

夏季伶仃洋 COD、DO 的垂向分布及其影响因素^{*}

林卫强, 李适宇

(中山大学环境科学研究所, 广东 广州 510275)

摘 要: 1999 年夏季对珠江口伶仃洋的 COD、DO、盐度、温度等项目进行大规模的调研, 结果表明: 在伶仃洋咸淡水交界海域, COD、DO 垂向层化现象明显, 根据其层次结构可分为上中高下低型、上高中下低型、上下高中低型。受淡水径流、咸水入侵和太阳辐射的影响, 伶仃洋夏季存在稳定的温密跃层, 水体出现层化。层型水体是影响 COD、DO 垂向分布最主要的因素, 底泥和再悬浮有机物的降解耗氧是导致底层水体 DO 降低的主要原因。

关键词: COD; DO; 层化; 珠江口

中图分类号: X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 04-0082-05

珠江口伶仃洋是珠江入海最大的一个河口湾。湾内咸淡水混合, 海底地势和缓, 海洋资源丰富。伶仃洋沿岸城市经济发达, 湾口两翼毗连港澳地区, 是海外交通、贸易的要地, 具有重要的经济和生态价值^[1]。但是, 在经济不断发展的同时, 大量污染物通过河流或直接排放进伶仃洋, 致使水质恶化, 富营养化进程加速。研究表明, 有机物是伶仃洋主要的污染因子, 近年来 COD 的入海通量呈现明显的上升趋势, 有机污染逐年加重^[2-4]。珠江口发生季节性底层海水缺氧现象, 具有缺氧范围不断扩大, 缺氧程度逐年加剧的倾向^[5, 9]。为了掌握伶仃洋的水质现状, 更好地保护河口环境, 本文通过最近的海洋监测探讨了伶仃洋 COD、DO 的垂向分布特征及其影响因素。

1 研究方法

1.1 布点和采样

样品采集使用 2 种方式: 巡航采样; 定点连续采样。1999 年 7 月对珠江口进行了大规模的监测, 分析项目包括温度、盐度、COD、DO 等 20 多项。巡航采集每个站点表、中、底多层水样, 连续站每隔 3 h 采集一次样品, 每次也采集表、中、底多层水样。本文利用具有代表性的纵横 2 个巡航断面和 2 个连续站的监测结果来研究 COD、DO 的垂向分布特征, 站点的布设见图 1。其中: e1~e9、s1~s5 为巡航采样点, C1 和 C2 是连续站采样点。

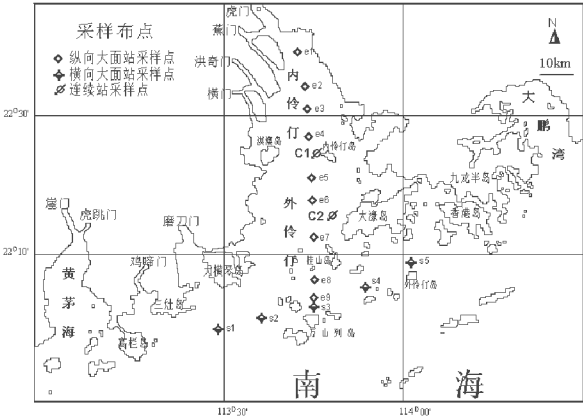


图 1 珠江口伶仃洋观测站分布图
Fig. 1 Sampling stations in the Pearl River Estuary

1.2 实验分析

化学耗氧量 (COD) 的测定方法来源于国家行业标准 (HY003.4-91) 《海洋监测规范》中的碱性高锰酸法, 检出限为 0.15 mg/L; 溶解氧 (DO)、盐度和温度用 YSI6600 水质监测仪测定。

2 结果与讨论

2.1 COD 的垂向分布特征

伶仃洋表层 COD 范围为 0.58~1.62 mg/L, 平均值为 1.24 mg/L; 中层 COD 范围为 0.23~1.41 mg/L, 平均值为 0.81 mg/L; 底层 COD 范围为 0.17~1.18 mg/L, 平均值为 0.53 mg/L。所有站点表层的 COD 均大于中层的和底层的, 70% 以上的站点中层的

^{*} 收稿日期: 2002-01-08
基金项目: 国家 863/818-09-01 资助项目 (863/818-09-01-05);
作者简介: 林卫强 (1975-), 男, 博士研究生; 通讯联系人: 李适宇; E-mail: eeslwy@zsu.edu.cn
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

COD 大于底层的, 水体 COD 出现明显的表高底低垂向分层现象 (图 2, 图 3)。

根据伶仃洋 COD 的垂向分布特征, 层化结构基本上可以分为上中高下低型、上高中下低型、上下高中低型。在纵向巡航断面上, 受口门淡水径流的强烈影响, e1、e2 站表中底 3 层的 COD 较为接近, 上层的略高于下层的。e3、e4 站表层和中层的 COD 较为接近, 明显高于底层的, 为上中高下低型。e5、e6、e8、e9 中层和底层的 COD 较为接近, 远小于表层的, 为上高中下低型。e7 站较为

特别, 表层的 COD 高于底层的, 底层的高于中层的, 为上下高中低型。横向巡航断面 s1 站表层的 COD 高于底层的, 底层的高于中层的, 为上下高中低型, 其余站点中层和底层的 COD 较为接近, 明显小于表层的, 为上高中下低型。

C1 连续站表层的 COD 在任意时刻均大于底层的, 中层的则随潮流运动起伏较大, 垂向层次结构也随时间发生变化。C2 连续站的层次结构非常稳定, 表层的 COD 均大于中层的, 中层的大于底层的, 层化非常明显。

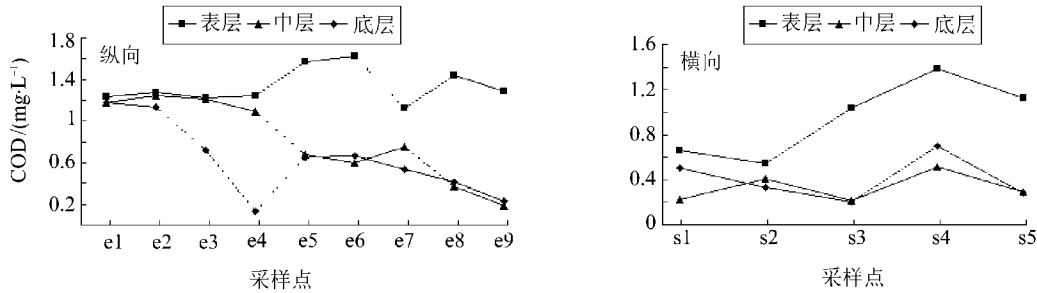


图 2 纵向、横向巡航断面 COD 值
Fig 2 COD at longitudinal and cross profile

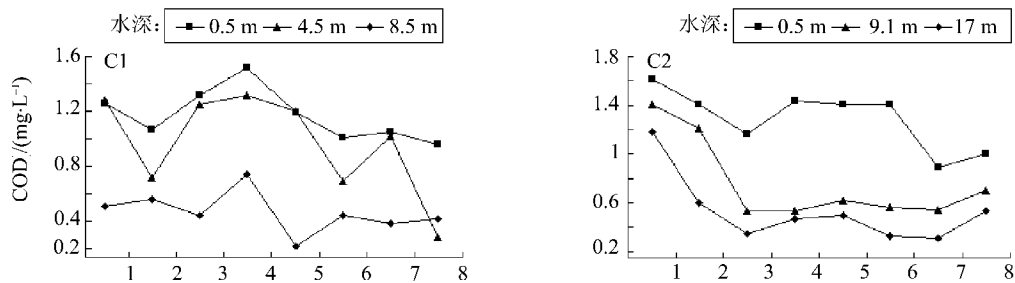


图 3 C1、C2 连续站 COD 值
Fig 3 COD at station C1 and station C2

2.2 DO 的垂向分布特征

伶仃洋表层的 DO 范围为 5.65 ~ 7.52 mg/L, 平均值为 6.67 mg/L, 氧饱和度可达 89% 以上; 中层 DO 范围为 3.41 ~ 6.81 mg/L, 平均值为 5.53 mg/L, 氧饱和度为 74%; 底层 DO 范围为 2.63 ~ 5.57 mg/L, 平均值为 3.92 mg/L, 氧饱和度只有 52%。所有站点表层的 DO 均大于中层的和底层的, 超过 95% 的站点中层的 DO 大于底层的, 垂向层化现象十分显著 (图 4, 图 5)。

纵向巡航断面 e1 站表中底 3 层的 DO 非常接近, 上层的略高于下层的。e2 ~ e8 站表层和中层的 DO 较为接近, 明显高于底层的, 为上中高下低型。e9 站表层的 DO 高于底层的, 底层的高于中层的, 为上下高中低型。横向巡航断面 s1 ~ s3 站表

层和中层的 DO 较为接近, 明显高于底层的, 为上中高下低型, 其余 2 站中层和底层的 DO 较为接近, 明显小于表层的, 为上高中下低型。C1、C2 连续站表层的 DO 在任意时刻均大于底层的, 表高底低的垂向层化结构十分稳定。海水中 DO 是海洋生态环境的重要参数, 国内外的海洋环境科学家把海水中 DO 低于 3 g/L 的现象定义为缺氧现象, 并且具有引发“化学定时炸弹”导致整个海洋生态系统崩溃的潜在威胁^[9]。珠江口底层海水季节性缺氧现象早已有研究^[5-7]。根据本次测量结果, 夏季伶仃洋底层的 DO 非常低, 内伶仃岛和桂山岛附近水域发现低于 3 mg/L 的区域, 缺氧区域有逐年向湾口迁移的趋势。

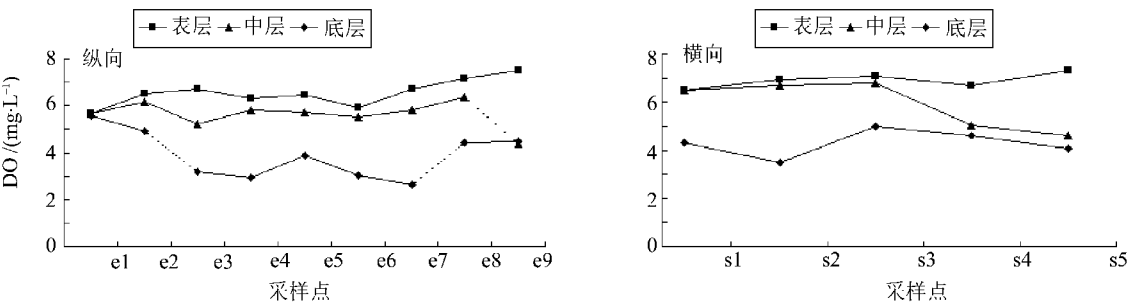


图 4 纵向、横向大面站 DO 值
Fig 4 DO at cruise stations

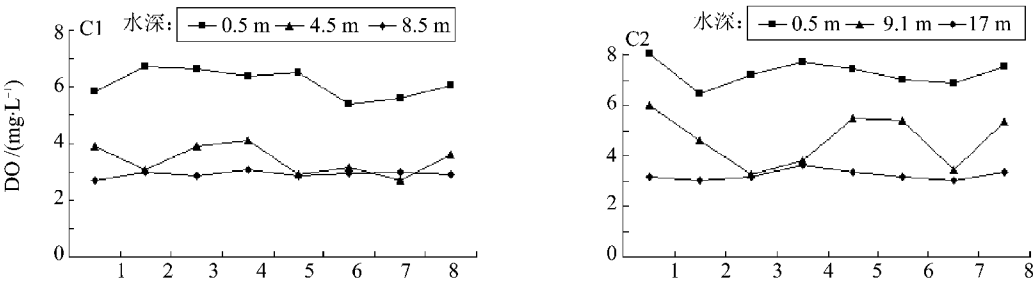


图 5 C1、C2 连续站 DO 值
Fig 5 DO at station C1 and station C2

表 1 珠江口八大口门 COD 的入海通量^[8]

Tah 1 Influx of COD load from the eight outlets of the Pearl River

口门	磨刀门	虎门	蕉门	虎跳门	鸡啼门	洪奇门	横门	崖门
COD/(kg·d ⁻¹)	2402192	1998904	1137808	581096	476438	410959	320000	78086
百分比/%	32.44	27.00	15.36	7.85	6.43	5.55	4.32	1.05

2.3 影响 COD、DO 垂向分布的主要因素

2.3.1 人类活动的影响 伶仃洋的 COD 主要产生于人类活动，来自于入海径流。根据统计，通过八大口门进入珠江口的 COD 约占河口总来源的 80% 以上。其中磨刀门的入海通量最大，占八大口门的 32.44%，其次是虎门，占 27.00%。通过东四口门进入伶仃洋的 COD 占口门总入海通量的 52.23% (表 1)。

2.3.2 水体层化的影响 伶仃洋河口湾呈 S—N 走向，从虎门向南，5 m 等深线构成东、西两条纵向深槽。伶仃洋的潮流是往复流，西部淡水来源丰富，加上水流受柯氏力和盛行偏东风的影响，落潮流偏西，涨潮流偏东^[1]。夏季洪水期 e1 站以北水域为珠江淡水占据，e1 至 e2 站表层和底层也被珠江淡水占据，底层深槽为咸水所充。口门射流使淡水舌向外伶仃扩散，密度大的南海高盐水沿海底向陆作补偿运动，有时 3% 的盐度线楔入内伶仃岛南面水域。伶仃洋湾内咸淡水混合，盐度垂向梯度大，水体呈高度成层型 (图 6)。

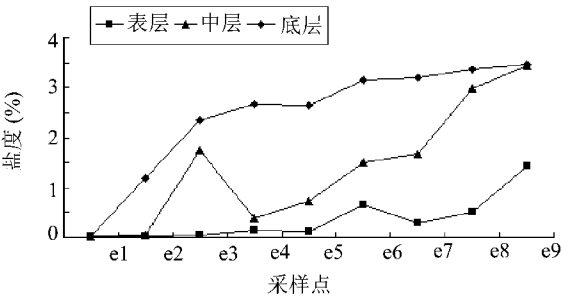


图 6 纵向大面站的盐度^①
Fig 6 Salinity in longitudinal profile

伶仃洋属亚热带海洋性季风气候区，珠江流域 4 月进入雨季，延续到 9 月，每年 4—9 月是河流的洪水期。夏季由大陆来的暖热水同海底较凉的外海水构成温跃层，加之由于夏季太阳辐射强烈，表层水温增高，伶仃洋水体表底温差可高达 4~5℃ (图 7)。温度跃层的形成，使得伶仃洋层型水

①国家海洋局南海分局. 第二次全国污染基线调查南海海洋污染基线调查报告, 1999

体能够稳定存在，上、下层水体的物质交换受到阻碍。

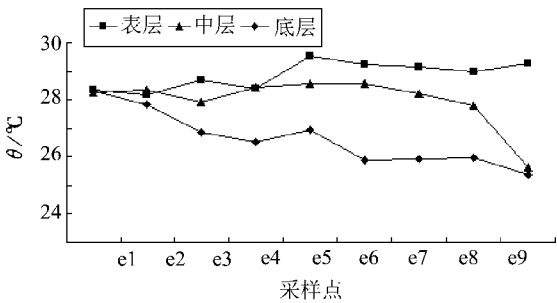


图 7 纵向大面站的温度

Fig. 7 Water temperatures in longitudinal profile

层型水体对 COD、DO 的垂向分布起着重要的作用。径流水体混合激烈，受人类活动的影响强烈，COD 高。外海高盐水受人类活动的影响小，COD 较低。来自径流的淡水和外海的高盐水均保持稳定和较高的 DO。

伶仃洋平均表层流向南海输送，底层陆架水则向伶仃洋内推进。由径流携带入河口的 COD 经过迁移和转化，逐渐形成表高底低的垂向分布。虎门至内伶仃岛水体的表层和中层受到淡水径流的影响强烈，COD 较为接近；底层则由于外海盐水的入侵，COD 显然小于表层的和中层的。内伶仃岛至万山列岛的中层和底层受盐水的影响明显增强，COD 较为接近，并且小于表层的 COD。另外，可能受底泥释放的影响，部分采样点底层 COD 大于中层的。

伶仃洋 DO 的变化受到多方面因素的影响。一方面从初级生产及大气复氧得到补充，另一方面因生物的呼吸作用、水体和底泥中有机物的分解以及水体的增温作用而被消耗。虽然水域表层 COD 较高，有机物分解需要消耗大量的 DO，但是除了淡水径流和潮流的补充外，植物光合作用和大气复氧作用强烈，DO 可以得到迅速的补充。底层 DO 需要靠表层向下输送和植物光合作用来补充。由于层型水体的形成，DO 丰富的表层水未能向底层输送；同时，由于底层光学条件差，也不利于浮游植物的光合作用。因此，当底层海水中有有机物分解消耗了大量 DO 后，被消耗的 DO 不易得到补充，氧消耗率远远大于补充率，底层的 DO 显著降低，层化现象比 COD 更明显。

2.3.3 底泥和再悬浮有机物的影响 底泥和再悬浮有机物的降解耗氧是造成底层水体 DO 低的主要原因^②。河流输运和浮游生物死亡沉降使得伶仃洋底泥中含有大量的有机物，在适宜的条件下还可再

悬浮到水体中。

处于悬浮和沉积状态的有机质残体的降解需要消耗大量 DO。伶仃洋现场耗氧实验表明，水体夏季的总平均耗氧率为 $55.8 \text{ mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，化学耗氧率占总耗氧率的 62%；而表层沉积物的总平均耗氧率为 $149.2 \text{ mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，其中平均化学耗氧率高达 $112.8 \text{ mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，化学耗氧占总耗氧的 75%，是水体化学耗氧率的 3.26 倍^[9]。这些结果反映了伶仃洋底泥和再悬浮有机物氧化、分解需要消耗更多的 DO。由于温密跃层的稳定存在，底层 DO 损耗后又得不到及时的补充，局部地区出现了浓度小于 $3 \text{ mg} / \text{L}$ 的缺氧现象。

3 结 论

夏季伶仃洋水域表层 COD、DO 高，底层的低，形成表高底低的垂向分层现象。根据其层次结构的特征，可分为上中高下低型、上高中下低型、上下高中低型。在珠江淡水、南海高盐水和太阳辐射的综合作用下，夏季伶仃洋水域形成稳定的温密跃层，水体出现层化，上层为盐度低密度小的冲淡水，下层被盐度高密度大的咸水所占据。水体层化是影响 COD、DO 垂向分布最主要的因素，而底泥和再悬浮有机物的降解耗氧是导致底层水体 DO 低的主要原因。

致谢：承香港科技大学海岸与大气研究中心提供部分监测数据，特此致谢。

参考文献:

[1] 赵焕庭. 珠江河口演变[M]. 北京: 海洋出版社, 1990. 6—11, 127—130.
[2] 唐锦萍, 林南芳, 黎绍佐, 等. 陆源污染物对珠江口水质的影响——珠江八大口门 10 年水质监测成果分析[J]. 人民珠江, 1996, 6(3): 35—41.
[3] 林洪瑛, 韩舞鹰. 珠江口伶仃洋枯水期十年前后的水质状况与评价[J]. 海洋环境科学, 2001, 20(2): 28—31.
[4] 逢勇, 李毓湘. 珠江三角洲污染物对东四口门通量影响分析[J]. 河海大学学报, 2001, 29(4): 50—55.
[5] 李绪录, 吴英霞. 夏季珠江口海区贫氧现象的初步分析//广东海岛调查研究文献集(1)[C]. 广州: 广东科技出版社, 1992: 10—16.
[6] 林洪瑛, 刘胜, 韩舞鹰. 珠江口底层海水季节性缺氧现象及其引发 CTB 的潜在威胁[J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(增刊): 25—29.

② 香港科技大学海岸与大气研究中心. 珠江河口设定断面海洋环境要素巡测报告//国家八六三计划项目验收报告. 2000. 11—12.

[7] 广东省海岸带和海涂资源综合调查大队,广东省海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室. 广东省海岸带和海涂资源综合调查报告[R] . 北京: 海洋出版社, 1987; 158— 184.

Vertical Distribution of COD and DO and Its Affecting Factors
in the Pearl River Estuary in Summer

LIN Wei qiang, LI Shi yu

(Institute of Environmental Sciences, Sun Yat-sen(Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The distribution of COD, DO, salinity and water temperature in the Pearl River Estuary were surveyed in the summer of 1999. The results indicated that the vertical concentrations of COD and DO has sharp stratification profiles in the mixing region of salt and fresh water. According to the vertical distribution characters, the hierarchy of COD and DO could be divided into three types. Freshwater inflow, saline intrusion and solar radiation are main factors causing, the steady pycnocline and epilimnion in the Estuary. The stratification of water body results in COD and DO stratification. The hypoxia in the bottom could be mainly caused by the degradation of organic matter resuspending from the bed mud.

Key words: COD; DO; stratification; the Pearl River Estuary