

国际性综合交通枢纽集群的评价指标体系构建与测度

李岩, 陈莎, 钱剑培, 赵鑫玮, 李敢, 杨嘉
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 在交通强国与国家综合立体交通网建设背景下, 国际性综合交通枢纽集群(以下简称“枢纽集群”)已成为提升全球资源配置能力、支撑区域协调发展的重要载体。立足枢纽集群运输服务、国际交往、产业集聚3个功能内涵, 从腹地规模、枢纽设施、运输水平、开放程度、枢纽经济5个维度, 构建了国际性综合交通枢纽集群评价指标体系。采用层次分析法与熵权TOPSIS法组合赋权模型, 综合主客观赋权方法确定各项指标权重, 并对京津冀、长三角、珠三角、成渝及长江中游5个枢纽集群进行测度分析。结果显示: 长三角枢纽集群在各维度表现突出; 京津冀与珠三角枢纽集群功能特色分化明显; 成渝和长江中游枢纽集群是内陆崛起的潜力增长极。基于评价结果, 从运输结构优化、联运能力提升、国际通道建设、枢纽经济培育及临空临港产业导入等方面, 对5个枢纽集群分别提出差异化提升路径建议。

关键词: 综合交通枢纽; 枢纽集群; 评价指标体系; 组合赋权法; 长江中游城市群

Development and Measurement of an Evaluation Indicator System for International Comprehensive Transportation Hub Clusters

Li Yan, Chen Sha, Qian Jianpei, Zhao Xinwei, Li Gan, Yang Jia
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: Against the backdrop of building a transportation powerhouse and developing a national comprehensive multidimensional transportation network, international comprehensive transportation hub clusters (hereinafter referred to as "hub clusters") have become a vital vehicle for enhancing global resource allocation capabilities and supporting coordinated regional development. Based on the three functional connotations of hub clusters—transportation services, international exchanges, and industrial agglomeration—this paper develops an evaluation indicator system for international comprehensive transportation hub clusters across five dimensions: hinterland scale, hub facilities, transportation level, openness, and hub economy. A combined weighting model utilizing the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Entropy-Weighted TOPSIS (EW-TOPSIS) methods is employed. By integrating subjective and objective weighting approaches, the weights for each indicator are determined, and a measurement analysis is conducted on five hub clusters: the Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta, Pearl River Delta, Chengdu-Chongqing, and Middle Yangtze River regions. The results show that the Yangtze River Delta hub cluster performs outstandingly across all dimensions, the Beijing-Tianjin-Hebei and Pearl River Delta hub clusters exhibit distinct functional characteristics, and the Chengdu-Chongqing and Middle Yangtze River hub clusters represent potential growth poles for inland development. Based on the evaluation results, differentiated improvement strategies are proposed for each of the five hub clusters, focusing on optimizing transportation structures, enhancing intermodal capabilities, constructing international corridors, fostering hub economies, and introducing airport- and port-related industries.

Keywords: comprehensive transportation hubs; hub clusters; evaluation indicator system; combined weighting method; Middle Yangtze River urban agglomeration

收稿日期: 2025-09-19

基金项目: 武汉市交通强国建设试点科技联合项目“长江中游国际性综合交通枢纽集群构建与实施路径研究”(2023-1-1)

作者简介: 李岩(1993—), 男, 山西运城人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为综合交通规划、区域交通、智慧交通等, 电子邮箱610299508@qq.com。

引用格式: 李岩, 陈莎, 钱剑培, 等. 国际性综合交通枢纽集群的评价指标体系构建与测度[J]. 城市交通, 2026, 24(3): 33-44.

Li Yan, Chen Sha, Qian Jianpei, et al. Development and measurement of an evaluation indicator system for international comprehensive transportation hub clusters[J]. Urban Transport of China, 2026, 24(3): 33-44.

0 引言

2021年,《交通运输部关于服务构建新发展格局的指导意见》(交规划发〔2021〕12号)发布,明确提出推进国际铁路枢纽站、国际枢纽海港、国际航空枢纽、国际邮件快件处理中心建设,打造具有国际影响力的国际性综合交通枢纽集群(以下简称“枢纽集群”)。同年,中共中央、国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》进一步细化目标,提出重点打造京津冀、长三角、粤港澳、成渝4个枢纽集群,并布局20个左右国际性综合交通枢纽城市(以下简称“枢纽城市”)。枢纽集群的提出,是国家从“交通大国”向“交通强国”转型的系统性战略部署,旨在通过集群化整合分散资源,以“硬联通”完善基础设施网络,以“软联通”推动政策协同,最终实现区域平衡、全球链接、产业升级三重目标。

当前,中国在枢纽集群构建方面仍存在一些问題。1)布局不均衡。中部地区未被纳入枢纽集群,虽有地理优势,但缺乏政策与资源支持,枢纽多为单个节点,难以形成集群化格局,从而加剧区域差距。2)枢纽间协同不足。铁水联运设施衔接存在“最后一公里”断点,设备标准与调度系统不兼容;航空与铁路枢纽换乘不便,跨区域缺乏统一调度平台,集群效应难以发挥。3)开放功能不均衡。中西部对外开放航线少、密度低,国际运输量远低于东部。4)枢纽经济培育不足。枢纽与本地产业联动弱,多停留在基础功能层面,高附加值服务缺乏,未能从“交通节点”转变为“经济极点”。因此,亟须对中国当前枢纽集群的发展水平进行系统评估。

国内关于枢纽集群发展内涵、评价标准及发展路径的研究较少,尚未形成较为成熟的成果。现有研究主要侧重于单一枢纽的功能和效率提升,或针对某一类枢纽(如港口群^[1-5]、机场群^[6-12]、铁路枢纽群^[13])。随着枢纽集群相关文件的陆续出台,以枢纽集群为对象的研究也逐渐增加。郝媛等^[14]对京津冀建设世界级枢纽集群进行回顾与展望,梳理了京津冀协同发展10年来枢纽集群的建设

成效,并与长三角、珠三角进行比较分析,提出了未来提升方向。姚恩建等^[15]开展了综合客运枢纽集群协同发展的研究,剖析发展需求与面临挑战,提出发展目标以及协同发展的研究建议。然而,针对枢纽集群的评价指标体系研究仍然较少,尤其是以枢纽集群为整体对象的研究明显不足。本文通过分析枢纽集群的功能内涵,构建了包含5个维度的综合评价指标体系并进行全面评估,最后基于评价结果提出未来各大枢纽集群的发展路径与建议。

1 枢纽集群的功能内涵

1.1 运输服务功能

国际性综合交通枢纽是运输网络的关键节点,具有跨区域客货运输规模大、中转比例高、服务水平高的特征。

1) 航线资源在国际性综合交通枢纽高度集聚。

以全球最大的航运企业马士基为例,其联系全球枢纽港的航班数量占企业航班总量的76.4%。国内机场客运航线布局同样呈现以枢纽机场之间干线运输为主的格局。

2) 国际性综合交通枢纽具有面向区域腹地的中转分拨功能。

从航空枢纽来看,迪拜国际机场中转率达到了49.3%,新加坡、中国香港、巴黎、法兰克福等国际航空枢纽中转率均在30%左右。北京首都国际机场、上海浦东国际机场的旅客中转率为10%~15%。武汉天河国际机场中转率为10%,在中部地区居首位。从水运来看,上海港、宁波港水水中转比例超过60%;作为长江中游航运中心,武汉港是重要的江海联运枢纽,水水中转比例超过50%。从铁路运输来看,郑州、西安两大集结中心国际运输干线数量较多,同时大力发展国内集结线路,辐射半径达到1500 km,省外腹地箱源比例超过70%。

3) 国际性综合交通枢纽承载货物多式联运和旅客联程联运服务。

综合交通枢纽的联运功能是运输体系降低成本、提升质量与效率、实现“人享其

行、物畅其流”的关键。近5年，国家层面先后发布《国务院办公厅关于印发推进多式联运发展优化调整运输结构工作方案(2021—2025年)的通知》(国办发〔2021〕54号)、《交通运输部 商务部 海关总署 国家金融监督管理总局 国家铁路局 中国民用航空局 国家邮政局 中国国家铁路集团有限公司关于加快推进多式联运“一单制”“一箱制”发展的意见》(交运发〔2023〕116号)、《国家发展和改革委员会关于促进枢纽机场联通轨道交通的意见》(发改基础〔2020〕576号)和《交通运输部办公厅 公安部办公厅 中国民用航空局综合司 中国国家铁路集团有限公司关于开展空铁(轨)联运旅客换乘流程优化工作的通知》，大力推进货物多式联运和旅客联程联运。

1.2 国际交往功能

枢纽集群是中国参与国际竞争、服务国际交往、促进资源要素配置的重要平台，也是枢纽城市融入全球供应链、产业链、价值链的重要支撑。

1) 对外交流和国际贸易需求巨大。

中国已成为150多个国家和地区的主要贸易伙伴。2024年，货物进出口总额同比增长5%，达到43万亿元，连续8年保持货物贸易第一大国地位；服务进出口总额达到7.5万亿元，同比增长14.4%。同年，全国口岸累计出入境人员达到6.1亿人次，同比上升43.9%，其中内地居民出入境2.91亿人次，外国人6488.2万人次。

2) 国际性综合交通枢纽是客货出入境中心。

枢纽集群由多个国际性枢纽组成，具有国际和地区连通度高、国际交往能力强、出入境旅客和进出口货物规模大、口岸监管与检验检疫等服务功能完善、贸易便利化程度及服务效率高等特征。2024年，全国口岸跨境交通运输工具达到3256.6万架次/艘次/列次/辆次，同比增长38.8%。其中飞机87.9万架次(同比上升62.6%)，列车10.1万列次(同比上升11%)，船舶43.7万艘次(同比上升8.2%)，机动车辆3114.9万辆次(同比上升38.9%)。

3) 枢纽城市的国际定位进一步提升。

科尔尼发布的2024年《全球城市指数报告》(Global Cities Index)显示，全球前十的城市中，中国(含香港)占据三席：北京、上海、香港；杭州和成都双双进入全球城市

第二梯队。四大枢纽集群的核心城市均跻身中国城市排名前列。长江中游的武汉、长沙在国内城市中排名靠前，且上升态势明显，发展潜力巨大。枢纽城市依托国际性综合交通枢纽，建设全球转运中心、分拨中心，并拓展全球交易中心、结算中心功能，全球资源配置能力、世界物流和贸易影响力均得以提升。

1.3 产业集聚功能

枢纽经济是一种依托高密度服务要素的集聚与扩散功能，以供应链与产业链协同组织为手段，推动各种生产要素和服务业态围绕枢纽进行优化配置，从而提升区域经济竞争力的经济发展新模式。

1) 枢纽地区产业集聚效应明显。

凭借便利的运输服务、较低的物流成本、协同的产业生态等，枢纽经济区成为引领区域高质量发展的经济集聚区和功能区。截至2024年底，全国共有263个运输机场。已经明确规划和开始建设的临空经济区达89个，其中17个获批设立临空经济示范区，成为产业集聚的重要载体。例如，郑州航空港电子信息产业总产值占河南省比例超过80%，新能源汽车产业产量比例超过70%，外贸进出口总值比例接近50%。

2) 建设枢纽经济区已纳入国家战略。

2019年，中共中央、国务院印发《交通强国建设纲要》，提出推进综合交通枢纽一体化规划建设，大力发展枢纽经济。2022年，《国务院办公厅关于印发“十四五”现代物流发展规划的通知》(国办发〔2022〕17号)提出培育发展物流经济，壮大物流枢纽经济，稳妥有序开展国家物流枢纽经济示范区建设。2024年11月，中共中央办公厅、国务院办公厅印发《有效降低全社会物流成本行动方案》，部署建设国家物流枢纽经济区，提出大力发展临空经济、临港经济，依托现有国家物流枢纽建设若干国家物流枢纽经济区。

3) 建设枢纽经济区的重点。

拓展实体产业发展空间，引导物流、制造、商贸等产业集中布局；促进物流、商业、金融等各类要素聚集，形成创新高效的供应链体系，培育产业融合发展的新生态；创新管理体制机制，优化政策环境，形成产业联动融合更紧密、辐射带动能力更突出、发展特色更鲜明的枢纽经济功能区。

2 评价指标体系构建

2.1 评价对象

本文研究对象是枢纽集群。《国家综合立体交通网规划纲要》明确提出打造京津冀、长三角、粤港澳和成渝4个枢纽集群,但由于香港、澳门统计口径与内地存在差异,本文以珠三角代替粤港澳。近年来,随着中国对外开放格局向内陆地区进一步纵深推进,中部地区加速崛起,并积极探索建设内陆开放高地的发展路径。长江中游城市群地跨湖北、湖南、江西三省,承东启西、连南接北,凭借居中区位及完善的综合交通体系,拥有超大规模市场腹地。以武汉市为例,3 h陆路交通圈可覆盖22.5万亿元GDP和2.8亿人口。因此,建设长江中游枢纽集群,是推动长江经济带发展、促进中部地区崛起的重要内容,有必要将长江中游枢纽集群同4个枢纽集群一并进行评价(见表1),识别当下发展瓶颈,为今后的建设提供参考。

表1 国际性综合交通枢纽集群评价对象

Tab.1 Evaluation subjects of international comprehensive transportation hub clusters

枢纽集群	所属省份、直辖市	国际性航空枢纽 (具有航空口岸和国际航线的4E级及以上机场)	国际性港口 (全国主要内河港口且具备一类水运口岸)	国际性陆港 (具备铁路口岸、具有中欧班列组织功能的铁路车站)
长江中游	湖北省	武汉天河国际机场、鄂州花湖国际机场	武汉港、黄石港	吴家山铁路基地
	湖南省	长沙黄花国际机场	岳阳港	长沙北铁路物流园
	江西省	南昌昌北国际机场	九江港	赣州国际陆港
京津冀	北京市	北京首都国际机场、北京大兴国际机场		
	天津市	天津滨海国际机场	天津港	天津集装箱中心站
	河北省	石家庄正定国际机场	秦皇岛港	石家庄国际陆港
长三角	上海市	上海虹桥国际机场、上海浦东国际机场	上海港	闵行站
	江苏省	南京禄口国际机场	南京港、苏州港、镇江港、南通港	江苏(苏州)国际铁路物流中心
	浙江省	杭州萧山国际机场	嘉兴港、宁波舟山港	义乌西站
	安徽省	合肥新桥国际机场	马鞍山港、芜湖港、安庆港	合肥北站物流基地
珠三角	广东省	广州白云国际机场、深圳宝安国际机场	深圳港、广州港	增城西站
成渝	重庆市	重庆江北国际机场	果园港	中铁联集重庆中心站
	四川省	成都双流国际机场、成都天府国际机场		中铁联集成都中心站

第一类指标以省、直辖市为统计单位,采用各城市群所包含的省、市的统计值,例如人口、GDP、进出口总额、运输机场数量等。第二类指标以各城市群所包含的国际性综合交通枢纽为对象(具有国际运输功能的核心机场、港口和陆港),具体指标包括枢纽机场5 km范围内的产业用地比例、企业数量等。

2.2 指标体系框架与测度方法

以枢纽集群高质量发展为导向,在识别其功能内涵的基础上,从腹地规模、枢纽设施、运输水平、开放程度和枢纽经济5个维度构建评价指标体系。具体指标及计算方法见表2。

1) 腹地规模主要从人口、GDP和市场3个维度来评价。人口指标旨在反映所在省份的直接腹地人口和具备交通可达性优势的间接腹地人口规模。GDP指标旨在反映所在省份的直接腹地GDP和具备交通可达性优势的间接腹地GDP规模。市场指标旨在反映直接腹地中的产业发展规模、进出口规模和交通运输市场规模。

2) 枢纽设施主要从航空、港口和铁路3个维度来评价。航空指标旨在反映民航机场(特别是国际性机场)的旅客和货邮运输能力。港口指标旨在反映高等级码头泊位通过能力及集装箱通过能力。铁路指标旨在反映铁路车站的客货运输组织和通过能力。

3) 运输水平主要从运输规模、运输结构和多式联运3个维度进行评价。运输规模旨在反映铁路、水运的客货运量及航空的旅客和货邮运输量。运输结构旨在反映铁路和水运在综合运输体系中的比例。多式联运旨在反映机场和港口集疏运的多式联运水平。

4) 开放程度主要从国际运输网络、国际运输规模和开放平台3个维度来评价。国际运输网络指标旨在反映中欧班列和国际航空的通航点数量。国际运输规模指标旨在反映国际航空、国际海运和国际陆港的运输规模。开放平台指标旨在反映口岸和海关特殊监管区域的数量。

5) 枢纽经济主要从用地规模、产业发展和政策支持3个维度进行评价。用地规模指标旨在反映国际性航空枢纽、国际性港口和国际性陆港周边产业用地的利用情况。产业发展指标旨在反映国际性航空枢纽、国际性港口和国际性陆港周边的企业数量。政策支持指标旨在反映国家在枢纽建设方面的政

表2 国际性综合交通枢纽集群评价指标体系及计算方法

Tab.2 Evaluation indicator system and calculation methods for international comprehensive transportation hub clusters

一级指标	二级指标	三级指标	计算方式
腹地规模	人口	常住人口/万人	城市群范围内所包含城市的常住人口之和
		高速铁路3h交通圈覆盖人口/万人	以城市群内各省会城市及直辖市行政中心为起点(取并集),以高速铁路网络和道路网络(含公路与城市道路)为交通网络,计算3h交通可达性圈层,并计算该圈层所覆盖县、市、区的常住人口总和
	GDP	GDP总量/亿元	城市群范围内所包含城市的GDP之和
		高速铁路3h交通圈覆盖GDP/亿元	以城市群内各省会城市及直辖市行政中心为起点(取并集),以高速铁路网络和道路网络(含公路与城市道路)为交通网络,识别3h交通可达性圈层,并计算该圈层覆盖的县、市、区GDP的总和
	市场	交通运输、仓储和邮政业总值/亿元	城市群范围内所包含各地级及以上城市统计年鉴中交通运输、仓储和邮政业总值之和
		规模以上工业企业数量/个	城市群范围内所包含各地级及以上城市统计年鉴中规模以上工业企业数量之和
社会消费品零售总额/亿元 货物进出口总额/亿元		城市群范围内所包含各地级及以上城市统计年鉴中社会消费品零售总额之和 城市群范围内所包含各地级及以上城市统计年鉴中货物进出口总额之和	
枢纽设施	航空	运输机场数量/个	城市群范围内所包含的所有民用运输机场数量之和
		国际性运输机场数量/个	城市群范围内所包含的开通国际航线的运输机场数量之和
	港口	万t级及以上泊位数/个	城市群范围内所包含的万t级及以上泊位总数
		港口设计年通过能力/万t 集装箱泊位设计年通过能力/万TEU	城市群范围内所包含的所有港口泊位的设计年通过能力之和 城市群范围内所包含的港口集装箱泊位的设计年通过能力之和
	铁路	集装箱铁路中心站数量/个	城市群范围内所包含的集装箱铁路中心站数量之和
		开行中欧(亚)班列的城市数量/个 县级行政区高速铁路覆盖率/%	城市群范围内所包含的所有开行中欧(亚)班列的城市数量之和 城市群范围内已开通高速铁路的县、市、区数量占有县、市、区总数的比例
运输规模		单位面积铁路客运量/(人·km ²)	城市群范围内各省、市统计年鉴和统计公报中的铁路客运量之和与城市群面积的比值
		单位面积铁路货运量/(t·km ²)	城市群范围内各省、市统计年鉴和统计公报中的铁路货运量之和与城市群面积的比值
		单位面积港口吞吐量/(t·km ²)	城市群范围内各省、市统计年鉴和统计公报中的港口吞吐量之和与城市群面积的比值
		单位面积港口集装箱吞吐量/(TEU·km ²)	城市群范围内各省、市统计年鉴和统计公报中的港口集装箱吞吐量之和与城市群面积的比值
		单位面积机场旅客吞吐量/(人·km ²)	城市群范围内民航统计公报中所有机场旅客吞吐量之和与城市群面积的比值
运输水平		单位面积机场货邮吞吐量/(t·km ²)	城市群范围内民航统计公报中所有机场货邮吞吐量之和与城市群面积的比值
		运输结构	铁路货运量占比/% 水运货运量占比/%
多式联运		主要港口核心港区铁路专用线接入率/%	城市群范围内接入了铁路专用线的港口核心港区数量占核心港区总数的比例
		集装箱铁水联运和铁海联运量/万TEU	城市群范围内所有港口的铁水联运和铁海联运集装箱标箱总数
		接入铁路或城市轨道交通的国际机场数量/个	城市群范围内接入了铁路或城市轨道交通的国际机场数量占有所有国际机场数量的比例
国际运输网络		中欧(亚)班列通达国家数量/个	城市群范围内各中欧(亚)班列始发城市开通的国际线路所覆盖国家数量的总和(取并集)
		国际及地区通航国家数量/个	城市群范围内各国际机场开通的国际线路所覆盖国家数量的总和(取并集)
开放程度	国际运输规模	机场出入境旅客人数/万人	城市群范围内各国际机场出入境旅客人数之和
		机场进出口贸易总值/亿元	城市群范围内各国际机场进出口贸易总值之和
		港口外贸货物吞吐量/万t	城市群范围内各港口外贸货物吞吐量之和
		跨境班列发运列车/列	城市群范围内各中欧(亚)班列始发城市发运的跨境班列数量之和
开放平台		海关特殊监管区数量/个	城市群范围内海关特殊监管区数量之和
		口岸数量/个	城市群范围内各类口岸数量之和

国际性综合交通枢纽集群的评价指标体系构建与测度
李岩 陈莎 钱剑培 赵鑫玮 李敬 杨嘉

续表2 国际性综合交通枢纽集群评价指标体系及计算方法

Continued Tab.2 Evaluation indicator system and calculation methods for international comprehensive transportation hub clusters

一级指标	二级指标	三级指标	计算方式
枢纽经济	用地规模	国际性航空枢纽5 km范围产业用地占比/%	城市群范围内各国际机场5 km半径内产业用地面积占总面积比例的平均值
		国际性港口5 km范围产业用地占比/%	城市群范围内各国际港口5 km半径内产业用地面积占总面积比例的平均值
		国际性陆港5 km范围产业用地占比/%	城市群范围内各国际陆港5 km半径内产业用地面积占总面积比例的平均值
	产业发展	国际性航空枢纽5 km范围企业数量/个	城市群范围内各国际机场5 km半径内所覆盖的企业数量的平均值
		国际性港口5 km范围企业数量/个	城市群范围内各国际港口5 km半径内所覆盖的企业数量的平均值
	政策支持	国际性陆港5 km范围企业数量/个	城市群范围内各国际陆港5 km半径内所覆盖的企业数量的平均值
国家物流枢纽累计批复数量/个		城市群范围内累计批复的国家物流枢纽的数量	
国家级临空经济示范区数量/个		城市群范围内国家级临空经济示范区的数量之和	
		国家多式联运示范工程创建数量/个	城市群范围内累计批复的国家多式联运示范工程创建数量

1) 指标的计算范围均为各个枢纽集群所在的城市群范围。2) 产业用地面积:按照《第三次全国国土调查工作分类 地类认定细则》,统计一级分类中的工矿用地和商业服务用地面积。3) 企业筛选规则:在企业一级分类中,剔除卫生和社会工作,居民服务、修理和其他服务业,采矿业,以及农、林、牧、渔业;筛选电力、热力、燃气及水生产和供应业,房地产业,建筑业,交通运输、仓储和邮政业,信息传输、软件和信息技术服务业,制造业,科学研究和技术服务业等行业中注册资本500万元及以上企业。

表3 层次分析法平均随机一致性指标

Tab.3 Average random consistency index of the Analytic Hierarchy Process

N阶	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_I	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

表4 层次分析法判断矩阵标度说明

Tab.4 Scale explanation of the Analytic Hierarchy Process judgment matrix

标度	含义
1	指标 <i>i</i> 与 <i>j</i> 同样重要
3	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 稍微重要
5	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 明显重要
7	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 强烈重要
9	指标 <i>i</i> 比 <i>j</i> 极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若指标 <i>i</i> 与 <i>j</i> 的重要性之比为 B_{ij} ,则指标 <i>j</i> 与 <i>i</i> 的重要性之比为 $1/B_{ij}$

策支持力度(以批复的各类国家级枢纽、示范工程数量衡量)。

2.3 指标权重

本文采用主客观结合法确定指标体系中各项指标的权重。通过整合专家经验(主观赋权)与数据特征(客观赋权),主客观结合法既避免单一方法的局限性,又提升权重的科学性与可解释性。其中,主观赋权主要采用层次分析法,客观赋权主要采用熵权TOPSIS法。最后,通过线性加权法整合主客观权重,并利用优化模型确定最优组合系

数,以平衡经验判断与数据驱动。

2.3.1 层次分析法

层次分析法是由美国运筹学家萨蒂提出的一种将定性分析与定量分析有机融合的多目标决策分析方法^[16]。其主要思想是:首先构造判断矩阵,再依次求出矩阵的最大特征值及其对应的特征向量,并将所得特征向量归一化,从而得到下层评价指标相对于上层评价指标的权重。计算公式为:

$$C_R = C_I / R_I, \quad (1)$$

$$C_I = (\lambda_{\max} - N) / (N - 1), \quad (2)$$

式中: C_R 为判断矩阵的随机一致性比率; C_I 为判断矩阵的一致性指标; R_I 为判断矩阵的平均随机一致性指标(见表3); λ_{\max} 为最大特征值; N 为判断矩阵的阶数。当 $C_R < 0.1$ 时,可认为判断矩阵具有较好的一致性。

层次分析法中判断矩阵的建立主要依据专家打分,具体标度说明见表4。

2.3.2 熵权TOPSIS法

本文采用熵权TOPSIS法作为枢纽集群评价指标的客观赋权方法。

由于各指标的数量和数量级不同,无法直接进行计算和比较,因此采用极差标准化方法对各指标原始数据进行无量纲化处理,将指标转化为标准值,以消除不同评价指标间的量纲差异。计算公式为:

$$x'_{ij} = (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (3)$$

式中: x'_{ij} 为第*i*个枢纽集群第*j*项指标预处理

理后的标准值； x_{ij} 为第 i 个枢纽集群第 j 项指标原始值； x_{\min} 和 x_{\max} 分别为该指标的最小原始值和最大原始值。

第 i 个枢纽集群在第 j 项指标下的权重可表示为：

$$P_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij}, \quad (4)$$

式中： P_{ij} 为第 i 个枢纽集群在第 j 项指标下的权重； m 为枢纽集群的数量。

为降低主观人为因素和多指标信息重叠等因素的影响，熵权 TOPSIS 法根据各项指标观测值所提供的信息量计算相关熵值，并通过归一化得到合理权重，可有效避免主观因素带来的偏差。第 j 项指标的熵值计算公式为：

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (5)$$

$$k = 1 / \ln m, \quad (6)$$

式中： e_j 为评价指标的熵值； k 为归一化系数。 e_j 值越小，表明评价指标间的差异程度越大，所包含的信息量也越大，相应的权重也就越大。

2.3.3 综合权重确定

最后，通过层次分析法和熵权 TOPSIS 法组合赋权，计算每个指标的权重，计算公式如下：

$$w_{ij} = a_j b_j / \sum_{i=1}^m a_j b_j, \quad (7)$$

式中： w_{ij} 为第 i 个枢纽集群第 j 项指标的最终组合权重； a_j 和 b_j 分别为层次分析法和熵权 TOPSIS 法所确定的第 j 项指标的权重值。

3 评价结果

3.1 评价概述

从综合指标总得分来看，长三角枢纽集群领先于其他枢纽集群，总得分为 83 分。珠三角、京津冀、成渝和长江中游枢纽集群总得分分别为 55 分、42 分、38 分和 37 分(见图 1)。长江中游枢纽集群总得分位列第 5，与成渝枢纽集群接近，但其腹地规模表现较为突出，仅次于长三角枢纽集群。

长三角枢纽集群是全面领先的“标杆集群”。其在腹地规模、枢纽设施、开放程度和枢纽经济 4 个维度上均位居第 1。在运输水平方面，总体运量位居前列，但单位面积运输指标因区域面积较大而相对偏低。作为长江经济带与“一带一路”的交汇点，上海

国际航运中心辐射全球，南京、杭州联动合肥、宁波，形成多层次枢纽网络。该区域经济与人口密度高，GDP 总量约占全国的 1/4，上海港、宁波舟山港旅客吞吐量长期处于全球前 3 位，集装箱吞吐量占全国 40%。虹桥国际中央商务区、中国(上海)自由贸易试验区临港新片区、中国(杭州)跨境电子商务综合试验区等平台推动“交通+产业”深度融合。

京津冀与珠三角枢纽集群功能特色差异显著。珠三角枢纽集群运输水平突出。尽管其总体运量不如其他城市群，但由于城市群面积较小，单位面积运输规模指标排名第 1，且枢纽设施、开放程度和枢纽经济得分靠前，外向型经济发达。依托北京首都国际机场、北京大兴国际机场、天津港等主要枢纽，京津冀枢纽集群运输水平较为靠前，但腹地规模和枢纽经济水平相对较弱。

长江中游枢纽集群与成渝枢纽集群是内陆崛起的潜力增长极。长江中游枢纽集群位于全国中部，铁路、公路、水路、民航等运输方式齐全，腹地规模相对占优(仅次于长三角)，但枢纽设施、运输水平和开放程度较为滞后。成渝枢纽集群的运输水平、开放程度和枢纽经济得分均高于长江中游枢纽集群，但受限于西部内陆区位，腹地规模不占优势。

3.2 分项指标评价

3.2.1 腹地规模

在腹地规模评价中，长三角枢纽集群得益于其所在的长三角城市群人口规模、GDP 总量和市场规模，得分遥遥领先(见图 2)。2023 年，长三角城市群常住人口达到 1.67 亿人，GDP 总量达到 25.4 万亿元。同时，长三角城市群已形成以上海市为中心的“放射+联络”相结合的高速铁路和城际铁路网络，包

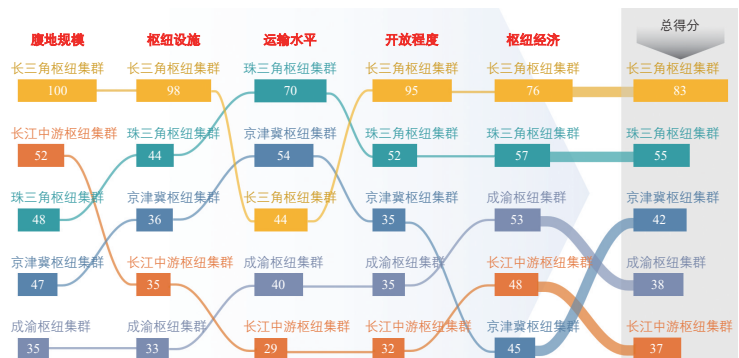


图 1 5 个枢纽集群的评价结果

Fig.1 Evaluation results of the five hub clusters

括京沪高速铁路、沪昆高速铁路、宁杭高速铁路、杭黄高速铁路等，且设计时速均为 $300\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上，3 h 交通圈可覆盖长江中游、京津冀和海峡西岸城市群。

凭借中部地区的区位优势 and 枢纽地位，长江中游枢纽集群在腹地规模维度得分位列5个枢纽集群第2位。2023年，长江中游城市群人口规模达到1.27亿人，GDP总量达到11.6万亿元，仅次于长三角城市群。其直接腹地人口及3 h 交通圈覆盖人口均仅次于长三角枢纽集群，领先于京津冀、成渝和珠三角枢纽集群。

京津冀枢纽集群所在的城市群人口密度较高，但经济发展不均衡，在腹地规模维度得分排名第3。珠三角枢纽集群GDP总量具有优势，但人口规模相对偏小，腹地规模得分相对靠后。成渝枢纽集群位于西部地区，受区位限制，尽管直接腹地的人口规模和GDP总量具备一定优势，但间接腹地GDP总量受限。

3.2.2 枢纽设施

在枢纽设施评价中，长三角枢纽集群的航空、铁路、港口3项得分均接近满分，形成了“空铁港”全维度优势(见图3)。2024年，长三角枢纽集群运输机场数量达到25座，其中国际机场19座，机场布局全域均衡，发展优势明显。截至2024年，上海港集装箱吞吐量连续14年位居全球第1，宁波舟山港货物吞吐量连续16年位居全球第1。

珠三角枢纽集群铁路得分较高，广深港高速铁路和珠三角城际铁路网络密集。航空方面，机场数量虽少但质量较高，截至2024年，运输机场仅5座，但均为国际性机场，省内机场覆盖仍显不足。珠三角枢纽集群港口得分领先于京津冀，主要得益于深圳港、广州港的集装箱吞吐量分别位列全球第4和第6。

京津冀枢纽集群铁路条件较好，得分较高，但港口和航空枢纽能级相对不足。机场功能高度依赖北京，河北机场国际功能薄弱，区域协同亟待加强。京津冀枢纽集群在港口货物通过能力方面领先于珠三角。唐山港作为“北煤南运”的重要港口，截至2024年，货物吞吐量稳居世界第2。

长江中游枢纽集群得益于长江流经里程较长，港口运输能力全面领先于成渝，其中武汉港阳逻港区是长江中游的集装箱枢纽港。该枢纽集群运输机场数量中等，但缺乏具有国际影响力的顶级枢纽机场。成渝枢纽集群铁路得分仅次于长三角，优势突出；但其港口能力受制于自然条件，由于长江荆江段存在“中梗阻”问题，成渝段尚无法常年通行万吨级船舶，因此不具备万吨级泊位。

3.2.3 运输水平

在运输水平评价中，珠三角枢纽集群总分领先于其他枢纽集群(见图4)，主要得益于运输规模指标。由于珠三角城市群面积较小，其单位面积运输规模指标得分最高，但在多式联运和运输结构方面的得分低于京津

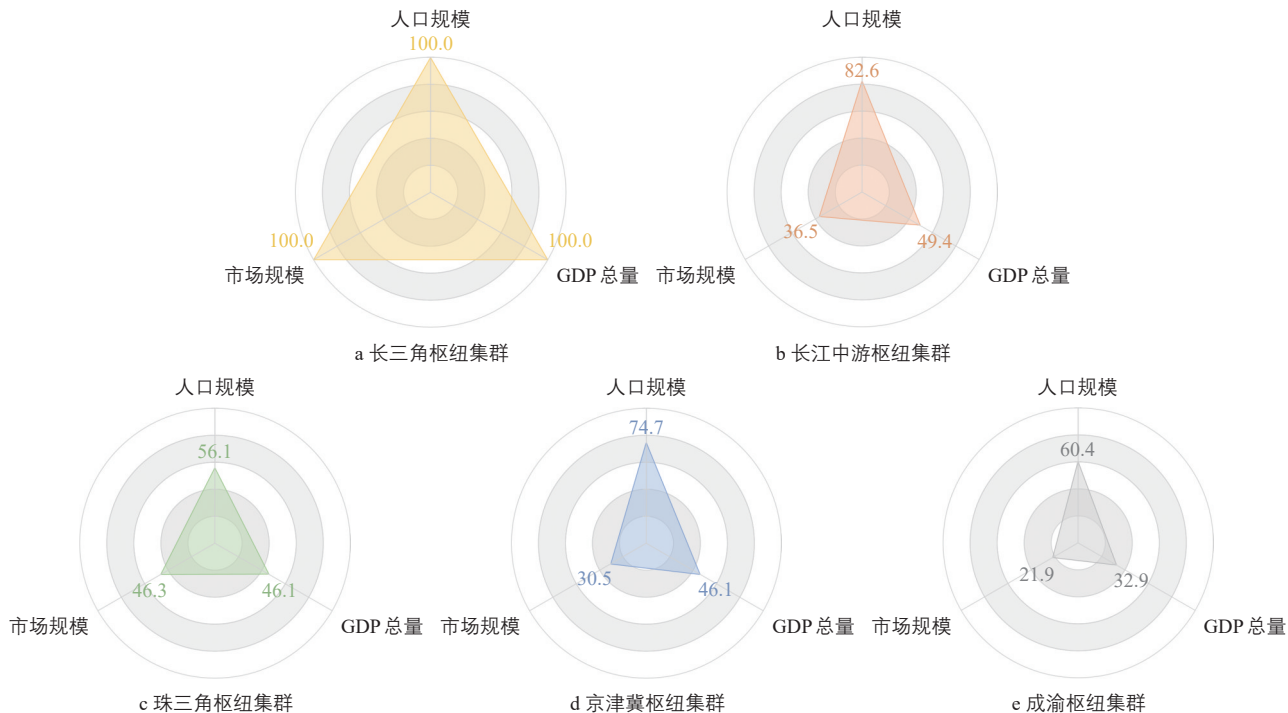


图2 5个枢纽集群腹地规模分项得分

Fig.2 Sub-item scores for hinterland scale of the five hub clusters

冀和长三角枢纽集群，核心港区铁路专用线接入率仅为37.5%。

京津冀枢纽集群运输水平仅次于珠三角，在多式联运和铁路货运方面表现较为突出。其核心港区铁路专用线接入率和国际机场轨道交通接入率均达到100%，但在机场货邮吞吐量和港口集装箱吞吐量方面仍有待提升。

长三角枢纽集群多式联运水平突出，集装箱多式联运指标得分较高，运输总量全方位领先。受区域面积较大影响，其运输规模得分不如珠三角枢纽集群，但仍高于其他枢纽集群，运输结构方面有待进一步优化。

成渝枢纽集群多式联运表现突出，核心港区铁路专用线接入率和国际机场轨道交通接入率均为100%，但水运和航空货运方面短板较为明显。

长江中游枢纽集群总体得分较低，但在多式联运和运输结构方面潜力较大。其港区铁路专用线接入率达70%，但国际机场的轨道交通接入率仅为28.6%。

3.2.4 开放程度

在开放程度评价中，长三角枢纽集群得分接近满分，国际运输网络、国际运输规模、开放平台3项指标全面领先(见图5)。珠三角枢纽集群得分低于长三角，但显著高于其他枢纽集群。毗邻港澳的区位优势使其外向型经济特征突出，国际运输规模较大。京津冀、长江中游、成渝3个枢纽集群的得分

相近且相对较低，开放程度整体薄弱。其中，北京国际运输网络资源丰富，但京津冀开放平台功能相对薄弱；成渝枢纽集群已成为内陆开放的重要窗口，中欧班列规模效应初显；长江中游枢纽集群仍是开放洼地，国际运输规模约为长三角城市群的12.3%。

3.2.5 枢纽经济

在枢纽经济评价中，长三角枢纽集群处于领先地位(见图6)。作为“港产城”深度融合的典范，上海洋山港、宁波舟山港等全球大港周边集聚了临港重化工、高端装备制造及跨境电商仓储等产业，形成了“港口—产业—城市”融合发展的格局。

珠三角枢纽集群外向型特征突出，广深国际性综合交通枢纽能级较高，但受地形条件制约，土地资源紧张。深圳盐田港区、广州南沙港区周边可用土地已开发近90%。

成渝枢纽集群是内陆地区枢纽经济发展的典型代表。重庆果园港区通过铁水联运吸引了电子信息、汽车制造等临港产业集聚，其临港产业规模占区域产业总量的比例超过珠三角和京津冀枢纽集群。近年来，成渝临空产业也快速崛起，成都天府国际机场和重庆江北国际机场形成“双核驱动”格局，但天府国际机场临空产业仍处于培育阶段。

长江中游枢纽集群政策支撑较强，但产业落地转化能力偏弱。在物流枢纽批复数量和国家多式联运示范工程创建数量方面，长江中游枢纽集群领先于成渝、京津冀和珠三

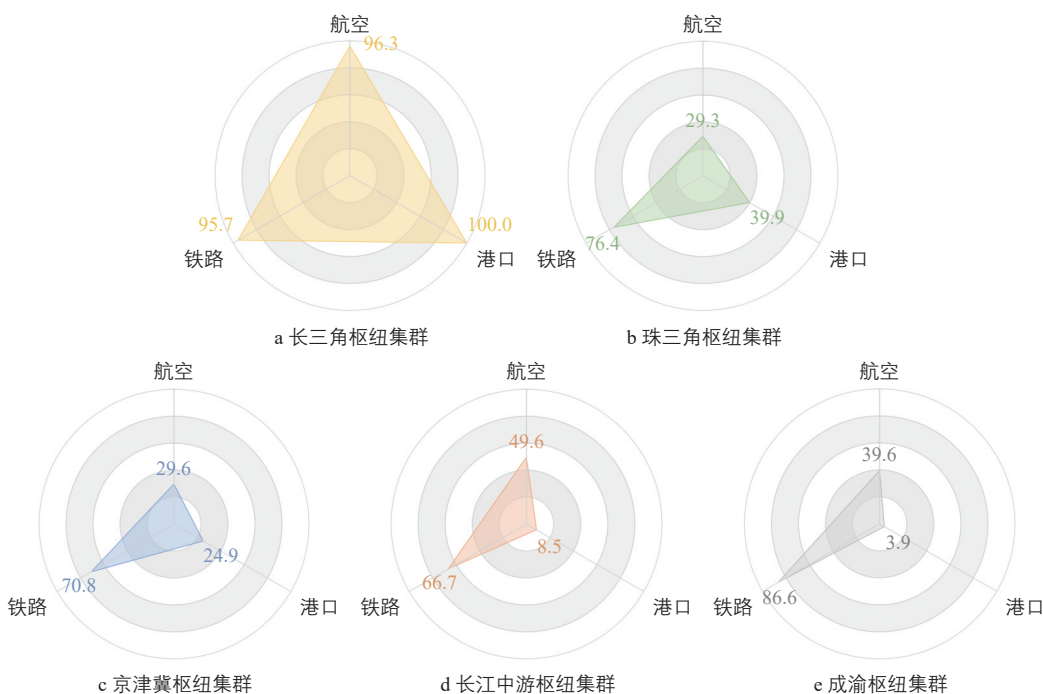


图3 5个枢纽集群枢纽设施分项得分

Fig.3 Sub-item scores for hub facilities of the five hub clusters

角枢纽集群；国家级临空经济示范区数量与成渝相当，领先于京津冀和珠三角枢纽集群。武汉港阳逻港区和黄石棋盘洲港区周边产业配套较为完善，平均产业用地占比约32%。但九江港受八里湖、赛城湖等水域制约，岳阳港受芭蕉湖水域制约，产业用地占比仅约10%。

京津冀枢纽集群的港口中，天津港、唐山港以煤炭、铁矿石等大宗商品运输为主，

临港产业以仓储、物流为主，高附加值产业用地不足。临空经济方面主要依托北京首都国际机场，北京大兴国际机场临空经济区尚处培育阶段，天津滨海国际机场及石家庄正定国际机场周边产业能级相对较低。

3.3 小结

5个枢纽集群呈现显著的功能分化特征。基于评价结果，提出以下差异化提升路



图4 5个枢纽集群运输水平分项得分

Fig.4 Sub-item scores for transportation level of the five hub clusters



图5 5个枢纽集群开放程度分项得分

Fig.5 Sub-item scores for openness of the five hub clusters

径建议。

1) 长三角枢纽集群：巩固全球标杆，引领体系升级。作为全面领先的“标杆集群”，应聚焦运输结构优化与国际网络拓展。一是提升核心港区与国际机场的铁路接入效率，降低对公路运输的依赖；二是强化上海港、宁波舟山港对“一带一路”沿线港口航线的控制力；三是推动临港新片区、虹桥商务区向全球资源配置中心升级。

2) 京津冀枢纽集群：补齐设施短板，深化区域协同。针对腹地规模与枢纽经济薄弱、区域功能分化显著等问题，应着力提升京津冀枢纽的国际功能，推动天津港向集装箱枢纽港转型，增加石家庄正定国际机场的国际航线；以北京国际交往功能为引领，构建“首都空铁+京津冀海港”互补格局；加快北京大兴国际机场临空经济区的产业导入。

3) 珠三角枢纽集群：突破运输瓶颈，拓展内陆辐射。针对运输结构优化受限、省内航空覆盖不足等短板，应加密粤东西北机场布局，提升广州白云国际机场、深圳宝安国际机场对泛珠三角腹地的辐射能力；在保持外贸优势的同时，提升铁路和水运货运占比；依托广深铁路网，深化与北部湾、东盟的陆海通道衔接。

4) 成渝枢纽集群：放大通道效应，强化产业转化能力。针对腹地规模受限的瓶颈，应持续巩固中欧班列集结中心功能，拓展国际线路覆盖范围；强化产业转化能力，

依托电子信息、汽车制造等临港产业基础，提升单位枢纽用地的产出效率。

5) 长江中游枢纽集群：激活腹地优势，实现重点突破。作为内陆崛起的潜力增长极，应依托长江黄金水道与多条南北向铁路干线交汇的优势，打造铁水联运成本洼地；重点提升鄂州花湖国际机场、吴家山铁路基地、武汉港阳逻港区等节点的国际运输服务能力，探索“一单制”“一箱制”以提升集货能力；借助枢纽经济区建设契机，建立枢纽偏好型产业项目库，推动政策优势向产业集聚实效转化。

4 结束语

本文围绕腹地规模、枢纽设施、运输水平、开放程度和枢纽经济5个维度，构建了枢纽集群的评价指标体系，并对中国5个最重要的枢纽集群进行横向评价比较。研究结果为不同枢纽集群制定差异化发展策略提供了量化依据，但在制度创新、绿色低碳与数字化转型等方面仍有进一步优化的空间。面向当前中国发展的新阶段与复杂的国际贸易环境，枢纽集群的建设显得尤为重要，特别是中西部地区的枢纽集群，是打造内陆开放高地的关键路径。未来需融合交通地理学、区域经济学与数据科学等多学科方法，为“交通强国”战略下的枢纽竞合与资源配置提供更为坚实的理论支撑。



图6 5个枢纽集群枢纽经济分项得分

Fig.6 Sub-item scores for hub economy of the five hub clusters

参考文献:

References:

- [1] 辛明. 基于聚类分析的粤港澳大湾区港口群协同发展研究[J]. 全国流通经济, 2023(19): 129-132.
- [2] 王斌. 京津冀打造世界级港口群面临的问题及对策[J]. 中国水运(下半月), 2023(4): 22-23.
- [3] 宋志明. 京津冀协同发展战略下京津冀港口协同发展建议[J]. 中国港口, 2023(3): 31-32.
- [4] 顾思敏, 张丽凤. 环渤海港口群竞争与合作关系分析[J]. 水运管理, 2023, 45(4): 12-17.
- [5] 陈俊杰. 东南沿海港口群的协同策略研究[J]. 中国储运, 2022(11): 71-72.
- [6] 姜乾之, 李元亨. 世界级城市群演化视角下长三角机场群协同发展战略[J]. 科学发展, 2023(9): 61-68.
- Jiang Qianzhi, Li Yuanheng. Synergistic development strategy of Yangtze River Delta airport cluster from the perspective of world-class city cluster evolution[J]. Scientific Development, 2023(9): 61-68.
- [7] 郝媛, 全波. 世界级城市群目标下京津冀机场群发展策略[J]. 城市交通, 2016, 14(3): 67-71.
- Hao Yuan, Quan Bo. Airports development strategies in Beijing-Tianjin-Hebei, a world-class cluster of metropolitan areas[J]. Urban Transport of China, 2016, 14(3): 67-71.
- [8] 夏新海, 谢思思. 粤港澳大湾区机场群与城市群协同发展评价[J]. 广州航海学院学报, 2023, 31(4): 67-72.
- Xia Xinhai, Xie Sisi. Research on the collaborative development assessment of airport cluster and city cluster in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area[J]. Journal of Guangzhou Maritime University, 2023, 31(4): 67-72.
- [9] 陈朋亲, 毛艳华. 粤港澳大湾区机场群协同治理: 理论框架与优化路径[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2023, 25(4): 142-149.
- Chen Pengqin, Mao Yanhua. The collaborative governance path of airport clusters in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area based on SFIC model[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2023, 25(4): 142-149.
- [10] 王学林, 张茂胜. 成渝机场群功能定位分析[J]. 舰船电子工程, 2023, 43(7): 44-46.
- Wang Xuelin, Zhang Maosheng. Functional positioning analysis of Chengdu-Chongqing airport cluster[J]. Ship Electronic Engineering, 2023, 43(7): 44-46.
- [11] 王琼. 枢纽经济视域下成渝机场群协同效应评价与优化研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- Wang Qiong. Evaluation and optimization of synergy effect of Chengdu-Chongqing airport cluster from the perspective of hub economy[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [12] 张冉冉. 国内大型机场竞争力评价与影响因素分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- Zhang Zairan. Competitiveness evaluation and influencing factors analysis of domestic large airports[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2023.
- [13] 占思思, 郑清菁. 集合城市理念下粤港澳大湾区高铁枢纽集群布局特征[J]. 城市建筑, 2022, 19(19): 52-56.
- Zhan Sisi, Zheng Qingjing. Cluster layout characteristics of high-speed rail hub in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area under the concept of collective city[J]. Urbanism and Architecture, 2022, 19(19): 52-56.
- [14] 郝媛, 王继峰. 京津冀建设世界级枢纽集群的成绩与展望[J]. 城市发展研究, 2024, 31(12): 28-33.
- Hao Yuan, Wang Jifeng. The achievements and prospects of building a world-class hub cluster in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Urban Development Studies, 2024, 31(12): 28-33.
- [15] 姚恩建, 陈峻, 杨扬, 等. 综合客运枢纽集群协同发展与展望[J]. 前瞻科技, 2023, 2(3): 97-105.
- Yao Enjian, Chen Jun, Yang Yang, et al. Progress and prospects of coordinated development of integrated passenger transportation hub clusters[J]. Science and Technology Foresight, 2023, 2(3): 97-105.
- [16] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.
- Deng Xue, Li Jiaming, Zeng Haojian, et al. Research on computation methods of AHP weight vector and its applications[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.