

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.020

# 区域用水总量控制模糊综合评价研究

吴书悦, 杨雨曦, 彭宜蔷, 俞小彤, 宋紫淳

(河海大学, 南京 210098)

**摘要:** 用水总量控制作为最严格水资源管理制度“三条红线”之一, 对其实施效果进行合理的评价至关重要。在科学界定区域用水总量控制内涵的基础上, 从水资源、社会、经济和环境四个方面出发, 构建了包括人均水资源量、水资源开发利用效率、区域缺水率等13个基础指标的区域用水总量控制评价指标体系, 并对各评价指标的考核标准进行了划分, 建立了基于层次分析法的模糊综合评价模型, 用于评价区域用水总量控制实施效果。选择南京市高淳区进行了模型应用实例研究, 评价结果符合客观实际。

**关键词:** 用水总量控制; 评价指标体系; 层次分析法; 模糊综合评价

**中图分类号:** TV211.1   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0092-06

## Fuzzy Comprehensive Evaluation of Regional Total Water Consumption Control

WU Shuyue, YANG Yuxi, PENG Yiqiang, YU Xiaotong, SONG Zichun

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Total water consumption control is one of the “three lines” in the strictest water resources management system, and a reasonable evaluation of its implementation effects is important. In this paper, the connotation of regional total water consumption control was established first. Then, an evaluation index system of regional total water consumption control was developed from the perspectives of water resources, society, economy, and environment. The evaluation index system included 13 specific indexes, such as per capita possession of water resources, utilization efficiency of water resources, and regional water shortage rate. Finally, the evaluation criteria of each index were conducted and a fuzzy comprehensive evaluation model was developed based on AHP to evaluate the implementation effects of regional total water consumption control. The model was applied to the Gaochun district of Nanjing, and the evaluation results were reasonable.

**Key words:** total water consumption control; evaluation index system; AHP; fuzzy comprehensive evaluation

为了缓解水资源日益短缺的局面, 我国于2011年正式颁布《关于加快水利改革发展的决定》, 提出用水总量、用水效率和水功能区限制纳污“三条红线”, 成为当前和今后一个时期加快水利改革发展的纲领性文件; 随后, 《关于实行最严格水资源管理制度的意见》出台, 提出了2015年和2020年“三条红线”的具体目标, 其中用水总量控制作为“三条红线”之首, 是实施最严格水资源管理制度的基础。

国内已有部分学者对用水总量控制进行了探讨和研究, 取得了一些研究成果: 陈方等(2009)提出了包含目标型、动态型和考核型等指标在内的太湖流域用水总量控制指标体系<sup>[1]</sup>; 裴源生(2009)研究了水资源用水总量与定额管理协调保障技术体系<sup>[2]</sup>; 陈进(2011)提出了适合长江流域特点的用水总量控制管理的原则和方法<sup>[3]</sup>; 汪宏献(2012)针对目前我

国用水总量控制制度建设与控制指标分配工作, 讨论了用水总量控制制度构建的主要内容<sup>[4]</sup>; 刘淋淋(2013)提出了用水总量控制指标的确定方法, 并对胶南市及乳山市进行实例研究<sup>[5]</sup>。目前用水总量控制的研究成果大多是对用水总量控制模式、制度建设和保障技术等方面进行研究, 而对用水总量控制评价指标体系的研究较少, 仅有的也通常采用定性分析方法确定相应的指标, 使得所构建的指标体系存在大量主观因素干扰, 缺乏系统性和科学性。本文针对以上问题, 在科学界定区域用水总量控制内涵的基础上, 采用定性分析和定量分析相结合的方法, 构建区域用水总量控制评价指标体系以及基于层次分析法的模糊综合评价模型, 对区域用水总量控制的实施效果进行评价, 为区域用水总量控制实现定量化宏观管理提供科学依据。

收稿日期: 2013-12-21   修回日期: 2014-02-17   网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: 河海大学大学生创新训练项目(2013102941039)

作者简介: 吴书悦(1993-), 女, 江苏南京人, 主要从事水利水电工程及水资源规划与管理方面研究。E-mail: wusy1993@126.com

## 1 区域用水总量控制的内涵

区域用水总量控制是根据区域的发展特点和水资源开发利用现状,通过协调区域用水定额指标和水量分配方案,构建区域用水总量控制指标体系,对区域用水总量实行定量化宏观管理,最终实现用水总量控制和定额管理相结合的水资源管理制度。

区域用水总量控制通常以各级行政区域为取水单元。上级行政区域通过制定区域水量分配方案和年度水量调度计划,确定下级各行政区域用水总量控制量,下级行政区域根据上级制定的控制水量,结合当地的用水定额、经济技术条件、产业结构、节水潜力等确定本行政区域内各行业用水量控制目标。

## 2 区域用水总量控制评价指标体系构建

为构建科学合理的区域用水总量控制评价指标体系,使系统中大量相互关联、相互制约的因素条理化、层次化,应当按照一定的步骤构建相应的指标体系:(1)收集相关资料,提出指标体系的目标及其影响因素;(2)进行指标初选,比较各影响因素之间的关系,确定指标体系的层次,初步确定评价指标体系;(3)进行指标优选,经过优化后确定指标之间的层次和结构,反复修改,不断完善,确定最终的指标体系。

在构建区域用水总量控制评价指标体系时,要依照科学全面的原则,统筹考虑各方的关系。由于最严格水资源管理制度的“三条红线”是从不同角度对水资源的利用和保护进行管理,三者之间既有区别,也有密切关系,因此在构建区域用水总量控制评价指标体系时,应当考虑“用水效率红线”和“水功能区限制纳污红线”对用水总量控制实施效果的影响。

### 2.1 评价指标初选

区域用水总量控制是一个多层次多目标的复杂系统,因此在构建指标体系时将其分解为水资源系统、社会系统、经济系统和环境系统四个子系统,从各子系统的角度分析影响区域用水总量控制实施效果的主要因素。水资源系统是区域用水总量控制的基础,反映了区域水资源潜力和开发利用状况,其主要影响因素包括人均水资源量、年径流量、水资源开发利用效率、径流利用率、地下水利用程度等;社会系统是区域用水总量控制的核心,其主要影响因素包括人均综合用水量、城市化率、单位灌溉面积用水量、区域缺水率等;经济系统是实现区域用水总量控制的必要条件,反映了区域用水的效益和效率,其主要影响因素包括万元GDP用水量、万元工业增加值用水量、工业用水重复利用率、灌溉水利用系数等;环境系统是区域用水总量控制的保障,其主要影响因素包括污水处理率、再生水回用率、水功能区水质达标率等。

根据各子系统的主要影响因素,采用频度统计法和理论分析法进行评价指标初选,初步确定区域用水总量控制评价指标体系如表1所示。频度分析法是对国内外与评价目标相关的资料文献中的各项指标进行频度统计,选择使用频率较高的指标作为初选指标,比如人均水资源量、人均综合用水量、万元GDP用水量、万元工业增加值用水量等;理论分析法是结合区域用水总量控制的内涵和特征进行综合分析,

选择那些具有代表性和系统性的重要特征指标作为初选指标,比如水资源开发利用效率、灌溉水利用系数、工业用水重复利用率、区域缺水率、水功能区水质达标率等。通过频度统计法和理论分析法可以实现评价指标的初选,但是由于这两种方法均属于定性分析方法,在指标的选择上存在较大的主观臆断性,为了保证评价结果的可靠准确,需要进一步对指标进行优选。

表1 区域用水总量控制评价指标体系(初选)

Table 1 Evaluation index system of regional total water consumption control (primary selection)

目标层 A	准则层 B	指标层 C
区域用水总量控制效果评价	水资源系统	人均水资源量、年径流量、产水系数、水资源开发利用效率、径流利用率、地下水利用程度
	社会系统	人均综合用水量、单位灌溉面积用水量、区域缺水率、人口密度、人口自然增长率、城市化率
	经济系统	万元GDP用水量、万元工业增加值用水量、工业用水重复利用率、灌溉水利用系数
	环境系统	污水处理率、水功能区水质达标率、污径比、工业废水排放达标率

### 2.2 评价指标优选

在初步确定指标体系后,需要对所选指标进行优选,去除那些特征值不易获得或相互之间重复的指标,选择起主导作用的因素作为最终指标。对于评价指标的优选,目前尚没有统一公认的方法,一般是在遵循科学性、系统性、独立性和完备性等原则的基础上<sup>[67]</sup>,采取定性和定量分析相结合的方法进行。定性分析的方法主要是专家咨询法,从评价的目的和原则出发,在初选指标体系的基础上,征询有关专家的意见,对指标进行调整。定量分析的方法常采用主成分分析法,将包含众多变量的高维系统进行降维处理,求得最具有代表性的评价指标。

本文首先采用专家咨询法对初选指标进行专家评分,编制专家咨询表,请专家根据自己的经验和知识按照“重要”(90~100分)、“较重要”(80~90分)、“一般”(70~80分)、“较不重要”(60~70)和“不重要”(<60分)五个等级对各评价指标打分;统计专家打分情况,计算各指标平均值,选取平均值高于70分的指标进行主成分分析和独立性分析,确定指标体系;最后再次征求有关专家的意见,结合评价区域的实际情况,经过反复修改和不断完善,确定最终的评价指标体系。

### 2.3 评价指标体系的建立

通过上述指标初选及优选,最终建立区域用水总量控制评价指标体系。该指标体系包括三个层次:目标层(A)、准则层(B)和指标层(C)。其中目标层A为区域用水总量控制效果评价,处于整个指标体系的最高层,是各子系统协调发展的综合体现;准则层B包括水资源系统(B1)、社会系统(B2)、经济系统(B3)和环境系统(B4),反映了各子系统对区域用水总量控制实施效果的影响;指标层C是区域用水总量控制的基础性指标,是区域用水总量控制影响因素的具体体现。最终确定区域用水总量控制评价指标体系及各指标计算公式<sup>[811]</sup>见表2。

表 2 区域用水总量控制评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of regional total water consumption control

目标层 A	准则层 B	指标层 C	各指标计算公式
区域用水 总量控制 效果评价	水资源系统 B1	人均水资源量 C1/m <sup>3</sup>	区域水资源量/区域总人口数
		水资源开发利用效率 C2(%)	水资源开发利用率/区域水资源总量
		径流利用率 C3(%)	地表径流供水量/地表水资源量
		地下水利用程度 C4(%)	区域浅层地下水实际开采量/区域地下水可开采量
	社会系统 B2	人均综合用水量 C5/m <sup>3</sup>	区域年用水量/区域总人口数
		单位灌溉面积用水量 C6/(m <sup>3</sup> ·亩 <sup>-1</sup> )	区域灌溉用水总量/区域实际灌溉面积
		区域缺水率 C7(%)	区域缺水量/区域需水量
		万元 GDP 用水量 C8/m <sup>3</sup>	区域总用水量/区域 GDP 值
	经济系统 B3	万元工业增加值用水量 C9/m <sup>3</sup>	区域工业用水量/工业增加值
		工业用水重复利用率 C10(%)	工业用水重复利用量/用水量
		灌溉水利用系数 C11	田间净灌溉水量/干渠渠首总引水量
	环境系统 B4	污水处理率 C12(%)	污水处理量/污水排放总量
水功能区水质达标率 C13(%)		水功能区水质达标个数/水功能区评价总个数	

### 3 区域用水总量控制模糊综合评价模型的构建

#### 3.1 指标权重的确定

本文采用层次分析法确定评价指标体系中各指标权

重<sup>[2]</sup>。为了便于进行一致性检验,减小工作量,采用 MATLAB 软件编制相关程序,计算各判断矩阵的特征值和对应的特征向量,经一致性检验后确定各指标权重见表 3。

#### 3.2 指标考核标准的划分

为使不同量纲、不同评价标准的指标能够综合为一个数

表 3 区域用水总量控制评价指标体系中各指标权重值

Table 3 Weights of each index in the evaluation index system of regional total water consumption control

目标层 A	权重	准则层 B	权重	B 层总排序	B 层一致性检验	指标层 C	权重	C 层总排序	C 层一致性检验
区域用水 总量控制 程度 A	1.0	水资源系统 B1	0.1404	0.1404	CR= 0.0225 CR< 0.1	人均水资源量 C1	0.1409	0.0198	CI= 0.0047 RI= 0.5646 CR= 0.0083 CR< 0.1
						水资源开发利用效率 C2	0.4554	0.0639	
						径流利用率 C3	0.2628	0.0369	
						地下水利用程度 C4	0.1409	0.0198	
		社会系统 B2	0.3952	0.3952		人均综合用水量 C5	0.1634	0.0646	
						单位灌溉面积用水量 C6	0.2970	0.1174	
						区域缺水率 C7	0.5396	0.2132	
						万元 GDP 用水量 C8	0.1601	0.0372	
		经济系统 B3	0.2322	0.2322		万元工业增加值用水量 C9	0.2772	0.0644	
						工业用水重复利用率 C10	0.0954	0.0222	
						灌溉水利用系数 C11	0.4673	0.1085	
		环境系统 B4	0.2322	0.2322		污水处理率 C12	0.5000	0.1161	
水功能区水质达标率 C13	0.5000				0.1161				

值化的评价结果,必须对每一个评价指标无量纲化,即将指标的实际值与标准值进行比较。本文在参考国内外已有研究成果和国际普遍认可的相关标准的基础上,根据研究区域的具体状况进行调整后,确定指标体系中各评价指标的评价标准<sup>[13-14]</sup>划分为“很好”、“较好”、“中等”、“较差”、“很差”五个评价等级,见表 4。对于正向指标,其数值越大表示区域用水总量控制效果越好,逆向指标则相反。

#### 3.3 模糊综合评判矩阵的确定

模糊综合评判矩阵 R:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:  $r_{ij}$  表示各评价指标对评价等级的隶属度。

本文采用三角形函数法,将评价指标分为正向指标和逆向指标分别计算相应的隶属度。正向指标隶属度计算公式如下<sup>[15]</sup>:

$$\mu_{(1x)} = \begin{cases} 1 & x > 2v_1 - v_2 \\ \frac{x - v_2}{2(v_1 - v_2)} & v_2 < x \leq 2v_1 - v_2 \\ 0 & x \leq v_2 \end{cases}$$

$$\mu_{(2x)} = \begin{cases} 0 & x > 2v_1 - v_2 \\ \frac{2v_1 - v_2 - x}{2(v_1 - v_2)} & v_2 < x \leq 2v_1 - v_2 \\ \frac{x - v_4}{v_2 - v_4} & v_4 < x \leq v_2 \\ 0 & x \leq v_4 \end{cases}$$

表4 区域用水总量控制评价指标体系中各指标评价标准

Table 4 Criteria of each index in the evaluation index system of regional total water consumption control

指标	类型	区域用水总量控制效果评分标准				
		很好	较好	中等	较差	很差
人均水资源量/m <sup>3</sup>	正	> 5 000	3 000~ 5 000	1700~ 3000	500~ 1700	< 500
水资源开发利用效率(%)	逆	< 10	10~ 30	30~ 50	50~ 80	> 80
径流利用率(%)	逆	< 10	10~ 20	20~ 30	30~ 50	> 50
地下水利用程度(%)	逆	< 30	30~ 60	60~ 80	80~ 100	> 100
人均综合用水量/m <sup>3</sup>	逆	< 300	300~ 450	450~ 600	600~ 750	> 750
单位灌溉面积用水量/(m <sup>3</sup> ·亩 <sup>-1</sup> )	逆	< 200	200~ 350	350~ 480	480~ 740	> 740
区域缺水率(%)	逆	0	0~ 10	10~ 30	30~ 40	> 40
万元GDP用水量/m <sup>3</sup>	逆	< 50	50~ 120	120~ 300	300~ 500	> 500
万元工业增加值用水量/m <sup>3</sup>	逆	< 30	30~ 40	40~ 70	70~ 108	> 108
工业用水重复利用率(%)	正	> 90	70~ 90	50~ 70	30~ 50	< 30
灌溉水利用系数	正	> 0.8	0.6~ 0.8	0.5~ 0.6	0.45~ 0.5	< 0.45
污水处理率(%)	正	> 95	85~ 95	75~ 85	65~ 75	< 65
水功能区水质达标率(%)	正	> 80	60~ 80	40~ 60	20~ 40	< 20

$$\mu_{(3x)} = \begin{cases} 0 & x > v_2 \\ \frac{v_2 - x}{v_2 - v_4} & v_4 < x \leq v_2 \\ \frac{x - v_6}{v_4 - v_6} & v_6 < x \leq v_4 \\ 0 & x \leq v_6 \\ 0 & x > v_4 \end{cases}$$

$$\mu_{(4x)} = \begin{cases} \frac{v_4 - x}{v_4 - v_6} & v_6 < x \leq v_4 \\ \frac{x - 2v_7 + v_6}{2(v_6 - v_7)} & 2v_7 - v_6 < x \leq v_6 \\ 0 & x \leq 2v_7 - v_6 \\ 0 & x > v_6 \end{cases}$$

$$\mu_{(5x)} = \begin{cases} \frac{v_6 - x}{2(v_6 - v_7)} & 2v_7 - v_6 < x \leq v_6 \\ 1 & x \leq 2v_7 - v_6 \end{cases} \quad (2)$$

式中： $\mu_{(1x)}$ 、 $\mu_{(2x)}$ 、 $\mu_{(3x)}$ 、 $\mu_{(4x)}$ 、 $\mu_{(5x)}$  分别为各指标对“很好”、“较好”、“中等”、“较差”、“很差”五个评价等级的隶属度； $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ 、 $V_7$  根据评价指标各等级划分标准的临界值  $k_i$  进行计算，计算公式为  $V_1 = k_1$ ， $V_2 = (k_1 + k_2)/2$ ， $V_3 = k_2$ ， $V_4 = (k_2 + k_3)/2$ ， $V_5 = k_3$ ， $V_6 = (k_3 + k_4)/2$ ， $V_7 = k_4$ 。

逆向指标隶属度计算公式如下：

$$\mu_{(1x)} = \begin{cases} 1 & x < 2v_1 - v_2 \\ \frac{x - v_2}{2(v_1 - v_2)} & 2v_1 - v_2 \leq x < v_2 \\ 0 & x \geq v_2 \end{cases}$$

$$\mu_{(2x)} = \begin{cases} 0 & x < 2v_1 - v_2 \\ \frac{2v_1 - v_2 - x}{2(v_1 - v_2)} & 2v_1 - v_2 \leq x < v_2 \\ \frac{x - v_4}{v_2 - v_4} & v_2 \leq x < v_4 \\ 0 & x \geq v_4 \end{cases}$$

$$\mu_{(3x)} = \begin{cases} 0 & x < v_2 \\ \frac{v_2 - x}{v_2 - v_4} & v_2 \leq x < v_4 \\ \frac{x - v_6}{v_4 - v_6} & v_4 \leq x < v_6 \\ 0 & x \geq v_6 \end{cases}$$

$$\mu_{(4x)} = \begin{cases} 0 & x < v_4 \\ \frac{v_4 - x}{v_4 - v_6} & v_4 \leq x < v_6 \\ \frac{x - 2v_7 + v_6}{2(v_6 - v_7)} & v_6 \leq x < 2v_7 - v_6 \\ 0 & x \geq 2v_7 - v_6 \\ 0 & x < v_6 \end{cases}$$

$$\mu_{(5x)} = \begin{cases} 0 & x < v_6 \\ \frac{v_6 - x}{2(v_6 - v_7)} & v_6 \leq x < 2v_7 - v_6 \\ 1 & x \geq 2v_7 - v_6 \end{cases} \quad (3)$$

式中：各符号含义同式(2)。

### 3.4 模糊综合评价结果的确定

采用加权平均法对权重矩阵  $A$  和模糊综合评判矩阵  $R$  进行运算，得到区域用水总量控制评价结果矩阵  $B = A \cdot R = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ ，其中

$$b_j = \min\left\{1, \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}\right\} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

采用最大隶属度法确定评价结果，令  $b_k = \max\{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ ， $b_k$  所对应的评价等级即为最终评价结果。

## 4 实例研究

### 4.1 实例概况

本文选择江苏省南京市高淳区作为研究实例。研究区位于南京市最南端，地处北纬  $31^{\circ}13' - 31^{\circ}26'$ 、东经  $118^{\circ}41' - 119^{\circ}12'$ ，北部与溧水相邻，东部与溧阳相接，南部和西部与安徽郎溪、宣州、当涂三县(市)接壤。全区总面积为  $801.8 \text{ km}^2$ ，其中水域面积  $235.3 \text{ km}^2$ ，占总面积的  $29.35\%$ 。高淳区地处北亚热带和中亚热带过渡季风气候区，以茅东进水闸为界，分属于水阳江和太湖两个水系，全区多年平均本地径流量约为  $2.86 \text{ 亿 m}^3$ ，地下水资源量约为  $0.94 \text{ 亿 m}^3$ ，多年平均过境水量约为  $23.11 \text{ 亿 m}^3$ 。现状用水主要由本地产流通过河湖、水库及塘坝的调蓄供给，对过境水的利用程度不高，目前主要通过杨家湾水利枢纽蓄存水阳江的过境水补给固城湖水量，过境水现状利用量仅为过境水总量的

10% 左右。

### 4.2 用水总量控制实施效果评价

根据所构建的区域用水总量控制评价指标体系,结合

南京市高淳区现状水平年的水资源状况、社会经济发展状况和环境状况,确定了南京市高淳区用水总量控制评价指标体系中各指标的实际值见表 5。

表 5 南京市高淳区用水总量控制评价指标实际值

Table 5 Actual values of the indexes in the evaluation index system of Gaochun district of Nanjing

评价指标	人均水资源量 /m <sup>3</sup>	水资源开发利用率 (%)	径流利用率 (%)	地下水利用程度 (%)	人均综合用水量 /m <sup>3</sup>
指标值	6 168.09	36.04	13.35	2.07	783.29
评价指标	单位灌溉面积用水量 /(m <sup>3</sup> ·亩 <sup>-1</sup> )	区域缺水率 (%)	万元 GDP 用水量 /m <sup>3</sup>	万元工业增加值用水量 /m <sup>3</sup>	工业用水重复利用率 (%)
指标值	271.51	0	85.4	18	65
评价指标	灌溉水利用系数	污水处理率 (%)	水功能区水质达标率 (%)		
指标值	0.61	83.02	75		

根据各指标评价标准,对南京市高淳区用水总量控制的现状水平进行模糊综合评价。采用三角形函数法确定各指标的隶属度,得到南京市高淳区用水总量控制效果的模糊综合评判矩阵 R。

高淳区应贯彻落实《省政府关于实行最严格水资源管理制度的实施意见》,确立高淳区水资源开发利用红线,严格执行南京市水利局下达的用水总量控制计划,加强计划用水考核,严格落实水资源论证和取水许可制度。具体可从以下几个方面采取措施加强用水总量的控制。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1982 & 0.8018 & 0 & 0 \\ 0.1957 & 0.0843 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2781 & 0.7219 \\ 0.0233 & 0.9767 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.9968 & 0.0032 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3023 & 0.6977 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(1) 在农业用水方面,主要存在节水灌溉面积比例不高、农作物种植产业结构不合理、农田水利基础设施老化等问题。为此,应当不断推进高淳区现代化农业发展水平,改变传统大水漫灌的灌溉方式;建设特色主导产业的农业生产基地,减少传统高耗水作物的种植面积;通过农田水利设施整合配套建设,对灌区农田水利设施统一规划,重点加强高淳区 2 万 hm<sup>2</sup> 农田水利工程建设,配套相应的水利基础设施,为现代农业提供高标准的农田水利基础支撑。

根据层次分析法所确定的各指标权重值,构造相应的权重矩阵 A:

(2) 在工业用水方面,目前高淳区工业经济规模化、集群化发展特征日益明显,形成了南京高淳经济开发区、桤溪工业集中区、东坝工业集中区、固城工业集中区等工业园区,这些工业园区是高淳区工业用水的大户。为此,应当加强对工业园区的用水管理,制定园区用水、节水管理办法,建立园区用水考核体系,严格控制高污染、高耗水企业入驻园区。

$$A = [0.0198, 0.0639, 0.0369, 0.0198, 0.0646, 0.1174, 0.02132, 0.0372, 0.0644, 0.0222, 0.1085, 0.1161, 0.1161]$$

将权重矩阵 A 和模糊综合评判矩阵 R 加权平均,得到评价结果矩阵 B = A · R = (0.2495, 0.4718, 0.2141, 0.0180, 0.0466), 因此南京市高淳区现状年用水总量控制效果隶属于“很好”的概率为 24.95%, 隶属于“较好”的概率为 47.18%, 隶属于“中等”的概率为 21.41%, 隶属于“较差”的概率为 1.80%, 隶属于“很差”的概率为 4.66%。采用最大隶属度法得到南京市高淳区用水总量控制的最终评价结果 v = max{b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, ..., b<sub>5</sub>} = b<sub>2</sub>, 因此南京市高淳区用水总量控制实施效果属于较好水平,该评价结果与高淳区用水总量控制的实际情况是一致的。

(3) 在生活用水方面,高淳区生活用水呈现出逐年增长的态势。为此,应当在满足居民生活用水需求的基础上,通过合理统筹规划城乡发展、优化集中供水规划、加强宣传引导、遏制不合理的用水增长及浪费等方式控制生活用水总量。

### 4.3 对策与建议

根据模型中的模糊综合评判矩阵,“人均综合用水量”、“水资源开发利用率”、“工业用水重复利用率”和“污水处理率”这四个指标隶属于“很好”和“较好”的概率较低,说明这四个指标是高淳区用水总量控制的主要短板,因此,未来高

(4) 大力推广中水、雨水利用技术,积极鼓励非传统水源利用。为此,要引导工业、绿化、环卫、生态景观和洗车等使用再生水、雨水、建筑基坑排水等非传统水资源,对区域内新建规划面积在 5 万 m<sup>2</sup> 以上的建设项目配套建设雨水收集系统,年用水量 5 万 m<sup>3</sup> 以上的机关、学校等单位推广使用雨水收集。

(5) 进一步提高污水处理能力,新建、扩建污水处理厂,对现有污水处理厂进行提标改造,扩大污水收集范围,保证污水管网覆盖范围内的生活污水和工业废水全部进入污水收集系统。

### 参考文献(References):

[1] 陈方,盛东,高怡,等.太湖流域用水总量控制体系研究[J].水资源保护,2009,25(3):37-40. (CHEN Fang, SHENG Dong,

- GAO Yi, et al. Study on Total Water Consumption Control in Taihu Basin[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 37-40. (in Chinese)
- [2] 裴源生, 刘建刚, 赵勇, 等. 水资源用水总量控制与定额管理协调保障技术研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 8-11. (PEI Yuan sheng, LIU Jian gang, ZHAO Yong, et al. Study on Support Technique for Coordination Between Total Amount Control and Quota Management of Water Consumption for Water Resources[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 8-11. (in Chinese))
- [3] 陈进, 朱延龙. 长江流域用水总量控制探讨[J]. 中国水利, 2011, (5): 41-44. (CHEN Jin, ZHU Yan long. Discussion on Total Water Use in Yangtze River Basin[J]. China Water Resources, 2011, (5): 41-44. (in Chinese))
- [4] 汪党献, 酆建强, 刘金华. 用水总量控制指标制定与制度建设[J]. 中国水利, 2012, (7): 12-14. (WANG Dang xian, LI Jian qiang, LIU Jinhua. Determination of Control Indicators of Total Water Use and System Establishment[J]. China Water Resources, 2012, (7): 12-14. (in Chinese))
- [5] 刘淋淋, 曹升乐, 于翠松, 等. 用水总量控制指标的确定方法研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 159-163. (LIU Lir lin, CAO Sheng le, YU Cui song, et al. Research on Determination of the Control Index of Total Water Use[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 159-163. (in Chinese))
- [6] 王金国. 中国水电可持续发展评价指标体系研究[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2011. (WANG Jinguo. Study On Evaluation Index System Of Hydropower Sustainable Development[M]. Chengdu: Xian Jiao Tong University press, 2011. (in Chinese))
- [7] 刘永叶. 长江流域水环境安全及其评价指标体系初探[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007. (LIU Yong ye. Brief Discussion about Basin Water Environmental Security and Evaluation Index System of the Yangtze River Valley[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. (in Chinese))
- [8] 李庆航, 钱凯霞, 肖昌虎, 等. 长江流域用水趋势及用水总量控制指标研究[J]. 人民长江, 2012, 43(2): 12-15. (LI Qing hang, QIAN Kai xia, XIAO Chang hu, et al. Study of Water Consumption Trend of Yangtze River Basin and Controlling Index of Total Water Consumption[J]. Yangtze River, 2012, 43(2): 12-15. (in Chinese))
- [9] 曾祥, 董玲燕, 骆建宇. 长江流域干支流用水总量控制指标研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(12): 19-22. (ZENG Xiang, DONG Ling yan, LUO Jian yu. Target of Controlling Total Amount of Water Use from Main Stream and Tributary of Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(12): 19-22. (in Chinese))
- [10] 焦勇. 基于用水总量控制制度农业高效用水评价指标体系的研究[J]. 巢湖学院学报, 2013, 15(1): 72-76. (JIAO Yong. Study on the Evaluation Index System of Agricultural Efficient Water Use—Based on the Total Amount Control System[J]. Journal of Chaohu College, 2013, 15(1): 72-76. (in Chinese))
- [11] 张海涛, 谢新民, 谷军方, 等. 邯郸市东风湖泉域用水总量控制研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(2): 17-20. (ZHANG Haitao, XIE Xinmin, GU Junfang, et al. Study on Water Total Control of Dongfeng Lake Basin in Handan City[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(2): 17-20. (in Chinese))
- [12] 卜楠楠, 唐德善, 尹算. 基于AHP法的浙江省水资源承载力模糊综合评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 42-44. (BU Nannan, TANG Deshan, YIN Sun. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Carrying Capacity of Water Resources in Zhejiang Province Based on AHP Method[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(3): 42-44. (in Chinese))
- [13] 李燐楷. 咸阳市水资源承载力研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2011. (LI Lir kai. Study On Water Resources Carrying Capacity of Xianyang City[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2011. (in Chinese))
- [14] 马艳. 基于AHP的西安市水资源可持续开发利用模糊综合评价[D]. 西安: 长安大学, 2008. (MA Yan. The Fuzzy Synthetic Evaluation of Water Resource Sustainable Development and Utilization in Xi'an City Based on AHP[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008. (in Chinese))
- [15] 程丽. 济南市水资源安全评价研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2011. (CHENG Li. Evaluation of Water Resources Security of Jinan City[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2011. (in Chinese))

(上接第24页)

- [7] 王云璋, 康玲玲, 陈发中, 等. 近30a气温变化对黄河下游凌情影响分析[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 323-327. (WANG Yunzhang, KANG Lingling, CHEN Fazhong, et al. Effect of Air Temperature Change in the Last 30 Years on Ice Jam Flood in the Lower Reaches of the Yellow River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(3): 323-327. (in Chinese))
- [8] 蔡琳, 卢杜田, 蔡彬. 水库防凌调度数学模型的研制与开发[J]. 冰川冻土, 2002, 24(2): 214-217. (CAI Lin, LU Dujian, CAI Bin. Mathematical Model of Reservoir Operation for Ice Jam Flood Control[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(2): 214-217. (in Chinese))
- [9] 王志兴, 李成振, 范宝山, 等. 改进的遗传BP交叉训练算法及其在河流冰情预报中的应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 76-80. (WANG Zhixing, LI Chengzhen, FAN Baoshan, et al. A Modified Genetic and BP Alternately Training Algorithm and Its Application to River Ice Forecasting[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(1): 76-80. (in Chinese))
- [10] 韩宇平, 蔺冬, 王富强, 等. 基于粒子群算法的神经网络在冰凌预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 35-37. (HAN Yuping, LIN Dong, WANG Furuqiang, et al. Application of Neural Networks to Ice Forecasting Based on Particle Swarm Optimization[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(3): 35-37. (in Chinese))
- [11] 周翔南, 王富强, 蔺冬. 基于遗传算法的SVM冰凌预报模型研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(1): 19-22. (ZHOU Xiangnan, WANG Furuqiang, LIN Dong. Research of SVM Ice Forecast Model Based on Genetic Algorithm[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2012, 33(1): 19-22. (in Chinese))
- [12] 黄强, 李群, 张泽中, 等. 龙刘两库联合运用对宁蒙河段冰塞影响分析[J]. 水力发电学报, 2008, 27(6): 142-147. (HUANG Qiang, LI Qun, ZHANG Zezhong, et al. Impact of Ice Jam by Long-Liu Reservoirs Joint Operation in the Ningxia Inner Mongolia Reach[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(6): 142-147. (in Chinese))