引文格式：张莉杰,董俊武,王艳慧. 高质量发展背景下黄河流域铁路空间格局探测[J]. 地理空间信息, 2023, 21(9): 6-9. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.09.002

高质量发展背景下黄河流域铁路空间格局探测

张莉杰[1,2]，董俊武[1,2]，王艳慧[1,2*]
（1. 首都师范大学 资源环境与旅游学院，北京 100048；2. 首都师范大学 三维信息获取与应用教育部重点实验室，北京 100048）

摘　要：以黄河流域为研究区，基于铁路客运车次数据，利用网络分析方法和空间计量分析方法探测了不同类型铁路客运交通联系的空间分布格局，为摸清黄河流域铁路客运交通空间联系格局、推动铁路高质量发展提供决策依据。结果表明：①黄河流域铁路交通联系网络整体呈东密西疏的特点，以“一字形”、“几字形”和“十字形”为主骨架的黄河流域现代化交通网络尚不完善；②各省域形成了以省会城市为联系核心的区域性铁路交通联系网络，郑州、济南和西安是交通网络中重要的枢纽城市；③在城市群空间尺度上，中原城市群、山东半岛城市群、太原城市群和宁夏沿黄城市群内部城市铁路交通联系呈放射状空间分布，兰西城市群和关中平原城市群呈带状分布；④在不同车次类型划分中，整体和城市群尺度上的高速列车和普速列车都属于聚集分布，省域尺度上的高速列车呈集中性分布，普速列车呈均衡型分布。

关键词：黄河流域；铁路客运交通；网络分析；空间计量分析；空间分布格局
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）09-0006-04

Exploration of Railway Spatial Pattern in Yellow River Basin Under the Background of High Quality Development

ZHANG Lijie[1,2], DONG Junwu[1,2], WANG Yanhui[1,2]
(1. School of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2. Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application, Ministry of Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: Taking the Yellow River basin as the research area, based on the railway passenger traffic data, we used the network analysis method and the spatial econometric analysis method to detect the different types of railway passenger traffic spatial distribution pattern, which could provide the decision-making basis for the Yellow River basin railway passenger traffic spatial pattern and promote the high-quality development of railway. The results show that ①on the whole, the railway network in the Yellow River basin is characterized by dense in the east and sparse in the west. The modern transportation network in the Yellow River basin is not perfect. ②The provinces have formed a regional railway transportation contact network with the provincial capital cities as the contact cores. Zhengzhou, Jinan and Xi’an are the important hub cities in the transportation network. ③In the urban agglomeration spatial scales, the internal urban railway transport links of central plain urban agglomeration, Shandong peninsula urban agglomeration, Taiyuan urban agglomeration and Ningxia along the Yellow River urban agglomeration show radial spatial pattern, Lanxi urban agglomeration and Guanzhong plain urban agglomeration show zonal distribution. ④In different types of trains, the whole and urban agglomeration scales of high-speed train and universal trains are centralized distribution. At the provincial scale, the high-speed trains show centralized distribution, while the universal trains show the equilibrium distribution.

Key words: Yellow River basin, railway passenger transport, network analysis, spatial econometric analysis, spatial distribution pattern

铁路作为国家综合交通运输体系的骨干力量，是国民经济大动脉和重要民生基础工程。目前我国经济发展已由高速增长转向高质量发展，随着社会主要矛盾的转化，铁路发展也步入了新时代，因此加快构建布局合理、覆盖广泛、高效便捷、安全经济的现代铁路空间格局有利于推动我国经济的高质量发展。黄河流域是我国重要的生态屏障和经济地带，是打赢脱贫攻坚战的重要区域，是陆上丝绸之路的核心腹地[1]。中共中央、国务院2021年10月印发的《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，对黄河流域铁路规划建设、客货运输等方面提出了明确要求，要求构建便捷智能绿色安全综合交通网络，加快形成以“一字形”、“几字形”和“十字形”为主骨架的黄河流域现代化交通网络[2]。铁路交通联系的空间分布格局一直

收稿日期：2022-05-19；修回日期：2022-07-28。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（42171224）；北京市长城学者资助项目（CIT&TCD20190328）；全国统计科学研究重点资助项目（2021LZ23）。
第一作者简介：张莉杰（1998—），硕士研究生，研究方向为地图学与地理信息系统研究，E-mail：zhanglijie20212021@126.com。
通信作者：王艳慧（1977—），博士，研究方向为时空大数据建模技术与应用，E-mail：huiwangyan@sohu.com。

是交通地理研究的热点选题之一。国内外研究大多关注铁路网络结构分析[3]、铁路对经济发展的影响[4]和交通可达性分析[5]，研究区域主要涵盖全国[6]、省级区域和城市群[7]等，对于流域的研究较少；且同时从国家级、省级中心城市和城市群尺度展开铁路客运空间格局的研究更少。随着现代地理信息技术的进步和大数据时代的来临，通常采用空间数据分配[8]、空间计量分析[9]和社会网络分析[10]等方法对铁路网络进行量化评价。在上述背景下，本文以黄河流域为研究区，基于全国铁路车次数据和社会经济数据，对铁路客运空间联系网络展开定性与定量相结合的测度分析，从整体、省域、城市群3个尺度挖掘不同类型铁路客运联系的空间格局，为摸清黄河流域铁路客运交通空间联系格局、推动铁路高质量发展提供决策依据。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

黄河流域位于我国中北部地区，西起巴颜喀拉山、东临渤海、南至秦岭、北抵阴山，约占我国陆地总面积的1/3；下辖山东、陕西、山西、河南、内蒙古（不包括东四蒙）、宁夏、甘肃和青海8个省，拥有山东半岛、中原、关中、兰西、太原、呼包鄂榆和宁夏沿黄7个城市群和93个地级及以上中心城市。当前，黄河流域高质量发展提升了北方整体经济水平，但面临经济增速逐步放缓、内部发展不平衡、中心城市辐射带动能力弱等发展难题，迫切需要在明晰当前铁路客运交通联系空间分布格局的基础上，加强铁路规划建设，加大基础设施补短板力度，利用铁路带动经济发展，努力促进黄河区域更高质量、更高效率地可持续发展。

1.2　数据来源

本文采用的数据主要从2021年3—4月铁路客运“票价网”查询获取，涵盖全部正在运营的6 600余列车次，其中高速动车（G字头）1 865列、城际动车（C字头）1 044列、普通动车（D字头）1 563列、直达（Z字头）237列、特快（T字头）230列、快速（K字头）1 266列、普通列车453列。每列车次数据包含起点站、中途各停靠站、终点站、车次类型等信息，以G、C、D为字头的列车为高速列车，以K、T、Z、普快为字头的列车为普速列车。黄河流域地级及以上中心城市的行政区域数据来源于资源环境科学与数据中心网站。

2　研究方法

为深度解析黄河流域铁路客运联系的空间格局，本文分别从地级及以上中心城市、省会、城市群尺度，利用网络分析法和空间计量分析法揭示城市之间铁路客运联系的网络结构，表征区域空间集聚程度，定量探测不同类型铁路客运交通联系的空间分布格局。

2.1　网络分析法

1）铁路客运联系强度。城市间铁路客运联系强度反映城市铁路客运联系网络连接中城市铁路交通联系规模的分布特征[7]。本文采用两个城市间的开行客运班次数量之和表征铁路客运联系强度，以城市间的联系流为网络边，城市为网络节点，计算公式为：

$$Sk_i=\sum_{i=1}^{N}w_{ij} \tag{1}$$

2）度中心性可显示城市的交通联系能力，衡量城市在网络中所处的重要程度[4]。城市的度中心性越大，表明与该节点有直接关系的其他节点数目越多，在网络中的中心地位越突出。具体计算公式为：

$$C_i^D=\frac{\sum_{1}^{N}x_{ij}}{N-1} \tag{2}$$

式中，在有向图中，$\sum_{1}^{N}x_{ij}$为网络中节点i的出度与入度之和，出度为节点$i\to j$的交通流连接关系数量和，入度为节点$j\to i$的交通流连接关系数量和，$x\neq j$；N为城市总数量，$n\leqslant N$。

2.2　空间计量分析法

位序—规模法是从城市规模及其位序的关系来考察一个城市交通的分布状态，可反映城市铁路交通联系空间集聚的位序规模分布特征[11]。具体计算公式为：

$$P_i=P_1R_i^{-q} \tag{3}$$

式中，n为城市数量；R_i为城市i交通联系车次量规模位序；P_i为按照从大到小排序后位序为i的城市交通联系车次量规模；P_1为理想的首位城市交通联系车次量规模；q为Zipf指数。

将上述模型进行对数变换，得到：

$$\ln P_i=\ln P_1-q\ln R_i \tag{4}$$

q亦称集中指数，可考察区域交通分布空间集聚程度（表1）。位序—规模法对双对数点图上所有可能的点组合进行相关系数检验时，取在0.001置信水平下线性范围最宽的一段为无标度区间。

表1　集中指数代表的交通分布状态统计

交通分布类型	q 值	交通分布类型	q 值
分散均衡型	≤0.85	集中型	0.85< q <1.2
最优分布	1	分布差异较大	≥1.2

3　研究结果与分析

3.1　整体铁路客运交通联系的空间分布格局

中心城市铁路客运近域联系可视化展示见图1，可以看出，黄河流域的铁路客运交通网络空间分布格局已初步形成，整体呈东密西疏的特征。根据铁路班次数据，分析“一字形”主骨架发现，济南经郑州至西安线路的铁路客流量较少；分析“十字形”主骨架发现，银川经绥德至太原和兰州经平凉至延安缺失线路；分析“几字形”主骨架发现，兰州经银川、包头至呼和浩特、太原并通达郑州的直接联系线路较少。

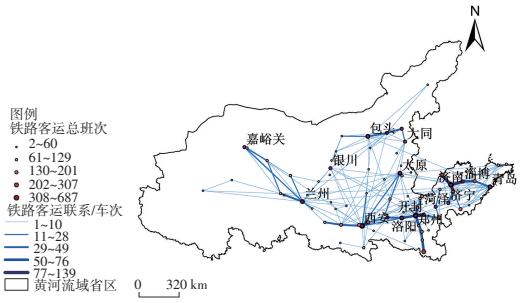


图1　中心城市铁路客运交通联系空间分布图
（审图号：GS(2016)2923）

根据位序—规模分布标准模型的计算结果（图2），铁路交通联系量与城市位序间的相关系数均在0.8以上，且 $r_{总、高、普}$ 的显著性水平均远大于 $r_{0.001}$，说明中心城市铁路交通联系的位序—规模分布符合Zipf法则。由 $q_{总、普、高}$ 均在0.85~1.2可知，中心城市铁路车次联系空间分布表现出空间集聚特性，普速列车和高速列车均属于集中型，但高速列车的集聚性更明显。

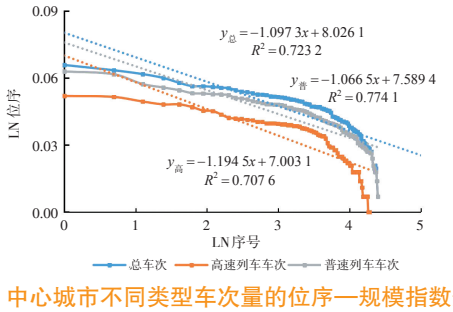


图2　中心城市不同类型车次量的位序—规模指数分布

中心城市度中心性的空间分布见图3，度中心性高的城市多为省会城市或其他经济发展较好的城市，且在空间上有明显的空间溢出效应。黄河流域经济与人口发展数据见图4，可以看出，度中心性与人均GDP和人口密度之间的相关系数分别为0.26和0.39，且二者相关性的显著水平较高，说明黄河流域铁路客运交通联系中城市度中心性与其经济发展水平、人口分布呈显著正相关。

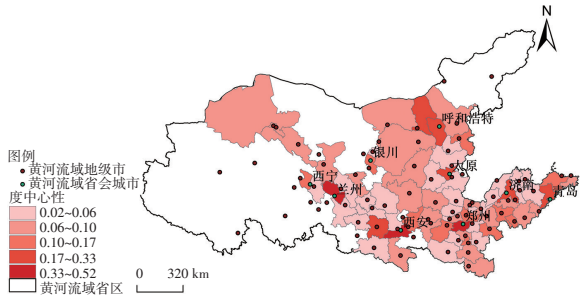
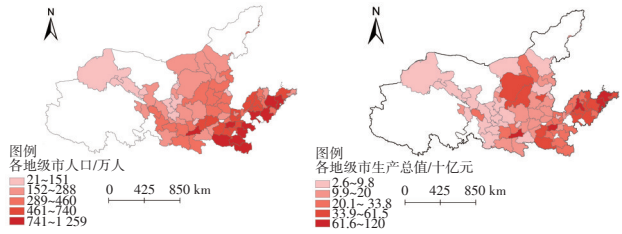


图3　中心城市度中心性的空间分布图
（审图号：GS(2016)2923）



a 人口数量　　b GDP分布

图4　黄河流域各地级市人口数量与GDP分布图
（审图号：GS(2016)2923）

3.2　省会中心城市铁路客运交通联系的空间分布格局

省会城市是全国交通联系的国家和区域性集聚中心，对黄河流域省会中心城市铁路客运的近域联系格局进行空间模拟与图景展示（图5），可以看出，各省区大多形成了以省会城市为联系核心，并向周围城市辐射的铁路交通联系分布格局；河南、山东和陕西的铁路联系呈放射状结构，其中郑州、济南和西安发挥了核心作用；西宁与兰州之间形成了带状网络结构；以呼和浩特和太原为核心节点的铁路交通联系形成了放射状分布格局，但这两个城市在各自所在区域的辐射作用较弱。

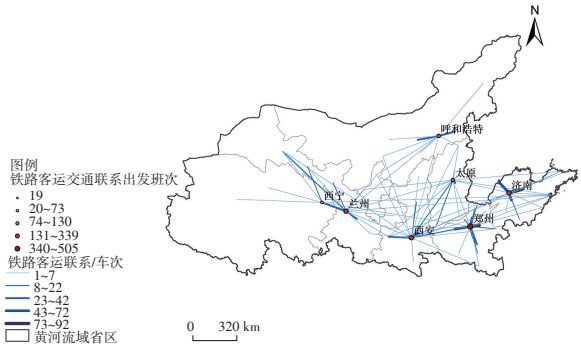


图5　省会中心城市铁路客运联系的空间网络分布图
（审图号：GS(2016)2923）

根据建立的位序—规模分布标准模型（图6），普速列车与高速列车相关系数均在0.8以上，且二者均具有显著相关性，说明省会城市铁路交通联系的位序—规模分布符合Zipf法则。省会中心城市的 $q_{总、高}$ 均在0.85~1.2，$q_{普}$ 小于0.85，说明省会中心城市的整体列车

和高速列车属于集中型，普速列车属于分散均衡型。

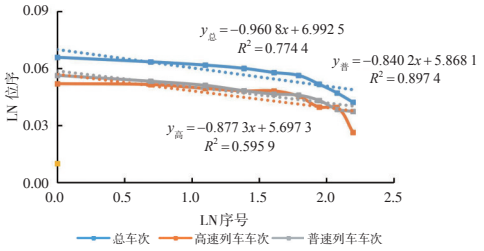


图6　省会中心城市不同类型车次量的位序—规模指数分布

为进一步解析省会城市在铁路客运班次联系中的规模网络集聚特征，本文利用Gephi对省会中心城市经停的铁路客运交通车次进行可视化展示（图7），可以看出，郑州、西安和兰州节点规模明显大于其他中心城市；济南到泰安、淄博和德州，郑州到开封、洛阳，西安到渭南、宝鸡和咸阳等城市交通联系强度远大于其他城市，说明中心城市形成了各自的区域性客流集聚中心；但太原和西宁与周围城市的联系强度却较低，各省会城市的联系强度存在差异性。

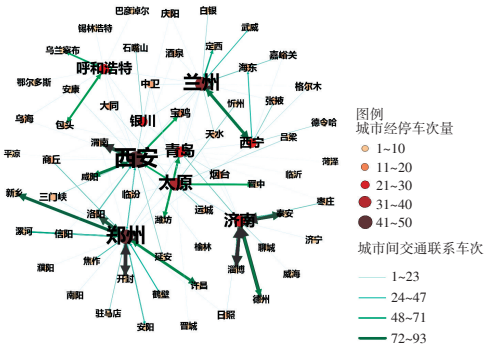


图7　省会中心城市铁路客运交通联系的集聚结构图

3.3　城市群铁路客运交通联系的空间分布格局

将城市群铁路客运交通联系进行可视化展示（图8）发现，中原城市群和山东半岛城市群的客运铁路交通联系车次量较高，且呈放射状空间形态和相对集聚的规模分布；中原城市群的铁路交通联系呈现以郑州为核心，向许昌、洛阳、开封和新乡等方向分布的空间格局；山东半岛城市群则呈现以济南为核心，向青岛、淄博、德州和泰安等方向分布的空间格局。

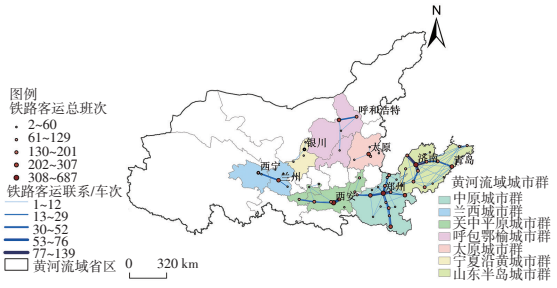


图8　城市群铁路客运交通联系空间网络分布图

（审图号：GS(2016)2923）

根据黄河流域相邻城市间的铁路联系强度可知，中原、山东半岛、关中平原城市群的铁路客运联系次数占比分别为29.71%、24.51%、11.65%，总占比为65.87%，是黄河流域客运铁路交通联系的3个核心区。根据的位序—规模分布标准模型（图9），相关系数均在0.8以上，且具有显著相关性，说明铁路交通联系量与城市位序符合Zipf法则。$q_{总、普、高}$分布在0.85~1.2，说明城市群整体列车、普速列车和高速列车运行车次均具有区域空间集聚特性，且高速列车相对集聚。

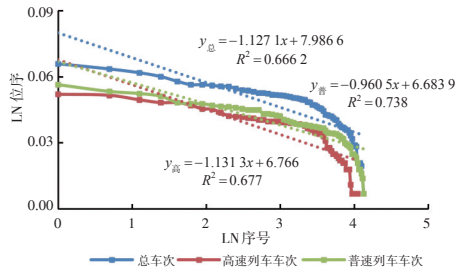


图9　城市群不同类型车次量的位序—规模指数分布

4　结　语

在高质量发展背景下，本文以黄河流域地级市为研究对象，从整体城市、省会城市、城市群3个尺度，基于不同类型的铁路客运车次数据，运用网络分析法和空间计量分析法探测了铁路客运交通联系的网络结构和不同车次类型划分的路网集聚情况。结果表明：①黄河流域铁路客运交通网络空间分布格局已初步形成，整体上呈现东密西疏的特点，铁路中心城市交通网络呈双核组团模式、极核模式和点轴式空间模式，在不同车次类型划分中，普速列车和高速列车均属于集中型，但高速列车聚集效应更明显；②在省域尺度上，铁路交通网络以省会城市为核心，在不同车次类型划分中，高速列车交通联系属于集中型，普速列车属于均衡型；③在城市群尺度上，中原、山东半岛、太原和宁夏沿黄城市群的城市铁路网络呈放射状分布，兰西和关中平原城市群呈带状分布，在不同车次类型划分中，普速列车和高速列车均具有空间集聚特性。

研究结果表明，以“一字形”、“几字形”和“十字形”为主骨架的黄河流域现代化交通网络发育尚不完善，为实现黄河流域的高质量发展，构建便捷智能绿色安全综合交通网络，需在交通规划方面对中心城市进行以下改善：加强枢纽城市建设，充分发挥其辐射带动作用，加强“几字形”网络骨架的短板建设，尤其是西部地区的交通衔接，实现黄河流域综合交通网络的高效连通。由于交通数据来自铁路客运数据，缺乏货运数据，本文难以从更多尺度和视角对黄河流域铁路骨架结构进行全面分析；且本文采用了一期铁路客运车次截面数据，缺少基于时间序列数据的时空

（下转第13页）