

西安市城市化与水资源环境耦合关系研究及预测

冯文文^{1,2}, 郭梦^{1,2}, 钱会^{1,2}, 侯凯^{1,2}

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西西安710054;

2. 长安大学旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西西安710054)

摘要: 基于西安市2005-2017年的统计数据, 构建了城市化与水资源环境间的耦合模型, 对二者间的耦合关系及影响因素进行了分析、预测。结果表明: 2005-2017年西安市城市化与水资源环境的耦合协调度介于0.3299~0.9675之间, 整体呈波动上升趋势, 70%的年份属于高协调度耦合; 2005-2012年为城市化发展滞后于水资源环境阶段, 2013-2017年为城市化发展超前于水资源环境阶段, 得益于西安市采取一系列富有成效的措施, 使水资源环境状况不断改善, 但与城市化的高速发展相比还是显得不够, 水资源环境指数将长期低于城市化综合指数; 2020年水资源环境状况虽有所改善, 但仍不能满足未来城市化的快速发展, 水资源短缺将是西安市城市长期面临的重大问题, 因此加强水资源保护、提升市政供水和污水处理能力及增强市民节水意识刻不容缓。

关键词: 城市化; 水资源环境; 耦合协调模型; 耦合关系; 西安市

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)04-0113-06

Research and prediction relationship of the coupling of urbanization and water resources environment in Xi'an City

FENG Wenwen^{1,2}, GUO Meng^{1,2}, QIAN Hui^{1,2}, HOU Kai^{1,2}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecology in Arid Areas of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on the statistical data of Xi'an from 2005 to 2017, a coupling and coordination model between urbanization and water resources environment was constructed. The coupling relationship and influencing factors between urbanization and water resources environment in Xi'an were analyzed and predicted. The results showed that the coupling degree of urbanization and water resources environment in Xi'an from 2005 to 2017 was between 0.3299 and 0.9675, and the overall trend was increase with fluctuations, and 70% of the years are highly coordinated coupling. 2005-2012 is the stage of urbanization development lagging behind the water resources environment, and 2013-2017 is the stage of the water resources environment ahead of urbanization development. Benefited from a series of fruitful measures of Xi'an, the environmental status of water resources improved. But compared with the rapid development of urbanization, it still appears to be relatively lagging. The water resources environmental index will be lower than the urbanization comprehensive index for a long time. Although the water resources environment has improved in 2020, it still cannot meet the rapid development of urbanization. The shortage of water resources will be a long-term major problem of the urban development of Xi'an. Therefore, it is imperative to strengthen water resources protection, improve municipal water supply and sewage treatment capacity, and enhance public awareness of water conservation.

Key words: urbanization; water resources environment; coupling coordination model; coupling relationship; Xi'an City

收稿日期: 2019-01-19; 修回日期: 2019-03-09

基金项目: 长安大学重点科研平台条件建设项目(310829173306); 长安大学创新团队支持项目(学科建设)(310829173701)

作者简介: 冯文文(1994-), 男, 陕西凤翔人, 在读硕士研究生, 主要从事水文水资源方面的研究。

通讯作者: 钱会(1963-), 男, 陕西泾阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文地球化学演化方面的教学与研究工作。

1 研究背景

“城市化”一词最早来源于英国,是指农业人口流向城市的过程,现阶段更多指社会变迁、经济转型及文化发展等综合性过程^[1]。改革开放后,我国城市化发展进入快车道,城市化率由1978年的17.92%上升至2016年的57.35%^[2]。城市化水平的提高,增加了对水资源的消耗,水问题能否妥善解决,已成为影响城市化健康协调发展的重要因素之一^[3-4]。

目前国内外很多专家学者对城市化与水资源之间的关系进行了研究,如Srinivasan等^[5]利用人类-环境耦合系统研究了印度Chennai地区城市化与水资源之间的相互关系,认为政府需要采取更多措施来避免水资源短缺问题,以保证城市化发展的正常有序进行;Ren Chongfen等^[6]在研究城市化与水资源关系时,创新性地引入生物学新陈代谢的概念来描述水资源问题,认为水资源代谢能力的大小会对城市化发展产生影响。此后,人们对水资源的研究更加侧重于其对城市化发展的影响,并建立耦合模型来分析两者间的相互作用关系,如黄珍涛等^[7]利用耦合协调模型对南京市城市化与水资源的耦合作用进行了研究,认为两者的耦合协调过程是呈波动增长的;吉婷婷等^[8]分析了苏州市城市化对社会经济、生态环境以及水资源的影响,并建立了该地区的水资源承载力模型。由此可见,通过建立耦合模型来研究城市化与水资源环境之间的关系,已成为当下的热门手段。

2017年,西安市国民生产总值(GDP)总量达到7471.89×10⁸元,相较于2016年增加了19.38%,到2020年GDP有望达到10000亿元^[9]。经济高速增长加快了城市化前行的步伐,社会发展与水资源之间的矛盾也愈发尖锐。西安市地处干旱和半干旱地区,大气降水是域内水资源的主要补给来源,受人类活动影响,地表水和地下水均产生了不同程度的污染,同时降水的时空分布不均更是加剧了整个社会与水资源之间的供需矛盾,水资源短缺将是西安市城市发展长期面临的重大问题^[10-14]。

基于此,本文利用2005-2017年的统计数据,在考虑城市化均衡发展与人的主客观需求基础上,构建了城市化与水资源环境综合评价指标体系和耦合协调度模型,利用主客观组合赋权的层次分析法(AHP)确定各级指标权重,分析了近13年来西安市城市化与水资源环境的耦合关系及影响因素,并

对2020年的耦合情况进行了预测,为未来西安市水生态治理及城市可持续发展提供理论支撑。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

西安市位于陕西省中部,107°40′~109°49′E和33°39′~34°44′N之间。气候上属于暖温带半湿润大陆性季风,多年平均降水量为515.7mm,受地形影响由南向北逐渐增加;年平均气温约为13.3℃,最高气温出现在7月为32℃,最低气温为1月为-4℃,最高与最低气温相差达28℃。

西安市水资源总量约为23.47×10⁸m³,人均占有水资源量约为234m³,不及全国人均水资源量的十分之一;地表水资源总量约为18.03×10⁸m³,可利用量约为38%;地下水资源总量约为13.94×10⁸m³,可利用量约为63%^[9-12]。

2005-2017年西安市经济状况取得了巨大成就,国民生产总值(GDP)呈倍数增长,从2005年的1313.93×10⁸元增长至2017年的7471.89×10⁸元;城镇人口比重从2005年的71.89%增长至2017年的73.42%;第三产业占GDP比重由2005年的53.84%增长至2017年的61.49%^[9]。

2.2 数据来源

本文所采用的城市化相关数据来源于2015-2017年的《西安市统计年鉴》;水资源相关数据来源于2005-2017年的《西安市水资源公报》和《陕西省水资源公报》;2020年各项指标数据来自《西安城市总体规划(2008-2020年)修改》。

3 研究方法

3.1 综合指数计算

城市化系统与水资源系统之间的相互作用关系,受到其系统自身组成因素的稳定性、非线性过程影响^[3]。借助线性代数的相关知识,将水资源系统与城市化系统概化为一系列线性方程组,表示为:

$$\begin{cases} f(c) = \sum \omega_i x_i & i = 1, 2, 3, \dots, n \\ f(\omega) = \sum \omega_j y_j & j = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(c)$ 、 $f(\omega)$ 为城市化和水资源环境系统(标准化运算所得为本文的综合指数); x_i 、 x_j 分别为对应于各自系统中的元素; ω_i 、 ω_j 分别为系统中对应元素的权重。

3.2 耦合协调模型

耦合协调程度是对系统内要素间相互混乱程度

及变化趋势的描述,耦合度可以用来反映整个系统有序程度^[15]。因此,对城市化系统与水资源系统的内在关联可利用耦合概念模型进行探讨。本次研究利用耦合协调度模型来反映城市化与水资源环境间的耦合程度,其模型公式如下^[7-8,16]:

$$T = \alpha f(c) + \beta f(\omega) \quad (2)$$

$$C = \left\{ \frac{f(c) \cdot f(\omega)}{\left(\frac{f(c) + f(\omega)}{2} \right)^2} \right\}^k \quad (3)$$

$$D = \sqrt{T \cdot C} \quad (4)$$

式中: D 为耦合协调度; C 为耦合度; T 为城市化与水资源综合评价指数,它反映了系统作为整体的协同效应或贡献; α, β 为待定系数(根据西安市的实际情况,取 $\alpha = \beta = 0.5$); k 为调节系数(一般情况下, $2 \leq k \leq 5$, 本文只有城市化和水环境两个要素,因而取 $k = 2$)。

根据前人研究资料^[11,13-14] 及西安市城市化与水资源利用现状,相应的耦合协调度分类见表 1。

3.3 指标体系计权重确定

在确定评价城市化和水资源环境的指标时,首要应考虑人的生活需求和全面发展。城市化与水资源环境关系可以简述为:城市化的快速发展对水资源供给能力提出了更高的要求,使得水资源面临前所未有的压力,水资源压力的大小则决定了水资源保护需要的成本和力度,水资源保护的成效又成为影响水资源水平的重要因素^[3](见图 1)。

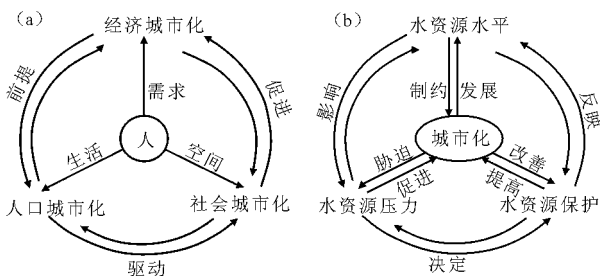


图 1 城市化与水资源相互关系示意图

基于上述分析,结合已有研究成果^[17-19] 和区域自身特征构建了西安城市化与水资源环境的评价指标体系,见表 2。

为了消除各评价指标测量尺度与量纲不同的影响,采用主客观组合赋权的层次分析法(AHP),一级指标本研究采用主观赋权法,二级指标利用客观赋值变异系数法来确定各指标的权重^[20-22]。本文认为和谐健康的现代城市化应该是经济、人口、社会、空间四者协调共同发展,因此城市化 4 项一级指

标 X_1, X_2, X_3, X_4 对城市化发展的贡献是相等的,其权重均为 0.25。同理,对与水资源环境来说,开发、节约与保护同样重要,因而水资源环境 3 项一级指标 Y_1, Y_2, Y_3 权重均为 0.333。

表 1 耦合度和耦合协调度评价等级分类表

耦合度(C)	系统间关系	耦合协调度(D)	协调等级
$C = 0$	无序发展	$0 \leq D \leq 0.09$	极度失调
		$0.1 \leq D \leq 0.19$	严重失调
$0 < C \leq 0.3$	低水平耦合	$0.2 \leq D \leq 0.29$	中度失调
		$0.3 \leq D \leq 0.39$	轻度失调
		$0.4 \leq D \leq 0.49$	濒临失调
		$0.5 \leq D \leq 0.59$	勉强协调
$0.3 < C \leq 0.5$	拮抗阶段	$0.6 \leq D \leq 0.69$	初级协调
		$0.7 \leq D \leq 0.79$	中级协调
$0.5 < C \leq 0.8$	磨合阶段	$0.8 \leq D \leq 0.89$	良好协调
		$0.9 \leq D \leq 1.00$	优质协调
$0.8 < C \leq 1$	高水平耦合		
$C = 1$	有序发展		

4 结果分析

图 2 为城市化与水资源环境的耦合度与耦合协调度关系。由图 2 可以看出,西安市的城市化发展与水资源环境耦合度总体上呈趋于良好的发展过程:初期为低水平耦合,而后变为一个平稳的过程,2012 年为耦合度值最大年份;协调过程经历了初期的弱协调,而后进入相互拮抗的磨合期,最后步入协调发展的有序过程。结合图 3 城市化与水资源环境综合指数评价,可将此过程划分为 2 个阶段:(1)城市化发展滞后于水资源环境阶段;(2)城市化发展超前于水资源环境阶段。

4.1 城市化发展滞后于水资源环境阶段

2005 - 2012 年为西安市城市化发展滞后于水资源环境的阶段,由图 3 可以看出,城市化综合指数增加了 0.2474,水资源环境综合指数下降了 0.222,说明在这一阶段随着城市化发展进程的加快,水资源环境状况在不断恶化。耦合协调度呈上升趋势,属于失调向初级协调的过渡阶段。

图 4 为 2005 - 2020 年西安市城市化综合评价 4 项指数变化趋势,表 3 为 2005 - 2020 年西安市主要评价指标数值统计。图 4 表明,2005 - 2012 年城市化综合评价的各项指数均呈上升趋势,说明该阶段城市化进程发展迅速,结合表 3 分析表现为 GDP 增加了 232%,城镇人口增长了 14.71%,说明这一阶

段 GDP 和人口增长是推动城市化发展的主要驱动力;第三产业与第二产业的产值比下降了 7.07%,说明各产业经济发展不均衡,第二产业发展速度最快;建成区面积增长了 95%,人均公园绿地面积增长了 56%,说明城市面积扩大同时也兼顾了人均生

活空间和环境的发展;城镇居民人均可支配收入增长了 211%,万人拥有医生数和万人拥公共汽车辆数分别增加了 92%和 16%,说明随着城镇居民收入的增长,城市社会条件也在不断改善,尤其是医疗卫生条件,但公共事业发展则稍显迟滞。

表 2 西安市城市化与水资源环境耦合关系评价体系及权重

目标层	一级指标层	二级指标层	权重	指标属性
城市化(X) X = 1	人口城市化(X ₁) X ₁ = 0.25	城镇人口比重/%	0.4695	正向
		第三产业占就业人口比重/%	0.5305	正向
		人均 GDP/元	0.2203	正向
	经济城市化(X ₂) X ₂ = 0.25	人均工业总产值/元	0.1953	正向
		第三产业占 GDP 比重/%	0.2924	正向
		第三产业/第二产业产值比/%	0.2920	正向
	空间城市化(X ₃) X ₃ = 0.25	人均公园绿地面积/m ²	0.2393	正向
		建成区面积/km ²	0.3975	正向
		建成区绿化覆盖率/%	0.3631	正向
		人均拥有道路面积/m ²	0.1228	正向
	社会城市化(X ₄) X ₄ = 0.25	万人拥有医生人数	0.1569	正向
		万人拥有公共车辆/辆	0.1783	正向
高等学校在校学生人数		0.1349	正向	
城镇恩格尔系数		0.1984	负向	
水资源环境(Y) Y = 1	水资源水平(Y ₁) Y ₁ = 0.333	城镇居民人均可支配收入/元	0.2089	正向
		人均水资源拥有量/m ³	0.4243	正向
		年降雨量/mm	0.2563	正向
	水资源压力(Y ₂) Y ₂ = 0.333	年供水总量/10 ⁴ t	0.3194	正向
		人均日生活用水量/L	0.5482	负向
		万元地区生产总值用水量/m ³	0.4518	负向
水资源保护(Y ₃) Y ₃ = 0.333	城镇生活污水排放量/10 ⁴ t	0.2625	负向	
	工业废水排放量/10 ⁴ t	0.1873	负向	
		污水处理率/%	0.2658	正向
		工业废水排放达标率/%	0.2844	正向

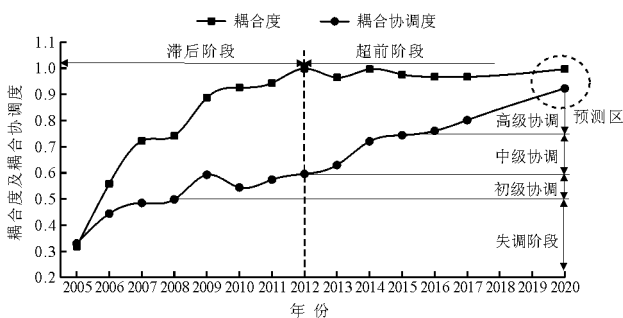


图 2 西安城市化与水资源环境的耦合度与耦合协调度



图 3 西安城市化发展与水资源环境的综合评价指数

表 3 2005 - 2020 年西安市主要评价指标数值统计或预测表

年份	国民生产总 值/10 ⁸ 元	城镇人 口/10 ⁴	第三产业/第 二产业产值/%	建成区 面积/km ²	人均公园绿 地面积/m ²	万人拥有 医生人数	人均水资源 拥有量/m ³	年供水总 量/10 ⁴ t	污水处 理率/%	工业废水排放 达标率/%	万元 GDP 用水量/m ³
2005	1313.93	533.21	130.88	231	6.56	37.39	250.0	35776	95.49	95.56	133.87
2006	1538.94	540.97	127.45	261	10.76	37.19	244.0	28762	93.15	93.15	119.43
2007	1856.63	549.19	126.89	268	7.61	48.76	193.6	32959	93.00	93.24	86.61
2008	2318.40	554.73	125.63	273	7.80	61.42	203.7	36471	94.00	92.59	73.59
2009	2724.08	561.58	128.32	283	7.90	66.06	188.6	38307	94.00	91.93	57.27
2010	3241.69	584.71	120.49	395	9.11	66.77	184.9	41089	96.00	77.12	48.12
2011	3862.58	596.79	120.36	415	9.89	71.98	189.4	38934	85.90	96.08	41.74
2012	4366.10	611.62	121.63	451	10.22	78.22	192.4	45791.77	89.51	88.90	37.69
2013	4924.97	618.77	136.37	505	10.70	82.83	197.4	51372.07	90.72	85.77	34.43
2014	5492.64	616.44	140.48	522	11.22	88.10	202.8	53798.99	92.71	91.77	31.79
2015	5801.20	635.68	162.48	549	11.47	93.57	209.1	26055.25	91.85	91.93	31.38
2016	6257.18	648.54	175.00	566	11.61	97.66	209.1	59953.03	91.93	94.49	29.51
2017	7471.89	706.06	176.00	683	12.04	97.98	197.9	89215.62	91.93	95.49	25.50
2020	10000	850.67	176.00	960	12.04	97.98	300	88695	98	98	21.86

图 5 为 2005 - 2020 年水资源环境综合评价 3 项指数变化趋势。图 5 表明,2005 - 2012 年资源环境综合评价的各项指数都呈下降趋势,结合表 3 可以看出,人均拥有水资源量下降了 23%,城镇生活污水排放量增长了 479%,污水处理率下降了 5.98%,表明城市发展产生的生活污水在不断增加,原有的城市污水处理设施已经有些不堪重负。

4.2 城市化发展超前于水资源环境阶段

2013 - 2017 年为西安市城市化发展超前于水资源环境阶段。由图 3 可以看出,该阶段城市化与水资源环境的耦合协调关系属于中级协调到高级协调,耦合协调度增加了 0.1723,耦合度却比最高值下降了 0.0288,主要是因为城市化发展速度过快,部分达到或超过现状条件下的水资源承载能力,导致出现协调却不耦合的异常现象。

2013 - 2017 年,城市化综合评价的各项指数都呈快速上升趋势(图 4),说明该阶段城市化进程显著提速,结合表 3 分析表现为 GDP 增长了 52%,2017 年第三产业占 GDP 比重达到 61.49%,与第二产业产值比更是高达 176%,表明经济增长依旧是推动城市化发展的主要驱动力,人口的影响已经被弱化,同时第三产业占经济比重在不断增加,并解决了 58.29% 的城镇人口就业问题,说明该阶段西安经济转型和产业升级带来的效果正在逐步显现,这种不显著增加城市水资源负担的发展方式应当是西安市未来城市化发展的方向。社会发展方面,2013 - 2017 年西安市人均公园绿地面积增长了 12.52%,人均拥有道路面积增长

了 10%,万人拥有医生数增加了 18.29%,表明城市化快速推进的同时也兼顾了人均生活空间和环境的改善,但与经济增加 52% 和人口增加 14% 相比,社会生活的基本医疗卫生、环境条件和公共出行条件的改善力度还不够。

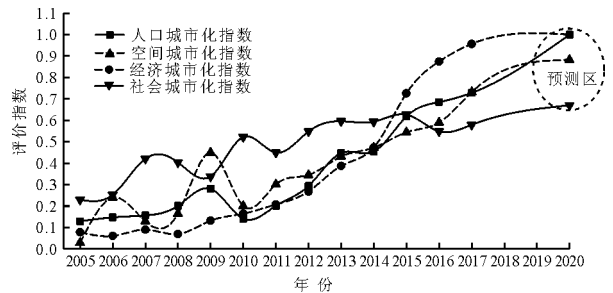


图 4 西安市城市化综合评价 4 项指数变化趋势

另外,由图 5 结合表 3 可以看出,人均拥有水资源量下降了 0.25%,年降水量和年供水量则分别增加了 53% 和 73%,极大的改善了城市水资源状况,是水资源环境综合指数上升的主要因素;城镇生活污水排放量增长了 164%,污水处理率增加了 1.33%,工业废水排放达标率增加了 11.33%,表明该阶段,西安市加大了对水资源保护的重视力度及对污水治理的投资,使得污水处理率和工业用水效率有了明显的提升,水资源压力水平降低。

综合以上因素,城市化大发展背景下水资源环境状况得到适度改善,承载能力在不断增强,但远达不到城市化发展的要求,因而使得城市化与水资源环境综合指数二者间的差距逐渐扩大,至 2017 年,其相对差距大于 0.24,且呈不断增加的趋势,水资

源环境严重滞后于城市化发展。

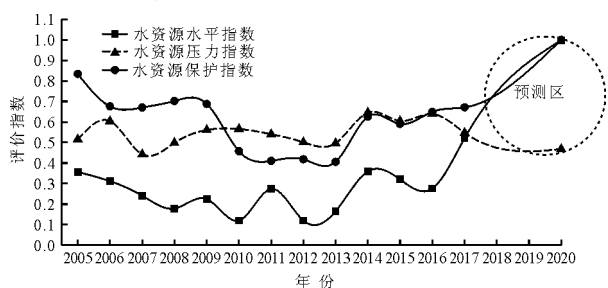


图5 西安市水资源环境综合评价3项指数变化趋势

5 未来水平年耦合预测

2018年2月西安成为第9个国家中心城市,在国家层面的大力推动下西安市提出到2020年GDP总量要达到1万亿元,经济的高速发展对现有的水资源环境状况提出了更高要求。为应对西安城市化发展过快,水资源对于城市化发展的掣肘问题,西安市政府在《西安城市规划(2008-2020年)修改》中提出了实施一系列水生态恢复改善措施,并被国家水利部列为“全国水生态文明城市建设”试点城市。

在“开源节流”的原则指导下,实施生态引水相互联通西安市内现有湖泊水系,提出了一系列针对性的措施和指标。基于此本文利用耦合协调度模型,对2020年西安市城市化和水资源环境耦合协调情况进行了预测分析(见图2、图3)。结果表明,至2020年城市化与水资源环境耦合协调度由2017年的0.8015上升至0.9230,已达到高级协调阶段;水资源环境综合指数由2017年的0.5790上升至0.8210,增长了42%,与城市化与水资源综合指数差距已缩小至0.0671,说明西安市实施的水生态恢复措施是积极富有成效的,极大地改善了西安市现有的水资源状况,为未来城市化发展提供了充足的水资源,使城市化发展更加协调、有序。

6 结论

通过建立城市化和水资源系统的综合评价指标体系,确立了二者间的耦合协调度模型,对西安市城市化与水资源环境协调关系进行评价及预测,主要结论如下:

(1)模型结果表明,2005-2017年西安市城市化与水资源环境耦合协调关系呈波动式上升趋势,耦合协调度由2005年的0.3299升至2017年的0.8015;70%的年份属于中高水平协调阶段,说明西安市水资源丰富有较大开发潜力,应加快推进城市化进程,合理规划使用域内水资源,最终达到城市化

和水资源环境协调、有序发展。

(2)依据综合指数评价结果将西安市城市发展划分为两个阶段,2005-2012年为城市化发展滞后于水资源环境阶段,表明城市化的快速发展使得原有市政设施不堪重负,水资源环境状况在不断恶化;2013-2017年为城市化发展超前于水资源环境阶段,得益于西安市采取一系列富有成效的措施,使水资源环境状况不断改善,但与城市化的高速发展相比,还是显得不够,水资源环境指数将长期低于城市化综合指数。

(3)2020年西安市城市化与水资源环境耦合预测结果表明,实施以“开源节流”为主的水生态保护措施是积极富有成效的,不仅改善了西安市的水资源情况,而且促进了节水型社会建设和发展方式的转变;但规划出台时间较早,对水资源的规划涵养以地表水为主,忽视了地下水系统作为天然调蓄水库的重大作用,其次目标的实际完成率仍有待考量,因而水资源短缺将是西安市城市发展长期面临的重大问题,因此加强水资源保护、提升市政供水和污水处理能力及增强市民节水意识刻不容缓。

参考文献:

- [1] 张璐. 城市化、工业化结构变迁的文献综述[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(32): 1-4+9.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[J]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [3] 田振君. 水文水资源对城市化发展影响探析[J]. 吉林农业, 2019(5): 50.
- [4] 田涛, 薛惠锋. 城镇化背景下广州市水安全评价研究[J]. 人民黄河, 2019, 41(1): 51-57.
- [5] SRINIVASAN V, SETO K C, EMERSON R, et al. The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India[J]. Global Environmental Change, 2013, 23(1): 229-239.
- [6] REN Chongfeng, GUO Ping, LI Mo, et al. An innovative method for water resources carrying capacity research: Metabolic theory of regional water resources[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 167: 139-146.
- [7] 黄涛珍, 刘栋, 黄萍, 等. 基于耦合模型的城市化与水资源保护关系研究——以南京市为例[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(12): 9-14.
- [8] 吉婷婷, 倪立奇. 苏州城市化与水资源环境耦合关系时序特征研究[J]. 人民长江, 2018, 49(21): 49-55.
- [9] 西安市统计局. 2018年统计年鉴[J]. 2018.
- [10] 王博. 西安市水资源合理利用问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2015. (下转第123页)

- [3] 王安亭,方玮,白云山. 陆浑水库污染源调查及防治措施[J]. 水电能源科学,2011,29(3):34-36+193.
- [4] 张煦,熊晶,程继雄,等. 模糊数学在丹江口水库富营养化评价中的应用[J]. 中国环境监测,2017,33(3):99-105.
- [5] 夏斌,陈碧鹏,辛福言,等. 灰色聚类法在胶州湾富营养化评价中的应用[J]. 渔业科学进展,2011,32(5):114-120.
- [6] 崔东文. 几种神经网络模型在湖库富营养化程度评价中的应用[J]. 水资源保护,2012,28(6):12-18.
- [7] 郭树宏,林志杰. 密切值法在泉州市山美水库水质综合评价中的应用[J]. 安全与环境工程,2010,17(5):44-46.
- [8] 陈新,刘晓冬,翟瑞滨. 密切值法在水环境质量综合评价中的应用[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2005,17(6):81-83.
- [9] 邹凤钗. 赤水河中段水体中重金属含量及其影响因素研究[D]. 贵阳:贵州大学,2010.
- [10] 吴旻妍,薛媛媛,吴福全. 改进密切值法在阳澄湖水水质评价中的应用[J]. 环境监控与预警,2015,7(3):39-42.
- [11] 张薇,何瑞春. 基于案例推理的交通疏导辅助决策方法[J]. 计算机工程与设计,2014,35(10):3621-3625.
- [12] 马小雪,王腊春,曾春芬,等. 基于熵权的有机污染综合评价法在水质评价中的应用[J]. 水电能源科学,2014,32(1):32-35.
- [13] 吴健华,李培月. 多种密切值法在水质评价应用中的对比研究[J]. 水利科技与经济,2010,16(5):481-483.
- [14] 郑德凤,李晓研,王希庆. 基于熵权的密切值法在大连市地下水水质评价中的应用[J]. 安全与环境学报,2011,11(2):113-115.
- [15] 李秀花,王金山,孔伟斌,等. 基于熵权密切值法的博斯腾湖大湖区水质动态分析[J]. 黑龙江大学工程学报,2015,6(3):50-56+61.
- [16] 林华. 基于熵权的密切值法在山仔水库营养类型评价及趋势变化分析中的应用[J]. 海峡科学,2009(6):113-116.
- [17] 张成成,沈爱春,张晓晴,等. 应用支持向量机评价太湖富营养化状态[J]. 生态学报,2013,33(23):7563-7569.
- [18] 贺克雕. 滇池水质状况综合评价及变化趋势分析[J]. 人民长江,2012,43(12):37-41.
- [19] 陈明生,王旭峰,沈斐敏. 密切值法优选矿井通风优化方案[J]. 工业安全与环保,2013,39(1):50-52.
- [20] 林高松,黄晓英,李娟. 基于投影寻踪法的深圳水库富营养化评价——以深圳市铁岗水库与石岩水库为例[J]. 热带地理,2010,30(2):130-134.
- [21] 范小萍,陈盛,张江山. 基于熵权的改进密切值法在水质综合评价中的应用[J]. 环境保护与循环经济,2012(4):42-45.

(上接第118页)

- [11] 史方方. 西安建设国际化大都市的水资源承载力浅析[J]. 陕西水利,2018(1):28-30.
- [12] 刘选利,张小平,马丁. 西安市水资源状况分析[J]. 给水排水,2012,38(S2):28-29.
- [13] 何艳冰,黄晓军,翟令鑫,等. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素[J]. 地理学报,2016,71(8):1315-1328.
- [14] 任燕. 西安旅游城市化过程、格局与机制[J]. 西安财经学院学报,2017,30(3):68-75.
- [15] 吴大进,曹力. 协同学原理和应用[J]. 华中理工大学,1990:9-17.
- [16] 鲍超,方创琳. 河西走廊城市化与水资源利用关系的量化研究[J]. 自然资源学报,2006(2):301-310.
- [17] 高翔,鱼腾飞,程慧波. 西北地区水资源环境与城市化系统耦合的时空分异——以西陇海兰新经济带甘肃段为例[J]. 干旱区地理,2010,33(6):1010-1018.
- [18] 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.
- [19] 徐云锋,刘玉邦,刘勇. 新型城镇化建设的水资源支撑力评价[J]. 人民长江,2017,48(19):61-65+71.
- [20] 海霞,李伟峰,王朝,等. 京津冀城市群用水效率及其与城市化水平的关系[J]. 生态学报,2018,38(12):4245-56.
- [21] 张勇,郭纯青. 广西北部湾经济区水资源支撑能力与城市化系统关系研究[J]. 节水灌溉,2018(10):54-58.
- [22] 陈晓. 南京市城市化与水源的协调发展分析[J]. 人民珠江,2017,38(7):40-44.