

国家重点基础研究发展计划项目
中国近海碳循环、调控机理及生态效应研究

项目编号：2009CB42120 0

研究简报

2012 年第 3 期 总第 21 期

项目办公室主编

2012 年 9 月 15 日

提 要

- 1、现场工作
- 2、会议组织
- 3、主要研究进展
- 4、后续主要工作概览

主题词：现场工作 会议组织 研究进展 后续工作

呈送：科技部基础司、科技部基础司管理中心、教育部科学技术司、国家海洋局科技司、科技部 973 计划咨询专家、依托单位科技处、承担单位科技处

抄送：项目专家组、首席科学家、各课题负责人及主要科研骨干

项目办公室

地址：厦门市大学路 182 号

近海海洋环境科学国家重点实验室（厦门大学）

电话：0592-2182833

项目网站：<http://973oceanarbon.xmu.edu.cn/>

邮编：361005

传真：0592-2184101

Email：cyli@xmu.edu.cn

1、现场工作

1.1 CHOICE -C 2012 年夏季过程航次

2012年7月29日-8月21日，由厦门大学、香港科技大学、国家海洋局第三海洋研究所、广州地球化学研究所四家单位联合组织2012年夏季南海过程航次。参与本航次的有82位科考队员，调查项目包括物理、水化学、生物、颗粒物、光化学、拖网、沉积物等。航次期间共实施78个站，下放273次Cast，其中水文站15个，水化学站位63个（包括连续站位3个：SEATS、D001和三亚湾鹿回头半岛附近），共采集87份样品；其中SEATS和D001站水化学、浮游植物湍流、ADCP做了24小时的连续观测（水化学每3小时，湍流每2小时）；三亚湾做了24小时的连续观测（每3小时）。SEATS站做了99层的剖面采样。航次站位及航次图见图1。

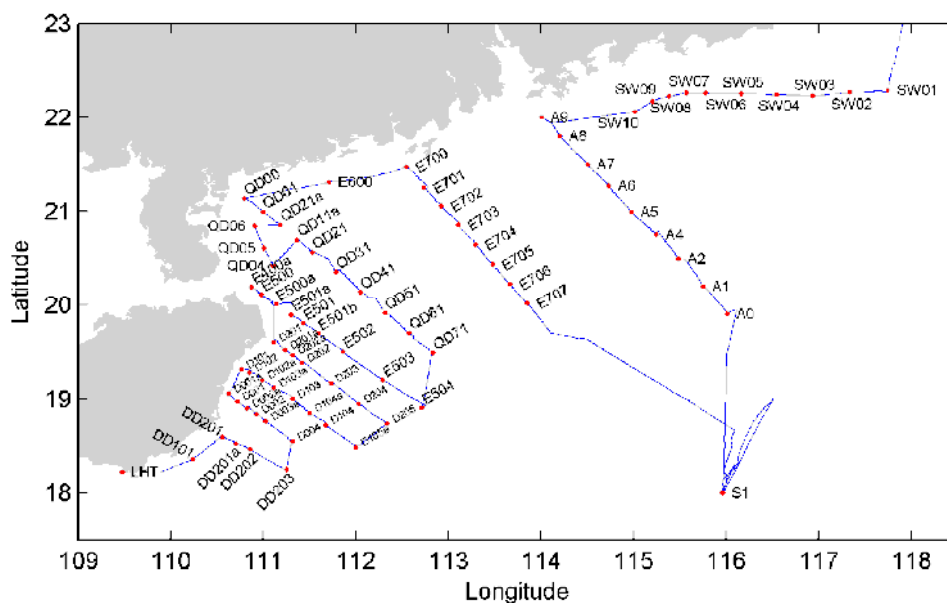


图 1. 2012 年 8 月夏季南海北部航次调查站位航迹图

1.2 珠江口 2012 年夏季航次

厦门大学与香港科技大学、广州市香港科大霍英东研究院联合组织了2012年珠江口夏季航次（2012年7月24日-8月12日）。调查区域位于珠江口北纬21.8°E-23.2°E，东经113°N-114.2°N范围内，共设置了P, A, F1, F2, F3, F4,

F5, F6等8个纵断面和B, C, L三个横断面。因为航次调查前夕(7月24日), 恰逢台风“韦森特”在珠江口西测登陆。受其影响, 为了解台风过境对珠江口下游缺氧区的影响, 在珠江口下游进行了前后(时间间隔大约1周)2次重复调查, 这样航次的实际调查站位共85个(其中不重复站位61个)。并设置了T站(坐标与F414站位相同)作为定点观测站(ADCP每分钟读取一个数据, CTD每三小时测量和采样一次, 共进行5天), 累计采样层位339层。具体站位设置见图2。

航次主要观测参数包括温度、盐度、深度、溶解氧、浊度、和海流(站位定点测量及走航测量)等基本水文参数和溶解无机碳(DIC)、总碱度(TA)、溶解氧(DO)、pH、DOC、颗粒有机碳(POC)、营养盐、叶绿素(Chl a)等基本水化学/生物参数, 以及风速、风向, 气温, 湿度, 气压等气象参数, 并在选择站位做了光合作用、呼吸作用、细菌生产力、硝化/反硝化作用等生物化学过程研究。测定工作已基本完成。

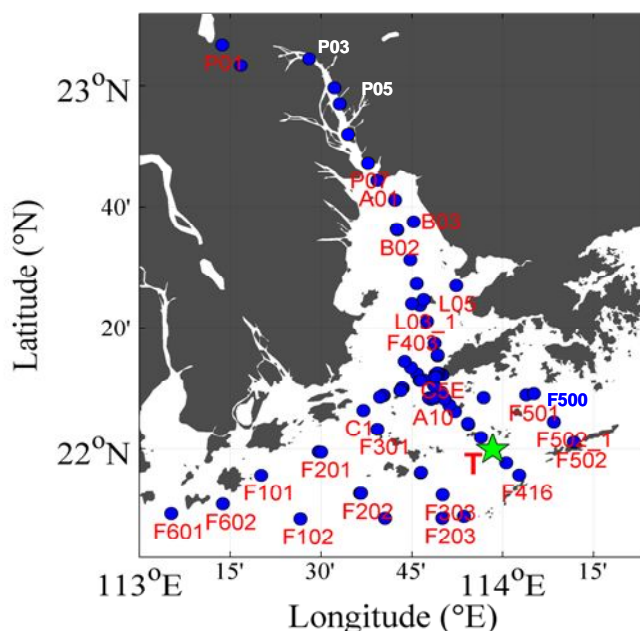


图 2 2012 年夏季珠江口航次调查站位

1.3 东海 10 米大浮标布放与校验航次

2012 年 7 月 28 日, 厦门大学成功将 CO_2 监测浮标布放于离岸约 300 公里的东海外陆架海域 (124.5°E , 31°N) (图 B)。迄今为止, 这是我国布放离岸最远的 CO_2 监测浮标。现场数据校验结果显示, 浮标 CO_2 数据与船载观测数据高度一致,

其它相关参数的观测结果与船载观测结果基本相符，表明东海外陆架CO₂监测浮标系统运行正常，数据可靠。

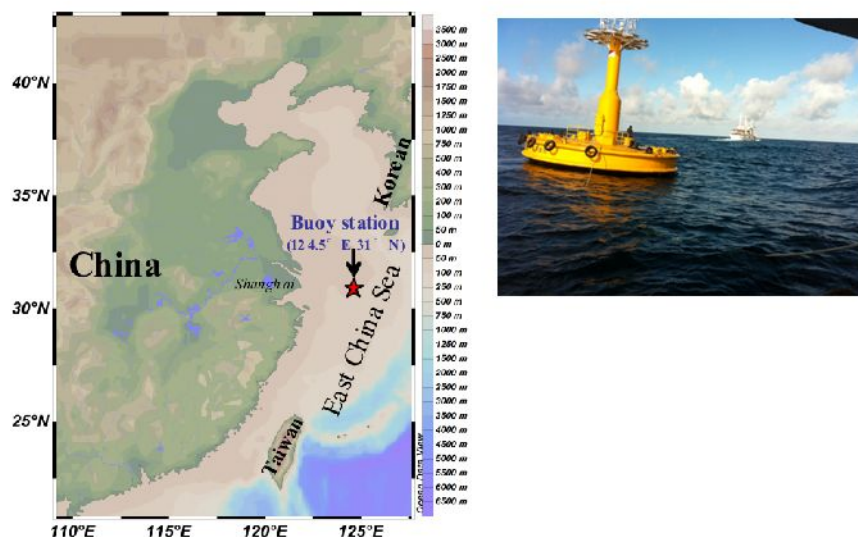


图 3. 厦门大学 MEL-SMMC CO₂-A 浮标地理位置图 (124.5°E, 31°N)

1.4 跨陆架输运补充航次

国家海洋局第三海洋研究所于 2012 夏季实施了跨陆架输运航次补充航次。为研究南海北部陆架坡折沿线跨陆架水平输送，以利碳通量估算，国家海洋局第三海洋研究所于 2011 独立组织了南海北部陆架区典型断面跨陆架输送的观测航次。通过对 2011 年观测结果分析，确定了跨陆架输运最为明显的区域，并于 2012 年 6 月 5 日-6 月 15 日针对 2011 年春季航次中重点断面 (图 4) 进行了多日走航观测和定点海流观测，分析观测区域水体输运季节变化特征观测。

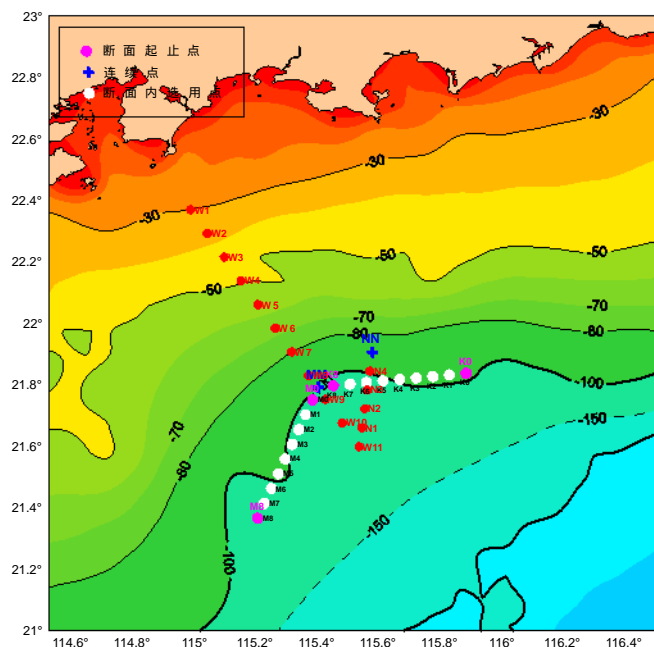


图 4. 2012 年夏季跨陆架运输补充航次站位图

2、会议组织

围绕项目科学目标，在首席科学家戴民汉教授的倡议和推动下，以深化对相关科学问题的理解和认识为目的，以 task team 为组织形式，在 5-8 月间，召开了若干跨课题的学术研讨会。它们分别是

(1) 海洋酸化效应与模拟实验

5 月 16 日，课题一负责人戴民汉教授和课题七负责人高坤山教授召集课题一、课题四和课题七的研究人员召开海洋酸化效应与模拟实验的研讨会。

(2) “生物泵效率与输出生产力关系”研讨会

6 月 24 日，课题三负责人蔡平河教授、研究骨干黄邦钦教授、课题二孙军研究员召集课题三、二、一的研究人员召开了“生物泵效率与输出生产力关系”研讨会。

(3) 中国海跨陆架运输研讨会

6 月 23 日，课题五负责人郭小钢研究员和课题八负责人甘剑平召集了此次会议，课题五、八、一、四研究人员参与研讨。随着 973 项目研究和调查工作的深入开展，这些课题组已陆续获取一些研究结果，尤其是在跨陆架物质运输的研

研究和调查工作有了一定的进展和成果，因此，该研讨会主题是跨陆架输运动力学和碳输运，目的在于交流各课题组与此相关的研究成果并进行交叉和集成，围绕本项目的目标，探讨后续的研究与调查工作，特别是成果集成的具体事宜。

(4) 陆源碳输入及其对边缘海碳循环的作用

6月29日，课题四负责人翟惟东博士、研究骨干王旭晨教授召集了陆源碳输入及其对边缘海碳循环的作用，会议目的是检讨研究任务的进展，2012年度的科学问题凝练与认识提升；会议共计进行了10个口头报告，从珠江口、长江口、河水冲淡水等多个陆源输入的端口讨论了其对边缘海碳循环的作用和影响。

3、主要研究进展

3.1 珊瑚海水 ^{11}B 存在明显的周日变化

通过对三亚鹿回头珊瑚礁持续观测采集的海水样品进行硼同位素组成分析，发现珊瑚海水 ^{11}B 存在明显的周日变化，其中白天 ^{11}B 较高而晚上相对较低， ^{11}B 日变化幅度达到 2‰ (图 4)。这些海水 ^{11}B 变化和 pH 存在明显的正相关 (图 5)，意味着这些海水的硼同位素组成主要受珊瑚礁生物活动的光合作用呼吸作用控制：光合作用生成有机质优先结合 ^{10}B ，导致海水 ^{11}B ；而呼吸作用消耗有机质，释放出较多的 ^{10}B ，导致海水 ^{11}B 降低。虽然存在大幅度的周日变化，但日平均的 ^{11}B 变化却非常小： $38.6 \pm 0.2\text{‰}$ ，对于时间尺度在月、季节及年际的海水 pH 重建研究并不会产生明显的偏差。这一发现对更好了解海水-生物成因碳酸盐硼同位素体系的变化机制，以及更准确重建海水 pH 演变记录均具有重要意义。

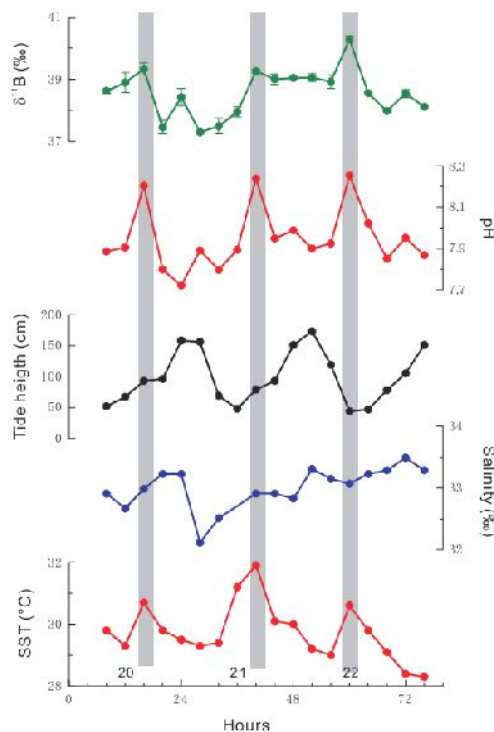


图 4. 三亚鹿回头珊瑚礁海水 $\delta^{11}\text{B}$ 、pH 及温度、盐度的周日变化

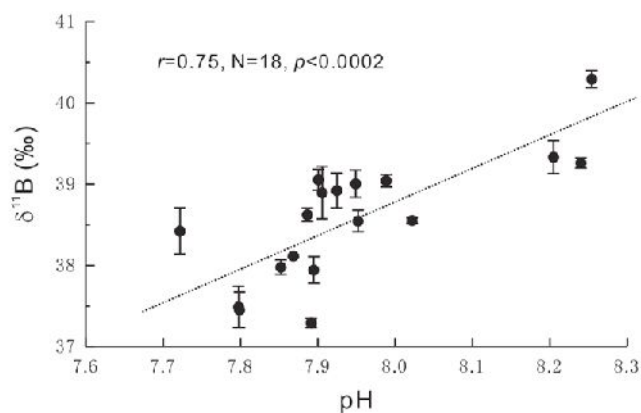


图 5. 鹿回头珊瑚礁海水 $\delta^{11}\text{B}$ 与 pH 的对应关系

3.2 珊瑚年分辨率的 ^{11}B 组成

测试了取自海南岛东部滨珊瑚年分辨率的 ^{11}B 组成，构建过去 150 年来 ^{11}B 变化时间序列（图 6）。该序列可用于构建该区珊瑚礁海水的过去 150 年以来的 pH 值变化记录。结果显示，过去 150 年以来珊瑚 ^{11}B 组成主要呈现周期性波动，上世纪 30 年代以来波动的幅度有所增大，而这些波动的低 ^{11}B 值则

呈现出逐渐下降的趋势，和 ^{13}C 展现的受人类排放 CO_2 增加而持续降低趋势（Suess 效应）相一致，可能代表该区过去 150 年以来的海洋酸化趋势。

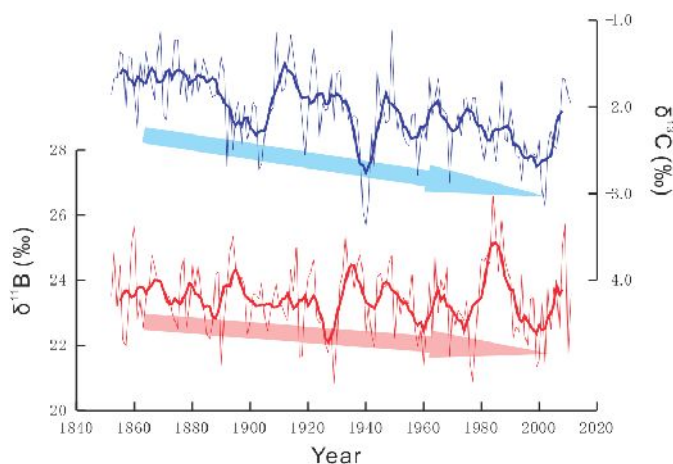


图 6. 海南岛东部滨珊瑚最近 150 年以来 $\delta^{11}\text{B}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 变化

这些 $\delta^{11}\text{B}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 波动均呈现同样的主要的周期 (~ 15 年) (图 7)，这一周期与季风活动的主要周期相吻合，意味着珊瑚礁海水的 pH 变化受区域气候演变的影响。这一结果与澳大利亚大礁过去 200 多年来的海水 pH 变化特征相似。再一次验证了区域气候变化对海水 pH 变化存在影响的假设。

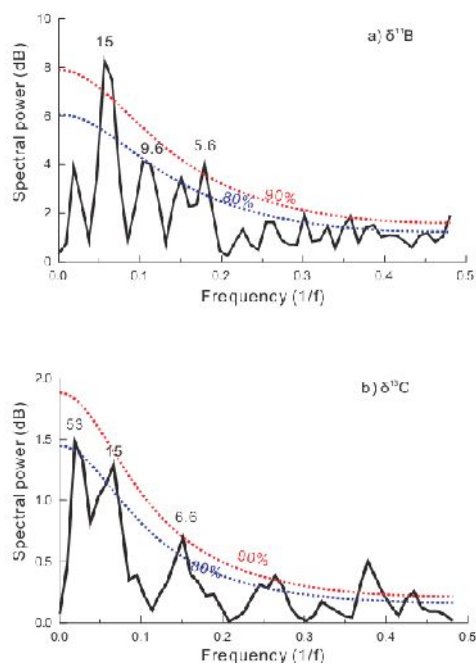


图 7. 海南岛东部滨珊瑚 $\delta^{11}\text{B}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化周期

3.3 碳埋藏记录

珠江口外 A 断面的系列沉积物岩芯的碳埋藏量呈现相同的变化趋势 (图 8), 除离岸最远的 A5 站沉积物岩芯外, 自 1970 年代以来均呈现显著的增加趋势, 可能与人类活动的影响逐渐加剧导致陆源营养物质持续增加有关。与此同时, 这些岩芯的甾醇比例 29^A:28^A(22,24:28) 和 30^A:28^A(22,24:28) 除最近岸的 A9 站外, 均出现持续增加的趋势 (图 9), 意味着珠江口外浮游植物的种群结构自 940 年代以来逐渐向硅藻相对减少的方向变化, 这可能会对有机碳的埋藏效率产生影响。

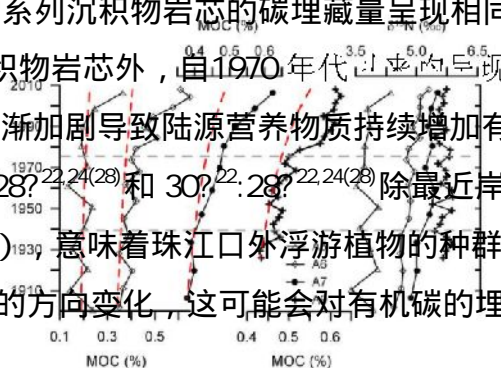


图 8. A 断面沉积物岩芯有机碳埋藏量的变化

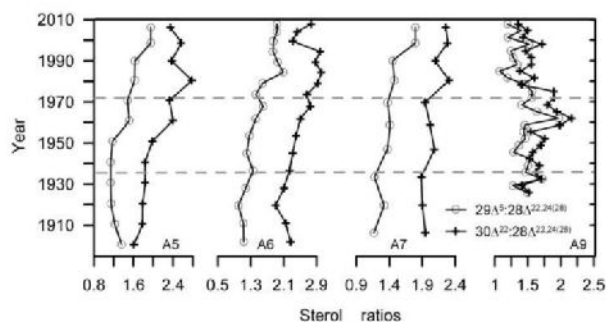


图 9. A 断面沉积物岩芯甾醇比例变化

3.4 藻类光合固碳与酸化的关系

随着大气 CO_2 浓度升高, 海水 pCO_2 升高和 pH 下降是同时存在的两种环境变化。酸性的增加可能会导致光合生物生理调节机制的变化 (如营养代谢、细胞膜氧化还原与膜蛋白、电子传递等), 引起负面效应。因此, 海洋酸化究竟会导致浮游植物固碳量增加还是减少, 取决于酸化与 CO_2 浓度升高效应的平衡。近期研究显示, 室内受控条件下, 硅藻三角褐指藻, 适应酸化后, 生长和光合速率分别提高了 5.2% 和 10.8% (正面效应); 同时, 呼吸速率增加了 34.4%, 且在强光下其电子传递速率表现出较高的光抑制 (负面效应)。南海陆架与外海浮游植物群落模拟的海洋酸化状态下, NPOQ 明显升高, 显示酸性增加降低了表层浮游植物群落的固碳量, 增加了其光胁迫 (耐受高光的能力下降)。另外, 对另外一种硅藻假微型海链藻的研究发现, 适应酸化的细胞生长速率却明显下降。对同一品系的研究 (培养光强不同), 却显示酸化对生长没有影响。对几种硅藻的研究结果显

示，适应酸化过程中，其光合作用对 CO_2 的亲合力均明显下降， HCO_3^- 或 CO_2 的主动运输能力降低，表明其无机碳浓缩机制（CCM）被明显下调（活性下降）（图 46）。绿藻中也发现同样的现象，CCM被下调的同时，光呼吸速率增大。这些结果发表在2012 Plant Physiol., Mar. Environ. Res.

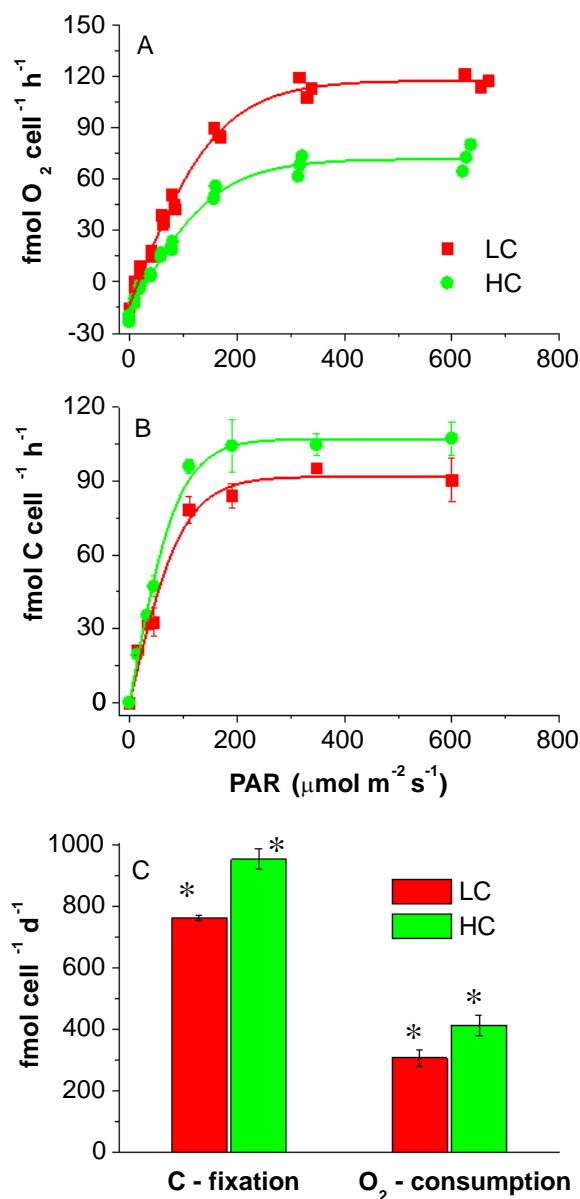


图10. Photosynthetic oxygen evolution (A) and carbon fixation (B) rates in the diatom *Thalassiosira pseudonana* (CCMP 1335) grown at ambient ($390 \mu\text{atm}$, LC, blue) or elevated CO_2 ($1000 \mu\text{atm}$, HC, red). Comparative C fixation and O_2 consumption are shown in (C)

35 藻类钙化固碳与酸化的关系

颗石藻是海洋中最重要的钙化生物类群之一,也是主要的初级生产者,同时进行光合与钙化两种固碳作用(分别是碳汇和碳源过程),在海洋碳循环中起着重要作用。该藻类的这两种固碳作用,如何响应海洋酸化及UV辐射,在全球变化生物学及海洋科学领域,倍受关注。为此,以颗石藻中分布最普遍的赫氏颗石藻(*Emiliania huxleyi*)为研究材料,探讨了该藻钙化作用的生理,研究了海洋酸化和UV辐射对其固碳作用的单一及其耦合效应。发现 1) 适应低钙浓度(LCa, 0.1 mM)的 *E. huxleyi*(CS-369) 细胞,与在正常(HCa, 10mM) 钙浓度下生长的细胞相比,其钙化量下降的同时,伴随着光系统热耗散(NPQ) 的同步降低。通过 *E. huxleyi* 的非钙化(失去钙化能力的) 品系(CCMP1516 和 CCMP2090) 进一步验证的结果证明:颗石藻的钙化作用与光合作用紧密关联;钙化作用起着促进热耗散与光保护的作用,这种作用在强光胁迫的条件下尤其明显。2) CO₂升高导致的海水酸化,降低了 *E. huxleyi* 的生长、钙化作用和C/P 比值(钙化与光合固碳量比)。UV 辐射促进了 *E. huxleyi* 的钙化作用,但降低了生长和光合作用。在只有可见光时酸化促进光合作用,而UV 辐射存在时酸化对光合作用没有显著影响。酸化还导致 *E. huxleyi* 正常颗石片数量降低,并降低了其NPQ, 进而导致细胞对UV 辐射更加敏感。航次原位研究发现,无论长期还是短期的酸化,都导致浮游植物群落的钙化速率和C/P 比值降低,而对光合固碳的影响没有统一趋势。另外,酸化导致浮游植物种群结构发生变化。

36 中国海环流模型建立完成

结合航次的物理及生物地球化学现场数据,在课题前三个计划年度中发展建立的中国边缘海的物理环流模型的基础上,进一步对模型过程参数进行优化,提高模型模拟的准确度。通过优化边界条件、潮汐方案等使模拟结果更接近观测值。目前,中国海环流模型的40年气候态模拟,以及从1988年至今的真实模拟均已完成,相关的动力机制分析也已全面展开。

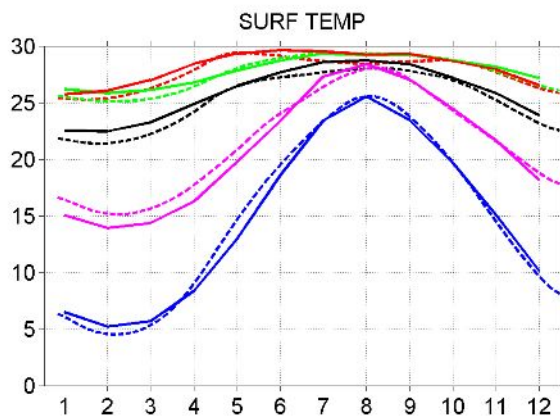


图 11.不同海域的海表温度模型与观测值对比。其中蓝色线代表黄渤海，粉色线代表东海，红色线代表南海，绿色线代表西太平洋，黑色线代表整个模型区域平均。实线代表观测值，虚线代表模拟值。

东海沿岸上升流过程对风和地形作用的响应的研究也上一年度工作的基础上完成。通过现场观测和三维环流数值模型，我们针对在东南季风影响下的夏季浙江外海及长江口海区出现冷水涌升现象进行研究，揭示了其形成、演变过程及相关的动力机制。

我们从现场调查出发，运用三维数值模型再现了东海沿岸的上升流过程，发现了风生沿岸流对海底地形的响应是重要的控制因子，岸线走向以及地形特征很大程度上决定了东海沿岸上升流的强度及涌升位置。

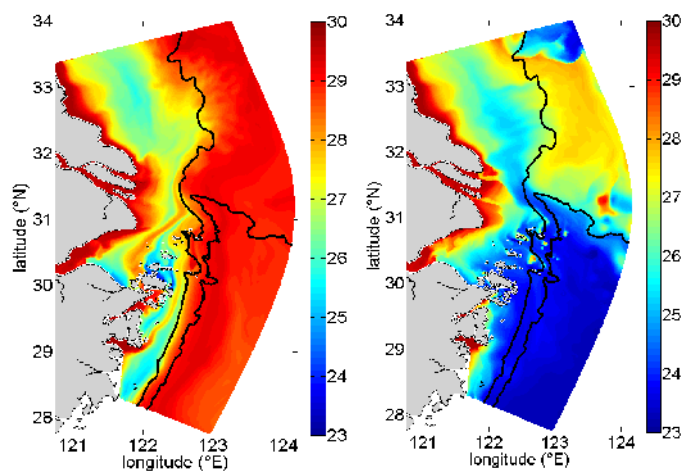


图 12.(a) 表层和 (b) 底层日平均温度分布。黑色粗线代表 30m 和 50m 等深线

我们还首次完成了对南海北部冬季下降流的形成过程和动力学机制的模型研究。利用三维数值模型，通过对理想化广阔陆架上的位涡及动量平衡的研究分

析，我们导出了该区域独特的动力学机制。本研究揭示了在扩阔陆架上出现下降流出现时，落坡输送被强化的动力原因。

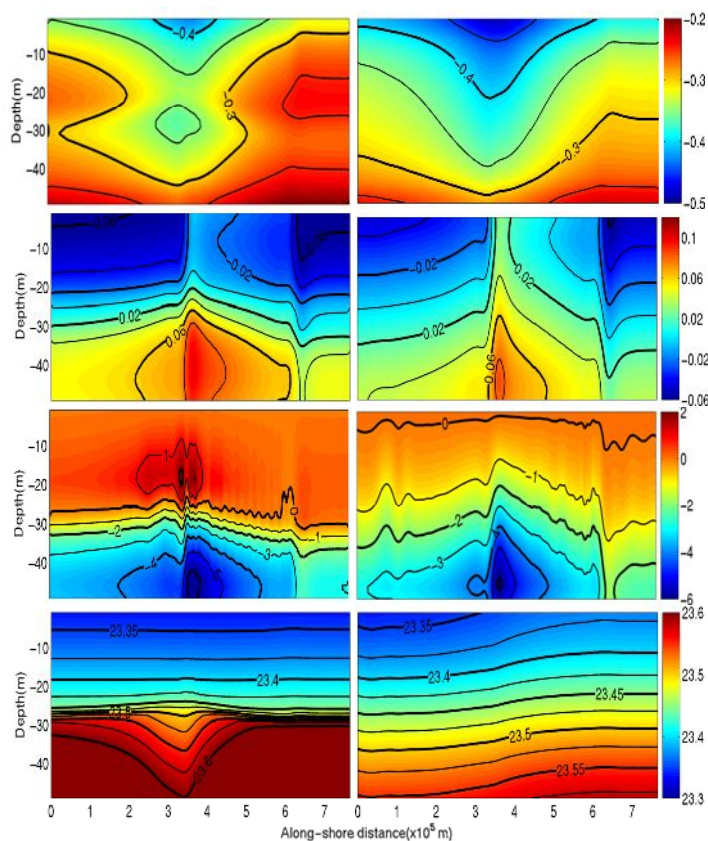


图 13. 沿着（第 1 行）及垂直于（第 2 行）50m 等深线的速度 (m s^{-1}) 及垂向速度 (10^{-5}m s^{-1} ，第 3 行)，第 4 行是沿 50m 等深线水柱 $\text{st} (\text{kg m}^{-3})$ 。左列为第 5 天，右列为第 15 天。

37 基于中国海多时空尺度环流模型的应用开发

中国海环流模型的建立完成为该海域的动力学机制数值模拟分析奠定了良好的基础及提供了强有力而便利的工具。我们在中国海环流模型的基础上进行二次开发，结合现场观测和动力模拟分析，有针对性地对陆坡和近岸海湾的水动力机制和响应过程开展了研究。目的是研究陆坡环流动力学机制及其在南海环流中的角色，以及近岸海湾在沿岸流和潮汐的影响下的动力过程，同时研究这些海域的生物地球化学过程对不同物理动力学机制的响应。目前研究已取得阶段性进展。我们发现南海常年存在沿 1000–2000m 等深线的由东向西再向南方向的陆坡环流，伴随陆坡环流产生的垂向运动是南海表层水与深层水交换的主要动力机制。大鹏湾在西南风及沿岸流的影响下，陆架底层水进入湾内后，形成逆时针方向环流，同时在湾入口处产生涌升，形成一条高盐低温水带，将湾内表层水合湾

外珠江冲淡水隔离开来。

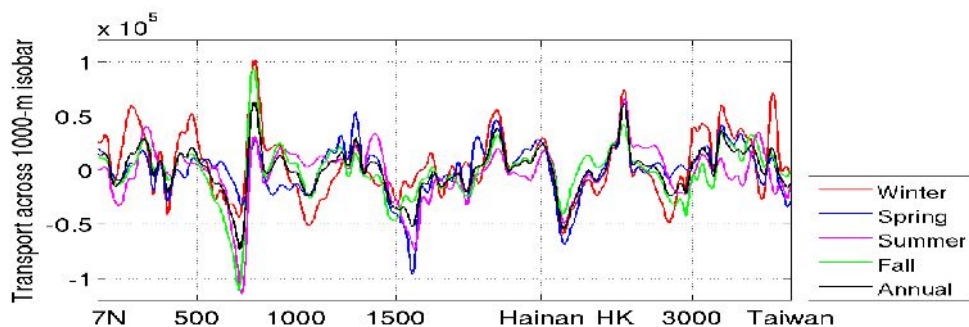


图 14. 沿南海 1000m 等深线的跨陆坡水运输的季节变化

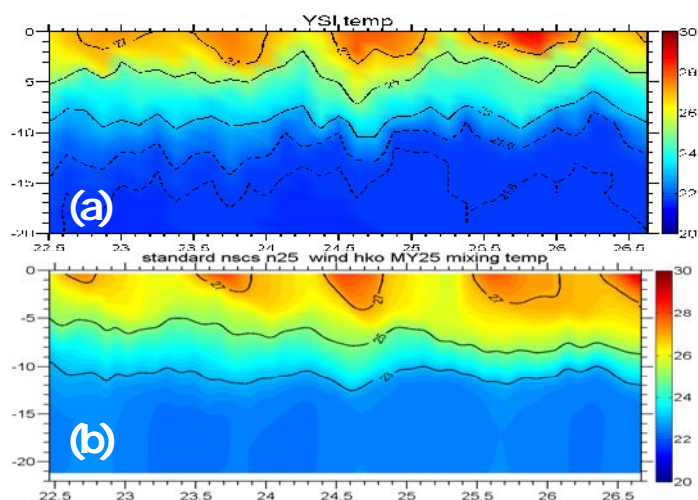


图 15. 大鹏湾时间序列站的 (a) 观测和 (b) 模拟温度变化

38 非线性 Rossby 涡旋穿透南海研究

通过对航次现场 CTD 及 ADCP 观测数据分析，结合卫星高度计和 ARGO 浮标的剖面数据，我们找到了非线性 Rossby 涡 (NREs) 穿透黑潮和吕宋海峡并进入南海的证据。2010 年 1 月的航次观测发现，吕宋海峡以西的次表层水存在一个高盐水柱。该高盐水柱位于 21°N ， 118°E ，盐度高于 34.8。该水柱的特征非常接近西北太平洋 (NWP) 水。伴随此高盐水柱还存在一个直径约为 150km 的反气旋涡。卫星高度计和 ARGO 浮标的时间序列数据显示该反气旋涡由 NWP 西向传输的 NRE 形成，并以约 0.6ms^{-1} 的数独穿过吕宋海峡。

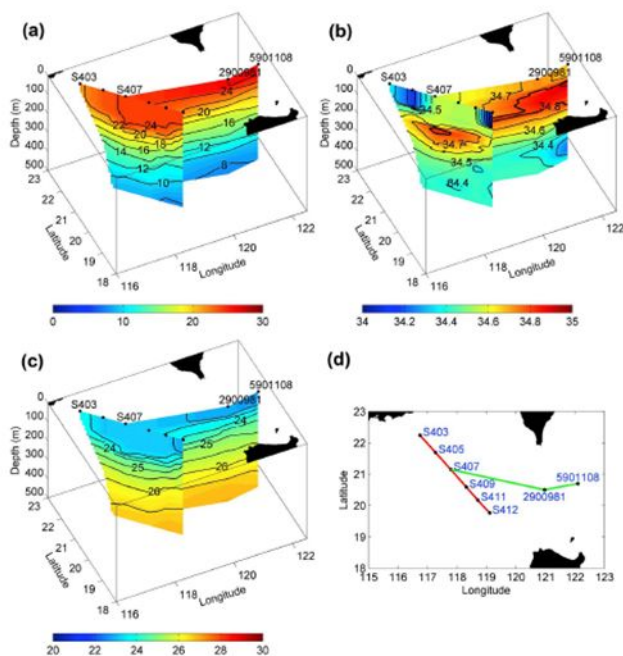


图 16. (a) 温度，(b) 盐度及(c) 位密度分布在(d) 两个断面的分布

4、后续主要工作概览

表 1 项目层面重大事项概览表

| | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May. | Jun. | Jul. | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. |
|------|----------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|---------|------|---------------------------|------|---|---------|----------------------------------|
| 2009 | | International workshop | | | Cruise planning meeting | | | Cruise1 | | Cruise report & planning annual meeting | | Cruise 2 |
| 2010 | Cruise 2 | | Cruise report & planning meeting | | | | | Mid-term summary workshop | | | Cruise3 | |
| 2011 | | Cruise report & planning meeting | | International workshop | | Cruise4 | | | | | | Cruise report & planning meeting |
| 2012 | | | | | | | | Process Cruise | | | | Annual meeting |
| 2013 | | | | | 结题验收预备会议 | | | | | | | Final review |

We're here!

后续主要工作如表 1 所示。