

第十八届“华中杯”大学生数学建模挑战赛题目

A 题 城市绿色物流配送调度

随着电子商务的快速发展与物流信息技术的普及，城市物流配送正面临配送需求动态化、规模扩大化与环保要求严格化的多重挑战。在“双碳”目标引领下，绿色物流成为城市可持续发展的关键环节。近年来，我国大力推进绿色物流示范城市建设，多个城市设立“绿色配送区”，对燃油车辆通行实施时段限制，这对物流企业的车辆调度提出了更高要求。

“绿色物流”股份有限公司作为某省会城市的主要物流服务商，每日需完成大量电商订单的配送任务。公司拥有混合动力车队（燃油车与新能源车），需要在复杂多变的城市交通环境中，统筹考虑客户满意度、运营成本与环保要求，制定科学合理的车辆调度方案。

该公司某日的配送任务涉及 98 个客户点，这些客户分布在城市不同区域，其中 30 个客户位于“绿色配送区”内（以市中心为圆心、半径 10 公里的圆形区域），所有配送需求由 2169 个订单汇总而成，每个客户有确定的需求重量与体积，以及软时间窗约束：早到产生等待成本（20 元/小时），晚到产生惩罚成本（50 元/小时），服务时间约定为 20 分钟。

配送车辆分为五种类型：三种燃油车（载重分别为 3000kg、1500kg、1250kg，容积分别为 13.5m^3 、 10.8m^3 、 6.5m^3 ，数量分别有 60 辆、50 辆、50 辆）和两种新能源车（载重分别为 3000kg、1250kg，容积分别为 15m^3 、 8.5m^3 ，数量分别有 10 辆、15 辆）。车辆启动成本均为 400 元/辆。

参考曹庆奎等^[1]的研究结论，车辆行驶速度受交通流量影响，全天划分为顺

畅、一般与拥堵三个时段，各时段车速服从特定正态分布。在不同情况下的速度分布如表 1 所示：

表 1 不同时段车辆速度分布

	顺畅时段	一般时段	拥堵时段
具体时段	9:00–10:00	10:00–11:30	8:00–9:00
	13:00–15:00	15:00–17:00	11:30–13:00
车速（Km/h）	$v(t) \sim N(55.3, 0.12)$	$v(t) \sim N(35.4, 5.22)$	$v(t) \sim N(9.8, 4.72)$

油耗/电耗与车速呈 U 型关系，根据文献[1]，取每百公里油耗量（FPK）、每百公里电耗量（EPK）与车速之间的关系为：

$$FPK = 0.0025v^2 - 0.2554v + 31.75 \tag{1}$$

$$EPK = 0.0014v^2 - 0.12v + 36.19 \tag{2}$$

同时满载能耗比空载更高（燃油车高 40%，新能源车高 35%）。每百公里碳排放量与 FPK 或 EPK 之间存在强线性关系，油耗与电耗的碳排放转换系数分别为 $\eta = 2.547\text{kg/L}$ 和 $\gamma = 0.501\text{kg/kW}\cdot\text{h}$ 。燃油车每升油费 7.61 元，新能源车每度电费 1.64 元，碳排放成本为每单位 0.65 元。

请基于附件提供的坐标信息、距离矩阵、时间窗与订单数据，建立数学模型，完成以下三个问题：

问题 1：静态环境下的车辆调度

在无政策限制条件下，建立考虑车辆类型、载重体积约束、时间窗约束与速度时变特性的车辆调度模型，以总配送成本最低为目标，为该公司设计调度方案，给出车辆使用方案、行驶路径、到达时间及成本构成。

问题 2：环保政策影响下的车辆调度策略

在问题 1 的基础上，加入绿色配送区限行政策：8:00 – 16:00 禁止燃油车进入“绿色配送区”（以市中心为圆心的半径 10 千米的圆形范围为“绿色配送区”）。请重新规划车辆调度路径，并给出该政策对总成本、车辆使用结构与碳排放总量的影响。

问题 3：动态事件下的实时车辆调度策略

配送过程中可能出现订单取消、新增订单、配送地址变更或时间窗调整等突发事件。请设计一个能实时响应并调整路径的动态调度策略，并给出一个或者几个突发事件下的车辆调度策略。

附件 1：数据文件（包含以下四个数据文件）

订单信息.xlsx：各客户的总需求量（重量与体积）；

距离矩阵.xlsx：各点之间的实际道路距离；

客户坐标信息.xlsx：配送中心与 98 个客户点的二维坐标，其中市中心坐标为(0, 0)；

时间窗.xlsx：各客户点的最早与最晚到达时间。

[1] 曹庆奎等. 基于交通流的多模糊时间窗车辆路径优化[J]. 运筹与管理, 2018, 27(8): 20-26.