

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 1 期 总第 19 期

项目办公室主编

2012 年 3 月 15 日

提 要

- 1、主要研究进展
- 2、后续主要工作概览

主题词：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://973oceancarbon.xmu.edu.cn/>

邮编：361005

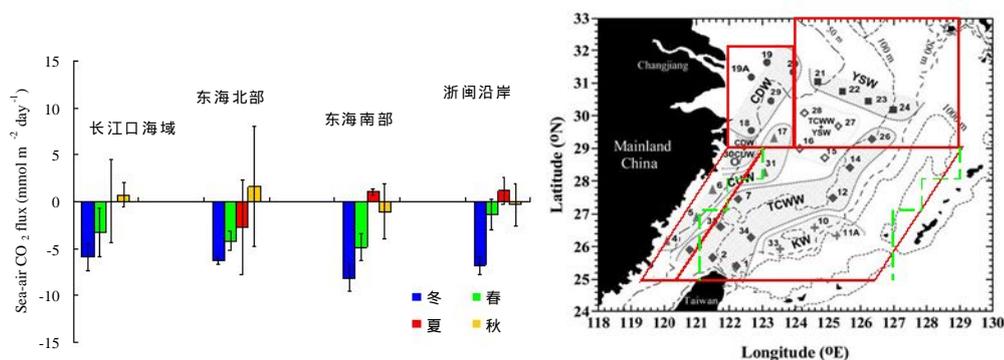
传真：0592-2184101

Email：cyli@xmu.edu.cn

1、主要研究进展

1.1 初步得出东海碳通量时空变化格局

将东海分成4个区域，分别为长江口、东海北部、东海南部和浙闽沿岸（经纬度划分见图6）。集成多年历史数据（2003-2009年），东海常年是大气CO₂的汇，分别为长江口63±74万吨/年、东海北部150±170万吨/年、东海南部390±190万吨/年、浙闽沿岸-37±32万吨/年（“-”代表吸收）。东海全年平均吸收大气的量为640±460万吨。



| | 纬度范围 | 经度范围 | 面积 (km ²) | 季节 | | | | 全年平均 (t yr ⁻¹) |
|------|-----------|----------------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|-------------------------------|
| | | | | 冬季 | 春季 | 夏季 | 秋季 | |
| 长江口 | 29°N-32°N | 122°E-124°E | 7万 | -5.9±1.4 | -3.3±2.6 | 0.0±4.4 | 0.7±1.3 | -63±74万 |
| 东海北部 | 29°N-33°N | 124°E-129°E | 11万 | -6.3±0.5 | -4.2±1.1 | -2.7±5.1 | 1.6±6.5 | -150±170万 |
| 东海南部 | 25°N-29°N | 120°20'E-129°E | 28万 | -8.2±1.5 | -4.9±1.5 | 1.1±0.4 | -1.0±3.0 | -390±190万 |
| 浙闽沿岸 | 25°N-29°N | 119°20'E-123°E | 4.5万 | -6.8±1.0 | -1.4±1.7 | 1.2±1.5 | -0.3±2.3 | -37±32万 |
| 合计 | | | 51万 | -7.3±1.2 | -4.2±1.6 | 0.1±2.1 | -0.1±3.5 | -640±460万 |

图 1.东海碳通量时空变化格局

根据 CHOICE-C 六个综合性大航次（2008-2012年）数据集成分析，发现东海常年表现为大气 CO₂的汇，量级略有差异，分别为长江口-112±106万吨/年、东海北部-245±221万吨/年、东海南部-163±317万吨/年、浙闽沿岸-65±137。全年平均东海吸收大气 CO₂的量为 567±1310万吨/年。

表 1. 2008 -2012 年东海 CO₂ 通量

| | 纬度 | 经度 | 面积 (10 ⁴ km ²) | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 | 全年 平均 (10 ⁴ t yr ⁻¹) |
|-------|------------|------------|--|--------------------------------------|----------|----------|----------|---|
| | 范围 (°N) | 范围 (°E) | | mmol m ⁻² d ⁻¹ | | | | |
| 长江口 | 29-32 | 122-124 | 7 | -2.7±1.2 | -4.2±2.2 | 0.7±1.8 | -3.5±2.0 | -112±106 |
| 东海北部 | 29-33 | 124-129 | 11 | -1.2±0.6 | -2.2±1.5 | -0.6±1.6 | -3.3±1.3 | -245±221 |
| 东海南部 | 25-29 | 120.3-129 | 28 | -0.9±0.6 | -0.1±2.6 | -3.8±0.7 | -3.5±1.1 | -163±317 |
| 浙闽沿岸 | 25-29 | 119.3-123 | 4.5 | -0.9±1.1 | -0.7±2.2 | -1.2±1.7 | -3.2±1.1 | -65±137 |
| 合计或平均 | - | - | 51 | -1.2±1.5 | -1.4±3.0 | -1.7±2.1 | -3.4±2.2 | -567±1310 |

1.2 海-气界面 CO₂ 通量估算方法研究进展

目前研究发现,用涡动相关法观测到的海-气界面 CO₂ 通量较 CO₂ 分压差法的结果大 1~2 个量级。通过南海海上平台 (111.4°E, 21.44°N) 的观测资料发现,其差异的来源主要是水汽-CO₂ 之间的交叉感应。为了消除该因素的误差影响,对 CO₂ 能谱做了分析,发现在水汽-CO₂ 之间的交叉感应影响下,其能谱满足-2.5 指数率,而非各向同性湍流特征下的-5/3 指数率特征。基于此种特征结构,提出了一种通过惯性耗散法给定海-气界面 CO₂ 通量的方法,经检验,该方法可以较好的消除水汽-CO₂ 交叉感应带来的误差,给出更准确的观测结果。

通过连续通量观测数据分析了南海海洋观测平台海域的源汇分布,未加修正的结果与三种修正后的结果大体相当,没有量级的差异,研究海域总体上是大气 CO₂ 的汇;从季节分布来看,未加修正的结果似乎更为合理。

1.3 大气及海水 pCO₂ 遥感反演的精度评价

为全面验证海-气 CO₂ 通量遥感产品的可靠性,我们用近几年中国近海现场走航 pCO₂ 数据对遥感 pCO₂ 数据进行了验证。走航观测的具体时间及测量航线如图 2 所示。

图 3 所示为对大气 CO₂ 的验证结果。可以看出,模式大气 CO₂ 分压与走航观测值相比,其绝对平均误差一般小于 10 atm。图 4 所示为对海水 pCO₂ 的验证结果。可以看出,遥感海水 CO₂ 分压与走航海水 CO₂ 分压在空间变化上具有较好的一致性。但由于系统制作的海水 CO₂ 分压为月平均产品,而走航海水 CO₂ 分压为某一时刻的数据,两者在时间尺度上存在差异,导致在数值上存在偏差,需要进一步进行更短时间尺度遥感产品(如天产品)的比对检验。

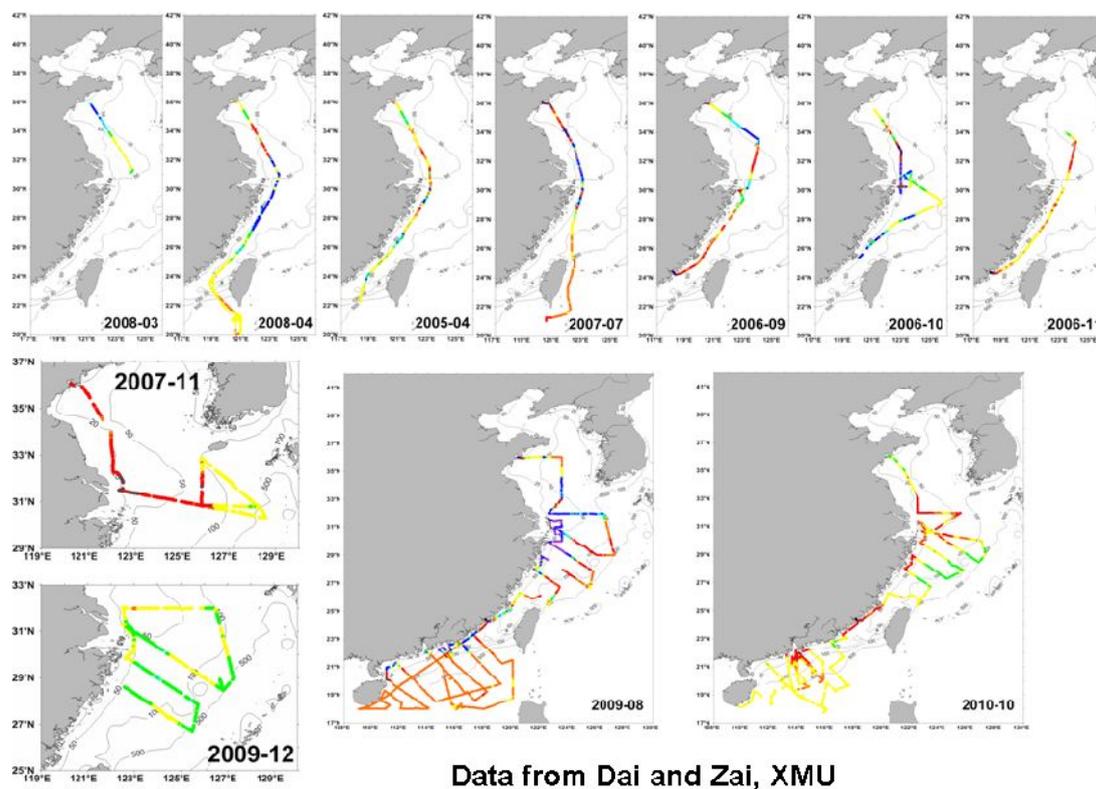


图 2. 中国近海表层海水现场走航 $p\text{CO}_2$ 数据

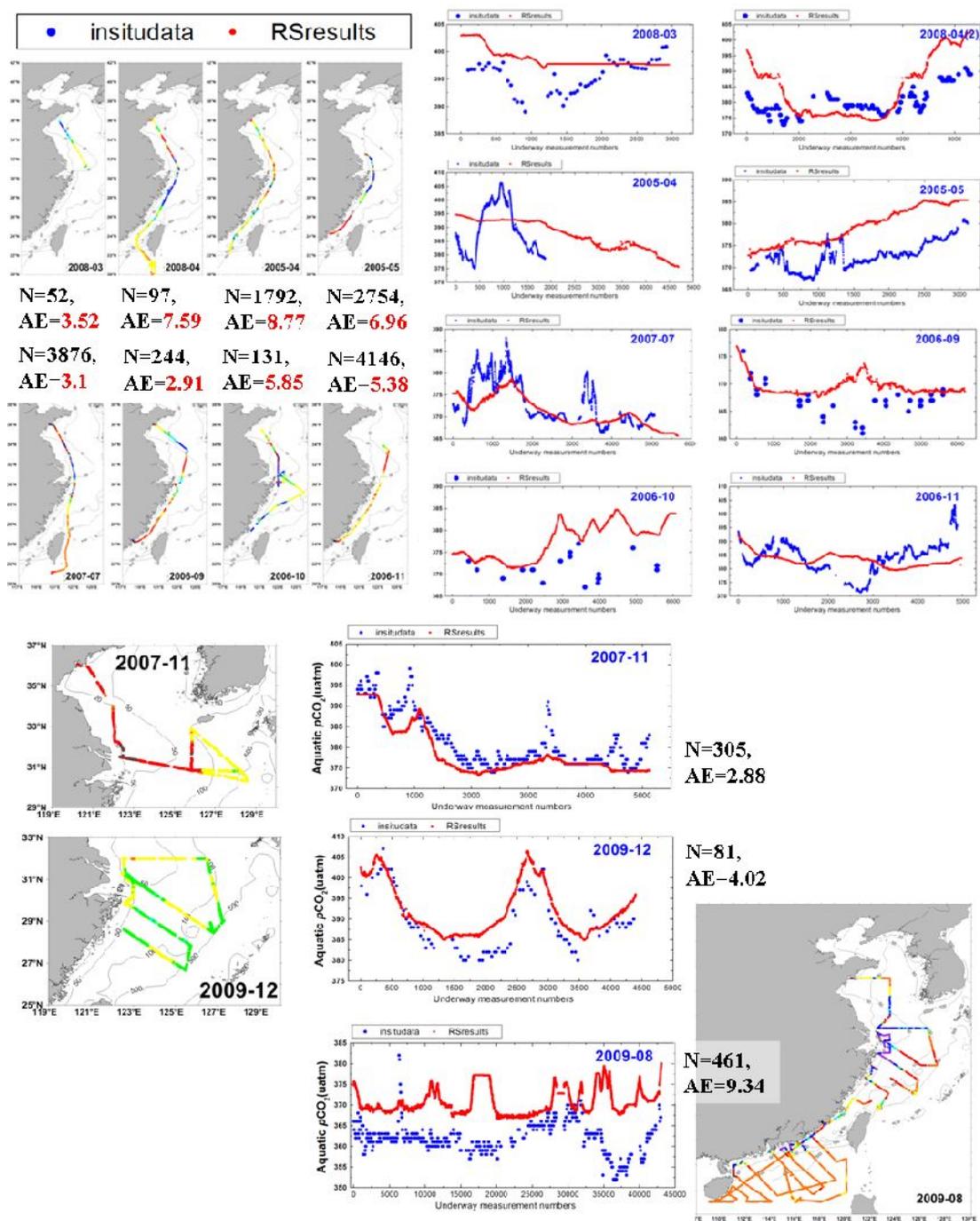


图 3. 模式月平均大气 CO₂ 分压与现场走航大气 CO₂ 分压的比较

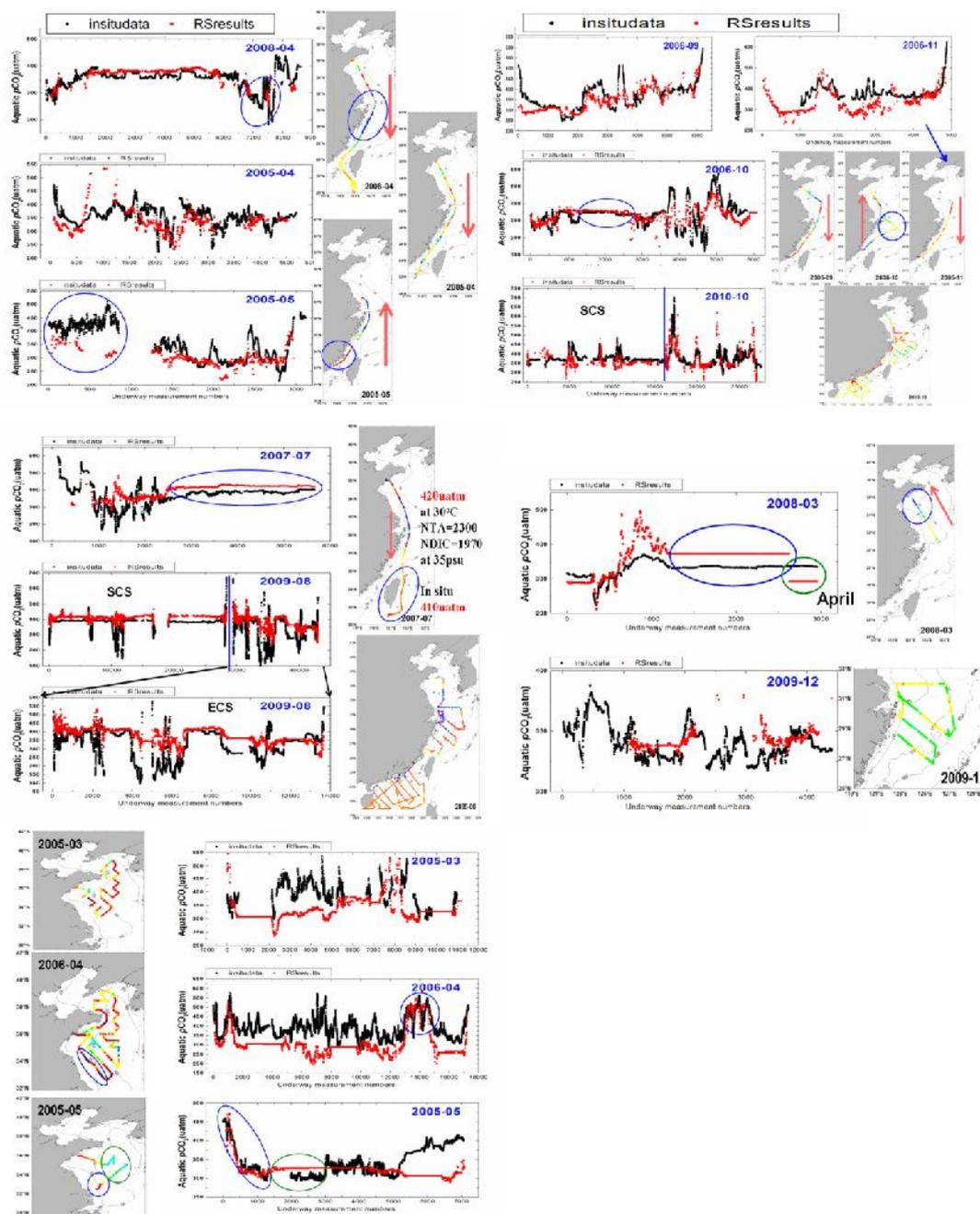


图 4. 遥感月平均海水 CO₂ 分压与现场走航海水 CO₂ 分压的比较

1.4 遥感反演的中国近海海-气 CO₂ 通量的季节及年际变化分析

基于 pCO_{2sw} 半分析遥感模型对中国近海海气 CO₂ 通量进行了反演，研究范围为 100-130°E，0-41°N，空间分辨率为 1 分(约 1.8km)，时间分辨率为月平均尺度。初步结果简述如下。

(1) 中国邻近海域大气 CO₂ 分压气候态季节分布

图 5 所示为 2003-2009 年气候态中国邻近海域大气 CO₂ 分压分布图。在空间

上,渤、黄海的大气 CO_2 分压最高,东海次之,而南海最低。总体呈现近岸高,远海低的趋势,随着离岸距离增加,大气 CO_2 分压逐渐减低。在季节上,冬半年明显高于夏半年,2月份为全年最高值,而8月份为全年最低值。

(2) 中国邻近海域海水 CO_2 分压气候态季节分布

图6为2003-2009年气候态中国邻近海域海水 CO_2 分压分布图,主要反映了在海陆水平混合作用(包含热力学影响)及生物作用影响下海水 CO_2 分压的分布状况。近岸区域由于陆源作用的影响, $p\text{CO}_2$ 较高,基本沿着岸线分布,渤海海域及秋冬季苏北浅滩水舌也呈现较高的 $p\text{CO}_2$ 。东海陆架和南海海区受温度的控制作用较大,冬季水温较低时 $p\text{CO}_2$ 较低,随着温度的升高, $p\text{CO}_2$ 逐渐升高;夏季陆架和海盆区域 $p\text{CO}_2$ 达到最高值。生物作用主要体现在长江冲淡水区域、黄海中部地区、南海北部陆架以及台湾海峡部分区域,因此,春季和夏季这些区域生物活动较强,光合作用显著降低了海水的 $p\text{CO}_2$ 。

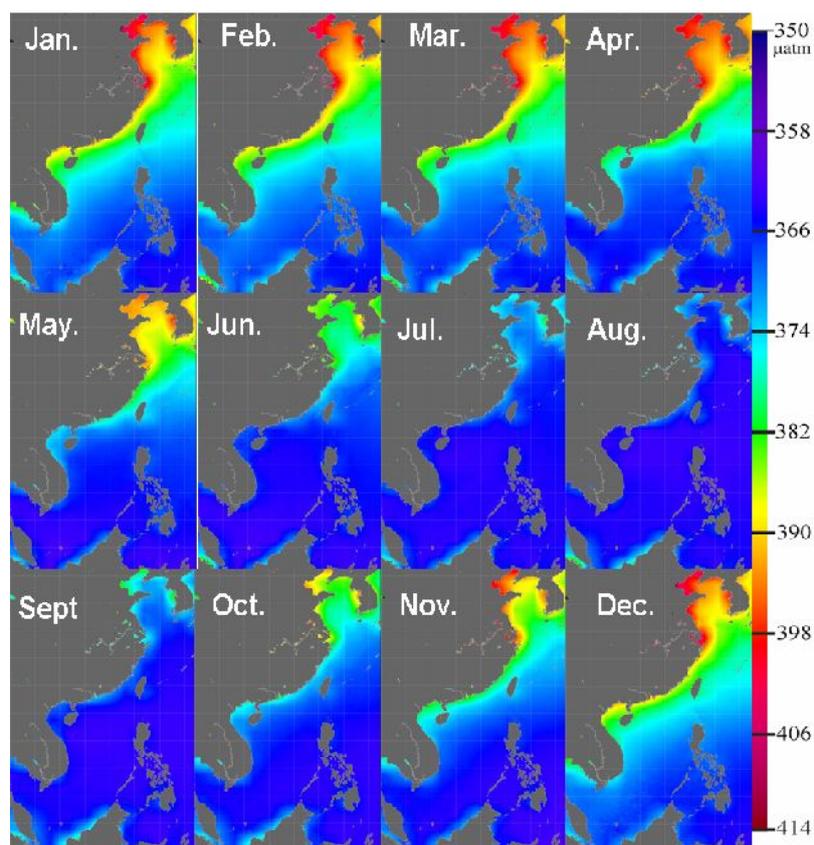


图5. 2003-2009年气候态月平均中国邻近海域大气 CO_2 分压分布图

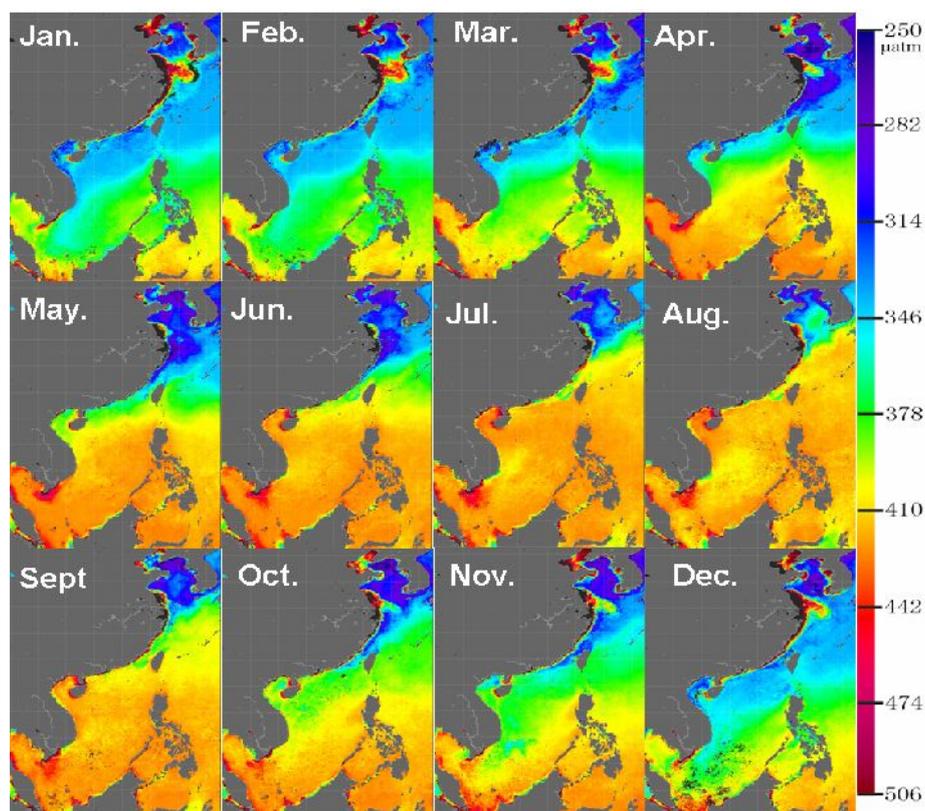


图 6. 中国邻近海域气候态海水 CO₂分压月平均遥感专题图 (2003-2009 年)

③ 中国邻近海域海-气 CO₂通量气候态季节分布

图 7 为 2003-2009 年 7 年平均的海-气 CO₂通量分布图。可以看到,近岸区域主要为 CO₂的强源。苏北浅滩的水舌在 11 月至次年的 3 月也呈现较强的碳源,但由于该区域苏北浅滩泥沙较强的再悬浮作用,不仅影响了遥感水色反演算法(包括叶绿素浓度及黄色物质算法等),而且该水体总碱度和无机碳对 CO₂的变化也有较大的影响,因此,该区域呈现的强碳源的特性还有待进一步的验证。

东海陆架和南海海区整体上呈现弱汇和弱源的状态,其中南海和东海外陆架在夏季为碳源,主要受高温、低生物作用的影响;冬季呈现为弱汇。尤其是南海北部陆架冬季生物作用相对较为活跃,碳吸收作用较强。黄海中部及东海中陆架区域在 4 月-6 月生物作用为主导因素,也呈现为强碳汇。

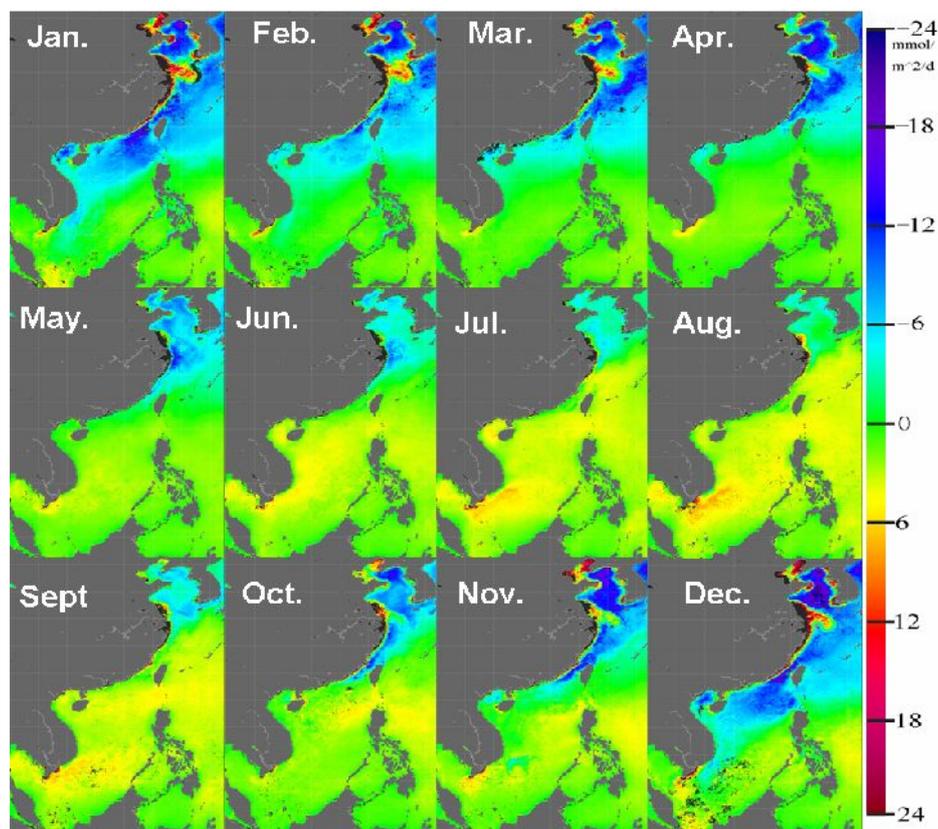


图 7. 中国邻近海域气候态海-气 CO_2 通量月平均遥感专题图

(2003-2009 年, 负值表示海水为碳汇, 正值表示碳源)

(4) 年际变化分析

图 8 所示为不同海区大气 CO_2 分压的年际变化曲线。可以明显看出, 从 2003 年到 2009 年, 整个中国近海的大气 CO_2 分压呈现逐年上升的趋势, 渤、黄海最大, 月平均大气 CO_2 分压上升了 27 atm, 东海陆架上升了 23 atm, 南海北部陆架上升了 15 atm, 南海海盆上升了 9 atm。整个中国近海 2003-2009 年的平均上升速率为 1.88 atm/yr。

图 9-11 分别为中国近海不同区域的海水 CO_2 分压、海-气 CO_2 分压差、海-气 CO_2 通量的年际变化曲线。相比大气 CO_2 分压的年际变化, 各区域的海水 CO_2 分压、海-气 CO_2 分压差、海-气 CO_2 通量的逐年上升或者下降趋势不明显。各海区均呈现显著的季节变化, 其中渤海、黄海及长江口北部冲淡水区域 $p\text{CO}_2$ 呈现冬季高(源), 夏季低(汇)的趋势, 主要是受陆源作用和生物作用影响较大。反之, 东海陆架、台湾东部黑潮区域及南海海区呈现夏季高(源)和冬季低(汇)的趋势, 这些区域陆源影响较小及生物量相对较低, 主要受温度控制。黄海及东海陆架春季为整个海区碳汇最强的区域。各海区年际变化并非十分显著, 但仍可

以看出一些异常的年份。如2003及2006东海陆架区域的碳汇最为显著，对应该年份春季的浮游植物藻华强度较大。详细的年际变化分析还需要结合温度、藻华发生强弱、长江冲淡水扩散范围等数据进行综合分析。

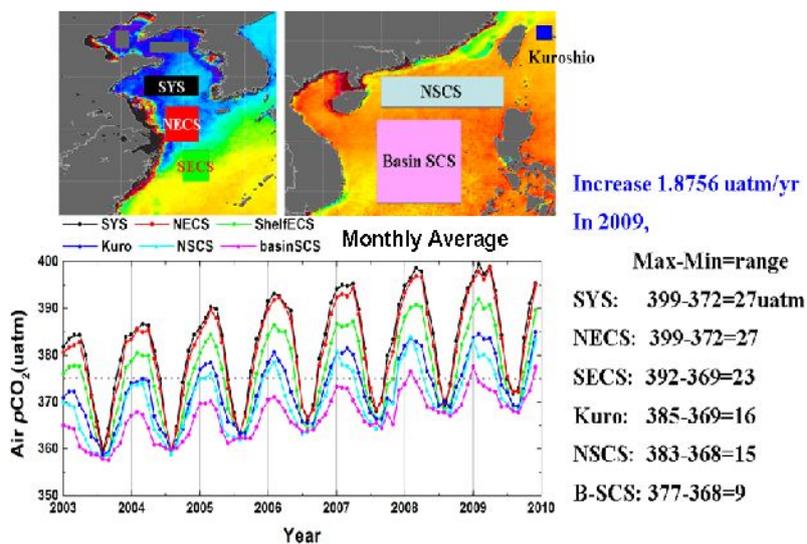


图 8. 2003 -2009 年中国近海大气 CO₂分压年际变化曲线

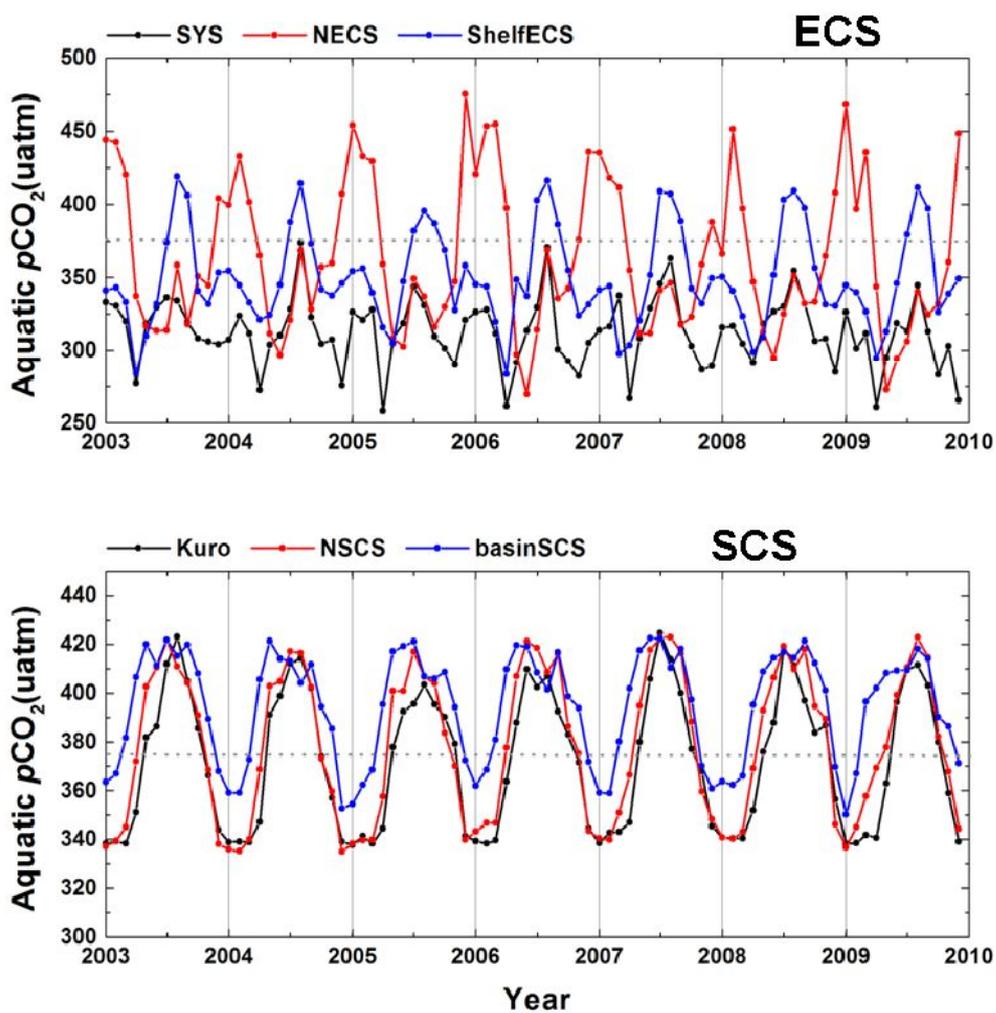
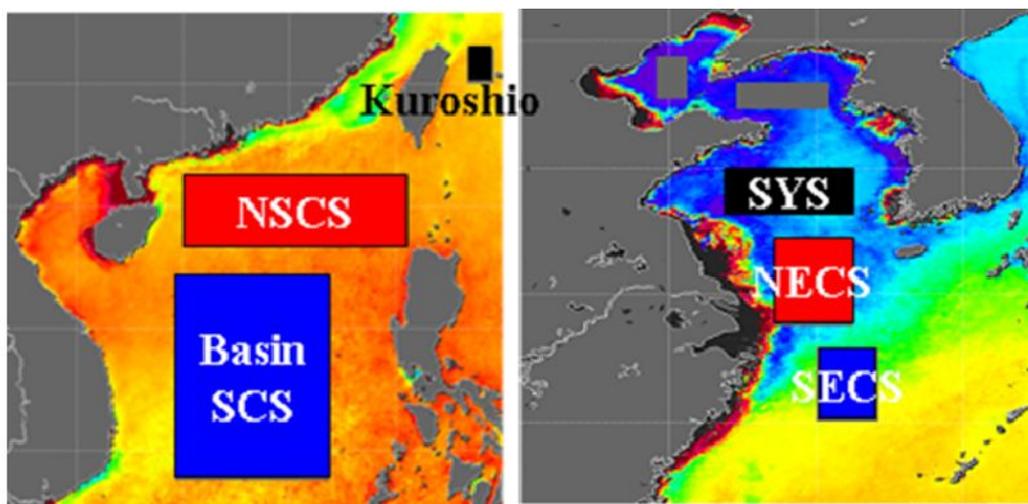


图 9. 2003 -2009 年中国近海海水 CO₂分压年际变化曲线

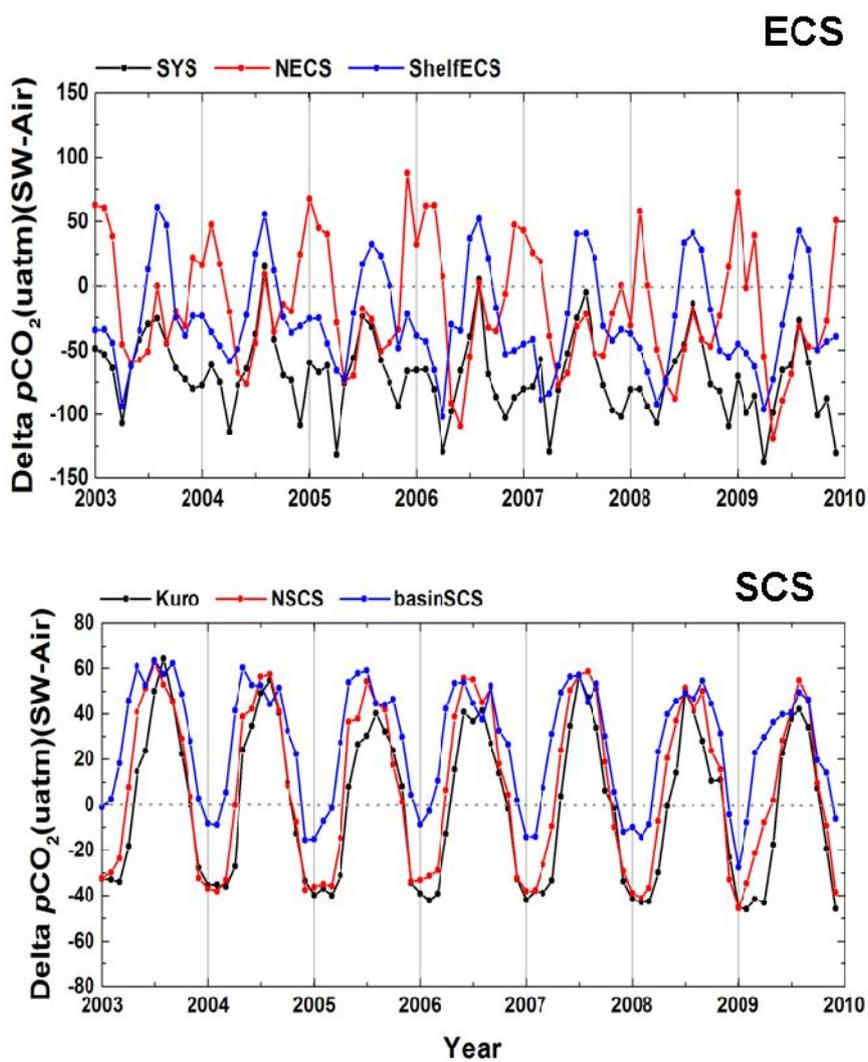
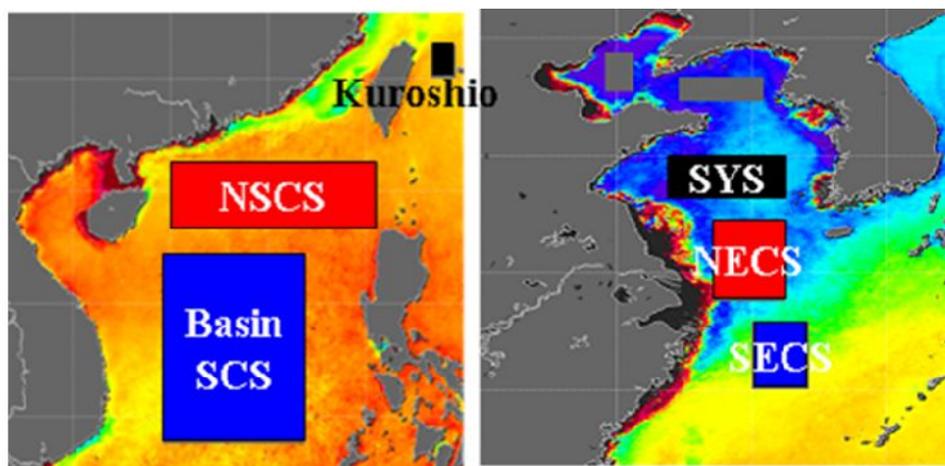


图 10. 2003 -2009 年中国近海海-气 CO₂ 分压差年际变化曲线

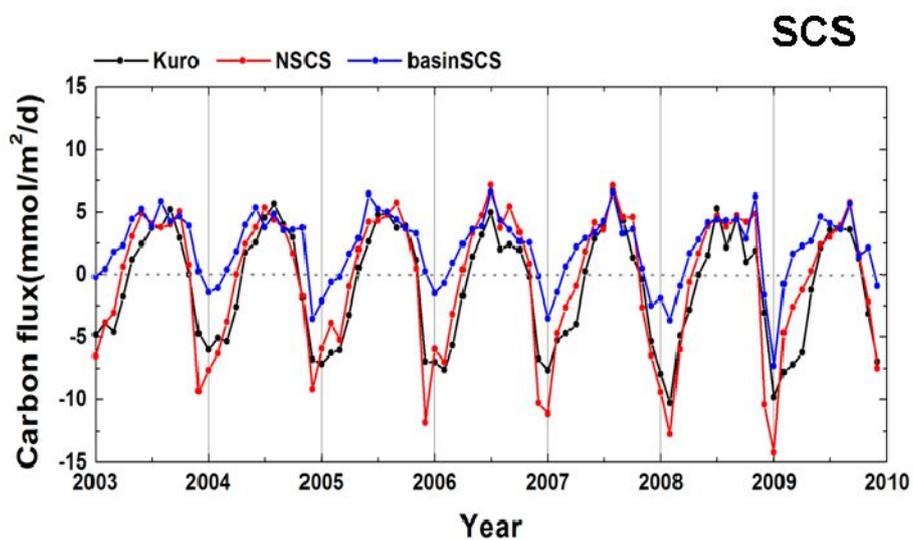
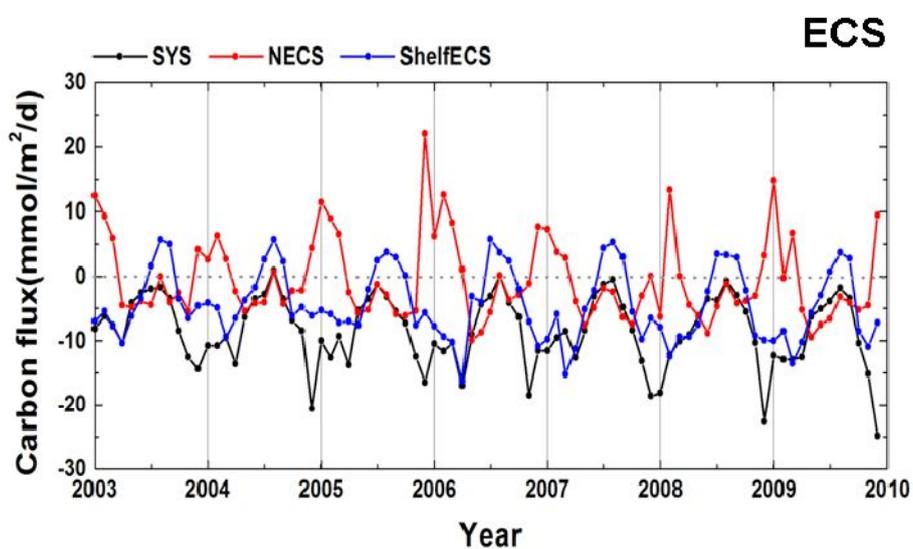
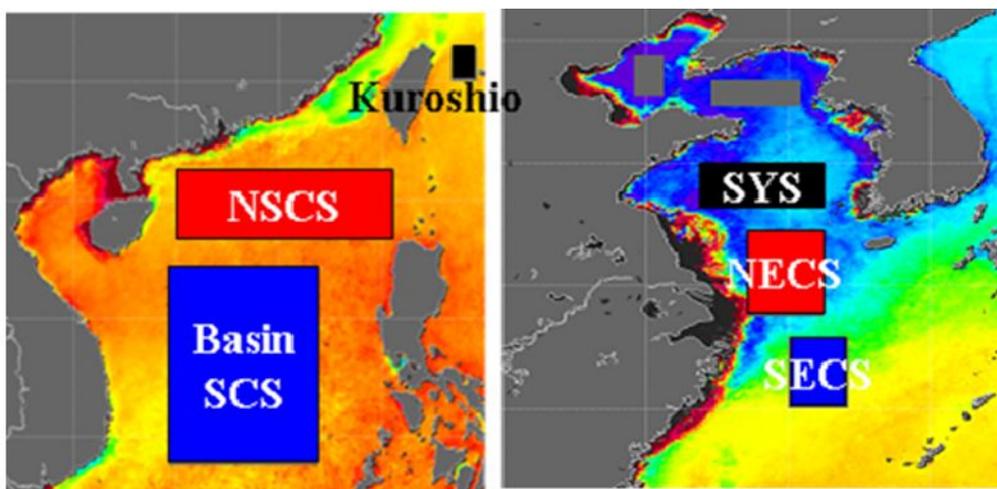


图 11. 2003 -2009 年中国近海海-气 CO₂ 通量年际变化曲线

2、后续主要工作概览

表 2 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 | | | Cruise 1 | | Cruise report, planning & annual meeting | | Cruise 2 |
| 2010 | Cruise 2 | | Cruise report & planning meeting | | | | | Mid-term summary workshop | | | Cruise 3 | |
| 2011 | | Cruise report & planning meeting | | ★ International workshop | | Cruise 4 | | | | | | Cruise report & planning meeting |
| 2012 | | | | | | | | Process Cruise | | | | Annual meeting |
| 2013 | | | | | | 结题验收 预备会议 | | | 课题 结题 | | ★ Final review | |



后续主要工作如表 2 所示。