

# Analysis on the Current Situation and Evolution Characteristics of Water Quality and Water Environment in Deze Reservoir

Guosen Cheng

Qujing Branch of Yunnan Bureau of Hydrology and Water Resources, Qujing Yunnan  
Email: 512726499@qq.com

Received: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Dec. 18<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 25<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

According to the principle of fuzzy mathematics, the fuzzy comprehensive evaluation model of surface water environment quality of Deze Reservoir is established, which makes full use of the systematic and comprehensive characteristics of the model, evaluates the water quality of the reservoir in 2011~2016 by using the fuzzy comprehensive evaluation method, analyzes and evaluates the water quality monitoring data of the reservoir in recent six years, analyzes the comprehensive impact of each evaluation factor on the water quality, and accurately reflects the main factors. The results show that the water quality of the reservoir is relatively good for two years, reaching level III, level IV for one year and level V for three years. At the same time, the comprehensive pollution index method is used to analyze the water quality evolution characteristics of Deze Reservoir. The results show that the water quality of Deze Reservoir reached the worst level in 2014, and then gradually improved.

## Keywords

Fuzzy Mathematics Comprehensive Evaluation, Environmental Status, Comprehensive Pollution Index Analysis, Water Quality Evolution Characteristics, Deze Reservoir, Water Quality

---

## 德泽水库水质水环境现状及演变特征分析

程国森

云南省水文水资源局曲靖分局, 云南 曲靖  
Email: 512726499@qq.com

收稿日期：2019年12月2日；录用日期：2019年12月18日；发布日期：2019年12月25日

## 摘要

根据模糊数学原理，建立德泽水库地表水环境质量模糊综合评价模型，充分利用模型的系统性、综合性特点，利用模糊综合评价方法对水库2011~2016年水质状况进行评价，对水库近6年水质监测数据进行了分析评价，分析各评价因子对水质的综合影响，准确反映主要污染物和污染类型。分析结果表明：水库水质有2年相对较好，达到III级，有1年水质为IV级，有3年水质为V级。同时综合污染指数法分析了德泽水库年际水质演变特征。结果表明，2014年德泽水库水质达到最差，然后呈逐渐好转趋势。

## 关键词

模糊数学综合评价，环境现状，综合污染指数法分析，水质演变特征，德泽水库，水质

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

德泽水库作为云南省解决滇池治理、省会城市昆明生活饮用水的水资源综合利用重点工程，发挥了向滇池补充生态水、昆明应急供水、减轻牛栏江下游防洪能力三大功能。自2013年建成以来，已累计向滇池补水30.6亿 $m^3$ ，向昆明提供城市生活用水1.15亿 $m^3$ 。随着人类生产生活活动的强烈干扰，水库出现富营养化的发展，水质发生了变化，为探索出德泽水库水质变化的规律，作者利用模糊数学原理[1]，建立德泽水库地表水环境质量模糊综合评价模型，利用2011~2016年的水质监测资料，分析德泽水库水质的演变特征对德泽水环境现状进行评价，旨在为德泽水库环境治理提供依据和借鉴。

## 2. 研究区域概况

德泽水库是牛栏江-滇池补水工程项目，水库集水面积4551 $km^2$ ，涉及嵩明、寻甸、官渡、马龙、沾益、宣威等县(市、区)，占牛栏江流域面积的33.29%。水库正常蓄水位为1790.00 m，总库容为4.48亿 $m^3$ ，工程多年平均设计引水量6.25 $m^3$ ，每年向滇池补水约6亿 $m^3$ 。牛栏江-滇池补水工程是一项水资源综合利用工程，是滇中调水的近期重点工程，其首要任务是补充滇池生态水量，改善滇池水环境；补充昆明市生产、生活用水，并作为曲靖市生产生活用水的水源。

## 3. 德泽水库水环境现状评价

### 3.1. 水质现状模糊综合评价[2]

#### a) 构建隶属函数

利用单因子指数法和综合污染指数法[3]来评价水质状况，虽然简单易行，但不够客观全面，因此，笔者采用模糊综合评价法，对德泽水库水质现状进行评价。每个评价因子与每级评价标准之间的模糊关系可用模糊矩阵 $R$ 表示。监测值为 $X$ 的污染因子对各个水体级别的隶属度 $r_{ij}$ ，即可以被评为 $i$ 类环境质量的可能； $n$ 表示水体质量级别数， $i=1,2,3,\dots,n$ ； $m$ 表示水体评价因子数， $j=1,2,3,\dots,m$ 。

$$R = (r_{ij}) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

隶属度可以通过隶属函数的计算来确定, 隶属函数的求解采用半梯形分布描述, 根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 各水质类别的隶属度  $r_{ij}$  按式(2)进行计算。

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i < s_j \\ \frac{s_{j+1} - x_i}{s_{j+1} - s_j} & s_j \leq x_i \leq s_{j+1} \\ 0 & x_i \geq s_{j+1} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $x_i$  为评价因子的监测值;

$s_j$  为评价因子  $x_i$  的第  $j$  类水质标准。

#### b) 确定各评价因子的权重矩阵

权重因子是体现评价因子集对水质污染程度大小的量, 由于单项指标对于评价指标的数值关系不同, 单项超过标准越多, 其影响越大, 一般通过计算超标比来计算权重, 本文评价因子属偏小型分布指标, 其计算式为:

$$I_i = \frac{x_i}{s_i} \quad (3)$$

$I_i$  为超标倍数;  $x_i$  为评价因子的监测值;  $s_j$  为评价因子  $x_i$  的各类水质标准限值的平均值。当所选指标超标倍数计算完之后, 进行规一化处理, 计算出每个评价指标的权重即得出权重集  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , 单项评价指标权重计算公式如下:

$$w_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad (4)$$

#### c) 建立模糊综合评价模型

建立了模糊综合评价矩阵  $R$  和权重集向量  $W$  后, 可根据  $B = W * R = (b_1, b_2, \dots, b_n)$  建立模糊综合评价模型, 再根据隶属度原则,  $b_j = \max(b_1, b_2, \dots, b_n)$  综合判别水质级别。

### 3.2. 评价成果

#### a) 评价因子集及评价集的建立

根据径流区内水环境条件, 利用云南省水环境监测中心曲靖市分中心对德泽水库长期连续水质监测数据, 采用高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)、氨氮(N-NH<sub>3</sub>)、5 日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、总磷(TP)、总氮(TN) 5 项代表性较强的指标作为评价因子, 即得到评价因子集:

$$U = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\} = \{\text{COD}_{\text{Mn}}, \text{N-NH}_3, \text{BOD}_5, \text{TP}, \text{TN}\}$$

依据地表水环境质量标准(GB3838-2002), 将地表水分为 5 类水质标准, 因此确定评价集为:

$$V = \{\text{I, II, III, IV, V}\}$$

各类评价因子标准限值如表 1 所示。

**Table 1.** Standard limit of each index of fuzzy comprehensive evaluation (mg/L)  
**表 1.** 模糊综合评价各项指标标准限值(mg/L)

| 指标  | COD <sub>Mn</sub> ≤ | N-NH <sub>3</sub> ≤ | BOD <sub>5</sub> ≤ | TP≤  | TN≤ |
|-----|---------------------|---------------------|--------------------|------|-----|
| I   | 2                   | 0.15                | 3                  | 0.02 | 0.2 |
| II  | 4                   | 0.5                 | 3                  | 0.1  | 0.5 |
| III | 6                   | 1.0                 | 4                  | 0.2  | 1.0 |
| IV  | 10                  | 1.5                 | 6                  | 0.3  | 1.5 |
| V   | 15                  | 2.0                 | 10                 | 0.4  | 2.0 |

b) 模糊关系矩阵[R]的建立

研究数据采用 2011 年至 2016 年德泽水库 6 年水质监测年平均值，监测结果如表 2 所示。

**Table 2.** Water quality monitoring results of Deze Reservoir (mg/L)  
**表 2.** 德泽水库水质监测结果(mg/L)

| 年份   | COD <sub>Mn</sub> | N-NH <sub>3</sub> | BOD <sub>5</sub> | TP    | TN    |
|------|-------------------|-------------------|------------------|-------|-------|
| 2011 | 1.7               | 0.15              | 0.25             | 0.143 | 1.07  |
| 2012 | 2.0               | 0.22              | 1.0              | 0.049 | 1.673 |
| 2013 | 2.1               | 0.16              | 1.2              | 0.043 | 2.238 |
| 2014 | 2.5               | 0.28              | 2.2              | 0.060 | 2.604 |
| 2015 | 2.0               | 0.396             | 2.5              | 0.032 | 2.667 |
| 2016 | 1.9               | 0.095             | 2.3              | 0.033 | 2.968 |

按 3.1 中 a) 节建立单因子评价矩阵方法建立德泽水库 6 年评价因子的模糊关系矩阵:

$$\begin{aligned}
 [R_{2011}] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.57 & 0.43 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.86 & 0.14 & 0 \end{bmatrix}, [R_{2012}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.80 & 0.20 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.638 & 0.362 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.654 & 0.346 \end{bmatrix}, \\
 [R_{2013}] &= \begin{bmatrix} 0.95 & 0.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0.971 & 0.029 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.712 & 0.2867 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, [R_{2014}] = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0.63 & 0.37 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.500 & 0.050 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
 [R_{2015}] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.297 & 0.420 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.850 & 0.150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, [R_{2016}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.838 & 0.162 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.92 & 0.08 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

c) 权重值的计算

根据 3.1 中 b) 节描述的权重值计算方法, 根据各评价因子的超标比科计算出德泽水库每年评价因子的权重值, 再进行归一化处理, 处理结果如表 3 所示。

**Table 3.** Calculation results of weight normalization of evaluation factors  
**表 3.** 评价因子权重归一化计算结果

| 监测时<br>间          | 2011  |       | 2012  |       | 2013  |       | 2014  |       | 2015  |       | 2016  |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | $I_i$ | $W_i$ | $I_i$ | $W_i$ | $I_i$ | $W_i$ | $I_i$ | $W_i$ | $I_i$ | $W_i$ | $I_i$ | $W_i$ |
| COD <sub>Mn</sub> | 0.230 | 0.107 | 0.270 | 0.107 | 0.284 | 0.092 | 0.338 | 0.088 | 0.270 | 0.070 | 0.257 | 0.067 |
| N-NH <sub>3</sub> | 0.146 | 0.068 | 0.214 | 0.085 | 0.155 | 0.050 | 0.272 | 0.071 | 0.384 | 0.100 | 0.092 | 0.024 |
| BOD <sub>5</sub>  | 0.048 | 0.022 | 0.192 | 0.076 | 0.231 | 0.075 | 0.423 | 0.110 | 0.481 | 0.125 | 0.442 | 0.116 |
| TP                | 0.701 | 0.326 | 0.240 | 0.095 | 0.211 | 0.068 | 0.294 | 0.077 | 0.157 | 0.041 | 0.162 | 0.042 |
| TN                | 1.029 | 0.478 | 1.609 | 0.637 | 2.152 | 0.698 | 2.504 | 0.654 | 2.564 | 0.665 | 2.854 | 0.750 |
| $\sum I_i$        | 2.153 |       | 2.525 |       | 3.033 |       | 3.831 |       | 3.857 |       | 3.807 |       |

### 3.3. 水质模糊综合评价分析[4]

将 3.2 中 b) 节所建立德泽水库的监测数据模糊关系矩阵[R]和 3.2 中 c) 节评价因子的权重值  $W$  代入模糊综合评价模型中进行计算, 得到模糊评价集  $B$ , 再根据隶属度原则综合判别水质级别, 德泽水库 2011 年至 2016 年水质模糊综合评价结果如表 4 所示。

**Table 4.** Fuzzy comprehensive evaluation of Deze Reservoir in each year  
**表 4.** 德泽水库各年模糊综合评价

| 年份   | I 级   | II 级  | III 级 | IV 级  | V 级   | 评价结果 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 2011 | 0.197 | 0.186 | 0.551 | 0.067 | 0.000 | III  |
| 2012 | 0.312 | 0.051 | 0.000 | 0.417 | 0.220 | IV   |
| 2013 | 0.259 | 0.026 | 0.000 | 0.000 | 0.698 | V    |
| 2014 | 0.259 | 0.052 | 0.000 | 0.000 | 0.654 | V    |
| 2015 | 0.260 | 0.048 | 0.000 | 0.000 | 0.665 | V    |
| 2016 | 0.242 | 0.007 | 0.690 | 0.060 | 0.000 | III  |

根据德泽水库模糊综合评价的结果分析。德泽水库 2011 年至 2016 年 6 年中, 有 2 年水质相对较好, 达到 III 级, 有 1 年水质为 IV 级, 有 3 年水质为 V 级。通过对权重指标分析, TN 是影响德泽水库水质的主要因素, 2011 年至 2016 年 TN 的权重值分别是(0.478、0.637、0.698、0.654、0.665、0.750), 分别占评价因子权重和的(0.478、0.637、0.698、0.654、0.665、0.750); 从 TN 在 6 年中的权重分析, 仅 2011 年为 47.8%, 其余 5 年权重均大于 60%, 充分说明影响德泽水质的主要因子为 TN。

## 4. 德泽水质演变特征分析[5]

### 4.1. 德泽水质年际变化

根据 2011~2016 年德泽水库水质监测资料, 计算年平均水质浓度数据, 采用综合污染指数法进行评价[6]:

$$P_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i0}} \quad (5)$$

$$\sum P_i = \sum_{i=1}^m P_{ij} \quad (6)$$

$$\sum P_j = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (7)$$

式中： $P_{ij}$ 为污染物分指数； $c_{ij}$ 为污染物实测质量浓度； $c_{i0}$ 为污染物 III 类评价标准值； $\sum P_i$ 为综合污染指数； $P_j$ 为综合污染分指数； $m$ 为指标个数， $n$ 为系列年份数。

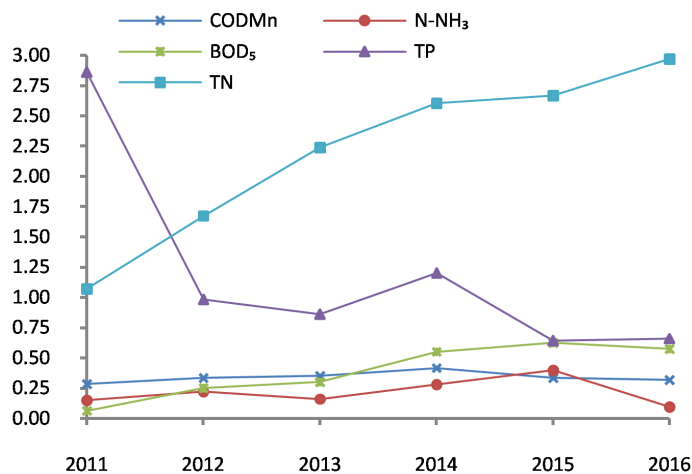
根据水库水体具体情况，选取  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{N-NH}_3$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{TN}$  作为评价因子。通过计算，得到各年污染物分指数和综合污染指数[7]，见表 5。由表 5 可知：评价期内，德泽水库水质处于不达标状态，其中 2011~2016 年综合污染指数基本呈递增趋势，说明德泽水库水质有不断恶化的趋势；2014 年，综合污染指数达到最大，然后又逐渐减小，说明德泽水库水质有所好转；至 2014~2016 年综合污染指数基本呈递减趋势，说明德泽水质有明显改善。在各项污染因子的综合污染分指数按从大到小顺序排序为： $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{N-NH}_3$ 。

**Table 5.** Pollution sub index and comprehensive pollution index of various pollutants in Deze Reservoir (interannual)  
**表 5.** 德泽水库各污染物污染分指数和综合污染指数(年际)

| 年份         | $P_{ij}$                 |                 |                |             |             | $\sum P_i$ |
|------------|--------------------------|-----------------|----------------|-------------|-------------|------------|
|            | $\text{COD}_{\text{Mn}}$ | $\text{N-NH}_3$ | $\text{BOD}_5$ | $\text{TP}$ | $\text{TN}$ |            |
| 2011       | 0.28                     | 0.15            | 0.06           | 2.86        | 1.07        | 4.43       |
| 2012       | 0.33                     | 0.22            | 0.25           | 0.98        | 1.67        | 3.46       |
| 2013       | 0.35                     | 0.16            | 0.30           | 0.86        | 2.24        | 3.91       |
| 2014       | 0.42                     | 0.28            | 0.55           | 1.20        | 2.60        | 5.05       |
| 2015       | 0.33                     | 0.40            | 0.63           | 0.64        | 2.67        | 4.66       |
| 2016       | 0.32                     | 0.10            | 0.58           | 0.66        | 2.97        | 4.61       |
| $\sum P_i$ | 2.03                     | 1.30            | 2.36           | 7.20        | 13.22       |            |

## 4.2. 结论分析

2011~2016 年，德泽水库各污染物分指数年际变化见图 1，其中  $\text{BOD}_5$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{N-NH}_3$  分指数趋于平稳状态，但  $\text{BOD}_5$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  略有上升趋势， $\text{TP}$  总体处于下降趋势， $\text{TN}$  一直处于上升趋势。选取德泽



**Figure 1.** Interannual change of sub index of pollutants

**图 1.** 各污染物分指数年际变化

水库有污染特性的指标 TN、TP 进行质量浓度分析, 从图 2 和图 3 中可知, TP 略有超标情况, 质量浓度呈波状形变化, 峰值出现在 2014 年; TN 基本上一直处于超标状态。从图 4 综合指数年际变化可知, 德泽水库污染物综合指数呈波状形变化, 前几年总体呈上升趋势, 最高值出现在 2014 年后呈下降趋势, 分析结论与模糊综合评价分析结论基本一致。

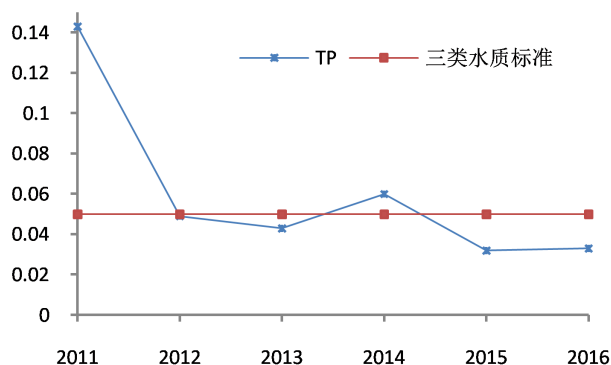


Figure 2. Interannual TP concentration change

图 2. TP 年际浓度变化

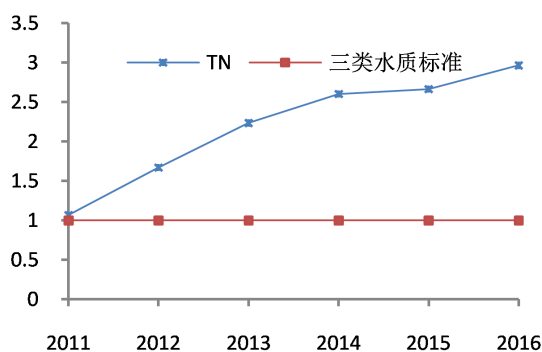


Figure 3. Interannual TN concentration change

图 2. TN 年际浓度变化

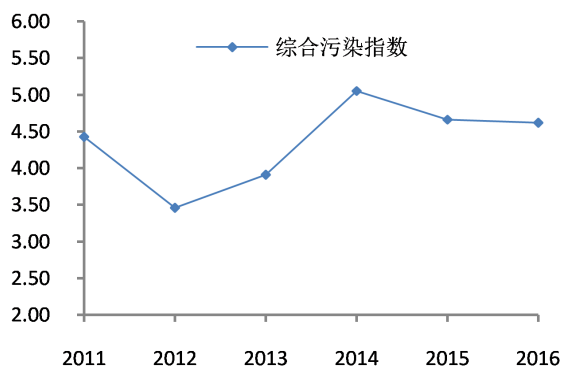


Figure 4. Interannual change of composite index

图 4. 综合指数年际变化

## 5. 结论

- 1) 德泽水库的主要污染因子为 TN、TP、BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Mn</sub>、N-NH<sub>3</sub> 等, 其中又以 TN 超标最为严重。

本文采用了模糊数学综合评价法[8] [9]对德泽水库近 6 年水质监测数据进行了分析评价,分析各评价因子对水质的综合影响,准确反映主要污染物和污染类型,同时采用了采用综合污染指数法[10]进行评价法对德泽水库近 6 年的年际水质变化做出分析,发现德泽水库水质整体状况有所改善,但个别指标仍然严重超标,使得水质一直处于 III 级及以下级别,主要贡献污染物为 TN、TP,年际变化中,但 BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Mn</sub>略有上升趋势,TN 一直处于上升趋势。

2) 通过模糊综合评价法和综合污染指数法分别评价了德泽水库的水质现状和年际变化规律,即全面的反映多种评价因子影响下的水质状况,准确反映主要污染物和污染类型,同时反映出水库水质变化趋势[11],客观体现各评价因子对水体的影。对德泽水库水污染防治具有一定的指导性。

## 参考文献

- [1] 张龙江. 水质评价的模糊综合评判: 加权平均复合模型应用[J]. 环境工程, 2011, 19(6): 53-55.
- [2] 宣卓. 模糊综合评价法在水质评价中的运用[J]. 绿色科技, 2012(2): 160-162.
- [3] 曾永, 樊引琴, 王丽伟, 刁立芳, 李娅. 水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J]. 人民黄河, 2007, 29(2): 45.
- [4] 金菊良, 魏鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报, 2004(3): 65-70.
- [5] 高永霞, 朱广伟, 何冉冉, 等. 天目湖水质演变及富营养化状况研究[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 673-679.
- [6] 许其功, 曹金玲, 高如泰, 等. 我国湖泊水质恶化趋势及富营养化控制阶段划分[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(11): 147-151.
- [7] 杨文斌, 王国祥, 张利民, 等. 常熟市昆承湖水质时空变异特征和环境压力分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 185-192.
- [8] 汪尚朋, 李江云, 郑旭荣, 刘建军. 水质模糊评价的探讨[J]. 中国农村水利水电, 2005(1): 49-51.
- [9] 徐兵兵, 张妙仙, 王肖肖. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 2066-2072.
- [10] 姚章民, 张建云. 水资源评价研究进展[J]. 水文, 2009, 30(增刊 1): 16-18.
- [11] 马滇珍, 张象明. 我国地表水资源近期变化趋势[J]. 水利水电科技进展, 2002(6): 1-3.