基于改进引力模型的黄河上游城市群空间联系特征分析

庞开拓

(兰州交通大学建筑与城市规划学院，兰州 730070)

摘要：黄河上游城市群是西北地区城市空间组织的最高形式，是黄河上游城市间物质、信息、人员交流最密切的区域。对引力模型进行优化，从城市综合实力评估以及绝对与相对联系强度两个维度进行改进，利用改进的引力模型用来评价黄河上游城市群 10 个城市 2018—2021 年的城市空间联系特征，分析其空间格局及演变。结果表明，黄河上游城市群大城市展现出更多辐射效应，小城市则更多受到外部城市的吸引力。随着时间的推移，城市之间联系强度不断加强，逐渐形成“单核”向“多核”过渡的空间形态，空间布局呈现一心三圈、V 状三核，黄河成轴、城市同带，进而可以将城市空间格局划分为兰州市组团、银川市组团、西宁市组团三大组团。各组团间发展差异较大，亟须找准发展路径，实现差异化发展。

关键词：黄河上游城市群；改进引力模型；城市空间联系；联系强度；城市组团

中图分类号：F127　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1671－1807(2025)10－0173－07

黄河上游是西北城市群的主要集聚区域，黄河上游城市群又称环兰州城市群、西兰银城市群，是一个大都市圈联合体，也是西北地区城市空间组织结构的最高层次与发展形态。随着甘、青、宁交通基础设施体系的不断成熟，黄河上游区域城市间的互动与交流愈发频繁，这不仅反映区域交通网络对经济联系的促进作用，也揭示交通基础设施在区域经济发展中的关键作用。然而，黄河自身航运能力与沿线缺少显著门户功能与枢纽地位城市，限制其对外经济合作的开展[1]。因此，如何在新质生产力理论背景下高质量发展黄河上游城市群[2]，成为炙手可热的核心问题。

通过对相关领域研究成果学习发现，引力模型在国内首先应用在长三角[3]，珠三角[4]城市之间的相互作用中，随后在城市研究的多个领域实践中得到优化与拓展。然而，现有研究多集中于具有明确行政边界的区域，这限制模型在更广泛区域适用性的认识[1]。黄河上游城市群，涵盖甘、青、宁三省，其城市群边界模糊，区域发展水平存在显著差异，且地理环境极为复杂，导致现有研究成果与结论在应用于该区域的城市研究时存在局限性。在黄河流域生态保护和高质量发展的关键时期[5]，深入分析黄河上游城市群历年的空间联系特征，掌握发展规律，有助于实现城市群在新一轮发展中的跨越式发展，且对于指导区域未来城市发展布局具有重要的参考价值[6]。

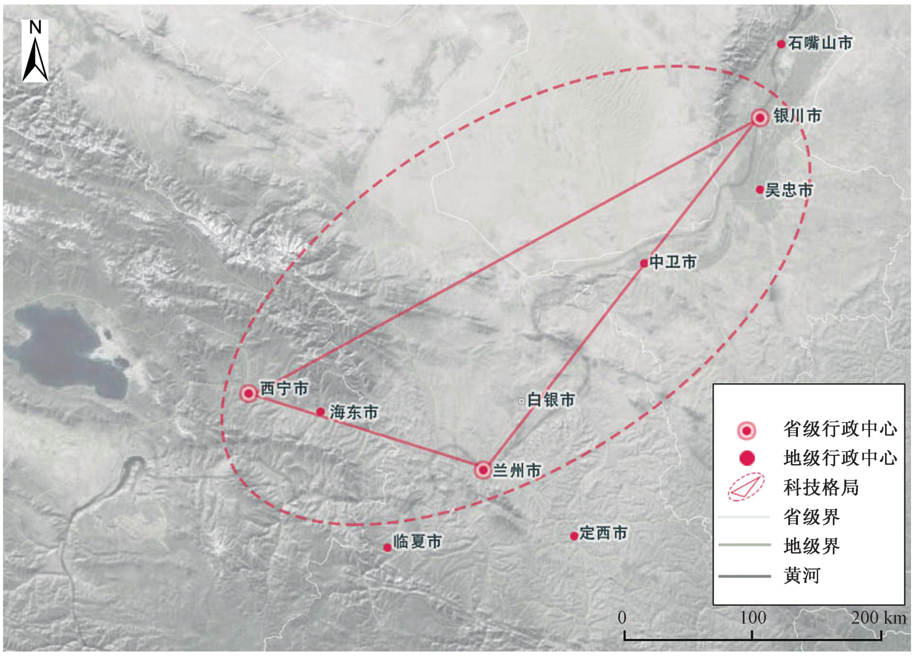
本文首先通过构建综合评价指标体系来评估选取的黄河上游城市群中 10 个城市的综合发展实力，在此基础上，运用优化后的引力模型定量分析城市间的空间联系强度，揭示黄河上游城市群内部城市空间联系的强度与模式。该研究对于理解城市群内部结构、推动区域政策制定和实施，优化国土空间布局，提升区域经济一体化水平具有重要意义，有助于构建多层级、网络化的区域高质量发展增长极体系。

1　研究区域概况

黄河上游城市群，主要包括甘肃兰州都市圈、青海西宁都市圈和银川都市圈，是一个多核心的带状城市群，空间布局呈现一心三圈、V 状三核，黄河成轴、城市同带，组团镶嵌、区域一体的特点。该地区地形以高原为主，自然条件较差，生态环境承载力较弱，沿轴分布有 10 个地级市，形成狭长形带状城市密集区，在对该区域进行合理开发的同时，必须加大对生态环境的保护[7]。

收稿日期：2024-12-09

作者简介：庞开拓(1999—)男，陕西咸阳人，硕士研究生，研究方向为城乡规划设计与理论、城乡规划历史与理论。



基于审图号为 GS(2024)0568 号标准地图制作，底图无修改

图 1　研究区域范围

本文主要研究黄河上游城市空间联系特征，研究区域包括兰州、白银、定西、临夏、西宁、海东、银川、中卫、吴忠、石嘴山等城市，研究范围涉及甘肃、青海两省份和宁夏 10 市，面积达 12.97 万 km^2。

2　数据来源及研究方法

2.1　数据来源

本文研究数据主要分为城市社会经济发展数据和城市间距数据。各城市的人口及经济数据主要源自官方统计局发布的统计年鉴与社会经济发展报告。针对部分城市在目标年份数据缺失的情况，采用最接近且适宜的替代数据进行填补。至于城市间的空间距离信息，则通过百度地图、谷歌地图和高德地图等数字地图服务平台，检索并计算两市市中心之间的最短交通路径距离，并取其平均值以确保数据的准确性和可靠性。

2.2　研究方法

2.2.1　引力模型

引力模型是由美国学者 W. J. Reilly 在牛顿万有引力定律公式的基础上提出的，广泛应用于城市空间相互作用的一种模型，具有一定的灵活性、预测性和解释性，是对城市空间联系定量分析的起源[8]。一般简化形式为

$$F_{ij} = K\frac{M_i M_j}{D_{ij}^r} \tag{1}$$

式中：F_{ij} 为城市吸引力；K 为常数；M_i 和 M_j 分别为城市 i 和 j 的质量；D_{ij} 为两城市之间的距离；r 为摩擦系数。基于现有研究成果分析，城市间的吸引力受到各自发展水平的非对称性影响[9]，引入城市间绝对和相对联系强度进行对比分析，进而对引力模型进行优化和调整。

2.2.2　引力模型修正

（1）城市质量 M 的改进。引入城市综合实力概念和指标对于模型的分子部分进行调整[10]。针对具体研究对象，构建多维指标体系（表 1），并依据各指标层的权重来量化城市的综合实力[11]。

（2）引力系数 K 的优化。基于现有研究成果，提出城市间的相互吸引力与受力城市的吸引惯性

表 1　城市综合实力评价指标体系

指标类型	具体指标	指标权重
经济总量	GDP 总量/亿元	0.099 6
	人均 GDP/元	0.099 4
社会发展水平	常住总人口/万人	0.101 8
	城镇化率/%	0.084 0
	一般公共预算支出/亿元	0.091 2
城镇化建设水平	城镇建成区面积/m^2	0.090 6
	人均城市道路面积/m^2	0.091 4
	建成区绿化覆盖率/%	0.090 4
居民生活水平	人均可支配收入/元	0.090 8
	教育行业从业人数/万人	0.090 2
	拥有医疗设施相关床位数/(万人·张$^{-1}$)	0.070 6

指标呈负相关性。为更准确衡量该系数,利用两城市综合实力的相对大小作为依据,对引力系数 K 进行动态调整与优化。

$$K_i = \frac{M_i}{M_i + M_j} \tag{2}$$

式中:K_i 为城市 i 的综合实力与城市 i 和 j 综合实力之和的比值,代表两个城市的空间联系方向。K 值的取值范围决定城市 i 对 j 为正向吸引或反向吸引[12]。

(3)城市距离 D 的改进。使用相关测量软件,结合各网站地图大数据,确定城市间的最短交通路径距离。根据地理位置较今特征,摩擦系数取 1,最终对传统引力模型优化如下:

$$F_{ij} = K_i \frac{M_i M_j}{D_{ij}} \tag{3}$$

$$F_{ji} = K_j \frac{M_i M_j}{D_{ij}} \tag{4}$$

$$P_i = \sum F_{ij} \tag{5}$$

$$N_i = \sum F_{ji} \tag{6}$$

式中:F_{ij} 代表城市 i 对 j 的空间绝对联系强度;F_{ji} 代表城市 j 对 i 的空间相对联系强度;P_i 是城市 i 对其他城市的绝对联系强度之和;N_i 是城市 i 对其他城市的相对联系强度之和,$N_i \geqslant 0$,当城市 i 与其他城市没有联系时,$P_i = 0$,$N_i = 0$。

3 结果分析

通过对 2018—2021 年黄河上游城市群内 10 个地级市引力进行测算,综合评估各城市的引力值、探讨它们绝对与相对联系强度,以及两者之间的差异,能够较客观、精准的揭示各城市在空间上的联系特征及潜在问题。

3.1 城市引力特征

利用优化后的引力模型,定量评估各城市间引力强度,并利圆环图与雷达图进行可视化表达[13]。在获取了 2018—2021 年各城市逐年引力值的基础上,鉴于数据量庞大且相邻年份间差异不显著的特点,采用每隔两年选取数据,以有效展示分析结果。

图 2 和图 3 揭示黄河上游地区城市间吸引力的地域性特质,呈现显著的省际差异格局。该区域的城市吸引力以省域为界,围绕甘肃兰州、宁夏银川及青海西宁三个核心城市,构筑三大具有鲜明地域特征的城市吸引集群。这些集群内部城市关联性较为紧密。依据引力理论模型,城市间吸引力主要受城市综合竞争力和相互空间距离的双重影响。

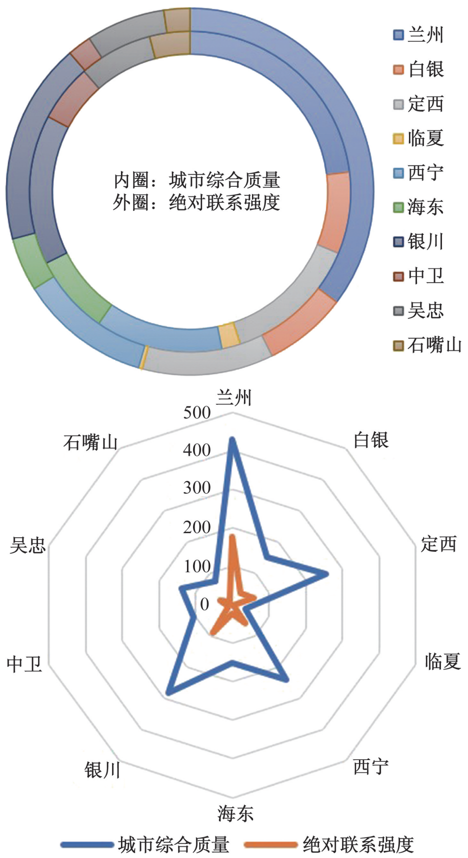


图 2 2019 年黄河上游城市群内部城市引力值

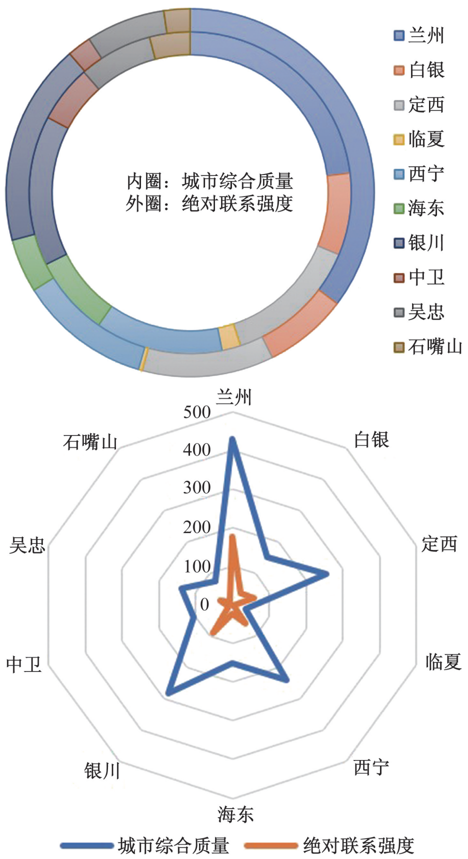


图 3 2021 年黄河上游城市群内部城市引力值

在空间距离维度上，各城市间的平均间距并未展现明显的差异性。然而，从城市发展的历史演进视角审视，甘肃省各城市的综合竞争力表现相对突出。因此，相较于青海与宁夏，甘肃省内城市间的引力效应更为显著，城市间的联系也更为紧密。

在分析黄河上游城市群的整体发展趋势时，可以观察到各城市增速普遍呈现平缓而稳定的增长模式，至 2020 年，已形成以兰州、银川、西宁为枢纽的三个主要城市集群。在此过程中，核心城市的“虹吸效应”愈发显著[14]，促使优质资源加速向这三大中心城市汇聚，进一步强化其城市吸引力。然而，这些核心城市对周边地区的吸引力相对较弱，而受到外部城市辐射的影响较大，导致城市内部网络的密度分布不均。面对无法维持快速增长的现实，黄河上游城市群亟须探索如何与大型城市保持同步发展，以解决区域发展不平衡的问题。

3.2　城市空间联系特征

城市的 P_i 反映城市 i 对外经济辐射总和，N_i 反映城市 i 接受外部城市经济辐射总和[15]。城市的 P_i、N_i 值均反映城市间经济辐射的相互关系[16]。通过计算研究时段内各市 P_i 与 N_i，对城市联系结构进一步分析(表 2)。

甘肃省城市的绝对联系强度显著大于青海和宁夏两省份的城市，尤其随着社会的发展和城镇化的进程，这种绝对联系强度差距愈发明显。2018 年 P_i 排名前五的是兰州、银川、定西、西宁、白银；2019 年 P_i 排名前五的是兰州、银川、西宁、定西、白银；2020 年 P_i 值排名前五的是兰州、银川、定西、西宁、白银；2021 年 P_i 排名前五的是兰州、银川、定西、西宁、白银。黄河上游城市群内部城市绝对联系强度前五名始终是以上五座城市，只不过城市之间的排名在年份上有所体调整，但甘肃始终是 3 座城市占主导地位，体现出整体高水平，其他两座城市分别为其他两省份的省会城市。

西宁都市圈和银川都市圈始终与兰州都市圈有较大差距，但两个都市圈的核心层是西宁和银川在所属地区一枝独秀，保持着稳步增长，在黄河上游城市群内部城市的 P_i 中始终保持在前五名，对周边城市的影响力持续增强，有效促进了邻近城市的发展。西宁绝对联系强度虽然在近两年比之前略有降低，但总体保持上升趋势。吴忠的 P_i 一直位于银川都市圈第二位，一直处于缓慢增长阶段，与甘肃第三名的白银综合实力不断接近，成为宁夏仅次于银川的城市。中卫与石嘴山 P_i 一直稳定在 10～11，它们起点较低，发展制约因素多，但也跟着银川城市稳步发展，未来涨幅不会太大，但也是银川经济圈不可或缺的力量。青海海东 P_i 较之前略有降低，因为海东与西宁仅有 60 km 距离，发展受西宁影响较大，相对联系强度比之前增加。

兰州的核心地位突出，展现黄河上游城市群一枝独秀的局面。2018—2021 年以来一贯保持着最强的发展态势，P_i 始终保持在 150 以上。每年都保持着一定幅度的增长，随着兰州市在西北城市中的地位不断加强，兰州的活力也得到了一定的释放。定西、白银的发展紧随其后，虽然绝对联系强度较兰州有不少差距，但在局部小区域还是有较强的影响力，并与兰州强强联合，形成黄上游城市群中最发达，最有层次的兰州都市圈。临夏由于自身发展潜力较小，人口、经济等各种资源都无法与其他城市相比，所以绝对联系强度一直很小，维持在 2 以下。

除了三个省会城市，N_i 较高的城市有定西、吴忠、石嘴山等城市，均是核心城市敷设的城市，N_i 较低的则是与省会核心城市距离相对较远的城市，如临夏，中卫等城市，影响城市发展的壮大。

表 2　2018—2021 年黄河上游城市群内部城市绝对联系强度和相对联系强度

城市	2018 年		2019 年		2020 年		2021 年	
	P_i	N_i	P_i	N_i	P_i	N_i	P_i	N_i
兰州	174.97	97.63	177.69	99.19	181.22	101.28	181.33	101.33
白银	37.09	75.15	37.05	75.17	36.95	75.08	36.86	74.89
定西	57.95	71.12	58.15	71.57	58.33	72.05	58.13	71.82
临夏	1.71	13.10	1.75	13.49	1.82	13.95	1.83	14.08
西宁	52.27	55.79	58.41	57.00	57.54	57.41	57.88	57.48
海东	23.39	30.09	23.76	35.64	22.36	33.54	22.33	33.5
银川	84.48	53.19	89.58	55.16	91.56	56.64	92.55	57.56
中卫	10.55	17.92	10.62	18.15	10.65	18.27	10.79	18.5
吴忠	34.35	42.16	35.03	43.24	35.51	43.98	35.94	44.54
石嘴山	11.38	31.99	11.53	34.96	11.61	35.35	11.71	35.65

3.3 城市联系结构

$P_i - N_i$ 是城市 i 绝对与相对联系强度的差值,代表对外辐射力和受外部城市吸引力的强弱[17]。若差值为正,则对外辐射大于受外部吸引,客观反映城市在区域中处核心位置,自身发展对外部城市影响较大[18]。差值为负,则对外辐射小于受外部吸引,客观反映城市在区域中处边缘位置,发展受外部城市的影响较大[19](表 3)。

表 3 2018—2021 年黄河上游城市群内部城市绝对联系强度和相对联系强度的插值

城市	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
兰州	77.34	78.50	79.94	80.00
白银	−38.06	−38.12	−38.13	−38.03
定西	−13.17	−13.42	−13.72	−13.69
临夏	−11.39	−11.74	−12.13	−12.25
西宁	−3.52	−1.41	0.13	0.40
海东	−6.70	−11.88	−11.18	−11.17
银川	31.29	34.42	34.92	34.99
中卫	−7.37	−7.53	−7.62	−7.71
吴忠	−7.81	−8.21	−8.47	−8.60
石嘴山	−20.61	−23.43	−23.74	−23.94

如表 3 所示,2018—2021 年 $P_i - N_i$ 最高的城市一直是兰州,始终保持在 75 以上,其次是银川的 $P_i - N_i$,一直稳定在黄河上游城市群第二,也在逐年稳步增长,可见兰州和银川对周边城市的吸引力更强。值得一提的是,西宁在 2018—2019 年时,$P_i - N_i$ 为负数,但在 2020 年时开始转为正数。可以看出,西宁在 2020 年以前受到外部城市的吸引力要大于自己对外部城市的辐射,受到外部的吸引力主要来源于兰州和西安等更大,更发达的城市。从 2020 年开始此状态发生反转,城市自身对周边城市辐射会更大,但总体而言,该区域对外辐射力与受外部吸引的影响力维持在一种相对均衡的状态,呈现稳定增长趋势。其余城市的 $P_i - N_i$ 均为负数,白银与石嘴山的值最低,证明受到外部城市吸引力最大,两个城市尽管地理位置上邻近核心都市区,然而它们更多地遭受着来自核心城市的屏蔽效应,这一效应在一定程度上制约了它们自身的成长与发展潜力。中心城市的强势地位导致周边城市资源集聚能力受限,进而影响它们的独立发展,其他城市都在核心城市的辐射范围内,自身发展或多或少受到相应影响。

随着西北区域城镇化水平的提高,黄河上游城市群逐步成为支撑和带动城镇化的重要载体和形式,直到 2020 年,黄河上游城市群三大核心正式显现,三个大城市兰州、西宁和银川,沿黄河呈三角形分布,是三个都市圈的“首位城市”和“核心力量”,是带动周边地域经济发展的拉动力量、是推动三省经济的发动机增长极[20]。黄河上游地区的各规模城市正逐步融入一个“结构层次分明、功能相互协同、整体效能优化、资源共建共享”的综合性体系之中,展现一种以城乡深度融合、区域高度协同为特征的高级发展演化模式[21]。这种发展模式不仅促进区域内不同规模城市的协同发展,而且通过优化城市间的功能分工,强化城市群内部的互联互通,从而实现区域发展的均衡与提升。

3.4 三大城市组团

通过以上分析发现,兰州在黄河上游区域城市中的核心地位显著,其对外辐射能力突出而受外部城市影响较小。综合考虑各城市地理空间布局,交通网络连通性及城市间空间联系强弱,本研究将黄河上游 10 个城市空间格局划分为三大组团:兰州城市组团、西宁城市组团,银川城市组团。

(1)兰州市组团。兰州地处中国陆域版图的几何中心,也是丝绸之路经济带的重要节点城市,具有沟通沿海内地、联通西部边疆和欧亚大陆的地缘优势,其经济和交通网络的辐射能力在区域内最为显著。该组团包括兰州及白银、定西、临夏等周边城市,这些城市在兰州的辐射带动下,共享发展红利。要发挥兰州老工业基地产业基础较强和资源禀赋优势,加快技术进步和体制机制创新,发展特色产业,强化与周边沿黄城市群协调互动,构建“内联外通、开放包容”发展体系,形成紧密的经济联系和区域一体化发展态势。

(2)西宁城市组团。西宁是国际著名生态旅游城市,该组团包括西宁、海东等周边城市。以西宁为中心,立足该区域自然条件优势,积极探索旅游发展新路径,通过文化传播等方式提升城市形象,增强了西宁城市组团影响力。西宁和兰州两大城市组团作为兰西城市群组成部分,加强双方合作,通过中心城市和重要节点城市的创新驱动和产业结构升级,缩小区域经济差异,实现协同发展。

(3)银川城市组团。银川是重要的区域性物流节点城市,该组团包括银川及中卫、吴忠、石嘴山等周边城市。银川城市组团着手于产业链的发展布局,推动产业融合发展和错位发展,形成产业链条和产业集群。在此基础上,提升网络连通性,推动基础设施的一体化发展;统筹公共资源配置,

推动公共服务均等一体化发展；合理配置资源，推动城乡一体化发展，从而促进区域经济的均衡发展。

3.5 城市群建设的必要性

城市群作为具有国际竞争力的区域单元，是中国城市发展的主要空间形态。黄河上游城市群建设以兰州、西宁、银川三大城市为核心，内部要素流动增强，资源共建共享，集聚经济效益吸引更多人口和经济活动，城市群整体发展水平逐渐提高。在经济全球化背景下，核心城市的生活成本与生产提高，产业及其他设施开始向非城市群地区扩散，城市群对周边区域的经济社会发展产生溢出效应，带动区域经济增长。城市群的建设，有助于优化空间布局，形成区域门户城市，带动科技创新与产业升级，提升区域经济活力与效率，从而实现区域协调发展。相关研究表明，国家级城市群建设对区域经济发展有显著促进作用，并且影响城市发展进程。其中“十四五”规划提出的19个重点城市群中已经正式批复的国家级城市群，其GDP总量占19个重点城市群经济总量的72%，占全国经济总量的60.6%，这充分说明城市群在区域经济发展中的重要作用[22]。

4 结论

基于2018—2021年黄河上游城市群城市的市域数据，采用改进的引力模型进行分析统计，研究该区域城市之间的绝对联系强度和相对联系强度，得到以下结论。

(1)黄河上游城市群中以兰州为代表的大城市，展现更多的辐射效应，基于核心城市发展的周边小城市，则更多受到外部城市吸引。

(2)黄河上游城市群在空间联系上呈现出较高的紧密度。尽管现阶段各城市间的联系紧密度存在显著差异，但随着时间的推移，城市间的联结性正逐步增强。此外，城市群内部的组团化趋势日益显著，优势资源与要素正加速向核心城市汇聚，这一现象在城市群的空间结构和功能互补中表现得尤为突出。

(3)黄河上游城市群空间结构经历了从单一中心向多中心演化的过程。起初，以兰州为中心的单一极化阶段，随后逐步演进至兰州与银川构成的“双核心”格局，并最终形成了涵盖兰州、银川及西宁在内的“多核心”体系。这一演变过程伴随着空间联系特征在不同地理尺度上的显著分化与重塑，其中核心城市对周边城市的影响力日益增强，优势资源向核心城市集聚，形成了明显的空间联系和区域发展特征。

(4)黄河上游城市群的10个地市可以划分为三大组团：兰州城市组团、银川城市组团、西宁城市组团，组团间省际特征明显，且差异性较大。兰州组团在城市联系的紧密度上相较于其他两个组团更为突出，显示出进一步合作深化的潜力；位于组团边缘的小型城市则表现出较弱的辐射效应，需要依托其独特优势实现差异化发展。这种城市组团间的差异性，要求在区域发展战略中考虑到各自的地缘特点和发展潜力，以促进城市群内部的均衡发展和功能互补。

(5)黄河上游城市群建设，能加强城市间空间联系，优化资源配置，提升区域经济活力与效率，进而带动区域经济增长。因此，应继续加强城市群建设，推动区域经济的高质量发展。

参考文献

[1] 周园，曹威威，杨迅周，等. 基于改进引力模型的黄河下游沿岸城市空间联系特征分析[J]. 地域研究与开发，2021，40(6)：63-68.

[2] 彭钰. 黄河流域旅游经济与城市生态韧性的协同测度及交互响应[J]. 科技和产业，2024，24(15)：94-99.

[3] 陆江潇，李全，汤坤. 基于百度指数的长江沿岸中心城市网络联系特征[J]. 现代城市研究，2020(1)：15-51.

[4] 王少剑，高爽，王宇渠. 基于流空间视角的城市群空间结构研究——以珠三角城市群为例[J]. 地理研究，2019，38(8)：1849-1861.

[5] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 求是，2019(20)：1-5.

[6] 洪绮彤，何诗敏，聂赛雅，等. 珠三角经济高质量发展水平测度和空间特征. [J]. 科技和产业，2023，23(17)：104-110.

[7] 曾刚，胡森林. 技术创新对黄河流域城市绿色发展的影响研究[J]. 地理科学，2021，41(8)：1314-1323.

[8] 张宏乔. 基于信息流的中原城市群城市网络空间特征及演化分析[J]. 地域研究与开发，2019，38(1)：60-64.

[9] 张红凤，王鹤鸣，何旭. 基于改进引力模型的山东省城市空间联系与格局划分[J]. 山东财经大学学报，2019，31(3)：110-120.

[10] 徐辉，师诺，武玲玲，等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学，2020，42(1)：115-126.

[11] 李瑾，冯献，郭美荣，等. 城乡一体化发展的时空演变特征与省区差异性分析[J]. 中国农业资源与区划，2017，38(11)：67-77.

[12] 鲁彦，川黔渝三省市协同发展研究——基于城市间引力模型[J]. 科技和产业，2019，19(9)：60-67.

[13] KRZYWINSKI M，SCHENI J，BIROL I，et al. Circos：an information aesthetic for comparative genomics[J]. Genome Research，2009，19(9)：1639-1645.

[14] HANS Z, ADI S, EMMA L, et al. Scalable whole-genome single-cell library mremaration without mreammlification[J]. Nature Methods, 2017, 14(2): 167-173.

[15] 黄高辉. 城市跨河发展的阶段演进特征分析[C]//中国城市规划学会. 生态文明视角下的城乡规划——2008中国城市规划年会论文集. 北京：中国城市规划学会，2008：853-863.

[16] 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.

[17] 唐相龙，仲亚男，王兴琪，等. 基于分形理论的兰白临定簇群城镇等级规模结构研究[J]. 兰州交通大学学报，2017，36(4)：80-85.

[18] 樊杰，王亚飞，梁博. 中国区域发展格局演变过程与调控. 地理学报，2019，74(12)：2437-2454.

[19] DRIKSSON P G, MILLIMET D L. Strategic interaction and the determinants of environmental policy across U. S. States[J]. Journal of Urban Economics, 2002, 51(1): 101-122.

[20] 钱春蕾，叶菁，陆潮. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J]. 地理科学进展，2019，34(2)：237-245.

[21] 陆大道，孙东琪. 黄河流域的综合治理与可持续发展. 地理学报，2019，74(12)：2431-2436.

[22] 夏小萌，数字经济对城市群区域创新的影响——基于10个国家级城市群的实证分析[J]. 科技和产业，2024，24(13)：60-69.

Urban Spatial Linkage Characteristics along the Upper Yellow River City Cluster Based on Improved Gravity Model

PANG Kaituo

(School of Architecture and Urban Planning, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The Upper Yellow River City Cluster is the highest form of urban spatial organization in Northwest China, and it is the region with the closest exchange of materials, information and people among the cities in the upper Yellow River. In this paper, the gravity model was optimized and improved in terms of two dimensions, such as the assessment of the comprehensive strength of cities as well as the absolute and relative linkage strength, and the improved gravity model was used to evaluate the characteristics of urban spatial linkages of 10 cities in the Upper Yellow River City Cluster from 2018 to 2021, and to analyze their spatial patterns and evolution. The results show that large cities in the Upper Yellow River City Cluster show more radiation effects, while small cities are more attracted by external cities. With the passage of time, the strength of the connection between cities has been strengthened, gradually forming a spatial pattern of transition from "single nucleus" to "multiple nuclei", with the spatial layout showing one center, three circles, three nuclei in the shape of V, and the Yellow River becoming an axis and cities being in the same belt, and the spatial pattern of the cities can be classified as follows Three groups, such as Lanzhou City Group, Yinchuan City Group, Xining City Group. There is a big difference in the development of each cluster, and it is urgent to find the development path to realize the differentiated development.

Keywords: upper yellow river urban agglomeration; improved gravity model; urban spatial linkages; linkage intensity; urban clusters