

## 海表二氧化碳分压时间序列观测研究进展

董旭

(厦门大学环境与生态学院 福建厦门 361000)

摘要 根据时间序列观测特征首次分类总结了海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测现状, 着重介绍了 CO<sub>2</sub> 监测浮标的建设和布放情况, 对海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测发展趋势进行了展望。

关键词 海洋 气候变暖 二氧化碳分压 时间序列 浮标观测

中图分类号: P734.462

文献标识码: A

文章编号: 1672-9064(2013)01-010-02

海洋作为全球重要的碳储库, 对缓解全球气候变暖起到重要的作用。海表 CO<sub>2</sub> 分压作为评判海洋吸收或者释放 CO<sub>2</sub> 能力的重要参数之一, 对其时间序列变化的认识具有重要的现实意义。

工业革命以来, 全球温度出现升高的趋势, 与人类活动相关的 CO<sub>2</sub> 气体排放量也急剧升高。1970~2004 年间, 温室气体排放量增加了近 70%, 其中, 大气中 CO<sub>2</sub> 浓度已增加至 60 万年来的最高水平。海洋约占地球表面积的 70%, 每年从大气中吸收大约 30% 人为排放的 CO<sub>2</sub>, 是全球重要的碳储库。可以说, 海洋在很大程度上调控着大气 CO<sub>2</sub> 浓度, 一定程度上缓解了全球气候变暖。然而, 海洋吸收大气 CO<sub>2</sub> 的能力存在时间变异性, 在某些时期甚至表现出向大气释放 CO<sub>2</sub> 的特征。海洋对大气 CO<sub>2</sub> 的吸收和释放主要是通过海-气界面间海洋和大气 CO<sub>2</sub> 分压差实现的, 即如果海表 CO<sub>2</sub> 分压小于大气 CO<sub>2</sub> 分压, 海洋会从大气中吸收 CO<sub>2</sub>, 反之, 则释放 CO<sub>2</sub>。由于大气 CO<sub>2</sub> 分压变化很小, 海-气界面 CO<sub>2</sub> 分压差通常主要取决于海表 CO<sub>2</sub> 分压, 因此, 开展海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测对准确估算海-气界面 CO<sub>2</sub> 通量乃至预测全球气候变暖都具有十分重要的意义。

### 1 海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测现状

为了解海表 CO<sub>2</sub> 分压时间变异性, 海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测在世界范围内已有一定的开展。根据现场观测手段或载体的不同, 我们可以将海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测分为 3 大类: 船载; 岸基; 浮标; 时间序列观测。结合大规模航次调查, 船载时间序列观测往往较容易开展。例如为了调查南海北部碳循环控制机制和研究上层海洋和海表大气相互作用, 东南亚时间序列观测站 (SEATS 站) (116°E, 18°N) 于 1999 年应运而生。岸基时间序列观测一般发生在离岸较近的浅水区域, 观测仪器主体一般固定在岸上或者离岸较近的平台, 利用泵水系统或者固定平台开展时间序列观测。例如 de la Paz 等人在 Cadiz 湾设置了固定的岸基站点对海表 CO<sub>2</sub> 分压进行了为期 1 个月左右的连续高频观测。浮标时间序列观测是指利用浮标体对研究海域进行时间序列观测。

根据现场观测持续时间的长短, 时间序列观测又可以大致分为短期时间序列观测 (例如周日观测) 和长期时间序列观测。相对于长时期的研究观测, 短时期的海水 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测研究较多且较易开展。Dai 等人开展了一系列中

国近海不同区域海表 CO<sub>2</sub> 分压的周日观测并对不同区域海水 CO<sub>2</sub> 分压的日变化过程进行了比较。Jiang 等人在台湾的“澳底” (121.93°E, 25.06°N) 和“南湾” (120.85°E, 21.91°N) 分别进行了周日观测。北太平洋 HOT (Hawaii Ocean Time-series) 时间序列站和北大西洋 BATS (Bermuda Atlantic Time-series Study) 时间序列站是开展最早的 2 个长时期 CO<sub>2</sub> 时间序列观测站, 因其远离大陆, 受陆地影响小, 所以也是最具有全球代表性的时间序列站。与此类似的 CO<sub>2</sub> 分压长期时间序列观测站还有欧洲海洋时间序列观测站 ESTOC 以及南海北部的东南亚时间序列观测站 SEATS。

根据现场观测采样频率的不同, 我们可以将海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测分为低频时间序列观测和高频时间序列观测。南海北部 SEATS 站的时间序列观测即为低频观测, 观测频率为 2~4 个月。受船时和经费的影响, 船载长时期观测基本上都是低频时间序列观测。与船载时间序列观测不同, 岸基和浮标长时期时间序列观测大都属于高频观测的范畴, 设置的 CO<sub>2</sub> 分压采样测定频率基本在 3h 之内。

根据研究区域的不同, 又可以将海表 CO<sub>2</sub> 分压时间序列观测分为开阔水体、近岸水体和珊瑚礁水体时间序列观测。其中近岸水体和珊瑚礁水体海水 CO<sub>2</sub> 分压变化要比开阔水体快的多, 且变异程度更大。例如, 中国南海北部海盆 (116°E, 18°N) 开阔水体海表 CO<sub>2</sub> 分压日变幅仅为 16 μatm, 与之相对照, 厦门湾 (118.06°E, 24.45°N) 和深沪湾 (118.68°E, 24.67°N) 等近岸水体海表 CO<sub>2</sub> 分压日变幅达到约 5.07~15.20kPa, 西沙珊瑚礁水体 (112.33°E, 16.83°N) 海表 CO<sub>2</sub> 分压日变幅更是高达约 40.53kPa。

船载海水 CO<sub>2</sub> 分压长时期时间序列观测由于受船时等原因的影响难以开展高频观测; 岸基观测虽然不受电力和维护成本的制约, 观测频率甚至可以高达 1min, 但观测地点仅局限于离岸较近的浅水水域; 相对于船载和岸基观测, 浮标观测不但可以进行长时期的高频观测, 而且因其自动化程度高, 机动性比较强, 可以锚定于各个感兴趣的研究海域, 不受地理空间的制约。因此, 浮标观测是当前乃至未来开展海水 CO<sub>2</sub> 分压长期高频时间序列观测的最佳手段。

### 2 浮标时间序列观测现状

根据浮标平台的大小可以将海表 CO<sub>2</sub> 分压监测浮标划分为小型 CO<sub>2</sub> 监测浮标 (直径大约为 3m), 中型 CO<sub>2</sub> 监测浮

作者简介: 董旭 (1986~), 男, 浙江丽水人, 厦门大学环境与生态学院硕士研究生, 主要从事于海水二氧化碳分压时间序列观测技术的研究。

标(直径大约为6m)以及大型CO<sub>2</sub>监测浮标(直径大约为10m)。小型CO<sub>2</sub>监测浮标具有造价低的优点。又由于其体型较小,所以可以直接安放于船体甲板上进行长距离运输和投放,维护成本也比较低,是目前世界上应用最广的CO<sub>2</sub>监测浮标类型。小型CO<sub>2</sub>监测浮标也有其自身的缺点即受平台大小的制约,限制了其它相关环境参数例如海表温度、盐度、叶绿素、溶解氧、海流计等配套监测设备的安装,从而不利于海表CO<sub>2</sub>分压数据的处理与分析。此外,小型CO<sub>2</sub>监测浮标也容易受到大型海洋生物等自然因素以及人为的破坏,安全性较差。大型CO<sub>2</sub>监测浮标由于具有较大的安装空间以及独特的安全性能,近年来也被广泛的使用。其缺点是造价高,运输和投放不便。由于大型CO<sub>2</sub>监测浮标体型庞大,往往需要采用托标的方式进行海上运输,且为防止浮标在托运过程中沉入海中,一般需要控制船速在4节以内,最大不能超过6节。此外,也可以采用排水量达到上千t的船体进行搬运式运输,但成本往往较大。因此,大型CO<sub>2</sub>监测浮标一般不太适合远洋长距离运输和投放,维护成本也相当高。中型CO<sub>2</sub>监测浮标是介于小型和大型之间的浮标系统,它是为平衡前面两者之间的优缺点而设计建造的,然而,由于实际应用问题,目前该类型的CO<sub>2</sub>监测浮标应用较少。

纵观全球海洋,布放于各个海域开展海表CO<sub>2</sub>分压长期高频时间序列观测的浮标大约有50多个,其中近岸海域和开阔海域浮标约各占一半,珊瑚礁水体浮标则相对较少。美国是世界上开展海表CO<sub>2</sub>分压浮标观测最早的国家之一,以小型CO<sub>2</sub>监测浮标为主,其布放数量占世界CO<sub>2</sub>监测浮标总数的近60%,遍布于太平洋和大西洋各个海域,初步构建了全球海表CO<sub>2</sub>分压时间序列监测网。除美国外,欧洲国家主要包括法国、西班牙和意大利等,亚洲的日本和大洋洲的澳大利亚以及加拿大也较早地参与海表CO<sub>2</sub>分压监测浮标的建设,但建设规模都不大。近年来,国内科研院校和单位也积极投入CO<sub>2</sub>监测浮标的建设当中。与美国不同,我国CO<sub>2</sub>监

测浮标主要以大型CO<sub>2</sub>监测浮标为主,并布放于中国近海。到目前为止,估计已布放的CO<sub>2</sub>监测浮标大约在5个左右,且基本都为近岸水体浮标。2012-07-28由厦门大学和上海海洋气象台合作共建的大型CO<sub>2</sub>监测浮标在离岸约300多km的中国东海开阔海域成功布放又一个集成海洋气象、水文、化学和生物传感器的CO<sub>2</sub>分压监测浮标,为未来建设我国近海海表CO<sub>2</sub>分压时间序列监测网奠定了基础。

### 3 展望

海表CO<sub>2</sub>分压不仅存在时间变异性,还存在空间变异性,尤其是受人为影响较大的边缘海,其空间变异性更大。受船时、人力等客观因素的影响实际调查研究中是不可能无限地提高时间和空间的采样密度。浮标观测虽然不受船时和人力等客观因素的影响,能够在一定程度上大幅提高时间采样密度,但由于其观测空间的局限性,往往并不具有很好的空间代表性,且无限提高浮标布放密度也是不现实的。遥感的方法为开展高空间覆盖率的海表CO<sub>2</sub>分压时间序列观测提供了可能。遥感观测海表CO<sub>2</sub>分压主要是利用相应的遥感观测数据(例如温度或者叶绿素)通过反演计算得到研究海域的海表CO<sub>2</sub>分压。然而,通过遥感反演得到的海表CO<sub>2</sub>分压需要用现场实测数据进行验证,否则无法保证遥感产品的可靠性。由于自身的特点,CO<sub>2</sub>观测浮标为遥感观测海表CO<sub>2</sub>分压提供了定标的可能。因此,结合浮标观测和遥感反演技术是未来有效开展海表CO<sub>2</sub>分压时间序列观测的必然趋势。通过结合海表CO<sub>2</sub>监测浮标和遥感反演技术,相信我们可以非常清晰地揭示全球海洋甚至边缘海高空间覆盖率的CO<sub>2</sub>分压时间序列变化特征以及准确估算出相应的CO<sub>2</sub>通量。

### 参考文献

- 1 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Fourth Assessment Report, 2007
- 2 Raven, J.A. and Falkowski, P.G. Oceanic sinks for atmospheric CO<sub>2</sub>. Plant Cell and Environment, 1999, 22(6)
- 3 灾害与防治学报, 1995, 6(3)
- 4 石广斌, 杨经会, 安盛勋, 等. 石泉水电站陡高边坡崩塌机理分析及加固设计. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7)
- 5 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用. 大连: 大连理工大学出版社, 1994
- 6 杨伦标. 模糊数学原理及应用. 广州: 华南理工大学出版社, 1995
- 7 何忠明, 曹平. 基于模糊多属性决策模型的边坡支护设计方案优选. 矿冶工程, 2009, (10)
- 8 赵允辉. 危岩崩塌地质灾害调查评价与防治. 中国地质灾害与防治学报, 2004, (7)
- 9 曾廉. 崩塌与防治. 西南交通大学出版社, 1990
- 10 许权柏. 层次分析原理. 天津: 天津大学出版社, 1998, 2005, 38(4)
- 11 侯才水, 刘华斌. 模糊多属性决策模型在某水电站工程方案优选中的应用. 武汉大学学报(工学版), 2005, 38(4)
- 12 戴佑斌, 张尚根, 周早生, 等. 模糊一致矩阵理论在地铁深基坑支护方案优选中的应用. 岩土工程学报, 2005, 27(10)

(上接第9页)

地质灾害的特点,从治理可靠性、安全性、工程造价、施工工期、施工难易程度以及对环境的影响等6个方面,建立了危岩支护设计方案优选的综合评价指标体系,构造出支护设计方案优选的决策与评价模型。

(2) 运用模糊数学方法计算时,权重的选择对计算结果影响很大,所以在选择各种影响因素的权重时,应广泛调查研究,利用多种方法综合确定。本文采用AHP法和专家调查法相结合的方法确定评价指标的权重,更趋科学合理。

(3) 实例分析表明,本文所建立的危岩支护设计方案多属性模糊决策模型,具有概念清晰、理论严密、计算简便、适用范围广且评价结果客观可靠等优点,对同类工程具有一定的参考作用。

### 参考文献

- 1 旷镇国. 重庆市中区危岩崩塌特征、形成机制及防治研究. 中国地质