

西北农林科技大学研究生课程考试试题（卷）

（2023—2024 学年第 1 学期）

课程名称：数据、模型与决策

考核对象：专业学位硕士

考核方式：课程论文

命题教师：胡华平

发布时间：2025-04-03

截止时间：2025-06-30

学科（领域）负责人签字：朱玉春

学生姓名：刘梦瑶 学 号：2024059151 专业班级：MBA 6 班

济南铁路局集团公司货运班列优化设计研究

摘要（Abstract）：在我国大力推进交通强国建设的背景下，铁路货运作为综合交通运输体系的关键支柱，其运营效率与成本控制至关重要。本研究紧密围绕济南铁路局集团公司货运班列运营实际，针对当前存在的效率瓶颈与成本优化难题，深入剖析业务现状，构建了基于整数线性规划的货运班列优化模型。基于 2020 年-2024 年五年内局内货运数据，设置 11 个决策变量和 9 类约束条件，以最小化运营成本为目标函数。通过 Python 的 PuLP 库求解，结果表明：优化后班列开行成本降低 23.7%，集装箱利用率提升至 91.2%，重载率提高 18.5 个百分点。研究为铁路货运资源配置提供了数据驱动的决策支持，对多式联运网络优化具有实践指导意义。

关键词（Key Words）：货运班列；整数规划；资源优化；铁路物流；Python

一、引言

（一）研究背景

近年来，我国铁路货运行业呈现出蓬勃发展的态势，在国民经济中发挥着越来越重要的作用。2024 年，全国铁路货运量达到 51.75 亿吨，同比增长 2.8%，铁路货运周转量占全社会货运周转量的比重也稳步提升。在这样的大背景下，济南铁路局集团公司作为区域铁路运输的重要力量，其管辖范围覆盖山东、江苏、安徽等省部分铁路网，货运业务量也呈现出持续增长的良好趋势。2024 年，济南铁路局货运发送量达 2.52 亿吨，同比增长 9.3%，这一成绩的取得既得益于区域经济的快速发展带来的旺盛货运需求，也离不开铁路局在运输组织、市场拓展等方面所做出的积极努力。

在货运业务量增长的同时，济南铁路局也面临着诸多挑战。与国内先进铁路局相比，济南铁路局在货运班列运行效率、路线规划合理性等方面存在明显差距。部分先进铁路局通过优化班列运行方案，将满载率提升至 90% 以上，而济南铁路局货运班列平均满载率仅为 68.3%，这反映出济南铁路局在货运班列运营管理上存在较大的改进空间。本研究基于《数据、模型与决策》课程，构建货运班列优化模型，通过 Python 实现决策自动化，为提升济南铁路局货运效益提供解决方案。

（二）研究意义

从实践层面来看，本研究构建的数据驱动货运班列优化模型，能够结合济南铁路局集团公司物流中心的实际运营数据，通过精确的计算和分析，为集团公司提供具体、可行的班列开行方案。这一方案可以直接应用于实际运营决策，帮助铁路局合理安排班列运行路线、调整运力分配，从而有效提高运输效率、降低运营成本，提升企业的经济效益和市场竞争力。本研究的创新点在于：（1）构建多维度统筹决策模型，将路线选择、频次安排和车厢分配纳入统一优化框架；（2）基于济南铁路局 2020-2024 年的真实运营数据进行建模，确保模型的实践适用性；（3）引入灵敏度分析模块，量化成本波动对最优方案的影响程度。

二、案例背景及现实问题

（一）济南铁路局货运业务现状

济南铁路局集团公司管辖范围广泛，涵盖山东、江苏、安徽等省份的部分区域，运营铁路线路总长度超过 1.2 万公里。截至 2024 年，共开通货运班列线路 46 条，其中跨局班列 28 条，管内班列 18 条。这些班列承担着煤炭、钢铁、集装箱、农副产品等多种货物的运输任务，年均货运周转量达到 850 亿吨公里，在区域经济发展中发挥着重要作用。

在路线网络方面，济南铁路局形成了以济南、徐州、青岛为枢纽的“三纵四横”货运网络。其中，京沪线、胶济线、陇海线等是重点运输线路。以京沪线为例，它不仅连接了济南和上海两大经济中心，还承担着大量工业原材料和成品的运输任务，是区域经济交流的重要通道。

在开行频次上，跨局班列平均每周开行 3 - 5 列，管内班列平均每日开行 1 - 2 列。这种开行频次存在明显的季节性波动，在冬季，由于供暖需求增加，煤炭运输需求进入高峰，部分涉及煤炭运输的线路开行频次会翻倍。从山西运往山东的煤炭运输线路，在冬季每周开行频次会从平时的 3 列增加到 6 列，以满足供暖企业的煤炭需求。

（二）现实问题识别

通过对济南铁路局货运班列运营数据的深入调研和分析，发现当前运营中存在诸多核心问题，这些问题严重制约了货运班列的运营效率和企业的经济效益。

（1）供需匹配效率不足：京沪线方向班列返程空驶率高达 45%，这一现象在其他线路也不同程度地存在。造成这种情况的主要原因是去程和返程的货源结构不平衡，去程以工业原材料运输为主，而返程时，由于缺乏有效的货源组织和调配机制，难以找到足够的货物填充车厢，导致大量空驶。

农产品季节性运输需求与固定班列频次之间的矛盾也十分突出。山东作为农业大省，蔬菜产量巨大，在蔬菜收获旺季，每天都有大量蔬菜需要运往北京等城市。然而，现有的固定班列频次无法满足旺季激增的运输需求，许多蔬菜因无法及时运

输而腐烂变质，给农户带来了严重的经济损失。而在淡季，班列频次却没有相应减少，导致车厢闲置，资源浪费严重。

（2）成本结构有待优化：货运班列的成本结构中，班列开行固定成本占比达到 38%，包括机车牵引、线路维护等费用，无论班列的运输量多少，这些成本为必须支出项。变动成本中，燃油费占比 42%，人工成本占比 25%。2024 年，受国际燃油价格上涨和人工成本增加等因素影响，货运成本较 2023 年上升了 5.8%。

（3）决策机制缺乏量化支撑：目前，济南局货运班列开行方案主要基于历史经验制定，缺乏对运输需求、成本收益的科学量化分析。这种决策方式导致一些班列长期处于亏损状态却仍在运营，造成了资源的极大浪费。同时车厢配置标准化与货物多样性需求之间的矛盾也日益凸显。随着经济的发展，货物运输需求越来越多样化，一些精密仪器、生鲜食品等货物需要专用的冷藏车厢或防震车厢进行运输。然而，现有车厢配置中，特种车厢占比仅为 9%，远远无法满足高附加值货物的运输需求，导致许多此类货物选择公路运输，铁路货运企业因此流失了大量优质货源。

三、研究目标与分析模型

（一）研究目标

本研究旨在构建一个以净利润最大化为核心目标的济南铁路局货运班列优化模型，通过科学的决策分析，为企业提供最优的班列运营方案。具体目标包括三个方面：首先，实现决策变量的优化。通过对各条班列线路的开行频次、路线组合及车厢配置方案进行优化，合理配置运输资源，提高资源利用效率，确保每一列班列都能在最合理的状态下运行；其次，达到成本收益的平衡。在满足运输需求的前提下，通过对班列运营成本，包括固定成本、变动成本、空驶成本等进行有效控制，同时最大化运输收入，实现企业经济效益的最大化；最后，提升模型的应用价值。将模型转化为可操作的决策工具，为济南铁路局的班列运营管理提供科学依据，推动企业运营管理向科学化、数字化方向发展，提升企业的整体竞争力。

（二）模型假设

为了简化复杂的铁路货运班列优化问题，便于模型的构建和求解，本研究做出以下合理假设：

假设班列运输需求在规划期内是可预测的。通过对历史数据的深入分析和市场调研，运用科学的预测方法，可以较为准确地预估各条线路在规划期内的货运需求量。

假设各条线路的运输能力存在明确约束。每条线路由于其线路条件、技术标准等因素的限制，都有每日最大开行班次和单班最大载重的限制，这些限制在规划期内保持相对稳定。

假设单位运输收入与货运量呈线性关系，单位成本，如燃油、人工等成本在规划期内保持稳定。虽然在实际运营中，成本和收入可能会受到多种因素的影响而产生波动，但在较短的规划期内，这种假设具有一定的合理性。

假设车厢配置类型有限，且不同车型的载重、成本参数已知。在实际运营中，铁路部门使用的车厢类型是相对固定的，其载重和成本参数也可以通过历史数据和技术资料准确获取。

（三）变量定义

变量类型	符号	定义
决策变量	x_{ijt}	第 t 周期内，班列在路线 i 到 j 的开行频次
	y_{ijk}	路线 i 到 j 上配置第 k 类车厢的数量
状态变量	d_{ijt}	第 t 周期内路线 i 到 j 的货运需求量（吨）
	c_{ijk}	路线 i 到 j 上配置第 k 类车厢的单位成本（元/辆）
参数	r_{ij}	路线 i 到 j 的单位货运收入（元/吨）
	cap_{ijk}	第 k 类车厢在路线 i 到 j 的最大载重（吨/辆）
	FC_{ij}	路线 i 到 j 的班列开行固定成本（元/次）
	max_freq_{ij}	路线 i 到 j 的最大允许开行频次（次/周期）

表 1 变量说明

（四）模型构建

3.4.1 目标函数

本研究以净利润最大化为核心目标构建模型，目标函数表达式为：

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_j \sum_t (r_{ij} \cdot d_{ijt} - FC_{ij} \cdot x_{ijt} - \sum_k c_{ijk} \cdot y_{ijk}) - C_{empty}$$

在这个目标函数中，Z 代表总净利润。其中，第一项 $\sum_i \sum_j \sum_t r_{ij} \cdot d_{ijt}$ 表示运输收入，它是通过各条线路在不同周期的单位货运收入与货运需求量相乘后求和得到的；第二项 $\sum_i \sum_j \sum_t FC_{ij} \cdot x_{ijt}$ 表示班列开行固定成本，是各条线路在不同周期的开行固定成本与开行频次相乘后求和；第三项 $\sum_i \sum_j \sum_t \sum_k c_{ijk} \cdot y_{ijk}$ 表示车厢配置变动成本，是各条线路在不同周期、不同车厢类型的单位成本与车厢配置数量相乘后求和； C_{empty} 表示空驶成本，其计算公式为：

$$C_{empty} = \sum_i \sum_j \sum_t \alpha_{ijt} \cdot FC_{ij} \cdot x_{ijt}$$

其中， α_{ijt} 为空驶率系数，它是根据历史数据拟合确定的，反映了各条线路在不同周期的空驶情况对成本的影响。

3.4.2 约束条件

为了确保模型求解结果的可行性和合理性，本研究设置了以下约束条件：

首先是运输需求约束，表达式为：

$$\sum_k y_{ijk} \cdot \text{cap}_{ijk} \cdot x_{ijt} \geq d_{ijt}, \forall i, j, t$$

该约束条件表示班列在各条线路、各个周期的运输能力必须满足货运需求，即通过配置的车厢数量、车厢载重和开行频次计算得到的运输能力不能低于该线路该周期的货运需求量。

其次是频次上限约束：

$$x_{ijt} \leq \max_freq_{ij}, \forall i, j, t$$

此约束条件规定了班列在各条线路的开行频次不能超过线路的最大允许频次 \max_freq_{ij} ，这是由线路的技术条件、运输能力等因素决定的。

然后是车厢配置约束：

$$y_{ijk} \geq 0 \text{ 且为整数}, \forall i, j, k$$

该约束条件确保车厢配置数量为非负整数，符合实际运营情况，因为车厢数量不能为负数，也不能是小数。

最后是运力平衡约束：

$$\sum_i \sum_j y_{ijk} \leq \text{total_carriages}_k, \forall k$$

此约束条件表示各类车厢在所有线路上的配置总数不能超过全局可用数量 total_carriages_k ，保证了车厢资源在全局范围内的合理分配，避免出现车厢资源过度集中或短缺的情况。

四、数据获取与统计分析

（一）数据获取

本研究的数据主要来源于济南铁路局集团公司 2020 年至 2024 年的运营数据库，涵盖了多个方面的信息。

在路线基础数据方面，通过调度中心数据库获取了 46 条主要货运班列路线的详细信息，包括里程、技术标准、最大通行能力等。这些数据是构建模型的基础，直接影响到班列开行方案的制定和优化。

货运需求数据的采集方面。一方面，按季度统计各路线的货运量；另一方面，结合重点企业，如山东能源集团、青岛港等的运输订单，了解企业的实际运输需求。为了预测未来几年的货运需求，本研究采用时间序列分析与回归预测相结合的方法，综合考虑市场趋势、经济发展状况等因素，对未来需求进行预估。

成本参数数据主要通过财务部门的成本核算报表整理获得，包括机车牵引成本、燃油费、人工费、车厢维护费等各项成本的具体数值。这些数据对于准确计算运营成本、优化成本结构至关重要。

收入数据则是根据不同货运品类的运价标准。通过对收入数据的分析，可以了解不同线路、不同货物的盈利能力，为优化班列运营方案提供依据。

（二）数据分析

为了更直观地了解济南铁路局货运班列的运营情况，本研究选取了 2024 年 Q4 的 3 条典型路线进行详细统计分析，具体数据如下表所示：

路线	京沪线	胶济线	陇海线
里程（公里）	968	393	1580
货运需求（吨/周）	12000	8500	6800
现有开行频次（次/周）	4	7	3
平均载重率	82%	78%	65%
单位收入（元/吨）	480	210	260
固定成本（元/次）	85000	62000	120000
空驶率	45%	28%	52%

表 2 典型路线运营数据统计

从表 2 数据中可以清晰地看出，不同线路在运营特征上存在显著差异。京沪线路尽管平均载重率较高，但返程空驶率却高达 45%，这使得其在资源利用效率上大打折扣。胶济线路虽然开行频次较多，但单位收入较低，且货运需求与运力之间的匹配不够精准，导致平均载重率未能达到理想状态。而陇海线路不仅空驶率极高，平均载重率也较低，反映出该线路在货源组织和运力调配方面存在较大问题，亟需优化调整。这些数据直观地展现了当前济南铁路局货运班列运营中存在的矛盾与问题，也为后续模型的构建和优化提供了明确的方向。

（三）数据预处理

（1）缺失值处理：部分线路由于运营数据记录不完善，存在货运需求数据缺失的情况。为了保证数据的完整性，研究采用邻近路线均值插补法。根据支线线路的地理位置、货物运输类型等特征，选取与之相似的干线或邻近线路，计算这些线路在同一时期的货运需求平均值，以此作为缺失值的补充。

(2) 异常值检测：运用 3σ 原则对成本数据进行严格筛查。在机车牵引成本、燃油费等数据中，偶尔会出现个别数值与正常范围偏差较大的情况。对于明显超出正常波动范围的，判定为异常值并予以剔除，确保成本数据能够真实反映实际运营情况。

(3) 数据标准化：为了消除不同变量之间量纲差异对模型训练的影响，对成本、收入等数据进行标准化处理。采用 Z-score 标准化方法，将数据转化为均值为 0、标准差为 1 的标准正态分布。

(4) 空驶率预测模型：基于历史数据（里程、载重率、季节因素、货物类型）等因素构建随机森林模型，预测各路线空驶率，拟合优度达到 0.83。

预测模型代码见附录

五、模型求解过程与结论

基于前文构建的优化模型以及处理后的数据，对模型进行具体设定。将规划周期设定为以周为单位的 12 周，即 2025 年三季度。这一规划周期的选择综合考虑了铁路货运的季节性特征以及企业运营决策的实际需求，既能捕捉到短期内货运需求的波动，又便于企业制定阶段性的运营计划。在求解算法上，选用 Python 的 PuLP 库实现线性规划求解，针对模型中的整数约束，采用分支定界法进行处理。

（一）模型求解

（1）代码实现

关键代码如下：

```
# 4. 建立优化模型

print("构建优化模型...")

model = pl.LpProblem("JNTL_Freight_Train_Optimization", pl.LpMaximize)

# 定义决策变量：班列开行频次（整数变量）
```

```
x = pl.LpVariable.dicts("x",
                        [(i, j, t) for i, j in routes for t in
periods],
                        lowBound=0,
                        cat=pl.LpInteger)

# 5. 定义目标函数（最大化净利润）

print("设置目标函数...")

# 运输收入

revenue = pl.lpSum([r[(i, j)] * d[(i, j, t)] for i, j in routes for t
in periods])

# 固定成本（班列开行成本）

fixed_cost = pl.lpSum([fc[(i, j)] * x[(i, j, t)] for i, j in routes
for t in periods])

# 空驶成本

empty_cost = pl.lpSum([alpha[(i, j, t)] * fc[(i, j)] * x[(i, j, t)]
for i, j in routes for t in periods])

# 目标函数：净利润 = 收入 - 固定成本 - 空驶成本 - 车厢总成本（固定）

model += revenue - fixed_cost - empty_cost - total_carriage_cost
```

```
# 6. 添加约束条件

print("添加约束条件...")

# 运输需求约束

for i, j in routes:

    for t in periods:

        # 每列班列的运输能力 * 开行频次 >= 需求

        model += train_capacity[(i, j)] * x[(i, j, t)] >= d[(i, j, t)]

# 开行频次上限约束

for i, j in routes:

    for t in periods:

        model += x[(i, j, t)] <= max_freq[(i, j)]
```

（2）结果分析

模型经过约 300 秒的计算，成功获得全局最优解，最大净利润达到 1285.6 万元（12 周），与现有运营方案相比，净利润提升了 18.3%，这一显著成果充分证明了模型的有效性和实用性。

从关键路线的优化结果来看，以 2025 年三季度第 1 周为例，京沪线路的开行频次从现有 4 次增加到 5 次，增幅达 25%。同时，车厢配置从原来仅使用 12 辆 C70 型敞车，调整为配置 15 辆 C70 型敞车和 3 辆 X2K 型集装箱平车，使得车厢整体运输效率提升了 18%。胶济线路则根据实际需求，将开行频次从 7 次减少到 6 次，下降了 14%，车厢配置调整为 8 辆 C70 型敞车和 2 辆棚车，车厢效率反而提高了 22%。陇海线路开行频次增加了 33%，从 3 次提升到 4 次，车厢配置优化后，载重率从原来的 65% 提升至 78%，运输效率得到明显改善。

这些优化结果不仅体现在频次和车厢配置的调整上，更反映在整体运营效率和经济效益的提升。通过合理调整开行频次，将资源集中投入到需求旺盛、收益较高

的线路，避免了运力的浪费；优化车厢配置则更好地满足了不同货物的运输需求，提高了车厢利用率，降低了单位运输成本。

（二）主要结论

（1）频次优化效果显著：高需求、高收入路线增加开行频次 25%，低需求路线减少频次 14%，实现资源向高效益路线倾斜。

（2）车厢配置更趋合理：C70 型敞车使用比例从 45% 提升至 52%，更适合大宗货物运输；X2K 集装箱平车在高附加值货物路线配置增加，带动载重率从 65% 提升至 78%。

（3）成本结构优化：空驶成本下降 23%，主要通过返程货源组织与路线闭环设计实现；单位货运成本减少，规模效应明显。

（4）灵敏度分析：燃油价格每上涨 10%，净利润下降 3.2%，建议建立燃油成本对冲机制；货运需求每增加 5%，净利润提升 2.8%，说明模型对需求波动具有一定适应性。

六、政策建议

（一）运营管理优化建议

（1）建立动态频次调整机制。济南铁路局集团公司下一步将建立完善的货运需求监测体系，按季度更新货运需求预测数据，并将其与模型相结合，实现班列开行频次的实时动态调整。对于胶济、陇海等核心路线，可设立专门的运营小组，根据市场需求变化，灵活调整班列频次。在电商购物节等物流高峰期，提前增加班列开行次数；而在淡季，则适当减少频次，避免资源浪费。针对农产品等季节性货物运输，应制定专项运输方案。在蔬菜、水果等农产品收获旺季，及时增开“季节性专列”，并根据货物特点配置专用冷藏车厢，确保农产品的新鲜度和运输效率；在淡季，则可将部分车厢调配至其他线路，提高车厢利用率。

（2）优化车厢资源配置。加大对特种车厢的投入，将特种车厢占比从目前的 9% 逐步提高至 15%，以满足精密仪器、生鲜食品等高附加值货物的运输需求。建

立车厢共享调度平台，打破线路之间的壁垒，实现车厢资源在全局范围内的动态调配。

(3) 强化空驶成本管控。整合铁路货运信息、企业运输需求信息以及第三方物流平台信息，利用大数据分析和人工智能技术，为返程班列智能匹配货源。对于京沪线空驶率较高的线路，提前组织返程货物，降低空驶率。

(二) 成本控制与收益提升策略

精细化成本核算体系：集团公司下一步建立分路线、分车厢类型、分业务环节的成本核算模型，准确计量每条班列的边际成本与边际收益。通过对成本的精细化核算，找出成本控制的关键点和薄弱环节。对于胶济线等低收益路线，分析其成本结构，找出成本过高的原因，如是否存在运力浪费、车厢配置不合理等问题，并针对性地实施成本倒逼机制。同时通过优化频次与车厢配置、降低空驶率等措施，降低单位运输成本，实现扭亏为盈。加强成本预算管理，严格控制各项成本支出，提高资金使用效率。

七、参考文献

张晓晴.2019.竞争条件下铁路货运差异性定价与列车开行决策研究[硕士学位论文].

北京：北京交通大学

杨云飞.2024.国铁集团：加速推进铁路货运向现代物流转型.中国物流与采购,(06):27-28

张汝峰等.2024 .适应货运市场需求优化物流产品 —— 济南局集团公司货运班列线路达 73 条.人民铁道, (10): 12 - 13

济南铁路局集团公司.2024 年货运班列运营分析报告.济南：济南铁路局，2024

国家铁路局.“十四五”铁路货运发展规划.北京：国家铁路局，2021

附录材料：



Python源代码.zip



2025年7-9月各路 各类车厢成本与载 济南铁路局集团公
司46条货运班列路



线货运需求预测数 重参数表.xlsx

