

“双碳”目标下唐山市货运结构优化

陈玉凤

华北理工大学, 河北 唐山 063210

摘要: 本项目以唐山市为研究对象, 通过对唐山市货运结构现状及其存在的问题进行分析, 在限定条件为中长途运输(运输距离超过 500km)和货物类型为大宗货物的前提下, 采用问卷调查、专家打分、AHP 层次分析等方法, 构建出基于效用最大化的低碳货运模型, 该模型旨在优化货运结构, 减少碳排放, 促进唐山市的低碳化发展。通过 ARIMA 模型对货运量进行预测, 制定了短期、中期、长期三个阶段优化方案, 目标是在 2035 年实现货物运输碳排放相对于 2023 年下降 27.3%。研究还提出了具体优化措施, 包括推动“公转铁”和“公转水”政策、实行公路配额管理等。通过这些措施, 预计到 2035 年物流成本将减少约 12%, 并创造超过 2 万个绿色就业岗位, 助力唐山市实现低碳转型。

关键词: 双碳; 货运结构优化; AHP 层次分析法; 效用模型; 货运量预测

DOI:10.63887/jeti.2025.1.3.8

一、研究背景与意义

(一) 研究背景

中国政府提出“双碳”目标, 彰显绿色低碳转型决心。交通运输业作为减排重点, 道路货运排放占比高, 绿色转型迫在眉睫。唐山市作为工业基地与物流枢纽, 货运结构“公强铁弱”, 高碳排放问题突出, 与“双碳”目标相悖。全球能源紧缺与气候治理压力加剧, 绿色货运体系重构成共识^[1]。唐山优化货运结构是区域可持续发展和低碳转型的必然选择, 需破解“公路依赖症”, 构建低碳运输网络, 保障支柱产业供应链稳定。

(二) 研究意义

本研究以优化唐山市货运结构为实证, 助力工业城市低碳转型。经济上, 遵循政策要求, 提高铁路与水路运输效率, 预计至 2035 年物流成本将减少约 12%; 推广新能源重卡, 预计创造超 2 万个绿色岗位, 推动产业升级与就业优化。文化上, 融合工业遗产与低碳物流理念, 如改造废弃铁路枢纽为新能源物流公园, 提升

城市文化底蕴, 塑造“重工业零碳运输”品牌。政治上, 响应“双碳”战略, 计划至 2035 年货运碳排放强度较 2023 年下降 27.3%, 打造“唐山模式”, 为同类城市提供转型范本, 并有望获政策与资金支持。

二、货运结构现状分析

(一) 货物类型特点

2024 年数据显示, 唐山市货运总量中铁矿石占比达 48%, 钢铁产品占 37%, 煤炭占 15%, 大宗货物占比超过 95%。这一结构特征反映出作为年产粗钢 1.3 亿吨的钢铁基地, 唐山的铁矿石输入-钢材输出运输链具有大宗化、长距离化特征。

(二) 货运结构现状及发展趋势

鉴于管道运输服务货物品类特定, 与其他货运方式货物转移率低, 本分析聚焦铁路、公路、水路、航空货运结构。货运量及公路周转量数据源自《唐山市统计年鉴》等, 其余运输方式周转量由货运量与平均运距计算得出^[2]。以下是经计算后得到的 2014-2023 年四种运

输方式的变化趋势。

表 1 四种运输方式变化趋势表

运输方式	货运量占比趋势	关键转折点
公路	87%→78%	2022 年“公转铁”政策实施后下降 18.2%
铁路	9%→13%	2018 年国家政策推动增长 49.65%
水路	3%→7%	2017 年港口扩建后运量提升 51.43%
航空	0.0002%	比较稳定，受限于大宗货物运输特性

(三) 现存问题

由表 1 四种运输方式变化趋势表分析可以看出，当前，随着国家政策的推进，使得唐山市公路货运量占比有所下降。总体来说，唐山市的货运结构与低碳运输目标还是存在矛盾。公路运输承担了大部分货运量，其碳排放量大，导致运输资源浪费和碳排放增加，而铁路和水路运输的潜力尚未充分发挥，这一现状反映了货运结构的不合理。因此，优化货运结构、减少碳排放是唐山市实现低碳运输和“双碳”目标的关键。

三、碳排放与能耗测算

(一) 测算方法

测算方法

碳排放： $C = \sum (\text{周转量} \times \text{排放系数})$

公路、铁路、水路、航空单位碳排放系数分别为：0.327、0.028、0.053、1.961 (kgCO₂/吨公里)

能耗： $E = \sum (\text{周转量} \times \text{能耗系数})$

公路、铁路、水路、航空单位周转量能耗系数分别为：0.327、0.028、0.053、1.961

(万吨标准煤/亿吨公里)

(二) 结果分析

通过计算得到唐山市 2014-2023 年碳排放与能源消耗相关数据，其中公路运输的碳排放量最高，与其在货运结构中的主导地位一致。水路碳排放量虽高于铁路，但整体较低。航空因货运量小，对总碳排放量影响有限。公路能耗占主导地位，逐年增长，尤其在 2019-2021 年显著增加。铁路能耗较低，但缓慢增长。水路和航空能耗较小且变化不大。高碳和高能耗主要由公路运输引起，未来将优化中长途大宗货物运输结构，以减少碳排放。

四、低碳货运模型构建

(一) 模型构建框架

本研究针对中长途（500km 以上）大宗货物运输场景，整合问卷调查与 AHP 层次分析法，构建多维度低碳货运评价体系^[3]。模型聚焦环保性、能效性、经济性等六大核心指标，通过层次分析法确定权重，结合效用模型，得到基于效用最大化的四种运输方式分担率。图 1 为低碳货运模型指标评价体系

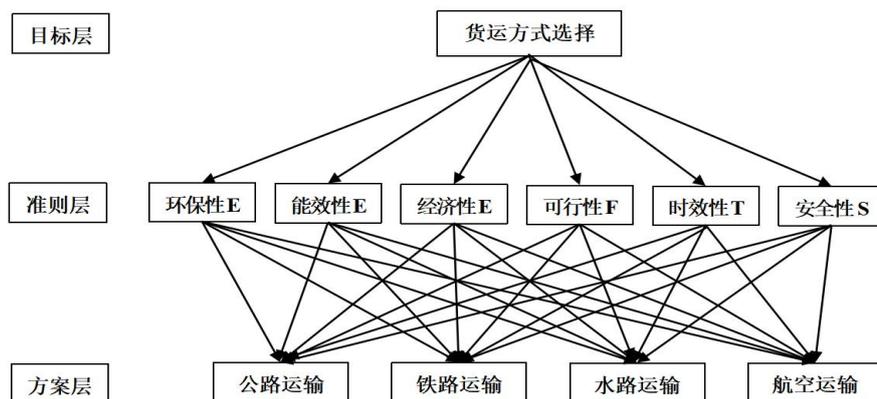


图 1 特征指标评价体系

（二）评价指标体系

1 指标构成

（1）环保性：含单位运量碳排放强度、其他污染物排放强度。单位运量碳排放强度参考碳排放系数测算，单位运量其他污染物排放强度采用专家得分法，其公路、铁路、水路、航空得分分别为 5 分、6 分、3 分、1 分。

（2）能效性：参照单位周转量能耗系数

（3）经济性：综合计算运价与碳税成本，单位均为（元/吨公里），公路运价 0.4（碳税 0.0164）、铁路运价 0.2（碳税 0.0014）、水路运价 0.055（碳税 0.0027）、航空运价 5（碳税 0.0981）

（4）可行性：政府支持度与技术成熟度加权，主要通过专家打分量化，具体打分结果为公路（政策 4、技术 5），铁路（政策 5、技术 6），水路（政策 3、技术 4），航空（政策 2、技术 5）

（5）时效性：按平均运输速度评定，单位均为 km/h，具体数值为（公路 80，铁路 70，水路 30，航空 800）

（6）安全性：结合事故率与货损率评估，其数据通过专家打分和查阅文献获得^[4]。公路事故率 4（货损率 0.81%）、铁路事故率 5（货损率 0.03%）、水路事故率 2（货损率 0.05%）、航空事故率 6（货损率 0.002%，安全性最高）。

2 数据标准化处理

在标准化处理中：

正向指标（如速度、能效）：按比例缩放至 0-1 区间，公式为：

$$Z_j = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4-1)$$

反向指标（如碳排放、成本）：同样按比例缩放至 0-1 区间，公式为：

$$Z_j = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4-2)$$

专家评分指标：若评价方向为反向（如事故率），需将原始评分转化为倒数后再处理。

（三）权重确定与效用计算

1 层次分析法权重分配

构在构建层次模型后，为评估指标权重，邀请物流工程专家使用 1-9 标度法打分，形成 A-B、B-C 等层级判断矩阵^[5]。通过计算一致性指标 CI 和一致性比率 CR，确保判断矩阵具有一致性（CR<0.1）。最终得到各指标权重：环保性 0.115，经济性 0.123，可行性 0.153，时效性 0.148，安全性 0.238，能效性 0.223。

2 运输方式效用值与货运分担率

通过层次分析法和效用模型计算，得到四种货运方式的效用值：铁路最高（0.95），水路（0.66），公路（0.57），航空最低（0.40）。采用归一法计算货运分担率：铁路 36.8%，水路 25.5%，公路 22.2%，航空 15.6%。由于航空成本高且载重受限，不参与大宗货物优化。后续优化将基于铁路、水路和公路占比进行。

五、货运量预测与优化方案

(一) 模型概述

ARIMA 模型结合了差分处理的 AR(p) 和 MA(q) 模型，涵盖自回归、差分阶数和移动平均部分^[6]。公式为：

$$\phi(L^{-1})(1L^{-1})^d x(t) = \theta(L^{-1})\varepsilon(t) \quad (5-1)$$

(二) 模型构建与预测

在此模型中，运用 SPSSAU、DMSAS 软件开展数据预测，预测公路、铁路和水路的货运量，如表 2 所示

表 2 预测值

预测结果（单位：万吨）				
年份	2023 货运量	2025	2030	2035
公路	44769.9	57168.7	96284.3	147106.1
铁路	7558.89	8458.3	10692.2	12926
水路	4502.079	5914	10420.6	16349.1

(三) 货运结构动态调整策略

基于上述中的效用模型所计算出的货运方式分担率制定阶段性货运结构调整目标。2023 年公路货运占比 79%，铁路 13%，水路 8%。到 2025 年，目标调整为公路 66%，铁路 22%，水路 12%；到 2030 年，进一步调整为公路 52%，铁路 30%，水路 18%；到 2035 年，目标为公路 39%，铁路 36%，水路 25%。这些目标旨在逐步减少公路运输依赖，增加铁路和水路的使用，以实现低碳化发展。

1 实施路径

(1) 短期目标（2025 年）

提升铁路至 22%，水路至 12%，公路降至 66%

新建铁路专线，优化水路集疏运，控制公路运量

(2) 中期目标（2030 年）

提升铁路至 30%，水路至 18%，公路降至 52%

升级铁路干线，智能升级港口，实施财政激励

(3) 长期目标（2035 年）

提升铁路至 36%，水路至 25%，公路降至 39%

扩展铁路网络，强化水路枢纽，实行公路配额管理

2 碳排放数据对比

2023 年总碳排放为 531.7 万吨，随着货运结构的动态调整，预计 2025 年总碳排放量将较 2023 年减排 9.30%，到 2030 年减排幅度达到 14.10%，而到 2035 年总碳排放量较 2023 年的减排率可达 27.30%。

3 实施保障措施

(1) 立法强制：颁布《唐山市货运结构调整条例》

(2) 市场机制：建立碳排放配额交易平台

(3) 监测体系：实时监控公路货运量，超量部分征收 3 倍碳税

六、结论与展望

(一) 研究结论

本研究以唐山市中长途大宗货物运输为对象，通过构建 AHP-效用模型与 ARIMA 预测模型，系统分析了货运结构优化的低碳路径，主要结论如下：

1. 货运结构矛盾显著：2023 年唐山市公路货运占比高达 79%，其单位周转量碳排放强度为铁路的 11.7 倍、水路的 6.2 倍，是碳排

放总量的核心来源。铁路、水路运输占比仅13%和8%，低碳运输潜力远未释放。

2. 模型优化效果显著：基于 AHP 模型权重分配（安全性 23.8%、能效性 22.3%为核心指标），铁路运输综合效用值达 0.95，水路 0.66，远高于公路的 0.57。结合 ARIMA 预测的 2035 年总货运量 12.7 亿吨，优化后货运结构（铁路 36%、水路 25%、公路 39%）可实现碳排放总量 386.4 万吨，较 2023 年减少 27.3%，单位货运碳排放强度下降至 0.0304kg-CO₂ /吨

公里。

3. 阶段性调整可行性：分阶段实施“铁路扩容-水路升级-公路控量”策略，2025 年、2030 年、2035 年分别实现减排 9.3%、14.1%、27.3%。

（二）研究展望

未来将探索氢能重卡、智能铁路调度等技术提升运输效率，结合钢铁企业生产工艺革新，构建全链条减碳模型，并研究京津冀港口群协同调度，设计跨区域碳排放补偿机制。

参考文献

- [1]金琳. “双碳”目标下上海运输结构调整方向和实施路径[J]. 上海节能, 2025, (03): 398-403.
- [2]杨勇, 刘畅, 范昕怡. 全社会物流成本的影响因素及下降空间测算[J]. 交通运输研究, 2024, 10(04): 44-55.
- [3]王旭, 祝凌曦, 李诗林. 基于集装箱运用数据的铁路集装箱装卸站聚类融合算法研究[J]. 铁道货运, 2024, 42(06): 33-44.
- [4]李勇. 基于 Servqual 的铁路货运服务质量评价方法研究[J]. 铁道货运, 2020, 38(07): 33-38.
- [5]李艳丽, 王金盐, 孙毅. 双碳目标下京津冀城域货运交通结构优化研究[J]. 铁道运输与经济, 2023, 45(03): 158-164.
- [6]张巨峰. 基于 ARIMA 模型的甘肃省碳排放预测分析[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2024, 40(04): 31-36.