

# 平原河网地区观光水体水质分析与评价

陈勇民

(浙江科技学院 土木与建筑工程学院,杭州 310023)

**摘要:** 为了调研平原河网地区观光水体的水质状况,应用模糊综合评价法对浙江省嘉善县大云镇“十里水乡”景区河道进行水质评价。各水质评价指标对应不同等级水质标准的可能性由隶属度函数表征,所有水质评价指标的隶属度函数值组成一个模糊矩阵。各水质评价指标对水质评价结果的影响程度由权重因子衡量,将模糊矩阵  $R$  与权重矩阵  $A$  综合计算得到模糊综合评价矩阵  $B$ 。水质分析与评价结果表明:COD(chemical oxygen demand,化学需氧量)和  $COD_{Mn}$ (高锰酸盐指数)总体上稳定, $NH_3-N$ (氨氮)和 TP(total phosphorus,总磷)含量夏季升高而春秋降低,TN(total nitrogen,总氮)含量大体上呈上升趋势,而“十里水乡”河道水质总体上呈下降趋势;在一年的监测期间,“十里水乡”河道水体 I类、II类、III类、IV类水质各占 8.3%,V类水质占 66.8%,综合水质以 V类水质为主;TN含量对“十里水乡”河道水质总体评价的影响较大。模糊综合评价法可客观综合地评价水质;通过控制 TN的排放可有效改善水环境质量。

**关键词:** 观光水体;水质评价;模糊综合评价法;隶属度

**中图分类号:** X824      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-8798(2020)06-0583-07

## Water quality analysis and assessment of sightseeing water in plain river network region

CHEN Yongmin

(School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to investigate the water quality of sightseeing water in plain river network region, fuzzy comprehensive evaluation method was adopted to assess the water quality of “Miles of Water Town” sightseeing river network in Dayun Town, Jiashan County, Zhejiang Province. The possibility of every water quality evaluation index corresponding to different water quality grades was characterized by membership function, whose values of all water quality evaluation indexes constituted a fuzzy relation matrix. Weight factors measured the degree of every water quality evaluation index influencing water quality assessment results, obtaining the fuzzy comprehensive evaluation matrix  $B$  synthetically calculated by fuzzy relation

**收稿日期:** 2020-06-04

**基金项目:** 浙江省公益技术研究社会发展项目(2016C33101)

**通信作者:** 陈勇民(1975—),男,湖北省嘉鱼人,副教授,博士,主要从事给水排水工程研究。E-mail: cym310@163.com。

matrix  $R$  and weight matrix  $A$ . The results of water quality analysis and assessment show that COD(chemical oxygen demand) and  $COD_{Mn}$  are generally stable, contents of  $NH_3-N$  and TP (total phosphorus) increase in summer while decrease in spring and autumn, TN (total nitrogen) content is generally on the rise and the water quality of "Miles of Water Town" river is on the whole in decline; during the monitoring period throughout one year, class I, class II, class III and class IV water quality each account for 8.3 percent in "Miles of Water Town" river network, and class V water quality accounts for 66.8 percent. Therefore, the comprehensive water quality is dominated by class V; moreover, TN content has greater influence on the overall evaluation of its water quality. Fuzzy comprehensive evaluation method can assess water quality objectively and comprehensively; the water environment quality can be improved effectively by controlling the emission of TN.

**Keywords:** sightseeing water; water quality assessment; fuzzy comprehensive evaluation method; membership function

随着社会经济的发展及工业化城市化的推进,中国许多河流湖泊及旅游观光水体均出现了不同程度的污染。受各种污染源的影响,多数观光水体水质已难以达到饮用水水源标准,统计数据表明全国超过90%的景观类水体存在不同程度的污染<sup>[1]</sup>。中国平原河网地区的观光水体大多具有流动性差、环境容量小且自净能力差等特点<sup>[2]</sup>,在人类活动的影响下,其水质趋于恶化。同时由于环保措施的相对滞后,导致水色异常、藻类及细菌过度繁殖,严重影响了观光水体的视觉和感官体验,从而影响其旅游观光的的服务效果。

针对观光水体的污染治理,必须在摸清水体污染原因的基础上,对水体的水质现状和污染水平进行正确且全面的分析和评价。水体水质评价是根据选定的水质参数、标准和方法,对被评价水体的利用价值进行评定,从而如实反映水体的客观状态<sup>[3]</sup>。李超等<sup>[4]</sup>分别采用单因子评价法和综合加权评价法对济南市园林景观水体水质进行了评价,曹新光等<sup>[5]</sup>分别采用单因子污染指数法和内梅罗指数法对城市浅水景观水体的水环境质量进行了评价和分析,取得了较为一致的评价结果。肖冰等<sup>[6]</sup>采用单因子评价法和模糊综合评价法对景观水体生态净化系统的水质进行评估,结果表明采用模糊综合评价法得出的评价结果较为准确。刘博等<sup>[7]</sup>采用内梅罗指数法、数理统计法及因子分析法等对北方河流水体进行了综合水质评价并解析其污染源。刘辉等<sup>[8]</sup>采用以生物多样性指数法和综合营养状态指数法来评价小型景观水体水质。郭红兵等<sup>[9]</sup>将总氮、总磷、叶绿素和透明度综合成感官指数用于评价景观水质,并采用灰色聚类分析法解析与拟合第三方水质监测数据,为污染源的解析提供依据。尹敏敏等<sup>[10]</sup>对住宅小区的大型景观水体水质进行了调查并应用单因子评价法和综合营养状态指数对水质进行评价和分析,提出了提升水质的建议。王怡等<sup>[11]</sup>提出以水中溶解氧昼夜浓度最大差值单一指标来评价景观水体的方法。总体而言,景观水体的水质评价以单因子评价为基础,结合其他数理统计方法发展出新的评价指标及标准。然而,目前尚没有一个既科学合理又客观全面反映水质状况的评价方法,故需要针对水体功能制定科学客观的水质评价标准。

浙江省嘉善县大云镇“十里水乡”景区河道是一种典型的平原河网观光水体,课题组对其进行了为期一年的持续水质监测,通过分析平原河网观光水体的水质状况,为后续建立河网水质模型和制定合理的管理方法提供基础数据参考<sup>[12]</sup>。“十里水乡”主河道全长约 3.5 km,河道平均宽约 25 m,两侧为土质堤岸,木桩护坡,水质监测时期为 2017 年 8 月至 2018 年 7 月。

## 1 水质评价方法

根据“十里水乡”景观河道的主要服务功能及水质监测的时间跨度、频率、监测点密度和数据情况,确定采用模糊综合评价法对“十里水乡”观光水体进行水质评价。

### 1.1 模糊综合评价模型

采用模糊综合评价法进行水质评价即通过计算各水质指标的污染指数并进行某种意义的加权平均,

再用模糊数学理论计算出表征水体污染状态的可能性(概率)<sup>[13-15]</sup>,并根据该值对水质进行分级评价。此评价方法避免了单因子评价法的较大污染因子的“单项否决权”,更加客观地考虑了各种污染指标在水质等级评价中的贡献率,是一种综合性的水质评价方法<sup>[16-18]</sup>。

设水环境质量因素为  $U=[U_1 \ U_2 \ \dots \ U_m]$ ,其中,  $U_i$  为参与水质评价的  $m$  个评价因子,  $U$  通常是一个描述多个水质指标的模糊向量。设评价矩阵为  $V=[V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n]$ ,其中  $V_j$  为与  $U_i$  相应的水环境质量评价标准。

在  $U$  和  $V$  都已给定的情况下,它们之间的模糊关系用矩阵  $R$  来表述:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中:  $r_{ij}$  为第  $i$  种水质评价指标数据被评为第  $j$  级水质的可能性(概率),也就是  $i$  项因子对  $j$  级水质标准的隶属度。

由  $U$  经过归一化处理得到权重矩阵  $A$ ,再由  $A$  和  $R$  计算得到输出矩阵  $B$ ,计算公式如下:

$$B = A \times R \quad (2)$$

将输出矩阵  $B$  与评价矩阵  $V$  进行对比即可判别水质等级。

## 1.2 隶属度函数

各水质评价指标对应不同等级水环境质量的隶属度由模糊矩阵表述。将水环境质量的的标准划分为  $n$  级,每个水质指标的质量浓度实测值相对于各级水质标准的隶属度采用“半降梯形分布法”来计算,隶属度函数值越大则表示该评价因子属于该水质等级的可能性就越大<sup>[19-20]</sup>。依据半降梯形模糊分布函数,隶属度分布函数表达式如下:

1)第1级(首级)水环境质量,即当  $j=1$  时,隶属度函数

$$r_{i1} = \begin{cases} 1, & x_i < s_{i1}; \\ \frac{s_{i2} - x_i}{s_{i2} - s_{i1}}, & s_{i1} \leq x_i \leq s_{i2}; \\ 0, & x_i > s_{i2} \end{cases} \quad (3)$$

2)第  $j$  级( $1 < j < n$ , 中间级)水环境质量,即当  $j=2, 3, \dots, n-1$  时,其对应的隶属度函数

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & x_i < s_{i,j-1} \text{ 或 } x_i > s_{i,j+1}; \\ \frac{x_i - s_{i,j-1}}{s_{ij} - s_{i,j-1}}, & s_{i,j-1} \leq x_i \leq s_{ij}; \\ \frac{s_{i,j+1} - x_i}{s_{i,j+1} - s_{ij}}, & s_{ij} \leq x_i \leq s_{i,j+1} \end{cases} \quad (4)$$

3)第  $n$  级(末级)水环境质量,即当  $j=n$  时,其隶属度函数

$$r_{in} = \begin{cases} 0, & x_i < s_{i,n-1}; \\ \frac{x_i - s_{i,n-1}}{s_{in} - s_{i,n-1}}, & s_{i,n-1} \leq x_i \leq s_{in}; \\ 1, & x_i > s_{in} \end{cases} \quad (5)$$

式(3)~(5)中:  $x_i$  为评价指标  $i$  的实测质量浓度值;  $s_{i,j-1}$ 、 $s_{ij}$ 、 $s_{i,j+1}$  分别为第  $i$  项指标对应的第  $j-1$ 、 $j$ 、 $j+1$  级水质类别标准值。

此外,某些特殊水质指标其数值越大则水质越好,例如溶解氧(dissolved oxygen, DO)等,其隶属度函数需要在常规隶属度函数的基础上作适当处理后使用<sup>[21-22]</sup>。

## 1.3 权重因子

由于各项水质评价指标对水体污染的贡献程度是不同的,需要给每项水质指标赋予不同的权重,以

衡量各项指标对水质评价结果的影响程度。对观光水体水质评价而言,某项因子的实测浓度越大,它对水体污染则越严重,反映在评价矩阵中,它对理想状态的隶属度就越小,对该指标就应赋予较大的权重;反之,则赋予较小的权重<sup>[23-24]</sup>。模糊综合评价法通常采用超标加权法来计算各指标的影响权重,计算公式如下:

$$\begin{cases} \omega_{ki} = \frac{x_{ki}}{s_i}; \\ s_i = \frac{1}{n}(c_{i1} + c_{i2} + \dots + c_{in}); \\ a_{ki} = \frac{\omega_{ki}}{\sum_{i=1}^n \omega_{ki}}. \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中: $\omega_{ki}$ 为第 $k$ 组水样第 $i$ 个指标的权重因子; $x_{ki}$ 为第 $k$ 组水样第 $i$ 个指标的实测值; $s_i$ 为第 $i$ 个指标各级水质标准的平均值; $c_{in}$ 为第 $i$ 个指标第 $n$ 级水质的标准值; $a_{ki}$ 为第 $k$ 组水样第 $i$ 个指标的归一化权重。

将各组水样中的各指标的实测数据与相应级别的标准值分别代入上述公式中,求得相应的权重值,最后组成权重矩阵 $\mathbf{A}=[a_{k1} \ a_{k2} \ \dots \ a_{kn}]$ 。

## 2 水质评价与分析

在“十里水乡”河网选取 3 个典型河道断面 A、B、C 作为水质采样监测点,其分布如图 1 所示。

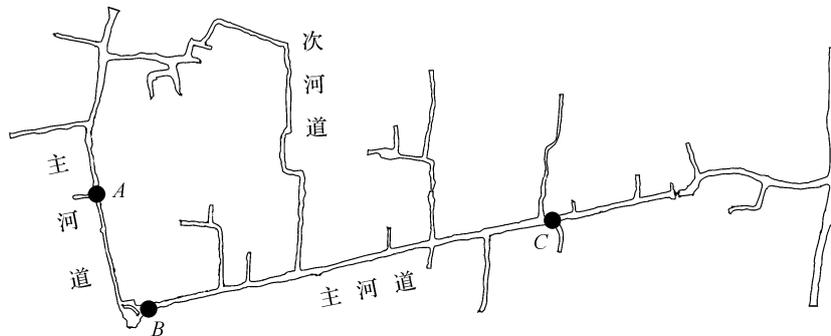


图 1 “十里水乡”河网及采样点

Fig. 1 “Miles of water town” river network and sampling dots

根据实测水质指标,选择 DO、COD(chemical oxygen demand, 化学需氧量)、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ (高锰酸盐指数)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ (氨氮)、TP(total phosphorus, 总磷)、TN(total nitrogen, 总氮)作为评价水质指标,分别记为 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、 $U_4$ 、 $U_5$ 、 $U_6$ ,即

$$\mathbf{U}=[U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4 \ U_5 \ U_6].$$

根据 GB3838—2002《地表水环境质量标准》<sup>[25]3</sup>及地表水水域功能和保护目标,将地表水水质分为 I、II、III、IV、V 5 类,将其标准分别记为 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ ,故确定评价矩阵为

$$\mathbf{V}=[V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4 \ V_5].$$

### 2.1 模糊矩阵 R 的建立

对“十里水乡”观光河道采样点 A、B、C 为期一年的水质监测数据作平均值处理,结果见表 1。

将表 1 中数据对比 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》<sup>[25]4</sup>的 I、II、III、IV、V 类水质标准,分别计算隶属度、权重等,由于计算量较大,不能一一列举,在此以 2017 年 8 月 20 日的 $U_2$ 为例,简要说明计算过程。将 2017 年 8 月 20 日的 $U_2$ 值 31 mg/L 及 I、II、III、IV、V 类水质的 COD 标准值代入式(3)~(5),得到相应的模糊矩阵为

$$\mathbf{R}_{\text{COD}}=[0.000 \ 0 \ 0.000 \ 0 \ 0.000 \ 0 \ 0.933 \ 3 \ 0.066 \ 7].$$

表 1 “十里水乡”河道水质监测数据

Table 1 Water quality monitoring data of “Miles of water town” river network

mg · L<sup>-1</sup>

采样日期	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$
2017/08/20	4.37	31	9.91	0.41	0.453	2.98
2017/09/16	8.16	27	7.15	0.15	0.138	1.38
2017/10/17	4.34	22	7.08	0.48	0.271	4.90
2017/11/21	5.90	22	4.50	0.61	0.118	1.05
2017/12/13	8.42	19	5.72	0.22	0.081	3.08
2018/01/22	5.50	26	6.57	0.45	0.139	2.10
2018/02/08	13.32	21	5.52	0.07	0.052	3.35
2018/03/14	8.96	20	5.77	0.26	0.173	3.13
2018/04/11	10.30	22	6.69	0.29	0.067	1.62
2018/05/16	6.20	23	6.68	1.66	0.134	7.17
2018/06/01	8.50	38	10.56	0.81	0.273	4.71
2018/07/04	4.45	29	9.02	1.66	0.297	5.81

依此类推,分别计算出 DO、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP、TN 各项指标的隶属度,最终组合成完整的模糊矩阵  $R$  如下:

$$R = \begin{bmatrix} 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.686 & 7 & 0.313 & 3 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.933 & 3 & 0.066 & 7 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.022 & 5 & 0.977 & 5 & 0.000 & 0 \\ 0.259 & 0 & 0.741 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 1.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 1.000 & 0 \end{bmatrix}。$$

2.2 权重矩阵  $A$  的建立

根据式(6)分别计算各项指标的标准平均值  $s_i$ ,单项权重因子  $w_i$ ,归一化权重  $a_i$ ,结果见表 2。

表 2 水质指标权重

Table 2 Water quality index weight

指标	$s_i$	$w_i$	$a_i$
DO	4.7	0.930 5	0.103 0
COD	24	1.277 8	0.141 4
COD <sub>Mn</sub>	7.4	1.339 2	0.148 2
NH <sub>3</sub> -N	1.03	0.397 4	0.044 0
TP	0.204	2.222 2	0.245 9
TN	1.04	2.868 6	0.317 5

根据表 2 即可得到权重矩阵  $A = [0.103 0 \quad 0.141 4 \quad 0.148 2 \quad 0.044 0 \quad 0.245 9 \quad 0.317 5]$ 。

2.3 模糊综合评价矩阵  $B$  的建立

应用权重矩阵  $A$  和模糊矩阵  $R$  计算得到最终评价矩阵为

$$B = A \times R = [0.103 0 \quad 0.141 4 \quad 0.148 2 \quad 0.044 0 \quad 0.245 9 \quad 0.317 5] \times \begin{bmatrix} 0.000 & 0 & 0.686 & 7 & 0.313 & 3 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.933 & 3 & 0.066 & 7 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.022 & 5 & 0.977 & 5 & 0.000 & 0 \\ 0.259 & 0 & 0.741 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 1.000 & 0 \\ 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 0.000 & 0 & 1.000 & 0 \end{bmatrix} = [0.011 4 \quad 0.032 6 \quad 0.074 0 \quad 0.309 1 \quad 0.572 8]。$$

该矩阵的各项数据所表达的物理意义见表 3。

表 3 模糊综合评价

Table 3 Fuzzy comprehensive evaluation value

水质类别	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
综合评价	0.011 4	0.032 6	0.074 0	0.309 1	0.572 8

表 3 显示的是 2017 年 8 月 20 日实测水样水质对各级水质的模糊综合评价, 据此判断, 该水样综合水质属于 V 类水质。应用同样的计算方法, 对一年期间的所有水样监测值进行模糊综合评价, 结果见表 4。

表 4 模糊综合评价结果

Table 4 Fuzzy comprehensive evaluation results

日期	综合评价					评价结果
	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	
2017/08/20	0.011 4	0.032 6	0.074 0	0.309 1	0.572 8	V 类
2017/09/16	0.315 0	0.070 3	0.272 8	0.341 9	0.000 0	IV 类
2017/10/17	0.002 4	0.048 0	0.259 3	0.185 0	0.505 3	V 类
2017/11/21	0.000 0	0.508 2	0.434 5	0.057 3	0.000 0	II 类
2017/12/13	0.320 1	0.087 7	0.187 6	0.000 0	0.427 5	V 类
2018/01/22	0.010 5	0.217 9	0.326 3	0.123 7	0.321 7	III 类
2018/02/08	0.382 3	0.035 1	0.171 5	0.007 2	0.403 9	V 类
2018/03/14	0.271 8	0.052 3	0.278 8	0.003 7	0.393 5	V 类
2018/04/11	0.403 5	0.048 7	0.236 3	0.253 0	0.058 6	I 类
2018/05/16	0.014 0	0.127 9	0.131 0	0.126 7	0.600 3	V 类
2018/06/01	0.157 8	0.026 0	0.074 2	0.227 9	0.514 1	V 类
2018/07/04	0.000 0	0.000 0	0.092 6	0.399 8	0.507 6	V 类

## 2.4 水质分析与评价

结合表 1 的水质监测数据和表 4 的水质评价结果做如下分析:

1) 在为期一年的监测期间, “十里水乡”河道观光水体的 DO 随季节变化波动明显; COD 和  $COD_{Mn}$  基本上稳定, 局部时段受降雨及上游入流量和水质的影响有所波动;  $NH_3-N$  和 TP 呈现出夏季升高而春秋降低的变化特点; 而 TN 总体上呈明显上升的趋势, 该指标对水质的影响也是显著的, 其影响程度可结合水质的模糊综合评价结果进行分析。

2) 表 4 的评价结果表明, 在 2017—2018 年监测期间“十里水乡”河道的水质总体呈下降趋势, 在监测前期有 II 类、III 类、IV 类水质, 而在后期则以 V 类水质为主。

3) 在“十里水乡”河道水质模糊综合评价过程中, TN 对 V 类水质的隶属度和权重均较高, 说明 TN 对水质总体评价的影响相对较大; 且“十里水乡”河道的水质以 V 类水质为主, 主要是 TN 超标导致的, 需要调查水体中含氮污染物的成分和来源, 并采取一定的防范和治理措施, 重点需要控制 TN。

4) 根据水质的模糊综合评价结果, 监测期间“十里水乡”河道的水质等级中, I 类、II 类、III 类、IV 类水质各占 8.3%, V 类水质占 66.8%。总体而言, “十里水乡”河道的水质大部分时期以 V 类水体为主, 参照 GB 3838—2002 《地表水环境质量标准》<sup>[25]</sup>, 只能适用于农业用水区及一般景观要求水域, 难以满足“十里水乡”河道观光旅游水体的总体要求, 因此需要采取相应措施以改善水质, 这一点与课题组采用单因子评价法进行水质评价所得结论一致<sup>[26]</sup>。

5) 与单因子评价法不同的是, 模糊综合评价法的最终评价结果里, I 类、II 类、III 类、IV 类水质各占 8.3%, 即 IV 类及优于 IV 类的水质比例达到 33.2%, 即满足旅游观光水体功能的水质时间段相比较于单因子评价结果大为延长。而单因子评价法评价结果中只有 IV 类水和 V 类水, 而模糊综合评价法的评价结果中出现了 I 类、II 类、III 类水质, 即模糊综合评价法的评价结果明显优于单因子评价结果, 这是由于两种评价方法的原理和侧重点不同而导致的: 单因子评价法根据污染最严重的水质指标确定水质类别而不考虑其他指标的影响, 且各评价指标之间无联系, 不能全面评价水体污染的综合情况, 其评价方法过于保

守;而模糊综合评价法则综合考虑了所有指标对评价结果的影响,并以权重的方式反映各指标对评价结果的影响程度,其水质评价结果更加全面合理。

### 3 结 语

将模糊数学理论应用于水质评价中形成的模糊综合评价法,打破了水质标准间的清晰界限,以所有水质指标的综合评价价值来判断综合水质,能更客观地反映水体水质的实际情况。作为一种典型的平原河网地区的观光水体,“十里水乡”河道水质总体上以V类水为主,这主要是由于TN超标导致的,因此需要采取相应的措施以改善水质,从而更好地实现其旅游观光的价值。

#### 参考文献:

- [1] 唐敏. 城市景观水体污染物迁移转换规律研究:以桃花潭为例[D]. 西安:西安理工大学,2019.
- [2] 周卢茜. 宁波月湖水生态修复与滨水植物景观构建研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2019.
- [3] 尤洋. 水质综合评价法及其应用研究:以潮河为例[D]. 西安:西安理工大学,2007.
- [4] 李超,刘毓,刘红权. 济南市园林景观水体水质调查及富营养化评价[J]. 园林科技,2016(1):6.
- [5] 曹新光,胡红兵,覃晶,等. 城市浅水景观水体水环境质量评价与分析:以黄冈市遗爱湖为例[J]. 科技通报,2017,33(11):256.
- [6] 肖冰,杨银川,陆昕渝,等. 梦清园景观水体生态净化系统模糊综合评价[J]. 华东师范大学学报(自然科学版),2019(4):144.
- [7] 刘博,张展,许增贵,等. 河流水体污染空间分布及污染源解析:以浑河沈阳段为例[J]. 环境保护科学,2020,46(3):56.
- [8] 刘辉,邹继颖,边红枫,等. 吉林市小型景观水体夏季浮游植物群落特征及水质评价[J]. 海洋湖泊通报,2018(4):91.
- [9] 郭红兵,陈荣,王晓昌. 基于感官指数的城市水体景观功能评价[J]. 环境工程学报,2016,10(11):6229.
- [10] 尹敏敏,朱召军,陈涛,等. 住宅小区大型景观水体水质情况调查与评价分析[J]. 上海环境科学,2020,39(1):38.
- [11] 王怡,杨亮亮,李智,等.  $\Delta$ DO单一指标评价景观水体富营养化的研究[J]. 中国给水排水,2018,34(23):64.
- [12] 陈勇民,蒋益. 平原河网地区观光水体水质监测与研究[J]. 大众标准化,2019(16):1.
- [13] LIU L, ZHOU J, AN X, et al. Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in Three Gorges region, China[J]. Expert Systems with Applications,2010,37(3):2517.
- [14] DAHIYA S, SINGH B, GAUR S, et al. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation[J]. Journal of Hazardous Materials,2007,147(3):938.
- [15] 李茜茜. 沁河流域晋城段水质评价及影响因素分析[D]. 太原:山西财经大学,2019.
- [16] WANG W, XU D, CHAU K, et al. Assessment of river water quality based on theory of variable fuzzy sets and fuzzy binary comparison method[J]. Water Resources Management,2014,28(12):4183.
- [17] XU S, WANG T, HU S. Dynamic assessment of water quality based on a variable fuzzy pattern recognition model[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2015,12(2):2230.
- [18] 董杰,李欣,方运海,等. 基于改进模糊综合-指数平滑法的地下水水质评价和预测[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2020,50(1):126.
- [19] 关磊声. 大同口泉沟-云冈沟矿区煤矿采空区水水质评价[D]. 淮南:安徽理工大学,2019.
- [20] LU X W, LI L Y, KAI L, et al. Water quality assessment of Wei River, China using fuzzy synthetic evaluation[J]. Environmental Earth Sciences,2010,60(8):1693.
- [21] 杨静. 改进的模糊综合评价法在水质评价中的应用[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [22] 李杰. 武汉市蔡甸区重点湖泊水质分析与评价研究[D]. 武汉:长江大学,2019.
- [23] 杨日剑. 典型村镇水质评价与预测方法研究及应用[D]. 长沙:湖南大学,2016.
- [24] XIA Y T, GUI H R, ZHAO H H, et al. Temporal variability of hydro-chemical characteristics and water quality assessment of collapse pond in Zhuxianzhuang coal mining area, China[J]. Fresenius Environmental Bulletin,2019,28(1):402.
- [25] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002:3,4.
- [26] 陈勇民. 平原河网地区观光水体水质监测与风险评估[Z]. 杭州:浙江科技学院,2020.