

邯郸市地下水埋深变化及其影响因素定量分析

王默涵¹ 张淑花¹ 周亦² 谈俊忠¹ 余江峰¹

(1. 南京大学地理与海洋科学学院 江苏省地理信息技术重点实验室 南京 210023;

2. 北京中色测绘院有限公司 北京 100012)

摘要 地下水是邯郸市的主要水源,探究地下水埋深变化及其影响因素对合理开发和保护地下水资源具有重要意义。文章基于2006—2015年邯郸市地下水观测数据,获得地下水埋深变化空间分布特征,并运用地理探测器定量分析自然因素(高程、坡度、坡向、土壤类型、降水量变化和土壤质地类型)和社会经济因素(土地利用与土地覆盖类型、GDP、人口、农业用水量变化、工业用水量变化和生活用水量变化)对邯郸市整体、邯郸市平原区和山区的地下水位变化的影响。结果表明,就邯郸市整体而言,对地下水变化解释力较大的是高程、土地利用与土地覆盖类型、农业用水变化和生活用水变化;平原区与山区的各因子解释力差别较大,平原区的主要影响因子为工业用水变化和降水量变化,而山区为土地利用与土地覆盖类型。

关键词 地下水埋深变化 地理探测器 邯郸市

中图分类号: P641.74

文献标识码: A

文章编号: 1674-7801(2018)05-0985-08

0 引言

据2006—2015年统计资料,全国、河北省和邯郸市的地下水供水量占总供水量的百分比分别约为18%、78%和85%(中华人民共和国国家统计局,2006—2015;邯郸市水利局,2006—2015),地下水为邯郸市的主要供水源。邯郸市地下水资源的过度开采与使用,导致地下水水位下降、地下水漏斗区面积扩大、地面沉降等严重问题(霍毅鑫,2010)。地下水问题已成邯郸市各界关注的热点问题。因此,研究地下水埋深变化时空分布,揭示其变化原因,对地下水资源的可持续利用具有重要意义。

目前定量分析地下水位的研宄多采用基于时间序列的统计学方法(郑玉峰等,2015;万思成等,2013;熊黑钢等,2012;朱永华等,2017;杨怀德等,2017;李世峰等,2014;Zhou et al.,2016)。如郑玉峰等(2015)利用相关系数定量分析了鄂尔多斯市地下水位季节变化成因,发现其主要与降水量、蒸发量

和农田灌溉用水量相关。万思成等(2013)利用Mann-Kendall趋势分析法获得北京平原区地下水埋深趋势并通过多元回归分析方法发现地下水位变化与降水量和超采量相关。杨怀德等(2017)采用灰色关联度方法对基于主成分分析法选择的12个影响因素对地下水埋深的影响程度进行排序。地下水埋深变化是时间累积和空间分异的综合影响结果。随着空间统计学的发展,近几年相关学者尝试结合空间统计学的方法分析地下水水位空间分布趋势,Chaudhuri等(2014)利用空间自相关检验 Moran's I和热点探测LISA对地下水位空间分异性及热点探测进行了研究,但最后的归因分析仍然采用了传统统计学方法。目前结合时间和空间两个角度对地下水变化归因分析仍有探究空间。该文在分析地下水埋深变化时空分布的基础上,利用地理探测器方法对邯郸市地下水埋深变化的影响因素进行定量分析,以期从时间和空间角度为邯郸市地下水资源的可持续管理提供科学依据。

[收稿日期]2018-04-14

[基金项目]国家自然科学基金项目(编号:41371365)资助。

[第一作者简介]王默涵,女,1991年生,在读硕士,地图学与地理信息系统专业;E-mail: wangmandt@126.com。

[通讯作者简介]余江峰,男,1969年生,博士,副教授,从事地理信息系统及其应用研究工作;E-mail: gisjf@nju.edu.cn。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

邯郸市位于河北省南部,地理位置为东经 $113^{\circ}28' \sim 115^{\circ}28'$,北纬 $36^{\circ}04' \sim 37^{\circ}01'$,面积约为 1.2 万 km^2 ,其中山区 4460 km^2 ,平原区 7587 km^2 ,分别占总面积的 37% 和 63% (图 1)。2015 年末总人口数为 1049 万。邯郸地区属温带大陆性半干旱季风气候区,年平均降水量 $500 \sim 600 \text{ mm}$,年平均气温 $12.5 \sim 13.3^{\circ}\text{C}$ 。水资源人均占有量为 192 m^3 ,为全省平均水平的 62%,全国平均水平的 9%,属于缺水地区。

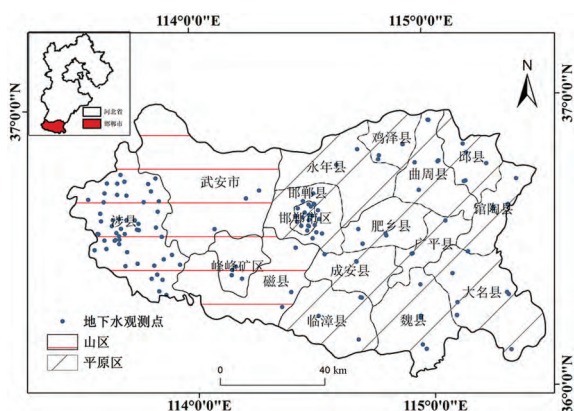


图 1 研究区概况及地下水观测点分布图

1.2 数据

地下水埋深数据采用 2006—2015 年研究区内 140 个地下水水位监测站点的观测数据,站点分布如图 1 所示。降雨量和地下水用水量数据(农业用水量、工业用水量和生活用水量)来自 2006—2015 年《邯郸市水资源公报》。2010 年中国公里网格人口分布数据和 2010 年中国公里网格 GDP 分布数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台(<http://www.geodata.cn>)。土壤数据来源于 Harmonized World Soil Database v1.2 (Fao, Iiasa et al., 2012),为第二次全国土地调查南京土壤所所提供的 1:100 万土壤数据,土壤分类系统为 FAO-90。2015 年土地利用类型数据来源于欧洲宇航局(<http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>)。

1.3 地理探测器

地理探测器方法是探测空间分异性及其影响因

子的统计学方法(王劲峰等 2017)。该方法认为当因变量与自变量空间分布趋于一致时,两者之间有统计关联性。自变量对因变量空间分异性的解释力为 $P_{D,H}$ (Wang J Fet al., 2010),其表达式为:

$$P_{D,H} = 1 - \frac{1}{n \cdot \sigma_H^2} \sum_{l=1}^m n_{D,l} \cdot \sigma_{H_{D,l}}^2 \quad (1)$$

式中: $P_{D,H}$ 为影响因子 D 对地下水埋深变化 H 的解释力(%); σ_H^2 为研究区地下水埋深变化的方差; n 表示研究区的单元数; $l=1, \dots, m$ 为影响因子的分类; $n_{D,l}$ 为影响因子 D 在第 l 类的单元数; 表示第 l 类中地下水埋深变化的方差。其中 $P_{D,H} \in [0, 1]$, 当 $P_{D,H}=0$ 时,表示影响因子不影响地下水埋深变化的空间分布, $P_{D,H}$ 值越大说明该影响因子对地下水埋深变化的解释力度越大。本研究采用地理探测器的 workflows 如图 2 所示。

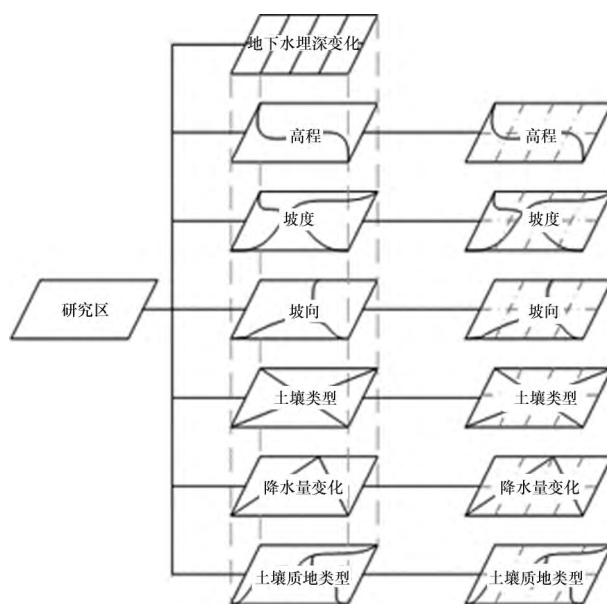


图 2 地理探测器工作流程图

研究以自然因素(高程、坡度、坡向、土壤类型、降水量变化和土壤质地类型)和社会经济因素(土地利用与土地覆盖类型、GDP、人口、农业用水量变化、工业用水量变化和生活用水量变化)为自变量,以研究区(邯郸地区、山区和平原)2006—2015 年地下水埋深变化率为因变量,利用地理探测器方法计算 12 个因子对地下水埋深变化率的影响程度,大体包括如下部分:

(1) 数据预处理。首先,计算各观测点 2006—2015 年地下水埋深随时间的线性倾向率;并选用

Kriging 插值方法对观测点的线性倾向值进行空间插值,获得研究区地下水埋深变化空间分布。然后,计算降水量、各用水量(农业、工业和生活)2006—2015年的线性倾向率;最后,根据研究区范围,将研究区以 $4\text{ km}\times 4\text{ km}$ 的单元划分为848个网格。

(2) 数据离散化。地理探测器擅长分析类型量,因此需要对连续数据离散化。该文采用等距离法、自然断点法、几何间隔法和百分位数法对连续数据进行分组,经过地理探测器计算得到最大解释力的分组方式,然后以这种分组方式作为最佳离散模式。最终采用自然断点法对高程、坡度、坡向、人口和GDP数据分为5组作为最佳离散化方案。

(3) 影响因子探测。利用地理探测器探测算法,分别对邯郸市全境、平原区与山区进行探测,计算12个影响因子对地下水埋深变化率空间分布的影响程度。

2 结果与讨论

2.1 地下水埋深变化空间分布特征

根据2006—2015年地下水埋深数据,通过求解线性倾向率并对其进行普通Kriging插值,得到研究

区地下水埋深变化趋势空间分布图(图3)。研究区地下水埋深变化率为 $-4.75\sim 15.53\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$,最小值与最大值分别位于涉县北部和南部。邯郸市中部和东部大范围地区表现为地下水水位下降趋势;西南部地下水水位下降严重,包括峰峰、临漳、磁县和涉县南部;西北地区地下水水位呈现上升趋势,包括涉县北部、武安和邯郸市区西北部。

2.2 影响因素空间分布特征

从自然与社会经济两个方面对地下水埋深变化的影响因素进行定量分析。自然因素空间分布如图4。研究区西高东低,东部为华北平原,地势平坦,高程变化小;西部山脉、丘陵、盆地相间,海拔较高且变化复杂(图4a)。平原地区土壤类型单一且分布集中,山区分布较为分散(图4d)。土壤质地类型分布较为分散,平原地区主要为壤质砂土,渗透率较大;山区主要分布为壤土和砂质壤土,渗透率较壤质砂土小,降水量补给较为困难(图4f)。从图4e可知,各地区之间降水量变化幅度差异大,其中,6个县市的降水量呈下降趋势。武安市的降水量下降最为明显,变化率为 $-5.11\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$,而肥乡县的降水量增加显著,变化率达到 $6.63\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

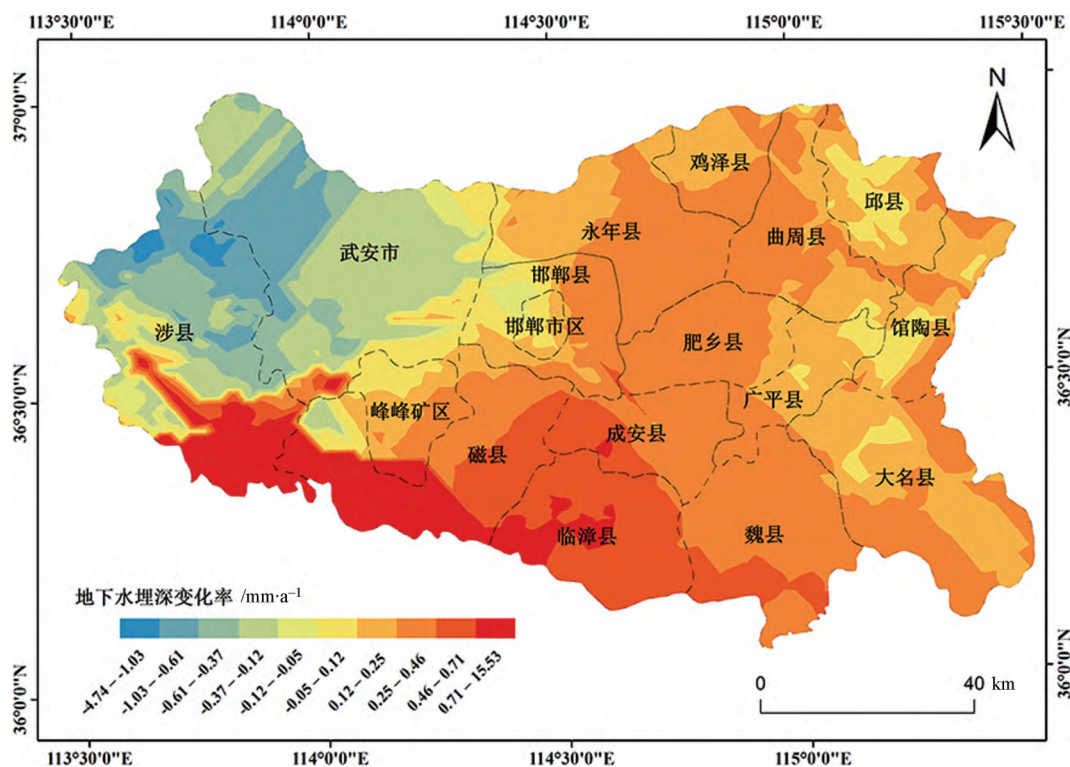


图3 邯郸市地下水埋深变化空间分布

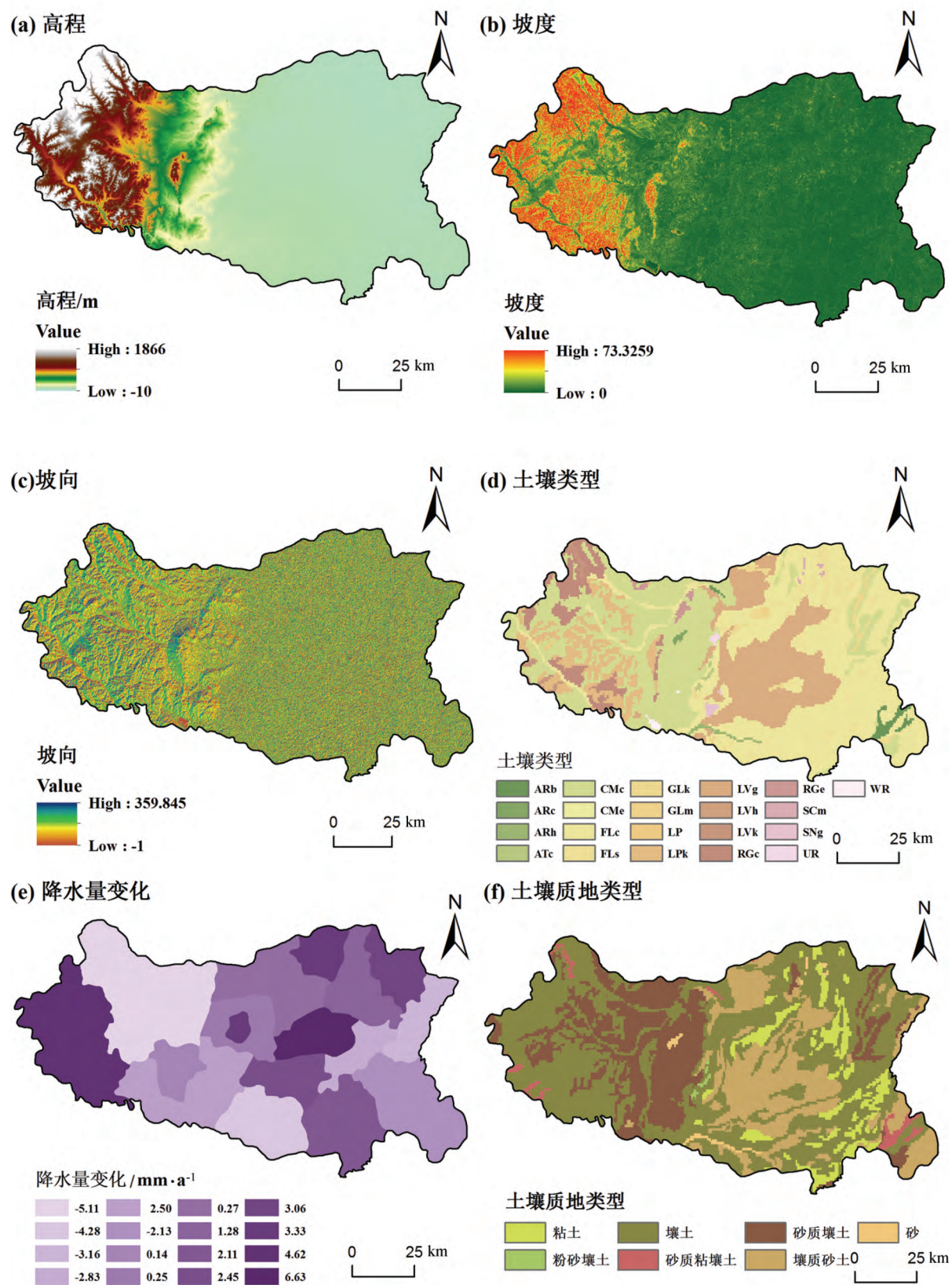


图4 邯郸市自然因素空间分布

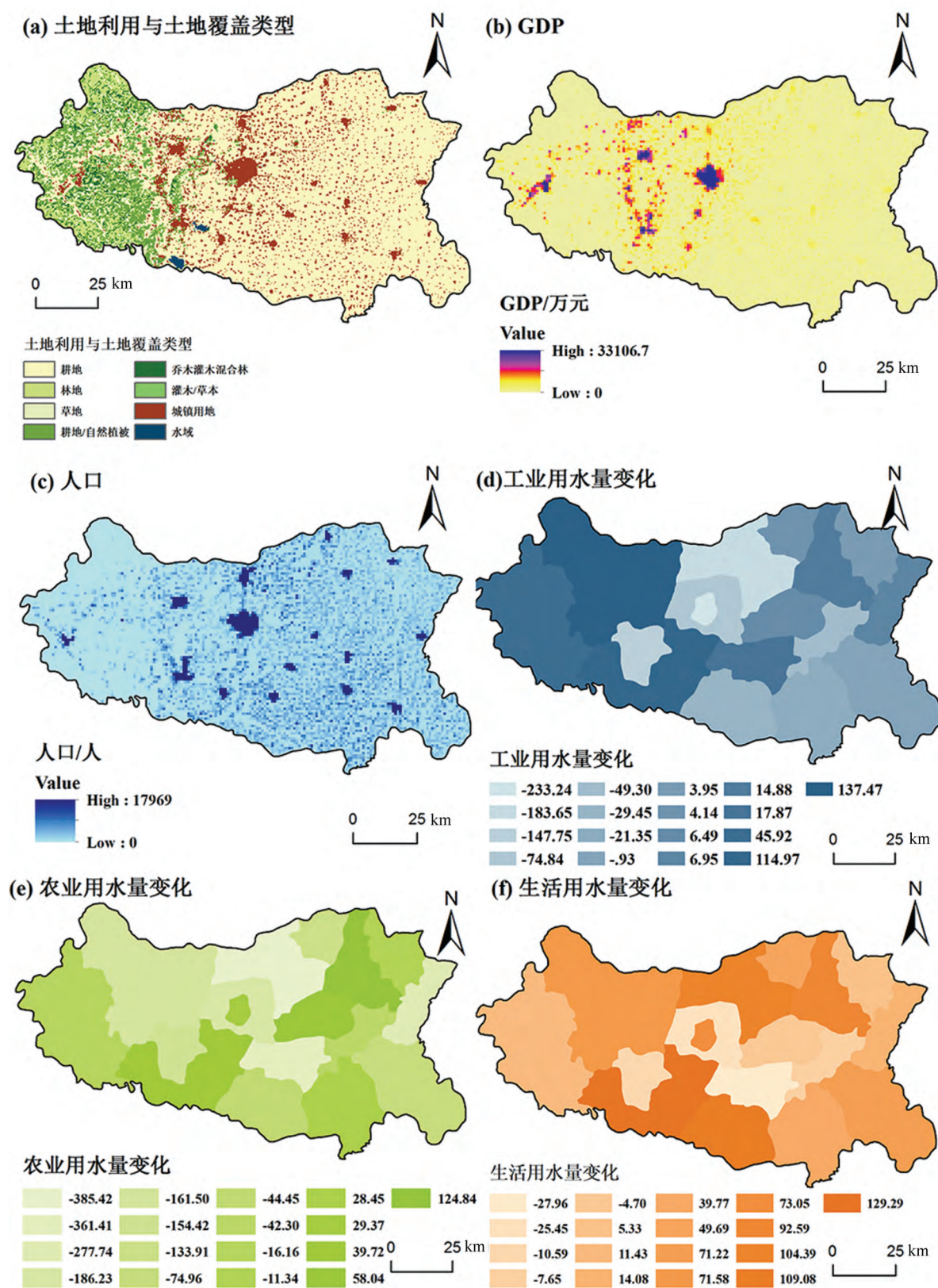


图5 邯郸市社会经济因素空间分布

土地利用与土地覆盖类型是自然和社会过程共同作用的结果。研究区中耕地覆盖面积最大,主要分布在平原区域;林地、灌木和草地分布在山区;城镇用地类型由邯郸市中心区域向各县中心区呈放射分布,在山区呈现耕地与城镇用地交错分布的带状区域。水域用地类型区域主要为邯郸市的两个国家级水库,东武仕水库和岳城水库所在区域(图 5a)。GDP 高值与城镇用地类型空间分布较为一致,分布于工业密集的山区和市区(图 5b)。人口聚集现象明显,主要是集中在各行政区域中心(图 5c)。根据邯郸市地下水管理相关政策,在地下水资源不能满足全部供水需求时,优先满足生活用水;工农业用水优先利用地表水;不足部分使用地下水并适当控制农业用水。工业用水量变化率分布如图 5d,山区工业用水量明显增加,而平原区呈下降趋势。其中,武安市工业用水量增加($137.47 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$),邯郸市区工业用水量减少且变化幅度最大($-233.24 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)。由图 5e、f 可知,曲周县、肥乡县、磁县、邯郸市区和魏县农业用水量都在增加,且曲周县的变化率最大($124.84 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$);其余行政区呈减少趋势,永年县的变化幅度最大($-385.42 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)。大部分县市的生活用水量增加,磁县生活用水量变化幅度最大($129.29 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)。

2.3 地理探测器定量分析

2.3.1 邯郸市整体分析结果

为定量分析邯郸市自然与社会因素对地下水埋深变化的影响,本文利用地理探测器的因子探测器计算各因子的解释力,结果如表 1 所示。影响邯郸市地下水埋深的主要因素为高程、土地利用与土地覆盖类型、农业用水量变化、生活用水量变化、土壤类型、降水量变化和坡度。其中高程的解释力最大,说明地势起伏对地下水空间分布起着非常关键的作用。为了进一步分析高程对地下水埋深的影响,将邯郸市分为山区和平原区进一步做了相关探究,分析结果见章节 2.3.2。土地利用及土地覆盖类型、农业用水量变化和生活用水量变化对地下水埋深的影响也较大,这些因素都与人类活动密切相关,在一定程度上说明人类活动对地下水埋深变化也起着很强的主导作用。此外,农业用水量变化对地下水埋深的影响也较为显著,这与河北地区农业灌溉导致地下水下降的状况一致(Foster et al., 2004)。

表 1 地理探测器分析结果

影响因子		$P_{D,H}$ 值		
		邯郸市	平原区	山区
自然因素	高程	34.56%	22.25%	5.30%
	土壤类型	21.55%	18.74%	5.55%
	降水量变化	20.33%	30.52%	6.86%
	坡度	20.00%	3.03%	6.13%
	坡向	10.39%	1.81%	2.35%
	土壤质地类型	5.61%	12.21%	2.6%
社会经济因素	土地利用与 土地覆盖类型	29.55%	17.04%	13.77%
	农业用水量变化	25.74%	22.55%	2.01%
	生活用水量变化	22.12%	13.07%	6.86%
	工业用水量变化	12.61%	33.34%	6.92%
	人口	2.24%	5.60%	0.31%
	GDP	0.98%	8.81%	1.42%

从自然因素和社会经济因素两方面分析得出:自然因素中,高程的解释力最大,降水量变化和土壤类型也是影响地下水变化的主要因素。降水是地下水形成过程中的输入部分,而土壤则是地下水形成过程中渗透和蒸发的介质,两者都是地下水形成的关键因素,共同影响了陆地水文循环系统。地形因素中坡度对地下水埋深空间分异有较大影响,比较之下坡向的影响非常小。社会经济因素中,土地利用与土地覆盖类型是解释力最大的因子,人类通过城市化、扩大耕种面积和兴修水库改变土地利用与土地覆盖类型,这在不同程度上改变了流域下垫面进而影响水循环过程。此外,农业、生活和工业三大用水量是直接影响地下水变化的因素。其中,研究区的农业用水变化是主要影响因子,也验证了邯郸地区同样存在已有研究中的华北地区典型大范围地下水农业灌溉导致地下水枯竭问题(Kendy et al., 2004)。人口和 GDP 对地下水水位变化的影响相对轻微,可能是由于人类活动模式较为复杂,人口只是影响其变化的一种间接因素,此外,农业、生活和工业用水本身包含了人口和 GDP 的信息。

2.3.2 平原区与山区分析结果

基于高程将整个区域分为平原区域和山区进行驱动因素定量分析。首先,通过比较平原区与整个区域的分析结果可以发现,不同区域解释力最大的

影响因子不同,邯郸市整个区域解释力最大的因子为高程,而平原区则为工业用水变化,这也说明地形对地下水空间分异的影响非常重要。另外,农业用水对整个区域和平原区影响相对一致,在所有因子中都排第三,说明平原区是农业消耗地下水的主要地区。值得注意的是,工业用水变化对整个区域来说解释力仅排第四,但对平原区来说,其解释力排名第一。邯郸是一个工业化城市,本文分析认为,工业用水是该地区地下水消耗的主要组成。

由山区的分析结果发现,地下水埋深变化的最大解释力因子是土地利用及土地覆盖类型,为13.77%。降水量变化、生活用水量变化和工业用水量变化的解释力均约为7%,农业用水量变化的解释力为2.01%,侧面反映了山区农业灌溉较少。其中,人口的解释力为0.31%,表明山区人口稀少且分布不均匀,其对山区地下水埋深变化影响甚微。

3 结论

通过对2006—2015年邯郸市地下水埋深变化空间分布及影响因素分析,得出以下结论:

(1) 2006—2015年期间,邯郸市地下水埋深变化率介于 $-4.75 \sim 15.53 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ 之间,最小值与最大值分别位于涉县北部和南部。邯郸市中部、东部大范围地区表现为地下水水位下降的趋势;西南部为水位下降严重区域;西北部区域地下水水位总体呈现上升趋势。

(2) 影响邯郸市地下水埋深变化的主要影响因素为高程、土地利用与土地覆盖类型、农业用水量变化、生活用水量变化。侧面反映了人类主要通过改变下垫面类型和用水量变化影响地下水位变化。

(3) 平原区的地下水埋深变化的主要影响因素为工业用水量变化、降水量变化与农业用水量变化;山区的主要影响因素为土地利用与土地覆盖类型。

本文基于空间数据分析,在宏观上分析了邯郸市地下水埋深的时空分布特征,其研究结果可为邯郸市地下水模拟预测及有关决策提供参考。

致谢 感谢国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据共享服务平台(<http://www.geoda->

ta.cn) 提供数据支撑。

参考文献

- Chaudhuri S, Ale S. 2014. Long-term (1930–2010) trends in groundwater levels in Texas: influences of soils, landcover and water use [J]. *Sci Total Environ*, 490: 379–90.
- Fao, Iiasa, Isric, Isscas. 2012. Harmonized World Soil Database [R]. Version 1.2.
- Foster S, Garduno H, Evans R, et al. 2004. Quaternary Aquifer of the North China Plain assessing and achieving groundwater resource sustainability [J]. *Hydrogeology Journal*, 12(1): 81–93.
- Kendy E, Zhang Y, Liu C, et al. 2004. Groundwater recharge from irrigated cropland in the North China Plain: case study of Luancheng County, Hebei Province, 1949–2000 [J]. *Hydrological Processes*, 18(12): 2289–2302.
- Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. 2010. Geographical Detectors - Based Health Risk Assessment and its Application in the Neural Tube Defects Study of the Heshun Region, China [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(1): 107–127.
- Zhou Y, Xiao W, Wang J, et al. 2016. Evaluating Spatiotemporal Variation of Groundwater Depth/Level in Beijing Plain, a Groundwater-Fed Area from 2001 to 2010 [J]. *Advances in Meteorology*, 2016: 1–11.
- 邯郸市水利局. 2006–2015. 邯郸市水资源公报 [R].
- 霍毅鑫. 2010. 邯郸市地下水现状及保护措施研究 [C] // 2010 地下水资源配置与优化调度及污染防治技术专刊.
- 李世峰, 马小雷, 付丹平, 张希. 2014. 地下水埋深的影响因素分析及模型研究 [J]. *地下水*, (3): 21–23.
- 万思成, 李琼芳, 虞美秀, 李鹏程, 蔡涛, 李迷, 任锦亮. 2013. 北京市平原地区地下水动态变化规律及影响因素分析 [J]. *水电能源科学*, (12): 46–50.
- 王劲峰, 徐成东. 2017. 地理探测器: 原理与展望 [J]. *地理学报*, 72(1): 116–134.
- 熊黑钢, 赵明燕, 陈西玫, 闫人华. 2012. 天山北坡井灌区地下水埋深动态变化的驱动力及预测模型研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 26(6): 139–143.
- 杨怀德, 冯起, 郭小燕. 2017. 1999–2013 年民勤绿洲地下水埋深年际变化动态及影响因素 [J]. *中国沙漠*, 37(3): 562–570.
- 郑玉峰, 王占义, 方彪, 何晨, 李路建, 李春筱. 2015. 鄂尔多斯市 2005–2014 年地下水位变化 [J]. *中国沙漠*, 35(4): 1036–1040.
- 中华人民共和国国家统计局. 2006–2015. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社.
- 朱永华, 张生, 赵胜男, 孙林, 刘禹, 张颖. 2017. 气候变化与人类活动对地下水埋深变化的影响 [J]. *农业机械学报*, (9): 199–205.

Quantitative analysis of groundwater depth variation and its influence factors in Handan city

WANG Mo-han¹, ZHANG Shu-hua¹, ZHOU Yi², TAN Jun-zhong¹, SHE Jiang-feng¹

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University Jiangsu Provincial Key Laboratory of
Geographic Information Science and Technology, Nanjing 210023;

2. Beijing CNNC institute of surveying and Mapping Co. inc. Beijing 100012)

Abstract: Groundwater is the main component of water resources in Handan City, so it is important to explore the changes of groundwater depth and its influencing factors to reasonably develop and protect groundwater resources. Taking Handan City as the study area, this paper utilizes the geographical detector model to quantify the feedback effects from the terrestrial environment on groundwater depth variation from 2006 to 2015 with a comprehensive consideration of natural factors (elevation, slope, aspect, precipitation change, soil and soil texture type) and socio-economic factors (land use and land cover types, agricultural water use change, industrial water use change, domestic water use change, population and GDP). First, we find that the groundwater depth trend in Handan City is between -4.75 and 15.53 m/a. Second, elevation, land use and land cover types, agricultural water use change and domestic water use change have a larger contribution to groundwater depth change through compounding feedback, which makes them the leading factors. Finally, the contribution of each factor in plain and mountain areas are quite different, the main influencing factors are industrial water use change and precipitation change for plain area, while they are land use and land cover in the mountainous area. The geographical detector model offers an analytical framework to reveal factors affecting the groundwater depth change, which gives direction for future work on regional groundwater modeling and analyses.

Key words: groundwater depth variation, geodetector, Handan city