

海水溶解氧标准指数计算新方法

王保栋^{1,2}, 孙霞¹, 谢琳萍¹, 辛明¹

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266071)

摘要:溶解氧是海水水质评价的一个重要参数。但是,我国现行的溶解氧单因子标准指数计算方法,存在方法原理及科学依据不甚明确、评价结果有时不合理等问题,不能准确地反映海水水质状况。一般污染物的标准指数与其质量浓度呈正比关系,而溶解氧的标准指数与溶解氧质量浓度呈反比关系。基于这一反比关系及其他相关的科学研究事实,提出了溶解氧标准指数计算的新方法,该方法克服现行溶解氧单因子标准指数计算方法的缺点,并具有方法原理明确、逻辑推导清晰、评价结果合理且具有可比性、使用简便等优点,适用于海水溶解氧标准指数计算和水质评价,亦可应用于淡水体系。

关键词:溶解氧;标准指数;水质评价

中图分类号:P734

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2018)03-0460-05

doi:10.3969/j.issn.1671-6647.2018.03.012

海水中的溶解氧是海洋生命活动不可缺少的物质,因此海水中溶解氧质量浓度是衡量海水水质的一个重要参数。在海水水质评价中,溶解氧作为一个非常重要的指标参数,其水质状况的评价与其他污染因子刚好相反:溶解氧所表征的水质状况不是随着水体中溶解氧质量浓度的增高而变差,反而是溶解氧质量浓度越高水质越好、溶解氧质量浓度越低则水质越差。因此在单因子指数的计算方法中,溶解氧是作为特殊水质因子列出的。

目前,海水水质评价中一般采用单因子指数法对溶解氧状况进行评价^[1]。但是,现行的海水溶解氧标准指数计算方法,无论是在方法的原理还是实际应用过程中均存在若干问题^[2-4],不能准确反映海水水质的实际状况。因此,有必要对现行的海水溶解氧标准指数计算方法进行改进或构建新方法,以期能够更科学、合理地评价海水水质的实际状况。

1 现行溶解氧标准指数计算方法存在的问题

1.1 方法 1

目前常用的海水溶解氧标准指数计算方法可称之为折线法(图 1),其单因子指数计算公式为^[1]

$$S_{DO,i} = \begin{cases} |DO_f - DO_i| / (DO_f - DO_s) & DO_i \geq DO_s \\ 10 - 9DO_i / DO_s & DO_i < DO_s \end{cases} \quad (1)$$

式中, $S_{DO,i}$ 为第*i*站溶解氧的标准指数; DO_i 为第*i*站溶解氧的实测值(mg/L); DO_f 为与第*i*站溶解氧样品相同温度、盐度条件下溶解氧的饱和含量(mg/L); DO_s 为溶解氧的评价标准值(mg/L)。

当 $S_{DO,i} \leq 1$ 时,表示海水中溶解氧质量浓度符合海水水质标准的要求,数值越小,水质越好;当 $S_{DO,i} > 1$

收稿日期:2017-08-04

资助项目:国家自然科学基金委员会-山东省人民政府海洋科学研究中心联合资助项目——海洋生态与环境科学(U1606404)

作者简介:王保栋(1964-),男,山东高密人,研究员,博士,主要从事海洋生源要素循环及其生态环境效应方面研究。E-mail: wangbd@fio.org.cn

(王佳实 编辑)

时,表示海水中溶解氧质量浓度低于相应的水质标准值,表明水体受到了污染,数值越大,水质越差。但是,该计算方法存在以下问题:

1)方法原理及物理意义不太明确。该方法的计算公式分为2部分,分别计算 $DO_i \geq DO_s$ 和 $DO_i < DO_s$ 情况下的标准指数值。其中,当 $DO_i < DO_s$ 时,计算公式中的常数10和9是人为设定的,是一个纯经验公式;当 $DO_i \geq DO_s$ 时,方法原理或物理意义似可做如下理解^[5]:在通气良好的清洁海水中溶解氧一般处于饱和状态,而海水中的有机物和还原性物质会消耗海水中的溶解氧,当耗氧速率大于补充速率时,海水中溶解氧质量浓度将会降低。因此,溶解氧的实测值(DO_i)与饱和值(DO_f)之间的差值,被认为是耗氧物质造成的,表征的是海水中耗氧物质的大小;而溶解氧饱和值(DO_f)与水质标准值(DO_s)之间的差值,可以理解为在保持溶解氧质量浓度符合水质标准的前提下,水体中耗氧物质的最大容许量。因此,计算得到的标准指数值似可理解为海水中耗氧物质的实际含量与最大容许量之比。但是,这便带来两个问题:一是现行水质评价指标中已有更准确的参数(即化学耗氧量,COD)来表征海水中耗氧物质的量,而水质评价的原则是不能对同一物质的量或性质进行重复评价;二是表层海水中溶解氧常处于过饱和状态,因而溶解氧饱和值与水质标准值之间的差值并非水体中耗氧物质的最大容许量。由此看来,该方法的原理及物理意义似不甚明确。

2)评价结果有时不够合理。当水体溶解氧处于一定程度的过饱和状态时,式(1)计算的指数值大于1(图1),即水质超标,水体受到污染。这种评价结果是不合理的,因为在实际海域中溶解氧过饱和现象是十分常见的。在风浪较大时、海水增温季节及浮游植物生长旺盛期,海水中溶解氧常处于过饱和状态。例如,冬末春初增温季节,随着水温的升高,海水中溶解氧的溶解度减小,溶解氧自海水逸出至大气中,但这一过程往往滞后于海水增温过程,由此便形成海水溶解氧呈过饱和状态;同理,在浮游植物生长旺盛期,浮游植物光合作用产生大量氧气,当浮游植物释放氧气的速率大于溶解氧自海水中逸出速率时,海水溶解氧即呈过饱和状态,这种情况即使是在未发生富营养化的海水中也十分常见。因此,溶解氧呈过饱和状态的海水不应被视为遭受污染。当然,在富营养化海域浮游植物异常增殖时,会在表层出现溶解氧高度过饱和现象,但即便是在这种情况下也不应认为表层溶解氧超标,至于死亡下沉的浮游植物可能引起下底层海水溶解氧质量浓度的降低,则应根据下底层海水中溶解氧的实测值来评价。

3)该方法中溶解氧标准指数的最大值(即溶解氧质量浓度为0时)限定为10,而其他污染物(如重金属、石油类等)的标准指数值可能达到几十、甚至几百。这样,便可能存在溶解氧标准指数所指示的污染程度与其他污染物的污染程度之间不匹配、不可比的问题。

1.2 方法2

高鸿飞^[5]提出这一方法是基于如下原理:一般污染物的标准指数是实测值与水质标准值之比,污染物含量越高则标准指数越大,污染物的标准指数值与其含量呈正比关系;溶解氧的情况则刚好相反,溶解氧质量浓度越高,则水质越好,溶解氧的标准指数应与溶解氧质量浓度呈反比关系。于是,便有

$$S_{DO,i} = DO_s / DO_i, \quad (2)$$

对于某一确定的水质标准中溶解氧标准值 DO_s ,实测值 DO_i 越大,则标准指数 $S_{DO,i}$ 值越小,表示水质越好,反之亦然。

式(2)与其他污染物标准指数的计算方法在逻辑上相一致。但该方法存在2个问题:1)只有当 DO_i 值为无穷大时, $S_{DO,i}$ 才趋近于0,但这在实际情况是不存在的。因为在自然水体中,溶解氧最大质量浓度一般不超过饱和值的2倍。这样的话,自然水体中便不存在溶解氧标准指数值等于0的情况,但其他污染物的标准指数值等于0的情况是十分常见的,这就面临溶解氧标准指数与其他污染物标准指数不匹配、不可比的问题。2)当溶解氧处于饱和或过饱和状态时,该方法计算的标准指数值仍接近于1(图1),似不合情理。

1.3 方法3

朱延盛^[4]汲取了方法2的合理内核,即溶解氧的标准指数与其质量浓度呈反比关系,并假定溶解氧的标

准指数 $S_{DO,i}$ 与 DO_s/DO_i 呈线性关系,得到下式

$$S_{DO,i} = a \cdot DO_s/DO_i + b, \quad (3)$$

式中, a, b 为常数, 式(3)需满足: $DO_i = DO_s$ 时, $S_{DO,i} = 1$; $DO_i = DO_f$ 时, $S_{DO,i} = 0$; 代入式(3)解方程组, 得

$$S_{DO,i} = (DO_s/DO_i) \cdot (DO_f - DO_i)/(DO_f - DO_s), \quad (4)$$

式(4)克服了式(2)关于实际海域中 $S_{DO,i}$ 值无 0 值的缺陷, 但却又产生了新的问题: 当溶解氧过饱和时, 出现标准指数值为负值的无理情况(图 1)。即便像式(1)一样对式(4)中差值取绝对值, 也会像式(1)一样, 在水体溶解氧处于一定程度的过饱和状态时, 出现标准指数值大于 1 的不合理的结果。

综上所述, 目前溶解氧单因子标准指数的几种计算方法, 存在方法原理不甚清晰、评价结果有时不合理等问题, 不能准确地反映海水水质的实际状况。

2 海水溶解氧标准指数计算新方法构建

溶解氧标准指数计算方法的构建, 必须遵循以下 3 个原则: 1) 方法原理与逻辑推导清晰; 2) 计算结果必须符合实际情况, 不能违背常理; 3) 必须与其他污染因子的标准指数具有可比性, 能参与海水水质综合污染指数的计算^[5]。

依据以上原则, 并基于已有的科学研究事实, 溶解氧标准指数计算新公式推导如下:

基于前述溶解氧标准指数与溶解氧质量浓度呈反比关系、与溶解氧的水质标准值呈正比关系的基本原理, 便有

$$S_{DO,i} \propto DO_s/DO_i. \quad (5)$$

海水水质标准中溶解氧标准值主要是根据海洋生物的生长、活动和繁殖所需的溶解氧含量而确定的, 而当水体中溶解氧含量不足时, 海洋生物的生理指标(如鱼类血液充氧效率、摄食率等)一般与溶解氧质量浓度呈对数关系^[6]。据此, 假定式(5)中 $S_{DO,i}$ 与 DO_s/DO_i 也呈对数关系, 可表达为

$$S_{DO,i} = a \cdot \ln(DO_s/DO_i) + b, \quad (6)$$

式中, a, b 为常数; 上式必须满足 2 个条件: 当 $DO_i = DO_s$ 时, $S_{DO,i} = 1$; 当 $DO_i \geq DO_f$ 时, $S_{DO,i} = 0$ 。代入式(6)解方程组, 得

$$S_{DO,i} = \begin{cases} 0 & DO_i \geq DO_f \\ \ln(DO_s/DO_i)/\ln(DO_f/DO_s) + 1 & DO_i < DO_f \end{cases}, \quad (7)$$

式(7)即为计算海水溶解氧标准指数的新公式。在应用式(7)进行溶解氧标准指数计算时, 可分为两步: 首先, 将溶解氧质量浓度实测值大于或等于饱和值, 也即溶解氧饱和度(数据统计表中一般同时给出此参数值)大于或等于 100% 的站点的标准指数取值为 0; 然后, 对溶解氧饱和度小于 100% 的站点, 其标准指数应用对数公式计算。

3 方法比较

以 $t = 24^\circ\text{C}$, $S = 31.7$ 的海水代表低饱和氧质量浓度的水体(此时的饱和溶解氧质量浓度为 7 mg/L), 以 $t = 7^\circ\text{C}$, $S = 29.0$ 的海水代表高饱和氧含量的水体(此时的饱和溶解氧质量浓度为 10 mg/L), 以一类海水水质溶解氧标准值(6 mg/L)为评价标准, 应用不同方法计算不同溶解氧质量浓度时的标准指数, 结果见图 1。

通过比较可以看出:

1) 当溶解氧质量浓度等于评价标准值时, 4 种方法计算的标准指数均等于 1, 在这一点上, 4 种方法均符合评价原则;

2) 当溶解氧刚好处于饱和状态时, 其他 3 种方法计算的标准指数均为 0, 只有方法 2 的计算结果仍大于

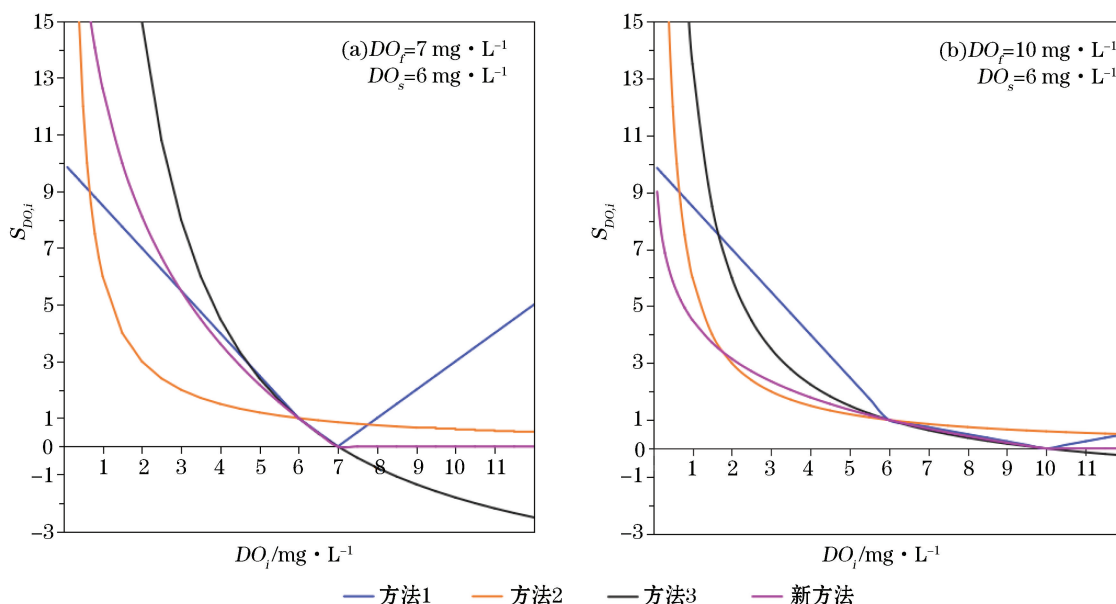


图 1 不同方法计算的标准指数随溶解氧含量变化曲线

Fig.1 The changing curve of the pollution index with dissolved oxygen content by use of different methods

0,说明此时方法 2 的评价结果不够合理;

3)当溶解氧处于过饱和状态时,唯有本研究提出的新方法的标准指数为 0,其他方法要么是不合理的正值,要么是无理的负值;

4)当溶解氧质量浓度介于评价标准值与饱和值之间时,除方法 2 外,其他 3 种方法计算的溶解氧标准指数相差无几,说明在此区间内 3 种方法具有较好的可比性;

当溶解氧质量浓度低于评价标准值时,新方法计算的标准指数值在 4 种方法中大致处于中间位置,说明本方法计算的标准指数较为适中。

4 结 语

针对现行的海水溶解氧标准指数计算方法存在的若干问题,本文基于海水中溶解氧标准指数与溶解氧质量浓度呈反比关系这一基本原理,建立了一种计算溶解氧标准指数的新方法,并与现有的其他计算方法进行了比较。总的看来,本文提出的海水溶解氧标准指数计算新方法,方法原理明确;逻辑推导清晰且有科学依据;计算结果相对更为合理,如设定溶解氧处于饱和及过饱和时为最好水质状态(即标准指数为 0),符合自然水体实际情况;未人为设置最大标准指数值上限,因此与其他污染物的标准指数具有可比性。该方法不仅适用于海水溶解氧标准指数计算,亦可应用于淡水体系水质评价。

参考文献(References):

- [1] Environmental Engineering Assessment Center. Ministry of Environmental Protection of China. Technical methods of environmental impact assessment[M]. 2nd Edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2009: 68-69. 环境保护部环境工程评估中心编. 环境影响评价技术方法[M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 68-69.
- [2] GUAN J F, WANG S. Calculation of comprehensive pollution index of water with oversaturation dissolved oxygen[J]. Environmental Science of Hebei, 2002(1): 32-33. 管景峰, 王山. DO 过饱和和水体综合污染指数的计算[J]. 河北环境科学, 2002(1): 32-33.
- [3] ZHANG X. Characteristic analysis of dissolved oxygen concentration and saturation in coastal waters of Haizhou Bay, Lianyungang City

- [J]. *China's Water Transport*, 2007, 5(10): 67-68. 张旭. 连云港海州湾近岸海域溶解氧含量及饱和度特征分析[J]. *中国水运*, 2007, 5(10): 67-68.
- [4] ZHU Y S. Discussion on calculating method of the pollution index of dissolved oxygen[J]. *Environmental Research and Monitoring*, 1997(4): 48-49. 朱延盛. 关于溶解氧污染指数计算方法的探讨[J]. *环境研究与监测*, 1997(4): 48-49.
- [5] GAO H F. Discussion on the calculating method of pollution index of dissolved oxygen[J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 1995(1): 33-34. 高鸿飞. 谈溶解氧污染指数计算方法[J]. *江苏环境科技*, 1995(1): 33-34.
- [6] LIU S Y. Research summary of the relationship between dissolved oxygen and fishes[J]. *Foreign Aquatic Products*, 1988(1): 17-25. 刘世英. 溶氧量与鱼类关系的研究概况[J]. *国外水产*, 1988(1): 17-25.

A New Method for Calculating Standard Index of Dissolved Oxygen in Seawater

WAND Bao-dong^{1,2}, SUN Xia¹, XIE Lin-ping¹, XIN Ming¹

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *Fanction Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)*

Abstract: Dissolved oxygen is an important parameter for assessment of water quality. However, the current methods of calculating standard index of dissolved oxygen for assessment of seawater quality exists problems such as unclear in principle of the methods, insufficient scientific basis, unreasonable evaluation results etc., which can not reflect the status of seawater quality objectively. In contrast to general pollutant whose standard index is in direct proportion to its concentration, the standard index of dissolved oxygen is inversely proportional related with the concentration of dissolved oxygen. Based on the above relationship as well as relevant scientific basis, a new method for calculating standard index of dissolved oxygen is proposed in this paper. This new method overcomes the shortcomings of the current methods, and has strong points such as clear principle and logical derivation, reasonable evaluation results, good comparability as well as ease of use, which is applicable for calculating standard index of dissolved oxygen for assessment of seawater quality as well as freshwater systems.

Key words: dissolved oxygen; standard index; assessment of water quality

Received: August 4, 2017