

# 低碳经济视角下新能源汽车配送路径优化研究

索彤彤<sup>1</sup> 郭跃显<sup>1</sup> 和延年<sup>2</sup>

1. 石家庄铁道大学, 中国·河北 石家庄 050043

2. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 中国·北京 100032

**摘要:** 为减少因配送导致的碳排放污染问题, 论文以城市配送为背景, 以包含碳排放成本在内的配送总成本最小为优化目标, 在传统遗传算法的基础上加入大规模邻域搜索(LNS), 设计了一种综合考虑需求量、车辆载重、单次充电续航里程、碳排放成本、充电成本以及燃油成本等在内的遗传算法, 通过案例, 对两种配送模式下的配送方案进行比较分析。研究结果表明, 论文构建的多车型车辆配送模型和设计的遗传算法能够得到最优配送路径方案; 通过两种配送方式对比分析可知, 在实际中短距离运营中, 纯电动车的配送成本更低、对环境造成的影响更小, 纯电动车配送更符合低碳物流的发展趋势。

**关键词:** 物流工程; 多车型路径优化; 遗传算法; 纯电车物流配送; 大规模邻域搜索

## Research on Distribution Path Optimization of New Energy Vehicles from the Perspective of Low-carbon Economy

Tongtong Suo<sup>1</sup> Yuexian Guo<sup>1</sup> Yannian He<sup>2</sup>

1. Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang, Hebei, 050043, China

2. Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., Beijing, 100032, China

**Abstract:** To reduce carbon pollution problem caused by distribution, based on the background of urban distribution, to include the cost of carbon emissions, distribution for the optimization target of minimizing the total cost on the basis of the traditional genetic algorithm (ga) to join the large neighborhood search (LNS), designs a comprehensive consideration of demand, vehicle load, single trip range charging, carbon cost, cost and fuel costs, such as genetic algorithm, through the case, the distribution scheme of two kinds of distribution mode comparative analysis. The results show that the multi-vehicle distribution model and the designed genetic algorithm can get the optimal distribution path scheme. Through the comparative analysis of the two distribution modes, it can be seen that in the actual short distance operation, the distribution cost of pure electric vehicles is lower and the impact on the environment is less, and the distribution of pure electric vehicles is more in line with the development trend of low-carbon logistics.

**Keywords:** logistics engineering; multi-vehicle path optimization; genetic algorithm; pure trolley logistics distribution; large-scale neighborhood search

## 0 前言

全球气候变暖是人类面临的重大挑战, 而人类活动排放的 CO<sub>2</sub> 是气候变暖的重要原因<sup>[1]</sup>。据《中国机动车环境管理年报(2018)》统计, 中国的货运车辆保有量尽管仅占中国汽车保有量的 7.8%, 然而排放的颗粒物和氮氧化物却分别占汽车排放量的 78% 和 57%, “贡献”了超半数的污染, 成为空气污染的重灾区, 所以货运行业节能减排、改革创新运营模式势在必行。

2019 年 3 月 28 日, 由智慧货运中心主办的《智慧货运论坛——物流领域排放计算方法和应用》在北京召开。电动汽车污染小且不会排放有毒气体的特质对节能减排有重要的作用, 物流行业作为交通运输碳排放的主要来源, 在碳减排方面, 得到了国家的大力重视, 推动了电车配送的发展。

对于城市配送相关的企业来说, 为了适应低碳社会的发展要求, 需要通过合理的方式降低城市配送过程中的碳排放, 在减少企业总的经营成本的同时, 保护环境降低碳排放, 由此可见低碳交通无疑是未来交通发展的重要方向<sup>[2]</sup>。

尽管路径优化的研究很多, 但大多仅限于单一车型和传统的燃油车<sup>[3-6]</sup>, 论文在前者研究的基础上, 针对物流运输现状, 采用多车型进行研究。此外, 受低碳环保理念的影响, 在燃油车的基础上, 又添加了电动车的路径优化对比分析, 对物流企业未来发展规划以及制定配送服务时间点有现实意义, 也为相关机构政策调整及同类问题提供参考。

## 1 问题描述及其假设

### 1.1 问题描述

一个配送中心 O 具有 K 种类型的电动车和 F 种类型的

燃油车以供配送,其相应车型的载重量为  $Q^k$ 、 $Q^f$ ,整个路径中共有  $N$  个客户点,  $E$  个充电站,并且每个客户点  $i$  的需求量  $q_i$  已知,不同类型的车辆从配送中心  $O$  出发对若干个客户点进行服务,在完成配送任务后,返回配送中心。满足客户需求且纯电车以运输成本、充电成本、碳排放成本、充电占用的时间成本和不在服务时间内惩罚成本最低,燃油车以运输成本、燃油成本和碳排放成本和不在服务时间内的惩罚成本最低为前提,分别通过模型和算法来寻找最优的配送路径,以达到经济成本和环境成本之间的均衡。

### 1.2 问题假设

①仅考虑送货,且需求不可拆分。

②配送网络只有一个配送中心,所有配送车辆都是从配送中心出发,送完货后返回配送中心,不可多次往返循环配送。

③所有车型行驶过程中从  $i$  点到  $j$  点的行驶速度相同,电量消耗随着续航里程均匀消耗,且充电速度均匀。

④卸货期间电量损耗为零,电动车在电量不能满足配送要求时,车辆到就近充电桩充电,且每次充电都能充满。

⑤电动车和燃油车均有 3 种车型,配送路线上共有 15 个充电站;车辆从充电站或配送中心出发时,电量为满电状态。

⑥充电站充电费用为 100 元/小时;充电占用时间的机会成本分别为 15 元/小时、20 元/小时、25 元/小时;不在客户服务时间内的惩罚成本系数为 25 元/小时。

### 1.3 指标参数

$O$  为配送中心;  $q_i$  为  $i$  点的需求量;  $d_{ij}$  为  $i$  点到  $j$  点的距离;  $E$  为充电站集合;  $N$  为客户需求点集合;  $M$  为所有节点集合;  $K$  为电动物流车类型集合;  $F$  为燃油物流车类型集合;  $E_i$  为  $i$  点的最早服务时间;  $L_i$  为  $i$  点的最晚服务时间;  $e_i^k$  为  $k$  类型电动物流车到达  $i$  点的时间;  $s^k$  为  $k$  类型电动物流车从没电到充满电的充电时间;  $b_{ik}$  为  $k$  类型电动物流车在  $i$  点的剩余续航里程;  $B_f$  为燃油的单位成本(元);  $A_3$  为单位碳排放的环境成本(元);  $T^k$  为  $k$  类型电动物流车单位时间充电成本;  $W^k$  为  $k$  类型电动物流车单位充电占用时间的机会成本;  $H$  为不在客户服务时间窗内的惩罚系数;  $\delta$  为单位燃油消耗量 ( $L \cdot km^{-1}$ );  $\theta$  为燃油生产碳排放系数 ( $kg \cdot L^{-1}$ );  $\lambda$  为电能生产碳排放系数 ( $kg \cdot (kw \cdot h^{-1})$ );  $\gamma$  为单位电量火力发电占比(%);  $\ell$  为单位里程车辆电能消耗 ( $kw \cdot h \cdot km^{-1}$ );  $\mu$  为车辆排放系数 ( $kg \cdot L^{-1}$ );  $Q^k$  为  $k$  类型所有电动物流车最大装载量;  $Q^f$  为  $f$  类型所有燃油车最大装载量;当  $V^x$  中  $x$  取  $k$  表示第  $k$  类型电动物流车最大续航里程;  $x$  取  $f$  表示第  $f$  类型燃油车最大续航里程;  $C_1^x$  中  $x$  取  $k$  表示第  $k$  种类型电动车的单位运输成本,  $x$  取  $f$  表示第  $f$  种类型燃油车的单位运输成本;  $X_{ij}^x=1, x$  取  $k$  表示第  $k$  类型电动物流车从  $i$  点到  $j$  点;  $x$  取  $f$  表示  $f$  类型电动物流车从  $i$  点到  $j$  点;  $0, x$  取  $k$  表示  $k$  类型燃油车不从  $i$  点到  $j$  点;  $x$

取  $f$  表示  $f$  类型燃油车不从  $i$  点到  $j$  点。

## 2 模型构建

### 2.1 燃油车配送路径优化模型

燃油车作为传统的配送车型,其总成本包括运输成本、碳排放成本、燃油成本以及不在服务时间内的惩罚成本,最终燃油车配送的数学模型为:

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{f \in F} \sum_{i \in N \cup O} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f \cdot d_{ij} \cdot C_1^f + A_3 (\mu + \theta) \\ & \sum_{f \in F} \sum_{i \in N \cup O} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f \cdot d_{ij} \cdot \delta + H * \sum_{i=1}^{N \cup O} (\max(e_i^f - L_i, 0) \\ & + \max(E_i - e_i^f, 0)) + B_f \sum_{f \in F} \sum_{i \in N \cup O} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f \cdot d_{ij} \cdot \delta \end{aligned} \quad (1)$$

$$s.t. \quad \sum_{f \in F} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f = 1, i \in N \quad (1)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f = \sum_{f \in F} \sum_{j \in N \cup O, i \neq j} X_{ij}^f, i, j \in N \cup O \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N \cup O} \sum_{j \in N, i \neq j} q_j X_{ij}^f \leq Q^f, f \in F \quad (3)$$

$$X_{ij}^f = (0, 1), i, j \in N \cup O, f \in F \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N \cup O} X_{Oj}^f = 1, \sum_{i \in N \cup O} X_{iO}^f = 1 \quad \forall f \in F \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N \cup O} \sum_{j \in N \cup O} X_{ij}^f \cdot d_{ij} \leq V^f, \forall f \in F \quad (6)$$

(1) 式表示有且仅有一辆车为  $i$  客户送货。(2) 式保证流程守恒。(3) 表示所有被  $f$  类型燃油车服务的客户点需求量总和小于  $f$  类型所有车辆的最大装载量。(4) 表示判断  $f$  类型燃油车是否从  $i$  点到  $j$  点。(5) 式表示车辆守恒,车辆从配送中心出发,最终回到配送中心。(6) 表示各种类型燃油车行驶里程小于其自身最大续航里程。

### 2.2 纯电车配送路径优化模型

对于纯电车配送路径优化,论文以包括运输成本、充电成本、碳排放成本、充电占用时间的机会成本以及不在服务时间内的惩罚成本在内的总成本最小为目标,建立以下模型进行分析求解。

$$\begin{aligned} \min Z = & \sum_{k \in K} \sum_{i \in M} \sum_{j \in M, i \neq j} X_{ij}^k \cdot d_{ij} \cdot C_1^k + \sum_{k \in K} \sum_{i \in M} \sum_{j \in E, i \neq j} X_{ij}^k \\ & T^k \cdot S^k \cdot (V^k - b_j^k) / V^k + \gamma \cdot A_3 \cdot \lambda \cdot \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{i=0}^n X_{ij}^k \cdot d_{ij} / + \sum_{k \in K} \sum_{i \in M} \sum_{j \in E} X_{ij}^k \\ & W^k \cdot S^k \cdot (V^k - b_j^k) / V^k + H * \sum_{i=1}^{N \cup O} (\max(e_i^k - L_i, 0) + \max(E_i - e_i^k, 0)) \end{aligned}$$

s.t.

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in M, i \neq j} X_{ij}^k = 1, i \in N \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in M, i \neq j} X_{ij}^k = \sum_{k \in K} \sum_{j \in M, i \neq j} X_{ij}^k, i, j \in M \quad (2)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in N, i \neq j} q_j X_{ij}^k \leq Q^k, k \in K \quad (3)$$

$$X_{ij}^k = (0, 1), i, j \in M, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in M} X_{Oj}^k = 1, \sum_{i \in M} X_{iO}^k = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$V^k \cdot X_{ij}^k \cdot d_{ij} - A(1 - X_{ij}^k) \leq b_j^k, i \in O \cup E, j \in M, k \in K \quad (6)$$

$$b_i^k - x_{ij}^k \cdot d_j - B(1 - x_{ij}^k) \leq b_j^k, i \in N, j \in M, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} X_{ij}^k \cdot d_j \leq V^k, \forall k \in K \quad (8)$$

(1) (2) (3) (4) (5) 式代表的约束条件与上述燃油车相同, 需要满足流程守恒、能量守恒、载重量和需求等条件。(6)表示满电状态下, 车辆从*i*点行驶到*j*点之后, 剩余的续航里程, 要小于在*j*点的续航里程, **A** 是一个无穷大的数。(7)同(6), (6)表示从配送中心或者充电站行驶到*j*点时的剩余续航里程, 而(7)则表示*k*类型电动物流车从客户点*i*行驶至*j*点时剩余的续航里程, 其中**B**是个无穷大的数。(8)表示车辆由上一个充电桩充电驶出后要能有足够的电量行驶到下一个充电桩。

### 3 算法设计

由于遗传算法从问题解的串集开始搜索, 而不是从单个解开始, 因此覆盖面大, 利于全局择优, 对于处理复杂的组合优化问题, 通常能够较快地获得较好的优化结果。作为典型的配送路径优化问题, 论文采用遗传算法求解, 并在传统遗传算法基础上加入大规模邻域搜索, 流程图如图 1 所示。

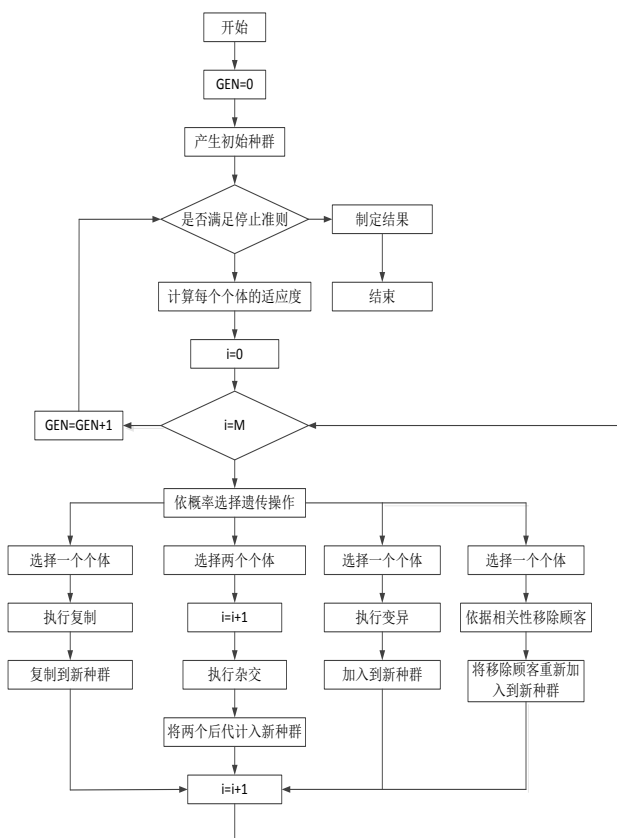


图 1 与 LNS 结合的遗传算法流程图

#### 3.1 编码

假设共有 40 个顾客 3 种车型, 首先将 40 个客户打乱,

3 种车型随机配送, 而后将对应同一种车型的顾客放到一个集合中, 每种车型都有数量限制, **O** 表示配送中心, 则顾客数目为 *n* 且最大车辆使用数目为 *m* 时, 染色体长度为 *n+m-1*, 染色体表达形式为 (1,2,3,⋯,n,n+1,n+2,⋯,n+m-1)。例如, 第一种车型随机顾客为 2、4、8、12、16、20、25、30、35、39, 最多允许使用 3 辆车来服务这些顾客, 那么一种可行的染色体表达为 2-4-8-12-41-16-20-25-42-30-35-39, 其中 41 和 42 代表配送中心, 将 10 个顾客划分为 3 段, 即划分为 3 条路径, 其余 2 种车型类似, 具体编码方式如图 2 所示。

route1: 0-2-4-8-12-0

route2: 0-16-20-25-0

route3: 0-30-35-39-0

如果染色体表达为 2-4-8-12-41-42-16-20-25-30-35-39,

则这个染色体表示 2 条配送路径。

route1: 0-2-4-8-12-0

route2: 0-16-20-25-30-35-39-0

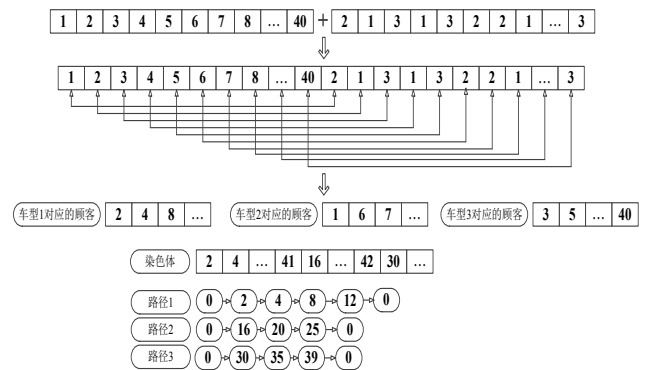


图 2 染色体编码

#### 3.2 交叉变异

选择采用轮盘赌法, 按照适应度值的大小选择若干个适应度值大的个体进行后续交叉、变异以及局部搜索操作。

交叉操作就是以某种方法把两个父代个体中的部分结构进行交换, 形成两条子代染色体的过程<sup>[7]</sup>。论文采用 OX 交叉的方式, 具体过程如下:

step1 随机选取两个父代染色体, 父代 A 和 B。

step2 随机产生两个交叉点, 将父代染色体 B 的子路径基因段移动到父代染色体 A 的前端, 形成子代染色体 A1。

step3 从前向后剔除相同基因, 最终形成子代染色体 A2, 同理形成第二条子代染色体 B2, 具体交叉变异操作如图 3、4 所示。

遗传算法中, 交叉算子为主要算子, 变异算子为辅助算子, 变异算子是对群体中的个体串的某些基因座上的基因值作变动, 即先生成两个位置, 然后将这两个位置上的基因进行交换。

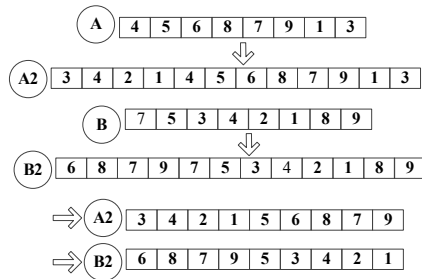


图 3 染色体两两交叉

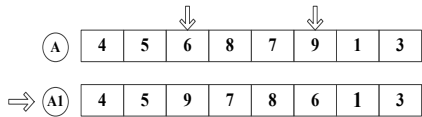


图 4 染色体逆向变异

### 3.3 大规模邻域搜索

为了使计算结果更精确，论文在传统遗传算法的基础上加入了大规模邻域搜索算法（LNS），即先使用破坏算子从当前解中移除若干顾客，然后再使用修复算子将被移除的顾客重新插回到破坏的解中<sup>[8-9]</sup>。具体为：每次从集合 M 中随机选一个客户 n，将其移除到移除集合 S 中，然后将 M 中剩余的客户按照与 n 的相关性由小到大的顺序排列。从中依据其相关性排序，选出与 n 相关性最强的客户 C，将其从 M 中移走，并把它加入移除集合 S 中去。重复该过程，直

到剩下的元素都选好。相关性的定义为： $R(i,j)=\frac{1}{c_{ij}+V_{ij}}$ ，

其中  $c_{ij}=\frac{c_{ij}}{\max c_{ij}}$ ， $c_{ij}$  表示 i 和 j 的距离， $V_{ij}$  表示 i 与 j 是否被同一辆车运送，同车配送时， $V_{ij}$  取值为 0，否则为 1。接着在满足约束的前提下，以行驶距离增量最小为原则，将移除的顾客重新插回到相应的路径中。

## 4 案例分析

### 4.1 案例数据

某配送中心有 3 种类型的燃油车和 3 种类型的电动车以供配送货物，燃油车和电动车每种车型最大用车辆相同，分别为 5 辆、4 辆、4 辆。3 种类型的电动汽车续航里程分别为 90km、100km、110km，已知该配送中心共有 40 个客户，配送路径上共有 15 个充电桩，各个顾客和充电桩的坐标、需求量以及每种车型的分类如表 1 所示（服务时间皆为 60 分钟）。

### 4.2 计算结果

对燃油车和电动车分别运用 MATLAB 进行求解，设置种群规模 1000，最大迭代次数 1000，GGAP 为 0.9，交叉概率 0.8，变异概率 0.1。

#### 4.2.1 燃油车路径最优值

首先对考虑碳排放成本的燃油车配送路径问题进行求解，100 代以后趋于稳定，得到燃油车最优配送方案见表 2 以及各燃油车型最优路线如图 5 所示。

表 1 配送中心及顾客信息

顾客序号	左时间窗, 右时间窗, 需求量	顾客序号	左时间窗, 右时间窗, 需求量	顾客序号	左时间窗, 右时间窗, 需求量	顾客序号	左时间窗, 右时间窗, 需求量
0	(0, 1420, 0)	11	(445, 495, 10)	22	(808, 899, 10)	33	(90, 181, 5)
1	(902, 987, 10)	12	(635, 735, 20)	23	(721, 788, 5)	34	(170, 261, 10)
2	(805, 885, 10)	13	(40, 126, 15)	24	(75, 174, 15)	35	(665, 755, 10)
3	(65, 175, 15)	14	(547, 633, 25)	25	(158, 258, 15)	36	(789, 987, 5)
4	(723, 793, 10)	15	(379, 450, 10)	26	(619, 728, 10)	37	(299, 356, 10)
5	(35, 94, 5)	16	(436, 520, 5)	27	(256, 335, 20)	38	(350, 430, 5)
6	(621, 730, 10)	17	(79, 154, 15)	28	(311, 385, 5)	39	(470, 558, 10)
7	(150, 220, 15)	18	(165, 285, 10)	29	(559, 639, 5)	40	(595, 659, 15)
8	(235, 335, 15)	19	(270, 376, 5)	30	(326, 406, 10)		
9	(545, 630, 10)	20	(20, 85, 10)	31	(659, 708, 10)		
10	(355, 430, 5)	21	(884, 954, 10)	32	(259, 310, 5)		

表 2 燃油车最优配送方案

燃油车车型	路径编号	配送路径	总距离 (km)	配送成本 (元)	碳排放成本 (元)	总成本 (元)
车型 1	1	0- > 34- > 18- > 39- > 40- > 26- > 0	230.551	2074.959	163.9591	2238.9181
	2	0- > 20- > 17- > 32- > 12- > 0				
	3	0- > 3- > 8- > 6- > 36- > 1- > 0				
车型 2	1	0- > 19- > 11- > 9- > 0	229.3936	2293.936	200.8874	2494.8234
	2	0- > 13- > 33- > 37- > 30- > 4- > 0				
	3	0- > 24- > 25- > 27- > 35- > 2- > 0				
车型 3	1	0- > 7- > 10- > 16- > 23- > 21- > 0	229.5115	2524.6265	221.9890	2746.6155
	2	0- > 5- > 28- > 29- > 22- > 0				
	3	0- > 38- > 15- > 14- > 31- > 0				
合计			689.4561	6893.5215	586.8355	7480.3570

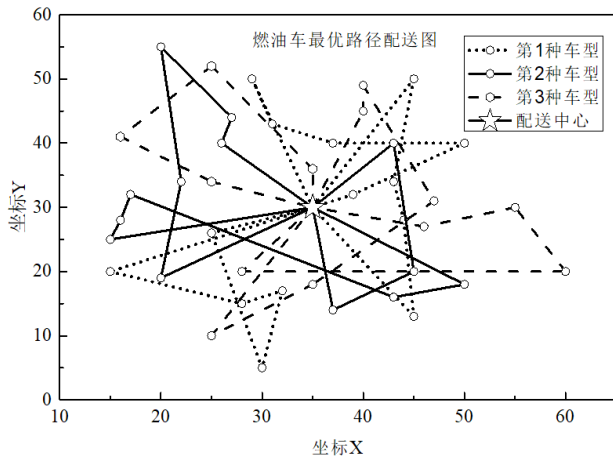


图 5 各燃油车型最优路线图

计算结果表明, 3 种类型的燃油车用车辆都为 3 辆时, 总成本最低。3 种类型的燃油车总行驶里程 689.4561km, 总配送成本 6893.5215 元, 占总成本的 92.15%, 总碳排放成

本 586.8355 元, 占比 7.85%。

#### 4.2.2 电动车路径最优值

同样对考虑环境成本的电动汽车运用 MATLAB 进行求解, 加入大规模邻域搜索算法 (LNS), 运行 1000 代, 得到电动车最优配送方案如表 3 所示以及各电动车型最优路线如图 6 所示。

计算结果表明, 3 种类型的电动车配置量都为 3 辆时, 总成本最低。但由于电动汽车受自身行驶里程的限制, 电量不足时需要到最近的充电站充电, 行驶里程比燃油车长, 电动车的总行驶里程为 714.1318km, 但在考虑碳排放等环境成本的前提下, 总成本 5926.8739 元, 其中总配送成本 5871.4217 元, 占总成本的 99.16%, 由于电动汽车在行驶过程并不会产生直接碳排放, 只会通过上游火力发电产生部分间接碳排放, 因此碳排放成本较少。总碳排放成本 55.4522 元, 占比 0.94%, 由此可以看出电动汽车总成本要小于燃油车。

表 3 电动车最优配送方案成本

电动车车型	路径编号	配送路径	总距离 (km)	配送成本 (元)	碳排放成本 (元)	总成本 (元)
车型 1	1	0- > 3- > 7- > 8- > 53- > 10- > 31- > 2- > 0	248.8812	2289.9308	21.6286	2311.5594
	2	0- > 20- > 18- > 19- > 45- > 15- > 16- > 0				
	3	0- > 5- > 24- > 25- > 40- > 22- > 0				
车型 2	1	0- > 27- > 41- > 28- > 4- > 1- > 0	234.5139	1687.5973	15.0919	1702.6892
	2	0- > 29- > 26- > 23- > 21- > 0				
	3	0- > 17- > 34- > 32- > 38- > 11- > 0				
车型 3	1	0- > 39- > 14- > 47- > 12- > 36- > 0	230.7367	1893.8936	18.7316	1912.6252
	2	0- > 37- > 30- > 35- > 0				
	3	0- > 13- > 33- > 9- > 6- > 0				
合计			714.1318	5871.4217	55.4522	5926.8739

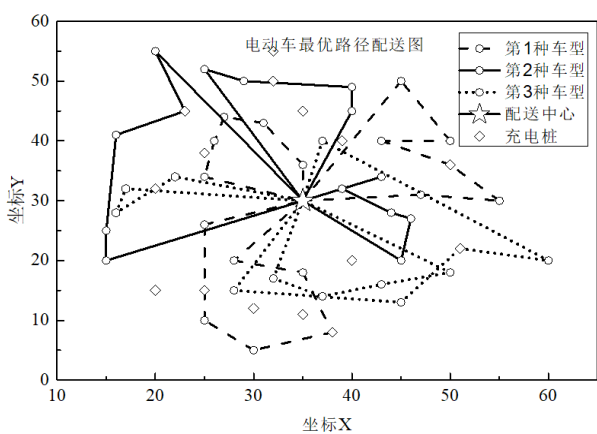


图 6 各电动车型最优路线图

计算结果表明, 3 种类型的电动车配置量都为 3 辆时, 总成本最低。但由于电动汽车受自身行驶里程的限制, 电量不足时需要到最近的充电站充电, 行驶里程比燃油车长, 电动车的总行驶里程为 714.1318km, 但在考虑碳排放等环境成本的前提下, 总成本 5926.8739 元, 其中总配送成本

5871.4217 元, 占总成本的 99.16%, 由于电动汽车在行驶过程并不会产生直接碳排放, 只会通过上游火力发电产生部分间接碳排放, 因此碳排放成本较少。总碳排放成本 55.4522 元, 占比 0.94%, 由此可以看出电动汽车总成本要小于燃油车。

### 5 结论

论文以中国当前社会面临的环境问题以及物流行业所面临的改革问题为背景, 通过对纯电车配送和燃油车配送进行比较分析, 建立模型并设计求解算法, 通过算例求解表明论文所设计的遗传算法能够有效地求解文中所构建的物流配送路径优化模型, 在考虑碳排放等环境成本的前提下, 可以为配送部门根据货物量和配送距离合理安排运输车辆以及配送路径且得到如下结论:

①优化路径时要充分考虑左右时间窗影响, 在运输时, 考虑车辆碳排放成本, 进一步丰富了车辆路径优化问题的研究, 符合未来发展趋势, 为政府政策调整和企业未来发展规划提供了参考意见, 对于制定配送点的服务时刻具有现实意义。

②在低碳环境下,采用电物流车作为配送车辆,综合成本更低。虽然电动车受限于自身电量以及充电桩的限制,但随着政策倾斜、技术进步、充电设施普及以及未来纯电动车的进一步市场化,其限制因素的影响会逐渐降低,纯电动车物流配送优势更加明显。

#### 参考文献:

- [1] 何东东,李引珍.多车型绿色车辆路径问题优化模型[J].计算机应用,2018,38(12):3618-3624.
- [2] 何义团,张鹏博,邵毅明,等.燃油与纯电动汽车流通过程中CO<sub>2</sub>排放分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019.
- [3] Xian-Long G E, Zu-Wei L I. Summary of Research on Logistics Distribution Optimization Based on Electric Vehicle[J]. Mathematics in Practice and Theory,2018.
- [4] 李啸麟.G公司多车型电物流车配送路径规划研究[D].北京:北京交通大学,2019.
- [5] 麻存瑞,柏赞,赵欣苗,等.快递配送车辆路径优化研究[J].交通运输系统工程与信息,2017(4).
- [6] Baker B M, Ayeche M A. A genetic algorithm for the vehicle routing problem[C]//World Congress on Intelligent Control & Automation. IEEE,2003.
- [7] 林海.城市纯电动车配送路径优化研究[D].西安:长安大学,2019.
- [8] 揭婉晨.面向物流配送系统的电动汽车路径优化问题研究[D].武汉:华中科技大学,2017.
- [9] 马冰山,胡大伟,陈希琼,等.半开放式的多配送中心纯电动车辆路径优化问题[J].交通运输系统工程与信息,2019.

作者简介:索彤彤(1994-),女,中国河北邢台人,硕士,从事物流与供应链管理研究。