**变量解释：**

表3-1 变量解释

|  |  |
| --- | --- |
| 符号 | 定义 |
|  | 所有客户点的集合（当*i*=0时，其代表此地为配送中心，n表示客户数量） |
|  | 所有可用车辆的集合 |
|  | 第*k*辆车的固定成本（kg） |
|  | 车辆由顾客*i*驶向顾客*j*时的距离（km） |
|  | 车辆由顾客*i*驶向顾客*j*时单位距离所花费的费用 |
|  | 时间段*t*内车辆*k*在路段(*i*,*j*)上行驶单位距离产生的碳排放率（kg/km） |
| *e* | 车辆空载且以速度*v*行驶在坡度为0的道路上的碳排放率（g/km） |
|  | 路段(*i*,*j*)上行驶的车辆*k*的坡度修正因子 |
|  | 路段(*i*,*j*)上行驶的车辆*k*的载重修正因子 |
|  | 配送车辆单位距离燃油消耗量（L/km） |
| *Cp* | 碳税价格（元/kg） |
|  | 单位燃油产生的碳排放量（kg/L） |
|  | 在路段(*i*,*j*)行驶的车辆*k*的载重与最大容量的比值 |
| *v* | 车辆行驶速度（km/h） |
|  | 第*i*个客户的需求量（kg） |
|  | 超出车辆装载上限的单位惩罚成本（元） |
| *cal* | 车辆装载上限（kg） |
|  | 配送车辆提早送达时的单位等待成本（元） |
|  | 配送车辆延迟送达时的单位处罚成本（元） |
|  | 客户*i*的左侧期望时间窗 |
|  | 客户*i*的右侧期望时间窗 |

**决策变量**

**模型假设**

在研究农村的电子商务末端物流的配送模式的问题时，为简化模型需满足如下假设：

（1）完成配送任务的车辆需从配送中心出发，途经各个客户需求处进行配送，配送完毕后返回配送中心

（2）配送车辆均具有相同的最大负载量和最大行驶里程

（3）每辆车可服务所有配送点，每个客户仅由一辆车进行配送，不同配送路线之间互不干涉

（4）每个客户的需求量均小于配送车辆的最大负载量

（5）每个客户的需求及其所要求的软时间窗已知

（6）配送中心和客户的位置固定

（7）配送中心配送的货物能够满足所有客户的需求

（8）运输网络为完全无向网络，配送时仅考虑道路顺畅的情形

**目标函数**

（1）车辆的固定成本

车辆参与配送时所产生的固定费用，该费用不以配送距离长短为转移，包含车辆使用费用、车辆折旧等。

（2）车辆的行驶成本

在配送至客户手中产生的费用，该费用与配送距离、一次配送中顾客的数量成正相关关系，表示车辆由顾客*i*驶向顾客*j*时单位距离所花费的费用。

（3）车辆行驶过程产生的碳排放量

车辆在进行配送时会产生二氧化碳等温室气体，因此本文采用MEET模型来计算车辆的碳排放量，具体操作如下：时间段*t*内车辆*k*在路段(*i*,*j*)上行驶单位距离产生的碳排放率（kg/km）为

其中*e*表示车辆空载且以速度*v*行驶在坡度为0的道路上的碳排放率（g/km）；表示路段(*i*,*j*)上行驶的车辆*k*的坡度修正因子；表示路段(*i*,*j*)上行驶的车辆*k*的载重修正因子，为路段(*i*,*j*)坡度，为在路段(*i*,*j*)行驶的车辆*k*的载重与最大容量的比值，*v*为车辆行驶速度。故总碳排放成本为：

而另一种被更多学者所使用的的计算燃油排放的成本的公式如式（3-8）所示，其中*C*0为配送车辆单位距离燃油消耗量，为单位燃油产生的碳排放量，此种计算公式仅考虑配送车辆行驶路程，并未考量车辆行驶速度、车辆装载量等情况。

（4）超出重量的惩罚成本

配送车辆的装载量存在一个上限，当超出此装载上限时，会出现车辆配送速度慢等一系列的问题，因此本文设置惩罚系数对装载量超出装载上限*cal*的此部分货物进行惩罚。

（5）软时间窗惩罚成本

客户对于配送车辆配送的送达时间有一定要求，当配送车辆过早或超时将货品送至顾客手中时，顾客的满意度均会降低。因此本文设置软时间窗的惩罚成本以避免车辆早、晚送达时产生的等待与延误成本，具体成本函数如下所示，以期望按期送达货品至客户手中。



其中，与表示配送车辆提早、延迟送达时的单位等待、处罚成本值。

**配送成本模型**

根据上文所述，针对农村电商物流配送路径优化问题，可以建立数学模型如下：

***s.t.***

其中式（4.16）表示本文使用的MEET模型来计算车辆的碳排放量及总成本，式（4.17）表示传统计算车辆的碳排放量及总成本。

表3-2 模型约束条件

|  |  |
| --- | --- |
| 约束序号 | 约束含义 |
| 式（4.13） | 完成配送的车辆总数需小于总的可调度的车辆数 |
| 式（4.14） | 每个客户仅能由一辆车进行配送 |
| 式（4.15） | 每个客户均能被配送到 |
| 式（4.16） | 配送车辆起点约束，每台车均从配送中心出发 |
| 式（4.17） | 配送车辆终点约束，每台车完成配送后均返回配送中心 |

**案例分析**

表4-1 配送中心与客户点的集合

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 客户名称 | 地理位置X | 地理位置Y |
| P0 | 隆里 | 25 | 25 |
| P1 | 钟灵 | 47 | 29 |
| P2 | 启蒙 | 18 | 46 |
| P3 | 铜鼓 | 24 | 24 |
| P4 | 新化 | 45 | 49 |
| P5 | 彦洞 | 42 | 31 |
| P6 | 八河 | 35 | 4 |
| P7 | 三板溪 | 16 | 1 |
| P8 | 偶里 | 28 | 34 |
| P9 | 大同 | 11 | 33 |
| P10 | 小江 | 7 | 23 |
| P11 | 娄江 | 12 | 49 |
| P12 | 平略 | 5 | 34 |
| P13 | 平秋 | 6 | 43 |
| P14 | 茅平 | 19 | 4 |
| P15 | 潘寨 | 5 | 13 |
| P16 | 高坪 | 41 | 10 |
| P17 | 河口 | 39 | 12 |
| P18 | 贡村 | 34 | 29 |
| P19 | 天柱 | 10 | 11 |
| P20 | 新寨 | 46 | 37 |
| P21 | 八佰 | 17 | 30 |
| P22 | 座寨 | 28 | 1 |
| P23 | 文斗 | 21 | 13 |
| P24 | 敦寨 | 47 | 19 |
| P25 | 银洞 | 13 | 12 |

本文根据客户的XY坐标计算各个客户间、客户与配送中心间粗略的配送距离表，如表4-2所示，表格中的计量单位为千米。

表4-2 客户间距离信息表



表4-3 车辆由顾客i驶向顾客j时单位距离所花费的费用



表4-4 客户需求信息表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 需求量 | 左时间窗 | 右时间窗 | 服务时长 |
| P0 | 0 | 6:00 | 18:00 | 0 |
| P1 | 4230 | 10:10 | 10:45 | 26 |
| P2 | 5030 | 8:00 | 9:05 | 39 |
| P3 | 3100 | 9:05 | 9:40 | 21 |
| P4 | 5950 | 10:10 | 11:00 | 25 |
| P5 | 3090 | 8:35 | 9:40 | 38 |
| P6 | 2460 | 8:05 | 9:35 | 38 |
| P7 | 2730 | 8:30 | 9:50 | 24 |
| P8 | 2220 | 10:10 | 10:45 | 34 |
| P9 | 5060 | 10:25 | 11:00 | 38 |
| P10 | 5490 | 10:10 | 11:30 | 27 |
| P11 | 8380 | 8:20 | 9:10 | 25 |
| P12 | 5130 | 9:40 | 10:45 | 25 |
| P13 | 5740 | 9:20 | 10:10 | 30 |
| P14 | 9360 | 9:25 | 10:25 | 29 |
| P15 | 6600 | 7:45 | 8:50 | 28 |
| P16 | 9760 | 9:25 | 10:30 | 37 |
| P17 | 3430 | 8:20 | 9:05 | 35 |
| P18 | 4880 | 9:25 | 9:55 | 36 |
| P19 | 4510 | 8:00 | 8:35 | 28 |
| P20 | 3220 | 9:35 | 10:10 | 21 |
| P21 | 6010 | 10:10 | 11:00 | 32 |
| P22 | 9550 | 9:50 | 10:30 | 25 |
| P23 | 4640 | 8:50 | 9:30 | 23 |
| P24 | 6960 | 7:30 | 8:35 | 32 |
| P25 | 3940 | 8:20 | 9:40 | 24 |

表4-5 模型参数

|  |  |
| --- | --- |
| 模型参数 | 数值 |
|  | 500 元/辆 |
|  | 0.125 *L*/*km* |
| *Cp* | 2.1 元/kg |
|  | 2.32 *kg*/*L* |
| *v* | 60 *km*/*h* |
|  | 50 元 |
| *m* | 10 辆 |
| *cal* | 60000 *kg* |
|  | 100 元 |
|  | 200 元 |

表4-5 遗传算法参数设置

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 算法参数 | 含义 | 数值 |
| *Pc* | 交叉概率 | 85% |
| *Pm* | 变异概率 | 15% |
| *popsize* | 种群规模 | 100 |
| *maxgen* | 最大跌打次数 | 200 |
| *Nc* | 染色体长度 | 30 |