

江苏省太湖流域用水量变化驱动因素研究

姬生才^a, 陆桂华^{a,b}, 何海^{a,b}, 吴志勇^{a,b}

(河海大学 a. 水文水资源学院; b. 水问题研究所, 南京 210098)

摘要: 近年来, 水资源短缺逐渐成为制约经济社会可持续发展的主要因素, 同时经济发展、人口增加、城镇化进程加快等因素对水资源需求也形成了新的挑战。根据江苏省太湖流域 2001 年 - 2011 年用水量与社会经济、科学技术、水资源禀赋等方面资料, 应用加权灰色绝对关联度方法定量分析了用水总量、农业用水量、工业用水量以及生活用水量不同驱动因素的影响程度, 结果表明: 工业用水量变化的驱动因素中的“工业增加值占 GDP 比例”对用水总量影响最大, 生活用水量变化驱动因素中的城镇化率次之, 而农业用水量变化驱动因素中的有效灌溉面积的影响相对较小。据此, 分别从工业用水、生活用水、农业用水三方面提出了控制用水量的措施, 为实现区域水资源与经济社会的协调可持续发展提供依据。

关键词: 加权灰色绝对关联度; 江苏省太湖流域; 用水量; 驱动因素

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0231-05

Driving factors of water use in the Taihu Lake Basin of Jiangsu

Ji Sheng cai^a, LU Gui hua^{a,b}, HE Hai^{a,b}, WU Zhi yong^{a,b}

(a. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

b. Institute of Water Problems Research Academy, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In recent years, water resources shortage has become the main factor restricting the sustainable development of economy and society. Meanwhile, the factors such as economic development, population growth, and accelerated urbanization process have formed the new challenge for the water resources demand. Based on the water use data in the Taihu Lake Basin from 2001 to 2011 and other information such as social economy, science and technology, and water resources endowment, the weighted grey absolute correlation degree method was used to quantitatively analyze the different driving factors for the total water use, agricultural water use, industrial water use, and domestic water use. The results showed that the industrial added value accounting for GDP, one driving factor of the industrial water use, has the most significant effects on the total water use; followed by the urbanization rate, one driving factor of the domestic water use; and the effective irrigation area, one driving factor of the agricultural water use, has the least significant effects. On the basis, the controlling water use measures were proposed from the aspects of industrial water use, domestic water use, and agricultural water use, which can provide the reference for the coordinated and sustainable development of water resources and social economy.

Key words: weighted grey absolute correlation degree; Taihu Lake Basin of Jiangsu; water use; driving factor

水资源是基础性自然资源, 是生态环境的控制性因素之一, 同时又是战略性经济资源^[1], 水资源的可持续利用直接关系到经济安全、社会稳定和可持续发展。太湖是我国第三大淡水湖, 其流域面积有 3.69 万 km², 其中江苏境内占 53%^[2]。江苏省太湖流域是我国人口最集中、经济最发达的地区之一(见图 1)。近年来, 该流域本地水资源不足, 而且人口的急剧增加和经济的快速增长进一步加剧了水资源供需

矛盾, 对水资源需求形成了新的挑战。为缓解水资源供需矛盾, 深入认识水资源需求, 实现“最严格水资源管理制度”中“用水总量控制”的目标, 需要对用水量变化驱动因素全面而深刻地了解。

国内外已有部分学者针对用水量影响因素做了研究, Gazzinelli 等^[3]利用多元回归分析法定量分析了经济增长、人口、环境和区域差异对农村生活用水变化影响; 王康^[6]基于

收稿日期: 2014-04-18 修回日期: 2014-07-01 网络出版时间: 2014-03-19

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150319.0936.011.html>

基金项目: 国家社科基金重大项目(12&ZD214); 国家社科基金项目(12CGL068); 江苏省水利厅科技计划项目(201202; 2011529012)

作者简介: 姬生才(1990), 男, 山东临沂人, 主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail: jsc_2008@yeah.net

通讯作者: 陆桂华(1962-), 男, 浙江东阳人, 教授, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: lugh@hhu.edu.cn



图 1 江苏省太湖流域

Fig. 1 The Taihu Lake Basin of Jiangsu

扩展的 IPAT 等式,定量分析了富裕程度、人口、用水强度和产业结构 4 种因素对甘肃用水量变化的作用;柳景青等^[7]应用粗糙集理论对城市日用水量的 7 个影响因素进行影响程度分析;李晓慧等^[8]通过构建投入产出结构分解模型,分析了产业技术效应、用水强度效应、最终需求效应对江苏省用水量变化影响,但未针对某一具体因素进行分析。鉴于多元回归易存在共线性、IPAT 等式评价因素较少、粗糙集理论计算复杂等问题,本文将传统灰色绝对关联度改进为加权灰色绝对关联度,对江苏省太湖流域用水总量、农业用水量、工业用水量、生活用水量驱动因素进行定量分析,以期揭示影响江苏省太湖流域用水量变化的主要因素,为进一步科学、合理开发利用水资源提供参考。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

为便于资料的收集和统计,以苏州、常州、无锡三市及高淳、丹阳、句容三区(县)的范围代表江苏省太湖流域。研究中选用的数据主要分为用水量和用水量驱动因素两方面,其中用水量数据来源于 2001 年—2011 年的《江苏省水资源公报》,用水量驱动因素数据源自 2001 年—2011 年的《江苏省统计年鉴》。受资料的限制,本研究仅对用水总量、工业用水量、农业用水量、生活用水量变化驱动因素进行评价。

1.2 研究方法

灰色关联度分析法不仅是灰色理论的重要组成部分,也是灰色系统分析、预测和决策的基础^[9],其基本思想是根据序列曲线几何形状来判断不同序列之间联系的紧密程度^[10]。灰色关联度分析法具有样本需求量少、数据不需要特定分布形式、计算方法简便、定量分析结果与定性分析结果一致、精准度高、适用范围广等优势^[11]。

1.2.1 灰色绝对关联度

自邓聚龙教授提出灰色关联分析模型^[12]以来,又相继出现了绝对关联度^[13]、T 型关联度^[14]、斜率关联度^[15]等。随着灰色系统研究的不断发展,灰色关联度分析法也在不断完善。灰色绝对关联度分析法^[13]克服了邓氏关联度分析法需要确定分辨系数的不足,而是根据两时间序列在各时段变化态势的接近程度来判断两曲线的相似程度,其具体计算方法如下:

设参考序列为 $X_0 = \{X_0(k), k = 1, 2, \dots, n\}$, 对比序列为 $X_i = \{X_i(k), k = 1, 2, \dots, n\}, i = 1, 2, \dots, m$ 表示对比序列

的个数。

步骤一:无量纲化。为消除参考序列和对比序列量纲与量级对分析结果影响,增加序列间的可比性,需要进行无量纲化处理。灰色关联分析中常用的无量纲化方法包括初值法、均值法、标准化法等,由于初值法相对简单、直观,所以本研究选用初值法。

$$y_0 = \{X_0(k)/X_0(1), k = 1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

$$y_i = \{X_i(k)/X_i(1), k = 1, 2, \dots, n\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

步骤二:一次累减。其目的是求出参考序列和对比序列各时段的斜率大小。

$$\alpha(y_0(k+1)) = y_0(k+1) - y_0(k) \quad (3)$$

$$\alpha(y_i(k+1)) = y_i(k+1) - y_i(k) \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, n-1; i = 1, 2, \dots, m$$

步骤三:计算各时段关联系数。

$$\xi_{X_0, X_i} = \frac{1}{1 + |\alpha(y_0(k+1)) - \alpha(y_i(k+1))|} \quad (5)$$

式中: ξ_{X_0, X_i} 为参考序列 X_0 与对比序列 X_i 之间的关联系数。

步骤四:计算关联度。关联度大小表征参考序列与对比序列间的相似程度,关联度越大,两者相似性越高,即对比序列所对应的指标对参考序列指标影响越大。关联度计算公式如下:

$$V_{(X_0, X_i)} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} \xi_{X_0, X_i}(k+1) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

式中: $V_{(X_0, X_i)}$ 为参考序列 X_0 与对比序列 X_i 之间的关联度。

1.2.2 改进的加权灰色绝对关联度

由式(6)可以看出,灰色绝对关联度的计算方法为求取各时段关联系数的平均值,而关联系数代表各时段参考序列与对比序列之间的相似程度,且其大小不一,甚至有时悬殊较大。所以传统的灰色绝对关联度易受关联系数极大值或极小值的影响,或当各时段关联系数之和保持不变时,即使各时段的关联系数发生较大变化,关联度大小仍保持不变。为消除上述因素对关联度的影响,提高评价结果的准确性,可以采取求关联系数与相应权重系数之积的和。

根据灰色关联度分析法的基本思想,权重的大小可以根据各时段参考序列与对比序列斜率相似性确定,相似性越大,权重越大,反之权重越小。此方法克服了文献[16]权重确定时要求序列指标递增的不足。

$$\omega_i(k+1) = \frac{w_i(k+1)}{\sum_{k=1}^{n-1} w_i(k+1)} \quad (7)$$

式中: $\omega_i(k+1)$ 为对比序列 i 在各时段的权重大小,且

$$\sum_{k=1}^{n-1} \omega_i(k+1) = 1; w_i(k+1) = \frac{1}{1 + \left| \frac{\alpha(y_0(k+1))}{\alpha(y_i(k+1))} \right|} \quad (8)$$

根据式(7)获得权重大小,计算各时段关联系数与权重之积的和,以获得改进后的加权灰色绝对关联度。加权灰色绝对关联度与传统绝对关联度计算步骤除第四步关联度计算方法不同外,前三步均相同。

加权灰色绝对关联度如下:

$$V_{(X_0, X_i)} = \sum_{k=1}^{n-1} \omega_i(k+1) \xi_{X_0, X_i}(k+1)$$

$$k=1, 2, \dots, n-1; i=1, 2, \dots, m \quad (9)$$

式中: $\gamma(x_0, x_i)$ 为参考序列 X_0 与对比序列 X_i 之间的关联度; $\omega_i(k+1)$ 为对比序列 i 在各时段的权重大小; $\xi_{x_0, x_j}(k+1)$ 为参考序列 X_0 与对比序列 X_j 在各时段的关联系数。

2 用水量变化驱动因素分析

2.1 用水量变化趋势

近年来,江苏省太湖流域经济社会快速发展的同时,用水量也发生了较大变化。该流域 2001 年-2011 年用水量、农业用水量、工业用水量(除火核电)、生活用水量变化趋势各不相同(见图 2),其中用水总量呈现先升后降的“U”型曲线变化态势;农业用水量虽局部有波动,但整体呈递减变化;工业用水量与用水总量变化趋势基本一致,均为先升后降;生活用水量表现出稳步增加变化趋势。

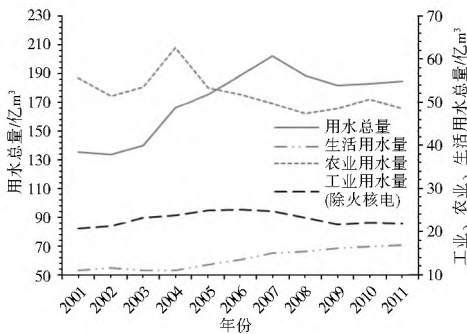


图 2 江苏省太湖流域各行业用水量变化趋势

Fig.2 Variation trends of different water uses in the Taihu Lake Basin of Jiangsu

2.2 加权灰色绝对关联度计算

由于江苏省太湖流域用水量影响因素较多,为便于统计分析,故将用水总量变化驱动因素分为社会经济、科学技术和水资源禀赋三个方面,再选择具有代表性的指标;农业用水量、工业用水量以及生活用水量除与用水总量共用部分驱动因素外,还选择了各自相应代表因素。以江苏省太湖流域用水量作为参考序列,用水量变化驱动因素作为对比序列,见表 1、表 2。

根据江苏省太湖流域 2001 年-2011 年用水量与驱动因素的统计资料,按照加权灰色绝对关联度的计算步骤,首先应用初值化方法对参考数列与对比序列进行无量纲化处理,再按照步骤二和三,计算出各时段的关联系数,最后在利用式(7)计算出权重大小的基础上,根据式(8)计算出改进后的

表 1 用水总量参考序列与对比序列指标

Tab.1 The indexes of reference sequence and compared sequence for total water use

参考序列		对比序列	
标号	指标	标号	指标
X ₀	用水总量	X ₁	人均 GDP/元
		X ₂	第一产业增加值占 GDP 比例(%)
		X ₃	工业增加值占 GDP 比例(%)
		X ₄	第三产业增加值占 GDP 比例(%)
		X ₅	城镇化率(%)
		X ₆	有效灌溉面积/10 ³ hm ²
		X ₇	万元工业增加值用水量/m ³
		X ₈	居民生活用水定额/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)
		X ₉	农田灌溉亩均用水量/m ³
		水资源禀赋	X ₁₀

注: ¹ GDP 已折算为 2000 年可比价格; ² 由于县级城镇人口数据难以收集,江苏省太湖流域城镇化率以无锡、常州、苏州三市的城镇化率代替。

表 2 农业、工业、生活用水量参考序列与对比序列指标

Tab.2 The indexes of reference sequence and compared sequence for agricultural, industrial, and domestic water use

参考序列		对比序列	
标号	用水量指标	标号	指标
F ₀	农业用水量 / 亿 m ³	X ₁	人均 GDP/元
		X ₂	第一产业增加值占 GDP 比例(%)
		X ₆	有效灌溉面积/10 ³ hm ²
		X ₉	农田灌溉亩均用水量/m ³
		X ₁₀	人均水资源量/m ³
		F ₁	第一产业增加值/亿元
I ₀	工业用水量 / 亿 m ³	F ₂	降水量/mm
		X ₁	人均 GDP/元
		X ₃	工业增加值占 GDP 比例(%)
		X ₇	万元工业增加值用水量/m ³
L ₀	生活用水量 / 亿 m ³	X ₁₀	人均水资源量/m ³
		I ₁	工业增加值/亿元
		X ₁	人均 GDP/元
		X ₅	城镇化率(%)
		X ₈	居民生活用水定额/(L·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)
X ₁₀	人均水资源量/m ³		
L ₁	常住人口/万人		

加权灰色绝对关联度,结果见表 3 和图 3。根据关联度大小,对用水量变化驱动因素作用由大到小进行排序,结果见表 4。

表 3 用水总量加权灰色绝对关联度

Tab.3 Values of weighted grey absolute correlation degree of total water use

关联度	$\gamma(x_0, x_1)$	$\gamma(x_0, x_2)$	$\gamma(x_0, x_3)$	$\gamma(x_0, x_4)$	$\gamma(x_0, x_5)$	$\gamma(x_0, x_6)$	$\gamma(x_0, x_7)$	$\gamma(x_0, x_8)$	$\gamma(x_0, x_9)$	$\gamma(x_0, x_{10})$
关联度值	0.8959	0.8859	0.9760	0.9360	0.9582	0.9511	0.9119	0.9488	0.9378	0.8727

2.3 结果分析

由表 4 可以看出,导致用水总量呈“U”型变化的主要因素是工业增加值占 GDP 比例、城镇化率;对农业用水量变化作用最大的因素是有效灌溉面积,农田灌溉亩均用水量次之;致使工业用水量与用水总量变化趋势基本一致的主要因素是工业增加值占 GDP 比例、万元工业增加值用水量;造成生活

用水量增加的主要因素是城镇化率,常住人口次之。综合各类用水量变化驱动因素,可以得出社会经济发展水平对用水量变化作用最大,科学技术次之,而水资源禀赋影响最小。

为便于分析各行业用水量及其主要驱动因素的作用,编制表 5,分析如下。

在农业用水量方面,2001 年-2011 年的有效灌溉面积

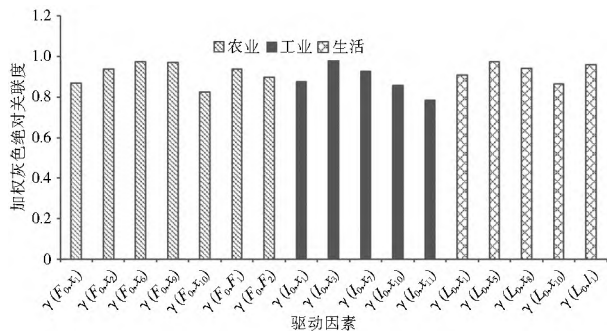


图 3 农业、工业、生活用水量加权灰色绝对关联度

Fig. 3 Values of weighted grey absolute correlation degree of agricultural, industrial, and domestic water use

表 4 江苏省太湖流域用水量变化驱动因素作用大小排序

Tab. 4 Impact level order of different water use driving factors in the Taihu Lake Basin of Jiangsu

用水指标	驱动因素作用大小排序
用水总量	$X_3 > X_5 > X_6 > X_8 > X_9 > X_4 > X_7 > X_1 > X_2 > X_{10}$
农业用水量	$X_6 > X_9 > X_2 > F_1 > F_2 > X_1 > X_{10}$
工业用水量	$X_3 > X_7 > X_1 > X_{10} > I_1$
生活用水量	$X_5 > L_1 > X_8 > X_1 > X_{10}$

一直递减,2011 年比 2001 年减少 16.9 hm², 年平均减少率为 2.5%。而农田灌溉亩均用水量呈现先升后降的变化趋势。其中,农田灌溉亩均用水量 2001 年-2004 年增加,年平均增长率 8.3%,于 2004 年达到最大值 554 m³,之后至 2011 年递减,年平均减少率 2.6%。由于农田灌溉用水量占农业用水量的 80% 以上,所以在有效灌溉面积和农田灌溉亩均用水量的综合影响下,农田灌溉用水量表现出波动下降变化特征,2011 年比 2001 年减少约 9.0 亿 m³,年平均减少率 2.0%。

在工业用水量方面,工业增加值占 GDP 比例与工业用水量均呈现倒“U”型曲线变化趋势,但前者峰值出现时间比后者提前一年。其中,工业增加值占 GDP 比例在 2005 年达

到峰值 59.1%,而工业用水量在 2006 年达到最大值 25.1 亿 m³。产业结构(工业增加值占 GDP 比例)调整虽未与工业用水量同步变化,但其有效抑制了工业用水需求的增加幅度,2005 年比 2004 年工业用水量增加 1.23 亿 m³,而在 2005 年-2006 年产业结构调整,2006 年比 2005 年工业用水量仅增加 0.21 亿 m³,有效控制了工业用水量的大幅度增加。此外,万元工业增加值用水量在 2001 年-2011 年一直递减,2011 年达到 19 m³/万元,比 2001 年减少 81 m³/万元,年平均减少率为 15.3%,其对有效控制和减少工业用水量起到了重要作用。

在生活用水量方面,2001 年-2011 年城镇化水平快速发展的同时也带动了城镇生活用水量的增加。城镇化率一直递增,2011 年达到 70.3%,年均增长率 2.0%。与此同时,城镇生活用水量也一直增加,2011 年比 2001 年增加 6.3 亿 m³,年均增长率 6.0%,其增长速度大于城镇化率。2001 年-2011 年常住人口以年均增长率 3.6% 的水平增加,进一步加大了生活用水需求。

在用水总量方面,工业增加值占 GDP 比例与用水总量变化均呈现先升后降的变化趋势,但两者变化不同步。其中,工业增加值占 GDP 比例 2001 年-2005 年逐步上升,并于 2005 年达到最大值 59.1%,年均增长率 3.8%,之后至 2011 年一直处于下降趋势,年均减少率 2.5%。由于工业增加值占 GDP 比例较大,即使其在 2005 年-2006 年期间开始下降,但其对工业用水量的控制作用没有立即表现出来,导致工业用水量(除火核电)于 2006 年达到最大值 25.1 亿 m³,同时因 2005 年-2007 年火核电用水量的大大增加,进一步导致工业增加值占 GDP 比例与用水总量未出现同步变化。另外,2011 年的城镇化率比 2001 年增加了 12.6%,年均增长率 2.0%。城镇化的发展不仅直接导致生活用水量的增加(2011 年比 2001 年的生活用水量增加了 5.8 亿 m³,年均增长率 4.3%),而且间接造成生态环境、服务业等用水量增加。

表 5 江苏省太湖流域用水指标与其主要驱动因素变化情况

Tab. 5 Variations of water use indexes and their main driving factors in the Taihu Lake Basin of Jiangsu

用水分类	指标	2001 年	峰值(年份)	2011 年	变化趋势	上升阶段年平均增长率(%)	下降阶段年平均减少率(%)
用水总量	用水总量/亿 m ³	135.6	202.4(2007)	184.2	先上升后下降	6.9	2.3
	工业增加值占 GDP 比例(%)	50.8	59.1(2005)	50.9	先上升后下降	3.8	2.5
	城镇化率(%)	57.7	—	70.3	上升	2.0	—
农业用水量	农业用水量/亿 m ³	55.5	—	48.6	波动下降	—	1.3
	有效灌溉面积/10 ⁴ hm ²	744	—	575	下降	—	2.5
	农田灌溉亩均用水量/m ³	436	554(2004)	461	先上升后下降	8.3	2.6
工业用水量	工业用水量/亿 m ³	20.7	25.1(2006)	21.9	先上升后下降	4.0	2.7
	工业增加值占 GDP 比例(%)	50.8	59.1(2005)	50.9	先上升后下降	3.8	2.5
	万元工业增加值用水量/m ³	100	—	19	下降	—	15.3
生活用水量	生活用水量/亿 m ³	11.1	—	16.9	上升	4.3	—
	城镇化率(%)	57.7	—	70.3	上升	2.0	—
	常住人口/万人	1661.8	—	2360.7	上升	3.6	—

注:—表示此项无值。

纵观各部门用水量变化,发现农业用水量占用水总量比例最大,但其年均变化速率相对较小;工业用水量占用水总

量比例虽没农业用水量大,但其变化幅度相对较大,基本控制着用水总量的变化趋势;生活用水量虽占用水总量比例相

对较小,但其一直以较大的速率增加。因此,工业用水量变化驱动因素对用水总量作用最显著,其次为生活用水量变化驱动因素。

2.4 讨论

由上述分析结果可知,控制江苏省太湖流域用水量变化的驱动因素主要有工业增加值占地区生产总值比例、城镇化率、有效灌溉面积、居民生活用水定额、农业灌溉用水定额等。

为分析主要驱动因素对用水量变化影响程度,设定某一驱动因素为变量,而其他因素保持不变,分析不同情景下某一驱动因素对用水量变化的影响,结果显示:(1)设定2011年其他影响因素均保持当年水平不变,当工业增加值占GDP比例在2011年的基础上再减少1%时,工业用水量大约减少1 570万 m^3 ,可见,产业结构调整 and 升级有助于缓解用水压力;(2)若2011年其他影响因素均不变,只是城镇化率在原来基础上增加1%时,城镇生活用水量约增加390万 m^3 ,因此为控制城镇化进程对用水量的需求,需要放缓城镇化进程,减轻用水压力;(3)在其他影响因素不变的情况下,农田灌溉亩均用水量在2011年基础上减少10 m^3 ,则农业灌溉水每年大约可节省8 625万 m^3 ,所以,在有效灌溉面积不变的情况下,可通过发展节水农业来减少用水量;(4)当2011年其他因素恒定,而居民生活用水定额减少1 L/(人·d)时,居民年生活用水量大约可减少860万 m^3 。

3 结论

在克服传统灰色绝对关联度计算方法易受极值影响的基础上,应用加权灰色绝对关联度分析法对江苏省太湖流域用水量变化驱动因素进行了分析,发现在对用水总量变化作用显著的驱动因素中,影响从大到小依次是工业增加值占GDP比例、城镇化率、有效灌溉面积,因此江苏省太湖流域工业用水量变化对调控用水总量变化所起的作用最大,生活用水量次之,农业用水量的作用则相对较小。

为实现经济社会与 water 资源的协调可持续发展以及“用水总量控制”目标,根据用水量变化驱动因素分析结果,应该从以下几个方面进一步采取措施:(1)在工业用水方面,继续推进产业结构调整 and 产业布局优化升级,淘汰高耗水产业,发展低耗水等信息产业,同时研发节水技术、推广节水新设备、新工艺,提高水资源的有效利用率,降低万元工业增加值用水量;(2)在生活用水方面,除提高公民水资源短缺意识、节水意识以及推广使用生活节水设备外,应根据城市水资源承载力的大小,合理控制城镇化发展水平;(3)在农业用水方面,应加大节水灌区的建设,推广农田节水设备应用,发展喷灌与滴管技术,提高农田灌溉水利用系数,降低农田灌溉用水定额。

参考文献(References):

[1] 汪恕诚. 推进可持续发展水利促进和谐社会建设[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(2): 1-3. (WANG Shu cheng. To promote the sustainable development of water conservancy and promote the construction of a harmonious society[J]. South & North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007, 5(2): 1-3. (in Chinese))

- [2] 陆桂华, 张建华. 太湖水环境综合治理的现状、问题及对策[J]. 水资源保护, 2014, 30(2): 67-69+94. (LU Gui hua, ZHANG Jiar hua. Present status and problems of comprehensive treatment of water environment in Taihu Lake and countermeasures[J]. Water Resources Protection, 2014, 30(2): 67-69, 94. (in Chinese))
- [3] Gazzinelli A, Souza M C C, Nascimento I, et al. Domestic water use in a rural village in Minas Gerais, Brazil, with an emphasis on spatial patterns, sharing of water, and factors in water use[J]. Cadernos de Sa de P blica, 1998, 14(2): 265-277.
- [4] Stern P C, Young O R, Druckman D. Global environmental change: Understanding the human dimensions[M]. National Academies Press, 1991.
- [5] Harrison P, Pearce F. AAAS atlas of population and environment[M]. University of California Press, 2000.
- [6] 王康. 基于IPAT等式的甘肃省用水影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 148-152. (WANG Kang. Analysis of impact factors of water use based on IPAT equation for Gansu Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(6): 148-152. (in Chinese))
- [7] 柳景青, 易远山, 张士乔. 城市日用水量主要影响因素粗集理论分析方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(8): 1315-1318. (LIU Jing qing, YI Yuan shan, ZHANG Shi qiao. Principal factor analysis method for daily urban water consumption based on rough set theory[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(8): 1315-1318. (in Chinese))
- [8] 李晓慧, 张玲玲, 王宗志, 等. 江苏省用水演变驱动因素研究[J]. 水资源研究, 2014, 3(1): 50-56. (LI Xiao hui, ZHANG Ling ling, WANG Zong zhi, et al. Study on driving factors of water utilization structure evolution in Jiangsu Province[J]. Journal of Water Resources Research, 2014, 3(1): 50-56. (in Chinese))
- [9] 李宏艳. 关于灰色关联度计算方法的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(9): 1231-1233, 1270. (LI Hong yan. Study on the calculation method of grey relationship degree[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(9): 1231-1233. (in Chinese))
- [10] 刘思峰, 蔡华, 杨英杰, 等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 2041-2046. (LIU Si feng, CAI Hua, YANG Ying jie, et al. Advance in grey incidence analysis modelling[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2013, 33(8): 2041-2046. (in Chinese))
- [11] 成晋松, 吕惠进, 刘玲. 太原市用水量影响因素的灰色关联分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(2): 109-111, 115. (CHENG Jin song, LV Hui jin, LIU Ling. Grey relational analysis of influence factors on water consumption in Taiyuan City[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2012, 23(2): 109-111. (in Chinese))
- [12] 邓聚龙. 灰色系统理论的关联空间[J]. 模糊数学, 1985(2): 1-10. (DENG Ju long. The relational space in grey system theory[J]. Fuzzy Mathematics, 1985(2): 1-10. (in Chinese))
- [13] 梅振国. 灰色绝对关联度及其计算方法[J]. 系统工程, 1992, 10(5): 43-44. (MEI Zhen guo. The concept and computation method of grey absolute correlation degree[J]. Systems Engineering, 1992, 10(5): 43-44. (in Chinese))

(下转第240页)

- 分析[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 16-21. (CHEN Bing, LI Lijuan, GU O Huaicheng, et al. System analysis on water resources supporting alternatives for Chaidamu Basin[J]. Environment Science, 2000, 21(3): 16-21. (in Chinese))
- [13] 刘树锋, 陈俊合. 基于神经网络理论的水资源承载力研究[J]. 资源科学, 2007, 29(1): 99-105. (LIU Shurfeng, CHEN Junhe. Water resources carrying capacity based on the theory of ANN[J]. Resources Science, 2007, 29(1): 99-105. (in Chinese))
- [14] 崔东文. 基于 BP 神经网络的文山州水资源承载能力评价分析[J]. 长江科学院学报, 2012, 29(5): 9-15. (CUI Dongwen. Evaluation and analysis of water resources carrying capacity in Wen shan Prefecture based on BP neural network[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(5): 9-15. (in Chinese))
- [15] 杨秋林, 张淑贞. 基于 BP 神经网络水环境承载力评价[J]. 国土与自然资源研究, 2009(4): 70-72. (YANG Qiulin, ZHANG Shuzhen. Evaluation of water environmental carrying capacity based on BP neural network[J]. Territory & Natural Resources Study, 2009(4): 70-72. (in Chinese))
- [16] 梁吉业, 曲开社, 徐宗本. 信息系统的属性约简[J]. 系统工程理论与实践, 2001(12): 76-79. (LIANG Jiye, QU Kaishhe, XU Zongben. Reduction of attribute in information systems[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2001(12): 76-79. (in Chinese))
- [17] 武志峰, 吉根林. 一种基于决策矩阵的属性约简及规则提取算法[J]. 计算机应用, 2005, 25(3): 639-642. (WU Zhifeng, JI Gerlin. Attribute reduction and rule extraction algorithms based on decision matrices[J]. Computer Applications, 2005, 25(3): 639-642. (in Chinese))
- [18] 胡可云. 基于概念格和粗糙集的数据挖掘方法研究[D]. 北京: 清华大学, 2001. (HU Keyun. Studies several data mining methods based on concept lattice and rough set theory[D]. Beijing: Tsinghua University, 2001. (in Chinese))
- [19] 许东, 吴铮. 基于 MATLAB6. x 的系统分析与设计—神经网络(第二版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002. (XU Dong, WU Zheng. System analysis and design based on MATLAB 6. x—neural network[M]. Xi'an: Xi'an Electron Science Technology University Publishing Company, 2002. (in Chinese))
- [20] 惠洪河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 30-34. (HUI Yanghe, JIANG Xiaohui, HUANG Qiang, et al. Research on evaluation index system of water resources bearing capacity[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(1): 30-34. (in Chinese))
- [21] 王友贞, 施国庆, 王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4): 597-604. (WANG Youzhen, SHI Guoqing, WANG Desheng. Study on evaluation indexes of regional water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(4): 597-604. (in Chinese))
- [22] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258-269. (LIU Jiajun, DONG Suocheng, LI Zehong. Comprehensive evaluation of china's water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(2): 258-269. (in Chinese))
- [23] 卢敏, 张展羽. 基于支持向量机的水资源可持续利用评价[J]. 水电能源科学, 2005, 23(5): 18-21. (LU Min, ZHANG Zhan yu. On assessment of sustainable development level of regional water resource based on support vector machin[J]. Water resources and power, 2005, 23(5): 18-21. (in Chinese))

(上接第 235 页)

- [14] 唐五湘. T 型关联度及其计算方法[J]. 数理统计与管理, 1995, 14(01): 34-37. (TANG Wuxiang. The concept and computation method of T's correlation degree[J]. Application of Statistics and Management, 1995, 14(1): 34-37. (in Chinese))
- [15] 李学全. 灰色关联度量化模型的进一步研究[J]. 系统工程, 1995(6): 58-61. (LI Xuequan. Research on the computation model of grey interconnet degree[J]. Systems Engineering, 1995(6): 58-61. (in Chinese))
- [16] 刘金英, 杨天行, 李明, 等. 一种加权绝对灰色关联度及其在密云水库水质评价中的应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2005, 35(1): 54-58. (LIU Jinying, YANG Tianxing, LI Ming, et al. A weight absolute grey correlation degree and it's application in evaluation of water quality Miyun Reservoir[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2005, 35(01): 54-58. (in Chinese))