rightarrow V_0$; 车辆 4 的配送路径为 $V_0 \rightarrow V_9$

$\rightarrow V_8 \rightarrow V_0$ 。所有 10 个门店的需求总量为 10.6 t, 则配送车辆至少需 4 辆。上述配送方案满足车辆的固定成本最小的要求, 同时所有门店均被服务。经计算, 该配送方案中车辆成本为 1 347.42 元, 配送

过程中产生的碳排放成本为 1 460.69 元,总配送成本为 2 808.11 元。

4 结语

在加入碳排放成本的前提下,以连锁零售企业的配送路径为优化对象,研究用若干车辆从同一配送中心出发为各处连锁门店提供配送服务,并使配送成本最优的配送方案。首先对配送过程中车辆成本及碳排放成本进行分析,建立以配送成本最小为目标函数、以基本假设为约束的连锁零售企业配送路径优化模型;之后采用节约法对模型进行求解,通过设计算例对模型在具体问题中的应用进行分析,得出解决低碳排放要求下连锁零售企业配送路径优化的较简便方法。文中构建的模型基于一定理想化假设,如未考虑配送中心安排不同类型配送车辆、各节点间的距离均近似以直线距离处理、未考虑配送过程中时效性限制等,这些假设与现实情况存在一定差异,在这些方面有待进一步完善。

参考文献:

- [1] 牛晨.连锁零售企业低碳物流配送体系构建与评价研究[D].淄博:山东理工大学,2012.
- [2] 王大文.连锁超市物流配送研究[J].物流科技,2016,39(4).
- [3] 宋佳晋.基于碳排放的冷链物流配送路径优化研究[D].大连:大连海事大学,2017.
- [4] 王丹丹.考虑碳排放的北京市连锁超市蔬菜配送模式选择分析[D].北京:北京交通大学,2016.
- [5] 齐云英.O2O 模式连锁企业农产品物流配送路径优化

[J].商业经济研究,2018(10).

- [6] 娄晶,周骞,胡轶群.时变路网下带硬时间窗的城市生鲜物流配送路径选择[J].公路与汽运,2019(1).
- [7] 张智勇,陈碧玲.考虑碳排放的共同配送路径问题研究[J].物流工程与管理,2018,40(10).
- [8] 陈久梅,周楠,王勇.生鲜农产品多隔室冷链配送车辆路径优化[J].系统工程,2018,36(8).
- [9] 钱振宇.考虑碳排放的物流配送选址:路径问题模型及其优化方法研究[D].杭州:浙江工业大学,2018.
- [10] 陈萍,李航.基于时间满意度的 O2O 外卖配送路径优化问题研究[A].第十八届中国管理科学学术年会论文集[C].2016.
- [11] 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,2015,33(9).
- [12] 刘守臣.基于多目标优化模型的冷链物流配送研究:以福建自贸区为例[J].钦州学院学报,2018(1).
- [13] 赵亮.客户配送要求变动的车辆调度问题研究[D].大连:大连海事大学,2018.
- [14] 肖超.基于改进蚁群算法的冷链低碳物流路径优化研究[D].天津:天津商业大学,2018.
- [15] 钱光宇.考虑碳排放的生鲜农产品冷链配送路径优化研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- [16] 薛潇雅.低碳约束下农产品冷链物流配送系统优化研究[D].郑州:郑州航空工业管理学院,2018.
- [17] 杨宁.考虑碳排放的城市快递配送车辆路径问题优化研究[D].北京:北京邮电大学,2018.
- [18] 苏海倩.考虑碳排放的多配送中心车辆路径优化研究[D].邯郸:河北工程大学,2017.

收稿日期:2019-04-11

(上接第 46 页)

- [5] 邵征翌.中国水产品质量安全管理战略研究[D].青岛:中国海洋大学,2007.
- [6] 吴婷婷.低温食品冷链物流的不确定因素分析与风险评估[D].厦门:集美大学,2016.
- [7] 李晓锦.农产品物流系统的建设[J].物流技术与应用,2009,14(11).
- [8] 王庆东,侯海军.属性层次模型 AHM 在质量评估中的应用[J].数学的实践与认识,2006(1).
- [9] 倪宁,张少泉,陈晓云,等.基于熵权法和模糊层次分析法的审计风险评估[J].软件,2018,39(10).
- [10] 梁富山.基于 AHP 和熵权法的税收收入质量评价:基于国税系统 2011 年数据的实证研究[J].税务与经济,2013(5).
- [11] 彭张林.综合评价过程中的相关问题及方法研究[D].

合肥:合肥工业大学,2015.

- [12] 刘涛.药品冷链物流系统安全性评价[D].大连:大连海事大学,2011.
- [13] 文力,黄翔.我国冷链物流现状及优化措施[A].第 3 届中国食品冷藏链新设备、新技术论坛论文集[C].2007.
- [14] 赵苏.农产品冷链物流发展政策措施研究[A].商品学发展与教育高级论坛暨中国商品学会第十二届学术研讨会论文集[C].2009.
- [15] 杨芳,谢如鹤,刘鹏飞.基于 GO-FLOW 法的苹果冷链物流系统安全性评价[J].湖南师范大学自然科学学报,2011,34(5).
- [16] 林朝朋,许晓春,刘广海.李子冷链物流品质安全与管理研究[A].第八届全国食品冷藏链大会论文集[C].2012.

收稿日期:2019-07-08