

黄河流域县域交通供给格局及其空间适配性

李 涛¹, 崔磊波¹, 李继园^{1*}, 陈慧灵², 曹小曙¹

(1. 陕西师范大学西北国土资源研究中心, 西安 710119; 2. 湖南工商大学公共管理与人文地理学院, 长沙 410205)

摘 要:分析黄河流域交通供给水平特征及其与经济社会发展的空间适配性,对交通资源优化配置、提升交通供需适配性具有重要参考。论文基于黄河流域现状综合交通运输与经济社会基础数据,分析了黄河流域县域交通优势度分异特征,并探讨了交通与县域发展质量的空间适配性。结果表明:黄河流域县域交通优势度有待提升,在人口与GDP方面呈现一定错配特征;高优势度县域集中分布在济南—郑州—西安—兰州通道沿线。黄河流域交通供给均衡性水平高于经济社会差异;样带交通优势度呈现陇海—兰新“一”字型样带>“几”字湾样带>南北纵向“1”字型样带的分布态势,固定资产投资、产业结构、城镇化、经济基础是影响黄河流域县域交通优势度的主要因素。“几”字湾样带和南北纵向“1”字型样带还受到高程、坡度等自然因素的制约;流域40.05%的县域处于初级适配状态,38.78%的县域为交通劣势型,集中在青藏高原、黄土高原沟壑区和内蒙古中西部地区,亟需提升交通设施对该类县域经济社会发展的支撑与保障能力。

关键词:交通优势度;县域发展质量;空间适配性;黄河流域

黄河流域生态保护和高质量发展战略与京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设等国家战略共同构成中国区域发展新格局的重要支撑^[1-2]。交通作为区域发展的基础与国土空间格局塑造的重要作用力,在黄河流域生态保护与高质量发展过程中具有基础性地位。2021年10月,中共中央、国务院印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》提出了“加快形成以‘一字型’、‘几字型’和‘十字型’为主骨架的黄河流域现代化交通网络”的发展目标,明确了交通在支撑黄河流域高质量发展过程中的着力点。与此同时,在构建国内大循环与供给侧结构性改革背景下,提升供给体系对需求的适配性问题逐渐受到重视。适时评估交通基础设施发展格局及其对需求侧的支撑程

度(适配性)对于优化黄河流域交通基础设施资源配置、提升交通对黄河流域高质量发展的空间适配性具有重要价值。

自2019年黄河流域生态保护和高质量发展战略提出后,围绕黄河流域的相关研究呈现方兴未艾之势,包括从战略与发展路径层面对黄河流域生态保护与高质量发展的系统探讨^[1,3-5],围绕资源与生态^[6-7]、城镇化与城市群^[2,8-9]、产业^[9-10]以及人居环境^[11]等分主题方面的探讨。交通在支撑产业与人口集聚、促进黄河流域资源优势转化为经济优势方面发挥着至关重要的作用^[12-13]。黄河流域在其自然地理结构形成的第一地理本性基础上,借助第二地理本性——交通与要素聚集形成区域发展优势成为关键^[14]。然而,已有黄河流域研究文献对交通的关注

收稿日期:2022-06-15;修订日期:2022-09-18。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41831284);中央高校基本科研业务费项目(GK202103124);陕西省自然科学基金项目(2020JQ-413)。[Foundation: Key Project of National Natural Science Foundation of China, No. 41831284; Fundamental Research Funds for the Central Universities, SNNU, No. GK202103124; Natural Science Basic Research Plan in Shaanxi Province of China, No. 2020JQ-413.]

第一作者简介:李涛(1985—),男,山西长治人,博士,副教授,主要从事交通运输地理研究。E-mail: taoli-2008@163.com

*通信作者简介:李继园(1985—),男,安徽宣城人,博士,副教授,主要从事地理信息系统与智慧城市研究。

E-mail: vip@snnu.edu.cn

引用格式:李涛,崔磊波,李继园,等.黄河流域县域交通供给格局及其空间适配性[J].地理科学进展,2022,41(11):2030-2043. [Li Tao, Cui Leibo, Li Jiyuan, et al. Spatial pattern of transport condition and its matching with county development in the Yellow River Basin. Progress in Geography, 2022, 41(11): 2030-2043.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.11.004

较少,主要集中在黄河流域发展战略与路径层面探讨中对交通作用的论述^[15],部分学者对黄河流域区域交通与经济发展的空间关联格局以及铁路网络高质量发展布局进行了专门探讨^[16-17]。交通基础设施供给能力与需求压力随着经济社会的发展而不断变化,在供需适应、协调以及匹配等方面都呈现出一定的地域分布规律,探索交通与经济社会的空间适配性既是提升黄河流域空间治理效能的重要手段,也是实现流域高质量发展的重要基础。

长期以来,科学评估地域交通供给条件及其对经济社会发展的支撑状况一直是经济地理学的核心议题。常用评估指标包括距离成本^[18]、可达性^[19-21]以及交通优势度^[22]3类。距离成本和可达性指标有效刻画了交通网络发育程度,由于其对地理位置的权重考量过大,在全面反映交通设施供给条件的优劣方面具有片面性^[23]。金凤君等^[22]在此基础上从质、量和势3个方面提出了集成性交通优势度概念与评价模型,更为全面地揭示区域交通供给条件的优劣,在全国、省域、城市群、主体功能区等多尺度区域得到了广泛应用^[22,24-27]。然而,已有研究整体仍侧重于供给侧交通优势度水平及其空间格局的揭示,缺少对交通供需空间适配性的探讨。部分研究从投入产出角度对区域交通资源配置效率进行了综合评估,虽可从交通资源投入冗余或产出不足方面识别低匹配区域,但由于其对交通成本统一化处理,

无法精准揭示不同属性交通供需特征^[28]。黄河流域地跨东中西三大地带,流域自然地理、区位条件以及经济社会发展基础等因素差异巨大,厘清黄河流域交通供给及其对县域发展的适配水平与差异对于优化黄河流域交通资源配置具有重要的理论与现实意义。

鉴于此,本文基于黄河流域现状综合交通运输基础数据,以县域为单元,从交通优势度方面综合解析黄河流域县域交通供给水平及其空间格局,并引入空间适配性与回归残差方法,探讨交通与县域发展质量的空间适配格局与资源配置方向,以期服务于黄河流域交通基础设施布局与高质量发展决策。

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

黄河流域研究范围的确定是在保留县级单元完整性的前提下,将自然流域与黄河经济社会影响范围纳入,即在黄河水利委员会划定的自然流域范围基础上,加入黄河下游引黄灌区(图1)。研究区域土地面积128.50万km²,共涉及9个省(区)、74个地级市(自治州、盟)和498个县(区、县、县级市、旗)。本文将市辖区单独考虑,即以县(县级市、旗)与合并后的市辖区作为分析单元,共计392个。根据第七

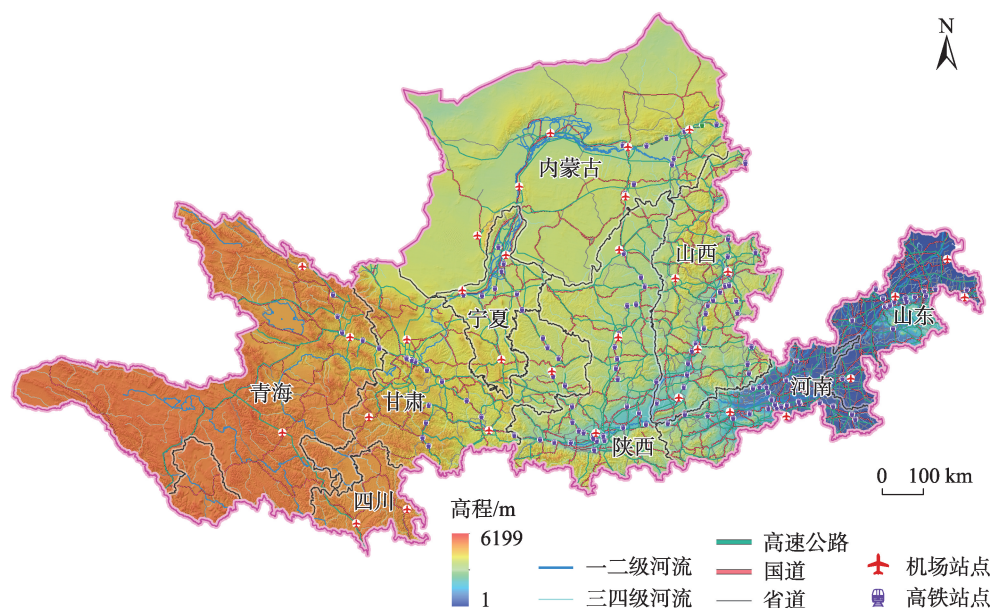


图1 黄河流域研究范围

Fig.1 Study area of the Yellow River Basin

次全国人口普查数据(简称“七普”),黄河流域常住人口18945.83万人,占全国总人口的13.38%;2020年地区生产总值125223.5亿元,占全国的11.94%。

1.2 数据来源

本文用到的数据包括交通基础设施与社会经济统计数据两大类。公铁路网数据来源于高德电子地图,铁路站点与机场分别通过中国铁路12306官网和《从统计看民航(2020年)》获取名录基础上拾取百度坐标得到。社会经济数据来源于《中国县域统计年鉴(2021)》《中国城市统计年鉴(2021)》《中国县域建设统计年鉴(2020)》、各省(市)统计年鉴及各市、县(区)统计公报。常住人口数据来源于“七普”数据,碳排放数据来源于中国碳核算数据库(<https://www.ceads.net.cn/data/county>),PM_{2.5}数据来源于加拿大达尔豪斯大学大气成分分析组(<https://sites.wustl.edu/acag/datasets/surface-pm2-5/>),归一化植被指数(NDVI)数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。

2 研究方法

2.1 交通优势度

本文选取交通优势度指标来刻画区域交通供给水平,计算公式为^[22,26-27]:

$$TD_i = \sum (D_i'w_1 + A_i'w_2 + I_i'w_3) \quad (1)$$

式中:TD_{*i*}为县域*i*的交通优势度值,D_{*i*}'、A_{*i*}'、I_{*i*}'分别为县域*i*的交通路网密度、区位优势度和交通干线影响度的无量纲值,w₁、w₂、w₃分别为对应指标的权重,取等比加权,即w₁=w₂=w₃。

(1) 交通路网密度(D_{*i*})。指各级公路里程与所

在县域土地面积的比值,表征的是公路设施网络对县域发展的支撑能力,是交通设施供给水平的直接体现。

(2) 区位优势度(A_{*i*})。主要指县域与中心城市的可达性,用以揭示各县域接受中心城市辐射带动作用潜力的大小。本文基于100 m×100 m的栅格数据,采用人口加权的平均旅行时间指标得到^[20]。区位优势度为各县域到达所在地级市市区可达性和所在省会城市可达性之和。考虑到边界地区交通联系实际,区位优势度同时考虑了边界地区跨界联系,公式为:

$$A_i = T_{iP} + T_{iN} \quad (2)$$

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\min(t_{ij}, \frac{t_{ij} + t_{ij}'}{2}) \times m_{ij} \right]}{n \times \sum_{j=1}^n m_{ij}} \quad (3)$$

式中:T_{*P*}和T_{*N*}分别为县域到省会城市和地级市的可达性,可通过T_{*i*}计算得到;t_{*ij*}为*i*县域*j*栅格到所属省会城市市区(或地级市市区)的最短时间,t_{*ij*}'为*i*县域*j*栅格到最近省会城市市区(或地级市市区)的最短时间;t_{*ij*}和t_{*ij*}'通过爬取百度地图获得;m_{*ij*}为*i*县域*j*栅格的人口数量,数据来自于WorldPop网站(<https://www.worldpop.org/>)。

(3) 交通干线影响度(I_{*i*})。主要指交通干线对县域发展的支撑与保障能力,是县域对外交流能力的体现,主要通过对交通设施分类赋值的方法进行评价(表1)。

2.2 地理探测器

地理探测器(Geodetector)是揭示地理事物空间异质性及其驱动因子的常用统计方法^[29-30]。本文亦

表1 交通干线影响度权重赋值

Tab.1 Weights of key transport infrastructures

类型	子类型	标准	赋值	类型	子类型	标准	赋值
公路	高速公路	拥有高速公路	2.0	铁路	普速铁路	拥有普速铁路	0.5
		距高速公路30 km以内	1.5			其他	0
		距高速公路60 km以内	1.0	机场	枢纽机场	拥有枢纽机场	2.0
		其他	0			距枢纽机场50 km以内	1.5
	国道公路	拥有国道	0.5		干线机场	其他	0
		其他	0			拥有干线机场	1.5
铁路	高速铁路	拥有高铁站点	2.0			距干线机场30 km以内	1.0
		距高铁站点30 km以内	1.5			其他	0
		距高铁站点60 km以内	1.0			支线机场	0.5
		其他	0			拥有支线机场	0.5
						其他	0

选取该方法对黄河流域县域交通优势度的形成原因进行分析,表达式为:

$$P_{D,U}=1-\frac{1}{n\sigma_U^2}\sum_{i=1}^m n_{D,i}\sigma_{U_{D,i}}^2 \quad (4)$$

式中: $P_{D,U}$ 表示县域交通优势度影响因素的探测指标; $n_{D,i}$ 表示次级区域样本数, n 表示全流域样本数, m 表示次级区域个数, σ_U^2 表示整个区域县域优势度的方差, $\sigma_{U_{D,i}}^2$ 表示次级区域的方差。 $P_{D,U}$ 的值域为[0, 1],若 $P_{D,U}=0$,表明县域交通优势度呈随机分布,值越大,说明分区因素对县域交通优势度的影响越大。参考已有文献^[25],选取地均固定资产投资、地均一般公共预算支出、人均建设用地、高程、坡度、地面粗糙度、城镇化水平、人口密度、人均GDP以及二三产值占比等10个指标分析县域交通优势度的影响因素。

2.3 县域发展质量评价

高质量发展背景下,县域发展更加强调经济、社会与生态环境协同持续性。结合数据可获得性

与指标代表性,本文从经济、社会发展、生态环境3方面构建县域发展质量评价指标体系(表2)。其中,经济方面包括发展水平、产业结构、资本投入与产出3个方面共计7个指标;社会发展包括居民收入、消费、城市化、医疗卫生、教育、人口密度6个方面共计8个指标;生态环境方面包括污染物排放、绿化水平、污染物处理水平3个方面共计8个指标。利用Min-Max方法对正向与负向指标进行无量纲标准化处理基础上,对三大维度一级指标与各维度下的二级指标进行赋权。考虑到经济、社会与生态环境的同等重要性,采用等比加权,二级指标则采用更为客观的层次分析法对各指标进行赋权。最后,依次计算各维度指标得分和县域发展质量指数总得分值。

2.4 空间适配性量化方法

适配性主要指不同主体间的协调一致性,反映了不同主体间的适应性与匹配关系^[30],包括结构规模适配、供需偏好适配以及承载适配等方面,多以

表2 黄河流域县域发展质量评价指标体系

Tab.2 Evaluation indicator system of county development quality in the Yellow River Basin

目标层	准则层	指标层	指标属性	指标单位	权重/%
县域发展质量指数	经济	人均GDP	正向	万元/人	11.11
		一产占比	负向	%	2.78
		二产占比	正向	%	2.78
		三产占比	正向	%	2.78
		地均固定资产投资	正向	万元/km ²	5.56
		地均一般公共预算收入	正向	万元/km ²	4.17
		地均一般公共预算支出	正向	万元/km ²	4.17
	社会发展	人均住户储蓄存款余额	正向	万元/人	4.76
		人均年末金融机构各项贷款余额	正向	万元	2.38
		城市化水平	正向	%	4.76
		人口密度	正向	人/km ²	2.38
		每万人医疗卫生机构床位数	正向	床/万人	4.76
		普通中小学在校学生	正向	人	4.76
		人均可支配收入	正向	元/人	4.76
		人均社会消费品零售总额	正向	元/人	4.76
	生态环境	单位GDP碳排放强度	负向	万吨/亿元	6.06
		城市人均公园绿地面积	正向	m ² /人	3.03
		建成区绿化覆盖率	正向	%	3.03
		单位GDP污水排放总量	负向	万m ³ /亿元	6.06
		生活垃圾无害化处理率	正向	%	3.33
		年均归一化植被指数(NDVI)	正向	—	6.67
		PM _{2.5} 浓度	负向	μg/m ³	3.03
		污水处理率	正向	%	3.03

耦合协调进行探讨^[31]。沿革于此,交通与县域发展需求的空间适配性主要指交通基础设施供给结构、规模与县域发展质量需求在空间上的耦合协调程度与格局。本文选取耦合协调度指标进行测度,公式如下:

$$C=2\times\left[\frac{U_i\times I_i}{(U_i+I_i)^2}\right]^{1/2}\tag{5}$$

$$T=\alpha U+\beta I\tag{6}$$

$$D=\sqrt{C\times T}\tag{7}$$

式中: D 为耦合协调度, C 为耦合度, T 为县域交通优势度 U 与发展质量 I 的协同指数; α 和 β 为待定系数,参考已有文献^[32],均赋值0.5。空间适配性分级标准如表3所示。

表3 空间适配性分级标准

Tab.3 Criteria of spatial matching classification

耦合协调度(D)	适配等级	耦合协调度(D)	适配等级
0.90~1.00	超前发展	0.40~0.49	濒临错配
0.80~0.89	高度适配	0.30~0.39	轻度错配
0.70~0.79	中级适配	0.20~0.29	中度错配
0.60~0.69	初级适配	0.10~0.19	严重错配
0.50~0.59	勉强适配	0~0.09	极度错配

注:引自参考文献^[27]。

3 黄河流域县域交通优势度空间格局

3.1 全流域空间格局

3.1.1 多数县域交通优势不突出,高优势度县域集中分布在济南—郑州—西安—兰州通道沿线
黄河流域县域交通优势度值呈偏正态分布(图2a),主要集中在0.3~0.7之间,均值为0.44,略低于最优值一半水平,且交通优势度值越高,县域数量越少,表明黄河流域多数县域交通优势并不明显。具体来看,255个县域单元的交通优势度低于0.5,占县域单元总数的65.1%,覆盖黄河流域36.26%的人口和30.62%的GDP;剩余137个县域交通优势度高于0.5,覆盖了63.74%的人口和69.38%的GDP。其中,仅有21个县域单元的交通优势度高于0.75,占县域单元总数的5.36%,覆盖流域24.10%的人口和33.75%的GDP。总体上,交通优势度在0.4~0.6之间的县域对人口和GDP的覆盖水平最高,且人口和GDP之间存在明显的错配现象,分别覆盖了40.96%的人口和33.33%的GDP。究其原因,经济发展除受交通因素外,资源禀赋、规划政策以及社会条件等也是关键因素,这样就可能会出现交通较发达但GDP不高的现象。从空间格局来看,县域交通优势度呈现出自东向西、自流域下游向上游逐

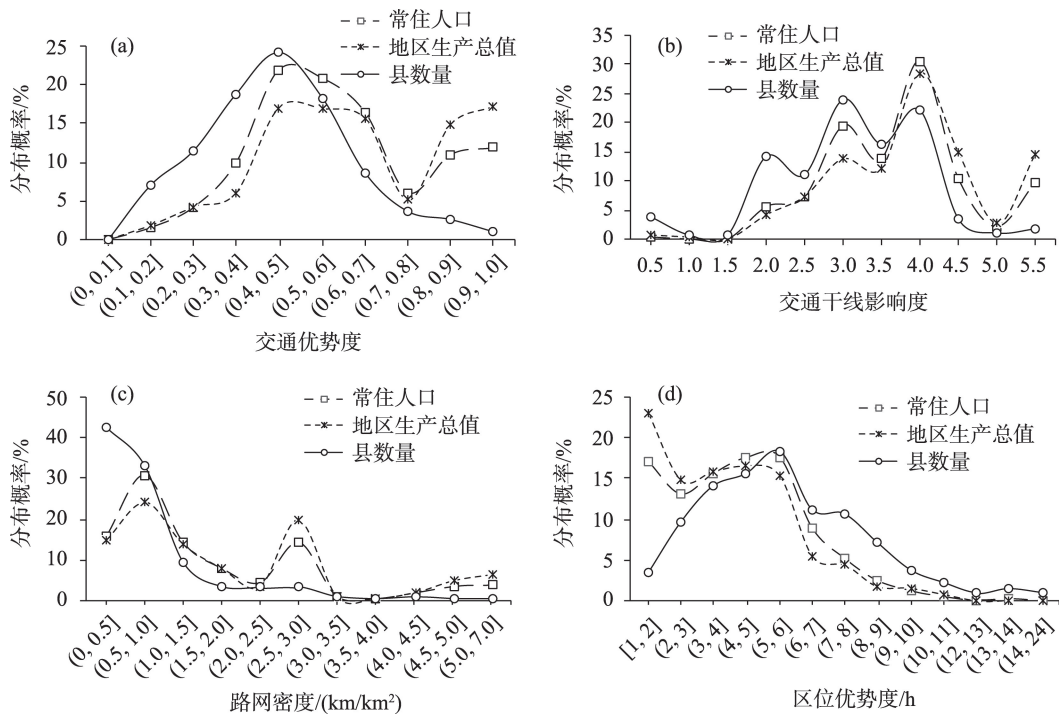


图2 黄河流域县域、人口和GDP与交通优势度的分布概率

Fig.2 Distribution of counties, population, and GDP by transport condition in the Yellow River Basin

渐递减的分异特征(图3a),这与经济发展水平东西梯度差异直接相关。高交通优势度县域集聚分布于济南—郑州—西安—兰州沿线,以及南同蒲和包茂线。在城市群、省会城市及其周边形成了高优势度连续面域分布形态。低值区域在自然地理条件约束较高的青藏高原、陇南、黄河高原沟壑区以及内蒙古中西部地区形成连片分布。

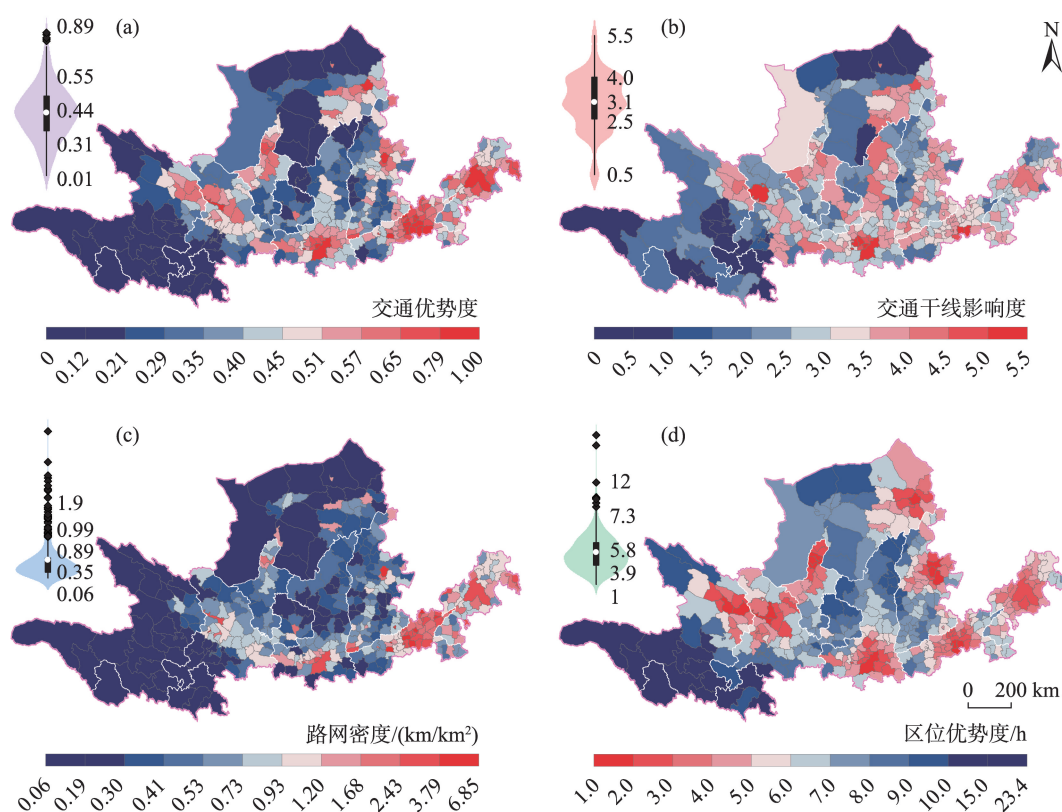
3.1.2 交通干线影响度呈偏正态分布,形成了与交通优势度相似的空间格局

交通干线影响度总体上呈偏正态分布,均值为3.11(图2b)。具体来看,干线影响度值最高的为郑州市区,高达5.5;最低的为阿坝州,为0.5。215个县域低于平均水平,占县域总数的54.85%,覆盖流域37.79%的人口和26.89%的GDP。剩余177个高于平均值的县域覆盖了62.21%的人口和73.11%的GDP。交通干线影响度集成了线状高速公路、国道以及铁路、点状高铁站、机场等枢纽的综合作用,高影响度县域在空间上沿主要交通干线形成了连续带状分布形态,在主要城市群、城镇密集地区形成

了高值集聚(图3b)。伴随着城镇化的快速发展,黄河流域干线交通基础设施得到了快速发展,对沿途区域提供了较高的支撑能力。受地形地貌等自然地理条件约束,黄河流域上游地区的青藏高原、陇南山地、陇东高原以及内蒙古中西部交通干线影响度较低。

3.1.3 公路密度区域差异大,高密度县域呈下游面状与中上游岛状形态分布

黄河流域交通路网密度数值分布呈位序—规模分布(图2c),均值为0.89 km/km²。具体来看,路网密度最高的是郑州市区,达到6.85 km/km²,最低的是青海天峻县,为0.05 km/km²。392个县域评价单元中,275个县域路网密度低于流域平均水平,占比高达70.15%,覆盖了52.53%的人口和39.30%的GDP,表明黄河流域多数县域路网密度较低,公路交通对这些县域发展的支撑能力有待进一步提升。41个县域路网密度高于2 km/km²,占县域单元总数的10.46%,覆盖了22.64%的人口和31.96%的GDP。在空间分布上,相较于交通优势度,黄河流



注:图中左上角为各指标指数小提琴图。

图3 黄河流域交通优势度及其分指标空间格局

Fig.3 Spatial patterns of transport condition and its sub-indices in the Yellow River Basin

域公路网络密度呈现出显著的东西分异特征(图3c),流域下游公路网络密度较高,呈连片密集分布,中上游地区整体公路网密度相对较低,仅仅在省会城市及其周边形成高值岛状分布格局。

3.1.4 近60%的县域区位优势度高于流域平均水平,呈现出显著的中心—外围格局

区位优势度均值为5.76 h,其中,到省会城市的优势度均值为4.07 h,到地级市优势度均值为1.69 h。区位优势度主要集中在2~9 h之间,225个县域区位优势度高于平均水平,占县域总数的57.4%,覆盖了黄河流域77.4%的人口和81.6%的GDP。分类型来看,215个县域到地级市优势度高于平均水平,228个县域到省会城市优势度高于平均水平,表明从可达性角度来看,高等级干线快速发展下的黄河流域整体区位优势度水平较高。在空间格局上,全流域区位优势度呈现出显著的中心—外围分布态势,形成围绕黄河流域“3+4”城市群为核心的高值集聚区,外围县域单元区位优势度水平较低,在青海西南部、川西、甘肃西部以及内蒙古中西部等地,受制于自然地理条件限制、相对较低的经济基础和低水平的人类活动规模等因素,形成了连片低水平集中区。

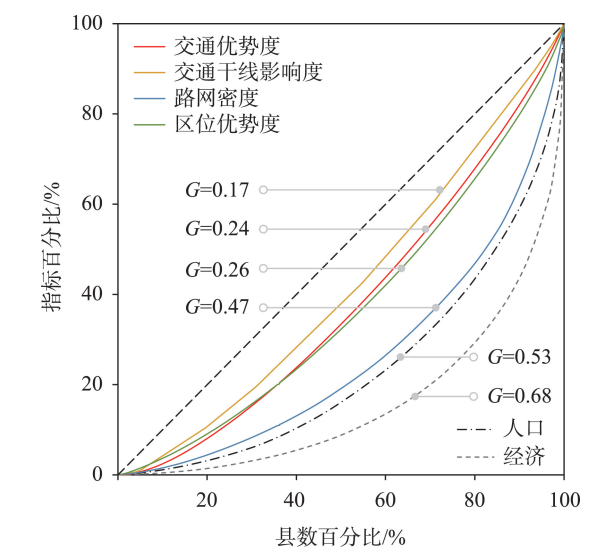
3.1.5 县域交通空间均衡性高于人口和GDP

黄河流域县域交通优势度均衡性水平显著高于人口和GDP分布(图4)。具体来看,交通优势度及其子指标的均衡性从高到底依次为交通干线影响度(基尼系数=0.17)>交通优势度(0.24)>区位优势度(0.26)>路网密度(0.47)的分布态势。交通优势度、交通干线影响度以及区位优势度指标测度均涉及县域外高等级干线与站点的影响,这3个指标的均衡性水平自然高于仅考虑县域内部公路规模的路网密度指标。另一方面,这也与黄河流域特别是中上游地区近年来以高速公路、高速铁路等为代表的高等级交通快速发展具有直接关系。人口和

GDP的基尼系数分别为0.53和0.68,远远高于交通优势度、交通干线影响度以及区位优势度指标,表明黄河流域县域交通基础设施供给呈现出均衡化特征。此外,表征县域内部通达性的路网密度均衡性最低,与人口分布基尼系数(0.53)基本持平。

3.1.6 固定资产投资、支出以及自然条件是流域交通优势度分异的主要因素

县域交通优势度水平及其空间分异是多因素综合作用的结果。本文选取了反映城镇化与经济发展、资本投资、自然地理等方面的10项指标,对县域交通优势度格局形成因素进行地理探测(表4)。结果显示,地均固定资产投资(统计值=0.52)、地均公共预算支出(0.38)、高程(0.38)以及二三产业占比(0.19)等变量是全流域县域交通优势度格局形成的主要因素。不难理解,黄河流域地跨青藏高原、西北干旱半干旱以及华北湿润半湿润等自然分区,自然地理格局分异大,地形复杂,生态环境敏感性与脆弱性叠加,人口分布不均衡,这种地理特征直接



注:图中G为基尼系数。

图4 黄河流域交通优势度及其分指标洛伦兹曲线
Fig.4 Lorentz curve of transport condition and its sub-indices

表4 不同样带各要素地理探测器结果统计

Tab.4 Results of geo-detector analysis between transport condition and different elements in the Yellow River Basin										
区域	地理探测器统计值									
	地均固定资产投资	地均公共预算支出	人均建设用地	高程	坡度	地面粗糙度	城镇化水平	人口密度	人均GDP	二三产占比
黄河流域	0.52	0.38	0.11	0.38	0.15	0.11	0.12	0.04	0.10	0.19
“一”字样带	0.50	0.31	0.11	0.01	0.05	0.13	0.34	0.13	0.21	0.48
“几”字样带	0.48	0.29	0.36	0.16	0.19	0.17	0.22	0.43	0.20	0.42
“1”字样带	0.72	0.63	0.12	0.25	0.13	0.25	0.55	0.20	0.22	0.27

决定了黄河流域交通基础设施建设高难度与高投资属性。以地均固定资产投资、地均公共预算支出为代表的资本投资与以高程为代表的自然地理条件就成为黄河流域县域交通优势度空间格局形成的主要驱动因素。

3.2 典型样带空间格局

为更清晰地揭示黄河流域县域交通优势度空间分异,本文选取样带方法进一步对黄河流域县域交通优势度空间格局展开分析。参考国家城镇化发展轴线与《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》中的战略布局和交通设施方面的空间安排,重点选取了陇海兰新铁路“一”字型、黄河干流“几”字湾和南北纵向“1”字型3条样带。各样带县域交

通优势度空间格局及对应的空间趋势线如图5所示。

(1) 陇海—兰新高速铁路“一”字型样带。该样带与国家沿陆桥城镇化主轴线部分重合,地跨黄河流域河南、陕西、甘肃、青海4省,共计41个县域单元。沿线交通优势度大致呈倒“U”型排列,均值为0.60,高于全流域平均水平。影响因素探测结果表明(表4),地均固定资产投资(0.50)、二三产值占比(0.48)、城镇化水平(0.34)、地均公共预算支出(0.31)以及人均GDP(0.21)是影响该样带县域交通优势度的主要因素。该地带自然地理条件与交通发展历史基础优越,在沿线中原城市群、关中城市群以及兰西城市群辐射带动下,交通优势度整体处于较高水

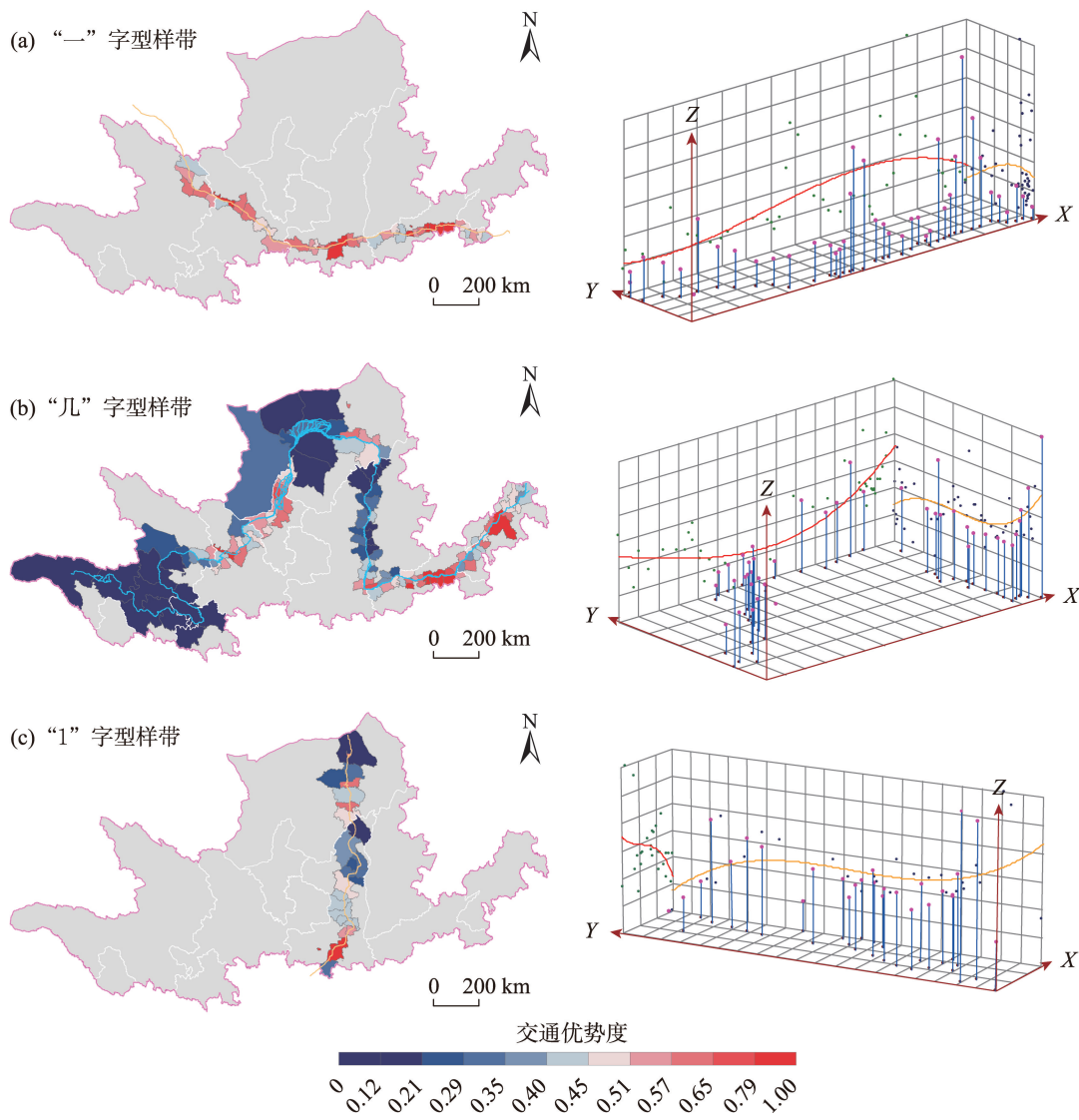


图5 黄河流域典型样带交通优势度格局与变化趋势线

Fig.5 Spatial pattern of transport conditions and trend lines of different areas of the Yellow River Basin

平。同时,在距离衰减作用下,空间格局上形成了以沿线省会城市为核心高值区、其间穿插低值区的点—轴分布模式。作为新亚欧大陆桥的核心部分,该样带良好的交通优势度对依托该发展轴的产业与人口等要素的集聚与扩散起到了支撑与保障作用。

(2) 黄河干流“几”字湾样带。该样带途径兰西、宁夏沿黄、呼包鄂榆、关中、中原以及山东半岛等城市群,包括黄河干流沿线共计128个县域单元。交通优势度均值为0.56,高于全流域平均水平。地均固定资产投资(0.48)、人口密度(0.43)、二三产值占比(0.42)、人均建设用地(0.36)、地均公共预算支出(0.29)、城镇化水平(0.22)、人均GDP(0.20)是该样带交通优势度形成的主要因素。在空间格局上,交通优势度在下游和中上游地区形成了显著分异,下游地区出现了连片带状高值集聚区,尤以关中城市群山西部分、中原城市群和山东半岛城市群最优。中上游地区高值集聚区则主要呈岛状分布,仅在呼包鄂榆、宁夏沿黄以及兰西城市群部分地区出现了高值集聚。已有研究指出,黄河流域由于航运、港口等因素限制,不具备形成发展轴的基础条件,沿河并未形成类似于长江的沿江集聚带,主要空间组织形态为围绕省会城市的都市圈和城市群^[13]。相较于“一”字型样带,该样带交通对沿线县域经济社会发展支撑能力有待进一步提升。也正因如此,《黄河流域生态保护与高质量发展规划纲要》中黄河流域交通“几”字湾为兰州经银川、包头至呼和浩特、太原并通达郑州的综合运输走廊,并未与干流“几”字湾完全重合。

(3) 黄河流域南北纵向“1”字型样带。该样带与国家城镇化发展主轴线的包昆发展轴部分重合,贯穿黄河流域中部南北向通道,连接内蒙古和陕西两省(区),依次经过包头、鄂尔多斯、延安和西安,共计28个县域单元。该样带交通优势度均值为0.43,略低于全流域平均水平。地均固定资产投资(0.72)、地均公共预算支出(0.63)、城镇化水平(0.55)、二三产值占比(0.27)、高程(0.25)、地面粗糙度(0.25)以及人均GDP(0.22)等是该样带交通优势度形成的主导因素。在空间分布上,交通优势度趋势线呈自北向南波动增加趋势,形成了以沿线地级市辖区为高值区、周边县域为低值区的分布格局,特别是在陕北黄土高原、内蒙古鄂尔多斯部分县域,由于自然地理条件限制、经济基础等因素的影响,交通设施水平相对较低,对区域发展保障与支撑能力有待提升。

4 黄河流域交通优势度的空间适配性

4.1 黄河流域县域发展质量空间格局

运用前述县域发展质量评价指标体系与方法,对2020年黄河流域392个县域单元的发展质量进行定量评估,结果如图6和图7所示。

(1) 黄河流域县域发展质量呈现出生态环境指数>综合指数>社会发展指数>经济发展指数的分布态势,区域差异上则呈现经济发展指数>社会发展指数>综合指数>生态环境指数的态势(图6)。综合指数均值为0.44,排名前10位的城市包括郑州、济南、西安、太原、淄博、洛阳、包头、兰州、鄂尔多斯以及呼和浩特等。170个县域单元综合指数得分高于平均值,占县域单元总数的43.37%。经济发展指数均值为0.31,排名前10位的城市中新增咸阳和桓台,洛阳和呼和浩特位序分别下降到第12、21位,其余城市均与综合指数一致。144个县域单元经济指数高于全流域平均水平,占县域单元总数的36.73%。社会发展指数均值为0.36,146个县域单元社会发展指数高于平均水平,仅占县域单元总数的37.24%。生态环境指数均值为0.64,排名前列的均为外围县域,199个县域单元生态环境指数高于平均值,占比高达50.77%,表明黄河流域县域在生态环境本底基础的优越性及环境基础设施建设方面取得了较大进展,这与相关学者的研究是一致的^[2]。

(2) 黄河流域县域发展质量在空间上呈现出自黄河流域下游向中上游波动递减的分异特征。受区位条件、发展基础、自然地理等因素的影响,沿黄河自沿海向内陆,县域发展指数呈波动下降态势,流域下游、中游和上游的平均分值分别为0.64、0.36和0.26。在下游地区郑州—济南通道沿线城镇密集区形成了高一高集聚区。此外,在内蒙古鄂尔多斯等依托能源、矿产资源开发的经济实力强劲县域也形成了高一高集聚区。上游地区县域综合发展水平整体较低,79.89%的县域低于全流域平均水平。高于平均水平的县域分布较为离散,呈斑块状镶嵌其中,特别是在青藏高原大部分地区、陇南、陇东地区,受自然地理环境限制与承担地域主体功能差异,整体上县域发展水平较低。空间聚类结果显示,在青藏高原、陇南、宁夏西海固、黄土丘陵沟壑区、黄土塬沟壑区等区域形成了低—低集聚区。

4.2 交通优势度与县域发展质量的空间适配性

4.2.1 空间适配性

基于表3确定的值标准,将二者空间适配性分值结果归类,结果如图8a所示。具体来看,黄河流域157个县域的交通优势度与发展质量处于初级适配状态,占县域总数的比重为40.05%,大面积分散分布于黄河流域,需要进一步提升县域交通供给支撑和保障水平。93个县域为勉强适配型,集中分布在青藏高原、黄土高原沟壑区和内蒙古中西部地区。中级适配类型包括80个县域,占比为20.41%,包括临夏、大同、巩义、菏泽、兴平等城市市辖区及其他县域,呈碎片状分散镶嵌在黄河流域范围内。高度适配县域类型包括25个县域,占比6.38%,包括洛阳、呼和浩特、新乡、中牟、淄博、焦作等地。超前发展型县域仅有6个,包括郑州、西安、太原、济南、咸阳和兰州等省会城市市辖区和经济较为发达城市市辖区。错配县域主要集中在青藏高原地区。

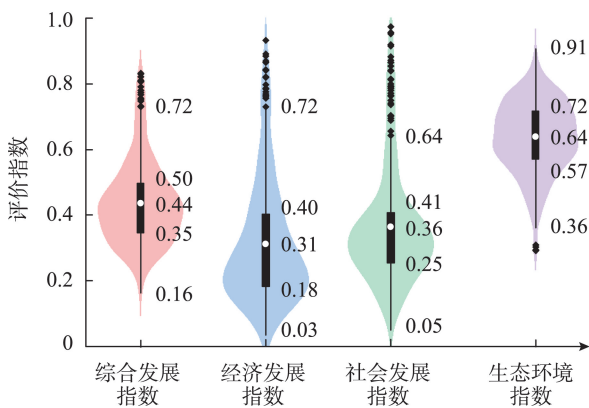


图6 黄河流域县域发展质量指数小提琴图
Fig.6 Violin chart of county development quality index in the Yellow River Basin

4.2.2 基于回归残差的交通资源配置方向

空间适配性从结果角度刻画了黄河流域交通优势度与县域发展质量的协调状态,为进一步从交通配置角度回答不同适配性水平下交通对县域发展的支撑与保障程度,本文对县域交通优势度和发展质量指标进行一元线性回归拟合,通过县域交通优势度的标准化残差来揭示二者之间的配置比例关系。偏离均值的倍数越高,表明相较于县域发展,交通处于明显优势,反之,则表明交通处于明显劣势。

具体来看,392个县域中,117个县域属于交通优势型,占比达到29.85%,包括39个交通优势突出县域和78个交通优势县域,大部分为省会城市市辖区以及交通枢纽城市,相较于县域质量来说,交通建设具有“适度超前”特征,对这些县域经济社会发展具有较强的支撑与保障能力,未来在提升交通质量的同时,应进一步强化交通基础设施对人口和GDP的集聚带动作用。123个县域属于相对均衡型,占比为31.38%,这类县域分散分布在黄河流域范围内,多属于基本适配型,表明相对来说,这类县域的交通支撑与保障程度能够基本满足县域经济社会发展需求,二者处于基本匹配状态,未来应进一步提升黄河流域县域交通供给支撑和保障水平。剩余152个县域处于交通劣势状态,占比为38.78%,包括103个交通劣势县和49个交通劣势突出县,这些县域与勉强适配和错配类型分布基本一致,多集中在青藏高原、黄土高原沟壑区和内蒙古中西部地区,受恶劣的地形地貌等自然地理条件限制,交通优势度水平不高,对县域经济社会发展造成了很大制约,未来亟需提升交通基础设施对这些县域经济社会发展的支撑与保障能力。

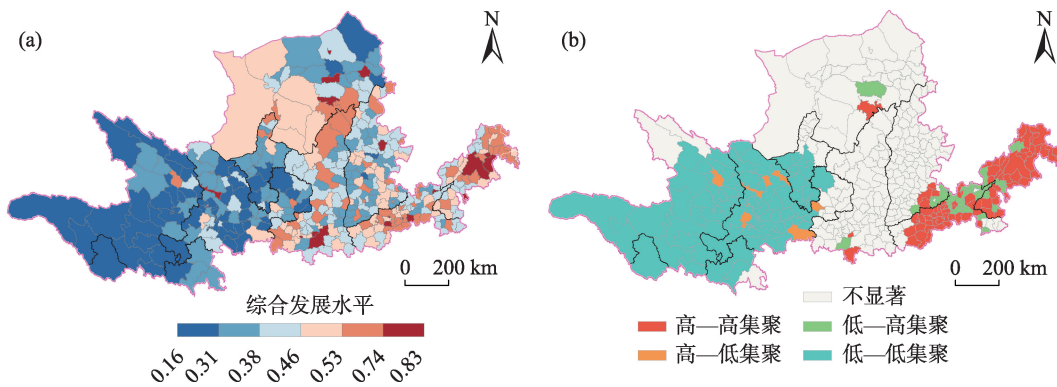


图7 黄河流域县域综合发展质量空间格局及空间聚类
Fig.7 Spatial pattern and spatial clustering of county development quality index in the Yellow River Basin

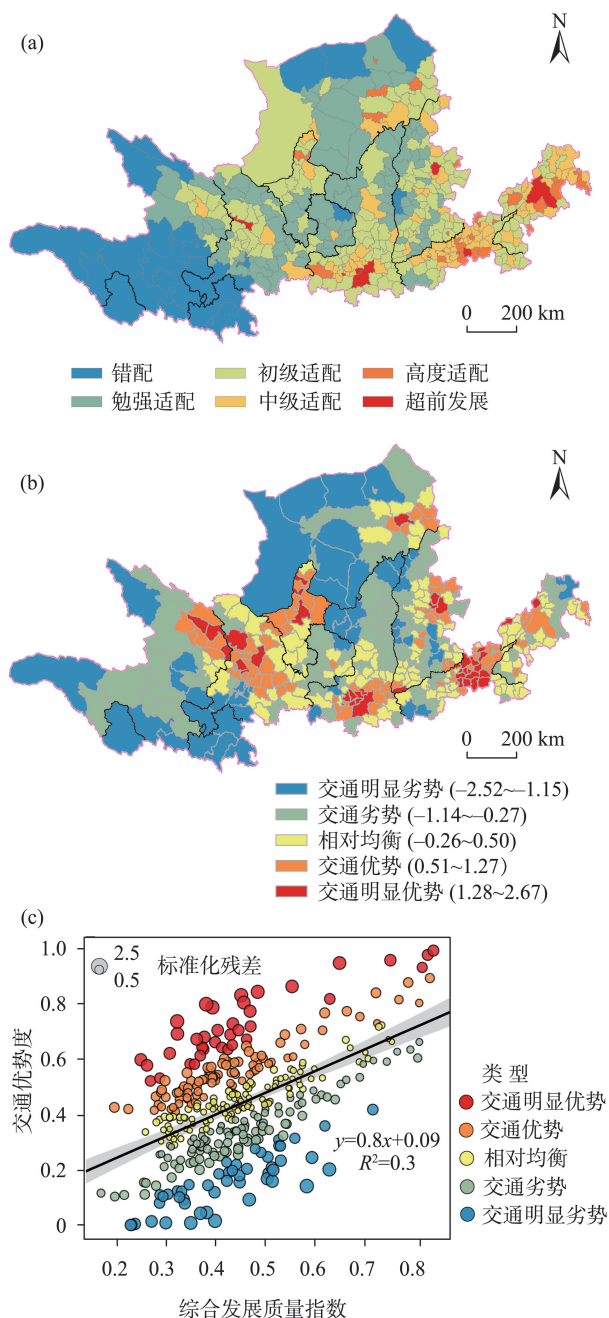


图8 黄河流域县域交通优势度与县域综合发展质量的空间适配格局

Fig.8 Spatial matching pattern between county transport condition and county development quality in the Yellow River Basin

5 结论与讨论

基于交通在黄河流域生态保护与高质量发展过程中的基础支撑作用,实证分析黄河流域交通供给水平特征及其与经济社会发展的空间适配性,可为优化交通资源配置、提升交通供给适配性提供参

考。本文分析了黄河流域县域交通优势度水平及其空间格局,并探讨了县域交通与县域发展质量的空间适配性,主要结论有:

(1) 黄河流域县域交通优势有待提升,高优势度县域集中分布在济南—郑州—西安—兰州通道沿线,在黄河流域“3+4”城市群以及省会城市形成了高优势度的连续面域分布形态。不同等级县域交通优势度发挥了差异性的人口与GDP集聚能力。

(2) 样带交通优势度呈现出陇海—兰新“一”字型样带>“几”字湾样带>南北纵向“1”字型样带的分布态势,固定资产投资、公共预算支出、产业结构、城镇化、经济基础是影响黄河流域县域交通优势度的主要因素。此外,“几”字湾样带与南北纵向“1”字型样带交通优势度还受到高程、坡度等自然地理因素的制约。

(3) 黄河流域40.05%的县域交通优势度与县域发展质量处于初级适配状态,分散分布于黄河流域。23.72%的县域为勉强适配型,集中分布在青藏高原、黄土高原沟壑区和内蒙古中西部地区。

(4) 将交通与县域发展质量匹配划分为交通优势突出、交通优势、相对均衡、交通劣势与交通劣势突出5类。38.78%的县域处于交通劣势状态,集中在青藏高原、黄土高原沟壑区和内蒙古中西部,未来亟需提升交通设施对这些县域经济社会发展的支撑与保障能力。

相较于现有研究,本文得到的县域交通优势度的格局分异特征存在相似共性,创新之处在于以黄河流域为例,进一步从样带角度展开了交通优势度格局分异的影响因素探测,同时从空间适配性角度分析了交通与县域经济社会发展的适配、比例匹配关系,这是对现有黄河流域文献研究的补充和完善,也为交通优势度研究提供了参考。受制于数据可获得性,仅从单一时间截面上进行分析,未来尚需从时空演变方面进行深入探讨。此外,后续研究可结合客货大数据实现对宏观尺度适配性及其形成机理更深层的探讨。

参考文献(References)

- [1] 金凤君. 黄河流域生态保护与高质量发展的协调推进策略[J]. 改革, 2019(11): 33-39. [Jin Fengjun. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin. Reform, 2019 (11): 33-39.]
- [2] 马海涛, 徐植钤. 黄河流域城市群高质量发展评估与空

- 间格局分异[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 11-18. [Ma Haitao, Xu Xuanfang. High-quality development assessment and spatial heterogeneity of urban agglomeration in the Yellow River Basin. *Economic Geography*, 2020, 40(4): 11-18.]
- [3] 陆大道, 孙东琪. 黄河流域的综合治理与可持续发展[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2431-2436. [Lu Dadao, Sun Dongqi. Development and management tasks of the Yellow River Basin: A preliminary understanding and suggestion. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2431-2436.]
- [4] 杨永春, 穆焱杰, 张薇. 黄河流域高质量发展的基本条件与核心策略[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 409-423. [Yang Yongchun, Mu Yanjie, Zhang Wei. Basic conditions and core strategies of high-quality development in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2020, 42(3): 409-423.]
- [5] 苗长虹, 张佰发. 黄河流域高质量发展分区分级分类调控策略研究[J]. 经济地理, 2021, 41(10): 143-153. [Miao Changhong, Zhang Baifa. Regulation strategy of zoning-gradation-classification for high-quality development in the Yellow River Basin. *Economic Geography*, 2021, 41(10): 143-153.]
- [6] 林江彪, 王亚娟, 张小红, 等. 黄河流域城市资源环境效率时空特征及影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 208-222. [Lin Jiangbiao, Wang Yajuan, Zhang Xiaohong, et al. Spatial and temporal characteristics and influencing factors of urban resources and environmental efficiency in the Yellow River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(1): 208-222.]
- [7] 莫惠斌, 王少剑. 黄河流域县域碳排放的时空格局演变及空间效应机制[J]. 地理科学, 2021, 41(8): 1324-1335. [Mo Huibin, Wang Shaojian. Spatio-temporal evolution and spatial effect mechanism of carbon emission at county level in the Yellow River Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(8): 1324-1335.]
- [8] 方创琳. 黄河流域城市群形成发育的空间组织格局与高质量发展[J]. 经济地理, 2020, 40(6): 1-8. [Fang Chuanglin. Spatial organization pattern and high-quality development of urban agglomeration in the Yellow River Basin. *Economic Geography*, 2020, 40(6): 1-8.]
- [9] 邓祥征, 杨开忠, 单菁菁, 等. 黄河流域城市群与产业转型发展[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 273-289. [Deng Xiangzheng, Yang Kaizhong, Shan Jingjing, et al. Urban agglomeration and industrial transformation and development in the Yellow River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(2): 273-289.]
- [10] 胡志强, 苗长虹, 熊雪蕾, 等. 产业集聚对黄河流域工业韧性的影响研究[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 824-831. [Hu Zhiqiang, Miao Changhong, Xiong Xuelei, et al. Influence of industrial agglomeration on the industrial resilience of the Yellow River Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(5): 824-831.]
- [11] 汪芳, 苗长虹, 刘峰贵, 等. 黄河流域人居环境的地方性与适应性: 挑战和机遇[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 1-26. [Wang Fang, Miao Changhong, Liu Fenggui, et al. The locality and adaptability of human settlements in the Yellow River Basin: Challenges and opportunities. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(1): 1-26.]
- [12] 覃成林, 樊双涛. 黄河流域空间发展格局演进特征及优化研究[J]. 经济问题, 2021(9): 104-110. [Qin Chenglin, Fan Shuangtao. The evolution and optimization of the spatial development pattern in the Yellow River Basin. *On Economic Problems*, 2021(9): 104-110.]
- [13] 樊杰, 王亚飞, 王怡轩. 基于地理单元的区域高质量发展研究: 兼论黄河流域同长江流域发展的条件差异及重点[J]. 经济地理, 2020, 40(1): 1-11. [Fan Jie, Wang Yafei, Wang Yixuan. High quality regional development research based on geographical units: Discuss on the difference in development conditions and priorities of the Yellow River Basin compared to the Yangtze River Basin. *Economic Geography*, 2020, 40(1): 1-11.]
- [14] 王铮, 丁冠群, 吴乐英, 等. 黄河流域区域发展优势与经济带生成可能[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(2): 111-118. [Wang Zheng, Ding Guanqun, Wu Leying, et al. Regional development advantages of the Yellow River Basin and the possibility of economic zone formation. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(2): 111-118.]
- [15] 金凤君, 林英华, 马丽, 等. 黄河流域战略地位演变与高质量发展方向[J]. 兰州大学学报(社会科学版), 2022, 50(1): 1-12. [Jin Fengjun, Lin Yinghua, Ma Li, et al. Evolution of the strategic position and high-quality development direction of the Yellow River Basin. *Journal of Lanzhou University (Social Sciences)*, 2022, 50(1): 1-12.]
- [16] 唐永超, 王成新, 王瑞莉, 等. 黄河流域区域交通与经济空间关联研究[J/OL]. 经济地理, 2020-10-14. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1126.k.20201014.1342.002.html>. [Tang Yongchao, Wang Chengxin, Wang Ruili, et al. Study on the spatial correlation of regional transportation and economic development in the Yellow River Basin. *Economic Geography*, 2020-10-14. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1126.k.20201014.1342.002.html>.]
- [17] 伍杰源, 戴新鑾, 陆瑶, 等. 黄河流域铁路网高质量发展对策研究[J]. 铁道经济研究, 2022(1): 6-10. [Wu Jieyuan, Dai Xinliu, Lu Yao, et al. Research on high quality development strategy of railway network in the Yellow River Basin. *Railway Economics Research*, 2022(1): 6-10.]

- [18] 曹小曙, 阎小培. 经济发达地区交通网络演化对通达性空间格局的影响: 以广东省东莞市为例 [J]. 地理研究, 2003, 22(3): 305-312. [Cao Xiaoshu, Yan Xiaopei. The impact of the evolution of land network on spatial structure of accessibility in the developed areas: The case of Dongguan City in Guangdong Province. *Geographical Research*, 2003, 22(3): 305-312.]
- [19] 李涛, 曹小曙, 黄晓燕. 珠江三角洲交通通达性空间格局与人口变化关系 [J]. 地理研究, 2012, 31(9): 1661-1672. [Li Tao, Cao Xiaoshu, Huang Xiaoyan. The relationship between spatial structure of accessibility and population change in Pearl River Delta. *Geographical Research*, 2012, 31(9): 1661-1672.]
- [20] Gutiérrez J. Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border [J]. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9(4): 229-242.
- [21] 吴旗韬, 张虹鸥, 孙威, 等. 基于矢量—栅格集成法的厦深高铁影响空间分布: 以广东东部地区为例 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(6): 707-715. [Wu Qitao, Zhang Hong'ou, Sun Wei, et al. Influence of the Xiamen-Shenzhen high-speed railways on accessibility and regional development: A case study of eastern Guangdong Province. *Progress in Geography*, 2015, 34(6): 707-715.]
- [22] 金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析 [J]. 地理学报, 2008, 63(8): 787-798. [Jin Fengjun, Wang Chengjin, Li Xiuwei. Discrimination method and its application analysis of regional transport superiority. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 787-798.]
- [23] 李涛, 黄晓燕, 曹小曙. 珠江三角洲陆路运输网络效率测度及其演化 [J]. 人文地理, 2014, 29(2): 76-82. [Li Tao, Huang Xiaoyan, Cao Xiaoshu. Measurement of transport network efficiency and measurement and its evolution in the Pearl River Delta. *Human Geography*, 2014, 29(2): 76-82.]
- [24] 程佳佳, 王成金, 刘卫东. 西北地区交通优势度格局及空间分异 [J]. 地球科学进展, 2016, 31(2): 192-205. [Cheng Jiajia, Wang Chengjin, Liu Weidong. Distribution configuration and spatial differentiation of transport superiority degree in Northwest China. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(2): 192-205.]
- [25] 孙宏日, 刘艳军, 周国磊. 东北地区交通优势度演变格局及影响机制 [J]. 地理学报, 2021, 76(2): 444-458. [Sun Hongri, Liu Yanjun, Zhou Guolei. The spatiotemporal differentiation and mechanisms of traffic dominance in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 444-458.]
- [26] 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 长三角地区交通优势度的空间格局 [J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2199-2208. [Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong, et al. The pattern of transportation superiority in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2199-2208.]
- [27] 杨忍. 中国县域城镇化的道路交通影响因素识别及空间协同性解析 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(7): 806-815. [Yang Ren. Spatial coupling cooperative analysis of road transport superiority and urbanization at county level in China. *Progress in Geography*, 2016, 35(7): 806-815.]
- [28] 郑凌垚, 王海燕. 区域交通资源配置效率综合评估 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21(31): 13484-13490. [Zheng Lingyao, Wang Haiyan. Comprehensive evaluation of regional traffic resource allocation efficiency. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(31): 13484-13490.]
- [29] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [30] 韩静, 芮阳, 杨坤, 等. 基于地理探测器和GWR模型的中国重点镇布局定量归因 [J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1687-1697. [Han Jing, Rui Yang, Yang Kun, et al. Quantitative attribution of national key town layout based on geodetector and the geographically weighted regression model. *Progress in Geography*, 2020, 39(10): 1687-1697.]
- [31] 王宏亮, 吴健生, 高艺宁, 等. 城市公共资源与人口分布的空间适配性分析: 以深圳市为例 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021, 57(6): 1143-1152. [Wang Hongliang, Wu Jiansheng, Gao Yining, et al. Spatial fitness of urban public resources and population distribution: Taking Shenzhen as an example. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2021, 57(6): 1143-1152.]
- [32] 周建平, 刘程军, 徐维祥, 等. 中国新型城镇化与城市医疗资源空间适配性研究 [J]. 地理科学, 2021, 41(7): 1168-1177. [Zhou Jianping, Liu Chengjun, Xu Weixiang, et al. Research on the spatial adaptability of China's new urbanization and urban medical resources. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(7): 1168-1177.]

Spatial pattern of transport condition and its matching with county development in the Yellow River Basin

LI Tao¹, CUI Leibo¹, LI Jiyuan^{1*}, CHEN Huiling², CAO Xiaoshu¹

(1. Northwest Land and Resource Research Center, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. School of Public Administration and Human Geography, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China)

Abstract: The analysis of the characteristics of transport condition and its spatial matching with economic and social development in the Yellow River Basin is of great importance for optimizing the allocation of transport resources and improving the adaptability of transport supply. Using comprehensive transportation and socioeconomic data of the Yellow River Basin, this study analyzed the spatial pattern of transport condition at the county level and examined the spatial matching between transportation and county development quality in the basin. The results show that: The transport condition needs to be improved, and transport condition shows some mismatch with population and GDP, respectively. Counties with high level of development of transportation are concentrated along the Jinan- Zhengzhou- Xi'an- Lanzhou corridor. The spatial equity of transport supply is higher than that of economic and social development in the basin. At the zonal level, transport condition demonstrates a declining trend from the east-west Longhai-Lanxin zone to the big bent extending to the east and west, and then to the north-south zone. Fixed assets investment, industrial structure, urbanization, and economic foundation are the main factors that affect the transport condition at the county level in the basin. Furthermore, transport condition at the big bent extending to the east and west and the north-south zones are also restricted by natural factors such as elevation and slope. Of all the counties in the basin, 40.05% are in the basic matching state between transport supply and socioeconomic development. Meanwhile, 38.78% of all the counties belong to the transport disadvantage type, which are concentrated on the Qinghai-Tibet Plateau, the gully region of the Loess Plateau, and central and western Inner Mongolia Autonomous Region. Therefore, it is urgent to improve the support and guarantee capacity of transport facilities for the economic and social development of these counties.

Keywords: transport condition; quality of county development; spatial matching; Yellow River Basin