

# 2025 年第十五届 MathorCup 数学应用挑战赛

---

## D 题：短途运输货量预测及车辆调度问题

短途运输存在于物流网络的最后环节，是在同城或同省的末端场地之间进行，即将货物从末分拣点发往营业部。此环节有着运输距离短、资源可复用、时效重点保障的特点。由于处于网络末端环节，短途运输对每个包裹的履约时效及客户体验有着十分重要的作用；同时，该环节也占有着大量的运力资源，对运输活动的合理优化也可以显著提升运输效率，降低运输成本。

短途运输的线路由起始场地、目的场地、发运节点组成。一般来说，起始场地是物流网络的末分拣中心，目的场地是营业部，直接面向客户履约。线路的发运节点指的是这一波次的货物必须在此节点前发出，即为该线路的最晚发运时间，必须在此时间保证全部货物完成运输。每天有两个发运节点，一般为 6 点和 14 点。

短途线路的货量预测是资源优化及决策的基础，决策者需要提前预知短途线路的货量，从而更加合理地安排运力资源。预测的基本单元是每条线路的包裹量。在进行预测的时间点，已经有一定量的包裹进入了物流网络，这些包裹计划流经这条线路的时间是可以预知的，即在预测的时间点可以得到计划流经各条线路的包裹量，我们称之为“预知”数据。然而该预知数据存在三个问题：1) 计划线路可能与实际不符，即发运异常；2) 未涵盖部分未下单的货量；3) 已下单的

货量可能会取消。在得到一条线路的总货量后，需要将其拆分至 10 分钟的颗粒度，从而更好地辅助后续优化决策步骤。

货量预测的结果可以转化为运输需求，运输需求指的是各线路需要调度的车次（车的数量）及发运时间。短途运输场景每车次可装载的包裹量是相对固定的，因此车次可以直接由货量转化得到。当 10 分钟颗粒度的累计货量达到车辆满载量，即可发运。运输需求包含另一个场景：对部分临近的线路，若包裹量较少，或整车发运后剩余不足一车的货量，将多个线路的货量合并为一车发运，这种场景称为“串点”，一般从同一起始场地出发运送到不同的目的站点。串点涉及的线路一般不允许超过 3 个。

短途调度的核心是运输车辆的调度。一个短途车队会负责部分线路，并拥有一些自有车辆。对于上述生成的运输需求，短途车队需要最高效地利用自有车辆，形成多次周转，从而让有限的自有车辆运输更多的运输需求及包裹。自有车辆周转的前提是前后的运输需求可衔接，具体标准是：前一个需求的发运时间+装车时间+在途时间\*2+卸车时间<后一个需求的发运时间。对于剩余自有车辆无法承运的运输需求，由外部承运商进行运输，但成本会较高。

以上逻辑的示意图如图 1 所示，根据货量该线路存在 3 个运输需求，假设该线路的最晚发车时间为 5:00，则最后一个需求的发运时间为 5:00，其余需求的发运时间为 1:00 和 3:00，均根据货量折算得到。假设需求 1 使用自有车 1；对于需求 2，自有车 1 完成需求 1 后返回

到分拣中心的时间为 4:30，无法继续发运需求 2，若此时无剩余的自有车，则需求 2 需使用外部车进行发运；对于需求 3，由于自有车 1 返回后时间早于需求 3 的发运时间，则可以继续使用自有车 1 发运需求 3。

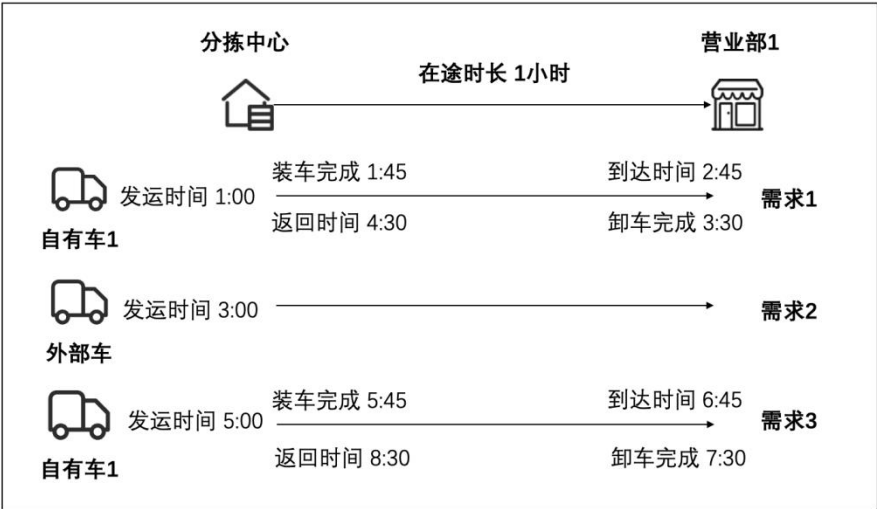


图 1 自有及外部车调度示意图

短途调度的结果在车效、成本两个方面进行评价。车效反应了车辆的利用率,是否最高效地使用了已有自有资源,存在自有车周转率、车辆均包裹两个指标；成本指标包括自有成本和外部承运商成本，其中自有成本包括了固定成本和变动成本；以上指标需要在“天”的维度进行评价。上述指标定义如下：

$$\text{自有车周转率} = \frac{\text{自有车承运总需求数}}{\text{车队自有车辆数}}$$

$$\text{车辆均包裹} = \frac{\text{车队承运总包裹量}}{\text{总车辆数}} = \frac{\text{车队承运总包裹量}}{\text{自有车辆数} + \text{外部承运商车辆数}}$$

$$\text{总成本} = \text{自有固定成本} + \text{自有变动成本} + \text{外部总成本}$$

当前存在 5 个自有车队，每个车队负责的线路及相关信息如附件 1 所示，其中在途时长为单程分拣中心到营业部的时长，单位为小时；变动成本是发运一次该线路需求的成本，若为串点任务，则自有及外部成本均为串点的各线路中成本最大值。附件 2 是各线路历史 15 天的实际包裹量，注意 6 点和 14 点发运节点对应的最早货量分别为前一天 21 点和当天的 11 点，因此每天 6-11 点和 14-21 点可假设为不生产包裹量。要求每天 21 点开始进行预测和调度，附件 3 是各线路近 15 天的每天预知货量及未来 1 天在 21 点时的预知货量，附件 4 是可串点的站点集合（默认可串点站点对应的线路均可串点），附件 5 是各车队的自有车数量。假设所有车队只有一种车型，该车型的日固定成本为 100，单次可装载 1000 个包裹，装车及卸车时长均为 45 分钟，其它成本见附件 1。

**请根据以上数据解决以下问题：**

**问题 1：**建立货量预测模型，未来 1 天各条线路的货量进行预测，并将每条线路的总货量拆解到 10 分钟颗粒度（结果的时间范围为 12 月 15 日 14:00 至 12 月 16 日 14:00）。请将预测结果写入结果表 1 和表 2 中，并在论文中给出线路编码为“场地 3 - 站点 83 - 0600”和“场地 3 - 站点 83 - 1400”的预测结果。

**问题 2：**根据问题 1 输出的结果，确定运输需求，包括每条线路的发运车辆数、预计发运时间及串点方案，其中每个需求的发运时间不能晚于线路的发运节点。基于以上结果，确定每个需求的承运车辆；

要求自有车的周转率尽可能高，以及所有车辆均包裹尽可能高、总成本尽可能低。请将结果写入结果表 3 中，结果需包含：线路编码、预计发运时间、承运车辆。其中串点方案可将多条线路编码合并并在“线路”一列展示，无法使用自有车满足时注明为“外部”，并在论文中给出线路编码为“场地 3 - 站点 83 - 0600”和“场地 3 - 站点 83 - 1400”的调度结果。

**问题 3：**当前存在一种标准容器，使用该容器可以进一步提升自有车辆利用率，将装车及卸车时长显著缩短至 10 分钟；但缺点是会降低车辆的装载量，其装载包裹量下降至 800 个。假设这种容器数量是无限的。请根据问题 1 输出的结果，重新确定运输需求，优化目标与问题 2 相同。在问题 2 所需输出结果的基础上，需另外输出各运输需求是否使用该标准容器。请将结果写入结果表 4 中，并在论文中给出线路编码为“场地 3 - 站点 83 - 0600”和“场地 3 - 站点 83 - 1400”的调度结果。

**问题 4：**当问题 1 的货量预测结果出现偏差时，基于问题 3，评估对你们的调度模型优化结果的影响。

**参考材料：**

[1]智能供应链:预测算法理论与实战，庄晓天等，电子工业出版社，2023. 10  
[2]智能供应链:运筹优化理论与实战，庄晓天等，电子工业出版社，2024. 10