

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.01.007

新疆水贫困与城市化的协调关系研究

黄德春^{1,2,3}, 孙敏敏^{1,3}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 江苏省“世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100;
3. 河海大学产业经济研究所, 江苏 南京 211100)

摘要:建立了新疆水贫困和城市化评价指标体系,运用主客观相结合的综合赋权法确定各指标权重,构建耦合协调度模型,分析了新疆 2000—2014 年水贫困与城市化的耦合协调发展水平。结果显示:新疆的水贫困指数逐渐增大,水资源条件在不断改善;城市化综合发展指数也在逐渐增加,城市化水平不断提高;水贫困与城市化的耦合协调度由濒临失调逐渐发展为中级协调。

关键词:水贫困;城市化;权重;耦合协调度;新疆

中图分类号:TV213.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2017)01-0030-05

Study of coordination between water poverty and urbanization in Xinjiang

HUANG Dechun^{1,2,3}, SUN Minmin^{1,3}

(1. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. Jiangsu Provincial Collaborative Innovation Center of World Water Valley and Water Ecological Civilization, Nanjing 211100, China;
3. Institute of Industrial Economics, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In this study, a water poverty and urbanization evaluation index system for Xinjiang was established. A subjective and objective integrated weighting method was used to determine the weight of each index, and a coupling coordination degree model was constructed. The model was used to analyze the level of coupling coordination between water poverty and urbanization in Xinjiang from 2000 to 2014. The results show that the water poverty index of Xinjiang has increased gradually and the water resources conditions have been improved; the comprehensive development index of urbanization is gradually increasing, and the level of urbanization is increasing as well; and the degree of coupling coordination between water poverty and urbanization has gradually developed from a status close to disorder to intermediate coordination.

Key words: water poverty; urbanization; weight; coupling coordination; Xinjiang

城市化的快速发展加大了水资源的需求,水资源压力日趋增加,水资源问题更加凸显,尤其是对于水资源短缺的地区。快速城市化引起用水总量的增加是导致水资源危机的重要原因之一^[1]。新疆地处欧亚大陆腹地,位于我国西北地区,地域辽阔,呈现出“三山夹两盆”的地理结构^[2],年降水稀少、蒸发强烈、气候干旱、水资源时空分布不均。据相关数据显示,2014 年新疆水资源总量为 726.93 亿 m³,人均水资源量为 3 186.91 m³,总供水量为 581.82 亿 m³,人

均用水量为 2 550.72 m³。新疆是西北干旱区的典型代表,水资源开发利用程度低,配置不合理,管理水平低,经济用水挤占生态用水严重,最终导致水污染严重、绿洲萎缩、河道断流、湖泊干涸、土地沙化严重等生态问题^[3],水资源已成为影响新疆城市化可持续发展的重要因素。因此,从水贫困理论的角度研究新疆地区水资源短缺程度,分析新疆水资源短缺与城市化之间的关系,对实现新疆的城市化可持续发展具有十分重要的意义。

基金项目:长江学者和创新团队发展计划(IRT13062);江苏省 2011 协同创新中心项目(苏政办发[2014]22 号)
作者简介:黄德春(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事资源与环境经济研究。E-mail:huangdechun@hhu.edu.cn

水贫困理论的研究始于英国牛津大学 Sullivan 等^[4]提出的水贫困指数 (water poverty index, WPI), 目的是为了研究一个国家或地区水资源状况的复杂性。WPI 考虑了经济、社会等因素, 将水资源状况、供给设施、使用、能力和环境 5 方面结合起来量化了水资源短缺的程度^[5]。WPI 应用广泛, 众多学者根据不同地区的具体情况, 通过建立水贫困评价指标体系测算了该区域的水贫困程度。Lawrence 等^[6]认为 WPI 是评价水资源非常有用的工具, 并以 147 个国家的数据为基础, 测算了 WPI, 用于解决地方水问题。van Ty 等^[7]利用改进的 WPI 评价了东南亚的斯雷波河流域的水资源。El-Gafy^[8]将 WPI 应用于埃及各省的水资源评价。国内学者对水贫困的研究处于刚开始阶段, 主要研究集中于将 WPI 应用于国家、流域、农村、城市等的水贫困评价。王雪妮等^[9]构建了中国水贫困评价指标体系和中国经济贫困评价指标体系, 对 2009 年中国各省市的水贫困及经济贫困水平进行评价并计算了二者之间的协调度。曹茜等^[10]利用 WPI 模型测算了赣江流域水贫困程度。杨玉蓉等^[11]以水贫困理论为依据构建湖南农村水贫困评价指标体系, 测算水贫困状况并分析其驱动因素。何栋材^[12]采取 WPI 分析了张掖市甘州区的水贫困状况, 进一步分析了社会成本与 WPI 之间的关系。

对于水资源与城市化之间的关系, 国外学者主要是分析水资源与城市化之间的相互影响。Varis 等^[13]利用贝叶斯网络模型分析了塞内加尔河的水资源状况, 城市化的快速无序发展加剧了水资源危机。Le^[14]分析了城市化对水资源的影响, 讨论了胡志明市快速的城市化和工业化带来了地下水超采、工业和生活污水的大量排放、水质恶化等水问题, 为该市的水资源管理带来了巨大的挑战, 严重影响了水资源需求。Meinzen-Dick 等^[15]通过分析水资源在工业、农业、生活、生态等方面的经济效益, 探讨了水资源对城市发展的约束与限制。国内学者对于二者之间的关系采用不同的研究方法, 张胜武等^[16]利用灰色关联法、吕添贵等^[17]利用 TOPSIS 方法、张照庆^[18]利用主成分分析法等从不同的角度分析了水资源与城市化之间的关系。

国内外关于 WPI 的应用以及水资源与城市化之间的相互影响的文献比较丰富, 而从水贫困的角度研究干旱区水资源与城市化之间耦合协调度比较薄弱。鉴于此, 本文在 WPI 的基础上构建新疆水贫困和城市化评价指标体系, 定量分析新疆 2000—2014 年的水贫困与城市化之间的协调关系, 以期为实现新疆城市化的可持续发展提供科学的依据及

对策。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

以 2000—2014 年的新疆为研究对象, 数据来源于《新疆统计年鉴》《中国环境年鉴》《新疆水资源公报》等, 部分数据是根据统计年鉴整理得到。

1.2 研究方法

a. 主客观综合赋权法。利用层次分析法与熵权法相结合的主客观综合赋值法计算各指标的权重, 具体的计算过程见参考文献^[19-21], 在得到综合权重后采用加权求和法求得 WPI 与城市化综合指数, 其计算公式为

$$z = \sum_{j=1}^n w_j u_j \quad (1)$$

式中: z 为综合评价值; n 为指标个数; w_j 为指标权重; u_j 为指标数值。

在计算水贫困程度时, 为了使得水贫困综合指数越低, 水贫困程度越严重, 将指标分为正向、负向指标, 其中正向指标是缓解水贫困程度的指标, 负向指标是加剧水贫困程度的指标, 对初始矩阵进行无量纲化处理的公式为

$$\text{正向指标: } u_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } u_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3)$$

式中: u_{ij} 为处理后的指标数值; x_{ij} 为原始数据。

b. 水贫困与城市化的耦合协调度模型。借鉴了物理学中的容量耦合定义及其系数模型来分析新疆水贫困与城市化之间的耦合度, 根据廖重斌^[22]定量分析了水贫困与城市化的协调水平的高低, 计算公式为

$$C = \left\{ \frac{f(x)g(x)}{\left[\frac{f(x) + g(x)}{2} \right]^2} \right\}^k \quad k \geq 2 \quad (4)$$

$$T = \alpha f(x) + \beta g(x) \quad (5)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (6)$$

式中: C 为水贫困与城市化的耦合度; $f(x)$ 为水贫困综合评价指数; $g(x)$ 为城市化水平综合指数; k 为调节系数, 本文取 $k=2$; T 为水贫困与城市化的综合评价指数; α 、 β 为待定参数, 笔者认为对于新疆而言, 水贫困与城市化同等重要, 故在本文中, $\alpha=\beta=0.5$; D 为耦合协调度。

水贫困与城市化的耦合协调度的等级划分及评价标准^[21]见表 1。

表 1 耦合协调度 D 的划分标准及协调等级		
协调程度	D	协调等级
失调衰退	0 ~ 0.09	极度失调
	0.10 ~ 0.19	严重失调
	0.20 ~ 0.29	中度失调
	0.30 ~ 0.39	轻度失调
	0.40 ~ 0.49	濒临失调
协调发展	0.50 ~ 0.59	勉强协调
	0.60 ~ 0.69	初级协调
	0.70 ~ 0.79	中级协调
	0.80 ~ 0.89	良好协调
	0.90 ~ 1.00	优质协调

2 实证分析

2.1 新疆水贫困评价指标体系

在借鉴国内外学者水贫困研究的基础上,从数据可获得性的角度考虑,从资源、设施、能力、使用和环境 5 个方面,建立了新疆地区的水贫困评价指标体系,并采用综合赋权法确定了各指标的权重,得出资源、设施、能力、使用和环境 5 个方面的权重分别为 0.2880、0.2073、0.2069、0.1064、0.1374,具体情况见表 2。

表 2 新疆水贫困评价指标及权重

目标层	指标	正负向	主观权重	客观权重	综合权重
资源	水资源总量	+	0.0614	0.0667	0.0641
	人均水资源量	+	0.2029	0.0666	0.1348
	年降水量	+	0.1117	0.0667	0.0892
设施	下水道总长度	+	0.0262	0.0665	0.0463
	城市用水普及率	+	0.0686	0.0669	0.0677
	城市污水日处理能力	+	0.1199	0.0665	0.0932
能力	GDP	+	0.0491	0.0282	0.0387
	人均 GDP	+	0.0491	0.0282	0.0387
	人均固定资产投资	+	0.0118	0.0282	0.0200
	R&D 投入比例	+	0.0183	0.0282	0.0233
	每万人在校大学生数	+	0.0292	0.0285	0.0289
	城镇居民恩格尔系数	-	0.0491	0.0289	0.0390
	城镇登记失业率	-	0.0080	0.0288	0.0184
	人均日常生活用水量	-	0.0424	0.0502	0.0463
使用	万元 GDP 用水量	-	0.0424	0.0498	0.0461
	万元工业增加值用水	-	0.0228	0.0498	0.0363
	农业用水比例	-	0.0132	0.0503	0.0317
环境	水土流失管理面积	+	0.0199	0.0333	0.0266
	化肥使用强度	-	0.0060	0.0337	0.0198
	农药使用强度	-	0.0060	0.0338	0.0199
	COD 排放量	-	0.0110	0.0336	0.0223
	氨氮排放量	-	0.0110	0.0334	0.0222
	森林覆盖率	+	0.0199	0.0333	0.0266

2.2 新疆城市化评价指标体系

城市化是指农村人口向城市人口不断转移及向城市地域集聚的过程,同时伴随着产业结构的改变、生活质量的提高以及生活方式的转变^[22]。在参考已有参考文献[23-25]的基础上,从人口城市化、经济城市化、社会城市化和空间城市化 4 个方面构建了新疆城市化评价指标体系,并采用综合赋权法计算了各指标的权重,得出人口城市化、经济城市化、社会城市化和空间城市化的权重分别为:0.2635、0.3587、0.2053、0.1725,具体情况见表 3。

表 3 新疆城市化评价指标及权重

目标层	指标	正负向	主观权重	客观权重	综合权重
人口城市化	城镇人口比例	+	0.0924	0.0627	0.0775
	城镇人口密度	+	0.0924	0.0615	0.0769
	第二产业就业比例	+	0.0462	0.0628	0.0545
	第三产业就业比例	+	0.0462	0.0628	0.0545
经济城市化	人均 GDP	+	0.1757	0.0499	0.1128
	城市固定资产投资额	+	0.0345	0.0498	0.0421
	人均工业生产总值	+	0.0565	0.0497	0.0531
	第二产业比例	+	0.1003	0.0503	0.0753
	第三产业比例	+	0.1003	0.0504	0.0754
社会城市化	城镇居民人均消费性支出	+	0.0505	0.0415	0.0460
	万人在校大学生数	+	0.0281	0.0417	0.0349
	万人拥有床位数	+	0.0281	0.0417	0.0349
	万人拥有公交车数	+	0.0281	0.0420	0.0350
	道路面积	+	0.0156	0.0416	0.0286
	城市燃气普及率	+	0.0096	0.0420	0.0258
空间城市化	人均公共绿地面积	+	0.0477	0.1249	0.0863
	建成区面积	+	0.0477	0.1248	0.0862

2.3 新疆水贫困与城市化协调水平测算

通过式(1)计算新疆 2000—2014 年水贫困与城市化综合指数,运用耦合协调模型对新疆的水贫困及城市化的协调发展水平进行评价,结果见表 4 和图 1。

由表 4 可以看出,2000—2014 年新疆的城市化综合发展水平不断提高,其综合指数由 0.19 上升为 0.68;2004—2014 年的水贫困程度不断缓解,WPI 由 2000 年的 0.37 上升为 0.55。从这两者可以看出,新疆的城市化发展水平快速提高,水贫困改善程度比较缓慢。

从图 1 可以看出,C 值处于 0.7 ~ 1.0 之间,这说明 2000—2014 年,新疆的水贫困与城市化的耦合

表 4 新疆 2000—2014 年水贫困与城市化耦合协调发展水平

年份	$f(x)$	$g(x)$	C	T	D	协调等级
2000	0.37	0.19	0.80	0.28	0.47	濒临失调
2001	0.39	0.20	0.82	0.30	0.49	濒临失调
2002	0.46	0.21	0.74	0.33	0.50	勉强协调
2003	0.42	0.22	0.83	0.32	0.51	勉强协调
2004	0.43	0.27	0.91	0.35	0.56	勉强协调
2005	0.49	0.30	0.88	0.39	0.59	勉强协调
2006	0.48	0.39	0.98	0.44	0.65	初级协调
2007	0.48	0.43	0.99	0.46	0.68	初级协调
2008	0.47	0.45	1.00	0.46	0.67	初级协调
2009	0.49	0.47	1.00	0.48	0.69	初级协调
2010	0.64	0.52	0.98	0.58	0.75	中级协调
2011	0.57	0.58	1.00	0.58	0.76	中级协调
2012	0.58	0.61	1.00	0.60	0.77	中级协调
2013	0.62	0.66	1.00	0.64	0.80	良好协调
2014	0.55	0.68	0.98	0.62	0.78	中级协调

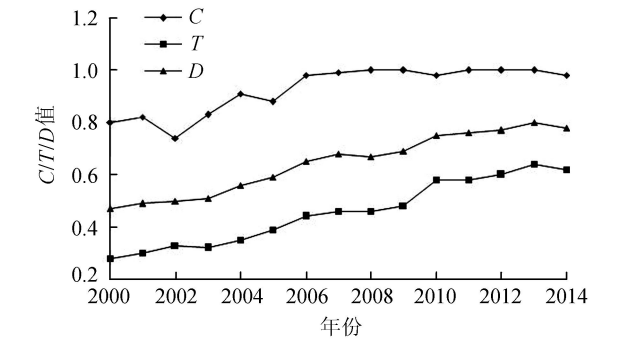


图 1 新疆 2000—2014 年水贫困与城市化的 C 、 T 、 D 变化

度一直处于高度耦合阶段^[24]。由表 4 可以看出, 2000—2014 年, 新疆地区的水贫困与城市化的耦合协调度由 0.47 上升到 0.78, 可划分为 4 个阶段: ①2000—2001 年处于濒临失调阶段, 此时水贫困程度高, 城市化发展水平低, 水贫困对城市化的约束强度比较大, 城市化对水贫困的缓解程度比较低; ②2002—2005 年处于勉强协调阶段; ③2006—2009 年处于初级协调阶段; ④2010—2014 年处于中级协调阶段。由表 4 可以看出, 新疆的水贫困与城市化的耦合协调度由濒临失调逐渐向中级协调过渡, 最终处于中级协调阶段, 整体协调水平不断提高。

2.4 水贫困对城市化水平的影响

利用 SPSS 20.0 软件对 2000—2014 年新疆城市化综合指数与水贫困的资源、设施、能力、使用和环境 5 个方面进行相关性分析, 其城市化综合指数与水贫困的 5 个方面的相关系数分别为 0.496、0.953、0.974、0.903 和 0.137。可见, 新疆城市化与环境方面的相关性最低, 相关系数仅为 0.137, 与资源方面的相关性也不高, 相关系数为 0.496, 与设施、使用、能力方面相关性比较大, 相关系数均大于 0.9。由此得出, 新疆地区的资源禀赋和环境对水资

源的影响较小, 基础设施的不断完善、经济发展水平的不断提高、科学技术水平的不断发展、产业结构的不断调整提高了水资源利用效率和水资源管理水平, 同时减少了水资源压力, 进而减缓了水贫困对城市化的约束程度。所以在新疆水资源禀赋不足的条件 下, 积极提高水资源管理及水资源利用水平, 满足快速城市化的发展需求, 实现新疆城市化的可持续发展。

3 结论及政策建议

本文在 WPI 的基础上构建新疆水贫困和城市化评价指标体系, 定量分析新疆 2000—2014 年的水贫困与城市化之间的协调关系, 得到结论: 2000—2014 年新疆的水贫困和城市化综合指数处于不断上升的趋势, 二者之间的耦合协调度也处于不断上升的状态, 从濒临失调逐渐过渡到中级协调。根据上述研究结果, 提出以下建议:

a. 调整产业结构, 减少用水压力。新疆产业用水结构不合理, 农业用水比例过高且水资源利用效率低, 水资源压力大。新疆要优化产业结构, 积极发展绿色农业、现代农业和高效农业, 提高农业水资源利用效率。同时也要大力发展第二产业和现代服务业, 增加就业机会, 转移农村劳动力, 进而缓解农村水资源压力。

b. 加强基础设施建设, 提高废水和工业废水的循环利用率。新疆经济发展落后, 要结合当地的实际情况, 在“一带一路”的战略影响下, 依托资源优势, 发展城市特色产业, 重点发展第三产业, 培育城市增长极, 带动区域经济发展, 进而减轻对水资源的依赖性, 促进水资源与城市化的协调发展。

c. 加大科技和资金投入, 加强水资源管理。新疆水资源短缺严重制约着区域经济发展。跨区域调水、引水等是解决水资源不足的有效途径。政府资金和技术支持是重大水利工程顺利进行的保障, 所以地方政府要在本地经济发展的基础上, 积极争取中央专项资金和技术支持, 加强重大水利工程建设, 积极改善区域水资源条件。大力建设和发展节水型社会, 在市场经济条件下建立合理的水价制度和水权交易市场, 通过法律法规保障和完善水资源管理制度, 从而加强水资源管理。

参考文献:

[1] JENERETTE G D, LARSEN L. A global perspective on changing sustainable urban water supplies[J]. Global and Planetary Change, 2006, 50(3/4): 202-211.

[2] 段新光, 栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载

- 力评价[J]. 中国人口·资源与环境,2014 (增刊1): 119-122. (DUAN Xinguang, LUAN Fangfang. Evaluation of water resources carrying capacity in Xinjiang based on fuzzy comprehensive model [J]. China Population, Resources and Environment, 2014 (supl): 119-122. (in Chinese))
- [3] 张燕,徐建华,吕光辉. 西北干旱区新疆水资源足迹及利用效率动态评估[J]. 中国沙漠,2008,28(4): 775-780. (ZHANG Yan, XU Jianhua, LYU Guanghui. Dynamic analysis of water footprint and resources utility efficiency of Xinjiang in Northwest China arid areas [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(4): 775-780. (in Chinese))
- [4] SULLIVAN C A, MEIGH J R, GIACOMELLO A M. The water poverty index: development and application at the community scale[J]. Natural Resources Forum, 2003, 27(3): 189-199.
- [5] 何栋材,徐中民,王广玉. 水贫困测量及应用的国际研究进展[J]. 干旱区地理,2009,32(2): 296-303. (HE Dongcai, XU Zhongmin, WANG Guangyu. Progress in the international research on water poverty measure and application [J]. Arid Land Geography, 2009, 32(2): 296-303. (in Chinese))
- [6] LAWRENCE P R, MEIGH J, SULLIVAN C. The water poverty index: an international comparison [M]. Stottordshire: Keele University, 2002.
- [7] van TY T, SUNADA K, ICHIKAWA Y, et al. Evaluation of the state of water resources using modified water poverty index: a case study in the Srepok river basin, Vietnam—Cambodia [J]. International Journal of River Basin Management, 2010, 8(3/4): 305-317.
- [8] EL-GAFY I K E D. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector [J]. Ain Shams Engineering Journal, 2015(5): 1-14.
- [9] 王雪妮,孙才志,邹玮. 中国水贫困与经济贫困空间耦合关系研究[J]. 中国软科学, 2011(12): 180-192. (WANG Xueni, SUN Caizhi, ZOU Wei. Coupling relation analysis between water poverty and economic poverty in China [J]. China Soft Science, 2011(12): 180-192. (in Chinese))
- [10] 曹茜,刘锐. 基于 WPI 模型的赣江流域水资源贫困评价[J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1306-1311. (CAO Qian, LIU Rui. Assessment of water poverty in Ganjiang Basin based on WPI model [J]. Resources Science, 2012, 34(7): 1306-1311. (in Chinese))
- [11] 杨玉蓉,张青山,邹君. 基于村级尺度的湖南农村水贫困比较研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1027-1034 (YANG Yurong, ZHANG Qingshan, ZOU Jun. A comparative study of Hunan rural water poverty based on village scale [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(7): 1027-1034. (in Chinese))
- [12] 何栋材. 水贫困理论及其在内陆河流域的应用[D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.
- [13] VARIS O, FRABOULET-JUSSILA S. Water resources development in the lower Senegal River Basin: conflicting interests, environmental concerns and policy options [J]. International Journal of Water Resources Development, 2002, 18(2): 245-260.
- [14] LE V O P. Urbanization and water management in Ho Chi Minh City, Vietnam—issues, challenges and perspectives [J]. GeoJournal, 2007, 70(1): 75-89.
- [15] MEINZEN-DICK R, APPASAMY P P. Urbanization and intersectoral competition for water [M]. Washington D C: The Woodrow Wilson Institute, 2002: 27-51.
- [16] 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. (ZHANG Shengwu, SHI Peiji, WANG Zujing. Analysis of coupling between urbanization and water resource and environment of inland river basin in arid region: a case study of Shiyang River Basin [J]. Economic Geography, 2012, 32(8): 142-148. (in Chinese))
- [17] 吕添贵,吴次芳,李冠,等. 基于 TOPSIS 法的赣江水源区城市发展与水资源环境协调性评价[J]. 资源与产业, 2014, 16(4): 83-89. (LYU Tianguai, WU Cifang, LI Guan, et al. Coordination evaluation of urban development and water environment in Ganjiang based on TOPSIS [J]. Resources & Industries, 2014, 16(4): 83-89. (in Chinese))
- [18] 张照庆. 城市化发展背景下的湘江流域水资源承载力研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [19] 刘春腊,张义丰,徐美,等. 沟域经济的地域类型识别研究:以北京市门头沟区为例[J]. 地理科学, 2012, 32(1): 39-46. (LIU Chunla, ZHANG Yifeng, XU Mei, et al. Geographic type identification of valley economy: a case of Mentougou district in Beijing, China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(1): 39-46 (in chinese))
- [20] 侯国林,黄震方. 旅游地社区参与度熵权层次分析评价模型与应用[J]. 地理研究, 2010, 29(10): 1802-1813. (HOU Guolin, HUANG Zhenfang. Evaluation on tourism community participation level based on AHP method with entropy weight [J]. Geographical Research, 2010, 29(10): 1802-1813. (in Chinese))
- [21] 阎颀. 大物流工程项目类制造系统供应链协同及评价研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [22] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 76-82. (LIAO Chongbin. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and economy: a case study of the city group in the Pearl River Delta [J]. Tropical Geography, 1999, 19(2): 76-82. (in Chinese))

(下转第 51 页)

- [8] DAGAN G. Stochastic modeling of groundwater flow by unconditional and conditional probabilities: conditional simulation and the direct problem [J]. Water Resources Research,1982,18(4) :813-833.
- [9] NEUMAN S P,ZHANG Y K. A quasi-linear theory of non-Fickian and Fickian subsurface dispersion: theoretical analysis with applicaton to isotropic media [J]. Water Resources Research,1990,26(5) :887-902.
- [10] WU J C,HU B X,HE C. A numerical method of moments for solute transport in a porous medium with multiscale physical and chemical heterogeneity [J]. Water Resources Research,2004,40(1) ,W01508.
- [11] AHMED S,MARSILY G D. Comparision of geostatistical methods for estimating transmissivity using data in transmissivity and specific capacity [J]. Water Resources Research,1987,23(9) :1717-1737.
- [12] HASSAN A E,CUSHMAN J H,DELLEUR J W. A Monte Carlo assessment flow and transport perturbation models [J]. Water Resources Research, 1998, 34 (5) : 1143-1163.
- [13] 陈彦,吴吉春. 含水层渗透系数空间变异性对地下水数值模拟的影响 [J]. 水科学进展,2005,16(4) :428-487. (CHEN Yan,WU Jichun. Effect of the spatial variability of hydraulic conductivity in aquifer on the numerical simulation of groundwater [J]. Advances in Water Science,2005,16(4) :428-487. (in Chinese))
- [14] 阎婷婷,吴剑锋. 渗透系数的空间变异性对污染物运移的影响研究 [J]. 水科学进展,2006,17(1) :29-36. (YAN Tingting, WU Jianfeng. Impacts of the spatial variation of hydraulic conductivity on the transport fate of contaminant plume [J]. Advances in Water Science,2006,17(1) :29-36. (in Chinese))
- [15] FREEZE R A. A stochastic conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in non-uniform homogeneous media [J]. Water Resources Research,1975,11(5) :725-741.
- [16] SUDICKY E A. A natural gradient experiment on solute transport in a sand aquifer: spatial variability of hydraulic conductivity and its role in the dispersion process [J]. Water Resources Research,1986,22(13) :2069-2082.
- [17] HUANG H,HASSAN A E,HU B X. Monte Carlo study of conservative transport in heterogeneous dual-porosity media [J]. Journal of Hydrology,2003,275 :229-241.
- [18] ROBIN M J L, GUTJAHR A L, SUDICKY E A, et al. Cross-correlated random field generation with the direct Fourier transform method [J]. Water Resources Research, 1993,29(7) :2385-2397.
- [19] MCDONALD M G, HARBAUGH A W. A modular three-dimension finite-difference ground water model [R]. Reston, VA, USA: USGS,1988.
- [20] ZHENG C, WANG P P. A modular three-dimension multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in ground water systems: documentation and user' s guide [R]. New York: ERDC,1999.

(收稿日期:2016-04-26 编辑:熊水斌)

(上接第 34 页)

- [23] 舒小林,高应蓓,张元霞,等. 旅游产业与生态文明城市耦合关系及协调发展研究 [J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(3) :82-90. (SHU Xiaoli, GAO Yingbei, ZHANG Yuanxia, et al. Study on the coupling relationship and coordinative development between tourism industry and eco-civilization city [J]. China Population, Resources and Environment,2015,25(3) :82-90. (in Chinese))
- [24] 齐爱荣,周忠学,刘欢. 西安市城市化与都市农业发展耦合关系研究 [J]. 地理研究,2013,32(11) :1-10. (QI Airon, ZHOU Zhongxue, LIU Huan. The coupling relationship between urbanization and urban agriculture development in Xi' an City [J]. Geographical Research, 2013,32(11) :1-10(in Chinese))
- [25] 李娜,孙才志,范斐. 辽宁沿海经济带城市化与水资源耦合关系分析 [J]. 地域研究与开发,2010,29(4) :47-51. (LI Na, SUN Caizhi, FAN Fei. The coupling relation analysis between urbanization and water resources in Liaoning coastal economic zone [J]. Areal Research and Development,2010,29(4) :47-51. (in Chinese))
- [26] 张军民. 新疆城市化进程及驱动力研究 [J]. 干旱区资源与环境,2012,26(4) :44-48. (ZHANG Junmin. The urbanization process and driving forces in Xinjiang [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2012,26(4) :44-48. (in Chinese))
- [27] 张云峰,陈洪全. 江苏沿海城镇化与生态环境协调发展量化分析 [J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(3) :113-116. (ZHANG Yunfeng, CHEN Hongquan. Analysis of coordinated development between urbanization and eco-environment in Jiangsu coastal areas [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21 (3) : 113-116. (in Chinese))
- [28] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析 [J]. 自然资源学报,2005,20(1) :105-112. (LIU Yaobin, LI Rendong, SONG Xuefeng. Analysis of coupling degrees of urbanization and ecological environment in China [J]. Journal of Natural Resources, 2005,20(1) :105-112. (in Chinese))

(收稿日期:2016-05-20 编辑:王 芳)