Study on the Spatial-Temporal Coupling Relationship between Economic Development and Industrial Water Use in West Liaohe River Basin

Pengda Lin, Zhijun Tong*, Jiquan Zhang, Zhenhua Dong, Xiangqian Li

School of Environment, Northeast Normal University, Changchun 130117, China

Institute of Natural Disaster Research, Northeast Normal University, Changchun 130117, China

西辽河流域经济发展与工业用水时空耦合关系 研究

林鹏达, 佟志军*, 张继权, 董振华, 李向前

东北师范大学环境学院, 长春 130117, 中国

东北师范大学自然灾害研究所, 长春 130117, 中国

Abstract

Based on the center-of-gravity model and GIS, a measure of the spatial coupling of economic and industrial water use was obtained. Researching the trajectories, evolution and common characteristics the center-of-gravity of economic and industrial water use of 10 four¹ drainage from 2004 to 2013 in West Liaohe River basin, analyzes the temporal and spatial variation characteristics of industrial water use and economic development of each river basin, so as to find industrial water resources utilization status in the process of economic development, then explore the safety of industrial water, seek that reasonable utilization and protection of water resources in keeping the basin's economic development. Found: economy and industrial

water use have significant correlation from 2004 to 2013, their focuses move on the northeast and southeast direction, economic barycenter moving margins are small, but industrial water use gravity movement amplitudes are bigger. Space overlaps in six watersheds are strong, tending to gather, the moving directions of nine watersheds are inconsistent.

Key words: center-of-gravity model; GIS; West Liaohe River Basin; spatial-temporal coupling relationship; water resources utilization

摘要

采用重心模型和 GIS 技术, 衡量经济和工业用水属性的空间耦合状况, 通过研究 2004-2013 年西辽河 10 个四级流域经济重心和工业用水重心移动轨迹和演变规律及其共同变化特征, 分析了各流域工业用水与经济系统空间发展的时空变化特征, 从而掌握流域经济发展过程中工业用水资源利用状况, 进而探究工业用水安全问题, 以寻求在保障流域经济发展的情况下, 水资源得到合理的利用和保护。发现: 2004-2013 年流域经济与工业用水量间具有显著相关关系, 二者重心一直在东北、东南方向

作者简介: 林鹏达, (1992—), 女, 汉族, 东北师范大学硕士, 主要从事生态安全风险研究。

***通讯作者:** 佟志军 (1977—), 男, 辽宁兴城人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事 3S 技术及其在灾害风险评价与应急决策研究。
E-mail:gis@nenu.edu.cn

上移动,经济重心移动幅度均较小,而工业用水重心移动幅度则差异较大;其中6个流域二者的空间重叠性较强、趋于聚集,有9个流域二者重心的移动方向出现不一致情况。

关键词: 重心模型; GIS; 西辽河流域; 时空耦合关系; 水资源利用

1. 引言

21 世纪正是我国经济快速发展的重要时期,水资源作为不可或缺的基础性资源受到了前所未有的重视。根据国际水资源管理学会研究,2025 年近 14 亿人将面临严重缺水。而近年来,我国经济的高速发展和城市化水平的不断提高,导致水资源需求和水污染负荷迅速增加,水的供需矛盾也更加尖锐。为推进中国可持续发展战略的实现,对自然资源利用以及环境污染、能源消费与经济增长之间关系的研究越来越受到学者们的关注^[1-4]。经济社会发展与水资源利用之间紧密联系,相互影响制约^[5-6]。本文中通过流域经济发展与工业用水重心迁移的情况,力图发现在经济发展驱动促使工业用水量随之增长的情况下,空间上工业用水重心随着经济发展重心的迁移(即水资源利

用的情况),以得到两者迁移的耦合关系,为未来水资源的分配提供宏观参考;同时,工业用水重心的迁移也代表着高要求高标准的新工业建设。因此,了解工业水资源利用与经济增长的关系对工业水资源节约的影响具有重大的意义。通过对西辽河各流域经济发展与工业用水量的时空综合研究,全面的了解各流域工业用水利用状况,为合理地保护、利用水资源,实现水资源与经济社会协调发展提供决策依据。

2. 研究区概况

西辽河流域(116° 50' —124° 06' E, 41° 03' —45° 13' N)地处东北地区西南部,内蒙古高原向东北松辽平原过渡的山地、丘陵及冲积平原地带,属于中温带半干旱季风气候,年均日照时数 2800—3100h,年均气温 5.0℃—6.5℃,年均降水量 350—400mm。本文研究主要集中在内蒙古自治区范围内的西辽河流域(通辽市和赤峰市),其行政区域包括科尔区、开鲁县、科左中旗等 20 个旗、县、区,总面积 13.6 万 km²。(如图 1)

图 1 研究区图

3. 数据与方法

3.1 数据来源

数据的选取主要包括空间数据和属性数据两部分。空间数据来自 1:400 万国家基础地理数据库, 河流数据源自遥感影像解译。属性数据主要来源于通辽市统计局、水利局《通辽市统计年鉴》、赤峰市统计局、水利局《赤峰市统计年鉴》及《内蒙古水资源公报》, 其中地区生产总值作为各旗县经济的测度代表; 各年份的地区工业生产总值与万元工业增加值用水量的乘积作为各旗县工业用水量的测度水平代表。在 GIS 软件支持下, 根据采集到的基本统计单元界线以及流域界线, 将各行政区的地区生产总值与工业用水量按面积权重分配到 10 个四级流域中, 分别构建流域经济和工业用水数据库。

3.2 重心分析模型^[7]

重心(加权平均中心)应用于社会、经济和环境问题研究中, 是指在区域空间上存在某一点, 在该点各个方向上的力量对比能够维持均衡。重心的位置与考察的区域的形状和相关的活动在该区域的布局状况有关。区域重心同经济总量一样, 可作为宏观经济指标, 用来衡量国家或区域发展方向、空间均衡以及评估政策效果等^[8]。

在研究中, 假设一个区域由 n 个次一级区域构成, 那么该区域某种属性的“重心”:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i}$$

其中: (X_i, Y_i) 示第 i 个次一级区域中心的

经度值和纬度值, M_i 表示第 i 个次一级区域的某种属性的量值。本文选取各流域的几何重心作为次一级区域中心。

$$\theta_{s-k} = \frac{n\pi}{2} + \deg \left\{ \arctan \left[\frac{(Y_s - Y_k)}{(X_s - X_k)} \right] \right\}$$

其中 θ_{s-k} 表示相对于 k 时期的 s 时期重心移动的角度变化, X 、 Y 表示重心的地理经纬度; 界定正东方向角度为 0° , 所有旋转角度取欧氏几何角度单位, 逆时针旋转为正

向。

$$D_{s-k} = C * \sqrt{(X_s - X_k)^2 + (Y_s - Y_k)^2}$$

其中 D_{s-k} 表示相对于 k 时期的 s 时期重心移动的距离, C 为将地理经纬度坐标单位($^\circ$)转化为平面距离(KM)的常数系数, 一般取其值为 111.111; 其他参数同上。

3.3 重心耦合性分析模型

经济重心 (x_g, y_g) 和工业用水重心

(x_i, y_i) 的空间重叠性用两者间的距离表示, 距离越近则重叠性越高, 从静态的角度考察两个重心空间耦合的态势。计算公式如下:

$$S = \sqrt{(x_g - x_i)^2 + (y_g - y_i)^2}$$

对于其变动轨迹的一致性, 以二者重心相对上一时间点产生位移的矢量交角 θ 来体现, 其值在 $0^\circ - 180^\circ$ 间范围内, 因此可用它的余弦值作为变动一致性指数(C):

$$C = \cos \theta = \frac{\Delta x_g \Delta x_i + \Delta y_g \Delta y_i}{\sqrt{(\Delta x_g^2 + \Delta y_g^2)(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)}}$$

4. 结果与分析

4.1 流域经济与工业用水量属性变化特征

2004-2013 年, 西辽河各流域生产总值整体呈现持续上升状态, 西辽河流域生产总值由 546.96 亿元上升至 3144.27 亿元, 增长了近 6 倍; 工业总用水量由 1.29 亿 m^3 上升至 4.48 亿 m^3 , 增长了近 4 倍, 经历了加速上升到减速上升的变化过程。由表 1 可知, 2004—2013 年, 各流域经济与工业用水间均表现出强相关性。可见经济因素是驱动工业用水的重要因素, 工业发展带来了经济增长也随之带来了工业用水量的增加, 经济与工业用水量的关系密切。基于经济与工业用水量间的显著相关关系, 进一步分析其时空上的演变特征。

4.2 流域经济与工业用水时空演变

4.2.1 经济与工业用水重心迁移特征

根据上述测算方法, 由图 2 发现 2004-2013 年期间, 乌力吉木仁河上游工业用水重心从巴林左旗向阿鲁科尔沁旗移动, 西拉

表 1 2004-2013 年流域经济与工业用水量相关性分析

地区	2004-2013 年 GDP 与工业用水量	
	Pearson 相关性	相关性
教来河	0.968	<0.05
老哈河洪山以下	0.942	<0.05
老哈河洪山以上	0.875	<0.05
乌力吉木仁河上游	0.942	<0.05
乌力吉木仁河下游	0.969	<0.05
西拉木伦河胡日哈以上	0.917	<0.05
西拉木伦河胡日哈~台段	0.937	<0.05
西辽河	0.897	<0.05
西辽河下游	0.979	<0.05
新开河	0.962	<0.05

木伦河胡日哈以上工业用水与经济重心在林西县与克什克腾旗间移动。而其他 8 个流域,二者重心均保持在同一个行政单元内移动。并且西辽河各流域经济与工业用水重心均保持向东的移动,经济重心移动幅度较小,而工业用水重心移动幅度差异较显著。具体地,在经济重心的变动中,只有西辽河下游、乌力吉木仁河下游分别保持着向东北和东南方向连续的移动,重心移动幅度前者较后者小,此期间这两个流域的经济发展趋势较平稳;而工业重心的变动中,保持迁移方向一致的流域有西拉木伦河胡日哈以上、西拉木伦河胡~台段、西辽河下游,乌力吉木仁河下游,前三者移动方向为东北向,重心移动幅度依次变小,后者向东南方向移动,移动幅度由大变小,并逐渐趋于平稳。其他流域的经济重心与工业用水重心则在东北与东南方向上往返移动,移动幅度相对较小,这个过程中经济发展与工业用水消耗不稳定,一直处于寻求均衡的区域发展格局状态。出现以上重心迁移现象可能是由于西辽河流域覆盖面积广阔,其地理位置上与东北三省同属一个范畴,在经济上联系密切,在资源上互补强,其经济社会的发展与东北地区老工业基地的振兴有着紧密关联。且近些年,通辽市抓住西部大开发和振兴东北老工业基地的历史发展机遇,提出了“一主两翼”经济发展模式,以主轴为能源工业,两个侧翼为农畜产品加工业和重化工工业,对全市经济结构进行战略性调整。同时西辽河平原交通地理条件优越,与东北三省大城市邻近,接受着它们的辐射带动作用。

4.2.2 经济与工业用水时空耦合分析

空间位置和属性值是决定重心的主要因素,经济重心和工业用水重心的分离与靠近是区域发展过程中的表现。将 2004-2013 年经济与工业用水重心的迁移方向及距离代入重心耦合性分析模型得到两者的空间重叠性与变动一致性(图 3 和图 4),再结合图 2 定量、动态、直观地对流域经济与工业用水重心的时空耦合态势进行分析,得到图 3 和图 4。

①西辽河各流域二者重心的空间重叠性由大到小分别是:西辽河下游、西拉木伦河胡~台段、老哈河洪山以下、老哈河洪山以上、教来河、西辽河、乌力吉木仁河上游、新开河、西拉木伦河胡日哈以上、乌力吉木仁河下游。前 6 个流域空间重叠性较强,除了教来河在 2011-2013 年间空间重叠性降低,其他流域均保持在较低变化幅度范围,二者的重心趋于聚集,工业用水紧跟经济发展的趋势在进行移动;后 4 个流域空间重叠性则整体较差。

②西辽河各流域经济重心与工业用水重心的变动一致性多数年份大于 0,二者都保持向东运动。具体表现有两类:第一,10 个流域中只有西拉木伦河胡~台段二者重心的迁移在翁牛特旗保持着相同方向,即经济的发展带动了工业产业及用水的转移;第二,其他 9 个流域二者重心的迁移均出现过移动方向不一致的情况,尤其是西辽河下游流域曾出现两次二者重心迁移方向完全相反的情况。工业水资源节约是节水工作中的重点领域。经济发展越高速的区域,对于用水要求越高,工业用水重心跟不上,可能工业用水大户仍主要集中在旧

图 2 2004-2013 年流域经济与工业用水重心迁移变化图

图3 空间重叠性

图4 变动一致性

工业区且该区工业用水比重不降反增。这样不仅会减慢经济发展,而且也会严重影响新工业区的发展和水资源供给,出现新旧工业区的水争夺,出现用水安全问题。

5. 结论

西辽河流域在不同的地理环境和资源约束等条件下,具有独特的经济发展格局,其发展与东北地区老工业基地的振兴有着密切的联系。本文通过分析流域经济与工业用水重心的迁移,掌握区域经济发展过程中水资源利用状况,发现重心时空耦合态势表现为工业用水重心落后于经济的迁移,水资源的供应方向比较稳定,水资源供应量在缓慢增长。因此在保证经济可持续的发展过程中,需进一步带动新型节水工业的建设、节水工艺的実施,提高工业用水效率,也同时抑制和降低工业用水中的水资源过度消耗。而要从根本上解决干旱缺水、用水安全问题,必须跨流域调水,利用文得根水利枢纽加快实施绰尔河引水工程,从嫩江调水到西辽河,以满足西辽河流域能源基地及工业、城镇用水需求,缓解西辽河断流及经济社会发展急需用水^[9]。且经济与工业用水重心明显的东移,对处于半干旱地区的西辽河流域经济社会发展、生态环境建设和新型城镇化格局也具有重要的影响。

Acknowledgements

The study is financially supported by the National Non-Profit Research Program of China (No.201401015).

致谢

本文以水利部公益性行业科研专项经费项目(201401015)为项目支撑。

参考文献

- [1] C. Y. Song, R. Zhang, A. X. Zhou, M. Hong. Water Security Risk Assessment of the Yellow River Basin Based on Constrained-Random Weight and Cloud Model. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2013, 3(4):201-209.
- [2] 张兵兵, 沈满洪. 工业用水与工业经济增长, 产业结构变化的关系. *中国人口资源与环境*, 2015, 25(2):9-14.
- [3] 岳立, 白婧, 郭山宁. 基于超效率的中国工业用水效率分析. *石家庄经济学院学报*, 2013, 36(6):51-55.
- [4] 赵海霞, 蒋晓威. 长江三角洲经济与工业污染重心演变及脱钩机理. *中国环境科学*, 2013, 33(10):1911-1919.
- [5] 姜蓓蓓, 耿雷华, 卞锦宇, 等. 中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究. *资源科学*, 2014, 36(11).
- [6] 贾绍凤, 张士锋, 夏军. 工业用水与经济发展的关系:用水库兹涅茨曲线[J]. *自然资源报*. 2004, 19(3):279-284.
- [7] 张兴榆, 黄贤金, 赵雲泰, 等. 近 10 年江苏省土地利用重心与经济重心迁移轨迹对比分析. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(1):14-20.
- [8] 赵小凤, 黄贤金, 张兴榆, 等. 区域经济重心与 COD、SO₂、TSP 排放重心演变路径分析——以江苏省为例. *长江流域资源与环境*, 2010(3):225-230.
- [9] 梁团豪, 谢新民, 崔新穎, 等. 西辽河流域水资源合理配置研究[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2009, 7(4):291-295.