

珠江口水体 TOC 与 COD 关系研究

袁 蕾, 张纯超, 吕彦儒

(国家海洋局南海环境监测中心, 广东 广州 510300)

摘 要: 基于2012年5月珠江口八大口门(崖门, 虎跳门, 鸡啼门, 磨刀门, 横门, 洪奇门, 蕉门, 虎门) TOC 与 COD 监测数据, 浅析了两者间可能存在的相关关系。结果表明: 调查期间水体 TOC 浓度范围为 1.15 ~ 2.30 mg/L, COD 浓度范围为 1.19 ~ 2.99 mg/L, 平均浓度分别为 1.53 mg/L 和 1.84 mg/L, 两者浓度均为崖门最高; 利用葡萄糖溶液初探 TOC 与 COD 的关系, 结果显示两者显著正相关; 对本次调查结果进行相关性分析, 结果显示 TOC 与 COD 显著正相关, 两者可线性拟合为: $c_{\text{TOC}} = 0.677 \times c_{\text{COD}} + 0.278$, $\gamma = 0.956$ 。水体有机污染物组成、悬浮物含量和无机还原性物质等均有可能影响 TOC 与 COD 的相关关系。在本研究基础上尝试提出了 TOC 海水水质标准, 以期对珠江口海洋环境质量评价和环境管理提供新思路。

关键词: COD; TOC; 相关性; 珠江口八大口门

中图分类号: X834

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2015)05-0700-06

Correlation analysis between TOC and COD in Pearl River Estuary

YUAN Lei, ZHANG Chun-chao, LV Yan-ru

(South China Sea Environmental Monitoring Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The possible correlation between TOC and COD in the eight channels of Pearl River Estuary (Yamen, Hutiaomen, Jitimen, Modaomen, Hengmen, Hongqimen, Jiaomen and Humen) was analyzed based on data obtained from the survey in May, 2012. Results indicated that contents of TOC ranged from 1.15 mg/L to 2.30 mg/L and averaged 1.53 mg/L, while contents of COD changed between 1.19 mg/L and 2.99 mg/L and averaged 1.84 mg/L, respectively. The highest average contents of both TOC and COD were simultaneously observed in Yamen. TOC correlated well to COD in Glucose solution in our investigation, with linear regression equation $c_{\text{TOC}} = 0.677 \times c_{\text{COD}} + 0.278$ ($\gamma = 0.956$). Composition of organic contaminants, content of suspended solid matter and mineral reductive matter all might have effect on the correlation between TOC and COD. Sea water quality standard of TOC was build based on our study to introduce a new way for marine environment quality assessment and environmental management.

Key words: TOC; COD; correlation analysis; eight channels of Pearl River Estuary

目前,我国主要选用化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)来表征水体受有机污染的程度,然而其测定结果取决于氧化剂的种类、有机化合物的成分及实验条件与操作等,即使氧化能力最强的重铬酸钾法能够氧化大部分有机物质,仍不能氧化直链烃、芳香烃和苯等有机物^[1],所

以 COD 指标难以完全反映水体的有机污染情况。另外,目前我国地表水和海水各采用不同的 COD 测定方法和限量标准^[2-6],这也为处于海陆交汇的河口和港湾等地域的环境质量评价、污染物总量控制和污染溯源等带来困扰。

与 COD 相比,TOC(total organic carbon, TOC)

收稿日期:2014-05-08,修订日期:2014-08-20

基金项目:国家海洋局南海分局海洋科学技术局长基金项目(1238)

作者简介:袁 蕾(1984-),女,山东青岛人,硕士研究生,工程师,主要从事海洋监测工作,E-mail: yuanleixy@126.com

的测定过程基本能够氧化水体中全部有机物,能够更为真实的反映水体中有机物质的含量^[7-8],在国际上得到了广泛应用。目前,美国主要以 TOC 指标来监测水体中的有机物含量,日本在 20 世纪 70 年代初期也把 TOC 指标列入工业标准^[8]。此外,TOC 测定还具有快速、准确、灵敏度高、不产生二次污染等优点,并且易于实现连续在线监测^[9]。在一定条件下 TOC 和 COD 之间存在着可靠的相关关系,因此当确定相关系数后,两者之间可以相互转化,即可采用 TOC 指标来间接反映 COD,反之亦然。

作为国内主要的经济区之一,珠江三角洲地区的工业化和城市化获得了极大的发展,广州、深圳、珠海、香港和澳门等大城市林立,人口密度大。但是发展的同时,排放入河流的各类污染物随之增加,珠江口受污染的程度不断加大,富营养化程度加剧,赤潮多次发生,经济和生态损失严重^[10]。2007 年大约有 $4.45 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的城市生活污水和 $2.46 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的工业废水由广东省排入珠江^[11]。近几年关于海水 TOC 和 COD 相关性的研究相对较少,本研究通过调查珠江口八大口门 TOC 与 COD 两个水质指标,表征该海区 TOC 与 COD 分布特征,进一步探讨它们之间的相关性,并尝试制定了该海域 TOC 水质标准,以期为未来珠江口海域的环境管理和可持续发展提供相应的数据支持。

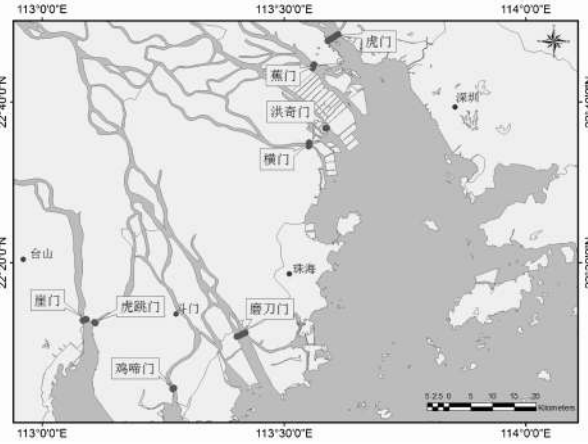


图 1 调查海区

Fig.1 Locations of survey stations in Pearl River estuary

1 材料与方法

1.1 研究区概况及样品采集

珠江是中国南部最大的河流,是西江、北江、

东江和珠江三角洲诸河 4 个水系的总称。珠江水系各河径流汇集于三角洲后,通过八大口门注入南海。三角洲地区年平均气温为 $14 \sim 22^\circ\text{C}$,年平均降雨量为 $1200 \sim 2200 \text{ mm}$ ^[12],珠江年径流量约为 $3.26 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{a}$,位居世界第 13 位^[11]。

2012 年 5 月 17 ~ 19 日于珠江口八大口门(崖门,虎跳门,鸡啼门,磨刀门,横门,洪奇门,蕉门,虎门)进行水质调查,8 个口门各设置一条采样断面(断面位置见图 1),共计 80 个站位(表 1),各口门站位平均分布,站位采用 GPS 定点。在各站位使用表层玻璃采水器采集表层水样(水面以下 0.5 m),立即装入 500 mL 磨口玻璃瓶,冷藏后带回实验室,4 h 内完成 TOC 和 COD 的测定。

表 1 调查海区站位设置

Tab.1 Survey stations in Pearl River estuary

西四口门	站位	东四口门	站位
崖门	YA1-YA10	横门	HE1-HE10
虎跳门	HT1-HT7	洪奇门	HQ1-HQ7
鸡啼门	JT1-JT10	蕉门	JJ1-JJ10
磨刀门	MD1-MD13	虎门	HU1-HU13

1.2 测试方法

(1) TOC 的测定参照《海水中有机碳的测定非色散红外吸收法》(HY/T150-2013)^[13]的步骤。测定仪器为岛津 TOC-V_{C_{PH}}型总有机碳分析仪,采用直接法测定。对所有水样重复进行 TOC 测定的标准偏差定为 2%。工作条件:载气流(O_2)200 kPa,氧化炉温度 680°C 。使用试剂:超纯水(Millipore)、25% H_3PO_4 溶液(现用现配)、邻苯二甲酸氢钾(试药特级, Nacalai Tesque. Inc. Kyoto. Japan)。采用外标法定量。

(2) COD 的测定参照《海洋监测规范第 4 部分 海水分析》(GB 17378.4-2007)^[4]的实验步骤。

2 结果与讨论

2.1 TOC 的空间分布

调查区域海水中 TOC 浓度为 $1.15 \sim 2.30 \text{ mg/L}$,平均值为 1.53 mg/L 。瞬时最大浓度出现在崖门,最低浓度出现在洪奇门;虎门和虎跳门 TOC 含量波动较大,其它口门波动较小。就平均浓度而言,崖门最高,其次为虎门,洪奇门最低(图 2)。Hong-Gang Ni 等^[12]在 2005 年 5 月的监测中也获得了类似的结果。虎门是东四口门中最

大的口门,并且占有八大口门潮水的60%^[14],同时也是珠江水运的主要航道,受到人类活动的影响最多。崖门浓度高于虎门原因可能是除西江外,潭江也是崖门污染物的一个重要来源^[12]。此外,西江流域农田较多,此次调查前期西江流域曾有一次较大强度的降雨过程,雨水冲刷较多土壤有机质进入河流也能导致河流有机质含量升高。从图2中可以明显的看出 TOC 与 COD 具有类似的变化趋势,说明二者之间应当存在较好的相关关系。

刘庆霞等^[15]调查得到珠江口 POC(颗粒有机碳)平均浓度为 541.9 $\mu\text{g/L}$,将此数值与 DOC 值相加可近似得到调查海区的 TOC 浓度。Callahan J^[16]等指出在春季和秋季珠江口 DOC 浓度可以达到 2.16 mg/L,则 TOC 浓度约为 2.70 mg/L,高于本次调查结果;Hong-Gang Ni 等^[12]监测到 2005~2006 年珠江口各口门 DOC 平均浓度为 1.4~2.1 mg/L,则可估算得到 TOC 平均浓度为 1.9~2.6 mg/L 与本次调查结果较为相近。与其它海湾或海区^[17-20]相比,珠江口八大口门水体 TOC 浓度低于流沙湾和胶州湾,但是普遍高于东海和南海北部等开阔海域。

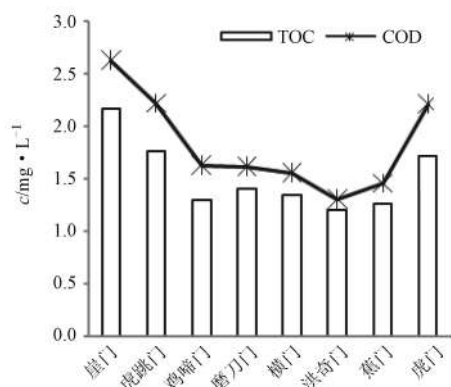


图2 调查海区海水中 TOC 和 COD 含量分布特征

Fig. 2 Distribution of TOC and COD in the survey area

表2 不同海区有机碳的浓度

Tab. 2 Contents of Organic Carbon in different area

海区	浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
珠江口 ^[16]	2.16
珠江口八大口门 ^[12]	1.4~2.1
流沙湾(5月) ^[17]	2.6~5.5(3.290)
胶州湾 ^[18]	1.728~20.436(5.868)
南海北部混合层 ^[19]	0.840~1.020
东海混合层 ^[20]	0.768~0.852

* 括号内数字代表平均浓度

2.2 COD 的平面分布

本次调查中珠江口八大口门水体中 COD 平均浓度为 1.84 mg/L,变化范围为 1.19~2.99 mg/L。调查海域 COD 浓度均较高,其中最大浓度出现在虎门,最低浓度出现在洪奇门;平均浓度最大为崖门,最低为洪奇门;虎跳门和虎门 COD 波动较大,其它口门波动较小;崖门、虎跳门和虎门 COD 浓度明显高于其它口门。虽然最大浓度出现在虎门,但是就平均值而言虎门要低于崖门,这与 TOC 的分布相似,可能也是同样的原因导致;同时,因为虎门的入海径流量远大于崖门,就 COD 入海总量来说虎门大于崖门。

海水质量标准^[6]中规定的 COD 第一类海水水质标准限值为 2 mg/L,崖门、虎跳门和虎门均出现了不同程度的超标现象,超标率分别为 100%、85.7% 和 61.2%,最大超标 0.5 倍。全部监测站点均符合二类海水水质标准($\leq 3 \text{ mg/L}$)。

图3为2003~2010年相近时期该海域 COD 的浓度水平,可以看出,历年 COD 浓度虽有反复,但总体略有上升。相比之下,本研究中该海域 COD 平均浓度处于中等水平,比2010年略有降低。西四口门的历年变化趋势比较相似,都是反复中总体上升,其中只有鸡啼门2012年浓度较2010年有所降低;东四口门同样呈现波折反复中总体上升的趋势,但2012年浓度总体低于2010年,同时虎门浓度远高于其它3个口门,这是因为虎门是珠江的主要入海通道及主要航道所在,人类生活和各项开发活动都比较频繁,来往船只众多,对环境所造成的污染和破坏也比较大。

2.3 TOC 与 COD 的相关性

2.3.1 理论推导

COD 指水体中易被强氧化剂氧化的还原性物质所消耗的氧化剂的量,结果折成氧的量,以 mg/L 计;本研究中采用碱性高锰酸钾法测定水体中 COD,其氧化能力比高锰酸盐指数法稍弱,不受水中氯离子影响。水中 TOC 指存在于水中有机化合物中碳的总值,用构成有机物成分中碳的数量来表示有机污染的指标,反映了水体中含碳有机物的总量。本研究中采用高温催化氧化法(温度为 680℃)测定水体中 TOC,基本能将有机物全部氧化。

水体中的有机物大部分为含 C、H、O 的化合物,其被氧化的过程可由以下公式表示:

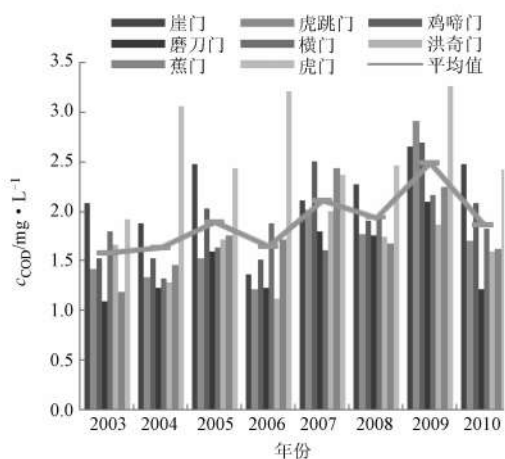
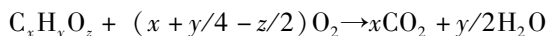
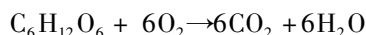


图3 2003年至2010年八大口门COD变化趋势

Fig. 3 Distribution of COD in the eight channels of Pearl River estuary during 2003 ~ 2010



以葡萄糖为例。葡萄糖分子式为 $C_6H_{12}O_6$, 则其被氧化的公式为:



C 的相对分子质量约为 12, O 的相对分子质量约为 16, 假设氧化率为 100%, 可以得到(此处忽略海水中可能含有的无机还原物质):

$$c_{TOC} = 0.375 \times c_{COD}$$

在实际测定中, TOC 与 COD 的测定方法并不能保证 100% 的氧化各类有机物质, 并且根据有机物种类的不同, 其元素组成也不同, 这就导致这二者得出的结果并不一定呈正比, 但对于污染物种类和含量相对稳定的同一类污水而言, TOC 与 COD 可以呈现很好的相关性, 并且水质越稳定二者的相关性越好^[7-8]。

2.3.2 葡萄糖溶液 TOC 与 COD 的相关性

配制一系列浓度的葡萄糖溶液, 分别测定 TOC 和 COD(碱性高锰酸钾法), 对获得的数据进行线性拟合, 得到结果为:

$$c_{TOC} = 0.795 \times c_{COD} - 0.005 \quad (\gamma = 1.000)$$

式中: 0.795 为斜率, 明显大于理论推导的斜率 0.375; γ 为相关系数(下同)。

COD 测定结果因氧化剂的种类、有机化合物的成分及实验条件、操作等不同^[28] 而有所不同, $COD = THOD \times R$, THOD (theoretical oxygen demand, THOD) 为理论需氧量, R 为一定实验条件下的氧化率。由结果可以推出在本次实验条件下, 碱性高锰酸钾法对葡萄糖的氧化率约为 0.47。

当方程中 $n=5$ 时, $f=n-2=3$, 若 $a=0.01$, 查表得 $\gamma_{0.01,3}=0.959$, $\gamma > \gamma_{0.01,3}$, 故此葡萄糖溶液的 TOC 与 COD 之间确实存在显著正相关。林琦^[21] 证明了葡萄糖溶液的 TOC 与 COD_{Cr} 之间也存在很好的相关性。

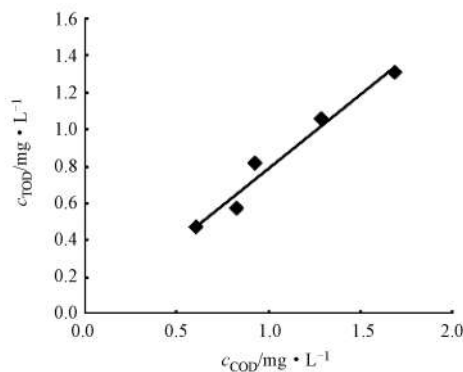


图4 葡萄糖溶液 TOC 和 COD 的相关性

Fig. 4 Correlation between TOC and COD in glucose solutions

2.3.3 八大口门 TOC 与 COD 相关性研究

对本次调查中得到的 TOC 和 COD 数据进行线性分析, 得到结果为:

$$c_{TOC} = 0.677 \times c_{COD} + 0.278 \quad (\gamma = 0.956)$$

以上方程中, $n=79$, $f=n-2=77$, 若 $a=0.01$, 查表得 $\gamma_{0.01,77}=0.288$, $\gamma > \gamma_{0.01,77}$, 故 TOC 与 COD 之间相关性非常显著。对八个口门的 TOC 平均值和 COD 平均值进行线性分析, 得到结果为:

$$c_{TOC} = 0.711 \times c_{COD} + 0.218 \quad (\gamma = 0.986)$$

以上方程中, $n=8$, $f=n-2=6$, 若 $a=0.01$, 查表得 $\gamma_{0.01,77}=0.834$, $\gamma > \gamma_{0.01,6}$, 可见 TOC 与 COD 之间相关性显著。

对于各个口门来说, TOC 和 COD 的相关性相差较大, 相关系数介于 0.0009 ~ 0.9068 之间。观察各组数据发现, 相关系数较低的口门 TOC 和 COD 的分布较为均匀, 浓度相差不大。故推测相关系数较低的原因可能为实验过程中各种误差的叠加, 而不能断定该口门水体中 TOC 和 COD 的相关性较差。且由全部口门数据分析获得了较好的 TOC 和 COD 的相关性, 所以各口门内 TOC 和 COD 的相关性较好的可能性较大。

目前关于海水中 TOC 与 COD 关系的探索研究还很少, 已发表的关于 TOC 和 COD 相关性研究的对象主要为河流或封闭水体。据国内外一些水环境科技刊物报道, 有关研究人员在一些河流

上建立了 TOC 和 COD 的相关方程^[22], 获得了很好的相关性; 汤峰和钱益群^[23]进行了春、夏、秋、冬四季巢湖水中 TOC-COD_{Mn} 的对比相关实验, 并据其相关性对巢湖的污染状况和变化规律进行了进一步的分析和研究。此外还有大量关于各类的工业废水、市政污水中 TOC 和 COD 相关性的研究^[24-25]。

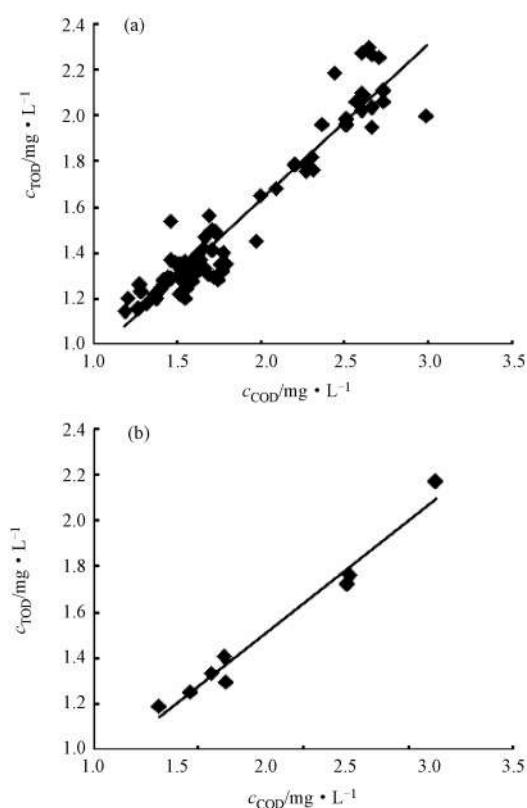


图5 调查海区海水中 TOC 和 COD 的相关性

(a. 全部站位 b. 各口门平均值)

Fig. 5 Correlation analysis between TOC and COD in the survey area

(a. all stations; b. average values of the eight channels)

2.3.4 影响 TOC 与 COD 相关性的因素初探

任何影响 COD 或 TOC 测定的因素都可能影响两者之间的关系。碱性高锰酸钾法测定 COD 氧化率低, 且容易受较多因素影响, 如水体中有机污染物组成和无机还原性物质都可能使 COD 的测定产生偏离; 与此相比, TOC 的测定方法稳定可靠, 可测定浓度范围较广, 并且几乎可以氧化全部的有机物质, 但是却可能受到水体中悬浮物等物质的影响。

(1) 有机污染物组成 氧化剂的种类、有机化合物的成分及实验条件、操作等均会对 COD 测定结果产生影响并且不能氧化全部的有机物质。

刘卫邦^[26]列举了多种有机物质的 COD 值, 发现对不同类型的有机物质, 氧化率相差较大。因此即使水体中所含有机物质总量相同, 组成不同, 所获得的 COD 数值也不同, 而 TOC 因为采用高温催化氧化方法测定, 可以氧化大部分的有机物质, 往往可以获得相对接近真值的结果。海洋污染源广、成分复杂^[27], 沿岸工业废水和农业城市污水的排放、江河携带的污染物、海水养殖以及溢油等重大污染事故均会对周围海域水质产生影响。中国沿海有机物污染源较多^[28], 这就为 TOC 与 COD 的相关关系的确定增加了困难。

(2) 悬浮物 杨美兰^[29]等发现春、夏季期间, 水质 COD 含量与悬浮物含量存在相关关系, 悬浮物含量越高, COD 值越高。水体中含有大颗粒悬浮物时, 因受水样注射器针孔的限制, TOC 测定结果往往不包括全部颗粒态的有机物。

(3) 无机还原性物质 海水成分复杂, 除了含有种类繁多的有机物质外, 还可能含有硫化物、氨、亚铁等还原性无机化合物^[8]。氧化这部分无机还原性物质需要消耗氧化剂的量, 即 COD 的测定值会增加, 但是这些物质不能燃烧产生 CO_2 , 即不会对 TOC 的测定值产生影响。可见若水体中含有此类无机还原性物质, 必然会影响 TOC 与 COD 的比值。

此外, 傅云娜^[30]等发现氯离子浓度和有机污染物浓度等也可以对 COD 的测定产生影响, 进而影响水体中 COD 与 TOC 之间的关系。

2.3.5 海水 TOC 标准的制定

目前, 我国并没有 TOC 的海水质量标准。根据《海水水质标准》(GB3097 - 1997)^[6], 我国 COD 的第一类海水水质标准为 $\leq 2 \text{ mg/L}$ 。本次实验结果, 珠江口八大口门 TOC/COD 为 0.677, 根据这一比值可得到 TOC 标准值约为 1.4 mg/L 。若根据这一标准进行评价, 崖门、虎跳门、虎门和磨刀门均不同程度的超出 TOC 的第一类海水水质标准为 $\leq 1.4 \text{ mg/L}$, 超标率分别为 100%、85.7%、92.3% 和 38.5%, 最大超标 0.6 倍。与之前按照 COD 质量标准进行评价的结果比较接近, 而磨刀门获得了不同评价结果, 这可能是因为其水体中含有较多不能被碱性高锰酸钾法测定但是却能够被高温催化氧化的有机物质。

3 结 论

(1) 本次调查获得珠江口八大口门水体 TOC

浓度为 1.147~2.299 mg/L,平均为 1.527 mg/L,其中崖门平均浓度最高,其次为虎跳门和虎门;COD 浓度为 1.19~2.99 mg/L,平均为 1.84 mg/L,与 TOC 相同也是崖门平均浓度最高,其次为虎跳门和虎门。崖门、虎跳门和虎门的 COD 均不同程度超出了一类海水水质标准。

(2)基于调查获得的 TOC 与 COD 相关性,尝试提出了 TOC 的海水水质标准,并利用其对调查区域水体进行评价,获得了与利用 COD 标准评价类似的结果,说明制定的 TOC 标准值比较合理,并希望借此为珠江口海洋环境质量评价和环境管理提供新思路。

致谢:感谢同事张宝学、余汉生等在现场采样过程中给予的大力支持和帮助;感谢吴晓丹在文章撰写阶段给予的无私帮助。

参考文献:

- [1] 张正斌. 海洋化学[M]. 青岛:中国海洋大学出版社,2004:108.
- [2] GB11914-89,化学需氧量的测定 重铬酸钾法[S].
- [3] GB11892-89,水质 高锰酸盐指数的测定[S].
- [4] GB17378.4-2007,海洋监测规范 第4部分 海水分析[S].
- [5] GB3838-2002,地表水环境质量标准[S].
- [6] GB3097-1997,海水水质标准[S].
- [7] 史郁,周旋,刘慧. 酵母废水 TOC 与 COD 相关性研究[J]. 环境科学与技术,2007,30(1):32-34.
- [8] 陈光,刘廷良,孙宗光. 水体中 TOC 与 COD 相关性研究[J]. 中国环境监测,2005,21(5):9-12.
- [9] 王德明. 水体 TOC 与 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 COD_{Mn} 相关性研究[J]. 化学分析计量,2010,19(3):61-64.
- [10] 黄长江,董巧香. 1998 年春季珠江口海域大规模赤潮原因生物的形态分类和生物学特征 I [J]. 海洋与湖沼,2000,31(2):197-204.
- [11] HE B Y, DAI M H, ZHAI W D, et al. Distribution, degradation and dynamics of dissolved organic carbon and its major compound classes in the Pearl River estuary, China [J]. Marine Chemistry, 2010, 119(1/2/3/4):52-64.
- [12] NI H G, LU F H, LUO X L, et al. Riverine inputs of total organic carbon and suspended particulate matter from the Pearl River Delta to the coastal ocean off South China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2008, 56(6):1150-1157.
- [13] HY/T 150-2013,海水有机碳的测定 非色散红外吸收法[S].
- [14] DAI M, WANG L, GUO X, et al. Nitrification and inorganic nitrogen distribution in a large perturbed river/estuarine system: the Pearl River Estuary, China [J]. Biogeosciences, 2008, 5:1227-1244.
- [15] 刘庆霞,黄小平,张霞,等. 2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源[J]. 生态学报,2012,32(14):4403-4412.
- [16] CALLAHAN J, DAI M H, CHEN R F, et al. Distribution of dissolved organic matter in the Pearl River estuary, China [J]. Marine Chemistry, 2004, 89(1/2/3/4):211-224.
- [17] 李雪英,孙恢礼,孙省利,等. 流沙湾海水中总有机碳的时空分布及其影响因素研究[J]. 海洋科学,2012,36(7):61-69.
- [18] YANG G P, ZHANG Y P, LU X L, et al. Distributions and seasonal variations of dissolved carbohydrates in the Jiaozhou Bay, China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2010, 88(1):12-20.
- [19] HUNG J J, WANG S M, CHEN Y L. Biogeochemical controls on distributions and fluxes of dissolved and particulate organic carbon in the Northern South China Sea [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2007, 54(14/15):1486-1503.
- [20] OGAWA H, USUI T, KOIKE I. Distribution of dissolved organic carbon in the East China Sea [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2003, 50(2):353-366.
- [21] 林琦. 有机废水中 COD 与 TOC 的比值的探讨[J]. 福建分析测试,2006,15(3):46-49.
- [22] 饶春熙. 汉江(武汉段)TOC 与 COD 的相关关系试验[J]. 重庆环境科学,1989,11(6):16-20.
- [23] 汤峰,钱益群. 巢湖水总有机碳(TOC)一高锰酸钾指数(COD_{Mn})相关性研究[J]. 重庆环境科学,2001,23(4):64-66.
- [24] 南海涛,曾杰,王新霞. 城市污水中 TOC 与 COD 的关系[J]. 中国给水排水,2002,18(6):80-81.
- [25] 袁海珠. 化工污水 TOC 值与 COD_{Cr} 值的相关性[J]. 分析仪器,1995(4):18-22.
- [26] 刘卫邦. 360 多种常见化学物质的 COD_{Cr} 、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、TOD 和 TOC 值[J]. 环境科技(辽宁),1989,9(2):91-108.
- [27] 胡利芳,李雪英,孙省利,等. 深圳湾 COD 与 TOC 分布特征及相关性[J]. 海洋环境科学,2009,29(2):221-224.
- [28] 冯士筌,李凤歧,李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京:高等教育出版社,1999:498-500.
- [29] 杨美兰,林钦,黄洪辉,等. 珠江口水域化学耗氧量(COD)的分布特征[J]. 海洋通报,2005,24(4):22-26.
- [30] 傅云娜,徐光环. 碱性高锰酸钾法测定海水中 COD 的影响因素研究[J]. 海洋通报,1999,16(5):43-47.