

我国河流单因子水质标识指数评价方法研究

徐祖信^{1, 2}

(1. 同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092;

2. 上海市环境保护局 上海 200003)

摘要: 提出一个全新的河流单因子水质评价指数——单因子水质标识指数. 单因子水质标识指数可以完整标识水质评价指标的类别、水质数据、功能区目标值等重要信息, 既能按国家标准类别定性评价, 又能根据标识指数进行水质数据的分析; 既可以比较分析同一类水质指标在同一级别中的差异, 也可以在不同类别水质指标中比较分析水质的污染程度.

关键词: 河流; 单因子; 水质评价; 水质标识指数

中图分类号: X 824

文献标识码: A

文章编号: 0253-374X(2005)03-0321-05

Single Factor Water Quality Identification Index for Environmental Quality Assessment of Surface Water

XU Zu-xin^{1, 2}

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Shanghai Environmental Protection Bureau, Shanghai 200003, China)

Abstract: The single factor water quality identification index, which is a new tool for single water quality factor assessment of surface water, is presented. The characteristics of single factor water quality identification index are: Firstly, it can completely identify the important information including water quality classification of assessed factors, water quality monitoring data, planned water quality classification of water environment function area; secondly, it can evaluate the selected factors qualitatively by national water quality standards, and water quality monitoring data; thirdly, it can be used to compare water quality of the same assessed factors in the same classification and water quality of different assessed factors.

Key words: river; water quality factor; water quality assessment; water quality identification index

水质评价是环境治理与监控中的一项基础工作, 通过水质监测, 对水质做出合理评价, 才能制定有针对性的水环境治理规划和方案, 可以说水质评价的合理性将直接影响水环境整治的决策.

水质评价分为单因子评价和综合评价. 单因子水质评价有两种典型方法^[1, 2]: 一是根据国家《地表水环境质量标准 (GB3838—2002)》, 将实测值与国家标准值进行比较, 做出水质类别的评价; 二是采用

收稿日期: 2004-10-30

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展规划资助项目 (2003AA601020)

作者简介: 徐祖信 (1956—), 女, 江西萍乡人, 教授, 工学博士. E-mail: xuzx@sep.gov.cn

单项污染指数法进行评价,将水质质量浓度值量纲一化处理,做出同一类水质污染程度的评价。

上述两种典型方法都存在一定的不足之处,按照国家标准进行评价,不能在同一类别中进行水质的优劣评价;按照单项污染指数法进行评价,不能说明水质的类别。一个科学、合理的单因子污染评价方法应能将这两个方法的优点结合起来,既能对水质类别进行评价,又能在同一类水的水质指标中进行定量比较。因此,笔者提出了一种全新的河流单因子水质评价指数——单因子水质标识指数,在此基础上开发了河流总体水质评价的综合水质标识指数,以下介绍单因子水质标识指数的计算方法和在上海黄浦江水质评价中的应用。

1 单因子水质标识指数的组成

单因子水质指数 P 由一位整数、小数点后二位或三位有效数字组成,表示为

$$P_i = X_1.X_2X_3 \quad (1)$$

式中: X_1 代表第 i 项水质指标的水质类别; X_2 代表监测数据在 X_1 类水质变化区间中所处的位置,如图 1 所示,根据公式按四舍五入的原则计算确定; X_3 代表水质类别与功能区划设定类别的比较结果,视评价指标的污染程度, X_3 为一位或两位有效数字。

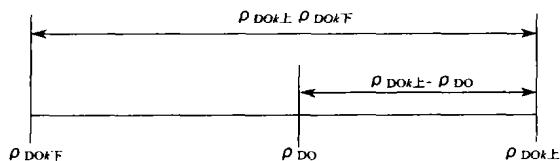


图 1 X_2 符号意义示意图

Fig. 1 Explanation of X_2 in the single factor water quality identification index

2 水质好于 V 类水上限值时, X_1 和 X_2 的确定

2.1 X_1 的确定

当水质介于 I 类水和 V 类水之间时,可以根据水质监测数据与国家标准的比较确定 X_1 ,其意义为: $X_1=1$,表示该指标为 I 类水; $X_1=2$,表示该指标为 II 类水; $X_1=3$,表示该指标为 III 类水; $X_1=4$,表示该指标为 IV 类水; $X_1=5$,表示该指标为 V 类水。

2.2 X_2 的确定

在地表水环境质量标准(GB3838—2002)中,溶解氧质量浓度随水质类别数的增大而减少,除水温和 pH 外的其余 21 项指标值随水质类别数的增大而增加,因此水质标识指数 P_i 按溶解氧指标和非溶解氧指标分别计算。

2.2.1 非溶解氧指标(21 项)

非溶解氧指标 X_2 可根据式(2)并按四舍五入的原则取一位整数确定,式中各符号如图 2 所示。

$$X_2 = \frac{\rho_i - \rho_{ik下}}{\rho_{ik上} - \rho_{ik下}} \times 10 \quad (2)$$

其中: ρ_i 为第 i 项指标的实测质量浓度, $\rho_{ik下} \leq \rho_i \leq \rho_{ik上}$; $\rho_{ik下}$ 为第 i 项水质指标第 k 类水区间质量浓度的下限值, $k = X_1$; $\rho_{ik上}$ 为第 i 项水质指标第 k 类水区间质量浓度的上限值, $k = X_1$ 。

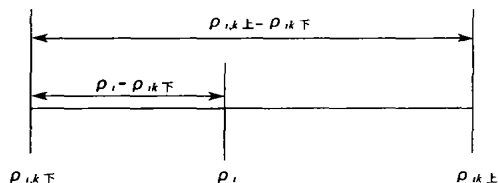


图 2 公式(2)中的符号意义示意图

Fig. 2 Explanation of the symbols in Equation 2

2.2.2 溶解氧

由于溶解氧质量浓度随水质类别数的增加而减小,因此,其计算分析与非溶解氧指标不同。溶解氧指标的 X_2 可根据式(3)并按四舍五入的原则取一位整数确定,式中各符号的意义见图 3。

$$X_2 = \frac{\rho_{DOk上} - \rho_{DO}}{\rho_{DOk上} - \rho_{DOk下}} \times 10 \quad (3)$$

式中: ρ_{DO} 为溶解氧的实测质量浓度; $\rho_{DOk上}$ 为第 k 类水中溶解氧质量浓度高的区间边界值, $k = X_1$; $\rho_{DOk下}$ 为第 k 类水中溶解氧质量浓度低的区间边界值, $k = X_1$ 。

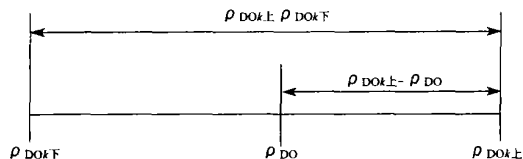


图 3 公式(3)中的符号意义示意图

Fig. 3 Explanation of the symbols in Equation 3

3 水质劣于或等于 V 类水上限值时, X_1 、 X_2 的确定

3.1 非溶解氧指标 (21 项)

非溶解氧指标的 X_1 、 X_2 可根据式 (4) 按四舍五入的原则取小数点后一位确定, 式中各符号如图 4 所示.

$$X_1, X_2 = 6 + \frac{\rho_i - \rho_{i5上}}{\rho_{i5上}} \tag{4}$$

式中: $\rho_{i5上}$ 为第 i 项指标 V 类水质质量浓度上限值.

从式中可以看出, 当水质质量浓度正好等于 V 类水上限值时, X_1 、 X_2 的数值为 6.0.

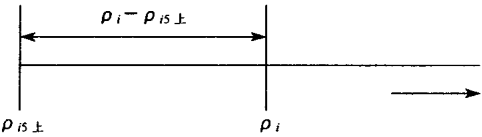


图 4 公式 (4) 中的符号意义示意图

Fig. 4 Explanation of the symbols in Equation 4

3.2 溶解氧

当溶解氧实测值小于或等于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 溶解氧单项指标劣于或等于 V 类水. 其 X_1 、 X_2 可用式 (5) 按四舍五入的原则取小数点后一位确定, 式中各符号意义如图 5 所示.

$$X_1, X_2 = 6 + \frac{\rho_{\text{DO}, 5下} - \rho_{\text{DO}}}{\rho_{\text{DO}, 5下}} m \tag{5}$$

式中: ρ_{DO} 为溶解氧实测质量浓度; $\rho_{\text{DO}, 5下}$ 为溶解氧 V 类水质质量浓度下限值, $\rho_{\text{DO}, 5下} = 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; m 为计算公式修正系数, 研究中取 $m = 4$.

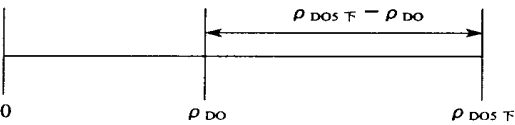


图 5 公式 (5) 中的符号示意图

Fig. 5 Explanation of the symbols in Equation 5

当水质很差时, 会存在溶解氧检测不出的现象, 此时, 可以认为溶解氧为零. 如果在式 (5) 中不引入修正系数 m , 会出现 X_1 、 $X_2 = 6.0$ 的情况, 这是溶解氧等于 V 类水质质量浓度下限值时对应的水质标识指数, 与实际情况不符. 为了解决这个问题, 采取修正系数 m , 解决了溶解氧低于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时标识指数的计算问题. 经过试算, 取 $m = 4$ 可以使溶解氧的标识指数与其他非溶解氧指标劣于 V 类水时的标识指数值大致相对应.

4 X_3 的确定

小数点后第二位 X_3 要通过判断得出, 其主要意义是判别该单项水质类别是否劣于水环境功能区类别. 如果水质类别好于或达到功能区类别, 则有

$$X_3 = 0 \tag{6}$$

如果水质类别差于功能区类别且 X_2 不为零, 则有

$$X_3 = X_1 - f_i \tag{7}$$

如果水质类别差于功能区类别且 X_2 为零, 则有

$$X_3 = X_1 - f_{i-1} \tag{8}$$

式中: f_i 为水环境功能区类别.

由此可见, 如果 $X_3 = 1$, 说明水质类别劣于功能区 1 个类别, 如果 $X_3 = 2$, 说明水质劣于功能区 2 个类别, 依此类推. 需要说明的是: 对劣 V 类水的情况, 如果水质指标污染特别严重, 水质数别与水环境功能区目标的差值可能大于 10, 如相应 X_3 由两位有效数字组成.

5 计算流程

单因子水质标识指数计算流程如图 6 所示.

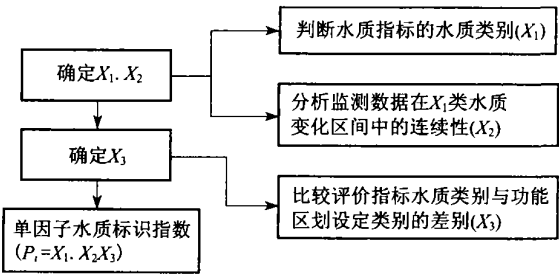


图 6 单因子水质标识指数计算流程

Fig. 6 Flow chart of forming the single factor water quality identification index

6 X_1 、 X_2 的意义

综上所述, X_1 、 X_2 代表了单项水质指标的类别和污染程度, 其意义如下所示:

$1.0 \leq X_1, X_2 \leq 2.0$, I 类水;

$2.0 < X_1, X_2 \leq 3.0$, II 类水;

$3.0 < X_1, X_2 \leq 4.0$, III 类水;

$4.0 < X_1, X_2 \leq 5.0$, IV 类水;

$5.0 < X_1, X_2 \leq 6.0$, V 类水;

$X_1, X_2 > 6.0$ 劣 V 类水, 数据越大, 水质越差.

在溶解氧的计算中引进了修正指数 $m = 4$, 据此可知当溶解氧劣于 V 类水时, 其水质标识指数 P_i 介于 6~10 之间.

$$1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \leq \rho_{\text{DO}} < 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1},$$
$$X_1, X_2 = 6 \sim 7;$$

$$1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \leq \rho_{\text{DO}} < 1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1},$$
$$X_1, X_2 = 7 \sim 8;$$

$$0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \leq \rho_{\text{DO}} < 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1},$$
$$X_1, X_2 = 8 \sim 9;$$

$$0 \leq \rho_{\text{DO}} < 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}, \quad X_1, X_2 = 9 \sim 10.$$

7 水质标识指数的解释

根据以上计算公式, 可以计算出单项水质指标的标识指数 $P_i = X_1 \cdot X_2 X_3$. 根据 P_i 的数值可以确定水质类别、水质数据、水环境功能区类别, 可以比较水质的污染程度, P_i 越大, 水质越差, 污染越严重, 如果 P_i 大于 6.0, 水质劣于 V 类水. 单因子水质标识指数可能出现如下几种形式:

(1) I ~ V 类水: 以 COD_{Mn} 为例, 设其水质标识指数为 $P_i = 4.81$, 其意义见图 7.

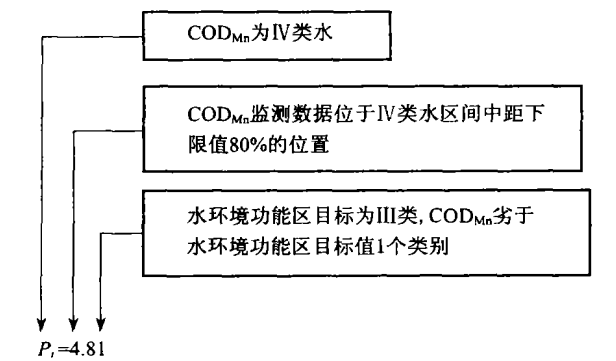


图 7 I ~ V 类水时单因子水质标识指数解释

Fig. 7 Explanation of the single factor water quality identification index signifying surface water of Class I ~ V

根据 $P_i = 4.81$, 可以知道 COD_{Mn} 为 IV 类水, 相应的水环境功能区类别应是 III 类水, 其监测数据可以根据公式(2)进行推算:

$$4 + \frac{\text{COD}_{\text{Mn}} - 20}{30 - 20} = 4.8$$
$$\text{COD}_{\text{Mn}} = 28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) 劣 V 类水: 以 COD_{Mn} 为例, 设其水质标识指

数为 $P_i = 8.73$, 其意义见图 8.

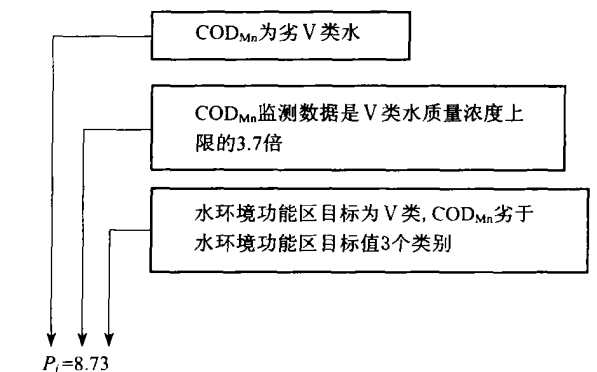


图 8 劣 V 类水时单因子水质标识指数解释

Fig. 8 Explanation of the single factor water quality identification index signifying surface water worse than Class V

根据 $P_i = 8.73$, 可以知道 COD_{Mn} 劣于 V 类水, 相应的水环境功能区类别为

$$f_i = X_1 - X_3 = 8 - 3 = 5$$

即功能区划应为 V 类水, 其监测数据可根据公式(4)进行推算:

$$6 + \frac{\text{COD}_{\text{Mn}} - 40}{40} = 8.7$$
$$\text{COD}_{\text{Mn}} = 148 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

8 单因子水质标识指数法的应用

为了说明笔者提出的单因子水质标识指数法在水质评价中的作用, 选择 2003 年上海市黄浦江典型断面水质监测数据的年平均值进行评价, 监测数据详见表 1, 应用以上所述公式计算得到的各断面水质标识指数详见表 2.

表 1 2003 年上海市黄浦江典型断面的监测数据年均值

Tab. 1 Annually averaged monitoring data of the typical Huangpu River stations in 2003 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

监测断面	水环境功能区目标	ρ_{DO}	COD_{Mn}	BOD_5	$\rho_{\text{NH}_3\text{-N}}$	ρ_{TP}
淀峰	II	8.38	4.98	2.79	1.10	0.193
松浦大桥	III	5.04	4.43	2.15	1.10	0.221
临江	III	5.69	4.52	2.48	1.05	0.277
南市水厂	IV	4.89	5.01	4.46	1.80	0.170
杨浦大桥	IV	3.46	6.10	6.59	2.34	0.270

表 2 单因子水质标识指数法对单项指标水质的评价结果
Tab. 2 Assessment of the water quality items based on the single factor water quality identification index

监测断面	水环境功能区目标	mg·L ⁻¹				
		ρ_{DO}	COD _{Mn}	BOD ₅	ρ_{NH_3-N}	ρ_{TP}
淀峰	II	1.40	3.51	1.90	4.22	3.91
松浦大桥	III	4.01	3.20	1.70	4.21	4.21
临江	III	3.30	3.30	1.80	4.11	4.81
南市水厂	IV	4.10	3.50	4.30	5.61	3.70
杨浦大桥	IV	4.80	4.00	5.11	6.22	4.70

从表 1 中可以知道各断面的实际监测数据.但是一般来讲,从事水环境管理和整治的工程师更关心黄浦江各断面的水质类别和是否达到水环境功能区标准.这些信息从表 1 中无法得到,但是从表 2 中可以直接读取.对于专业人士,还可以从表 2 中推算出表 1 中各断面水质监测数据,这就是用水质标识指数进行水质评价的优势.根据表 2 所列数据,还可以知道氨氮和总磷的污染最为严重,其次为化学需氧量和溶解氧,相对前 4 项指标,5 d 生化需氧量污染最轻,达到水环境功能区的要求.对不同类别的水质指标进行比较,也是其他单因子水质评价无法比拟的优点.

9 结论

(1) 本研究开发了一种新的河流水质单因子评

价方法——单因子水质标识指数法.单因子水质标识指数可以完整刻画评价指标的水质类别、水质数据、与水环境功能区类别的比较情况.

(2) 与目前根据国家标准按类别评价方法和单项污染指数法相比,其优点是既能直观表达水质类别,又能直接反映达标情况;既能做定性评价,又能进行定量评估;既可以比较水质类别,也可以在同一类别中比较水质好坏;既可以在国家标准规定的五类水中进行比较,也可以在水质劣 V 类的情况下比较污染的严重程度.

(3) 单因子水质标识指数法具有其他方法无法比拟的优势,结合了以往方法的优点,改进了不足之处,是较为理想的单因子水质评价方法.其推广应用有利于进一步优化水环境管理和推进水环境污染的治理工作.

参考文献:

[1] 蒋火华,朱建平,梁德华,等.综合污染指数评价与水质类别判定的关系[J].中国环境监测,1999,15(6):46—48.
JIANG Huo-hua, ZHU Jian-ping, LIANG De-hua, et al. The relationship between comprehensive pollution index assessment and water quality type distinguishing[J]. Environmental Monitoring in China, 1999, 15(6): 46—48.
[2] 郭劲松,王红,龙腾锐.水资源水质评价方法分析与进展[J].重庆环境科学,1999,21(6):1—3.
GUO Jin-song, WANG Hong, LONG Teng-rui. Analysis and development of water quality evaluation method[J]. Chongqing Environmental Science, 1999, 21(6): 1—3.

°下期文章摘要预报°

高性能沥青路面混合料初始沥青用量的预估

陈兴伟,许志鸿

对美国高性能沥青路面(Superpave)混合料体积设计规范中初始沥青用量的预估方法进行分析后发现:其在我国工程实践中计算得到混合料初始沥青用量与试验得到的最佳沥青用量仍有一定误差.通过对 Superpave 不同最大公称粒径级配 Sup-25, Sup-19, Sup-16 和 Sup-12.5 试验数据的分析,对规范预估公式中的系数提出了修正,并从矿料间隙率(VMA)的定义出发,考虑不同最大公称粒径对 VMA 的不同要求,提出了一种新的 Superpave 混合料初始沥青用量的预估方法和公式.