



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2016.02.003

马军霞. 水质评价的和谐度方程(HDE)评价方法[J]. 2016, 14(2): 11-14, 20.

MA Jun xia. Evaluation method of harmony degree equation(HDE) applied to water quality assessment [J]. 2016, 14(2) : 11-14, 20. (in Chinese)

水质评价的和谐度方程(HDE)评价方法

马军霞

(郑州大学 水利与环境学院 郑州 450001)

摘要: 针对水质评价工作, 借鉴和谐度方程计算思路, 提出和谐度方程(HDE)评价方法, 并应用于水质评价(包括单因子评价和综合评价)中。HDE评价方法既可以代替综合评价方法, 又可以表达单因子评价方法, 即统一了单因子评价方法和综合评价方法。详细介绍了HDE评价方法的具体步骤, 并举例说明其应用过程。研究既拓展了和谐理论方法体系的研究领域, 又促进水质评价方法的统一, 并可为其他综合评价所借鉴。

关键词: 水质评价; 和谐论; 和谐度方程(HDE)评价方法; 综合评价; 单因子评价

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)02-0011-04

Evaluation method of harmony degree equation(HDE) applied to water quality assessment

MA Jun xia

(School of Water Conservancy & Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Water quality assessment is a kind of very ordinary work in the field of water environment, and the evaluation methods generally involve single factor evaluation method and comprehensive evaluation method. However, choosing single factor evaluation method or comprehensive evaluation method to evaluate water quality is something of a dilemma. It is noteworthy that how to combine the single factor evaluation method and the comprehensive evaluation method to assess water quality is still given less concern. In order to achieve the above research, this paper learned from the calculation idea of harmony degree equation to put forward a evaluation method of harmony degree equation (HDE) applied to water quality assessment which included single factor evaluation and comprehensive evaluation. HDE evaluation method could not only replace the comprehensive evaluation method, but also represent the single factor evaluation method: that is, it had successfully combined the single factor evaluation method and the comprehensive evaluation method. In this paper, the concrete steps of HDE evaluation method were expounded in detail and cases study was carried out to explain the application process. The results of this study can expand the application fields of harmony theory, promote the unity of water quality assessment methods and provide references for other comprehensive assessment.

Key words: water quality assessment; harmony theory; evaluation method of harmony degree equation(HDE); comprehensive assessment; single factor evaluation method.

水质评价是根据水体用途选择相应的水质指标和水质标准, 采用一定方法对水体总体质量所做的

评价过程。水质评价采用的方法有很多, 按照选取评价项目的多少, 可以分为单因子评价方法和综合

收稿日期: 2016-02-16 修回日期: 2016-02-22 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1451.018.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51279183); 河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN030)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51279183); Program for Innovative Research Team (in Science and Technology) in University of Henan Province(13IRTSTHN030)

作者简介: 马军霞(1968-), 女, 河北邯郸人, 高级实验师, 主要从事水利工程方面研究。E-mail: majx@zzu.edu.cn

评价方法。单因子评价法是将各水质指标值与评价标准逐项对比,以单项评价最差项目的级别作为最终水质评价级别。综合评价方法是综合考虑多个水质指标值与评价标准的对比关系,得出一个代表水体总体水质状况的综合结果,作为最终水质评价级别。综合评价方法包括模糊综合评价方法、集对分析方法、灰色系统方法、物元分析方法等。每种方法都有很多的应用,也各有千秋,有关这方面的文献也非常多,在此不再一一举例。但是,在水质评价工作中,到底采用单因子评价方法还是综合评价方法,目前没有统一。如何把单因子评价方法和综合评价方法结合起来对水质进行评价,目前还没有新的思路来研究,其中本文提出的基于和谐度方程的评价方法能较好地解决这一问题。

左其亭教授于 2009 年在文献[1]中首次提出和谐度方程(harmony degree equation),从而为构建和谐论量化方法奠定基础;在 2012 年文献[2]中系统介绍了和谐论五要素、和谐度方程,构建了以和谐论量化研究为主要特色的和谐论理论方法体系。其中,和谐度方程是和谐论量化研究的重要基础,后于 2015 年在文献[3]中被英文期刊《The Scientific World Journal》编辑注释称为“Zuo-harmony degree equation”(左氏和谐度方程),简称 Z-HD 方程(Z-HD equation)或 HD 方程。

和谐度方程的表达式为 $HD = ai - bj$ 。其中: HD 为和谐度(harmony degree); a 、 b 分别为统一度(unity degree)、分歧度(difference degree); i 、 j 分别为和谐系数(harmony coefficient)、不和谐系数(disharmony coefficient)。 $a, b, i, j \in [0, 1], a + b \leq 1, HD \in [-1, 1]$ 。

和谐度方程自提出以后,在水文水资源研究中已经有了一些应用成果,比如,基于和谐度方程,定性理解人水关系和谐途径,分析水资源开发利用方略;应用于流域或区域人水关系和谐程度评估;用于定量寻找水资源开发与保护“平衡点”;构建基于和谐度方程的水资源优化配置模型,用于解决水资源分配和调度问题;构建基于和谐目标的水污染物排放量分配模型,用于制定入河污染物排放量分配方案;应用于跨界河流分水等。当然,由于和谐度方程提出时间不长,目前仅仅是初步应用。而根据左其亭教授的分析,和谐度方程可以有更广泛的应用,其中他提出基于和谐度方程的评价方法(HDE 方法)可以应用于综合评价,但具体怎么应用以及计算过程并没有深入研究^[4]。本文在前期研究工作的基础上,基于对和谐度方程的认识和深入分析,以水质评

价为例,提出和谐度方程(HDE)评价方法计算过程,并进行实例应用。

1 和谐度方程(HDE)评价方法主要步骤

综合评价是一项应用十分广泛的方法,在很多领域都有应用。尽管问题各异,具体处理方法很多,但大致思路是一致的,其主要步骤有:(1)根据实际问题选定评价考虑的影响因素,根据影响因素确定评价指标,也就是需要制定评价指标体系,一般包括定量指标和定性指标;(2)根据实际问题和评价工作的需求,确定评价标准,特别需要确定评价等级对应的指标标准。关于指标标准的表述有多种形式,主要依据评价问题的需要,比如,有些是给出每个指标对应等级的阈值(即节点值);(3)如果各个指标对评价结果所起的作用不一样,可以确定各个指标的权重,得到权重向量,用于加权评价计算;(4)根据各个指标数值(定量指标)或评价情况(定性指标),按照一定判断方法或评价计算方法,得到评价计算结果或综合评价结果;(5)对评价结果进行合理性分析,最后确定评价最终结果。

和谐度方程(HDE)评价方法,符合一般综合评价方法的基本思路,主要步骤与一般综合评价方法一致,所不同的是:根据评价指标和标准,按照权重加权计算得到综合和谐度大小,再根据和谐度大小确定其综合评价结果或判断其所属的评价等级。下文将以水质评价为例,详细介绍和谐度方程(HDE)评价方法的主要步骤。

1.1 确定评价指标和标准

评价指标确定是进行综合评价的第一步,也是非常重要的基础工作。针对水质评价来说,评价指标选择已经有很多的研究和非常成熟的指标体系。比如,针对地表水质评价,《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[5]中有比较明确的规定,该标准中确定的评价指标共 109 项,其中地表水质评价指标 24 个,集中式生活饮用水补充指标 5 个、特定指标 80 个。另外,在该标准中列出了每个指标 5 个等级(Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类)的标准限值。这实际上就是明确给出了公认的评价指标的标准阈值。在该标准中 5 个等级从好到差依次为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类。

当然,针对具体的评价问题,选择的指标有所不同,为了描述的通用性,把确定的评价指标和标准值表述见表 1。其中,评价指标为 $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$,共 n 评价指标;对应的 5 类等级标准值见表 1。

表1 n个评价指标及其对应5类等级标准值

Tab.1 n indicators and their five class standard

指标	等级				
	I类	II类	III类	IV类	V类
Z1(≥或≤)	Z1I	Z1II	Z1III	Z1IV	Z1V
Z2(≥或≤)	Z2I	Z2II	Z2III	Z2IV	Z2V
Z3(≥或≤)	Z3I	Z3II	Z3III	Z3IV	Z3V
.....					
Zn(≥或≤)	ZnI	ZnII	ZnIII	ZnIV	ZnV

1.2 确定权重

为了区分重要指标、次要指标在评价中的作用,可以根据不同指标的重要程度或指标数据大小确定不同指标的权重。有关权重的确定方法很多,比如,等权重取值法、专家调查法、层次分析法、变权法等。本文就不再一一介绍,把确定的指标权重向量表示为: $W(w_1, w_2, \dots, w_n)$, 其中 w_1, w_2, \dots, w_n 分别为 n 个指标的权重, $w_k \in [0, 1]$, $\sum_{k=1}^n w_k = 1$ 。

1.3 判断单指标的等级或评价隶属度大小

设评价对象的指标值向量为: $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$, 其中 x_1, x_2, \dots, x_n 分别为某评价对象的 n 个指标值。针对水质评价, X 就是某一个水样。

对照表1的指标标准,判断每个指标 x_k 的等级。属于某一类,就在该类写一个1,比此类低的等级中也写上一个1(其意思就是说,都满足比此类低的类别)。1表示属于该类别的隶属度,即完全属于此类别。比如,指标 x_1 满足 \hat{N} 类,则在 \hat{N} 类、 \hat{O} 类、 \acute{O} 类、 \hat{O} 类、 \tilde{O} 类对应的格中都写上1;如果满足 \hat{O} 类,则在 \hat{O} 类、 \acute{O} 类、 \hat{O} 类、 \tilde{O} 类对应的格中都写上1;如果满足 \acute{O} 类,则在 \acute{O} 类、 \hat{O} 类、 \tilde{O} 类对应的格中都写上1。以此类推,可以把所有指标对应在不同等级的隶属度值写齐,表示为 $A_{kp}(k=1, 2, \dots, n; p=1, 2, \dots, 5)$ 。所有 A_{kp} 值组成一个矩阵,称其为单指标隶属度矩阵。

另外,也可以按照模糊隶属函数来表征属于每个类别的隶属度。比如,某个指标 $x_k=30$, 对应的 \hat{O} 类、 \acute{O} 类、 \hat{O} 类标准值分别为20、30、50,按照上述的判别方法可得, $A_{k2}=0, A_{k3}=1, A_{k4}=1, A_{k5}=1$ 。实际上,因为 $x_k=30$ 非常接近 \hat{O} 类,按照模糊数学的思路,假如属于 \hat{O} 类的隶属度按照线性函数表示,通过计算得到 $A_{k2}=0.5$, 同样的思路计算得到 $A_{k3}=0.9$, 再低类别仍然为1,即 $A_{k4}=1, A_{k5}=1$ 。

1.4 计算属于不同类型的和谐度大小

按照和谐度方程的定义,上一步确定的所有指标对应在不同等级的隶属度值 A_{kp} , 就是隶属于不同等级的统一度值,即各个指标与该类型具有相同目标的比例。再令和谐度方程中 $i=1, j=0$, 则统一度值就是和谐度值 xHD_{kp} 。当然,也可以根据具体问题取不同的 i, j 值,代入到和谐度方程进行计算得到 xHD_{kp} 。所有 xHD_{kp} 值组成一个矩阵,称其为单指标和谐度矩阵。

再根据和谐度方程中多指标和谐度计算方法,采用加权平均计算方法,计算得到评价对象 X 对应于 p 类型的和谐度 HD_p 值,即有下式:

$$HD_p = \sum_{k=1}^n w_k \cdot xHD_{kp} \quad (1)$$

式中: HD_p 为评价对象 X 对应于 p 类型的综合和谐度, xHD_{kp} 为 x_k 指标 p 类型的和谐度值, $HD_p, xHD_{kp} \in [0, 1]$ 。其他符号含义同前。

于是,得到评价对象 X 的和谐度向量为: $HD(HD_1, HD_2, \dots, HD_p)$ 。对于本文所指的水质评价, $p=5$ 。

1.5 判断评价结果及合理性分析

针对水质评价的问题,选择的5个等级 \hat{N} 类、 \hat{O} 类、 \acute{O} 类、 \hat{O} 类、 \tilde{O} 类依次从好到差,且在判断单指标的等级或评价隶属度大小时,认定低于所属类型时都赋予隶属度1值。根据这一约定,则必然有如下关系: $HD_1 \leq HD_2 \leq \dots \leq HD_p$ 。

p 从1到 P 变化,当出现 $HD_p \geq HD_0$ 时,则 p 为判断的评价等级。其中, HD_0 为设定的可接受的最低值, $HD_0 \in [0, 1]$ 。针对单因子评价方法,即按照所有指标最差类型作为评价类型,这时则令 $HD_0=1$ 即可。因此,单因子评价方法就成为该方法的一种特例。

2 实例应用

2.1 评价实例基本情况

以某一个区域的地表水质评价为例,按照《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)和该区域水质指标情况,共选择了10个水质指标,见表2。所选择的3个水样,见表3。

2.2 计算结果及分析

分别对3个水样的10个指标所处的等级进行判断,得到单指标和谐度矩阵,分别见表4、表5、表6。

采用公式(1),按照等权重加权计算,得到每个水样 X 对应于 p 类型的和谐度 HD_p 值,即和谐度向

表 2 选择的地表水水质评价指标及标准值

Tab. 2 Evaluation indicators and their standard values for surface water quality

序号	指标	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅵ类	Ⅶ类
1	溶解氧(DO) ≥	7.5	6	5	3	2
2	高锰酸盐指数(COD _{Mn}) ≤	2	4	6	10	15
3	五日生化需氧量(BOD ₅) ≤	3	3	4	6	10
4	氨氮(NH ₃ -N) ≤	0.015	0.5	1.0	1.5	2.0
5	砷(As) ≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
6	汞(Hg) ≤	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
7	镉(Cd) ≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
8	挥发酚 ≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
9	石油类 ≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
10	硫化物 ≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0

表 3 监测水样的水质指标实测值

Tab. 3 Measured values of water quality indicators for water samples

水质指标	DO	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	As	Hg	Cd	挥发酚	石油类	硫化物
水样 1	6	6	4	0.8	0.05	0.0001	0.005	0.002	0.05	0.15
水样 2	7	8	6	1.0	0.07	0.001	0.005	0.005	0.05	0.20
水样 3	8	9	10	0.8	0.05	0.001	0.005	0.01	0.04	0.15

表 4 水样 1 的单指标和谐度矩阵

Tab. 4 Harmony degree matrix of single index for water sample 1

序号	指标	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅵ类	Ⅶ类
1	溶解氧(DO)	1	1	1	1	1
2	高锰酸盐指数(COD _{Mn})		1	1	1	
3	五日生化需氧量(BOD ₅)		1	1	1	
4	氨氮(NH ₃ -N)		1	1	1	
5	砷(As)	1	1	1	1	1
6	汞(Hg)		1	1	1	
7	镉(Cd)		1	1	1	1
8	挥发酚	1	1	1	1	1
9	石油类	1	1	1	1	1
10	硫化物		1	1	1	

表 6 水样 3 的单指标和谐度矩阵

Tab. 6 Harmony degree matrix of single index for water sample 3

序号	指标	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅵ类	Ⅶ类
1	溶解氧(DO)	1	1	1	1	1
2	高锰酸盐指数(COD _{Mn})				1	1
3	五日生化需氧量(BOD ₅)					1
4	氨氮(NH ₃ -N)				1	1
5	砷(As)	1	1	1	1	1
6	汞(Hg)				1	1
7	镉(Cd)		1	1	1	1
8	挥发酚				1	1
9	石油类	1	1	1	1	1
10	硫化物				1	1

表 5 水样 2 的单指标和谐度矩阵

Tab. 5 Harmony degree matrix of single index for water sample 2

序号	指标	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅵ类	Ⅶ类
1	溶解氧(DO)	1	1	1	1	
2	高锰酸盐指数(COD _{Mn})				1	1
3	五日生化需氧量(BOD ₅)				1	1
4	氨氮(NH ₃ -N)				1	1
5	砷(As)				1	1
6	汞(Hg)				1	1
7	镉(Cd)	1	1	1	1	
8	挥发酚		1	1	1	
9	石油类	1	1	1	1	1
10	硫化物				1	1

量, 见表 7。可以看出, $HD_1 \leq HD_2 \leq \dots \leq HD_5$, 符合 1.5 节的约定关系。如果按照 $HD_0 = 1$ 判断, 水样 1 为 Ⅴ类, 水样 2 为 Ⅵ类, 水样 3 为 Ⅶ类, 这一结果与单因子评价方法结果一致; 如果选择 $HD_0 = 0.9$ 判断, 水样 3 为 Ⅵ类, 比单因子评价方法的判断结果更宽松、更综合。

表 7 计算的和谐度向量值 HD_p

Tab. 7 Calculation results of vector value of harmony degree HD_p

水质指标	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	Ⅵ类	Ⅶ类
水样 1	0.30	0.50	1.00	1.00	1.00
水样 2	0.10	0.30	0.60	1.00	1.00
水样 3	0.30	0.40	0.60	0.90	1.00

(下转第 20 页)

- duction of runoff from cultivated land with intercropping system of different ratio of vegetables to maize[J]. Journal of Agronomy Environment Science, 2013, 32(2): 378-384. (in Chinese)
- [16] 陈颖, 赵磊, 杨勇, 等. 海河流域水稻田氮磷地表径流流失特征初探[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2): 328-333. (CHEN Ying, ZHAO Lei, YANG Yong, et al. Preliminary study on characteristics of nitrogen and phosphorus runoff losses from rice fields in Hai river basin, China[J]. Journal of Agronomy Environment Science, 2011, 30(2): 328-333. (in Chinese))
- [17] 席运官, 陈瑞冰, 李国平, 等. 太湖流域坡地茶园径流流失规律[J]. 生态与农村环境学报, 2010(04): 381-385. (XI Yunguan, CHEN Ruibing, LI Guoping, et al. Surface runoff in tea gardens on slope land in Taihu lake region[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010(04): 381-385. (in Chinese))
- [18] 李承力, 杨特武, 徐君驰, 等. 丹江口库区坡耕地不同轮作模式作物生产力及农田养分流失比较[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 83-87. (LI Chengli, YANG Tiewu, LI Guoping, et al. Crop productivity and comparison of farmland nutrient loss in different crop patterns on slope land in Danjiangkou reservoir area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(4): 83-87. (in Chinese))
- [19] 朱丹丹. 大庆地区农业非点源污染负荷研究与综合评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007. (ZHU Dandan. The load study and synthesized evaluation on agricultural nonpoint source pollution in Daqing area[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007. (in Chinese))
- [20] 李怀恩, 庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用[J]. 西安理工大学学报, 2003(04): 307-312. (LI Huai'en, ZHUANG Yongtao. The export coefficient modeling approach for load prediction of nutrient from nonpoint source and its application[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2003(04): 307-312. (in Chinese))

(上接第 14 页)

可以看出,与一般综合评价方法相比,HDE 评价方法有如下两个显著优势:

(1) HDE 评价方法完全符合一般综合评价方法的思路,同时又涵盖单因子评价方法,是集单因子评价方法、综合评价方法于一体的一种新方法。

(2) 该方法考虑到评价指标、标准的模糊性和权重不同的特性,同时又可以选择不判断标准来判别评价结果,体现出该方法判断评价结果的灵活性和多指标的综合性。

3 结语

本文在深入分析和谐度方程的基础上,根据综合评价的一般思路,结合水质评价具体问题和实例,详细介绍了和谐度方程(HDE)评价方法的步骤和具体应用。本文提出的 HDE 评价方法与一般综合评价方法相比具有独特的优势,可为一般水体的水质评价所参考,该方法还可以广泛应用于多种水文水资源综合评价中,比如湖泊水体富营养化评价、水安全评价、水资源承载力综合评价、水资源开发利用程度评价、水资源可再生能力评价、生态环境脆弱性评价等。

本文仅仅是提出和谐度方程的一个扩展应用,可能还有其他应用,期待着更多的成果问世。同时,期待对这一评价方法更多的检验和讨论。

参考文献(References):

- [1] 左其亭. 和谐论的数学描述方法及应用[J]. 南水北调与水利科技, 2009, 7(4): 129-133. (ZUO Qiting. Mathematical description method and its application of harmony theory[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2009, 7(4): 129-133. (in Chinese)).
- [2] 左其亭著. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012. (ZUO Qiting. Harmony theory: Theory, Method and Application[M]. Beijing: China Science Press, 2012. (in Chinese))
- [3] Qiting Zuo, Runfang Jin, Junxia Ma, et al. Description and Application of a Mathematical Method for the Analysis of Harmony[J]. The Scientific World Journal. 2015, (6), 1-9.
- [4] 左其亭. 和谐度方程在水文水资源领域应用展望[J]. 水资源研究, 2016, 5(2): F7. (ZUO Qiting. Application Prospect of Harmony Degree Equation in the Field of Hydrology and Water Resource[J]. Journal of Water Resources Research, 2016, 5(2): F7. (in Chinese))
- [5] GB 3838 2002, 地表水环境质量标准[S]. 北京: 国家技术监督局, 2002. (GB 3838 2002, Environmental quality standards for surface water[S]. Beijing: State Bureau of Technical Supervision, 2002. (in Chinese))