

张胜武,葛宇梦,李小龙,等.黄河流域新型城镇化与水生态环境耦合协调的时空格局及影响因素[J].中国沙漠,2024,44(3): 172-181.

# 黄河流域新型城镇化与水生态环境 耦合协调的时空格局及影响因素

张胜武<sup>a</sup>,葛宇梦<sup>a</sup>,李小龙<sup>b</sup>,宋马林<sup>b</sup>

(安徽财经大学 a.工商管理学院, b.统计与应用数学学院,安徽 蚌埠 233030)

**摘要:**厘清城镇化与水生态环境之间的耦合关系及其影响因素,对促进黄河流域生态保护和高质量发展具有重要意义。在理论揭示新型城镇化与水生态环境耦合作用机理的基础上,利用耦合协调度及空间计量模型分析二者耦合协调的时空格局及其影响因素。结果表明:(1)黄河流域新型城镇化和水生态环境耦合协调度趋好但总体水平低,总体由濒临失调逐步发展到初级协调,下游耦合协调发展水平高于中上游。(2)黄河流域新型城镇化和水生态环境耦合协调度具有显著的空间溢出效应,影响强度下游>中游>上游。(3)黄河流域新型城镇化和水生态环境耦合协调发展的影响因素方面,政府能力正向推动本地但对邻近地区产生负向溢出效应,环境规制、人口集聚抑制本地耦合协调发展,资本积累通过正向溢出效应对全流域产生正向影响但对下游产生负向影响,工业化通过负向溢出效应阻碍全流域耦合协调发展,开放型、创新型经济仅对中游产生正向带动和外溢效应。

**关键词:**新型城镇化;水生态环境;耦合协调;空间杜宾模型;黄河流域

文章编号:1000-694X(2024)03-172-10

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2024.00024

中图分类号:F205

文献标志码:A

## 0 引言

第二次世界大战结束以来,全球城镇化快速推进,对包括水生态环境在内的整个资源环境系统带来巨大胁迫和挑战。在此背景下,城镇化与生态环境这两个复杂系统之间的交互耦合及协调发展,已成为全球性的战略问题和前沿难题,得到学术界的持续关注。当前,中国城镇化进入以提升质量为主的转型发展新阶段,党的二十大报告提出要深入实施区域协调发展战略和新型城镇化战略。水资源是新型城镇化战略实施的重要制约因素<sup>[1]</sup>,促进新型城镇化与水生态环境相协调,促进城镇化高质量发展与区域水生态环境承载力相适应,是推进人与自然和谐共生的中国式现代化面临的重大现实命题。

围绕城镇化与水资源环境之间的相互关系,国外学者较早开展针对性研究。代表性理论是20世纪初提出的城市蓝绿空间(BGS)理论,该理论认为

水生态作为生态环境的重要内容,保障经济社会发展和生态系统的可持续性<sup>[2]</sup>。后期学者关注水生态对城市发展的推动作用。城市水环境不仅在气温调节、心理保健、排水防洪等方面起到重要作用<sup>[3-5]</sup>,还提供生态系统服务和生态文化服务功能,对经济社会以及人类健康福祉产生影响<sup>[6]</sup>。水生态环境的公共属性引起的机会主义、搭便车等负外部性问题<sup>[7-8]</sup>,对城镇化发展产生的刚性约束不断凸显<sup>[9]</sup>。鉴于此,如何减少城镇化对水环境产生的负外部性问题<sup>[10]</sup>也得到学界重视,低影响城市设计与开发(LIUID)<sup>[11]</sup>、水敏感城市设计(WSUD)<sup>[12]</sup>等系列理论的提出均旨在通过城市规划设计来缓解城镇化对水生态环境的不利影响。国内方面,研究较早关注到西北干旱区水资源变化对城镇化的胁迫机制与规律<sup>[13-14]</sup>,为城镇化与水生态环境耦合研究提供了理论支撑<sup>[15-17]</sup>。2013年海绵城市理念的提出,开启统筹“城市化”与“自然化”城市水系统可持续发

收稿日期:2024-01-15; 改回日期:2024-02-02

资助项目:国家自然科学基金项目(71934001,71873001);国家社会科学基金一般项目(20BJL103);安徽省高等学校科学研究重大项目(哲学社会科学,2023AH040043)

作者简介:张胜武(1983—),男,安徽肥东人,博士,副教授,研究方向为区域资源环境与经济。E-mail: zswsky@163.com

展的新阶段<sup>[18]</sup>。伴随新型城镇化和水生态文明建设战略的提出与推进,城镇化与水生态环境之间的复杂影响作用被国内学者不断实证,主要通过耦合协调度模型<sup>[19-21]</sup>、灰色关联模型<sup>[22]</sup>、空间计量模型<sup>[23]</sup>以及系统动力学模型<sup>[24]</sup>等实证探究城镇化与水资源利用、水资源环境之间的发展关系。

综合来看,围绕城镇化与水生态环境相互关系研究已取得丰硕成果,但仍存在不足。第一,从研究视角看,鲜见开展新型城镇化与水生态环境系统耦合机理的理论探讨。此外,现有研究对新型城镇化的全面性把握不够,对新型城镇化的复合影响效应刻画不足。第二,从研究内容看,流域具有要素禀赋的空间耦合性、内在联系的空间制约性,但学术界对流域城镇化及水生态环境明显存在的溢出效应关注不足,影响对耦合协调的关键因素识别,对黄河流域等特殊地理经济区的案例研究也需拓展。城镇化是实现工业化和现代化的必由之路<sup>[25]</sup>,处于快速增长期的黄河流域城镇化发展水平低于全国平均水平<sup>[26]</sup>,且其生态环境本底脆弱<sup>[27]</sup>,水资源已成为黄河流域高质量发展面临的重大瓶颈约束<sup>[28-29]</sup>。鉴于此,面向黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略,以黄河流域60个地级市为研究对象,深入研究新型城镇化与水生态环境耦合辩证关系与一般规律,解析新型城镇化与水生态环境耦合协调的时空演变,并运用空间计量模型捕捉耦合协调的空间效应及其影响因素,以期为促进黄河流域生态保护和高质量发展提供科学依据。

## 1 新型城镇化与水生态环境耦合协调机理

从发展进程来看,中国城镇化经历了最初的缓慢发展以及改革开放后的高速发展阶段,当前已进入高质量发展阶段<sup>[30]</sup>。城镇化与水生态环境耦合过程中的相互反馈、相互响应效应<sup>[31]</sup>以及中国城镇化阶段性发展的特殊性,驱动城镇化与水生态环境之间的耦合沿着低耦合-高协调、低耦合-低协调、高耦合-低协调、高耦合-高协调的路径演变。具体而言,在城镇化缓慢发展阶段,对产业结构、用水结构调整能力有限,城镇化与水生态环境交互耦合程度低,水生态环境系统尚能消化城镇化带来的负外部性,使得二者耦合呈低耦合-高协调的假性协调状态。在城镇化高速发展的初期积累阶段,人口、经济、社会 and 土地城镇化的不断发展促使人口集聚

和生产生活空间扩大,资源竞争与污染转移<sup>[32]</sup>使得水生态环境承载力接近阈值,对水生态环境的开发利用逐渐偏离其自身演化规律,人地(水)关系进入矛盾频发阶段,使得二者耦合呈低耦合-低协调的失衡状态。在城镇化高速发展的基础性发展阶段,人地(水)之间物质循环、能量转换的广度深度远超历史时期<sup>[33]</sup>,城镇化与水生态环境耦合作用力度强,以经济为中心的行動范式导致资源环境压力不断加剧<sup>[34]</sup>,水生态环境保护的结构性、根源性、趋势性压力尚未根本缓解,二者耦合呈高耦合-低协调的拮抗发展状态。伴随城镇化发展从高速度转向高质量阶段,创新成为引领经济发展的第一驱动力,绿水青山就是金山银山的绿色效应凸显,相应的动能转换、产业升级以及城市转型促使城镇化与水生态环境承载力实现匹配契合<sup>[35]</sup>,二者耦合呈高耦合-高协调的加速协调阶段。

在二者耦合从不协调向协调逐渐演化的过程中,还会产生社会、经济、生态、文化以及复合价值(图1)。在城镇化迈向高质量发展的升级演化中,经济价值体现在高耗能高污染产业逐渐被淘汰,产业结构不断升级,从而产生绿色经济效益、促进区域经济转型发展;社会效益体现“良好生态环境是最普惠的民生福祉”,百姓富与生态美相统一;生态价值体现在资源利用逐渐集约高效,“绿水青山”的生产要素和生产力属性也得到认同与不断践行;文化价值体现在对过往人地(水)失衡模式的自觉反思和科学重塑,包括“两山论”在内的水生态文明逐渐被认识、理解和贯彻,人水和谐的文化价值也进

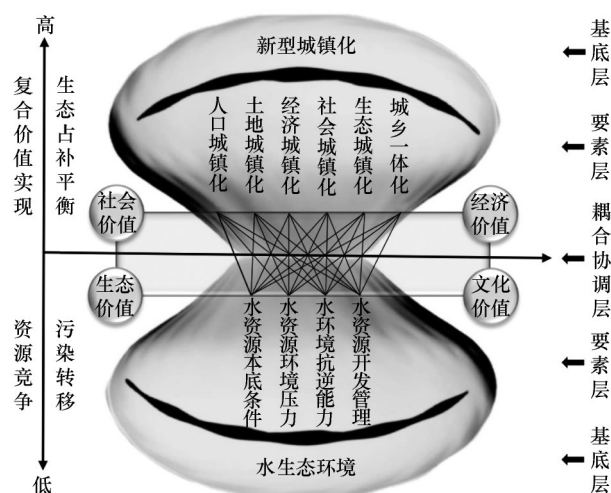


图1 新型城镇化与水生态环境耦合协调机理

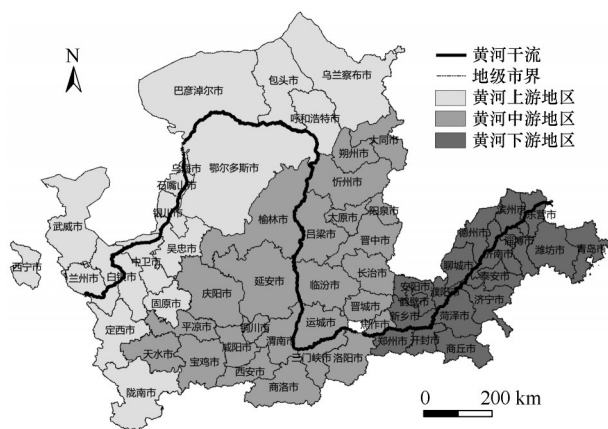
Fig.1 Mechanism of coupling coordination between new urbanization and water ecological environment

一步促进其经济、社会和生态价值得到强化。经济、社会、生态和文化价值之间相互作用、相互反馈,从而进一步形成复合价值。总体而言,“四阶段”是二者耦合协调发展的演化路径,“五价值”是二者耦合协调发展的具体内容。

## 2 数据与研究方法

### 2.1 研究区概况

黄河源于青藏高原巴颜喀拉山脉,自西向东流经青海等9个省区,最终汇入渤海。黄河流域横跨中国东、中、西三大地形阶梯,是中国重要的生态安全屏障,在国家发展大局中具有十分重要的战略地位。考虑空间地域单元的完整性以及黄河直接关联性<sup>[36]</sup>,借鉴相关研究成果<sup>[37-38]</sup>,研究区界定为黄河流域的60个地级市(图2)。济南市、阿拉善盟、阿坝藏族羌族自治州、甘南藏族自治州、临夏回族自治州、海北藏族自治州、海南藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、黄南藏族自治州、果洛藏族自治州、玉树藏族自治州以及海东市缺失数据较多,数据可获得性差,不纳入研究区域范围。2019年莱芜市行政区划调整,考虑统计口径一致性并借鉴已有研究<sup>[39-41]</sup>,将其数据汇总至济南市。上、中、下游地区划分<sup>[39-40]</sup>如图2所示。



注:基于自然资源部标准地图服务网站标准地图(审图号:GS(2019)1822)制作,底图边界无修改

图2 研究区示意图

Fig.2 Schematic diagram of the study area

### 2.2 数据来源与处理

新型城镇化数据来源于各省统计年鉴、各地级市统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报,水生态环境数据来源于各省水资源公报,少量缺失数据

通过相关政府部门(如统计局、生态环境局等)信息公开申请、政务网站网络留言等渠道获取。涉及地区生产总值等经济发展类数据均以2006年为基期进行消胀处理,同时指标量级尽量采用地均、人均、百分比等单位,以评价其实际发展水平。

### 2.3 评价指标体系构建

城镇化发展具有多维性<sup>[42]</sup>,需要综合评价法反映其总体特征和发展水平<sup>[20,42]</sup>。与传统发展模式相比,新型城镇化是人地和谐、生态环保、高效低碳、节约创新的质量提升型城镇化<sup>[35]</sup>,强调“以人为本”的典型特征<sup>[30]</sup>,人口城镇化是提升城镇化质量的根本途径<sup>[30]</sup>,最终要实现城乡融合发展<sup>[35]</sup>。为此,遵循《国家新型城镇化规划(2021—2035年)》精神,借鉴已有研究成果<sup>[25,34,43-45]</sup>,构建不仅包含人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化等传统城镇化发展内容,还突出基本公共服务均等化、生态城镇化以及城乡一体化等城镇化高质量发展内容的综合评价指标体系对新型城镇化进行测算。《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》强调对水资源、水污染、水生态等要素进行系统治理,借鉴已有研究成果<sup>[20,46]</sup>并考虑黄河流域发展特征<sup>[47]</sup>,构建包含水资源本底条件等4个一级指标、14个二级指标的综合评价指标体系对水生态环境发展水平进行测算(表1)。

### 2.4 研究方法

在熵权法求权重<sup>[25,27,39,42,48]</sup>以及测算新型城镇化与水生态环境综合评价结果的基础上,主要采用了耦合协调度模型<sup>[20-21,25-27,48-49]</sup>和空间计量模型<sup>[38,50]</sup>进行计算。

## 3 结果与分析

### 3.1 新型城镇化与水生态环境耦合协调的时空格局特征

#### 3.1.1 时序发展变化

2006—2021年,黄河流域新型城镇化与水生态环境之间的耦合度值均在0.8以上,保持高度耦合状态,说明黄河流域新型城镇化与水生态环境交互联系密切,二者相互依赖度较高(图3)。但从发展趋势看在逐渐下降,这是由于部分城市从高耦合层次逐降到磨合层次,处于磨合层次的城市数量占比由2006年的6.7%上升到2021年的21.7%。



表 1 新型城镇化与水生态环境评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of new urbanization and water ecological environment

$U_1$	准则层	指标层/指标属性	$U_2$	准则层	指标层/指标属性
新型城镇化	人口城镇化	城镇人口比例/+	水生态环境	水资源本底条件	人均水资源占有量/+
		城镇人口密度/+			人均城镇供水总量/+
		二三产业从业人员比重/+		水资源环境压力	万元 GDP 污水排放量/-
	土地城镇化	建成区面积占城区面积比例/+			万元工业增加值工业废水排放量/-
		人均城市道路面积/+			农业灌溉用水比重/-
		人均公园绿地面积/+			用水超载率/-
	经济城镇化	GDP 增长率/+	水环境抗逆能力		城市污水处理率/+
		财政收入增长率/+			万元 GDP 用水量/-
		非农产业增加值占 GDP 比例/+			万元工业增加值工业用水量/-
	社会城镇化	万人绿色专利申请数/+	水资源开发管理		城市人均日生活用水量/-
		教育经费占财政支出比例/+			城市建成区供水管道密度/+
		每万人拥有公交车/+			城市建成区排水管道密度/+
		万人拥有医疗卫生机构床位数/+			城市供水综合生产能力/+
		社会保障就业性支出占比/+			城市用水普及率/+
		每万人互联网用户数/+			
		城市燃气普及率/+			
	生态城镇化	建成区绿化覆盖率/+			
		万元工业增加值工业烟尘排放量/-			
		生活垃圾无害化处理率/+			
		空气二级以上天数达标率/+			
	城乡一体化	一般工业固体废物综合利用率/+			
		城乡人均可支配收入比/-			
		城乡人均消费性支出比/-			

2006—2021 年,黄河流域新型城镇化与水生态环境之间的耦合协调度稳健上升,均值由 2006 年的 0.37 上升至 2021 年的 0.45,但由于黄河流域资源开发利用较为粗放、产业转型升级滞后等原因,城镇化对水生态环境的胁迫影响严重,且水生态环境对经济社会发展的约束效应较强<sup>[36]</sup>,导致二者耦合协调度总体水平低、升级慢(图 3)。

3.1.2 空间格局演变

2006、2011、2016、2021 年,黄河流域新型城镇化与水生态环境耦合协调度总体呈现濒危失调—初级协调—中级协调的演变趋势(图 4)。耦合协调度 2006 年保持在 0.26~0.47,协调类型以濒危失调为主(占比 69%),达到初级协调的城市主要集中在下游和部分中上游的省会城市和副省级城市;2011 年保持在 0.31~0.49,由濒危失调(占比 53.3%)逐渐向

初级协调(占比 46.7%)类型升级,仅朔州市协调类型发生退化;2016 年保持在 0.34~0.53,初级协调占比增至 65%,濒危失调占比减至 35%,濒危失调城市仍集中在黄河上游和中游段,且中游咸阳、下游鹤壁退化;2021 年保持在 0.37~0.60,初级协调类型占比增至 86.7%,上游中卫与平凉、中游延安与朔州、下游商丘仍属濒危失调,中游西安、下游济南在 2021 年首次达到中级协调。总体而言,耦合协调水平升级较慢,主要由濒危失调升级为初级协调,且有 20% 的城市耦合协调类型在研究期内发生退化。当前黄河流域城镇化尚处于基础性发展阶段,发展质量相对滞后,快速发展的城镇化与脆弱的水生态环境本底之间尚未形成有效配合、协调推进的耦合联动,城镇化发展与水资源环境消耗尚未实现完全脱钩。依据前文揭示的耦合协调理论机理,当前耦

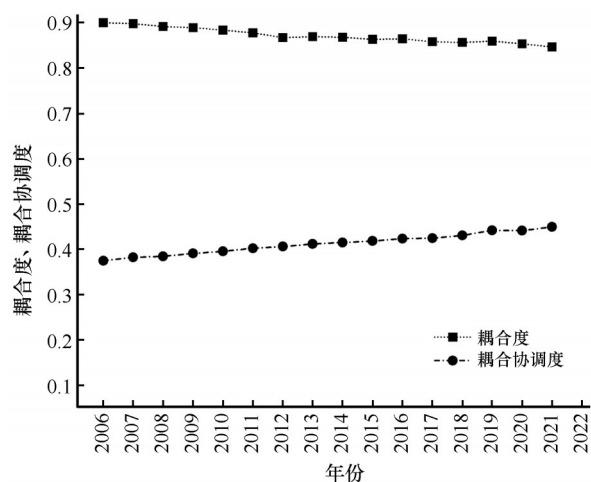


图3 黄河流域新型城镇化和水生态环境耦合协调度  
时序演变

Fig.3 Time-series evolution of the coupling coordination degree of new urbanization and water ecological environment in the Yellow River Basin

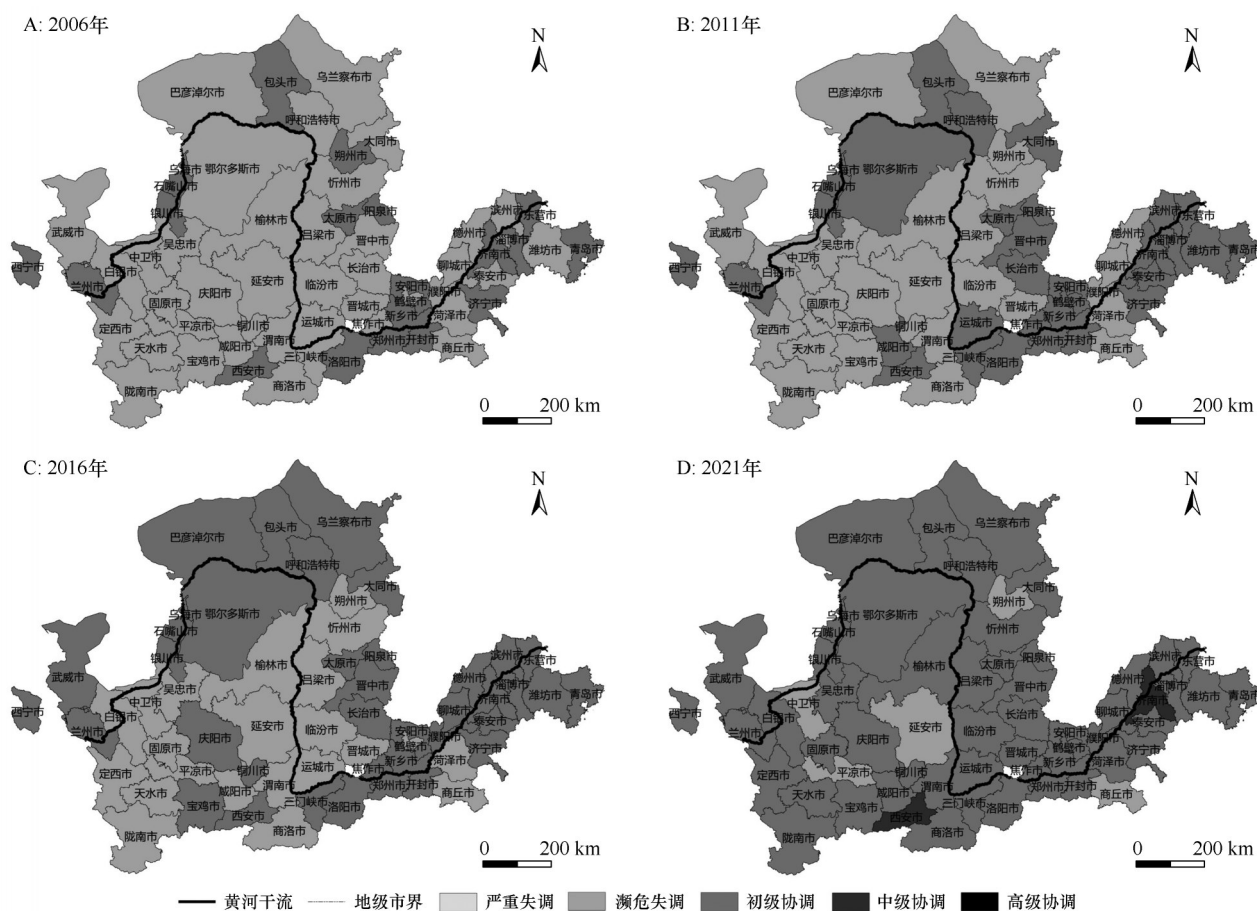
合处于磨合失衡转向拮抗发展阶段,黄河流域新型城镇化发展和水生态文明建设任重道远。同时,耦

合协调发展的区域差异性显著,城镇化与经济发展水平相对发达的下游地区的耦合处于拮抗发展转向协调发展阶段,其耦合协调水平明显高于上游、中游,且协调类型的更新突破较早出现在省会城市,这与赵建吉等<sup>[25]</sup>研究结果相一致。

### 3.2 新型城镇化与水生态环境耦合协调的空间效应及影响因素

#### 3.2.1 空间计量模型遴选与设定

水生态问题多会通过水环流、水扩散等自然因素以及产业转移等经济机制影响到邻近地区<sup>[49]</sup>,忽略其固有的空间效应得到的实证研究结果可能存在偏误,为此引入空间计量模型进一步分析耦合协调度的空间溢出效应及其影响因素。比对空间滞后模型(SAR)、空间误差模型(SEM)和空间杜宾模型(SDM)的LM检验以及Robust LM等一系列检验结果表明,SDM模型的Wald和LR统计量检验结果均在1%水平上显著,且其拟合优度和对数似然值



注:基于自然资源部标准地图服务网站标准地图(审图号:GS(2019)1822)制作,底图边界无修改

图4 2006、2011、2016、2021年黄河流域耦合协调度空间演变

Fig.4 Spatial evolution of coupling coordination in the Yellow River Basin in 2006, 2011, 2016 and 2021

更大,为此引入 SDM 模型更合适。同时,Hausman 统计量检验结果在 1% 水平上显著,确定选择固定效应优于随机效应。

新型城镇化与水生态环境的耦合协调发展受多种因素影响,参考已有研究并考虑黄河流域发展现状及特色,选取 7 项指标纳入空间计量模型,进一步分析影响耦合协调度的关键因素及其具体影响效应。①工业化水平(ind)。黄河流域工业化总体处于中期发展阶段,重工业化特征明显<sup>[25]</sup>,粗放的工业发展模式影响流域高质量发展。②科技投入(stl)、环境规制(enr)。生态脆弱是黄河流域的最大问题,而高质量发展不充分是最大短板,在加大科技创新投入力度<sup>[50]</sup>以推动新旧动能转换的同时,需要加强环境治理<sup>[51-52]</sup>推动流域绿色发展。③人口规模(per)。水资源是黄河流域最大的刚性约束,需要合理规划人口、城市和产业发展。④政府能力(gov)、资本积累(pfi)、对外开放程度(ope)。研究表明新型城镇化和生态环境的协调发展依赖于政府推动<sup>[26]</sup>、资金保障<sup>[25]</sup>以及对外开放<sup>[25-26]</sup>等因素。为缩小数据之间的绝对差异,避免异方差,对 7 项指标原始数值取对数处理再纳入空间计量模型。

3.2.2 空间计量模型参数估计

为保障研究结果的稳健性,采用邻接( $W_1$ )以及经济距离( $W_2$ )两种空间权重矩阵进行空间计量模型估计。结果显示:第一,全流域、上中下游不同流域耦合协调度的空间自相关系数  $P$  均显著,验证了空间因素纳入本研究的必要性。第二,空间自相关系数均为正数,表明耦合协调度总体上具有空间关联和正向溢出效应,即耦合协调度存在明显的集聚与示范带动作用。第三,两种空间权重矩阵下  $P$  值方向一致、显著性相同,证实 SDM 模型参数估计结果的稳健性。从  $P$  值系数看,影响强度下游>中游>上游(表 2)。

3.2.3 空间效应分解及影响因素

空间杜宾模型估计系数只显示各变量对新型城镇化与水生态环境耦合协调度的影响方向和显著性,不能直接反映其真实的偏回归系数。为此在考虑偏微分估计的情况下,将各变量对耦合协调度的影响效应进行分解(表 3)。

就全流域而言:①政府能力的直接效应系数显著为正、间接效应系数显著为负,表明政府能力对本地耦合协调度起正向推动作用,对邻地起负向抑制作用,这反映出当前黄河流域各地政府更多关注

表 2 空间杜宾模型参数估计结果  
Table 2 Parameter estimation results of spatial Durbin model

空间权重矩阵	参数	全流域	上游	中游	下游
$W_1$	$P$	0.119*** (2.707)	0.229*** (3.404)	0.267*** (4.494)	0.311** (1.999)
	$R^2$	0.907	0.871	0.918	0.961
	Log-L	1 777.054	436.828	804.592	690.569
$W_2$	$P$	0.245* (1.867)	0.429*** (2.863)	0.551*** (3.408)	0.659*** (3.569)
	$R^2$	0.906	0.881	0.918	0.966
	Log-L	17 773.412	446.170	808.524	704.598
解释变量	是	是	是	是	是

注:(1)\*、\*\*、\*\*\*分别表示 10%、5%、1% 的水平上显著;(2)括号内为  $t$  值。

本地水生态文明建设、更多“单打独斗”而缺乏区域联动,水生态环境治理的统筹协调机制亟需加强。②人口规模的直接效应显著为负,表明黄河流域人口规模集聚过快与其本底脆弱的水生态承载力不相匹配,这与任保平等<sup>[26]</sup>、曾刚等<sup>[50]</sup>研究结果一致,从而不利于整体系统的耦合协调发展。③资本积累的间接效应和总效应显著为正,表明资本积累主要通过正向溢出效应对耦合协调度产生正向提升作用。④环境规制的直接效应和总效应显著为负,其对耦合协调产生抑制作用,可能原因在于为追求区域经济增长,沿黄城市将环境规制手段作为争夺流动性资源的博弈工具,存在非合作博弈关系<sup>[52]</sup>,“逐底竞赛”产生的负外部性制约耦合协调发展。⑤工业化水平的直接效应为负,不显著,间接效应和总效应显著为负,说明工业化对耦合协调度的抑制作用主要来自其负向溢出效应。工业化是中国城镇化的主要驱动力,而黄河流域第二产业多集中在能源化工领域<sup>[25]</sup>,工业化发展水平粗放、发展路径存在锁定效应,对耦合协调总体产生负向影响。同时,水资源的天然流动性、水污染的负外部性引发资源与经济要素扩散,导致本地工业化对邻近地区耦合协调程度产生负面影响。这也验证当前耦合处于拮抗阶段的黄河流域亟需转型工业化推进方式、升级产业结构。⑥对外开放、科技投入对耦合协调程度解释力不显著,说明外向型经济、创新驱动对黄河流域耦合协调缺乏足够影响作用。



表3 空间效应分解结果  
Table 3 Results of decomposed spatial effects

变量	直接效应				间接效应				总效应			
	全流域	上游	中游	下游	全流域	上游	中游	下游	全流域	上游	中游	下游
$LN_{gov}$	0.029** (2.141)	0.023* (0.902)	0.048* (1.960)	0.133*** (5.968)	-0.087*** (-3.830)	-0.079* (-1.735)	-0.144** (-2.470)	-0.077* (-1.742)	-0.058** (-2.305)	-0.055 (-0.964)	-0.095* (-1.501)	0.055 (1.246)
$LN_{per}$	-0.092*** (-4.327)	-0.150** (-2.746)	-0.106*** (-3.691)	-0.161*** (-4.015)	0.071 (1.564)	0.105 (0.962)	-0.195** (-2.596)	-0.148 (-1.524)	-0.021 (-0.404)	-0.044 (-0.338)	-0.300*** (-3.239)	-0.308** (-2.759)
$LN_{pfi}$	-0.002 (-0.839)	0.003 (-0.515)	0.009** (2.550)	-0.009** (-2.666)	0.015*** (3.414)	0.025* (1.941)	-0.004 (-0.456)	0.001 (0.257)	0.013*** (2.706)	0.022 (1.268)	-0.005 (-0.572)	-0.008 (-1.480)
$LN_{enr}$	-0.011*** (-4.690)	-0.004* (-0.645)	-0.014*** (-3.626)	-0.015*** (-4.461)	-0.007 (-1.420)	-0.018 (-1.496)	0.005 (0.767)	0.003 (0.651)	-0.018*** (-3.342)	-0.021 (-1.335)	-0.006 (-0.583)	-0.011* (-1.947)
$LN_{ope}$	-0.001 (-0.188)	-0.003 (-1.665)	0.003*** (2.870)	-0.001 (-0.370)	0.003 (0.212)	0.003 (1.018)	0.004* (1.123)	-0.008** (-2.326)	0.002 (0.112)	0.003 (0.127)	0.007* (1.900)	-0.009** (-2.381)
$LN_{sti}$	0.005 (1.267)	-0.001 (-0.125)	0.013** (2.219)	0.004 (0.899)	-0.005 (-0.683)	-0.012 (-0.622)	0.028* (1.967)	-0.015 (-1.729)	-0.004* (-0.094)	-0.013 (-0.550)	0.041** (2.433)	-0.011 (-1.227)
$LN_{ind}$	-0.003 (-0.228)	0.037 (1.491)	-0.026 (-1.474)	-0.020 (-0.736)	-0.044* (-1.738)	-0.028 (-0.543)	-0.040 (-0.883)	0.033 (0.894)	-0.046* (-1.699)	0.009 (0.151)	-0.066 (-1.248)	0.013 (0.393)

注:(1)\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的水平上显著;(2)括号内为 $t$ 值。

分流域来看:①政府能力的直接、间接影响方向在上、中、下游与全流域保持一致,进一步验证跨地区跨部门的流域水生态协同治理体系建设的紧迫性,以解决政府能力对耦合协调的负向抑制性。②人口规模的直接效应在上、中、下游均显著为负,间接效应在中游显著为负。人口及相应经济要素的过度集聚,不仅会加剧本地水资源短缺矛盾、抑制其耦合协调发展,在中游还会阻碍邻近地区整体耦合协调,今后黄河流域需要适当放缓城镇化发展速度<sup>[26]</sup>,更多注重提升其发展质量。③资本积累的直接效应在中游显著为正、在下游显著为负,表明中游地区固定资产投资有利于促进其耦合协调,而对下游产生抑制影响,下游地区需要优化投资结构、注重投资质量和效益。④环境规制的直接效应在上、中、下游均显著为负,与全流域保持一致,黄河流域沿线城市因经济增长晋升“锦标赛”而在一定程度上放宽环境规制要求,从而对耦合协调度产生抑制影响。⑤对外开放、科技投入在中游地区的直接效应和间接效应均显著为正,说明中游地区开放型、创新型经济发展不仅有利于带动本地耦合协调发展,对邻近地区耦合协调度也产生带动效应。

### 3.2.4 稳健性检验

本文采用替换空间权重矩阵、分上中下游不同流域以及节选时间序列等3种方法进行稳健性检

验。其中,前两种方法结果的稳健性在表2~3已得到验证。2013年,水利部印发《关于加快推进水生态文明建设的意见》,自此各地方政府加强水生态文明建设。为此,节选2013—2021年的子时间序列数据进行稳健性检验。结果显示,新型城镇化与水生态环境的耦合协调度仍具有稳健的正向空间效应,各影响变量的显著性及其作用力与全研究期保持一致性。

## 4 结论与建议

黄河流域城镇化与水生态环境之间的耦合沿着低耦合-高协调、低耦合-低协调、高耦合-低协调、高耦合-高协调的路径演变。时空演变分析表明,2006—2021年黄河流域新型城镇化和水生态环境耦合协调度不断趋好,但总体处于低发展水平,类型由濒临失调逐步发展到初级协调,下游耦合协调水平高于中、上游。为促进新型城镇化与水生态环境耦合协调发展,黄河流域需要因地制宜采取差异化的推动策略。对于耦合协调度较低的中上游地区,要摒弃先破坏、后治理的粗放式城镇化发展模式,夯实城镇化发展的生态本底,提高新型城镇化与水生态环境承载力的匹配度,尽快实现与下游地区的趋同发展;对于耦合协调度较高的下游地区,要继续增强区域中心城市的集聚程度和辐射能

力,充分发挥高质量新型城镇化对水生态环境的改善效应,促进水生态文明建设。

黄河流域新型城镇化与水生态环境耦合协调度具有显著的空间溢出效应,即本地新型城镇化与水生态环境的耦合协调发展示范带动邻近地区。这预示着黄河流域各城市在推动自身新型城镇化和水生态文明建设中,既要敢于突破行政区划限制,争创黄河流域生态保护和高质量发展先行区、试验区,还须同时考虑与其周边邻近城市城镇化及水生态文明建设的协同治理和统筹机制,最终形成全流域联动互补的高质量耦合发展新格局。

新型城镇化与水生态环境耦合协调度的影响因素方面,政府能力正向推动本地耦合协调发展,但对邻近地区产生负向溢出,这预示着高质量耦合协调的实现,需要更好发挥地方政府在顶层设计及统筹协调方面的作用。人口过快集聚、环境规制不利于本地耦合协调发展,说明黄河流域在推动形成布局合理、分工协调的城镇适度规模体系的同时,沿黄城市还要更加注重运用合理有效的环境规制手段;资本积累通过对邻近地区的正向溢出效应对全流域产生带动作用,但在下游产生负向影响,下游地区需要优化投资结构、注重投资质量和效益;工业化通过对邻近地区的负向溢出效应而阻碍全流域耦合协调发展,黄河流域应重视以工业信息化、工业绿色化来建设低碳工业体系,为耦合协调尽早实现转型升级提供内在驱动力;开放型、创新型经济对本地及邻近地区耦合协调的正向带动效应仅在中游显著,上游和下游要依托沿黄口岸城市创新式发展外向型经济,通过创新驱动与技术进步促进高质量耦合形成。

需要指出的是,本文在充分借鉴已有研究的基础上构建综合评价指标体系对新型城镇化、水生态环境这两个复杂系统进行评价。但鉴于地级市长时间序列的部分指标(如水质、水污染排放)的数据可获性不足,文中水生态环境评价指标体系的代表性有待完善,在后续研究中,将考虑上中下游区域差异,因地制宜构建更具区域发展特色的评价体系,从而更科学、客观地评价新型城镇化与水生态环境之间的复杂耦合。

#### 参考文献:

- [1] 熊鹰,姜妮,李静芝,等.基于水资源承载的长株潭城市群适度规模研究[J].经济地理,2016,36(1):75-81.
- [2] 杨朝斌,张亭,胡长涛,等.蓝绿空间冷岛效应时空变化及其影响因素:以苏州市为例[J].长江流域资源与环境,2021,30(3):677-688.
- [3] Niamh S, Michail G, Abby C, et al. Factors influencing usage of urban blue spaces: a systems-based approach to identify leverage points[J]. Health and Place, 2022, 73(5): 1-13.
- [4] Völker S, Matros J, Claßen T. Determining urban open spaces for health-related appropriations: a qualitative analysis on the significance of blue space[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(13): 1-18.
- [5] Murrin E, Taylor N, Peralta L, et al. Does physical activity mediate the associations between blue space and mental health? A cross-sectional study in Australia [J]. BMC Public Health, 2023, 23: 1-9.
- [6] Kindermann G, Domegan C, Britton E, et al. Understanding the dynamics of green and blue spaces for health and wellbeing outcomes in Ireland: a systemic stakeholder perspective [J]. Sustainability, 2021, 13(17): 9553.
- [7] 邵帅,刘丽雯.中国水污染治理的政策效果评估:来自水生态文明城市建设试点的证据[J].改革,2023(2):75-92.
- [8] 郭贯成,崔久富,李学增.全民所有自然资源资产“三权分置”产权体系研究:基于委托代理理论的视角[J].自然资源学报,2021,36(10):2684-2693.
- [9] 黄永斌,曹蒙.地方政府竞争与黄河流域水资源利用效率[J].经济与管理评论,2023,39(3):23-34.
- [10] Lawson E, Thorne C, Ahilan S, et al. Delivering and evaluating the multiple flood risk benefits in blue-green cities: an interdisciplinary approach [J]. Flood Recovery, Innovation and Response, 2014, 184(4): 113-124.
- [11] Cerqueira L, Silva F. Methodological proposal for redesigning informal communities-constructing resilience in hydrological stress conditions [J]. Ambiente and Sociedade, 2016, 19(1): 123-141.
- [12] Ahammed F. A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable storm water management [J]. Sustainable Water Resources Management, 2017, 3(3): 269-282.
- [13] 方创琳,黄金川,步伟娜.西北干旱区水资源约束下城市化过程及生态效应研究的理论探讨[J].干旱区地理,2004(1): 1-7.
- [14] 鲍超,方创琳.干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析[J].地理学报,2008,63(11):1140-1150.
- [15] 鲍超.中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系[J].地理学报,2014,69(12):1799-1809.
- [16] 刘海猛,方创琳,李咏红.城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架[J].地理学报,2019,74(8):1489-1507.
- [17] 崔学刚,方创琳,刘海猛,等.城镇化与生态环境耦合动态模拟理论及方法的研究进展[J].地理学报,2019(6):1079-1096.
- [18] 杨默远,刘昌明,潘兴瑶,等.基于水循环视角的海绵城市系统及研究要点解析[J].地理学报,2020,75(9):1831-1844.
- [19] 热孜娅·阿曼,方创琳,赵瑞东.干旱区城镇化发展与水资源利用耦合协调研究[J].人民黄河,2022,44(4):67-73.



- [20] 张胜武,石培基,王祖静.干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析:以石羊河流域为例[J].经济地理,2012,32(8):142-148.
- [21] 林蔚,陈梓林,李晖.东江下游流域城水耦合协调关系评价及其影响因素[J].水资源保护,2022,38(4):66-74.
- [22] 郑德凤,徐文瑾,姜俊超,等.中国水资源承载力与城镇化质量演化趋势及协调发展分析[J].经济地理,2021,41(2):72-81.
- [23] 秦腾,章恒全,佟金萍,等.长江经济带城镇化进程中的水资源约束效应分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(3):39-45.
- [24] 曹祺文,鲍超,顾朝林,等.基于水资源约束的中国城镇化SD模型与模拟[J].地理研究,2019,38(1):167-180.
- [25] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].资源科学,2020,42(1):159-171.
- [26] 任保平,巩羽浩.黄河流域城镇化与高质量发展的耦合研究[J].经济问题,2022(3):1-12.
- [27] 孙久文,崔雅琪,张皓.黄河流域城市群生态保护与经济发展耦合的时空格局与机制分析[J].自然资源学报,2022,37(7):1673-1690.
- [28] 李汝资,白昶,周云南,等.黄河流域水资源利用与经济增长脱钩及影响因素分解[J].地理科学,2023,43(1):110-118.
- [29] 苗峻瑜.沿黄九省工业水资源效率及其影响因素的时空异质性[J].中国沙漠,2022,42(6):142-152.
- [30] 李兰冰,高雪莲,黄玖立.“十四五”时期中国新型城镇化发展重大问题展望[J].管理世界,2020,36(11):7-21.
- [31] 张胜武,石培基,金淑婷.西北干旱内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合机理[J].兰州大学学报(社会科学版),2013,41(3):110-115.
- [32] 杨福霞,杨早宁,董达峰.矿产资源开发、生态环境破坏与农业全要素生产率损失:以黄河流域为例[J].生态经济,2023,39(7):187-193.
- [33] 郝兆印,王成新,白铭月,等.“两山论”:人地关系理论的中国实践与时代升华[J].中国人口·资源与环境,2022,32(3):136-144.
- [34] 邵佳,冷婧.湖南武陵山片区新型城镇化与生态环境耦合协调发展[J].经济地理,2022,42(9):87-95.
- [35] 方创琳.中国新型城镇化高质量发展的规律性与重点方向[J].地理研究,2019,38(1):13-22.
- [36] 郭付友,高思齐,佟连军,等.黄河流域绿色发展效率的时空演变特征与影响因素[J].地理研究,2022,41(1):167-180.
- [37] 任保平,杜宇翔.黄河流域经济增长-产业发展-生态环境的耦合协同关系[J].中国人口·资源与环境,2021,31(2):119-129.
- [38] 睢党臣,张扬.黄河流域城市经济集聚对绿色发展效率的影响研究[J].甘肃社会科学,2022(5):217-227.
- [39] 郝金连,王利,孙根年,等.黄河流域高质量发展空间格局演进:基于新发展理念视角[J].中国沙漠,2022,42(6):266-276.
- [40] 吴孔森,孔冬艳,安传艳.黄河流域人地系统韧性时空演化及协调发展[J].中国沙漠,2023,43(6):246-257.
- [41] 任建辉,赖琳琳,何则,等.基于绿色专利的黄河流域绿色创新格局的时空演进及影响因素[J].世界地理研究,2023,32(9):78-92.
- [42] 赵雪雁,杜昱璇,李花,等.黄河中游城镇化与生态系统服务耦合关系的时空变化[J].自然资源学报,2021,36(1):131-147.
- [43] 宁启蒙,胡广云,汤放华,等.科技创新与新型城镇化相关性的实证分析:以长株潭城市群为例[J].经济地理,2022,42(8):81-86.
- [44] 戴一鑫,吕有金,卢泓宇.长江经济带服务业集聚对新型城镇化的影响研究:空间溢出效应的视角[J].长江流域资源与环境,2022,31(7):1413-1425.
- [45] 陈明星,叶超,陆大道,等.中国特色新型城镇化理论内涵的认知与建构[J].地理学报,2019,74(4):633-647.
- [46] 李跃红,蒋晓辉,张琳.黄河流域水资源节约集约利用能力评价[J].南水北调与水利科技(中英文),2023,21(4):731-741.
- [47] 牛玉国,王煜,李永强,等.黄河流域生态保护和高质量发展水安全保障布局 and 措施研究[J].人民黄河,2021,43(8):1-6.
- [48] 李光勤,李梦娇.黄河流域生态环境与共同富裕的耦合协调特征[J].中国沙漠,2023,43(6):210-219.
- [49] 孙黄平,黄震方,徐冬冬,等.泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J].经济地理,2017,37(2):163-170.
- [50] 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.
- [51] 李汝资,黄晓玲,刘耀彬.2010—2020年中国城镇化的时空分异及影响因素[J].地理学报,2023,78(4):777-791.
- [52] 李国平,延步青,王奕淇.黄河流域污染治理的环境规制策略演化博弈研究[J].北京工业大学学报(社会科学版),2022,22(2):74-85.

## Spatio-temporal pattern and influencing factors of the coupling coordination of new urbanization and water ecological environment in the Yellow River Basin

Zhang Shengwu<sup>a</sup>, Ge Yumeng<sup>a</sup>, Li Xiaosheng<sup>b</sup>, Song Malin<sup>b</sup>

(a. College of Business Administration / b. College of Statistics and Applied Mathematics, Anhui University of Finance & Economics, Bengbu 233030, Anhui, China)

**Abstract:** Clarifying the coupling relationship between urbanization and water ecological environment and its influencing factors has great significance for promoting the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. Based on the analysis of the coupling mechanism between new urbanization and water ecological environment, this paper analyses the spatial and temporal pattern of the coupling between the two systems and its driving factors by using the coupling coordination degree and spatial econometric model. The main conclusions are as follows: (1) From 2006 to 2021, the coupling coordination degree between new urbanization and water ecological environment in the Yellow River Basin had improved steadily but were overall low, which had risen from the stage of near imbalance to the stage of primary coordinated in general. Meanwhile, the coupling coordination degree of the downstream is greater than that of the middle reaches and upstream. (2) The coupling coordination degree has a significant spatial spillover effect, and the influence strength of the spatial spillover effect from high to low is the lower, middle and upper reaches of the Yellow River respectively. (3) Local government capacity has a positive promotion on the local coupling coordination but a negative spillover effect on that of neighboring cities; Local population agglomeration and environmental regulation negatively affect its own coupling coordination; Capital accumulation positively influences the coupling coordination of the whole study area through positive spillover effect, while with a negative influence in the downstream; The level of industrialization hinders the coupling coordination development in the whole basin through negative spillover effect; The open and innovative economy has positive impact and spillover effect only on the middle reaches. Differentiated strategies should be adopted to promote the coupling coordination development of new urbanization and water ecological environment across the Yellow River Basin.

**Key words:** new urbanization; water ecological environment; coupling coordination; spatial Durbin model; Yellow River Basin