

水布垭水库水气界面二氧化碳交换规律研究

赵登忠 谭德宝 汪朝辉 李 喆

(长江科学院 空间信息技术应用研究所 湖北 武汉 430010)

摘要: 为了分析水库温室气体源汇变化的时空分布特征,以清江流域水布垭水库为研究对象,在 2010 年 5 月到 2011 年 4 月之间开展了 6 次水气界面二氧化碳交换通量的原位观测试验,获取了水库坝前、上游和支流库湾等重要区域二氧化碳交换通量及其影响因子的基础数据。对实测资料的分析表明,水布垭水库水气界面二氧化碳交换通量时空差异性较大,在排放状态下,交换通量从上游到坝前逐渐升高,在吸收状态下逐渐降低,夏季交换通量较低,气温低时较高;二氧化碳交换通量时空分布受到气温、溶解氧、叶绿素以及水体碳含量等因素的影响。

关 键 词: 水气界面; 水库温室气体; 二氧化碳通量; 时空分布规律; 水布垭水库

中图分类号: X524 文献标志码: A

大气中温室气体是导致全球气候变暖的重要因素,主要来源于水体、陆地和人类活动等^[1]。为了减少温室气体的排放,近年来以风电、核电为代表的新型能源以及水电清洁能源得到蓬勃发展。其中,水电生产不消耗任何化石燃料,能够提供大量清洁能源,在促进经济发展的同时可大幅度减少温室气体排放,是唯一可大规模开发并具有明显温室气体减排效益的绿色能源,已成为世界多数国家能源发展战略的主流认识^[2-4]。然而,近年来水电作为一种可持续发展利用的清洁能源在温室气体排放方面受到关注,与科学技术发展历程中遭受许多非议一样,水坝工程并未因为其给人类带来巨大益处而免受指责^[5-6]。

水库温室气体排放是一个复杂过程,有关研究成果表明不同气候带、不同地理区域、不同水库以及水库不同运用阶段温室气体源汇变化均表现出很强的个案特征^[7]。国际上科学家主要在巴西、巴拿马、法属圭亚那、北美其它地区以及斯堪的纳维亚地区开展了水库淹没区温室气体源汇变化长期原位监测及不同类型水生生态系统对比研究^[8]。我国科学家主要对湿地、湖泊等水体温室气体做了监测及分析研究^[9-10]。陈

永根等采用静态箱-气相色谱法对中国不同地区的 8 个湖泊冬季水体水气界面甲烷通量进行了 24 h 连续观测,对甲烷的总释放量进行了估算^[11]。赵登忠等在水布垭水库开展了二氧化碳和甲烷的原位监测,分析了水库上空温室气体大气浓度的时空分布特征^[12-13]。但是我国尤其是长江流域大型水库大部分属于河道型水库,库区多位于崇山峻岭地区,石质库岸较多,与世界其他地区水库存在较大的差异。

为了研究水库水气界面二氧化碳交换通量的时空分布特征,笔者选择清江水布垭水库作为典型案例,在 2010 年 5 月到 2011 年 4 月之间开展了 6 次水库二氧化碳水气界面交换通量的原位观测试验,获取了水库坝前、上游及支流库湾等重要区域水气界面二氧化碳交换通量的时空分布特征及其影响因素。

1 研究区与试验方案

1.1 研究区介绍

清江水布垭水利枢纽工程位于湖北省巴东县境内,上距恩施市 117 km,下距隔河岩水利枢纽 92 km,是清江梯级开发的龙头枢纽,以发电、防洪、航运为主,

收稿日期: 2011-12-10

基金项目: 水利部公益性科研院所基本科研业务费项目(CKSF2010008); 科技部国家国际合作专项项目(2012DFR70760)

作者简介: 赵登忠,男,高级工程师,博士,主要从事陆面数据同化、水库温室气体源汇变化、遥感地表参数反演的研究。E-mail: njuzhaodz@163.com

并兼顾其他方面的利用。水库正常蓄水位 400 m, 相应库容 43.12 亿 m^3 , 总库容 45.8 亿 m^3 , 装机容量 1 600 MW。截至 2010 年 12 月 31 日, 电站 4 台机组及其他主辅设备运行稳定, 累计发电量约 120.26 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

水库两岸及库底多为石质本底, 水面宽 1~3 km, 水库淹没的植被及土壤较少, 在水库蓄水以前开展了大规模的清库工作。水库为典型河道型水库, 两岸大部分区域非常陡峭, 库区高程基本为 180~2 260 m, 库区人类活动较少, 没有污染型的大型工矿企业, 水质较好。

1.2 试验方案

为了监测水布垭水库二氧化碳水气界面交换通量的时空分布情况, 本次研究分别在水库坝前、干流中游和上游以及典型支流库湾设置了原位观测点, 观测频率原则是每月一次, 由于天气原因, 某些月份有缺测情况。同时, 由于水布垭水库整体上水体宽度较窄, 仅在坝前较宽区域设置了两个观测点构成观测断面, 其他区域均采用一个观测点代表整个观测断面, 并且在石质和土质岸边分别增设了观测点, 具体观测点数量由于特殊天气情况下加密的需要可能有所不同, 但重点区域每次观测均设置了观测断面。具体观测点空间分布如图 1 所示, 图中某些观测点位于陆地是由于不同月份水位不同导致水体范围变化而产生的。

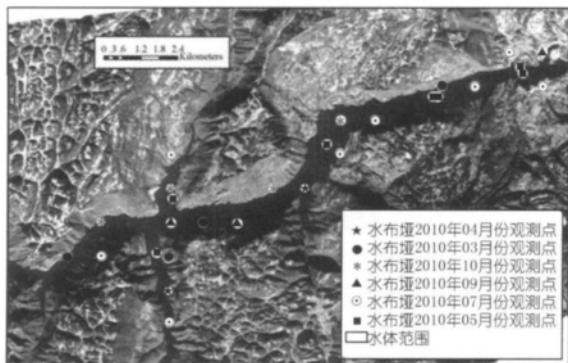


图 1 清江流域水布垭水库温室气体观测点分布示意

2 观测与计算方法

2.1 观测方法

水库温室气体二氧化碳源汇变化原位观测在每个典型观测点主要涉及到浮箱内二氧化碳大气浓度变化、水气界面交换通量及影响因素等。观测指标主要包括二氧化碳水气界面交换通量、水质因子以及气象条件等重要指标。观测仪器设备主要包括国际上公认的 Picarra G1101-i CO_2 观测仪、LGR 便携式温室气体观测仪、Kestrel 便携式气象观测仪、YSI EC300 溶解氧

观测仪、YSI6600 多参数水质监测仪和 Hach 水质探测仪、GPS 等。水气界面交换通量采用国际上流行的浮箱法观测箱内的温室气体浓度变化, 然后根据箱体尺寸参数计算通量。本研究在各观测点测得一系列水环境和气象因子, 通过计算平均值和标准误差进行数据质量控制。

水气界面交换通量采用静态箱法进行观测。该方法在水体表面覆盖一个顶部密封箱体, 箱体底部中空, 收集表层水体以扩散方式交换的二氧化碳气体, 根据箱体内待测气体浓度随时间的变化率来计算被覆盖水体待测气体的排放通量。本研究采用的不锈钢浮箱箱体高度为 50 cm, 直径为 40 cm, 采用不透光、不散热的锡膜覆盖箱体, 减少光线和热量对二氧化碳测量的影响, 采样箱内部装有小型风扇, 用以充分混合箱内气体, 箱体上部密封, 开有两个小孔分别通风扇电源线和采样气体导管。浮箱置于水面, 通过连接箱体和温室气体测定仪的硅胶管连续抽取浮箱内气体, 送入温室气体测定仪的内部腔室进行分析, 得到浮箱内二氧化碳浓度的时间变化曲线, 最后根据曲线变化斜率和箱体规格计算二氧化碳水面交换通量。

2.2 计算方法

水气界面二氧化碳交换通量是指单位时间内单位面积上气体浓度变化量, 正值表示气体从水体向大气排放, 负值表示水体吸收大气中的二氧化碳。本研究采用以下通量计算公式:

$$F = \frac{F_1 F_2 V \Delta C}{F_3 A \Delta t} \quad (1)$$

式中, F 为气体交换通量 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; F_1 为 ppm 与 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^3$ 的单位转换系数, 二氧化碳为 1 798.45; F_2 为分钟与天的转换系数, 1 440; V 为进入浮箱的空气体积 m^3 ; A 为水上部分浮箱的表面积 m^2 ; F_3 为 μg 与 mg 的单位转换系数, 1 000; $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ 为温室气体在观测时间内浓度随时间变化的直线斜率, ppm/mn 。

3 结果与讨论

3.1 空间分布特征分析

本研究分别在 2010 年 5 月 8 日 7 月 16 日 9 月 3 日 10 月 26 日和 2011 年 3 月 30 日 4 月 9 日开展了 6 次观测实验。表 1 为 2010 年 5 月的观测结果。从表 1 可以看出 2010 年 5 月所有观测点二氧化碳通量均在 $400 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下, 观测点 4 和 7 由于水面波浪较大, 可能有外部气体进入箱体, 导致观测数据无效, 实际上只有 5 个观测点数据。其中, 观测点 1 和 2 在水

布垭大坝前,其二氧化碳交换通量均在 $100 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下;观测点3在水库库湾,其通量为 $341.85 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,是所有有效观测点中最高的,从 0.2 m 高度大气二氧化碳浓度空间分布也可以看出,此点浓度也是最高的。观测点5和6距离较近,均在水库中游,其观测时间分别为5月8日11:28和5月9日12:48,因此两个采样点水气界面二氧化碳通量分别为 $169.37 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $152.28 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 相差不大。

表1 2010年5月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2010-05-08-12:31	51.28	5	2010-05-09-11:28	169.37
2	2010-05-08-14:11	76.06	6	2010-05-09-12:48	152.28
3	2010-05-08-16:39	341.85	7	2010-05-09-16:15	-
4	2010-05-08-17:12	-			

表2为2010年7月16日的观测结果。从表中可以看出,水库水体均表现为水体吸收二氧化碳状态,从该月份走航式观测实验中也可证实这种状态。其中,观测点1和2位于坝前,交换通量为 $-411.77 \sim -202.00 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 相对其他观测点而言较低;观测点3和4位于观测点1和2稍为上游的位置,观测点4二氧化碳交换通量为 $-91.68 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,为最低,其观测时间为14:28;观测点6和7位于水库两条支流库湾处,而观测点8位于水库上游,其通量为 $-668.16 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,为最高值。总体上讲,观测点7和8二氧化碳交换通量最高,气象条件和水环境观测数据分析表明,两个观测点观测时风速分别为 1.6 m/s 和 1.5 m/s ,在所有观测点中是最高的,表明风速对交换通量有显著的影响,加快了空气的运动和扩散。同时发现两个观测点水体表层温度和气温相对较低,也是重要影响因素。另外,观测点2所处位置为典型石质库岸,观测点4多为土质库岸且为植被覆盖,水体较浅,但两点二氧化碳交换并没有较大的差别,观测点4的交换通量反而较低,两者的观测时间分别为当天的13:00和14:00,相差并不大。

表2 2010年7月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2010-07-16-12:37	-411.77	5	2010-07-16-15:00	-253.28
2	2010-07-16-13:09	-202.00	6	2010-07-16-16:27	-546.96
3	2010-07-16-14:02	-184.91	7	2010-07-16-16:50	-554.73
4	2010-07-16-14:28	-91.68	8	2010-07-16-17:21	-668.16

表3为2010年9月的观测结果。从表中可以看出,二氧化碳表现为排放状态,在 $46.29 \sim 699.23 \text{ mg}/$

$(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 范围内变化,坝前的观测点2二氧化碳交换通量最高,水库上游的观测点7最低,从总体上看,从坝前到上游二氧化碳水气界面交换通量是逐渐降低的。其中,观测点8和9交换通量分别为 54.26 、 $65.52 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,排放水平均很低。水环境指标分析表明两处观测点水体总碳分别为 20.02 、 19.7 mg/L ,溶解总碳分别为 19.75 、 19.1 mg/L ,均低于其他位置,这可能是观测点8和9二氧化碳交换通量较低的原因。另外,本次观测试验中,对坝下水样进行了分析,发现坝下水体总碳和溶解总碳分别为 24.59 、 23.8 mg/L ,高于坝上所有其他区域水体约 3 mg/L ,表明水库水体经过大坝水轮机后水体溶解总碳没有降低,反而升高了。但是这种现象仅在9月份的水样中发现,原因可能是坝下植被较多,水体经过水轮机后快速溶解了坝下泥沙或植被,从而增加了水体碳含量。对于这一现象的原因,还需要进一步积累观测分析资料,增加说服力。

表3 2010年9月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2010-09-03-11:19	279.69	6	2010-09-03-14:56	279.69
2	2010-09-03-11:58	699.24	7	2010-09-03-18:10	46.29
3	2010-09-03-12:35	419.54	8	2010-09-04-10:08	54.26
4	2010-09-03-13:18	279.69	9	2010-09-04-12:00	65.52
5	2010-09-03-13:52	139.85			

表4为2010年10月的观测结果。从表中可以看出,二氧化碳交换通量在 $200.0 \sim 700.0 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的范围内变化,相对于其他月份整体较高,总体规律是坝前较高,而上游较低。4号和6号观测点交换通量最小,这两个点分别位于水库干流和支流上,气象指标分析表明4号点观测时气温仅为 9.8°C ,为所有观测点中最低;同时,水体叶绿素含量仅为 $1.92 \mu\text{g/L}$,也是所有观测点中最低。总体上看,观测点1、2和3处的交换通量分别为 5384.13 、 $5454.05 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $7341.99 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,观测时气温分别为 10.9°C 、 11.2°C 和 11.2°C ,相对于其他观测点较低,其中观测点1和2观测时水面非常平静,天气为阴天,可能是导致两点出现高排放量的原因。3号观测点靠近大坝,交换通量最大,但是比更接近大坝的1号和2号观测点交换通量更高,表明水气界面二氧化碳交换通量不仅与距大坝位置有关系,还可能与水库库岸形状及水质条件有关。另外,观测点6、7和8均处于水库支流库湾,二氧化碳交换通量分别为 1328.55 、 $2447.33 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $2377.41 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,相对于其他观测点较低;观测时气温为 11.7°C 、 13.1°C 和 13.3°C ,比其他位置观测点高 $1^\circ\text{C} \sim 2^\circ\text{C}$ 。

表 4 2010 年 10 月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2010-10-26-14:20	5384.13	6	2010-10-27-13:50	1328.55
2	2010-10-26-14:56	5454.05	7	2010-10-27-14:30	2447.33
3	2010-10-26-15:28	7341.99	8	2010-10-27-15:01	2377.41
4	2010-10-27-12:50	1957.86	9	2010-10-27-15:35	3286.42
5	2010-10-27-13:29	4195.42	10	2010-10-27-16:00	3636.03

表 5 为 2011 年 3 月的观测结果。从表中可以看出,二氧化碳交换通量在 $-55.94 \sim 405.56 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间变化。从水库干流水气界面二氧化碳交换通量变化的分析来看,总体趋势是坝前和上游较高,而位于中游的 5 号观测点上反而出现吸收现象。两个支流观测点的观测表明,二氧化碳交换通量均在 $100 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下,排放水平较低。

表 5 2011 年 3 月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2011-03-29-14:21	405.56	7	2011-03-30-13:56	167.82
2	2011-03-30-15:52	111.88	8	2011-03-30-12:56	237.74
3	2011-03-29-15:21	293.68	9	2011-03-30-12:10	349.62
4	2011-03-29-14:13	209.77	10	2011-03-30-10:04	41.95
5	2011-03-30-14:58	-55.94	11	2011-03-30-10:45	111.88
6	2011-03-29-15:11	293.68			

表 6 为 2011 年 4 月 10 日的观测结果。从表中可以看出,水气界面二氧化碳交换通量在 $244.73 \sim 1475.39 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间变化,其中,位于水库库湾的观测点 8 交换通量最低,水库上游的观测点 7 最高。从总体变化趋势上看,从水库上游到坝前是增加趋势,但最高值出现在上游观测点 7,经分析发现此处的叶绿素含量非常低,仅为 $0.81 \mu\text{g}/\text{L}$ 。观测点 6 和 8 均位于水库两个支流库湾中,二氧化碳通量分别为 $496.46 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $244.73 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,观测点 8 的交换通量为该月所有观测点中最低的,其原因可能是观测时气温较高,达到 27.8°C ,表层水温也较高,达到 10.9°C ,影响到水体二氧化碳的扩散。

表 6 2011 年 4 月二氧化碳交换通量

观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)	观测点	观测时间	二氧化碳通量/ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)
1	2011-04-10-09:00	825.10	5	2011-04-10-12:18	489.47
2	2011-04-10-09:27	692.24	6	2011-04-10-13:32	496.46
3	2011-04-10-10:18	881.04	7	2011-04-10-14:08	1475.39
4	2011-04-10-11:20	615.33	8	2011-04-10-16:05	244.73

3.2 时间变化特征分析

为了研究清江水布垭水库水气界面二氧化碳交换通量随时间的变化情况,本研究选择了坝前、中游、上游、支流和库湾 5 个典型观测点(其空间分布如图 2 所

示)观测分析二氧化碳源汇变化情况。图 3 为上述 5 个典型观测点二氧化碳交换通量随时间变化的情况。从图中可以看出,2010 年 7 月份二氧化碳为吸收状态,其他观测月份为排放状态,其中,2010 年 10 月二氧化碳交换通量最高,其他月份水气界面交换通量均在 $1000 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 以下。

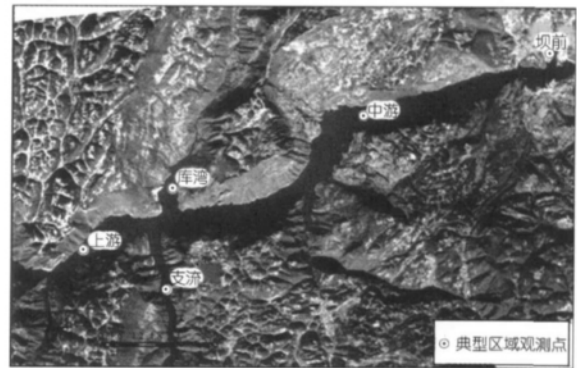


图 2 水气界面二氧化碳交换通量典型观测点布置示意

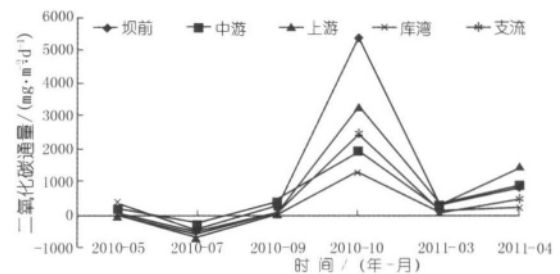


图 3 典型观测点水气界面二氧化碳通量变化情况

3.3 影响因素分析

水库温室气体二氧化碳时空分布特征受众多因素的影响,包括水质参数、水体碳含量和气象条件等重要因素。因此,本研究在观测水气界面二氧化碳交换通量时,在各测点同步观测了水温、水体溶解氧、水体叶绿素、水体碳含量、气温、风速等重要水环境和气象因子。图 4 是水布垭水库 2010 年 5 月到 2011 年 4 月水气界面二氧化碳交换通量与气温之间的关系,其中,图 4(a) 为所有观测点 6 次观测的数据,图 4(b) 为 5 个观测点 6 次观测的平均交换通量和平均气温之间的关系。从图中可以看出,两者呈现负相关关系,其中,所有观测点数据相关曲线为二次曲线,但从平均交换通量与平均气温的关系图中可以看出两者呈典型的线性负相关关系。从总体上讲,二氧化碳交换通量随着气温的升高而降低,且随着气温的升高其降低的幅度逐渐减小。

图 5 为交换通量水体溶解氧及水体叶绿素之间的关系,图中数据包括所有观测点 6 次的观测数据,其关系也呈负相关关系,变化趋势与气温关系相类似。图 6 是二氧化碳交换通量与水体碳含量之间的关系。

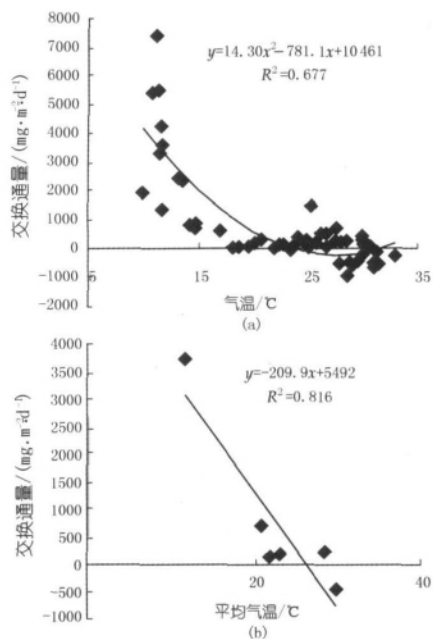


图4 交换通量与气温之间的关系

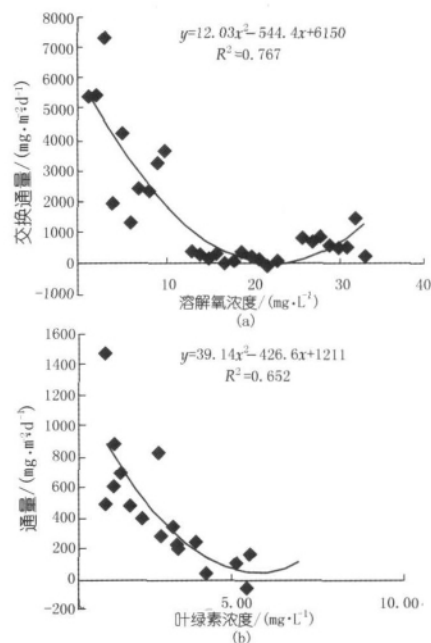


图5 交换通量与溶解氧浓度、叶绿素浓度之间的关系

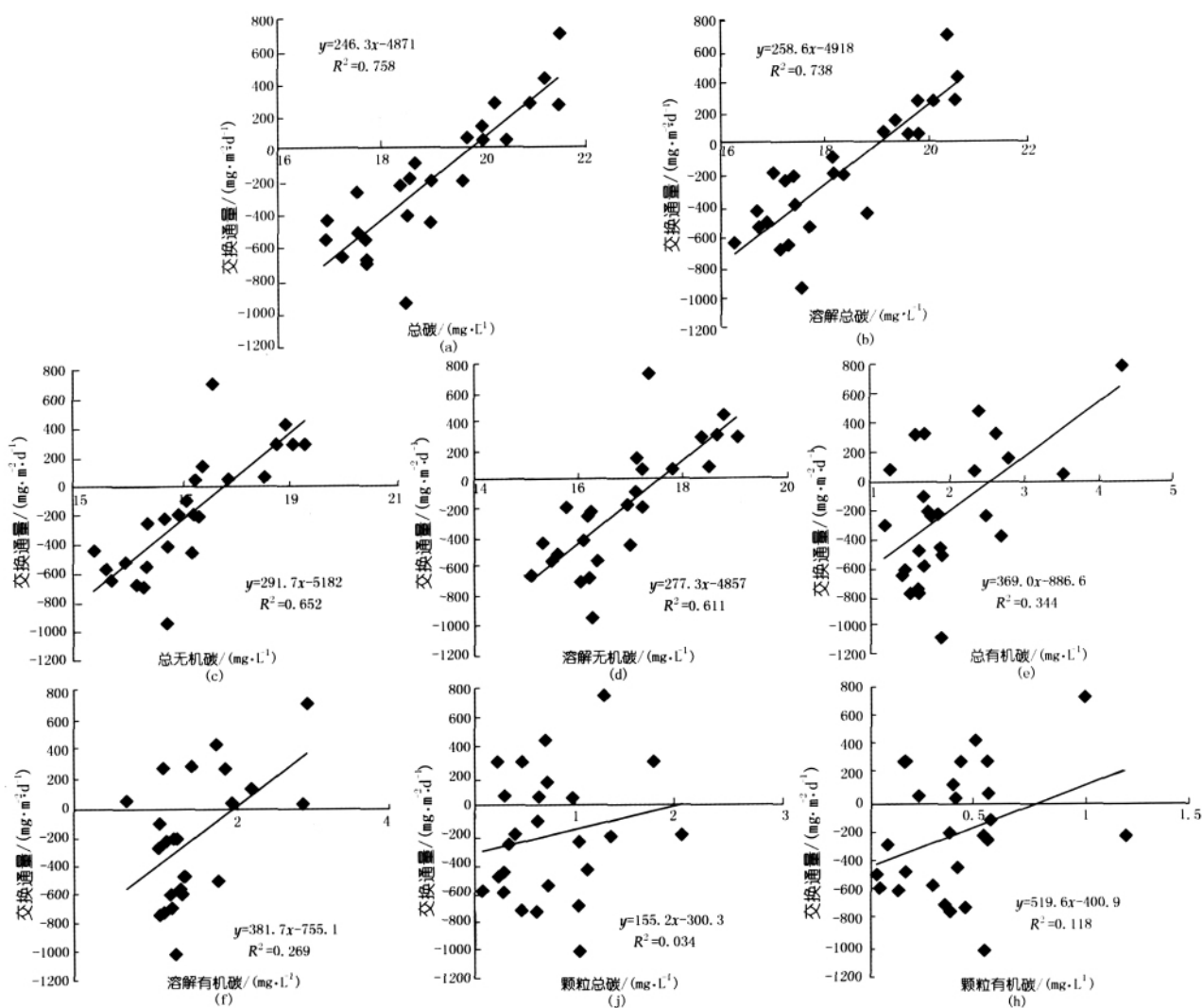


图6 水气界面二氧化碳交换通量与水体碳含量之间的关系

从图6中可以看出二氧化碳交换通量与所有存在形式的碳均为正线性相关关系,说明二氧化碳交换通量在释放状态时随水体碳含量的升高而变大,在吸收状态下随水体碳含量的升高其绝对值呈减小趋势。水气界面二氧化碳的交换是一个动态过程,水体碳含量在很大程度上决定了在总体上是排放还是吸收。从图中可以看出二氧化碳交换通量与总碳的相关性最大,达到0.758,而与总颗粒碳相关性最小,仅为0.034。另外,从数量级上看水布垭水体总碳以无机碳为主,有机碳含量较少,二氧化碳交换通量与水体总无机碳、总溶解碳、溶解无机碳显著相关,而与总有机碳、溶解有机碳、颗粒有机碳的相关性并不大,相关系数仅为0.344、0.269和0.118,表现为弱相关关系。

4 结 论

通过实际观测数据,本文重点研究了水布垭水库二氧化碳水气界面交换通量的时空分布特征,分析了气温、水体叶绿素、溶解氧和水体碳含量等重要因素对二氧化碳水气界面交换通量的影响,初步得出结论:水布垭水库水气界面二氧化碳交换通量时空差异性较大,在排放状态下从上游到坝前逐渐升高,在吸收状态下则逐渐降低,夏季较低,气温较低时较高,总体平均为 $653.29 \pm 1599.24 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。其中,2010年7月份水库水气界面表现为二氧化碳吸收状态,其量在 $-202.0 \sim -411.77 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间变化;其他月份均表现为排放状态,其中2010年10月份二氧化碳排放量最为突出,最高值达到 $7341.99 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

参考文献:

- [1] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) [R]. Cambridge: Cambridge University Press 2007: 1-7.

- [2] 隋欣,廖文根. 中国水电温室气体减排作用分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(2): 133-137.
- [3] 李海英,冯顺新,廖文根,等. 全球气候变化背景下国际水电发展态势[J]. 中国水能及电气化, 2010, 4(10): 29-37.
- [4] 王文铭,艾尉. 低碳经济背景下我国水电发展前景分析及建议[J]. 中国水利, 2010, 4(14): 25-26.
- [5] 林初学. 水坝工程建设争议的哲学思辨[J]. 中国三峡建设, 2006, (6): 11-15.
- [6] WCD. Dams and Development a New Framework for Decision-Making, the report of the World Commission on Dams [R]. London: Earthscan Publications Ltd 2002.
- [7] Tremblay A, Varfalvy L, Roehm C. et al. Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments [R]. Environmental Science Series, Springer, Berlin: Heidelberg, New York 2005: 233-250.
- [8] Delmas R, Galy-Lacaux C, Richard S. Emissions of greenhouse gases from the tropical hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) compared with emissions from thermal alternatives [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2001, 15(4): 993-1003.
- [9] Duan X N, Wang X K, Mu Y J, et al. Seasonal and diurnal variations in methane emissions from Wuliangsu Lake in arid regions of China [J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(14): 4479-4487.
- [10] Chen Huai, Wu Yuyuan, Yuan Xingzhong, et al. Methane emissions from newly created marshes in the drawdown area of the Three Gorges Reservoir [J]. Geophys. Res. 2009, 114, D18301, doi: 10.1029/2009JD012410.
- [11] 陈永根,李香华,胡志新,等. 中国八大湖泊冬季水气界面 CO_2 通量[J]. 生态环境, 2006, 15(4): 665-669.
- [12] 赵登忠,谭德宝,汪朝辉,等. 清江流域水布垭水库温室气体交换通量监测与分析研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(10): 197-204.
- [13] 赵登忠,林初学,谭德宝,等. 清江流域水布垭水库二氧化碳大气廓线空间分布及其水环境效应[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(12): 1495-1501. (编辑: 常汉生)

Research on exchange law of CO_2 at water - air interface of Shuibuya Reservoir

ZHAO Dengzhong, TAN Debao, WANG Zhaohui, LI Ze

(Spatial Information Technology Application Institute, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to analyze the spatial-temporal sources and convergence distribution law of greenhouse air in reservoir, taking Shuibuya Reservoir on the Qingjiang River as a research object, 6 times' observation on CO_2 exchange flux were made from May, 2010 to April, 2011, and the CO_2 exchange flux at important location at the dam, upstream and tributaries as well as influence factors were obtained. The analysis on the measured data shows that the spatial and temporal distribution of CO_2 exchange flux of Shuibuya Reservoir differs in large extent, under emission state, the exchange flux increases from upstream to the dam and decrease under absorption state; the exchange flux is low in summer and high in low temperature; the spatial-temporal distribution of CO_2 exchange flux is influenced by the factors of air temperature, dissolved oxygen, chlorophyll-a, C-content in water body etc.

Key words: water - air interface; greenhouse air in reservoir; CO_2 exchange flux; spatial-temporal distribution law; Shuibuya Reservoir