

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.01.004

# 基于变权重的水质综合评价体系

周密,陈龙赞,马振

(河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098)

**摘要:** 提出一套全新的水质综合评价体系——变权重水质综合评价体系。该变权重水质综合评价体系包括基于百分制的单因子评价方法、基于水质数据的动态因子权重确定方法以及两者结合形成的综合水质评价法。采用该评价体系对江苏中部某湖泊自动化水质监测站的水质监测数据进行单因子评价、因子权重计算以及综合评价,并对评价结果进行相关性分析。结果表明,变权重综合水质评价体系既可以突出某因子剧烈变化对评价结果的直接影响,又能全面反映综合水质状况,适用于评价高频率水质监测数据样本。

**关键词:** 水质评价;单因子评价;变权重;综合评价;水质指标相关性;水质自动化监测

**中图分类号:** X824      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-1980(2019)01-0020-06

## Study on the comprehensive evaluating system of water quality based on variable weight

ZHOU Mi, CHEN Longzan, MA Zhen

(College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** A new comprehensive evaluating system of water quality has been proposed based on the variable weight, which includes a single-factor evaluating method based on percentile system, a determination method for the dynamic factor of weight based on water quality data, and an integrated evaluating method of water quality. This evaluation system is used to carry out the single-factor evaluation, the factor weight calculation and the comprehensive evaluation on the water quality of some stations in Jiangsu province. After that, the correlation analysis on the evaluated results has also been conducted. The results show that the evaluating system of water quality based on variable weight is very suitable for the evaluation of high-frequent monitoring data for the water quality, which not only highlights the direct influence of dramatically changing factor on the evaluated results but also comprehensively reflects the integrated water quality condition.

**Key words:** water quality evaluation; single-factor evaluation; variable weight; comprehensive evaluation; correlation of water quality index; automatic monitoring of water quality

快速发展的社会经济和人类活动对水环境产生了巨大的影响,水污染问题日益严重。因此,为了实现人类社会稳定发展、人与自然和谐相处,各级政府正在积极开展水环境综合管理工作。科学的水环境管理技术包括水质监测、水环境治理规划、水环境决策支持系统开发、水质评价等。其中,水质评价工作是水环境管理工作的基础,既是起始环节,又是末端环节<sup>[1]</sup>。目前国内外存在许多水质评价方法<sup>[1]</sup>,包括单因子评价法、灰色系统评价法、模糊数学评价法、水质指数法、人工神经网络评价法、水质标识指数评价法等。我国规定地表水环境质量使用最差单因子评价法,其本质是选取所有参评因子中最差因子的类别作为总体水质类别,其

**基金项目:** 国家重点研发计划(2016YFC0400803)

**作者简介:** 周密(1964—),男,副教授,主要从事水利信息化、水环境评价研究。E-mail:mizhou@vip.163.com

**通信作者:** 陈龙赞,硕士研究生。E-mail:15950502686@163.com

**引用本文:** 周密,陈龙赞,马振.基于变权重的水质综合评价体系[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(1):20-25.

ZHOU Mi, CHEN Longzan, MA Zhen. Study on the comprehensive evaluating system of water quality based on variable weight[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(1): 20-25.

评价结果偏于悲观,不具有合理反映当前水质综合状况的能力<sup>[2]</sup>。灰色系统评价法<sup>[3]</sup>、模糊数学评价法<sup>[4]</sup>、人工神经网络评价法<sup>[5]</sup>以及其结合使用的多种方法具有严密的数学理论但计算过程繁琐且结果常不具有可比性。水质标识指数法<sup>[6]</sup>和水质指数法<sup>[7]</sup>简单易用但其结果不够直观。上述各种方法均具有其优缺点,在着重考虑有效利用自动化监测的高频率水质数据以及评价结果简单直观的这两方面因素的基础上,笔者提出一套综合水质评价体系,该体系包括基于百分制的单因子评价方法、基于水质数据的动态因子权重确定方法以及两者结合形成的综合水质评价法。

## 1 评价方法

### 1.1 单因子评价方法

单因子评价方法以扩充后的 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》<sup>[8]</sup>为绝对标准构建出的基于百分制的评价方法,扩充方法如下:首先,依照中华人民共和国住房和城乡建设部制定的《城市黑臭水体整治工作指南》<sup>[9]</sup>中公布的溶解氧(DO)和氨氮(NH<sub>3</sub>-N)2项指标的轻度黑臭至重度黑臭的临界值作为该项指标的最劣限值;其次,参照 DO 指标的最劣限值为 V 类水标准值的 0.1 倍对非溶解氧指标的 I 类水标准取 0.1 倍作为该指标的最优限值。参照 NH<sub>3</sub>-N 指标的最劣限值约为 V 类水标准值的 8 倍对非溶解氧指标的 V 类水标准取 8 倍作为该指标的最劣限值;最后,对 DO 的 I 类水标准取 8 倍作为该指标的最优限值。

扩充后的《地表水环境质量标准》部分项目标准限值见表 1,其中总磷(TP)为湖泊型水体对应的标准值。

参考水质标识指数法<sup>[10]</sup>,单因子评价方法引入评价类别标识值。类别标识值用于表示某个单因子实测值代表的水质类别,赋值如下:(a)最优限值(I类水标准以上的最高标准)和最劣限值(V类水标准以下的最低标准)分别赋值 0 和 6.0;(b)I、II、III、IV、V类水对应的标准值分别赋值 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0;(c)处于各标准值以及最优、最劣限值之间的水质因子实测值对应的标识值应采用线性内插计算得出,结果保留一位小数。

详细步骤如下:(a)将某因子实测数据依照表 1 标准值对应的类别标识值做相应线性插值计算得到第  $i$  项因子的类别标识值  $D_i$ ;(b)采用式(1)进行计算得出第  $i$  项因子的评分  $S_i$ 。

$$S_i = \frac{\sqrt{6 - D_i}}{6} \times 100 \quad (1)$$

对式(1)中  $D_i$  求导,可发现随着  $D_i$  减小, $S_i$  虽然逐渐增大且增速逐渐减小。该变化方式的实质为鼓励式的单因子评分方式。水质条件越好,想要提升评分就越困难;相反,若水质条件一般,未来该因子有稍许改善,则评分会有很大改观。

将各因子按上述步骤逐一进行评价可得单因子评分序列,记为  $S$ 。

### 1.2 权重确定方法

在传统水质评价工作中,学者一般采用超标倍数法作为主要的赋权方法<sup>[11]</sup>。该方法根据各水质指标的单项污染指数来确定该项指标的权重。超标倍数法实质上强调了污染较为严重的水质指标在所有指标中的重要性,也同时增加其对最终评分的影响力<sup>[12]</sup>。这是一个很好的赋权方法,但是该方法仅基于某项指标的单个实测值以及其限值来确定权重,未能考虑该指标在一段时间内实测值的变化情况,且对于 pH 等同时具有上下限值的指标没有合适的处理方法。

综合考虑以上赋权方法的优缺点以及自动化监测的大量数据样本的特性,笔者提出一种动态权重确定方法。该权重确定方法使用表达式如下:

$$w_i = \frac{0.5}{n} + \frac{C_v(X_i)}{\sum_{i=0}^n C_v(X_i)} \times 0.5 \quad (2)$$

表 1 扩充后的《地表水环境质量标准》部分项目标准限值

Table 1 Partial index limits of expanded Surface Water Environmental Quality Standard mg/L					
限值	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{TN})$
最优限值	60	0.2	0.015	0.001	0.02
I类水标准值	7.5	2	0.15	0.01	0.2
II类水标准值	6	4	0.5	0.025	0.5
III类水标准值	5	6	1	0.05	1
IV类水标准值	3	10	1.5	0.1	1.5

式中: $w_i$ ——第*i*个因子的权重; $n$ ——参评因子个数; $X_i$ ——某段时间内*i*因子实测序列; $C_v$ ——求取该数据序列的变差系数值。

权重确定方法的主旨是在一段时间内(通常选择1d)某个因子的权重与其离散的剧烈程度呈正相关关系。为了描述某一因子的离散程度,特引入标准差这一统计学概念。同时考虑到多因子之间的客观比较,最终选择变差系数( $C_v$ )(即标准差/均值)<sup>[13]</sup>作为描述该因子客观离散程度的方法。

观察式(2)可以发现, $w_i$ 由 $0.5/n$ 和 $0.5C_v(X_j)/\sum_{i=0}^n C_v(X_i)$ 两部分组成,将它们分别命名为基础权重和相对权重。考虑到某因子离散程度过小可能出现权重为零的情况,式(2)为每个因子赋予相同的基础权重。相对权重则是由该因子相对离散程度决定,该方法为整个动态权重赋权方法的精髓所在。

某项指标在一段时间内的离散程度越高代表该指标在该时段内的变化越剧烈<sup>[14]</sup>。无论该指标实测值如何变化(一直变好、一直变差或者时好时差),提升该指标的权重都会有益于提高综合评分对水质实际变化情况的反映能力,这就是动态权重赋权方法的核心思想。相比于其他赋权方法<sup>[15]</sup>,本方法能够充分利用自动化水质监测所带来的高频率监测的水质数据,更细致地描绘水质变化情况。

将所需评价的各因子按上述步骤逐一进行权重计算,可得该时段内各因子权重系数组成的权重序列 $w$ 。

### 1.3 综合水质评价方法

对于不同的水质指标,即使是同一浓度水平,其对水体功能的影响也不完全相同<sup>[16]</sup>。为此,笔者采用加权叠加法作为计算综合水质评分的基本方法:

$$I_{DW} = Sw \quad (3)$$

式中: $I_{DW}$ ——变权重水质综合评分; $S$ ——单因子评分序列; $w$ ——权重序列。

## 2 案例研究

### 2.1 数据选取

采用江苏中部某湖泊自动化水质监测站2016年6月至2017年4月的水质监测数据作为实测数据样本。结合观测数据和当地水质状况,选取DO、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN共5项水质指标作为评价因子。

### 2.2 评价过程

#### 2.2.1 数据准备

考虑到自动化水质监测仪器的不稳定性,通过绘制数据系列的箱型图来识别数据系列中的异常值。另外,在进行水质评价之前需要确定参评因子的基本时间单元。该基本时间单元的选取应参考观测数据的时间间隔,若为小时间隔则可以选取基本时间单元为1d;若以日为时间间隔则可以选取基本时间单元为1周。本次采用1d作为基本时间单元。

#### 2.2.2 单因子评分

将预处理的水质观测数据按1.1节中的步骤进行单因子评价。计算示例如下:取2017年3月21日NH<sub>3</sub>-N质量浓度日均值为0.463mg/L,参照表1可知该值大于I类水标准值0.15mg/L且小于II类水标准值0.5mg/L,故 $D_i = (0.463 - 0.15) / (0.5 - 0.15) \times (2 - 1) + 1 = 1.894$ 。根据式(1)可计算得 $S_i = 82.7$ 。

依照以上计算方法可计算出各因子评分的时间序列,部分结果见图1。

#### 2.2.3 权重确定

采用1d为基本时间单元,依照1.3节中的公式进行权重计算,示例如下:

取2017年3月21日TN日实测值序列 $X_i = (1.4, 1.41, 0.79, 0.51, 0.79)$ ,求得该序列变差系数 $C_v(X_i) = 0.41$ 。依次求得DO、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N以及TP的变差系数为:0.06、0.06、0.71、0.10。由此可计算得出TN相对权重和基础权重分别为0.15和0.1。故TN最终权重 $w_i = 0.25$ 。

依照以上计算方法可计算出权重的时间序列,部分结果见图2。

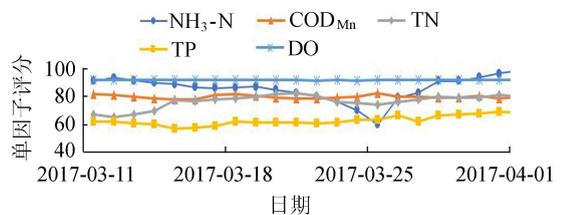


图1 各因子评分部分时间序列

Fig.1 Partial time series of each factor score

若基本时间单元内某项指标的观测次数小于或等于1,则可以采用该指标前一基本时间单元的权重值。

#### 2.2.4 综合评分

根据2.2.2节和2.2.3节中的结果,依照1.4节中的步骤和公式进行综合评分计算,示例如下:

取2017年3月21日 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 以及 $\text{DO}$ 的单因子评分值 $S=(82.7, 82.7, 61.3, 78.3, 91.9)$ ,以及权重值 $w=(0.366, 0.253, 0.136, 0.123, 0.122)$ ,将2组数据依照式(3)计算出变权重水质综合评分 $I_{\text{DW}}=80.4$ 。

为了便于比较,添加了等权重赋权方法所得出的综合评分。等权重赋权方法的各单因子权重相等,其综合评分的本质是对所有单因子评分取平均值。根据本次选取的5个水质指标可以确定出各个指标的权重均为0.2。结合上例可得出等权重水质综合评分 $I_{\text{AWS}}=79.4$ 。

依照以上计算方法可计算得出综合评分的时间序列。现选取部分内容绘制见图3。

### 2.3 评价结果分析

为了方便阐述该评价方法的特性以及该地区的水质状况<sup>[17]</sup>,笔者绘制了2017年3月至2017年4月这段时间内的单因子评分图(图1)、各因子权重图(图2)以及综合评分图(图3(a))。观察图1可发现,在该段时间内 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 和 $\text{DO}$ 的评分都比较稳定。其中, $\text{TP}$ 的评分最低,大致为60分左右; $\text{DO}$ 评分最高,基本达到90分;其次为 $\text{TN}$ 和 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,这两者评分大致在70~80分,评分良好。图1中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的单因子评分变化最剧烈,最低点大致为60分,最高点接近满分。该地区大部分为农村地区,农业为主要产业结构。农作物种植需要大量施用磷肥,故水中 $\text{TP}$ 质量浓度持续过高。

图1中的各因子的评分大致相当,图2中各因子权重则明显不同。其中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的权重值最大,一度占有总权重的50%,其他4项指标的权重基本相等。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 权重值的变化也最剧烈,极差高达0.25。除去农业,该地区还存在大规模的水产养殖业。水生生物的饵料、排泄物、动物尸体的分解均会导致该地区水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量升高。除此以外,人类生产生活垃圾的集中处理也使水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的变化剧烈<sup>[18]</sup>,故 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标的权重值最大。

从图3可以看出,该站点水质良好,平均评分大致在80分左右,最优评分能达到85分,最劣评分低至70分,总体上符合该站点水质的直观状况。图3(a)中,变权重综合评分相较于等权重综合评分,其结果变化幅度更剧烈,峰值更高,谷值更低。图3(b)中2条曲线贴合较紧密,评价结果相近,表明变权重水质评价方法的各因子权重在该时间段内分配较均匀。综合图3(a)(b)可以发现,在某项水质因子发生剧烈变化时,变权重水质评价方法对水体的水质状况更具有表现力<sup>[19-20]</sup>。

#### 2.4 相关性分析

对该站点2016年6月至2017年4月5项指标( $\text{DO}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{TN}$ 和 $\text{TP}$ )实测水质数据以及其单因子评分值做Pearson线性相关系数计算并绘于图4。

图4中右上方圆形和左下方正方形均可以表达参数的线性相关关系。其中,右上方圆形从12点钟方向绘制阴影,顺时针表达正相关关系,逆时针则相反;左下方则以正斜杠(/)表达正相关关系,反斜杠则相反。两者都以阴影部分颜色的深浅表达相关关系的强弱。

观察图4可发现,无论是在实测值还是在评分值中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 均与其他参数有着不错的相关性。因为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 $\text{TN}$ 在物理成因上存在一定关系,故图4(a)中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 $\text{TN}$ 的相关关系最好, $\text{NH}_3\text{-N}$ 与其他参数并

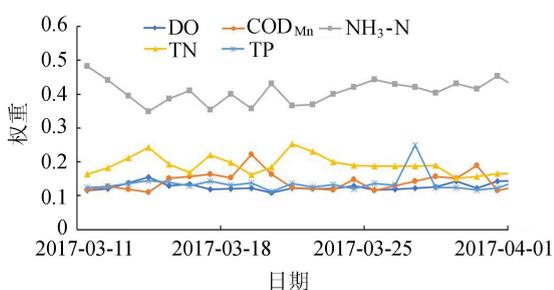
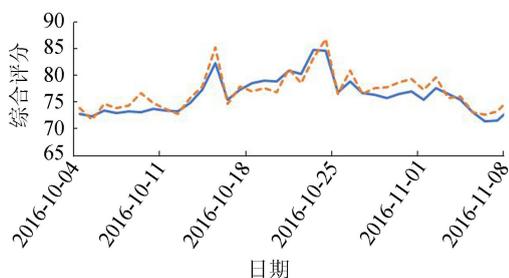


图2 各因子权重部分时间序列

Fig.2 Partial time series of each factor weight



(a) 2017年3-4月



(b) 2016年10-11月

图3 综合评分

Fig.3 Comprehensive score

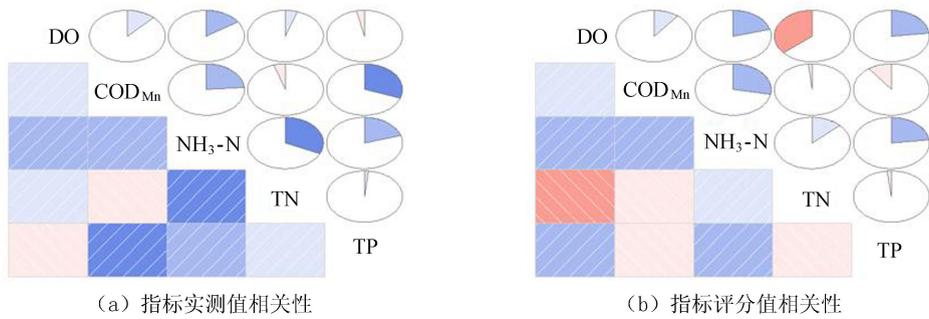


图4 指标相关性

Fig. 4 Indicator relevance

无直接的物理成因上的联系并且其相关关系在其他数据集中表现得并不稳定,故不具有参考价值。图4(b)中,DO与TN在评分上表现出比较强的负相关关系,这意味着DO评分在上升的过程中,TN的评分极有可能展现出下降的趋势。

综合图4(a)(b)来看,在图4(a)中相关关系比较好的某些指标,如 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与TN、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 与TP等,在图4(b)却没有类似的现象。与此同时,图4(a)中相关关系一般甚至几乎没有相关关系的指标,如DO和TN等,在图4(b)中却存在较为明显的相关关系。该结果表明在本方法进行水质评价的过程中,各指标评分值之间的相关性并没有受到其实测值相关性的影响。实测值经过一系列处理和计算后得出的评分值表现出完全不同于初始输入值之间的相关关系,这也是一个值得日后深入讨论的问题。

将等权重综合评分与变权重综合评分添加到图4(b)中得相关关系,见图5。

图5中,score1与score2这两项分别代表变权重综合评分与等权重综合评分。考虑到该2项综合评分都是由相同的单因子评分进行加权得出,故图中2项综合评分表现出理所当然的显著相关关系。在变权重综合评分中, $\text{NH}_3\text{-N}$ 一直占有较高的权重系数,这导致两者具有较好的相关性。然而, $\text{NH}_3\text{-N}$ 与等权重综合评分的相关关系也很好,这就表明 $\text{NH}_3\text{-N}$ 确实在该站点水质指标中占有比较重要的地位。虽然受到 $\text{NH}_3\text{-N}$ 指标在变权重综合评价过程中持续占有较高的权重系数的影响,其他指标与score1的相关关系均要弱于其与score2的相关关系,但是,其他指标与score1的相关关系值依旧很好,其值基本可以达到0.4左右。这表明变权重综合水质评价方法具有突出重点指标并且兼顾其他指标的能力。

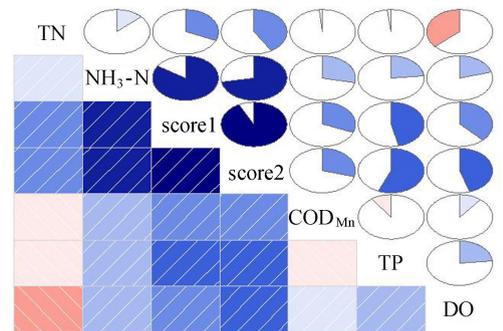


图5 评分相关性

Fig. 5 Score relevance

### 3 结 语

a. 本研究基于水质数据本身离散程度,依托评价结果精细化表达的理念提出了变权重的水质综合评价体系。该体系已成功应用于自动化水质监测站的水质评价工作,并取得良好效果。

b. 本评价体系中单因子评价方法的核心思想为水质越优,提分越难;水质越劣,提分越易。针对全国大部分地区水质状况一般的情况,该方法具有很好的鼓励作用,值得推广应用。

c. 变权重综合评价法既考虑到各因子水质数据本身的变化程度,突出影响水质状况的核心因子又不会过度受控于某单个因子,评价结果较其他方法更为全面和客观。

d. 本评价体系重视评价结果的精细化表达。精细化的结果不仅便于理解,通俗易懂,更为重要的是对水质情况的变化具有很高的灵敏度,适用于水质在线评价工作。

e. 该评价体系也存在一些弊端如对质量浓度稳定且污染严重的指标不够重视等,这也是该评价体系将来改进的一个方向。

## 参考文献:

- [1] 徐祖信,尹海龙.城市水环境管理中的综合水质分析与评价[M].北京:中国水利水电出版社,2012.
- [2] 尹海龙,徐祖信.我国单因子水质评价方法改进探讨[J].净水技术,2008,27(2):1-3.(YIN Hailong, XU Zuxin. Study on improvement of single factor water quality evaluation method in China[J]. Water Purification Technology, 2008, 27(2): 1-3. (in Chinese))
- [3] RUAN Yanrong, GAO Maoting, ZHANG Ying. Water quality evaluation based on improved gray clustering relation[J]. Modern Computer, 2015,20:67-71.
- [4] ZHAO Xi, KANG Weidong, ZHAO Xiaohui, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation method in evaluation of water quality in Guide region[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017,45(8):78-80,158.
- [5] YU Furong, LIU Zhongpei. The application of artificial neural network in the groundwater quality assessment in industrial park catchment[J]. Advanced Materials Research, 2012, 518-523:1340-1343.
- [6] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):482-488.(XU Zuxin. Study on evaluation method of integrated water quality index of rivers in China[J]. Journal of Tongji University(Natural Science Edition), 2005, 33(4): 482-488. (in Chinese))
- [7] 周新龙.综合水质指数法对滴水湖水质的评价[J].净水技术,2012,31(2):66-71.(ZHOU Xinlong. Evaluation of water quality of Drip Lake by comprehensive water quality index method[J]. Water Purification Technology, 2012, 31(2): 66-71. (in Chinese))
- [8] 中国环境科学研究院.地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S].北京:国家环境保护总局,2002.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市黑臭水体整治工作指南[EB/OL].[2017-11-03].[http://www.yueyang.gov.cn/jsj/54027/54034/54115/content\\_1397526.html](http://www.yueyang.gov.cn/jsj/54027/54034/54115/content_1397526.html).
- [10] 徐祖信.我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(3):321-325.(XU Zuxin. Study on evaluation method of single-factor water quality indication index in China[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2005, 33(3): 321-325. (in Chinese))
- [11] SUN Wei, XIA Chunyu, XU Meiyong, et al. Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River[J]. Ecological Indicators, 2016, 66:306-312.
- [12] MKWATE R C, CHIDYA R C G, WANDA E M M. Assessment of drinking water quality and rural household water treatment in Balaka District, Malawi[J]. Physics & Chemistry of the Earth(Parts A/B/C),2017,100:353-362.
- [13] 刘杰,达列雄.基于变差系数法的水污染物总量分配模型[J].陕西理工学院学报(自然科学版),2014,30(3):74-78.(LIU Jie,DA Liexiong. Construction model of total water pollutant distribution based on variance coefficient method[J]. Shanxi Institute of Technology(Natural Science Edition), 2014,30(3): 74-78. (in Chinese))
- [14] SENNER S, SENNER E, DAVRAZ A. Evaluation of water quality using water quality index(WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)[J]. Science of the Total Environment, 2017, 584/585:131.
- [15] DEBELS P, FIGUEROA R, URRUTIA R, et al. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2005, 110(1/2/3):301.
- [16] SONG T, KIM K. Development of a water quality loading index based on water quality modeling[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(3):1534-1543.
- [17] PESCE S F, WUNDERLIN D A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City(Argentina) on Suquia River [J]. Water Research, 2000, 34(11):2915-2926.
- [18] KANNEL P R, LEE S, LEE Y S, et al. Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007, 132(1/2/3):93-110.
- [19] AKKOYUNLU A, AKINER M E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: a case study from Turkey's Sapanca Lake Basin[J]. Ecological Indicators, 2012, 18(5):501-511.
- [20] 于嘉骥,张慧妍,王小艺,等.基于改进的投影寻踪-云模型的农业灌溉水质综合评价[J].水资源保护,2017,33(6):142-146.(YU Jiaji, ZHANG Huiyan, WANG Xiaoyi, et al. Comprehensive evaluation of agricultural irrigation water quality based on modified projection pursuit-cloud model[J]. Water Resources Protection, 2017,33(6):142-146. (in Chinese))