



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116660092 B

(45) 授权公告日 2024.04.16

(21) 申请号 202310637916.7

H04W 4/38 (2018.01)

(22) 申请日 2023.05.31

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 109060465 A, 2018.12.21

申请公布号 CN 116660092 A

CN 112945877 A, 2021.06.11

CN 114254526 A, 2022.03.29

(43) 申请公布日 2023.08.29

CN 114689794 A, 2022.07.01

(73) 专利权人 中国地质科学院岩溶地质研究所

US 2010190394 A1, 2010.07.29

地址 541004 广西壮族自治区桂林市七星

US 2023152292 A1, 2023.05.18

路50号

唐文魁;高全洲.河口二氧化碳水-气交换

(72) 发明人 李建鸿 于爽 张陶 蒲俊兵

研究进展.地球科学进展.2013,(第09期),

肖琼 杨慧 张勇

审查员 梁翠

(74) 专利代理机构 成都宏田知识产权代理事务

所(普通合伙) 51337

专利代理师 钟隆辉

(51) Int. Cl.

G01N 7/00 (2006.01)

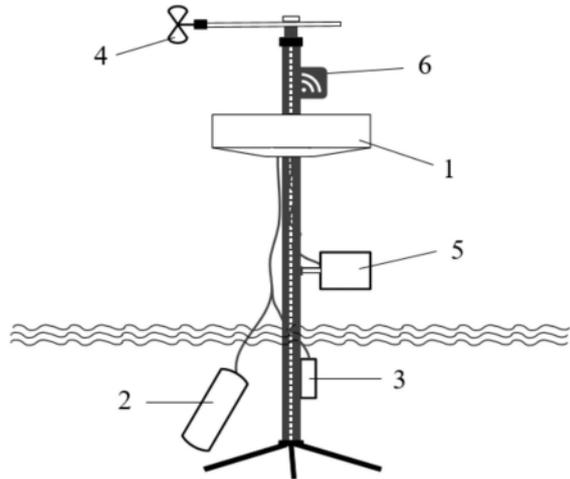
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

一种水-气界面CO₂通量的测算系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种水-气界面CO₂通量的测算系统和方法,所述测算系统预设多个运算模型,基于目标水域内水面下方的水环境参数和目标水域内水面上方的大气参数判断并确定调用的运算模型,执行相应运算得到计算结果,实现对目标水域水-气界面CO₂通量的自动化连续监测,运算模型的设置综合考虑了水流、风速对水-气界面CO₂通量测算结果的影响,在减小测算误差的同时,能够适应不同环境下的水域,具有很强的适应性;本发明通过CO₂传感器技术,直接测量水和空气中的分压,不仅检测效率提升,而且数据准确率高。



1. 一种水-气界面CO₂通量的测算系统,其特征在于,所述系统包括:

水环境监测模块,用于监测目标水域内水面下方的水环境参数,所述水环境参数至少包括:水流速度和水中CO₂分压;

大气环境监测模块,用于监测目标水域内水面上方的大气参数,所述大气参数至少包括风速和大气CO₂分压;

数据处理运算模块,所述数据处理运算模块分别与所述水环境监测模块和所述大气环境监测模块连接,用于接收所述水环境参数和所述大气参数;所述数据处理运算模块预设运算模型,所述运算模型包括第一运算模型和第二运算模型;数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型,执行运算得到水-气界面CO₂通量的计算结果;

无线传输模块,所述无线传输模块与所述数据处理运算模块连接,将所述计算结果发送至用户终端;

辅助电源,所述辅助电源用于向所述测算系统供电;

所述数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型并执行运算,所述参数信息包括:水流速度和风速;

当水流速度 $w < 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算;

当水流速度 $w \geq 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第一运算模型执行运算;

所述运算模型用于计算六氟化硫气体的交换系数 k_{600} ,包括第一运算模型和第二运算模型;

所述第一运算模型计算式为:

$$k_{600} = 13.82 + 0.35w,$$

式中,W为水流速度,m/s;

所述第二运算模型计算式为:

$$k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3\text{m/s}) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10\text{m/s}) \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10\text{m/s}) \end{cases},$$

式中, \bar{U}_{1m} 为水面上方1m的平均风速,m/s。

2. 根据权利要求1所述的水-气界面CO₂通量的测算系统,其特征在于,所述水环境监测模块至少包括:水流速度测量单元和第一CO₂分压测量单元;所述水流速度测量单元用于测量水面下方10cm—30cm的水流速度 w ,所述第一CO₂分压测量单元设置有防水外壳、防水透气膜和第一CO₂传感器,所述防水透气膜将第一CO₂传感器与水隔开,所述第一CO₂传感器为红外二氧化碳传感器,采用非分散式红外线NDIR技术实现水下CO₂分压测量。

3. 根据权利要求1所述的水-气界面CO₂通量的测算系统,其特征在于,所述大气环境监测模块至少包括:风速测量单元和第二CO₂分压测量单元;所述风速测量单元用于测量距离水面1m处的平均风速;所述第二CO₂分压测量单元设置有第二CO₂传感器,所述第二CO₂传感器为TGS4161固体电解质CO₂传感器或红外二氧化碳传感器。

4. 一种水-气界面CO₂通量的测算方法,其特征在于,所述测算方法基于权利要求1-3任一项的测算系统实现,所述测算方法包括以下步骤:

步骤S1,获取目标水域内水面下方的水环境参数;所述水环境参数至少包括:水流速度

和水中CO₂分压；

步骤S2,获取目标水域内水面上方的大气参数;所述大气参数至少包括风速和大气CO₂分压;

步骤S3,根据参数信息判断并确定调用的运算模型;运算得到水-气界面CO₂通量的计算结果;

步骤S4,将所述计算结果发送至用户终端;

在步骤S3中,所述根据参数信息判断并确定调用的运算模型,所述参数信息包括:水流速度和风速;

当水流速度 $w < 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算;

当水流速度 $w \geq 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第一运算模型执行运算;

所述第一运算模型和所述第二运算模型用于计算六氟化硫气体的交换系数 k_{600} ;

所述第一运算模型计算式为:

$$k_{600} = 13.82 + 0.35w,$$

式中, w 为水流速度,m/s;

所述第二运算模型计算式为:

$$k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3\text{m/s}) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10\text{m/s}), \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10\text{m/s}) \end{cases}$$

式中, \bar{U}_{1m} 为水面上方1m的平均风速,m/s。

5.根据权利要求4所述的水-气界面CO₂通量的测算方法,其特征在于,在步骤S1中,所述水流速度为水面下方10cm—30cm测量的流速,水下CO₂分压数据是通过第一CO₂传感器,采用非分散式红外线NDIR技术直接测量获得。

6.根据权利要求4所述的水-气界面CO₂通量的测算方法,其特征在于,在步骤S2中,所述风速为距离水面1m处的平均风速;所述大气CO₂分压通过第二CO₂传感器直接测量获得。

一种水-气界面CO₂通量的测算系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水-气界面CO₂通量测量技术领域,具体涉及一种水-气界面CO₂通量的测算系统和方法。

背景技术

[0002] 水-气界面CO₂交换是水生生态系统中碳生源要素同大气进行物质交换的重要途径,目前,对水-气界面CO₂通量的监测方法主要有微大气法、模型估算法、通量箱法、遥感反演法等。而模型估算法和通量箱法因其简单、灵活、易操作等特点在野外现场监测中最为常用。其中,模型估算法是根据空气和水体内气体浓度梯度差运用Fick定律来估算通量,气体在两介质中的浓度及其传质系数的确定是该方法的核心。

[0003] 现有技术中,确定气体在两介质中的浓度通常使用水化学平衡法、气提法、顶空平衡法、水气分离法进行测算,其实质是监测水中和空气中的CO₂浓度差异,目的都是为了计算出CO₂在大气中的分压 C_{air} 和CO₂在水中的分压 C_{water} 的差值,然而,上述方法在实际测算时,整个测量系统的搭建往往耗时耗力,数据的收集和测算需要人工参与,很难达到对水中CO₂分压在野外连续监测的目的,且水化学平衡法、水气分离法由于受到水体离子强度的影响,计算得到的水体中气体分压值与真实值之间的相差较大。

[0004] 另外,使用模型估算法计算CO₂在两介质中的传质系数 K_x 时,大多数研究只关注在风速对SF₆气体交换系数 k_{600} 的影响,假设湖面为静水面,忽略水流速度对 k_{600} 产生的影响,导致该方法在流速较大的水域进行估算时,误差随流速增大而不断增大。总而言之,目前在水-气界面CO₂通量的测算时,针对不同的研究区域和测量时段,由于技术、环境及研究对象的差异性,尚无一种被确定的最为完善的方法。

发明内容

[0005] 因此,本发明要解决的技术问题在于克服现有技术中测算水-气界面CO₂通量偏差较大及测算系统难以支持的野外连续监测的缺陷,从而提供一种水-气界面CO₂通量的测算系统和方法。

[0006] 第一方面,本发明实施例提供一种水-气界面CO₂通量的测算系统,所述系统包括:水环境监测模块、大气环境监测模块、数据处理运算模块、无线传输模块以及辅助电源;数据处理运算模块分别与水环境监测模块和大气环境监测模块连接,数据处理模块还与无线传输模块连接,用于数据的远程传输。

[0007] 可选的,水环境监测模块,用于监测目标水域内水面下方的水环境参数,水环境参数至少包括:水流速度和水中CO₂分压;水环境监测模块还可用来测量目标水域的水温和PH值等水环境参数。

[0008] 可选的,大气环境监测模块,用于监测目标水域内水面上方的大气参数,所述大气参数至少包括风速和大气CO₂分压,大气环境监测模块还可用来测量空气温度、湿度和气压等大气参数。

[0009] 可选的,数据处理运算模块用于接收所述水环境参数和所述大气参数;数据处理运算模块预设运算模型,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型;数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型,执行运算得到水-气界面CO₂通量的计算结果。

[0010] 可选的,无线传输模块与数据处理运算模块连接,将水-气界面CO₂通量的计算结果发送至用户终端,用户终端可以是手持移动终端、远程计算机或控制中心,可以采用Wi-Fi、蓝牙或LoRa等通信协议实现数据传输。

[0011] 可选的,辅助电源用于向整个测算系统供电。

[0012] 可选的,水环境监测模块至少包括:水流速度测量单元、第一CO₂分压测量单元;水流速度测量单元用于测量水面下方10cm—30cm的水流速度w,第一CO₂分压测量单元设置有防水外壳、防水透气膜和第一CO₂传感器,防水透气膜将第一CO₂传感器与水隔开,第一CO₂传感器为红外二氧化碳传感器,采用非分散式红外线NDIR技术实现水下CO₂分压测量。

[0013] 可选的,大气环境监测模块至少包括:风速测量单元、第二CO₂分压测量单元;风速测量单元用于测量距离水面1m处的平均风速;第二CO₂分压测量单元设置有第二CO₂传感器,第二CO₂传感器为TGS4161固体电解质二氧化碳传感器或红外二氧化碳传感器。

[0014] 可选的,数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型并执行运算,所述接收的参数信息至少包括:水流速度和风速。

[0015] 当水流速度 $w < 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算。

[0016] 当水流速度 $w \geq 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第一运算模型执行运算。

[0017] 可选的,运算模型用于计算六氟化硫气体的交换系数 k_{600} ,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型。

[0018] 可选的,第一运算模型计算式为:

$$[0019] \quad k_{600} = 13.82 + 0.35w, w \geq 0.1\text{m/s},$$

[0020] 式中,w为水流速度,m/s。

[0021] 可选的,第二运算模型计算式为:

$$[0022] \quad k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3\text{m/s}) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10\text{m/s}), \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10\text{m/s}) \end{cases}$$

[0023] 式中, \bar{U}_{1m} 为水面上方1m的平均风速,m/s。

[0024] 第二方面,本发明实施例提供一种水-气界面CO₂通量的测算方法,该测算方法基于实施例提供的测算系统实现。

[0025] 测算方法包括以下步骤:

[0026] 步骤S1,获取目标水域内水面下方的水环境参数;水环境参数至少包括:水流速度和水中CO₂分压,水环境参数还包括:目标水域的水温和PH值等。

[0027] 步骤S2,获取目标水域内水面上方的大气参数;大气参数至少包括风速、大气CO₂分压,大气参数还包括:空气温度、湿度、气压等。

[0028] 步骤S3,根据参数信息判断并确定调用的运算模型;运算得到水-气界面CO₂通量的计算结果。

[0029] 步骤S4,将计算结果发送至用户终端。

[0030] 可选的,在步骤S1中,所述水流速度为水面下方10cm—30cm测量的流速,所述水下CO₂分压数据是通过第一CO₂传感器,采用非分散式红外线NDIR技术直接测量获得。

[0031] 可选的,在步骤S2中,所述风速为距离水面1m处的平均风速;所述大气CO₂分压通过第二CO₂传感器直接测量获得。

[0032] 可选的,在步骤S3中,所述根据参数信息判断并确定调用的运算模型,所述参数信息包括:水流速度和风速;

[0033] 当水流速度 $w < 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算;

[0034] 当水流速度 $w \geq 0.1\text{m/s}$ 时,所述数据处理运算模块调用第一运算模型执行运算。

[0035] 第一运算模型和第二运算模型用于计算六氟化硫气体的交换系数 k_{600} ;

[0036] 可选的,第一运算模型计算式为:

[0037] $k_{600} = 13.82 + 0.35w$,

[0038] 式中, w 为水流速度,m/s。

[0039] 可选的,第二运算模型计算式为:

$$[0040] \quad k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3\text{m/s}) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10\text{m/s}), \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10\text{m/s}) \end{cases}$$

[0041] 式中, \bar{U}_{1m} 为水面上方1m的平均风速,m/s。

[0042] 本发明与现有技术相比,具有如下的优点和有益效果:

[0043] 本发明通过水环境监测模块和大气环境监测模块,能够实现对目标水域水面上下方环境参数的实时监测,其中通过CO₂传感器技术,直接测量水和空气中的分压,不仅检测效率提升,而且数据准确率高;本发明还通过设置数据处理运算模块和无线传输模块,能够在野外环境下对数据的自动处理计算和传输,实现了对水-气界面CO₂通量的自动化连续监测。

[0044] 本发明数据处理运算模块中预设了多个运算模型,基于收集的实时参数信息,自动判断选取误差最小的模型,运算模型的设置综合考虑了水流、风速对水-气界面CO₂通量测算结果的影响,在减小测算误差的同时,能够适应不同环境下的水域,本发明的系统和方法不仅可以满足对流速较小的湖泊水域的测算,还能够满足对河流水-气界面CO₂通量的测算,具有很强的适应性。

附图说明

[0045] 图1为本发明实施例的水-气界面CO₂通量测算系统构成示意图。

[0046] 图2为本发明实施例的水-气界面CO₂通量测算系统的模块组成示意图。

[0047] 图3为本发明实施例的水环境监测模块的组成示意图。

[0048] 图4为本发明实施例的大气环境监测模块的组成示意图。

[0049] 图5为本发明实施例的另一种水-气界面CO₂通量测算系统的模块组成示意图

[0050] 图6为本发明实施例的水-气界面CO₂通量测算方法流程图。

[0051] 图7为本发明实施例的另一种水-气界面CO₂通量测算方法流程图。

具体实施方式

[0052] 下面结合附图进一步详细描述本发明的技术方案,但本发明的保护范围不局限于以下。

[0053] 为了使本发明的目的,技术方案及优点更加清楚明白,结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明,即所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0054] 实施例1:

[0055] 如图1所示,为本发明的一种水-气界面CO₂通量测算系统构成示意图,其示出了测算系统的部分构成,包括:数据处理运算模块1,第一CO₂分压测量单元2,水流速度测量单元3,风速测量单元4,第二CO₂分压测量单元5,以及无线传输模块6;各个组成模块及单元均固定在支撑架上,在测算系统工作状态时,第一CO₂分压测量单元2和水流速度测量单元3浸没水中,本发明对支撑架的结构不做限定。

[0056] 如图2所示,辅助电源用于向整个测算系统供电,确保实现自动化连续监测,提高装置的适应性;在本实施中,辅助电源分别向水环境监测模块、大气环境监测模块、数据处理运算模块和无线传输模块供电。

[0057] 需要说明的是,辅助电源可以是基于太阳能电池板的可充电电源,该电源可以在光照条件较好的目标水域测算时进行布置;辅助电源也可以是具有休眠功能的独立电源系统,该系统主要包括主控模块、主电源和休眠辅助电源,主电源和休眠辅助电源均由储能电池供电,休眠辅助电源一直处于工作状态,主要负责无线传输模块供电,主控模块可以通过无线传输模块接收的指令信息控制主电源工作或者休眠以达到在野外长期布置测算系统的目的。

[0058] 如图3所示,水环境监测模块包括第一CO₂分压测量单元和水流速度测量单元,水环境监测模块的各个单元分别与数据处理运算模块连接;水环境监测模块,用于监测目标水域内水面下方的水环境参数,水环境参数至少包括:水流速度和水中CO₂分压;水环境监测模块还可用来测量目标水域的水温和PH值等水环境参数。

[0059] 需要说明的是,第一CO₂分压测量单元包括第一CO₂传感器、CO₂检测腔体、PTFE防水透气膜和防水外壳,在防水外壳的下端设有堵头,并且在防水外壳的侧壁上分布有通水孔,第一CO₂传感器处于防水外壳内的CO₂检测腔体内,在第一CO₂传感器外设有一层PTFE防水透气膜;在水中放置一段时间后,水中CO₂进入CO₂检测腔体,检测腔体的CO₂与水中CO₂浓度达到动态平衡后,第一CO₂传感器可以直接测量处水下第一CO₂分压。

[0060] 需要说明的是,在检测水域中按照要求设置好该系统后,由于需要等待水体恢复至未被扰动状态,以及需要等待CO₂检测腔的二氧化碳浓度与水中二氧化碳浓度需要达到动态平衡,因此,系统在设置好后至少需要20分钟才能获取到有效数据。

[0061] 如图4所示,大气环境监测模块包括风速测量单元和第二CO₂分压测量单元,其各个单元分别与数据处理运算模块连接;大气环境监测模块,用于监测目标水域内水面上方的大气参数,大气参数至少包括风速和大气CO₂分压,大气环境监测模块还可用来测量空气温度、湿度和气压等大气参数。

[0062] 数据处理运算模块用于接收所述水环境参数和所述大气参数;数据处理运算模块预设运算模型,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型;数据处理运算模块根据接收

的参数信息判断并确定调用的运算模型,执行运算得到水-气界面CO₂通量的计算结果。

[0063] 数据处理运算模块与无线传输模块连接,将水-气界面CO₂通量的计算结果发送至用户终端,用户终端可以是手持移动终端、远程计算机或控制中心,可以采用Wi-Fi、蓝牙或LoRa等通信协议实现数据传输。

[0064] 需要说明的是,水环境监测模块中,水流速度测量单元用于测量水面下方10cm—30cm的水流速度 w ,第一CO₂分压测量单元设置有防水外壳、防水透气膜和第一CO₂传感器,防水透气膜将第一CO₂传感器与水隔开,第一CO₂传感器为红外二氧化碳传感器,采用非分散式红外线NDIR技术实现水下CO₂分压测量。

[0065] 需要说明的是,大气环境监测模块中,风速测量单元用于测量距离水面1m处的平均风速;第二CO₂分压测量单元设置有第二CO₂传感器,第二CO₂传感器为TGS4161固体电解质二氧化碳传感器或红外二氧化碳传感器。

[0066] 需要说明的是,数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型并执行运算,数据处理运算模块接收的参数信息至少包括:水流速度和风速。

[0067] 当水流速度 $w < 0.1\text{m/s}$ 时,数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算。

[0068] 当水流速度 $w \geq 0.1\text{m/s}$ 时,数据处理运算模块调用第一运算模型执行运算。

[0069] 运算模型用于计算六氟化硫气体的交换系数 k_{600} ,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型。

[0070] 第一预运算型计算式为:

[0071] $k_{600} = 13.82 + 0.35w, w \geq 0.1\text{m/s},$

[0072] 式中, w 为水流速度,m/s。

[0073] 第二预运算型计算式为:

$$[0074] \quad k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3\text{m/s}) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10\text{m/s}), \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10\text{m/s}) \end{cases}$$

[0075] 式中, \bar{U}_{1m} 为水面上方1m的平均风速,m/s。

[0076] 实施例2:

[0077] 如图5所示,为本发明的另一种水-气界面CO₂通量测算系统的模块组成示意图,为进一步提高测算系统在野外的可工作时长,提高系统的连续监测能力,本实施提供另一种水-气界面CO₂通量测算系统的模块组成。

[0078] 该测算系统包括水环境监测模块、大气环境监测模块、数据处理运算模块、无线传输模块以及辅助电源;无线传输模块分别与水环境监测模块和大气环境监测模块连接,数据处理模块还与无线传输模块连接,用于接收和处理无线传输模块发送的实时参数信息。

[0079] 需要说明的是,水环境监测模块将采集的水环境参数,包括:水流速度、水中CO₂分压、水温运算PH值等水环境参数等信息发送至无线传输模块;大气环境监测模块将采集的目标水域内水面上方的大气参数,包括风速、大气CO₂分压、空气温度、湿度运算气压等大气参数发送至无线传输模块,无线传输模块与远程设置的数据处理模块通讯连接。

[0080] 数据处理运算模块用于接收无线传输模块发送的目标水域的水环境参数和大气参数;数据处理运算模块预设运算模型,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型;数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型,执行运算得到水-气界面

CO₂通量的计算结果。

[0081] 数据处理运算模块可以是专门执行数据处理运算的计算机设备,其与无线传输模块之间可以采用Wi-Fi、蓝牙或LoRa等通信协议实现数据传输。

[0082] 实施例3:

[0083] 如图6所示,为本发明的一种水-气界面CO₂通量测算方法流程图,该测算方法基于实施例1中提供的测算系统实现。

[0084] 测算方法包括以下步骤:

[0085] 步骤S1,获取目标水域内水面下方的水环境参数。

[0086] 水环境参数至少包括:水流速度运算水中CO₂分压,水环境参数还包括:目标水域的水温运算PH值等。

[0087] 需要说明的是,在步骤S1中,所述水流速度为水面下方10cm—30cm测量的流速,所述水下CO₂分压数据是通过第一CO₂传感器,采用非分散式红外线NDIR技术直接测量获得。

[0088] 步骤S2,获取目标水域内水面上方的大气参数。

[0089] 大气参数至少包括风速、大气CO₂分压,大气参数还包括:空气温度、湿度运算气压等。

[0090] 需要说明的是,在步骤S2中,所述风速为距离水面1m处的平均风速;所述大气CO₂分压通过第二CO₂传感器直接测量获得。

[0091] 需要说明的是,基于模型法计算水-气界面CO₂通量的通用的计算模型如下:

$$[0092] \quad F_{CO_2} = K_X (C_{water} - C_{air}),$$

[0093] 其中F_{CO₂}为水-气界面CO₂通量,mmol/(m²·d);K_X为气体交换系数,cm/h;C_{water}为CO₂气体在水中的分压,mmol/L;C_{air}为当前温度及气压下CO₂气体在大气中的分压,mmol/L。

[0094] 该模型中,K_X的值与六氟化硫(SF₆)气体的交换系数密切相关,如下面公式所示:

$$[0095] \quad K_X = k_{600} (600^{0.67} (Sc(CO_2))^{0.67})^{-1},$$

[0096] 其中,k₆₀₀为六氟化硫(SF₆)气体的交换系数,cm/h;Sc(CO₂)为t℃下CO₂的Schmidt常数,对河流和湖泊进行测量和计算时,Schmidt常数经验公式如下:

$$[0097] \quad Sc(CO_2) = 1911.1 - 118.1t + 3.4527t^2 + 0.04132t^3.$$

[0098] 因此,在对参数K_X的计算中,k₆₀₀的计算至关重要,而k₆₀₀和目标水域的风速运算水流速度密切相关,在计算时,获取目标水域内水面下方的水环境参数和目标水域内水面上方的大气参数是十分必要的。

[0099] 步骤S3,根据参数信息判断并确定调用的运算模型。

[0100] 运算模型得到水-气界面CO₂通量的计算结果,本实施例的测算方法预设有两个运算模型,根据的实时环境数据选择误差较小的模型进行计算。

[0101] 具体而言,当水流速度w<0.1m/s时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算;当水流速度≥0.1m/s时,我们认为此时的水面不是静水面状态,水流速度对计算水-气界面CO₂通量的影响大于风速产生的影响,调用第一运算模型计算k₆₀₀,具体计算公式如下:

$$[0102] \quad k_{600} = 13.82 + 0.35w, \text{ 式中 } w \text{ 为风速。}$$

[0103] 当水流速度w<0.1m/s时,所述数据处理运算模块调用第二运算模型执行运算;在水流速度<0.1m/s时,可以认为水面为静水面状态,在此情况下,水流速度对CO₂通量的影

响可以忽略,此时风速为影响水-气界面CO₂通量计算的关键因素,调用第二运算模型计算 k_{600} ,具体计算公式如下:

$$[0104] \quad k_{600} = \begin{cases} 0.17\bar{U}_{10m} & (0 < \bar{U}_{10m} \leq 3.6m/s) \\ 2.85\bar{U}_{10m} - 9.65 & (3.6 < \bar{U}_{10m} < 13.0m/s) \\ 5.95\bar{U}_{10m} & (\bar{U}_{10m} \geq 13m/s), \end{cases}$$

[0105] 式中, \bar{U}_{10m} 为水面上方10m的平均风速,其可以通过测量的水面上方1m的平均风速 \bar{U}_{1m} 通过一下公式转换获得:

$$[0106] \quad \bar{U}_{10m} = \bar{U}_{xm} \left[1 + \frac{(C_{d10})^{0.5}}{a} \ln\left(\frac{10}{x}\right) \right],$$

[0107] 式中,x为测量风速时的高度,m; \bar{U}_{xm} 为x米处的风速大小,m/s, C_{d10} 为10m时的阻力系数,取0.0013,a为VonKarman常数,取0.41。

[0108] 因此, \bar{U}_{10m} 的计算公式可以简化为: $\bar{U}_{10m} = 1.22\bar{U}_{1m}$ 。

[0109] 进而第二运算模型计算 k_{600} 的具体计算公式可以近似转化为:

$$[0110] \quad k_{600} = \begin{cases} 0.21\bar{U}_{1m} & (0 < \bar{U}_{1m} \leq 3m/s) \\ 3.48\bar{U}_{1m} - 9.65 & (3 < \bar{U}_{1m} < 10m/s) \\ 7.26\bar{U}_{1m} & (\bar{U}_{1m} \geq 10m/s)。 \end{cases}$$

[0111] C_{water} 为当前温度及压力下CO₂气体在水中的饱和浓度,传统的监测方法是得到的温室气体在水中的分压乘以亨利系数 K_0 ,得到温室气体在水中的饱和浓度 C_{water} ,本实施例中的 C_{water} 可以直接通过第一CO₂分压测量单元直接测量得出,第一CO₂传感器采用非分散式红外线(NDIR)技术,能够高精度地测量水体下表面的CO₂浓度。

[0112] C_{air} 为CO₂气体在大气中的分压,其通过第二CO₂分压测量单元直接测量得出。

[0113] 通过上述模型,可以计算出 K_x 。

[0114] 步骤S4,将计算结果发送至用户终端。

[0115] 用户终端可以是手持移动终端、远程计算机或控制中心,可以采用Wi-Fi、蓝牙或LoRa等通信协议实现数据传输。

[0116] 实施例4:

[0117] 如图7所示,为本发明的另一种水-气界面CO₂通量测算方法流程图,该测算方法基于实施例2中提供的测算系统实现。

[0118] 测算方法包括以下步骤:

[0119] 步骤S101,获取目标水域内水面上方的大气参数。

[0120] 步骤S102,获取目标水域内水面下方的水环境参数。

[0121] 需要说明的是,大气参数包括:风速、大气CO₂分压、空气温度、湿度和气压等,风速为距离水面1m处的平均风速;大气CO₂分压通过第二CO₂传感器直接测量获得;水环境参数包括:水流速度、水中CO₂分压、目标水域的水温和PH值等,水流速度为水面下方10cm—30cm测量的流速,水下CO₂分压数据是通过第一CO₂传感器直接测量获得。

[0122] 步骤S103,将参数信息发送至数据运算处理模块。

[0123] 水环境监测模块将采集的水环境参数以及大气环境监测模块将采集的目标水域

内水面上方的大气参数发送至无线传输模块,无线传输模块与远程设置的数据处理模块通讯连接。

[0124] 步骤S104,数据运算处理模块根据参数信息判断并确定调用的运算模型。

[0125] 数据处理运算模块用于接收无线传输模块发送的目标水域的水环境参数和大气参数;数据处理运算模块预设运算模型,运算模型包括第一运算模型和第二运算模型;数据处理运算模块根据接收的参数信息判断并确定调用的运算模型,执行运算得到水-气界面 CO_2 通量的计算结果。

[0126] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

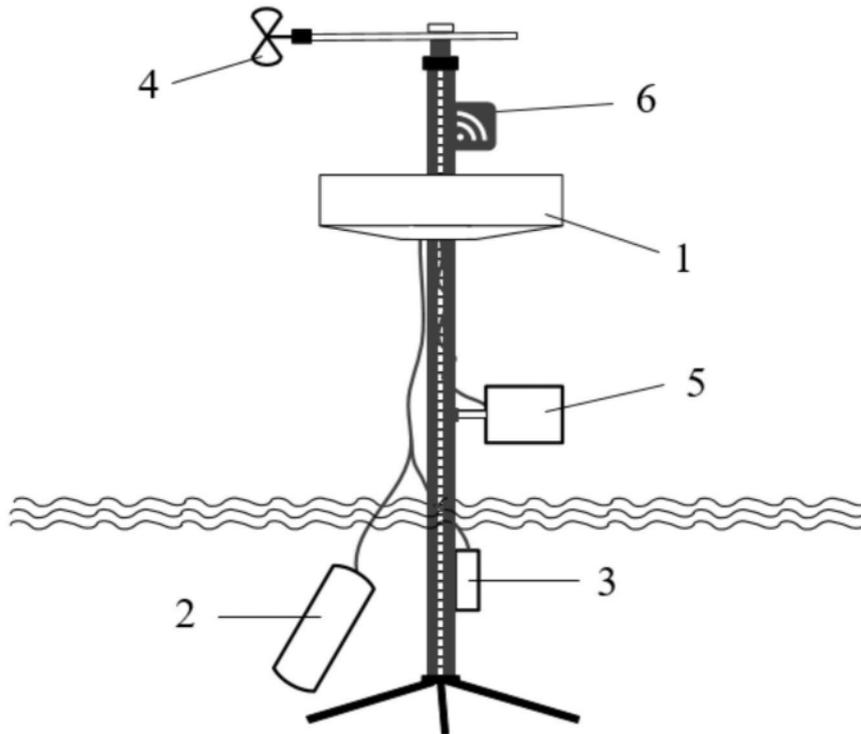


图1

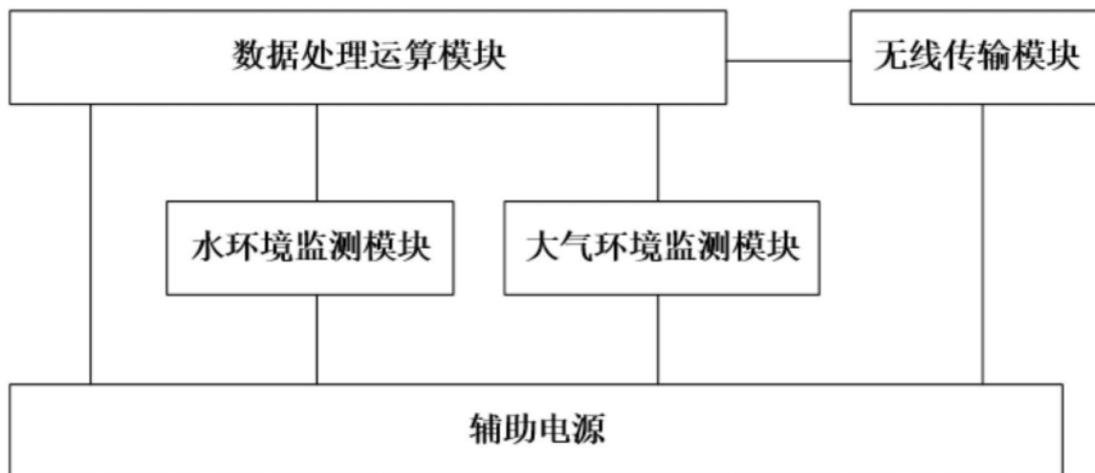


图2

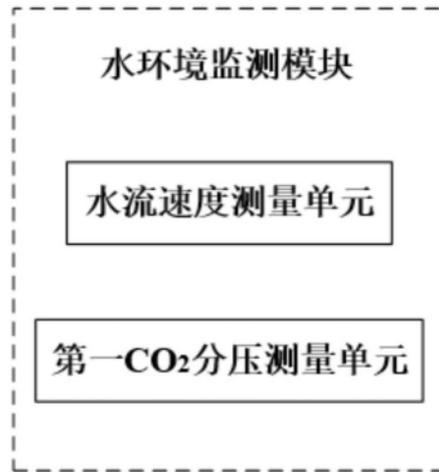


图3

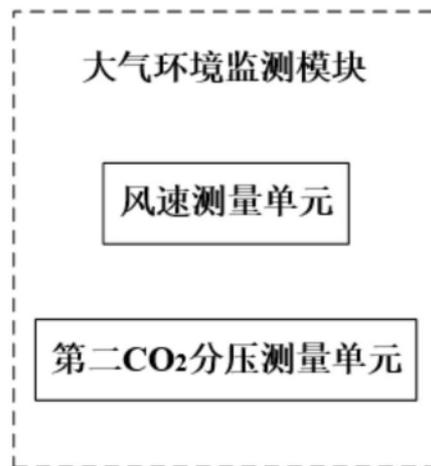


图4

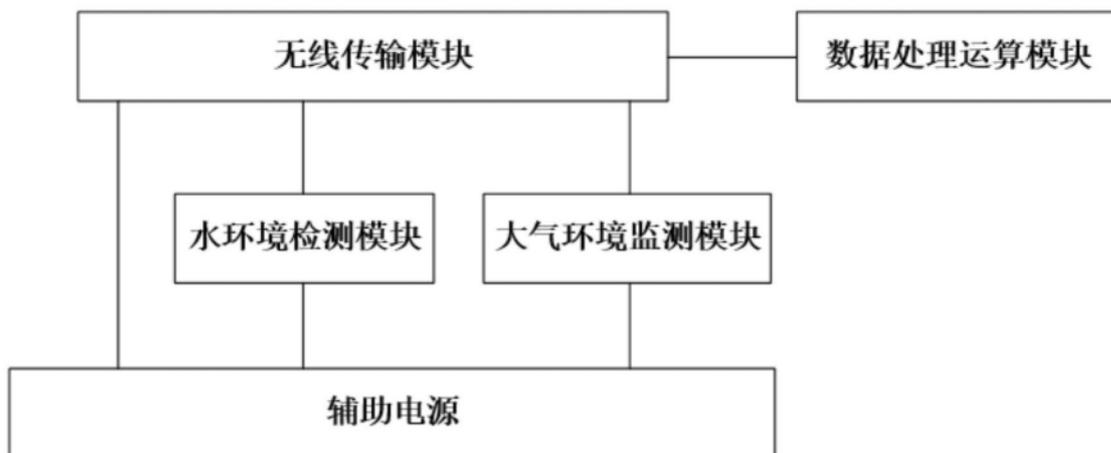


图5

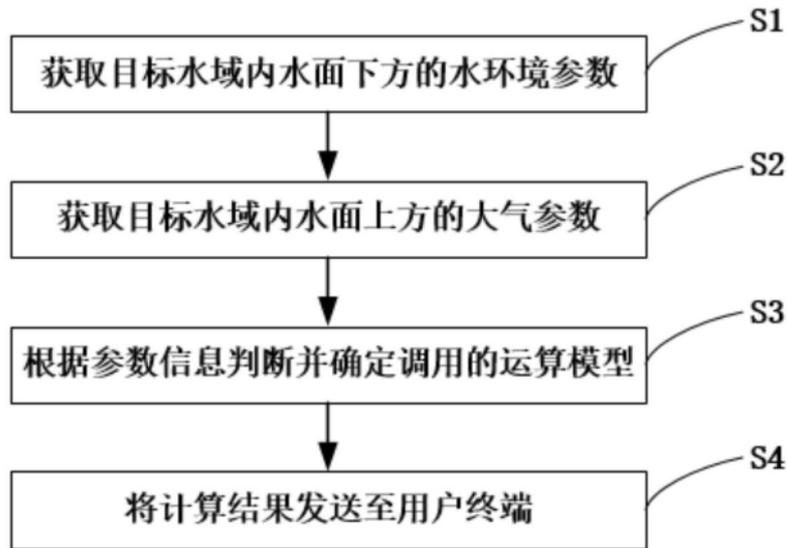


图6

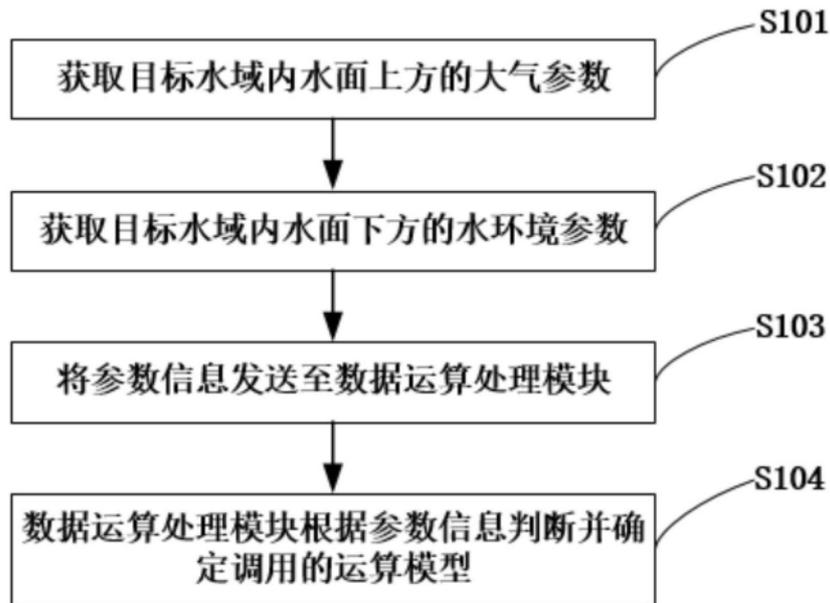


图7