

刘艳军,刘德刚,付占辉,等.哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合分异机制[J].地理科学,2018,38(5):662-671.[Liu Yanjun, Liu Degang, Fu Zhanhui et al. The Differentiation Mechanism of Coupling Degree Among Space Exploitation, Economy Development and Environment Evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(5): 662-671.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.05.003

哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合分异机制

刘艳军,刘德刚,付占辉,于会胜,祝丽媛

(东北师范大学地理科学学院,吉林 长春 130024)

摘要:通过构建空间开发、经济发展、资源环境水平的评价指标体系,引入耦合度概念,并应用变异系数、趋势面分析、回归分析等定量模型研究2000~2014年哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合分异特征及其影响机制,主要得到以下结论:① 2000年以来哈大巨型城市带各城市空间开发-经济发展-环境演变的耦合度均处在不同程度失调状态,且整体表现为“西高东低-南高北低”的空间格局,但耦合度水平总体趋于上升。哈长次区域和辽中南次区域以及哈大巨型城市带整体的耦合度波动性均先升高后下降,总体趋势不断向好;② 政府投入强度是2000年影响哈大巨型城市带各城市耦合度差异的重要作用因素,资本投入强度与科技投入规模是2007年、2014年2个阶段的主导影响因素,且城市发展能级差异与2007年各城市间的耦合度差异表现出一致性;③ 在政府投入强度、科技投入规模、资本投入强度等因素的共同作用下,哈长次区域空间开发-经济发展-环境演变的耦合程度出现空间分异。辽中南次区域耦合度分异的影响因素由人力资本效率和行政等级逐渐演变为以资本投入强度主导。

关键词:空间开发;经济发展;环境演变;耦合分异机制;哈大巨型城市带

中图分类号:F207 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2018)05-0662-10

空间开发、经济发展、环境演变是区域发展的重要表现特征,作为既相互独立又紧密联系的3个不同系统,三者均具有不同的特点和遵循规律。空间开发的直接表征是土地开发、人口集聚、资本与要素投入的程度,其集中反映了区域的投入强度。而经济发展则是区域开发的产出表征,集中表现为经济发展的速度、质量、规模以及产出效益的高低。同时空间开发及经济发展过程显著影响了环境的演变,而环境演变又会对空间开发、经济发展起到约束和制约作用。因此,空间开发-经济发展-环境演变之间的相互作用关系在一定程度上反映了区域发展的协调性与合理性。哈大巨型城市带^①作为东北地区工业化、城镇化发展核心区,集聚了大量的要素和发展资源,截至2014年

末,其总人口占东北地区人口总量的60%以上,GDP总量约占东北地区经济总量的80%,城镇化率达到56%^[1-3]。但近年来,受国内外大环境和自身产业结构、体制机制等因素影响,哈大巨型城市带人口外流、经济发展速度放缓、生态环境压力增大等问题也进一步凸显。因此,研究哈大巨型城市带空间开发、经济发展、环境演变的相互关系问题就显得十分迫切。

目前,国内外关于空间开发、经济发展、环境演变的相关研究主要集中在以下几个方面:一是关于空间开发利用的相关研究。大量已有研究从国土空间开发利用效率评估^[4],国土空间开发的合理布局^[5,6],国土空间开发建设的适宜性评价^[7,8]等视角展开了讨论。也有学者从历史视角出发,揭

收稿日期:2017-05-17;**修订日期:**2017-08-20

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(14YJA790035)、国家自然科学基金项目(41771172,41001099)资助。[Foundation: Funding Project of Education of Ministry for the Development of Liberal Arts and Social Sciences(14YJA790035), National Natural Science Foundation of China(41771172,41001099).]

作者简介:刘艳军(1981-),男,吉林镇赉人,博士,副教授,主要从事城市地理、城市与区域发展研究。E-mail:liuyj323@nenu.edu.cn

^① 本研究所指的哈大巨型城市带包括4个副省级城市(哈尔滨、长春、沈阳、大连)和14个地级市(黑龙江省:齐齐哈尔、大庆、绥化;吉林省:吉林、松原、四平、辽源;辽宁省:鞍山、本溪、抚顺、营口、盘锦、辽阳、铁岭)共计18个城市地域。

示了历史背景下东北地区土地开发的规律^[9];二是关于空间开发及其资源环境影响的相关研究。其中从微观区域到宏观区域对空间开发与生态环境的耦合协调关系进行的一系列深入探讨^[10-12],有关空间开发与生态环境响应、生态环境压力水平、资源环境承载力响应的研究进一步揭示了空间开发与资源环境的相互关系^[13-17]。三是关于经济发展与环境演变的相关研究。空间开发及经济发展过程中导致的资源消耗与环境污染问题不容忽视,如何合理处理各系统之间的关系变得十分重要^[18-21]。随着定量方法与分析模型的引入,利用相关模型与方法对未来区域经济发展与生态环境演变趋势的预测为城市和区域健康发展提供了指导^[22,23],同时,越来越多的研究开始从可持续发展的视角出发,为如何协调两者间的关系提出大量合理建议和方法指导^[24,25]。总体来看,关于空间开发、经济发展、环境演变相关问题的研究在不断深化,成果也在日益丰富。但已有研究在分析空间开发特征演变及其与经济发展、环境演变一般关系的基础上,需要进一步聚焦研究视角,从空间开发-经济发展-环境演变的相互作用关系入手,针对其耦合程度时空分异及其内在影响机制进行深入探讨。

基于此,本研究选取哈大巨型城市带作为研究区域,将研究视角拓展到空间开发、经济发展、环境演变的耦合作用关系,并引入耦合度概念,探讨2000~2014年哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的相互作用关系以及耦合演变时空分异特征,并试图解释其影响作用机制,力求为哈大巨型城市带空间开发、经济发展、环境演变三者间的协调推进提供理论支撑与实践借鉴。

1 研究方法 with 数据

1.1 指标体系构建

为定量评估空间开发、经济发展、资源环境演变特征,遵循系统性、科学性、可比性及数据可获得性等原则,并参考已有研究成果^[17],构建综合评价指标体系(表1)。从空间开发程度、空间开发投入、空间开发支撑3个方面构建区域空间开发综合评价指标体系,其中空间开发程度代表了区域土地开发和人口集聚的水平,空间开发投入代表了区域单位土地上的资本、要素投入水平,空间开发支撑则代表了区域空间开发的支持系统水平。经济发展水平的测度则从经济规模和发展速度、经

济结构优化、经济发展效益3个方面进行,其中经济规模和速度代表了区域经济发 展的量变水平,经济结构优化则代表了区域经济发展的质变水平,经济发展效益则代表了空间开发的效益产出。资源环境水平的测度从资源环境压力(负向指标)、资源环境状态、资源环境响应3个方面构建评价指标,其中资源环境压力反映了区域的资源消耗水平与污染物排放水平,资源环境状态代表了区域资源环境的承载水平,资源环境响应则反映了区域应对资源环境压力的水平。

在选取评价指标并进行二次处理的基础上,首先对各正负向指标分别进行标准化处理,然后运用熵值法计算指标信息熵值和信息效用值,计算评价指标权重^[26],最后得到空间开发水平指数、经济发展水平指数、资源环境水平指数,指数值越大,则分别代表空间开发水平、经济发展水平、资源环境水平越高,反之则越小。

1.2 耦合度模型

本研究引入空间开发-经济发展-环境演变耦合度,用来综合测度三者之间的相互作用程度,模型^[27]如下:

$$D = \sqrt[3]{\frac{f(x) \times g(y) \times h(z)}{\prod [f(x) + g(y) + h(z)]}} \times [\alpha f(x) + \beta g(y) + \lambda h(z)] \quad (1)$$

式中: D 是空间开发-经济发展-环境演变的耦合度; $f(x)$ 、 $g(y)$ 、 $h(z)$ 分别表示空间开发水平指数、经济发展水平指数和资源环境水平指数。 α 、 β 、 λ 为待定参数,由于空间开发是经济发展和资源环境演变的基础,其变化对其他2个方面均会产生重要影响,综合考虑后设定 $\alpha=0.4$ 、 $\beta=\lambda=0.3$ 。通常情况下,耦合度 D 值在0~1之间,其中0~0.3为严重失调,0.3~0.4为中度失调,0.4~0.5为轻度失调,0.5~0.7为低度协调,0.7~0.8为中度协调,0.8~1为良好协调。

1.3 变异系数模型

为进一步判断空间开发-经济发展-环境演变耦合度的空间分异特征,引入变异系数进行测度,其计算模型^[28]如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{v})^2} \quad (2)$$

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

表1 空间开发-经济发展-资源环境水平评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of space exploitation-economy development-resource and environment level

系统层	子系统层	指标层	2000年权重	2007年权重	2014年权重
空间开 发水平 A	空间开发程度(A_1)	A_{11} 人均城市建成区面积($\text{m}^2/\text{人}$)	0.0751	0.0636	0.0777
		A_{12} 建设用地面积占区域总面积比例(%)	0.0519	0.0497	0.0565
		A_{13} 人口密度($\text{人}/\text{km}^2$)	0.0666	0.0699	0.0759
		A_{14} 地均非农产业从业人员数($\text{人}/\text{km}^2$)	0.0361	0.0281	0.0290
	空间开发投入(A_2)	A_{21} 地均城镇固定资产投资额(万元/ km^2)	0.0897	0.0714	0.0874
		A_{22} 地均实际利用外资额(万美元/ km^2)	0.2077	0.2085	0.1550
		A_{23} 地均市政公用设施投资额(万元/ km^2)	0.0930	0.1514	0.1750
		A_{24} 地均科学事业费用支出(万元/ km^2)	0.1269	0.1583	0.1573
	空间开发支撑(A_3)	A_{31} 道路密度(km/km^2)	0.0479	0.0414	0.0689
		A_{32} 人均货运量($\text{t}/\text{人}$)	0.1847	0.0971	0.0704
		A_{33} 万人互联网用户数(户/万人)	0.0205	0.0605	0.0468
经济发 展水平 B	经济规模和速度(B_1)	B_{11} 人均GDP(万/人)	0.1808	0.1075	0.1091
		B_{12} 人均工业增加值(万/人)	0.0989	0.0653	0.0848
		B_{13} GDP增长率(%)	0.0300	0.0411	0.0219
		B_{14} 人均GDP增长率(%)	0.0483	0.0527	0.0686
	经济结构优化(B_2)	B_{21} 第二产业产值比重(%)	0.0506	0.0359	0.0485
		B_{22} 第三产业产值比重(%)	0.0191	0.0282	0.0341
		B_{23} 第二产业对GDP贡献率(%)	0.0417	0.1238	0.0480
		B_{24} 第三产业对GDP贡献率(%)	0.0262	0.1599	0.0326
	经济发展效益(B_3)	B_{31} 人均规模以上工业企业利润总额(万元/人)	0.3348	0.2337	0.2185
		B_{32} 人均财政收入(元/人)	0.0888	0.0830	0.1718
		B_{33} 城镇居民人均可支配收入(元)	0.0507	0.0237	0.1058
		B_{34} 农村居民人均纯收入(元)	0.0302	0.0452	0.0563
资源环 境水平 C	资源环境压力(C_1)	C_{11} 人均城市供水量($\text{m}^3/\text{人}$)	0.0550	0.0343	0.0359
		C_{12} 人均工业二氧化硫排放量($\text{t}/\text{人}$)	0.0326	0.0467	0.0649
		C_{13} 人均城市用电量($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{人}$)	0.0219	0.0417	0.0477
		C_{14} 人均工业废水排放量($\text{t}/\text{人}$)	0.0315	0.0455	0.0424
	资源环境状态(C_2)	C_{21} 人均耕地面积($\text{hm}^2/\text{人}$)	0.0175	0.0399	0.0271
		C_{22} 人均水资源量($\text{m}^3/\text{人}$)	0.1144	0.1375	0.1648
		C_{23} 森林覆盖率(%)	0.1169	0.1464	0.1434
		C_{24} 建成区绿化覆盖率(%)	0.1094	0.1217	0.1356
	资源环境响应(C_3)	C_{31} 工业废水排放达标率(%)	0.0928	0.0560	0.0548
		C_{32} 工业二氧化硫去除率(%)	0.0498	0.0385	0.0253
		C_{33} 城市生活污水处理率(%)	0.1794	0.1365	0.0610
		C_{34} 工业固体废弃物综合利用率(%)	0.0600	0.0624	0.0949
		C_{35} 城市生活垃圾无害化处理率(%)	0.0555	0.0613	0.0652

式中: CV 为哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度(D)的变异系数, σ 为 D 的标准差, \bar{v} 为 D 的平均值, x_i 为第 i 个空间单元的耦合度值, N 为空间单元的数量。一般来说, 变异系数越大, 波动程度越大, 反之越小。

1.4 耦合分异回归模型

基于区域空间开发、经济发展和环境演变的内在关系, 并结合哈大巨型城市带发展特征, 将耦合度空间格局演变的影响因素归结为城镇规模扩张、政府宏观调控、产出效益、产业结构演变、对外开放、资源利用水平、城市行政等级等方面。设定

哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度为因变量(y),城镇化率(x_1)、劳动生产率(x_2)、产业结构高级化指数(x_3)、人均R&D经费支出(x_4)、人均财政支出(x_5)、人均出口贸易总额(x_6)、单位建设用地非农产值(x_7)、人均固定资产投资(x_8)、单位工业产值用水量(x_9)、单位GDP耗电量(x_{10})、城市行政等级(x_{11})为自变量,构建线性回归模型^[29]:

$$y = \lambda_0 + \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \lambda_3 x_3 + \cdots + \lambda_{11} x_{11} + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中: y 为根据自变量 x 计算的估计值, λ_0 为常数项, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \cdots, \lambda_{11}$ 为 y 对应于 $x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{11}$ 的偏回归系数, ε_i 代表误差项,具体指标及涵义见表2。

1.5 数据来源

空间开发-经济发展-资源环境水平评价指标体系及其影响因素指标体系涉及众多指标及大量数据,县级尺度数据难以获取,基于数据可获得性的考虑,将地级及以上城市作为研究基本空间单元。本研究数据来源于2001~2015年《黑龙江统计年鉴》^[1]《吉林统计年鉴》^[2]《辽宁统计年鉴》^[3]《中国城市统计年鉴》^[30]以及各市统计公报,部分数据通过相关计算公式计算所得,个别缺失数据采用相邻年份插值法补齐。

2 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度空间分异

2.1 耦合度时空差异性特征显著

哈大巨型城市带2000~2014年各城市空间开

发-经济发展-环境演变的耦合度均处在不同程度的失调状态(图1),其中严重失调、中度失调城市居多,只有大连市、沈阳市处于轻度失调状态。但从发展趋势来看,绝大多数城市耦合度水平逐渐上升,整体协调程度趋好。具体而言,2000~2007年哈尔滨、长春、辽阳三市由严重失调转为中度失调,沈阳市由中度失调转为轻度失调。2007~2014年抚顺、本溪两市由严重失调转为中度失调。需要指出的是,大连市在3个阶段一直保持了轻度失调状态,空间开发-经济发展-环境演变的协调发展水平相对较好;哈大巨型城市带各城市之间空间开发-经济发展-环境演变耦合度的空间分布存在较大差异,整体上表现为“南高北低”格局,形成了以哈尔滨、长春为中心的哈长次区域和以沈阳、大连为中心的辽中南次区域,但两大次区域间空间开发-经济发展-环境演变耦合度水平差异较大,哈长次区域耦合度在3个阶段均以严重失调和中度失调为主,整体耦合水平显著低于辽中南次区域。

2.2 耦合度全局呈西高东低-南高北低格局

图2中 X 轴表示正东方向, Y 轴表示正北方向, Z 轴表示耦合度大小。绿色线条代表东西方向上耦合度的拟合曲线,蓝色线条代表南北方向上耦合度的拟合曲线。从曲线特征来看,2000~2014年哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度的趋势效应特征较为明显,呈现“西高东低-

表2 空间开发-经济发展-环境演变耦合度空间格局影响因素指标

Table 2 The influencing indicators of the spatial pattern of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution

影响因素	涵义	计算方法
城镇化率	城镇规模扩张	非农业人口/总人口
劳动生产率	人力资本效率	工业增加值/从业人口
产业结构高级化指数	产业结构水平	$IND = \sum_{i=1}^3 \sqrt{L_i} \times P_i$
人均R&D经费支出	科技投入规模	R&D经费支出/总人口
人均财政支出	政府投入强度	财政支出/总人口
人均出口贸易总额	对外开放程度	出口贸易额/总人口
单位建设用地非农产值	土地利用效益	市区非农产值/建设用地规模
人均固定资产投资	资本投入强度	固定资产投资额/总人口
单位工业产值用水量	资源利用效率	工业总产值/工业用水量
单位GDP耗电量	能源消耗水平	用电量/GDP
城市行政等级	城市发展能级	副省级城市赋值2,地级市赋值1

注:IND为产业结构高级化指数, L_i 为产业 i 的劳动生产率,即以各产业增加值除以各产业就业人数来表示, P_i 为产业 i 增加值占GDP的比重, $i=1,2,3$ 。

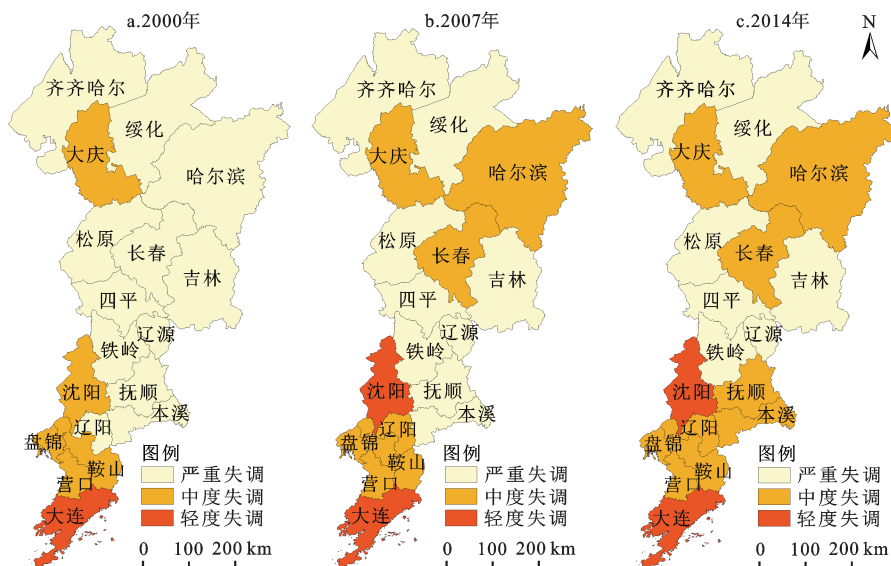


图1 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合度分异

Fig.1 The differentiation of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt

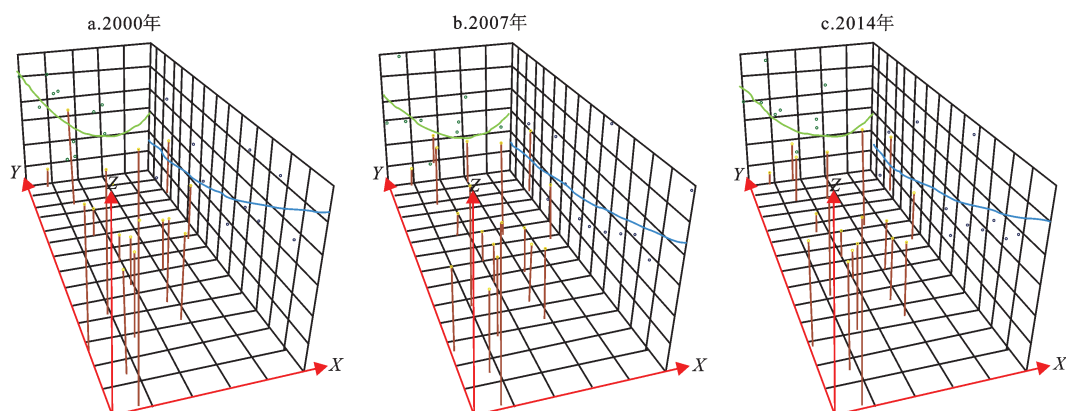


图2 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度的趋势面演化

Fig.2 The change of trend surface of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt

南高北低”的趋势。趋势效应存在明显变化,其中东西方向的曲线虽然表现为先下降后略微上升,但整体呈现下降趋势,西高东低的趋势略有缓和,说明哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合水平在东西方向上整体表现出减小趋势,区域发展趋于协调合理。南北方向的曲线,南部呈现先大幅下降后略微抬升的趋势,南高北低的趋势有所缓和。随着哈尔滨、长春两市耦合水平的提升,南北方向曲线表现出缓和趋势。这说明从全局来看,哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度水平在南北方向的差异逐渐

缩小,发展协调性得到改善。

2.3 耦合度离散程度呈先升后降态势

哈大巨型城市带整体、哈长次区域和辽中南次区域的空间开发-经济发展-环境演变耦合度变异系数(图3),总体呈“先上升后下降”的趋势,分别由2000年的0.256、0.244、0.171先上升到2007年的0.277、0.258、0.227,后下降为2014年的0.211、0.186、0.166,但总体呈现缩小趋势,说明区域内城市间空间开发-经济发展-环境演变耦合度波动减小,空间差异逐渐缩小,协调同步性逐渐向好。从横向对比来看,哈大巨型城市带整体耦合

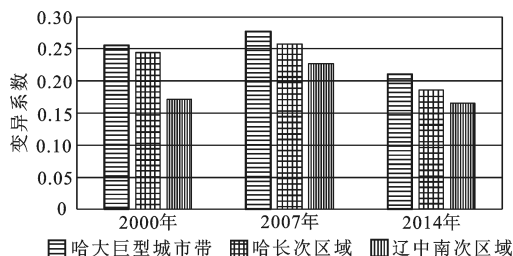


图3 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度的变异系数演变

Fig.3 The change of CV of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt

度的波动性在3个阶段均大于局部次区域,区域整体发展均衡性差异显著。而从局部来看,各次区域耦合度离散程度则有所改善。在不同时间段,哈大巨型城市带整体、哈长次区域、辽中南次区域耦合度的离散程度又略有差异,其中2000年三者的绝对差值最大,辽中南次区域比哈大巨型城市带整体和哈长次区域分别小0.084和0.073,说明辽中南次区域内部各城市间耦合度波动性更小,区域空间差异更小。2007年各区域变异系数绝对值普遍偏高,2014年则均表现出较低水平,说明哈大巨型城市带整体以及2个次区域的耦合度波动性均出现了先升高后下降的现象,但总体趋势不断趋好。

3 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合分异因素及作用机制

3.1 空间开发-经济发展-环境演变耦合分异的影响因素

3.1.1 哈大巨型城市带耦合度分异的影响因素

从回归结果来看(表3),2000年只有人均财政支出(x_5)与哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异存在正相关关系,回归系数为0.899,说明政府投入强度差异是影响各城市耦合度差异的重要作用因素。2007年人均固定资产投资(x_8)、人均R&D经费支出(x_4)、城市行政等级(x_{11})3个因素与哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异存在正相关关系,其中人均固定资产投资(x_8)的回归系数最高(0.527),其他2个因素回归系数分别为0.378和0.227,表明区域资本投入强度是这一时期各城市耦合度分异的主要影响因素,同时科技投入规模和城市发展能

表3 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异影响因素的回归模型

Table 3 The multiple regression model of influencing factors of the differentiation of coupling degree in Harbin-Dalian Giant Urban Belt

年份	回归模型	回归系数	t值	R ²
2000年	人均财政支出(x_5)	0.899***	8.194	0.796
2007年	人均固定资产投资(x_8)	0.527***	5.399	0.905
	人均R&D经费支出(x_4)	0.378***	3.962	
	城市行政等级(x_{11})	0.227**	2.408	
2014年	人均R&D经费支出(x_4)	0.485**	2.836	0.827
	人均固定资产投资(x_8)	0.483**	2.824	

注: ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$ 。

级也对各城市耦合度分异产生了重要影响。2014年人均R&D经费支出(x_4)、人均固定资产投资(x_8)2个因素仍与哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异存在正相关性,且影响程度基本相当,但城市发展能级在此阶段对各城市耦合度差异的作用不再显著,这也与此阶段哈大巨型城市带耦合度离散程度显著降低的现象基本吻合。

3.1.2 次区域耦合度分异的影响因素

哈长次区域2000~2014年空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异的影响因素整体上表现为受资本投入主导(表4),其中科技投入规模一直表现出显著的影响力,人均R&D经费支出(x_4)在3个阶段均与哈长次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异呈显著的正相关关系,回归系数分别为0.446、0.718、0.531,其中2007年影响作用最强,同时资本投入强度的影响也不容忽视,人均固定资产投资(x_8)的回归系数达到了0.372,对耦合度分异也产生了显著作用。其他2个时期除科技投入规模外,政府投入强度也对哈长次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异发挥了显著的正向影响,并且是这2个时期耦合度分异的主要作用因素。

辽中南次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异的影响因素与哈大巨型城市带、哈长次区域均有显著差异。2000年劳动生产率(x_2)与辽中南次区域耦合度空间分异存在显著的正相关关系,回归系数为0.942,表明这一时期区域人力资本效率差异显著推动耦合度分异。2007年城市行政等级(x_{11})与辽中南次区域耦合度分异存在显著的正相关关系,回归系数达到了0.953,表明城市发

表4 次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异影响因素的回归模型

Table 4 The regression model of the influencing factors of the spatial variation to coupling degree in sub-districts

次区域	时间	回归模型	回归系数	t 值	R^2
哈长次区域	2000 年	人均财政支出(x_5)	0.662***	4.928	0.888
		人均 R&D 经费支出(x_4)	0.446**	3.318	
	2007 年	人均 R&D 经费支出(x_4)	0.718***	5.238	0.885
		人均固定资产投资(x_8)	0.372**	2.712	
	2014 年	人均财政支出(x_5)	0.555***	3.985	0.894
		人均 R&D 经费支出(x_4)	0.531***	3.810	
辽中南次区域	2000 年	劳动生产率(x_2)	0.942***	7.423	0.871
	2007 年	城市行政等级(x_{11})	0.953***	8.297	0.895
	2014 年	人均固定资产投资(x_8)	0.903***	5.571	0.790

注: ** $P < 0.05$, *** $P < 0.01$ 。

展能级差异导致了各城市耦合度水平出现明显差异,行政等级高的城市耦合度相应的也高。2014 年人均固定资产投资(x_8)与耦合度分异存在显著的正相关关系,回归系数为 0.903,表明这一时期资本投入强度是辽中南次区域耦合度分异的主要影响因素。

3.2 空间开发-经济发展-环境演变耦合分异因素的作用机制

3.2.1 哈大巨型城市带耦合分异因素的作用机制

科技投入规模是区域科技创新水平的重要影响因素。科技水平差异会显著影响区域生产效率水平和资源利用效率。2003 年东北振兴战略实施以来,科技创新对哈大巨型城市带经济发展的重要作用显著提升,但科技投入规模和水平在不同城市间也存在着显著差异,例如长春市 R&D 经费支出从 2000 年的 17.0 亿元增长到 2014 年的 97.3 亿元,在哈大巨型城市带处于较高水平,相应地其空间开发-经济发展-环境演变耦合度水平也由 2000 年的 0.296 提高到 2014 年的 0.382。而科技投入较低的绥化、铁岭等城市,其耦合度水平也相对较低。总体来看,科技投入规模差异引致经济发展动力和创新能力的差异,并对城市生产效率、资源利用效率产生作用,使得区域间要素创新环境及城市吸引力表现出差异,导致各城市空间开发-经济发展-环境演变耦合度的空间分异。

资本投入强度是区域空间开发的直接反映,投资带来的需求拉动会对区域市场需求变化产生显著影响,并最终影响区域经济发展水平,同时,资本支撑下的大量开发活动有力促进了空间开发水平的提高。资本投入规模大的区域,大量的新

兴部门得以建立,效益产出也得到显著提升,从而使得空间开发和经济发展水平得到提高。总体而言,各城市资本投入强度的差异引致区域市场需求以及开发建设规模的分异,进而影响空间开发水平和资源环境水平的空间分异,导致空间开发-经济发展-环境演变耦合度的分异。例如 2007 年和 2014 年,沈阳市全社会固定资产投资额分别为 2 000 亿元和 6 000 多亿元,极大的拉动了市场需求,带动了经济社会发展建设,使得空间开发-经济发展-环境演变耦合度不断提升,由此表明资本投入强度与耦合度水平密切相关。

地方财政支出在经济社会发展、基础设施建设、环境保护等方面发挥着重要作用,政府投入一方面可以发挥宏观调控作用,显著影响城市经济社会发展。另一方面也显著提升了城市对人口、资本等要素的吸引能力,从而影响城市要素集聚能力,导致区域空间开发水平的差异,并对经济发展及其资源环境水平产生影响。例如 2000 年沈阳、大连财政支出达到 93.0 亿元、95.0 亿元,而绥化仅为 11.5 亿元,相应地,其耦合度水平也达到 0.367 和 0.407,远高于绥化的 0.144,这表明城市间财政支出存在着显著的差异,这些差异显著影响城市的空间开发水平、环境保护压力以及经济发展动力,进而导致哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合度的显著差异。

城市行政等级在一定程度上影响了城市发展的综合水平。一般而言,城市行政等级越高,城市发展能级越高,其城市职能更加全面,产业水平更加先进,所占有发展资源更多,有利于发展的政策、条件也更加丰富,提升了城市的要素集聚能

力,城市空间开发和经济发展水平也得到不断提升。相对于低等级城市,高等级城市在资源利用效率提升及生态环境保护等方面的资金投入、技术支持更加完善,从而对资源环境水平产生影响,使得空间开发-经济发展-环境演变耦合度也相对较高。例如作为副省级城市的大连、沈阳2市,其耦合度水平远高于其他地级市,这也在一定程度上解释了行政等级差异对耦合度分异的影响。

3.2.2 次区域耦合分异因素的作用机制

科技投入规模对哈长次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度分异的影响一直比较显著,科技投入规模差异导致生产效率、创新能力、资源利用效率差异,进而影响经济发展水平、空间开发水平以及资源环境水平,并最终导致耦合度的分异。例如长春市2007年和2014年科技投入规模分别达到35亿元和97亿元,而耦合度也表现出相应的较高水平,这在一定程度上印证了二者间的作用关系。同时,政府投入强度差异直接导致各城市公共服务水平以及要素集聚能力的差异,而资本投入强度差异导致的区域市场需求与开发规模差异,使得区域空间开发水平、经济发展水平表现出明显差异,并最终导致了哈长次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度的分异。

人力资本效率在2000年显著影响了辽中南次区域空间开发-经济发展-环境演变的耦合度分异,作为产出效益的直接体现,人力资本效率高的城市经济发展水平相对较高,进一步促进了产业结构优化升级,使得空间开发和经济发展过程中的资源利用效率更高。同时,城市发展能级差异导致的城市要素集聚能力差异也使得辽中南次区域空间开发-经济发展-环境演变耦合度呈现显著分异。资本投入强度的差异引致辽中南次区域空间开发、经济发展和资源环境水平的空间差异,例如2014年大连市固定资产投资额达到6 773亿元,极大地拉动了市场需求,带动了经济社会发展和城镇化建设,使得空间开发-经济发展-环境演变耦合度在辽中南次区域中处于较高水平。

4 结论

1) 2000~2014年哈大巨型城市带各城市空间开发-经济发展-环境演变耦合关系明显,其耦合度均处在不同程度的失调状态且空间差异较大,但耦合度水平总体趋于上升。从局部区域来看,

辽中南次区域的空间开发-经济发展-环境演变耦合度整体高于哈长次区域,且哈长次区域城市间耦合度差异更加明显。

2) 从哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变耦合分异的影响因素来看,2000年政府投入强度的差异与耦合度差异存在较为明显的同步性。资本投入强度与科技投入规模是2007年、2014年2个阶段的主导影响因素,且城市发展能级差异与2007年各城市间的耦合度差异表现出一致性;从次区域尺度来看,哈长次区域耦合度分异的影响因素主要表现为政府投入强度、科技投入规模、资本投入强度等的共同作用,而辽中南次区域耦合度分异的影响因素则相对单一,由人力资本效率和行政等级逐渐演变为以资本投入强度主导。

3) 哈大巨型城市带空间开发-经济发展-环境演变的耦合程度总体上升趋势明显,提升空间较大。未来发展需要重点关注空间开发、经济发展、环境演变整体协调,同时也要关注哈长次区域和辽中南次区域发展的差异性,促进区域整体发展。结合空间开发-经济发展-环境演变关系作用因素分析,在进一步加强科技创新与技术升级、提高区域资本投入等方面的基础上,应从促进产业结构优化、提高城镇化发展质量、加快开放合作发展等方面入手,着力提高哈大巨型城市带各城市创新驱动能力、生产效率、资源利用水平等,推动区域协调发展,促进空间开发-经济发展-环境演变失调城市逐步向协调发展方向转变,实现哈大巨型城市带整体发展质量提升。

参考文献(References):

- [1] 黑龙江省统计局.黑龙江统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2015.[Heilongjiang Provincial Bureau of Statistics. Heilongjiang statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2001-2015.]
- [2] 吉林省统计局.吉林统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2015.[Jilin Provincial Bureau of Statistics. Jilin statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2001-2015.]
- [3] 辽宁省统计局.辽宁统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2015.[Liaoning Provincial Bureau of Statistics. Liaoning statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2001-2015.]
- [4] 李涛,廖和平,潘卓,等.主体功能区国土空间开发利用效率评估——以重庆市为例[J].经济地理,2015,35(9):157-164.[Li Tao, Liao Heping, Pan Zhuo et al. Evaluation of efficiency differentiation in land spatial development and utilization of major

- functional areas based on DEA model: A case study of Chongqing City. *Economic Geography*, 2015,35(9):157-164.]
- [5] 樊杰,周侃,陈东.生态文明建设中优化国土空间开发格局的经济地理学研究创新与应用实践[J].*经济地理*,2013,33(1):1-8.[Fan Jie, Zhou Kan, Chen Dong. Innovation and practice of economic geography for optimizing spatial development pattern in construction of ecological civilization. *Economic Geography*, 2013,33(1):1-8.]
- [6] 樊杰,王亚飞,陈东,等.长江经济带国土空间开发结构解析[J].*地理科学进展*,2015,34(11):1336-1344.[Fan Jie, Wang Yafei, Chen Dong et al. Analysis on the spatial development structure of the Yangtze River Economic Belt. *Progress in Geography*, 2015,34(11):1336-1344.]
- [7] 吴艳娟,杨艳昭,杨玲,等.基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价——以宁波市为例[J].*资源科学*,2016,38(11):2072-2081.[Wu Yanjuan, Yang Yanzhao, Yang Ling et al. Land spatial development and suitability for city construction based on ecological-living-industrial space: Take Ningbo City as an example. *Resources Science*, 2016,38(11):2072-2081.]
- [8] 陈雯,孙伟,段学军,等.以生态-经济为导向的江苏省土地开发适宜性分区[J].*地理科学*,2007,27(3):312-317.[Chen Wen, Sun Wei, Duan Xuejun et al. Regionalization of potential land use in Jiangsu Province under eco-economic approach. *Scientia Geographica Sinica*, 2007,27(3):312-317.]
- [9] 方修琦,叶瑜,葛全胜,等.从城镇体系的演变看清代东北地区的土地开发[J].*地理科学*,2005,25(2):129-134.[Fang Xiuqi, Ye Yu, Ge Quansheng et al. Land exploitation in the Northeast China during the Qing Dynasty inferred from the development of town system. *Scientia Geographica Sinica*, 2005,25(2):129-134.]
- [10] 张引,杨庆媛,闵婕.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].*地理学报*,2016,71(5):817-828.[Zhang Yin, Yang Qingyuan, Min Jie. An analysis of coupling between the bearing capacity of the ecological environment and the quality of new urbanization in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5):817-828.]
- [11] 崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系[J].*经济地理*,2015,35(7):72-78.[Cui Muhua. The relationship of coupling coordination between urbanization and ecological environment: A case of urban cluster in the Central Plains. *Economic Geography*, 2015,35(7):72-78.]
- [12] 方创琳,周成虎,顾朝林,等.特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J].*地理学报*, 2016,71(4):531-550.[Fang Chuanglin, Zhou Chenghu, Gu Chaolin et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in Mega-urban Agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016,71(4):531-550.]
- [13] 王家庭,毛文峰.武陵山片区城镇化与生态环境响应的计量分析——以湘西自治州为例[J].*经济地理*,2016,36(6):148-154, 129.[Wang Jiating, Mao Wenfeng. Dynamic econometric analysis of the relationship between urbanization and ecological environment response in Wuling Mountain area: Take Xiangxi Autonomous Prefecture as example. *Economic Geography*, 2016,36(6):148-154, 129.]
- [14] 刘贺贺,杨青山,张郁.东北地区城镇化与生态环境的脱钩分析[J].*地理科学*,2016,36(12):1860-1869.[Liu Hehe, Yang Qingshan, Zhang Yu. Urbanization and eco-logical environment effect in Northeast China based on decoupling analysis. *Scientia Geographica Sinica*, 2016,36(12):1860-1869.]
- [15] 刘凯,任建兰,张理娟,等.人地关系视角下城镇化的资源环境承载力响应——以山东省为例[J].*经济地理*,2016,36(9):77-84.[Liu Kai, Ren Jianlan, Zhang Lijuan et al. Urbanization's resource environmental bearing capacity response from Man-Land relationship perspective: Take Shandong Province as an example. *Economic Geography*, 2016,36(9):77-84.]
- [16] Fang C, Liu H, Li G. International progress and evaluation on interactive coupling effects between urbanization and the eco-environment[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016,26(8):1081-1116.
- [17] 刘艳军,田俊峰,付占辉,等.哈大巨型城市带要素集聚程度与生态环境水平关系演变[J].*地理科学*,2017,37(2):172-180.[Liu Yanjun, Tian Junfeng, Fu Zhanhui et al. The evolution of the relationship between the degree of element agglomeration and the level of the ecological environment in the Harbin-Dalian giant urban belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2017,37(2):172-180.]
- [18] Ma L, Jin F J, Song Z Y et al. Spatial coupling analysis of regional economic development and environmental pollution in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013,23(3):525-537.
- [19] Peng C, Xiao H, Liu Y et al. Economic structure and environmental quality and their impact on Changing land use efficiency in China[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2017,11(2):1-13.
- [20] Sun Q, Zhang X H, Zhang H W et al. Coordinated development of a coupled social economy and resource environment system: A case study in Henan Province, China[J]. *Environment Development & Sustainability*, 2017(1):1-20.
- [21] Muyibi S A, Ambali A R, Eissa G S. The impact of economic development on water pollution: Trends and policy actions in Malaysia[J]. *Water Resources Management*, 2008, 22(4):485-508.
- [22] Digas B V, Rozenberg V L. Modeling of environmental-economic indicators of regional development[J]. *Computational Mathematics & Modeling*, 2017,28(4):550-560.
- [23] Wang C, Xie D, Liu Y. Regional industrial growth and environmental impacts in the Bohai Sea Rim Region of China: Uncertainty in Location Choice[J]. *Regional Environmental Change*, 2016,16(5):1363-1374.
- [24] Karlstetter N. Co-evolution and co-management of economic and ecological sustainability: A semantic approach to modeling climate adapted land use strategies in Northwestern Germany [M]//*Information Technologies in Environmental Engineering*. Berlin:Springer, 2011:213-227.
- [25] Jorgenson A K, Dietz T. Economic growth does not reduce the ecological intensity of Human Well-being[J]. *Sustainability Science*, 2014,10(1):1-8.

- [26] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其驱动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4):387-398. [Chen Mingxing, Lu Dadao, Zhang Hua. Comprehensive evaluation and the driving factors of China's urbanization. *Acta Geography Sinica*, 2009,64(4):387-398.]
- [27] 曹明秀,关忠良,纪寿文,等.资源型城企物流耦合系统的耦合度评价模型及其应用[J].物流技术,2008,27(6):45-49.[Cao Mingxiu, Guan Zhongliang, Ji Shouwen et al. Coupling degree evaluation model of resource-based city-enterprise logistics coupling system and its application. *Logistics Technology*,2008,27(6):45-49.]
- [28] 王志江,胡日东.修正加权变异系数:度量收入分配平等程度的有用指标[J].数量经济技术经济研究,2006(6):134-137.[Wang Zhijiang, Hu Ridong. Amended weighed coefficient of variation: The useful index for measuring the degree of income distribution equality. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2006 (6):134-137.]
- [29] 王利伟,冯长春.转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制——基于夜间灯光数据方法[J].地理学报,2016,71(12):2155-2169.[Wang Liwei, Feng Changchun. Spatial expansion pattern and its driving dynamics of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region: Based on Nighttime Light Data. *Acta Geographica Sinica*,2016,71(12):2155-2169.]
- [30] 国家统计局城市社会经济调查司.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2001-2015.[Bureau of Urban Social and Economic Research, National Bureau of Statistics. *China city statistical yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2001-2015.]

The Differentiation Mechanism of Coupling Degree Among Space Exploitation, Economy Development and Environment Evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt

Liu Yanjun, Liu Degang, Fu Zhanhui, Yu Huisheng, Zhu Liyuan

(School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China)

Abstract: In order to reveal the coupling relationships among space exploitation, economy development and environment evolution, we introduce the concept of coupling degree and build the evaluation index system which includes 36 indicators embodying these three aspects. By using variable coefficient method, trend surface model and multiple regression model, we analyze the characteristics and mechanism of the differentiation of coupling degrees among space exploitation, economy development, environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt during 2000-2014. The results show that: 1) The coupling degrees of space exploitation, economy development and environment evolution have demonstrated different levels of imbalance since 2000, and the degrees in west area are higher than those in east area. Even so, the coupling degrees are overall rising. The coupling degrees in Harbin-Changchun sub-district, the central and southern Liaoning Province sub-district and Harbin-Dalian Giant Urban Belt rose at the beginning, then reduced, which shows a good trend on the whole. 2) Government investment had a significant effect on the differentiation of coupling degree in Harbin-Dalian Giant Urban Belt in 2000. Science and technology input intensity and capital input intensity are the leading factors in 2007 and 2014. The differences of urban development energy level and coupling degree among cities were consistent in 2007. 3) Under the influence of science and technology input, government input and capital input, in Harbin-Changchun sub-district, the coupling degrees among space exploitation, economy development and environment evolution show significant differences, but in central and southern Liaoning Province sub-district, the influencing factors of differentiations of coupling degree changed gradually from human capital efficiency and administrative rank to capital input intensity.

Key words: space exploitation; economy development; environment evolution; differentiation mechanism of coupling degree; Harbin-Dalian Giant Urban Belt