

海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程

第3部分：浮标监测

编制说明

国家海洋局南海调查技术中心

二〇二一年九月

（一）制定标准的背景、目的和意义

1.1 背景

工业革命以来，人类活动对全球生态系统改变和破坏严重扰动了地球各碳库间原本维系的平衡。南极大陆冰芯记录了过去42万年来大气CO₂浓度的变化，大气CO₂浓度从过去42万年的180 μL·L⁻¹ ~ 300 μL·L⁻¹上升到目前的400 μL·L⁻¹左右，且每年仍以约0.44%的速率增长。大气CO₂浓度上升，使得全球变暖加剧，自1850年有器测气温记录以来，全球气温总体呈现逐步升高的趋势。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第一工作组发布的第五次评估报告指出：1880年 ~ 2012年全球地表的平均温度已经升高了0.85 °C，主要原因是人类活动造成的以CO₂为主的温室气体排放。大气CO₂浓度上升和全球变暖将导致海平面上升、海洋酸化、冰川融化、洪涝、干旱、海啸等自然灾害频发，生物多样性受损等不良影响，对自然生态系统和社会经济系统均可能产生巨大影响，严重威胁人类社会的现实安全和可持续发展。

占地球表面积71%的海洋是一个巨大的碳库，海洋中生物群落的碳贮量约为3 Gt（1Gt=10¹⁵g），溶解有机碳约为1000 Gt，溶解无机碳约为37400 Gt，海洋生态系统在全球碳循环中起着决定性作用。全球海洋虽然局部海域表现为大气CO₂的源，但是海洋总体上是人为CO₂的一个重要的汇，人类排放CO₂总量的约40%被海洋吸收，从而阻缓了大气CO₂浓度的上升和全球气温的升高，海-气界面间的能量和物质交换在维持全球气候稳定方面发挥着至关重要的作用。

而且，气候变化问题也已从科学研究领域上升到国家发展及政治高度，世界各国为应对全球气候变化，都致力于开展温室气体排放和碳循环机制方面的研究工作。国际社会1992年在巴西里约热内卢缔结了《联合国气候变化框架公约》，1997年在日本京都签订了《京都议定书》，2015年12月在法国巴黎召开全球气候变化大会。为应对全球变化的影响，实现可持续发展，也需查清我国近海CO₂源/汇特征及海-气界面通量，

为国家产业布局和环境政策制定提供重要的科学依据。

1.2 目的

目前海-气二氧化碳交换通量监测的主要载体及方式包括船载走航式监测、浮标、岸基定点观测及卫星遥感监测等。《海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程 第3部分：浮标监测》编制的目的在于统一、规范海洋资料浮标系统的海-气二氧化碳监测系统建造、运行和维护，增加监测数据的准确性和通用性，为我国应对全球气候变化提供数据及理论支撑。

1.3 意义

海洋资料浮标监测是海洋立体监测的重要组成部分，它的全天候、定点、连续的监测特点是其它监测手段所不能达到的。浮标监测可以在时间尺度上自动地、全天候地揭示海洋二氧化碳及碳循环机制。

（二）工作简况

任务的来源：《国家海洋局关于下达 2015 年度第一批海洋行业标准制定计划项目的通知》（国海科字〔2015〕141 号）

计划项目编号：201504022-T

标准起草单位：国家海洋局南海工程勘察中心（现更名为“国家海洋局南海调查技术中心”）

参加起草单位：国家海洋环境监测中心

主要工作过程：

（1）2015 年 5 月，成立《海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程 第 3 部分：浮标监测》标准编写小组，全面启动编制工作。编写组成员主要有马玉、刘同木、史华明、刘愉强、赵化德、郑楠、徐雪梅，其中马玉全面负责标准的编制工作，包括编制组的组织协调、资料文献收集、技术规程文本编制、技术规程内审、适用性验收证、

征求意见、技术规程文本修改完善等；刘同木、史华明和刘愉强参与资料文献收集、技术规程文本编制、征求意见工作及技术规程文本修改完善等工作；赵化德、郑楠和徐雪梅参与项目实施的沟通协调工作、资料文献收集、技术规程文本编制和征求意见稿本修改完善等工作。

(2) 2015年6月至2015年12月，标准编制组成员查阅了大量国内外关于海洋碳循环，尤其是海-气二氧化碳交换通量监测方法的文献。同时，调研我国开展的浮标式海-气二氧化碳交换通量监测工作的整体情况，了解掌握所采用的监测传感器类型、测量范围和准确度等；同时积极跟踪国际上浮标式海-气二氧化碳交换通量监测传感器的整体发展情况。通过对收集的文献、资料的整理、分析和归纳，确定了标准编写的总体思路和框架。

(3) 2016年1月编制组编制、修改和完善规程技术文本后形成了本部分第一份稿件，后期经不断跟踪监测传感器的发展，补充完善技术文本内容，精简凝练部分章节，并注重条款、语句的表达，至2017年上半年已开展7次较大幅度地修改完善工作，其中小幅度的修改更是多达数十次。

(4) 2017年8~9月完成了该部分技术规程文本的单位内部一审和二审工作，根据内审专家提出的意见和建议，仔细认真的修改完善了技术规程文本，在此修改完善期间，不间断调研国内外海-气二氧化碳浮标监测的最新情况，并进一步完善修改文本。

(5) 2018年6月修改完善后开展了本部分技术规程的适用性验证工作。参与适用性验证的单位共3家，分别是国内海-气二氧化碳交换通量监测浮标的建造单位山东省科学院海洋仪器仪表研究所、国内正在开展海-气二氧化碳交换通量监测-浮标监测的单位国家海洋局第二海洋研究所（现自然资源部第二海洋研究所）和国家海洋局北海分局预报中心。

(6) 2018年7月~8月对本部分技术规程的文本进行了格式标准化处理，形成了征求意见稿，并向国家海洋标准委员会 海洋环境保护分技术委员会申请开展征求意见

工作。提交资料包括海洋国家行业标准征求意见申请表、拟征求意见单位名单、海-气二氧化碳交换通量浮标监测技术规程第 3 部分：浮标监测（征求意见稿）、海-气二氧化碳交换通量浮标监测技术规程第 3 部分：浮标监测（编制说明）和适用性证明材料等。

（7）2018 年 8 月~10 月开展了本部分技术规程的征询意见工作，被征求意见单位包括海-气二氧化碳交换通量监测浮标建造单位、海-气二氧化碳交换通量监测实施单位和海-气二氧化碳交换通量监测传感器供应商等，共计 20 家单位。其中回函的单位 17 家，回函并有建议或意见的单位 16 家，没有回函单位 3 家（国家海洋局北海环境监测中心、国家海洋局南海分局生态环境保护处、国家海洋局珠海海洋环境监测中心站），共收集到 63 条意见和建议，项目组根据各单位的提出的意见和建议，对技术文本和编制说明进行了修改完善，其中 55 条意见和建议采纳，4 条部分采纳，4 条未采纳。同时项目组对 63 条意见和建议进行了分类和归纳，意见和建议分别对 1) 计量单位格式标准化及统计、2) 语句表述、3) 规范性引用文件、4) 技术文本结构调整及参考文件、5) 术语和定义、6) 总体技术设置、7) 监测要素及技术指标、8) 传感器计量性能要求、9) 岸边考机、10) 现场比测、11) 数据采集、12) 运行维护、13) 附录、14) 编制说明等共 14 个主要方面给出了宝贵的修改完善内容。

（8）2018 年 11 月 20 日项目组并向国家海洋标准委员会 海洋环境保护分技术委员会提交了该技术规程的审查会材料，并同时申请召开专家审查会。提交资料包括海洋国家行业标准专家审查会申请函、海洋行业标准单位内部审查会材料、征求意见回执、海-气二氧化碳交换通量浮标监测技术规程第 3 部分：浮标监测（送审稿）、海-气二氧化碳交换通量浮标监测技术规程第 3 部分：浮标监测（编制说明）和征求意见汇总处理表等。

（9）2019 年 9 月 8 日~9 月 10 日在国家海洋环境监测中心召开了《海-气二氧化碳交换通量浮标监测技术规程》7 部分的内部审查会和协调会，针对各部分规程的技术文本、编制说明及其他存在的问题进行了逐一梳理。该部分技术规程根据会上的建议认

真完善了技术文本和编制说明等。

(10) 2019年9月12日项目组再次向国家海洋标准委员会 海洋环境保护分技术委员申请召开该技术规程专家审查会，并获得了批准。

(11) 2019年10月6~8日全国海洋标准化技术委员会海洋环境保护分技术委员会组织9位专家对标准送审稿进行会审，与会专家逐条讨论了本文件的内容，提出了指导性及其具体的修改意见。

(12) 2019年10月-2021年8月：项目组根据审查会专家意见和建议，对标准文本、编制说明和意见处理汇总表进行了修改完善，形成了标准报批稿。

(13) 2021年9月，标准报批稿提交。

(三) 标准编制原则和确定标准主要内容

3.1 标准编制原则

科学、合理、先进、适用是我们编制标准的主要原则。主要体现在：

(1) 结合国内监测单位的实际情况，并广泛征求各单位的意见及建议，体现国内外现有的技术水平，同时满足使用单位的要求。

(2) 在本标准的适用范围内，尽量引用国家以及行业的基础标准，发挥基础标准的功能。

(3) 结合我国的国策、国情，标准的编制要切实可操作。

3.2 标准格式遵循的规范和标准

标准编制的格式内容遵循了 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》等标准规定和要求，规范完整地编写《海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程 第3部分：浮标监测》的行业标准。

3.3 确定标准主要内容的论据

主要编制单位从事浮标管理、研究工作已达 25 余年，对于浮标的建造、布放、运行、维护、回收、维修及保养等方面有着充分的了解，积累了丰富的经验。鉴于目前我国尚未有大型浮标海-气二氧化碳交换通量监测与评估的行业标准，项目组不但查阅了许多国内外海-气二氧化碳交换通量及碳循环相关文献，并且根据长期运行与管理浮标的经验，再加上对国内外现有海-气二氧化碳交换通量浮标监测工作的调研和国际相关传感器的跟踪调研。从而确定有关技术要求，依据如下：

(1) 编制组人员查阅、并参考了《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)、《海洋监测规范》(GB 17378-2007)、《海洋资料浮标作业规范》(HY/T 037-2007)、《近岸海域水质自动监测技术规范》(HJ 731-2014)、《大型海洋环境监测浮标》(HY/T 142-2011)、《小型海洋环境监测浮标》(HY/T 143-2011)、《海水总溶解无机碳的测定 非色散红外吸收法》(HY/T 196-2015)、《海水总碱度的测定 敞口式电位滴定法》(HY/T 197-2015)等现运行有效的相关规范规程。在监测要素、准确度及误差设置方面除参考上述规范规程外，并根据实际的调研结果设置监测参数准确度及误差。

(2) 项目组积极跟踪国内外海-气二氧化碳交换通量浮标监测传感器发展进展及应用情况，并查阅了大量国内外海-气二氧化碳交换通量及碳循环相关文献。目前海-气二氧化碳交换通量浮标监测传感器主要有 2 种类型，一种是基于改进的平衡器-非色散红外法，另一种是基于 pH 测定的分光光度法，两种类型的传感器在国内外都有较为广泛的应用。平衡器-非色散红外法是目前最为广泛接受的方法，因为现在世界范围内利用船舶监测海-气二氧化碳交换通量基本上都是采用这种方法，而且被广泛认可，也是本技术规程推荐采用的监测方法。基于 pH 测定的分光光度法是检测通过气体渗透膜与周围海水平衡后的溶液 pH 和总碱度，反应是基于指示剂在一个或多个波长下对光的吸收。

基于平衡器-非色散红外法的传感器推荐检测范围为 100 $\mu\text{mol/mol}$ ~ 600 $\mu\text{mol/mol}$,

可扩展检测范围为 0 $\mu\text{mol/mol}$ ~ 3000 $\mu\text{mol/mol}$ 。根据文献报道，世界范围内大部分海域的海水二氧化碳摩尔分数为 100 $\mu\text{mol/mol}$ ~ 500 $\mu\text{mol/mol}$ ，仅在监测区域趋于淡水端元时海水二氧化碳摩尔分数逐渐升高，并可能超出 3000 $\mu\text{mol/mol}$ 的检测高值。

(3) 编制单位先后负责或参与建造了 20 多套大型浮标，目前负责承担 15 套大型浮标在线运行和维护工作，在浮标传感器选型、浮标组装调试、岸边考机、布放监视与现场比测、数据采集和运行维护等方面都积累了大量的实战经验，为本技术规程的编制奠定了坚实基础，而且编制单位先后承担了《大型海洋资料浮标标体建造标准》(HY/T224-2017)、《压力式海啸浮标系统技术要求》(201502059-T)、《海啸浮标作业规范》(201710060-T)、《潜标观测技术规程》(201502060-T) 共 4 项浮标/潜标行业标准的编制工作，为本技术规程编制打下了前期基础。同时为了本部分技术规程更加适用和准确，编制组征求了二氧化碳浮标相关单位的意见和建议，包括建造单位、监测单位和传感器供应单位，并将他们的建议和意见融入到本技术规程。

3.4 标准编制的定位

技术规程的编制是为开展浮标式海-气二氧化碳交换通量监测提供依据。因此，在编写本部分技术规程时注重了实用性，力求简单易行，切实可操作，使本部分技术规程既有广泛的使用基础，更有较为灵活的使用特性。

(四) 主要(或验证)的分析, 综述, 技术经济论证, 预期的经济社会效

4.1 主要试验(或验证)的分析综述

《海-气二氧化碳交换通量监测与评估技术规程 第 3 部分: 浮标监测》主要开展以下 2 个方面的验证工作:

(1) 技术规程的整体可行性

本部分技术规程规定的内容包括浮标监测系统采集要素、传感器组成、技术要求、

数据采集与传输、岸边考机、布放与回收等，验证本部分技术规程在近海及远海浮标式海-气二氧化碳交换通量监测的适用性和可操作性。

(2) 监测要素及传感器性能验证

本部分技术规程规定了监测系统采集要素及各要素的技术参数，重点验证二氧化碳传感器的性能指标，评估二氧化碳传感器采集数据的准确度和精密度。

监测要素的选择首先考虑海-气二氧化碳浮标监测实际工作需要，并结合目前传感器发展情况，保障监测要素传感器能实现准确、连续监测，确定了必选监测要素和选择监测要素。监测要素传感器设备的性能指标要求是依据当前传感器技术发展的水平提出的，供建设单位和监测单位的技术人员探讨可行性和用于设备选型，同时也是设备造型的主要依据。最大允许误差的设置除参考传感器的性能指标和相关规范规程外，更多地调研考察了监测单位目前获取数据的实际情况。

另外，对不同工作原理的传感器都有用于现场和浮标实时监测系统的实际情况，该技术规程对大部分监测要素传感器只提要求和原则，不提原理和强制性要求，避免出现限制不同原理传感器的应用和发展。

4.2 技术经济论证、预期的经济效果

本部分技术规程以浮标实时监测设备的现有技术水平为基础，与《海洋调查规范》、《海洋监测规范》、《大型海洋环境监测浮标》、《小型海洋环境监测浮标》及《海洋资料浮标作业规范》等相关规范规程相一致，结合海-气二氧化碳交换通量浮标监测的特点，从浮标监测系统监测要素、传感器组成、技术要求、数据采集与传输、岸边考机、布放与回收等方面对海-气二氧化碳交换通量浮标监测进行规范。提高海-气二氧化碳交换通量监测数据的客观性、科学性、准确性，为我国海洋生态文明建设和应对全球气候变化提供有效技术支撑，具有显著的社会、经济和生态效益。

（五）标准水平分析

本部分技术规程编制组查阅了国内外最新的海-气二氧化碳交换通量及碳循环相关文献,积极跟踪监测要素传感器技术发展,并借鉴了国际上推荐的《Guide to Best Practice for Ocean CO₂ Measurements》,同时参考了《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)、《海洋监测规范》(GB 17378-2007)以及国内浮标观测/监测的相关规范和标准,如《海洋资料浮标作业规范》(HY/T 037-2007)、《大型海洋环境监测浮标》(HY/T 142-2011)等,既保证了该技术规程的先进性,也具有较好的适用性。

（六）与有关的现行法律、法规和标准的关系

本部分技术规程的编制完全遵守和按照我国宪法和现行有关法律、法规的要求。本部分技术规程的内容不存在与有关现行法律、法规和强制性标准相悖之处。并且是GB 17378.5-2007《海洋监测规范》、GB/T 12763.1-2007《海洋调查规范》的有益补充。

（七）重大分歧意见的处理和依据

无

（八）标准作为强制性国家标准、推荐性国家标准、推荐性行业标准的建议

本部分技术规程为推荐性行业标准。

（九）贯彻该标准的要求和措施（含组织措施、技术措施）建议

建议本部分技术规程颁布实施后,应在海洋环境监测相关部门进行贯彻实施,以规范浮标式海-气二氧化碳交换通量监测工作,提升海洋环境监测评价工作的规范性、科学性。同时建议随监测设备及技术的发展和海-气二氧化碳交换通量监测工作的发展进步,可适时开展修订。

(十) 废止现行有关标准的建议

无。

(十一) 其他应予说明的事项

无。