文章编号：1003-1421(2026)06-0203-10
引用格式：崔愿，陈璟，廖向东，等. 基于通道运输类型划分和决策偏好分析的双目标区域综合运输通道功能特征研究[J]. 铁道运输与经济，2026，48(6)：203-212.
CUI Yuan，CHEN Jing，LIAO Xiangdong，et al. Study on Characteristics of Bi-Objective Regional Comprehensive Transportation Corridors Based on Classification of Corridor Transportation Types and Decision Preference Analysis[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(6)：203-212.

基于通道运输类型划分和决策偏好分析的双目标区域综合运输通道功能特征研究

崔　愿[1,2]，陈　璟[1,2]，廖向东[3]，徐美霞[4]，李　可[1]

(1.交通运输部规划研究院 综合运输研究所，北京　100028；2.交通运输部规划研究院 综合交通规划数字化实验室，北京　100028；3.湖北省交通运输厅 综合交通处，湖北 武汉　430030；4.湖北省交通运输厅 规划研究室，湖北 武汉　430030)

摘　要：为给区域综合运输通道规划决策和后评估工作提供支撑参考，聚焦通道过境运输和非过境运输的功能构成，对通道过境客货运量和非过境客货运量进行无量纲化处理，使其可叠加，使用通道中同本区域经济社会发展无关的过境运输指数代表通道的过境运输功能，使用通道中同本区域经济社会发展相关的非过境运输指数代表通道的非过境运输功能，建立以通道过境运输功能和非过境运输功能最强为目标的双目标分析模型。利用权重系数反映不同决策者对通道过境运输功能和非过境运输功能的偏好，利用标准化方法对过境运输指数和非过境运输指数进行处理，使用基于距离的方法对模型进行求解。统筹使用交通行业传统统计数据、营运收费数据和手机信令数据，发挥不同数据源的比较优势，强化相互补充和校核，提高模型参数的可获取性和准确性。以湖北省“五纵四横”综合运输通道为例进行案例分析，验证方法有效性和实用性。结果表明，该模型可用于剖析区域综合运输通道的过境运输功能和非过境运输功能；决策者偏好影响最优区域综合运输通道的方案选择，灵敏度分析结果表明，11种权重系数组合下，最优方案集中分布在横三通道、横一通道和纵二通道上，占比分别为45.6%，27.2%，27.2%。

关键词：区域综合运输通道；决策偏好；双目标；过境运输；多源数据
中图分类号：U116.1　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250403001

Study on Characteristics of Bi-Objective Regional Comprehensive Transportation Corridors Based on Classification of Corridor Transportation Types and Decision Preference Analysis

CUI Yuan[1,2]，CHEN Jing[1,2]，LIAO Xiangdong[3]，XU Meixia[4]，LI Ke[1]

(1. Institute of Comprehensive Transport, Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China; 2. Laboratory for Traffic and Transport Planning Digitalization, Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China; 3. Comprehensive Transportation Division, Hubei Provincial Department of Transportation, Wuhan 430030, Hubei, China; 4. Planning Research Department, Hubei Provincial Department of Transportation, Wuhan 430030, Hubei, China)

收稿日期：2025-04-03　　**修订日期**：2026-03-19
通信作者：陈璟(1975—)，女，新疆玛纳斯人，交通运输部规划研究院正高级工程师。
基金项目：国家社会科学基金项目(20ZDA086)；交通运输部规划研究院科研项目(031914-322，092314-002)

Abstract: To provide support and reference for the planning decision and post-evaluation of regional comprehensive transportation corridors, focusing on the functional composition of transit and non-transit transportation of the corridors, the passenger and freight volumes of transit and non-transit transportation of the corridors were non-dimensionalized to make them superimposable. The transit transportation function of the corridors was represented by the transit transportation index unrelated to the economic and social development of the region, and the non-transit transportation function of the corridors was represented by the non-transit transportation index related to the economic and social development of the region. A bi-objective analysis model aiming at maximizing the transit and non-transit transportation functions of the corridors was established. Weight coefficients were utilized to reflect the preferences of different decision-makers for the transit and non-transit transportation functions of the corridors; a standardization method was used to process the transit and non-transit transportation indices, and a distance-based method was used to solve the model. Traditional statistical data of the transportation industry, operational toll data, and mobile phone signaling data were coordinated and used to leverage the comparative advantages of different data sources and strengthen mutual supplementation and verification, thus improving the accessibility and accuracy of model parameters. A case study was conducted taking the "5 North-South & 4 East-West" comprehensive transportation corridors in Hubei Province as an example to verify the validity and practicability of the method. The results show that the model can be used to analyze the transit and non-transit transportation functions of regional comprehensive transportation corridors; decision-maker preferences affect the scheme selection of the optimal regional comprehensive transportation corridors. The sensitivity analysis results show that under 11 combinations of weight coefficients, the optimal schemes are mainly concentrated on the third horizontal corridor, the first horizontal corridor, and the second vertical corridor, accounting for 45.6%, 27.2%, and 27.2%, respectively.

Keywords: Regional Comprehensive Transportation Corridor; Decision Preference; Bi-Objective; Transit Transportation; Multi-Source Data

0　引言

我国于2007年、2017年和2021年印发了"五纵五横"[1]、"十纵十横"[2]和"六轴七廊八通道"[3]的国家综合运输通道规划方案。各区域(省、自治区、直辖市、城市群、都市圈等)在国家综合运输通道布局基础上，通过加密区域级综合运输通道，形成本区域的综合运输通道布局方案。区域综合运输通道作为本地区经济产业发展过程中大规模人员出行和货物运输的主要交通廊道，通过配置一定数量、种类、等级的交通线路，旨在满足本地的客货运输需求。同时，区域综合运输通道的延伸性，使得其作为国家综合运输通道的组成部分，也要服务国家层面、跨区域、同本区域经济社会发展无关的过境客货运输。区域中通常会拥有多条综合运输通道，不同通道的非过境客货运输功能和过境客货运输功能的强弱差异显著，影响决策者对通道的重视程度，也会影响通道的交通线路方式构成、线路数量、技术等级、建设时序等。

区域综合运输通道功能特征是综合运输通道研究的重要内容，对通道中客货运输规模、运输结构、距离、费用、出行目的、选择偏好等方面进行探索是当前研究的热点领域，形成的研究成果主要分为2类。第1类主要聚焦区域综合运输通道的交通属性，研究通道客货运输规模计算方法和需求预测方法[4-6]，探讨通道构成线路变化对运输结构的影响[7-8]，测算通道中各运输方式的经济运距和优势运距[9-10]，分析最优状态下通道的供给能力、服务效率水平和不同交通方式间的分工协作[11-14]。第2类在第1类研究成果基础上，侧重研究区域综合运输通道的外部性，特别是尽可能地扩大区域综合运输通道的正外部性、缩小负外部性，如探索通道经济带、交通产业带的理论和实践[15-17]，测算通道对沿线地区城镇化进程和经济发展的带动作用[18-21]。上述成果对调整区域综合运输通道线路配置、优化通道运输结构、发展通道经济起到了积极作用。但由于通道客运量和货运量的单位不一致，不能直接叠加比较，使得既有成果多选择通道的客运功能或货运功能的1个方面来研究，同时考虑通道客运功能和货运功能的成果尚不多见。此外，以

上成果多侧重于通道客货运输的规模、出行距离、行程时间、运输费用等，对于通道上的旅客和货物是否参与了本区域经济社会生产活动的研究还不够充分。而且，不同地区对综合运输通道的关注点和侧重点存在显著差异，部分决策者希望综合运输通道更多服务本地区经济产业发展过程中衍生出的客货运输需求、支撑区域经济发展，部分决策者更加注重综合运输通道服务国家层面过境本区域的客货运输需求、提升其在国家层面的地位。

区域综合运输通道功能构成涉及多种运输方式线路的客货运输，传统交通行业统计数据和营运收费数据不能完全体现通道中全部运输方式客货运输规模、范围、起终点等信息。当前，大数据凭借体量大、处理快速、模态多样、价值高等特点，可有效弥补传统交通行业统计数据和营运收费数据存在的不足，正成为交通领域研究新的数据来源[22-25]。因此，如何统筹利用既有统计数据、营运收费数据、手机信令等多重数据，发挥多种数据优势，强化不同数据源之间的相互校核，实现对区域综合运输通道内不同运输方式、相同运输方式不同类型交通线路的全覆盖，兼顾通道的客运功能和货运功能、过境运输功能和非过境运输功能，反映不同区域、相对区域不同评价者对区域综合运输通道过境运输功能和非过境运输功能的偏好，有助于更加全面体现区域综合运输通道功能特色，为客观开展区域综合运输通道的规划决策和后评估工作提供参考。

本研究在按运行轨迹对通道内客货运输分类的基础上，以通道过境运输指数大小来代表区域综合运输通道在国家层面发挥作用的强弱，以通道非过境运输指数大小来代表区域综合运输通道对本地区经济发展带动作用的强弱，建立区域综合运输通道功能特征的双目标分析模型，利用权重系数反映不同评价者对通道过境功能和非过境功能的不同偏好，对湖北省“五纵四横”综合运输通道进行案例研究，确定不同权重系数下评分最高的通道方案。

1　模型建立

1.1　通道客货运输类型划分

区域综合运输通道中的客货运输范围是影响区域综合运输通道功能特征的重要因素。按客货运行轨迹对通道客货运输类型进一步划分，是对区域综合运输通道功能特征进行分析的前提。

其中，通道过境运输功能指通道服务起点和终点均不在区域境内的旅客和货物运输，此类通道运输功能与本区域经济社会发展无关，但客货运输占用本区域的通道设施资源，过境运输的旅客和货物规模越大，代表该区域综合运输通道在国家层面发挥作用越突出。

通道非过境运输功能指通道服务起点或终点在区域境内的旅客和货物运输，此类通道运输功能同区域经济社会发展密切相关，非过境运输的旅客和货物规模越大，代表该区域综合运输通道同区域经济社会的联系越紧密，带动其发展的作用越突出。

1.2　目标函数

统筹考虑区域综合运输通道的客运功能和货运功能、过境运输功能和非过境运输功能，使用区域综合运输通道过境运输指数、非过境运输指数代表通道过境运输和非过境运输功能，该指数值越大，说明该通道过境运输或非过境运输功能越强。通道的过境运输指数或非过境运输指数计算公式为

$$Z_{i,\,j}=\sum_{k=1}^{2}\overline{A_{i,\,j,\,k}} \tag{1}$$

式中：i为通道序号，$i=1,2,\cdots,m$；j为通道的过境运输属性，$j=1,2$，当值为1时代表过境运输，当值为2时代表非过境运输；$Z_{i,\,j}$为通道i、过境运输属性j的指数；k为通道的运输功能类型，$k=1,2$，当值为1时代表客运，当值为2时代表货运；$A_{i,\,j,\,k}$为通道i、过境运输属性j、运输功能k的原始值，$\overline{A_{i,\,j,\,k}}$为$A_{i,\,j,\,k}$的无量纲值。

$A_{i,\,j,\,k}$等于通道i中所有构成线路的过境运输属性j、运输功能k的运量之和，计算公式为

$$A_{i,\,j,\,k}=\sum_{q=1}^{5}a_{i,\,j,\,k,\,q} \tag{2}$$

式中：q为通道中的运输方式序号；$a_{i,\,j,\,k,\,q}$为通道i、过境运输属性j、运输功能k、运输方式q运量的原始值，万人或万t。

通常区域综合运输通道配置不同交通方式的线路或配置相同运输方式、不同种类的交通线路，如高速铁路和普速铁路、高速公路和普通国省道，以上线路在本研究视为不同类型的交通线路。由于民

航空中航路的区域属性较为模糊，准确统计通道中民航客货过境量和非过境量难度较大，且同其他运输方式相比，民航客货运输规模相对较小，本研究暂不考虑民航运输方式。通道的客运量包括：高速铁路客运量$a_{i,j,1,1}$，万人；普速铁路客运量$a_{i,j,1,2}$，万人；高速公路客运量$a_{i,j,1,3}$，万人；普通国省道客运量$a_{i,j,1,4}$，万人；水运客运量$a_{i,j,1,5}$，万人。通道的货运量包括：普速铁路货运量$a_{i,j,2,1}$，万t；高速公路货运量$a_{i,j,2,2}$，万t；普通国省道货运量$a_{i,j,2,3}$，万t；水运货运量$a_{i,j,2,4}$，万t；管道货运量$a_{i,j,2,5}$，万t。

$\overline{A_{i,j,k}}$计算公式为

$$\overline{A_{i,j,k}}=\frac{A_{i,j,k}-\min\left\{A_{1,j,k},\ A_{2,j,k},\ \cdots,\ A_{m,j,k}\right\}}{\max\left\{A_{1,j,k},\ A_{2,j,k},\ \cdots,\ A_{m,j,k}\right\}-\min\left\{A_{1,j,k},\ A_{2,j,k},\ \cdots,\ A_{m,j,k}\right\}} \tag{3}$$

1.3　双目标模型求解

理想状态下，当某一区域综合运输通道在过境功能和非过境功能同时达到最强状态，即为最优评价的通道。但在现实中，通常情况下一个区域综合运输通道无法在2种功能上同时达到最强。决策者或评价者通常根据对2个功能的偏好选择其中1个作为评价最高的通道。本研究建立的双目标计算模型计算公式为

$$\max F(i)=\begin{bmatrix}Z_{i,1}\\Z_{i,2}\end{bmatrix} \tag{4}$$

式中：$F(i)$为通道i的评价得分。

尽管通道过境运输指数、通道非过境运输指数都已经去量纲化，但是单位长度的通道过境运输指数、通道非过境运输指数代表的客货运输规模存在显著差别，导致无法对2个指数直接叠加，通过其判断比较多条区域综合运输通道的整体运输功能强弱。且当通道的过境运输指数、非过境运输指数在数量级上存在差别的时候，对二者进行直接简单叠加，将极大程度掩盖该综合运输通道在过境运输功能或者非过境运输功能方面的特点。

因此，对公式(1)获取的通道过境运输指数、通道非过境运输指数进行标准化，使通道过境运输指数、通道非过境运输指数实现可叠加比较，计算公式为

$$\overline{Z_{i,j}}=\frac{Z_{i,j}-Z_{\min,j}}{Z_{\max,j}-Z_{\min,j}} \tag{5}$$

式中：$\overline{Z_{i,j}}$为$Z_{i,j}$的标准值，$\overline{Z_{i,j}}\in[0,1]$；$Z_{\max,j}$为通道过境运输属性$j$的最大值；$Z_{\min,j}$为通道过境运输属性$j$的最小值。

经过标准化，通道过境运输指数的标准值和通道非过境运输指数的标准值已经达到可直接比较的条件。用权重系数来代表不同地区、同一地区不同评价者或决策者对区域综合运输通道过境运输功能和非过境运输功能的喜好存在的差异。通道i的评价得分可使用基于距离的方法求解得到。其中，分数最高的通道即为评价最优的通道，表示评价者在通道线路配置、建设时序安排等方面给予倾斜。计算公式为

$$\max F(i)=\sum_{j=1}^{2}\omega_j\cdot\overline{Z_{i,j}} \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{2}\omega_j=1 \tag{7}$$

$$0\leqslant\omega_1,\ \omega_2\leqslant1 \tag{8}$$

式中：ω_j为权重系数，权重值越接近于1说明评价者对通道该项功能越重视。

2　多源数据处理

2.1　数据获取

统筹使用传统交通行业统计数据、营运收费数据和手机信令数据，获取公式中的各个参数值。不同源头的交通数据具有显著特征，如铁路和高速公路营运收费数据具有针对性强、系统性强、采集信息准确等优点；普通国省道非现场治超的普遍推广使用，能够一定程度上对普通公路上货物运输规模和运输范围进行统计，但尚未对旅客出行规模和运行轨迹等关键信息进行收集。手机信令数据能够对一定时期通道上用户活动轨迹进行追踪，可识别通道中旅客出行规模、出行范围和出行速度，凭借其数据样本量大、动态连续、可重复分析等优势，使观测区域综合运输通道上旅客出行空间活动特征成为可能。同时，手机信令数据也存在一些不足，如数据精度受通道沿线基站密度变化明显、无法获取载运工具类型和运营属性等信息、对局部个体出行进行扩样而非全样本、数据分析结果质量受数据提取方法、算法合理性和成熟度影响较大等。

综合利用传统交通行业统计数据、营运收费数据和手机信令数据，发挥不同数据源的比较优势，弥补单一数据源的不足，在模型中的各个参数值可获取性基础上，提高数据的准确性。其中，铁路、高速公路和水运的过境客运量、非过境客运量、过境货运量、非过境货运量，普通国省道和管道的过境货运量、非过境货运量的参数值，主要源自于传统交通行业统计数据或营运收费数据。普通国省道的过境客运量、非过境客运量的参数值，需要通过手机信令数据获取。各参数值主要获取路径如表1所示。

表1　各参数值主要获取路径

Tab.1　Main acquisition paths for each parameter value

交通方式	参数指标	获取数据来源	
		传统交通行业统计数据、营运收费数据	手机信令数据
铁路	过境客运量 非过境客运量 过境货运量 非过境货运量	√	—
高速公路	过境客运量 非过境客运量 过境货运量 非过境货运量	√	—
普通国省道	过境客运量 非过境客运量	—	√
	过境货运量 非过境货运量	√	—
水运	过境客运量 非过境客运量 过境货运量 非过境货运量	√	—
管道	过境货运量 非过境货运量	√	—

2.2　数据校核

由于手机信令数据携带了大量不宜公开的敏感信息，导致手机信令数据公司通常无法提供原始数据供客户自行提取，其只能根据客户需要、提供脱敏脱密后的定制数据或直接提供处理后的数据结果。因此需要对利用手机信令数据获取参数值的可靠性进行验证和校核。

通过营运收费数据获取的铁路或高速公路参数值通常具有较高的准确度，以其作为参照，同利用手机信令数据获取的铁路或高速公路的参数值进行比较，当2种数据源的同一参数值相差不大的时候，即认为利用手机信令数据获取的参数值具有较高的精确度。由于高速铁路旅客出行速度明显快于普速铁路、高速公路、普通国省道、水运等方式，且受路况、天气等外部条件影响程度小，使得将高速铁路旅客从包含各方式旅客的手机信令数据中进行甄别和筛选相对容易和准确。因此，当区域综合运输通道配置了高速铁路时，优先选择营运收费数据的高速铁路旅客出行参数同手机信令数据的参数进行数据校核；当区域综合运输通道未配置高速铁路时，以普速铁路旅客出行为参照进行数据校核；当区域综合运输通道未配置高速铁路和普速铁路时，以高速公路旅客出行为参照进行数据校核；当区域综合运输通道未配置高速铁路、普速铁路和高速公路时，可参考临近的区域综合运输通道数据校核情况。

考虑手机信令数据获取需要依托通道沿线基站的密度和辐射范围，不同综合运输通道沿线的基站数量不同，使得同一区域、不同通道手机信令数据的准确性也存在差异，因此需要对区域内每条综合运输通道的手机信令数据进行逐一校核。校核的计算公式为

$$B_i = \frac{a_{i,\,j,\,1,\,r,\,y}}{a_{i,\,j,\,1,\,r,\,s}} \tag{9}$$

式中：B_i为通道i手机信令数据的修正系数，值越接近1，说明手机信令数据准确度越高；r为校核选取的交通方式序号，r=1，2，3，其中，3个可选值的优先级依次递减；$a_{i,\,j,\,1,\,r,\,y}$为营运收费数据的通道i、过境运输属性j、交通方式r客运量的原始值，万人；$a_{i,\,j,\,1,\,q,\,s}$为手机信令数据的通道i、过境运输属性j、交通方式r客运量的原始值，万人。

2.3　普通国省道过境客运量和非过境客运量计算

在对手机信令数据校核的基础上，利用手机信令数据的修正系数，对通过手机信令数据获取的普通国省道过境客运量、非过境客运量参数值进行同比例缩放或扩大，得到准确的普通国省道过境客运量和非过境客运量参数值，计算公式为

$$a_{i,\,j,\,1,\,4,\,y} = B_i \cdot a_{i,\,j,\,1,\,4,\,s} \tag{10}$$

式中：$a_{i,\,j,\,1,\,4,\,y}$为校核后的通道i、过境运输属性j、普通国省道客运量的原始值；$a_{i,\,j,\,1,\,4,\,s}$为手机信令

数据的通道i、过境运输属性j、普通国省道客运量的原始值。

3　案例分析

3.1　通道多源数据情况

以湖北省“五纵四横”[26]综合运输通道为例，验证方法有效性和实用性。“五纵四横”综合运输通道构成线路如表2所示。

从铁路运输部门、高速公路营运部门、水路运输管理部门获取区域综合运输通道中铁路、高速公路和长江航道湖北段的非过境客运量、过境客运量、非过境货运量、过境货运量等参数的数值。从交通运输部门获取通道中普通国省道非过境货运量和过境货运量的参数值。

利用联通智慧足迹数据科技有限公司的手机信令数据获取通道中普通国省道非过境客运量和过境客运量。该公司在通过海量手机信令数据提炼分析旅客出行特征领域，已经开展了较多实践案例，积累了一定成果经验，可直接提供处理后的数据结果(原始值)。选择区域综合运输通道中铁路或高速公路的旅客过境量作为参照，利用式(9)，验证手机信令公司数据和处理方法的可靠性，计算得到每个综合运输通道手机信令数据的修正系数。“五纵四横”综合运输通道手机信令数据校准如表3所示。总体来看，该公司的手机信令数据具有较高的可信度。根据手机信令数据的修正系数、普通国省道非过境客运量和过境客运量(原始值)，通过式(10)，计算得到校核后的通道中普通国省道的非过境客运量和过境客运量(最终值)。“五纵四横”综合运输通道中普通国省道非过境客运量和过境客运量如表4所示。

表2　“五纵四横”综合运输通道构成线路

Tab.2　Constituent routes of “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

序号i	通道名称	通道主要线路
1	纵一	京九铁路(北京西—香港红磡)、大广高速公路、G106
2	纵二	京广铁路(北京西—广州)、京广高速铁路(北京丰台—广州南)、京港澳高速公路、G107
3	纵三	小厉铁路(小林—厉山)、江汉平原货运铁路(天门东—潜江北)、随岳高速公路
4	纵四	焦柳铁路(焦作—柳州)、二广高速公路、G207、G234
5	纵五	呼北高速公路、G209、G241、G242
6	横一	九江—武汉—安康铁路、福银高速公路、G316、G346
7	横二	武合铁路(合肥—汉口)、沪蓉高速公路、G348
8	横三	汉宜铁路(汉口—宜昌东)、长江航道、沪渝高速公路、G318
9	横四	杭瑞高速公路、G351

表3　“五纵四横”综合运输通道手机信令数据校准

Tab.3　Calibration of mobile phone signaling data for “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

指标	校核选取的通道线路及线路过境客运量								
	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四
	京九铁路	京广高速铁路	随岳高速公路	焦柳铁路	呼北高速公路	九江—武汉—安康铁路	武合铁路	汉宜铁路	杭瑞高速公路
营运收费数据/万人	2 310	3 366	572	2 310	17	3 876	1 389	2 423	339
手机信令数据/万人	2 139	3 080	555	2 119	16	3 461	1 323	2 203	326
“营运收费数据/手机信令数据”的比值	1.08	1.09	1.03	1.09	1.06	1.12	1.05	1.10	1.04

表4　“五纵四横”综合运输通道中普通国省道非过境客运量和过境客运量　万人

Tab.4　Non-transit passenger volume and transit passenger volume of ordinary national and provincial highways in “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

数据类型	指标	通道中普通国省道客运量											
		纵一	纵二	纵四		纵五			横一		横二	横三	横四
		G106	G107	G207	G234	G209	G241	G242	G316	G346	G348	G318	G351
手机信令数据	非过境客运量	2 211	3 402	2 229	1 561	1 437	906	580	5 020	2 193	2 532	4 580	3 164
	过境客运量	14	21	14	7	8	6	4	31	13	15	28	19
校核后数据	非过境客运量	2 388	3 708	2 430	1 702	1 523	960	615	5 622	2 456	2 659	5 038	3 291
	过境客运量	15	23	15	8	9	6	4	35	15	16	31	20

3.2　方案分析

根据式(2)，对“五纵四横”综合运输通道内各方式线路过境客货运量、非过境客货运量进行叠加，计算得到各通道过境客运量、过境货运量、非过境客运量、非过境货运量的原始值。“五纵四横”综合运输通道客货运量构成原始值如表5所示。

根据表5的数据，“五纵四横”综合运输通道过境客运量、过境货运量、非过境客运量、非过境货运量的最大值和最小值分别如下。$\max A_{i,1,1}$=6 033，$\min A_{i,1,1}$=36；$\max A_{i,1,2}$=23 421，$\min A_{i,1,2}$=1 351；$\max A_{i,2,1}$=35 817，$\min A_{i,2,1}$=3 302；$\max A_{i,2,2}$=74 233，$\min A_{i,2,2}$=7 956。

根据式(3)，“五纵四横”综合运输通道过境客运量、过境货运量、非过境客运量、非过境货运量的无量纲值计算公式为

$$\overline{A_{i,1,1}}=\frac{A_{i,1,1}-36}{5\,997} \tag{11}$$

$$\overline{A_{i,1,2}}=\frac{A_{i,1,2}-1\,351}{22\,070} \tag{12}$$

$$\overline{A_{i,2,1}}=\frac{A_{i,2,1}-3\,302}{32\,515} \tag{13}$$

$$\overline{A_{i,2,2}}=\frac{A_{i,2,2}-7\,956}{66\,277} \tag{14}$$

利用式(11)—(14)，对表5中数据的无量纲值进行计算，得到各综合运输通道过境客运量、过境货运量、非过境客运量、非过境货运量的无量纲值。“五纵四横”综合运输通道指标的无量纲值如表6所示。根据式(1)，计算得到“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数的原始值如表7所示。

根据表7可知，“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数的最大值和最小值分别为$Z_{\max,1}$=2，$Z_{\min,1}$=0，$Z_{\max,2}$=1.821，$Z_{\min,2}$=0.034。

根据式(5)，“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数的标准化计算公式为

$$\overline{Z_{i,1}}=\frac{Z_{i,1}}{2} \tag{15}$$

$$\overline{Z_{i,2}}=\frac{Z_{i,2}-0.034}{1.787} \tag{16}$$

根据式(15)—(16)，计算得到“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数标准值如表8所示。

表5　“五纵四横”综合运输通道客货运量构成原始值

Tab.5　Original values of passenger and freight volume composition for “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

指标	综合运输通道运量原始值								
	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四
过境客运量/万人	3 069	6 033	572	3 337	36	4 437	1 967	2 976	359
过境货运量/万t	9 909	23 421	1 544	16 863	1 351	21 886	7 897	22 584	2 030
非过境客运量/万人	8 078	17 597	4 398	11 011	6 256	35 817	16 045	29 984	3 302
非过境货运量/万t	16 753	37 119	7 956	38 440	13 800	50 617	33 249	74 233	10 643

表6　“五纵四横”综合运输通道指标的无量纲值

Tab.6　Dimensionless values of indicators for “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

指标	“五纵四横”综合运输通道								
	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四
过境客运量	0.506	1.000	0.089	0.550	0.000	0.734	0.322	0.490	0.054
过境货运量	0.388	1.000	0.009	0.703	0.000	0.930	0.297	0.962	0.031
非过境客运量	0.147	0.440	0.034	0.237	0.091	1.000	0.392	0.821	0.000
非过境货运量	0.133	0.440	0.000	0.46	0.088	0.644	0.382	1.000	0.041

表7　“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数的原始值

Tab.7　Original values of transit transportation index and non-transit transportation index for “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

指标	“五纵四横”综合运输通道指数原始值								
	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四
过境运输	0.894	2.00	0.098	1.253	0.000	1.664	0.619	1.452	0.085
非过境运输	0.280	0.880	0.034	0.697	0.179	1.644	0.774	1.821	0.041

表8　“五纵四横”综合运输通道过境运输指数和非过境运输指数标准值

Tab.8　Standard values of transit transportation index and non-transit transportation index for “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors

指标	“五纵四横”综合运输通道指数标准值								
	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四
过境运输	0.447	1.000	0.049	0.627	0.000	0.832	0.309	0.726	0.042
非过境运输	0.138	0.473	0.000	0.371	0.081	0.901	0.414	1.000	0.004

3.3　灵敏度分析

用权重系数ω_1和ω_2代表不同评价者或决策者对“五纵四横”综合运输通道过境运输功能和非过境运输功能的偏好，不同权重系数影响方案的优劣性。得到最优评价的方案，通常会优先配置高等级交通线路、得到更多资金土地等要素支持。根据式(6)—(8)，以0.1为间隔，对ω_1和ω_2的11种不同权重系数组合方案的得分进行计算，不同权重系数下的“五纵四横”综合运输通道评价得分如表9所示。

当ω_1值小于0.5时，评价者更为关心通道中与本区域经济社会发展相关的客货运输功能。横三通道作为我国综合立体交通网主骨架长三角-成渝主轴组成部分，在东西方向横穿湖北，通道在湖北境内的长度相对较长，辐射湖北省内的范围也较广；长江黄江水道是横三通道中最为重要的交通线路，运输十分繁忙，湖北在长江沿线拥有武汉港、黄石港、宜昌港等众多港口，较大规模的港口货物吞吐量同湖北地区的经济联系十分紧密。在以上众多因素的综合作用下，横三通道的非过境客货运输功能相对其他通道具有明显优势，获得最高评价得分，在全部最优方案中占比45.6%。当ω_1值持续增长、ω_2值持续减小，通道非过境运输功能被重视程度逐步下降，横三通道相对其他通道的优势也在逐渐缩窄。

当ω_1值为0.5，0.6，0.7时，横一通道成为最优通道。一方面，横一通道是国家综合立体交通网主骨架福银通道的组成部分，使得通道具备一定的过境运输功能。另一方面，横一通道中的九江—武汉—安康铁路和福银高速公路在东西方向贯通湖北省，是黄石、武汉、孝感、十堰等湖北省内经济较为发达城市同省内省外城市人员交流和物资运输的最主要交通廊道。当ω_1值位于此区间时，横一通道获得最高评价得分，在全部最优方案中占比27.2%。

当ω_1值大于0.7时，评价者愈加重视通道的过境运输功能。纵二通道是我国综合立体交通网主骨架京津冀-粤港澳主轴的组成部分，该主轴连接北京、石家庄、郑州、长沙、广州等众多省会城市，是我国南北方向的运输大动脉。同时，纵二通道中配置了作为我国铁路干线、在中远距离客货运输中具有明显优势的京广高速铁路和京广铁路，使纵二通道具有极强的过境运输功能。省内联通方面，纵二通道在南北方向上贯穿了南北空间纵深较窄的湖

表9　不同权重系数下的“五纵四横”综合运输通道评价得分

Tab.9　Evaluation scores of “5 North-South & 4 East-West” comprehensive transportation corridors under different weight coefficients

权重系数		通道评价得分									最高评分通道
ω_1	ω_2	纵一	纵二	纵三	纵四	纵五	横一	横二	横三	横四	
0.0	1.0	0.138	0.473	0.000	0.371	0.081	0.901	0.414	1.000	0.004	横三
0.1	0.9	0.169	0.526	0.005	0.397	0.073	0.894	0.404	0.973	0.008	横三
0.2	0.8	0.199	0.579	0.010	0.422	0.065	0.887	0.393	0.945	0.012	横三
0.3	0.7	0.230	0.631	0.015	0.448	0.057	0.88	0.383	0.918	0.015	横三
0.4	0.6	0.261	0.684	0.020	0.473	0.049	0.873	0.372	0.89	0.019	横三
0.5	0.5	0.292	0.737	0.025	0.499	0.041	0.867	0.362	0.863	0.023	横一
0.6	0.4	0.323	0.789	0.029	0.524	0.033	0.860	0.351	0.836	0.027	横一
0.7	0.3	0.354	0.842	0.034	0.55	0.024	0.853	0.341	0.808	0.031	横一
0.8	0.2	0.385	0.895	0.039	0.576	0.016	0.864	0.330	0.781	0.035	纵二
0.9	0.1	0.416	0.947	0.044	0.601	0.008	0.839	0.320	0.754	0.038	纵二
1.0	0.0	0.447	1.000	0.049	0.627	0.000	0.832	0.309	0.726	0.042	纵二

北，串联省内城市的数量相对不多，辐射面积相对较小，使得该通道非过境运输功能相对不强。当ω_1值位于0.8~1区间值，纵二通道获得最高评价得分，占全部最优方案的27.2%。

4　结论

以区域综合运输通道功能特征为研究对象，统筹传统交通行业统计数据、营运收费数据和手机信令数据，建立分析模型，结合案例分析，得出以下结论。

（1）提出的通道运输类型划分方法能够将通道运输功能进一步划分为过境运输功能和非过境运输功能，使用权重系数反映不同地区、不同评价者对通道过境运输功能和非过境运输功能偏好的方法可行，构建的模型能够用以分析区域综合运输通道的功能特征。

（2）提出的利用多类型数据直接或间接得到模型所有参数值的数据获取渠道和多源数据处理方法，能够一定程度上发挥各种数据源的优势，弥补单一数据源在参数可获取性和准确性的不足，拓展了模型参数数值的获取渠道，提高了数据精度。

（3）以湖北省“五纵四横”综合运输通道为例，验证方法有效性。结果表明，决策者的偏好差异会影响区域综合运输通道功能特征的评价，在决策者的偏好均匀分布的前提下，有45.6%的概率选择横三通道，有27.2%的概率选择横一通道，有27.2%的概率选择纵二通道。该结果可为湖北省“五纵四横”综合运输通道建设运营的后评估提供参考，也可为湖北省交通运输部门遴选通道建设项目纳入规划、有选择地分配通道建设运营所需土地资金等要素提供支撑。

参考文献：

[1] 中国国家发展改革委. 关于印发综合交通网中长期发展规划的通知[EB/OL]. [2024-12-25]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/200906/t20090605_962080.html?code=&state=123.

[2] 中国国务院. 关于印发“十三五”现代综合交通运输体系发展规划的通知[EB/OL]. [2024-12-25]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02-28/content_5171345.htm.

[3] 中共中央，国务院. 国家综合立体交通网规划纲要[M]. 北京：人民出版社，2021.

[4] 崔　愿，陈　璟，李　可，等. 基于多源数据的区域综合运输通道旅客出行特征研究[J]. 公路交通科技，2023，40(1)：252-260.
CUI Yuan，CHEN Jing，LI Ke，et al. Study on Characteristics of Passenger Travel in Regional Comprehensive Transport Corridor Based on Multisource Data[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development，2023，40(1)：252-260.

[5] 朱　颖，廖　勇. 区域综合运输通道规划与系统配置研究及应用[M]. 北京：人民交通出版社，2023.

[6] 刘振国，齐崇楷，王江锋，等. 数据驱动的城市群综合运输通道识别算法与特征分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2025，25(3)：73-84.
LIU Zhenguo，QI Chongkai，WANG Jiangfeng，et al. Data-Driven Identification Algorithm and Feature Analysis of Integrated Transport Corridors in Urban Agglomerations[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2025，25(3)：73-84.

[7] KABASHKIN I，SANSYZBAYEVA Z. Methodological Framework for Sustainable Transport Corridor Modeling Using Petri Nets[J]. Sustainability，2024，16(2)：489.

[8] 张肖飞，周家宇. 基于收益优化的综合运输通道不同运输方式客运定价方法研究[J]. 综合运输，2023，45(6)：18-22，55.
ZHANG Xiaofei，ZHOU Jiayu. Review on Evaluation of Passenger Train Operation Scheme[J]. China Transportation Review，2023，45(6)：18-22，55.

[9] LI X W，TIAN X Y，LI X D. Multi-Mode Choice Behavior for Passenger in Comprehensive Transportation Corridor[J]. Procedia Engineering，2016，137：849-857.

[10] 戢晓峰，陈肖雨，吴寄石. 综合运输通道中公路客运的优势运距测度：以云南省为例[J]. 经济地理，2019，39(3)：93-99.
JI Xiaofeng，CHEN Xiaoyu，WU Jishi. Measuring Dominate Transport Distance of Highway Passenger Transportation in Comprehensive Transportation Channel：A Case Study of Yunnan Province[J]. Economic Geography，2019，39(3)：93-99.

[11] LIAO Y. Research on the Coordination Model of Passenger Transportation Mode in the Intercity Comprehensive Transportation Corridor[J]. Mathematical Problems in Engineering，2022，2022(1)：6528089.

[12] WANG X，SONG J N，WU Q Q. An Economic Equilibrium

Model for Optimizing Passenger Transport Corridor Mode Structure Based on Travel Surplus[J]. Sustainability, 2021, 13(7): 13.

[13] 廖　勇. 运输通道内客运方式的替代性模型研究[J]. 科学技术与工程，2021，21(14)：5969-5974.
LIAO Yong. Research on the Substitutability Model between Passenger Transport Modes in Transportation Corridor[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(14): 5969-5974.

[14] 赵　影，周小琬，朱江洪，等. 西部陆海新通道综合运输效率及资源分配研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学)，2024，38(9)：270-277.
ZHAO Ying, ZHOU Xiaowan, ZHU Jianghong, et al. Comprehensive Transportation Efficiency and Resource Allocation of the New International Land-Sea Trade Corridor[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2024, 38(9): 270-277.

[15] 陆大道. 区域发展及其空间结构[M]. 北京：科学出版社，1995.

[16] 张文尝. 交通经济带[M]. 北京：科学出版社，2002.

[17] 吴　颖，孟子博. 湘西地区综合运输通道识别及对区域经济发展的影响研究[M]. 湘潭：湘潭大学出版社，2022.

[18] 胡世伟，徐田田，王子洋，等. 河南省高速铁路可达性演变对区域经济发展的影响效应研究[J]. 铁道运输与经济，2025，47(12)：155-163.
HU Shiwei, XU Tiantian, WANG Ziyang, et al. Impact of Henan High Speed Railway Accessibility Evolution on Regional Economic Development[J]. Railway Transport and Economy, 2025, 47(12): 155-163.

[19] 姚永鹏，陈文杰，莫琪江. 基于DID模型的宝兰高速铁路对甘肃省沿线县域经济的影响研究[J]. 铁道运输与经济，2022，44(10)：70-76.
YAO Yongpeng, CHEN Wenjie, MO Qijiang. Impact of Baoji-Lanzhou High Speed Railway on County Economy along the Line in Gansu Province Based on DID Model[J]. Railway Transport and Economy, 2022, 44(10): 70-76.

[20] 李樱灿，张楷唯，倪继娜，等. 中老铁路东南亚市场物流发展策略研究[J]. 铁路物流，2025，43(12)：26-31.
LI Yingcan, ZHANG Kaiwei, NI Ji'na, et al. Research on Logistics Development Strategies for Southeast Asian Market of China-Laos Railway[J]. Railway Logistics, 2025, 43(12): 26-31.

[21] 吴华稳. 中老铁路建设与运营发展研究综述[J]. 铁路物流，2025，43(11)：6-13.
WU Huawen. Review of Research on Construction and Operation Development of China-Laos Railway[J]. Railway Logistics, 2025, 43(11): 6-13.

[22] 郑　乐，高良鹏，陈学武. 基于多源数据的地铁公交换乘量影响因素与空间异质性分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2023，23(2)：128-138.
ZHENG Yue, GAO Liangpeng, CHEN Xuewu. Investigating Influencing Factors on Metro-Bus Transfer Demand Incorporating Spatial Heterogeneity Based on Multi-Source Data[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(2): 128-138.

[23] 昝雨尧，王　翔，俄文娟，等. 多源数据融合的城市区域时变停车需求识别方法[J]. 交通运输工程与信息学报，2022，20(2)：82-94.
ZAN Yuyao, WANG Xiang, E Wenjuan, et al. Recognition and Monitoring of Parking in Urban Region Based on Multisource Data[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2022, 20(2): 82-94.

[24] 邹昕宸，牟凤云，王俊秀，等. 基于多源数据的长江经济带内河港口区位优势度评估[J]. 地球信息科学学报，2022，24(9)：1717-1729.
ZOU Xinchen, MU Fengyun, WANG Junxiu, et al. Location Advantage of Inland River Ports in the Yangtze River Economic Belt Based on Multi-Source Data[J]. Journal of Geo-Information Science, 2022, 24(9): 1717-1729.

[25] 程小云，张学宇，施　澄，等. 基于多源数据的夜间出行需求空间效应及其异质性分析[J]. 中国公路学报，2021，34(12)：288-301.
CHENG Xiaoyun, ZHANG Xueyu, SHI Cheng, et al. Analysis of Spatial Effect and Its Heterogeneity on Night-Time Travel Based on Multi-Source Data[J]. China Journal of Highway and Transport, 2021, 34(12): 288-301.

[26] 湖北省人民政府. 湖北省第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要[EB/OL]. [2024-12-25]. http://www.hubei.gov.cn/zwgk/hbyw/hbywqb/202104/t20210409_3461316.shtml.

(责任编辑　李丹丹)