

基于超标倍数法的属性识别模型 在地表水水质评价中的应用

胡起靖

(苏州图书馆, 江苏 苏州 215002)

摘要:采用超标倍数赋权法,建立更加符合实际情况的分类标准评价矩阵,以构建基于超标倍数赋权的属性识别模型,并将其应用于地表水水质的评价中。结果表明,该模型能使评价结果更加符合客观实际。

关键词:属性识别模型;超标倍数法;地表水;水质评价

中图分类号: **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2021)05-0031-06

Application of attribute recognition model based on superstandard multiple method in surface water quality evaluation

HU Qijing

(Suzhou Library, Suzhou 215002, China)

Abstract: The superstandard multiple weighting method was adopted, and the classification standard evaluation matrix more in line with the actual situation was established to construct the attribute recognition model based on the superstandard multiple weighting method, which was used in the evaluation of surface water quality. An example showed that the model could make the evaluation result more consistent with the objective reality.

Key words: attribute recognition model; superstandard multiple method; surface water; water quality evaluation

属性识别理论模型是基于模糊数学综合评判理论发展起来的综合评价方法^[1]。目前已在隧道施工^[2]、矿山开采^[3]、安全生产^[4]、教育研究^[5]等领域的多指标评价中得到了广泛应用。而在多指标评价系统中,指标权重确定的合理性直接影响综合评价结果的准确性和可信度,因此,科学、合理地确定指标权重对评价模型的成功应用十分重要^[6-7]。本研究中的属性识别模型采用超标倍数赋权法,根据各污染因子对水质影响的大小分别赋予不同的权重,既突出主要污染物的作用,又考虑到不同污染物标准值的差异,其评价过程相对科学合理,评价结果相对客观准确^[8]。

此外,在模型实际应用中,往往出现水体污染

物浓度超出水质最差等级浓度限值的情况,以往的研究论文中往往仍把该污染因子属性测度识别为隶属于水质最差等级^[9-10],因此不论水体污染物浓度超过标准限值多少,最终的评价结果都是能达到水质评价标准的质量最差等级。而如果按单项因子评价法对每项污染物因子进行评判,则很可能出现多项评价因子达不到水质最差等级标准。因此,这种评价结果与实际情况并不符合,也并不合理。本研究根据实际情况,结合单项因子评价法的评判思想,在评价标准质量最差等级分组级别之外,增加超出质量最差等级浓度限值的劣V类水质级别,建立更加符合实际情况的分类标准评价矩阵,实现模型的客观科学应用。

收稿日期:2021-01-06

作者简介:胡起靖(1983—),男,工程师,硕士,主要从事环境信息咨询等工作。Email:448769612@qq.com

1 模型基本理论与计算方法

1.1 建立分类标准矩阵

设评价对象空间 X 有 n 个评价对象, 每个评价对象有 m 个评价指标 $\{I_1, I_2, \dots, I_m\}$, 每个评价指标有 k 个评价等级 $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, 对于每个评价指标 I_j 有相应的评价等级分类标准 $\{a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jk}\}$, 则评价对象空间 X 的分类标准矩阵为

$$\begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_k \\ \begin{matrix} I_1 \\ \vdots \\ I_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mk} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

式中, a_{jk} 满足 $a_{j1} < a_{j2} < \dots < a_{jk}$, 或 $a_{j1} > a_{j2} > \dots > a_{jk}$ 。

1.2 确定权重

采用超标倍数法, 根据污染物的污染小、权重则小和污染大、权重则大的原则来确定权重。计算公式为

$$W_j = (c_j/s_j) / \sum_{j=1}^m (c_j/s_j) \quad (2)$$

式中: c_j 为评价因子的监测值; s_j 为评价因子各浓度标准的数学平均值; W_j 为评价因子的归一化权重值。

1.3 确定样本属性测度

计算第 i 个评价对象第 j 个指标值 x_{ij} 属于 c_t 类 ($1 \leq t \leq k$) 的属性测度为 u_{ijt} 。设 $a_{j1} < a_{j2} < \dots < a_{jk}$, 有:

当 $x_{ij} \leq a_{j1}$ 时, 取 $u_{ij1} = 1, u_{ij2} = \dots = u_{ijk} = 0$

当 $x_{ij} \geq a_{jk}$ 时, 取 $u_{ijk} = 1, u_{ij1} = \dots = u_{ijk-1} = 0$

当 $a_{jl} \leq x_{ij} \leq a_{j,l+1}$ 时 ($1 \leq l \leq k-1$), 取 $u_{ijt} =$

$\frac{|x_{ij} - a_{j,l+1}|}{|a_{jl} - a_{j,l+1}|}, u_{ijt+1} = \frac{|x_{ij} - a_{jl}|}{|a_{jl} - a_{j,l+1}|}, u_{ijk} = 0$, 式中, $t < l$, 或 $t > l+1$ 。

1.4 综合属性测度

由单指标属性测度和指标权重可以得到综合属性测度 u_{it} :

$$u_{it} = \sum_{j=1}^m w_{ij} u_{ijt} \quad (3)$$

式中, w_{ij} 为第 i 个评价对象第 j 个评价指标的归一化权重, $1 \leq i \leq n, 1 \leq t \leq k$ 。

1.5 对象的识别与排序

采用置信度识别准则。设置信度 λ ($0.5 \leq \lambda \leq 1$, 一般取 $0.6 \sim 0.7$), 用下式进行计算:

$$t_i = \min \{t: \sum_{i=1}^l u_{it} \geq \lambda, 1 \leq t \leq k\} \quad (4)$$

如果 $t_i \geq \lambda$, 则认为 x_i 属于 c_{t_i} 级别。

按照评价准则进行评分, 对评价对象进行比较分析, 用下式进行计算:

$$q_{xi} = \sum_{i=1}^k n_i u_{it} \quad (5)$$

式中, q_{xi} 为第 i 个评价对象的评价分数, $n_i = k+1-i$, 为 c_i 的分值, 依次取 $k \sim 1$ 之间递减的正整数。

2 模型实例应用及验证

2.1 建立分类标准矩阵

以文献[10]福州内河监测点位水质实测资料年均值为应用对象。数据如表1所示。

以《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)为评价标准, 以 BOD_5 、 DO 、 COD_{Mn} 、 TN 、 TP 、 NH_3-N 为评价指标, 在《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)的5个级别水质标准之外, 增加一组超出水水质最差等级浓度限值的劣V级, 建立水质评价分组标准矩阵。

2.2 各年份评价单指标属性测度

根据1.3, 代入福州内河监测点位污染物监测值和相关污染物标准值, 计算可得到各监测点位相关污染物的单指标属性测度, 结果如表3所示。以监测点位彬德闸的 BOD_5 为例, 其年均浓度值 8.88 mg/L , 介于IV级标准值6和V级标准值10之间, 隶属于其他级别的属性测度为0, 隶属于IV级的属性测度为 $(10 - 8.88) / (10 - 6) = 0.28$, 隶属于一级的属性测度为 $(8.88 - 6) / (10 - 6) = 0.72$ 。

2.3 权重值

根据式(2), 代入表1和表2数据, 可计算得到各监测点位相关污染物标的单指标权重, 结果如表4所示。以监测点位彬德闸为例, 其 BOD_5 的单指标权重计算为0.116, 相应地求得其他污染物单指标权重。

2.4 综合属性测度

根据各监测点位相关污染物标的单指标权重, 结合式(3), 可计算得到各监测点位综合属性测度, 结果如表6所示。以监测点位彬德闸为例, 其一, 二级属性测度的计算结果为0; 三级属性测度的计算结果为0.051。相应地求得其他级别综合属性测度。

设置信度 $\lambda = 0.7$, 由式(4)判断各监测点位水质综合评价级别。以监测点位彬德闸为例: 当 $k = 6$

表 1 福州内河监测点位水质实测资料年均值

单位:mg/L

监测点位	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
彬德闸	8.88	3.02	6.67	4.23	0.353	3.12
三孔闸	9.17	2.17	4.4	4.18	0.314	1.74
九孔闸	8.37	3.57	4.53	4.91	0.323	1.98
港头	8	3.88	6.82	3.91	0.35	2.16

表 2 地表水环境质量评价分组标准

单位:mg/L

等级	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{DO})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$
I	3	7.5	2	0.2	0.01	0.15
II	3	6	4	0.5	0.025	0.5
III	4	5	6	1	0.05	1
IV	6	3	10	1.5	0.1	1.5
V	10	2	15	2	0.2	2
劣 V	>10	2 <	>15	>2	>0.2	>2
标准均值	6	4.25	8.6667	1.2	0.0975	1.1917

表 3 各监测点位水质单指标属性测度

监测点位	指标	级别					
		I	II	III	IV	V	劣 V
彬德闸	BOD ₅	0	0	0	0.28	0.72	0
	DO	0	0	0.01	0.99	0	0
	COD _{Mn}	0	0	0.8325	0.1675	0	0
	TN	0	0	0	0	0	1
	TP	0	0	0	0	0	1
	NH ₃ -N	0	0	0	0	0	1
三孔闸	BOD ₅	0	0	0	0.2075	0.7925	0
	DO	0	0	0	0.17	0.83	0
	COD _{Mn}	0	0.8	0.2	0	0	0
	TN	0	0	0	0	0	1
	TP	0	0	0	0	0	1
	NH ₃ -N	0	0	0	0.52	0.48	0

(续表 3)

监测点位	指标	级别					
		I	II	III	IV	V	劣 V
九孔闸	BOD ₅	0	0	0	0.4075	0.5925	0
	DO	0	0	0.285	0.715	0	0
	COD _{Mn}	0	0.735	0.265	0	0	0
	TN	0	0	0	0	0	1
	TP	0	0	0	0	0	1
	NH ₃ -N	0	0	0	0.04	0.96	0
港头	BOD ₅	0	0	0	0.5	0.5	0
	DO	0	0	0.44	0.56	0	0
	COD _{Mn}	0	0	0.795	0.205	0	0
	TN	0	0	0	0	0	1
	TP	0	0	0	0	0	1
	NH ₃ -N	0	0	0	0	0	1

表 4 各监测点位相关污染物单指标权重

监测点位	BOD ₅	DO	COD _{Mn}	TN	TP	NH ₃ -N
彬德闸	0.116	0.056	0.060	0.277	0.285	0.206
三孔闸	0.143	0.048	0.047	0.325	0.301	0.136
九孔闸	0.118	0.071	0.044	0.346	0.280	0.141
港头	0.114	0.078	0.067	0.279	0.307	0.155

表 5 各监测点位综合属性测度

监测点位	I	II	III	IV	V	劣 V
彬德闸	0.000	0.000	0.051	0.098	0.084	0.767
三孔闸	0.000	0.038	0.009	0.109	0.218	0.626
九孔闸	0.000	0.032	0.032	0.104	0.205	0.626
港头	0.000	0.000	0.088	0.115	0.057	0.741

时, $\lambda > 0.7$ 。因此,判定监测点位彬德闸水质级别为劣 V。同理,求得其他监测点位水质的评级。可知福州内河各监测点位水质综合评价等级均为劣 V。

按式(5)计算各监测点位水质得分,分数越大,说明水质越好。以监测点位彬德闸为例,得分计算为 1.432。同理,可求得其他监测点位水质得分,结果如表 6 所示。

表 6 各监测点位水质评分

监测点位	水质类别	得分	水质排名
彬德闸	劣 V	1.432	4
三孔闸	劣 V	1.615	2
九孔闸	劣 V	1.640	1
港头	劣 V	1.550	3

表 7 各监测点位水质单项指标评价

监测点位	BOD ₅	DO	COD _{Mn}	TN	TP	NH ₃ -N	评价级别
彬德闸	V	Ⅳ	Ⅱ	劣 V	劣 V	劣 V	劣 V
三孔闸	V	V	Ⅱ	劣 V	劣 V	V	劣 V
九孔闸	V	Ⅳ	Ⅱ	劣 V	劣 V	V	劣 V
港头	V	Ⅳ	Ⅱ	劣 V	劣 V	劣 V	劣 V

表 8 水质排名对比

年份	文献[10]属性识别模型		单项指标评价		本研究属性识别模型	
	等级	水质排名	等级	水质排名	等级	水质排名
彬德闸	V 级	4	劣 V	—	劣 V	4
三孔闸	V 级	2	劣 V	—	劣 V	2
九孔闸	V 级	1	劣 V	—	劣 V	1
港头	V 级	3	劣 V	—	劣 V	3

2.5 评价结果验证比较

采用单项指标评价法对福州市内河监测点位水质进行评价,结果如表 7 所示。

由表 7 可知,福州市内河各监测点位水质评价级别均为劣 V 类。为更直观地进行比较分析,将文献[10]与本研究的评价结果进行列表对比分析,结果如表 8 所示。

由表 8 可知,文献[10]属性识别模型评价的监测点位水质评价排名与本研究评价结果完全一致,采用单项指标评价法的水质评价等级结果与本研究评价结果一致,印证了本研究中应用模型评价结果的正确性。福州市内河各监测点位监测数据中,TN 和 TP 的监测值都是超过 V 级标准限值的,文献[10]却仍将各监测点位水质评价等级评定为 V 级,这与实际情况不符,说明文献[10]中的评价结果并

没能科学反映客观实际。

3 结 论

(1)在建立分类标准分组时,结合单项因子评价法的评判思想,在评价标准质量最差等级分组级别之外,增加超出质量最差等级浓度限值的劣 V 类水质级别,建立起来的分类标准评价矩阵更加符合实际情况,经验证切实可行,评价结果更加符合客观实际。

(2)水质评价需要统筹考虑多指标的属性,在水质评价中,不同评价对象、不同评价因子对隶属类别的贡献程度是不同的。采用超标倍数法分别确定不同评价对象中每个评价因子的权重,能够客观地表达各单因素作用的大小,超标愈多,加权愈大。其综合属性测度计算的方式能够区别超过评

价标准界限值的评价因子对综合评价影响的差异,信息利用度高,进行综合属性测度计算后,能够反映评价因子的累积影响和综合污染效应。相对于熵权系数法确定权重,超标倍数赋权法在考虑污染因子的综合作用时,突出高浓度污染因子的作用,评价结果更符合实际,尤其当某项污染指标严重超出标准的情况下,且计算更加简便^[11]。可见,基于超标倍数赋权法的属性识别模型丰富和改进了地表水水质的评价方法。

参考文献:

- [1] 汪凤娣. 环境质量综合评价方法的改进[J]. 中国环境监测, 1999, 18(4):54-55.
- [2] 唐曾智, 田新成, 夏沅谱, 等. 基于属性识别理论的隧道施工超前地质预报可靠性分析[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(4):48-55.
- [3] 刘洋, 叶义成, 刘晓云, 等. 组合赋权-属性区间识别模型法优选采矿方法[J]. 金属矿山, 2017(7):25-30.

- [4] 陈伟, 李金龙, 方俊. 基于属性识别理论的油气管道施工质量风险评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2015(4):95-101.
- [5] 鲜涛, 姚安林, 李熠辰, 等. 基于属性识别法的学科质量评价[J]. 研究生教育研究, 2015(2):56-59.
- [6] 庞彦军, 刘开第, 张博文. 综合评价系统客观性指标权重的确定方法[J]. 系统工程理论与实践, 2001(8):37-42.
- [7] 杨学强, 李文俊, 岳勇. 综合评价指标权重确定方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2015, 29(1):101-105.
- [8] 高明美, 孙涛, 张坤. 基于超标倍数赋权法的济南市大气质量模糊动态评价[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(9):150-154.
- [9] 胡安焱. 博斯腾湖水水质评价的属性识别模型[J]. 水资源保护, 2006, 22(6):25-27.
- [10] 刘海术. 属性识别理论在福州内河水水质评价中的应用[J]. 海峡科学, 2014(6):34-36.
- [11] 阚宝珠, 付强, 宋族鑫. 基于超标倍数赋权法的模糊物元在湿地水质评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(1):97-99.

(上接第 30 页)

程顺利实施后,提高了城区河网水体流动性,改善了水环境,促进了水资源可持续高效利用与水环境生态系统改善。本文提出以“自流活水”为核心的吴江松陵城区水环境综合治理方案可在长三角地区乃至全国的平原河网地区城市进行推广应用,对推动平原河网水环境改善具有一定参考价值。

参考文献:

- [1] 张军, 周琪, 何蓉. 表面流人工湿地中氮磷的去除机理[J]. 生态环境, 2004, 13(1):98-101.
- [2] 段志勇, 刘超祥, 施汉昌, 等. 复合植物床式人工湿地研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 3(8):4-7.
- [3] 唐艳, 胡小贞, 卢少勇. 污染底泥原位覆盖技术综述[J]. 生态学杂志, 2008(7):1125-1128.
- [4] 李锦秀, 杜斌, 孙以三. 水动力条件对富营养化影响

规律探讨[J]. 水利水电技术, 2005, 36(5):15-18.

- [5] 耿震, 华伟, 沈晓铃. 仙蠡墩人工生态活水工程的设计[J]. 中国给水排水, 2007, 23(6):35-37.
- [6] 蔡晔, 顾俊, 刘德启, 等. 平原河网结构改造与水体有机物自净效果的实验研究[J]. 环境工程学报, 2007, 1(5):114-117.
- [7] 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究:概念框架[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3):513-522.
- [8] 梅新敏, 阮晓红, 张兰芳, 等. 调引太湖水改善苏州市水动力条件研究[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(1):60-62.
- [9] XIA J, ZHAI X Y, ZENG S D, et al. Systematic solutions and modeling on eco-water and its allocation applied to urban river restoration: case study in Beijing, China[J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2014, 14(1):39-54.