

波浪作用下浮式光伏组件基座水体交换实验研究

陈维¹, 刘文龙¹, 蒋茗韬², 毛晨浩¹

(1. 浙江海洋大学海洋工程装备学院, 舟山 316022; 2. 上海大学力学与工程科学学院, 上海 200400)

摘要: 采用平面激光诱导荧光(PLIF)方法,对波浪作用下浮式光伏组件基座的交换通量进行定量分析。设计不同开孔交换面积的浮箱模型,并在不同波高和温度下进行实验。实验结果表明,水体在基座内停留时间与波高、基座单元间的连通面积及单元内水体与环境水体的温差有关,波高的影响最大,温度次之,连通面积最小。

关键词: 光伏组件; 波浪作用; 质量传递; 浮式发电站; 平面激光诱导荧光

中图分类号: P753

文献标志码: A

0 引言

水上太阳能光伏(floating solar photovoltaic, FPV)系统自2007年出现后便得到了大力发展,随后世界40多个国家对此开展了可行性研究并开始筹建一些大型太阳能发电项目^[1-2]。相比于陆地光伏,浮式太阳能光伏发电除了能节约大量宝贵的土地资源外,还具有以下优点:理论上,由于光伏组件的遮挡作用,可减少由于蒸发造成的水库水量损失^[3];遮挡区域内,藻类生长能得到一定程度的抑制,水体富营养化得到缓解;夏季清凉的水面会给晶体硅光伏组件带来较好的冷却效果^[4-5],从而保证光伏组件维持较高的光电转化效率;洁净的水面环境使得光伏组件不易受灰尘干扰,有效降低了日常维护需求^[6]。此外,相对于陆上光伏^[7],由于湖泊和池塘水面的租金低廉,且无需支付土地平整、除草等维护管理费用。虽然目前浮式光伏组件的初始安装成本仍较高,但考虑到未来大规模量产带来的成本下降,特别是未来海上太阳能发电相对于沿海城市较低的输电成本^[8],水上光伏发电具有广阔的应用前景。

国外学者对浮式太阳能发电系统做了一系列研究。Rosa等^[9]调查了澳大利亚一家污水处理厂的浮式光伏系统,所得结论是水面每安装发电量为1 MW的浮式光伏组件,将会节约15000~25000 m³因蒸发而损失的水量。Helfer等^[10]估计,在澳大利亚每年约有40%的水库蓄水量因蒸发而损失,而未来这一数量还会随全球气候变暖进一步增加。Santafe等^[11]计算分析在西班牙安装浮动光伏组件系统在灌溉水库上能减少25%由于蒸发引起的水损失量。

Sahu等^[12]得出浮式太阳能系统可消减天然湖泊和池塘的蓄水量损失高达33%,而人工蓄水设施则高达50%。因此,浮式光伏系统与水力发电站水库的结合应用也得到了广泛研究。水库是漂浮光伏组件的理想安装场所,而且适当的光伏组件安装方案还可通过抑制某些藻类的生长而抑制溴化物转化为溴酸盐^[13]。

一个典型的光伏组件能将入射太阳能的4%~18%能量转化为电能,这取决于太阳电池的类型和气候条件。其余入射的太阳辐射则以热量的方式显著提高光伏组件的温度^[14-15]。由于温度升高,光伏组件的功率输出可降低10%~25%,这是因为热量增加了半导体的导电性,使得电荷分布更趋于平衡,电场强度减小,发电效率降低。因此,设计合理的光伏基座系统可促进水流散热,使光伏组件保持较低的温度,从而保证相对较高的发电效率^[16]。然而,目前很多关于光伏组件的研究聚集在热能分析^[17-18]等,关于浮式光伏组件基座的流体力学和水体交换问题的报道较少。本文通过实验模型模拟现实中由4个浮动单元组成的基座系统,对浮式光伏组件基座中水体质量交换的影响因素进行研究。在实验中,相邻单元之间的连通区域通过增减连通孔的数量进行调节。实验在波浪水槽中进行,采用平面激光诱导荧光(planner laser induced fluorescence, PLIF)系统,分别观测不同温差、波高、连通面积下基座内水体与周边水体的交换质量,探讨交换质量与连通面积、温差和波高的关系,然后对实验结果进行讨论,并考虑各种影响因素对浓度衰减进行无量纲分析,最后对上述影响因素进行定量综合评价。

收稿日期: 2021-02-24

基金项目: 自然资源部海洋空间资源管理技术重点实验室开放基金(KF-2021-106); 国家自然科学基金(42006143)

通信作者: 蒋茗韬(1987—),男,博士、讲师,主要从事近岸水动力方面的研究。mtjiang@shu.edu.cn

1 实验设置

实验在新加坡南洋理工大学南洋环境与水资源研究所环境过程模拟中心(EPMC)实验室的波浪水槽中进行。采用 PLIF 技术获得质量变化的空间分布。有关 PLIF 程序的详细说明见文献[19]。波浪水槽下安装有双腔脉冲激光器(Dantec Dynamics, 4类 Nd:Yag, 50~100 Hz 双激光器)以照亮隔室中的荧光溶液。CCD 相机可以每秒 100 帧的采样率在 8 位灰度中捕获图像,最大分辨率为 2320 像素×1726 像素。高速电荷耦合器件(CCD)数码相机(Dantec Dynamics, Speed Sense 1040)配备 570 nm 低通滤波器,用于记录浓度变化,以计算隔室内的质量交换率。水槽周边的空间使用专用的激光帷幕包围,营造全黑环境。PLIF 的浓度值校准使用一个尺寸为 0.4 m(长)×0.05 m(宽)×0.65 m(高)的校准盒进行,其内放置有格栅间距为 2 cm×2 cm 的有机玻璃板,用于校准物理尺度。单元体内的溶液在实验开始前预先配置,溶液由温水中加入荧光染料(罗丹明 B)配置而成。染料浓度 c_0 由荧光计(Turner Design 1200)测量。源溶液和环境水的温度由温度计(Anton Paar, MKT10)测定。波浪水槽的尺寸为:长 $L=8$ m、宽 $W=0.3$ m、深度 $D=1$ m,水槽的侧边和底部均采用透明玻璃板。水槽中的自来水加注至 0.4 m 水深,波浪水槽示意图如图 1 所示。水槽一端装有造波机,用于产生不同类型的波浪,包括不同波高和周期的规则波和不规则波。水槽的另一端部设置有倾斜的吸波网(坡度角=38°),用于减轻反射波的影响。

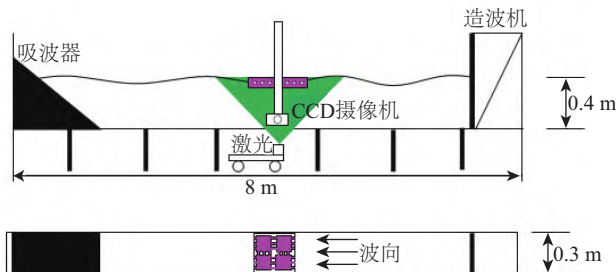


图 1 波浪水槽示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wave flume

在 3 种波高(4、8、12 mm)、3 种温差(2、4、7 °C)和 4 种连通面积(0、1、2、3 个连通孔)下共进行 36 组实验。图 2 为承载光伏组件的浮式太阳能发电平台模型,光伏组件倾斜交错布置于基座上方。图 3 为光伏组件基座模型的平面结构示意图,基座平面外部长度为 300 mm,内部长度为 270 mm。模型内部有 4 个隔间,每个隔间的尺寸相同,为 150 mm×150 mm×40 mm,隔室的壁厚为 15 mm。图 4 为模型置于波浪水槽中的实物图。隔室每侧的墙壁上有 3 个间距相等直径为 10 mm 的连接孔。在实验中,通过开关连接孔可得到不同的连通方案。

实验中,为便于控制单元体内水体的水温,基座底部设计有一块可滑动的、尺寸为 300 mm×300 mm 的有机玻璃底板,

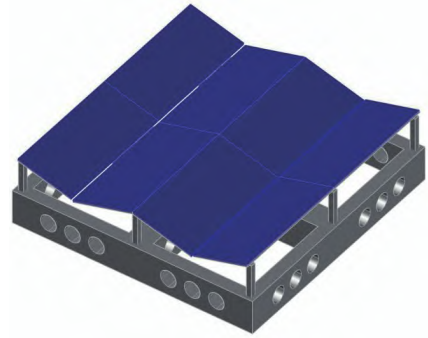


图 2 浮式光伏发电平台模型

Fig 2 Model of floating PV power generation platform

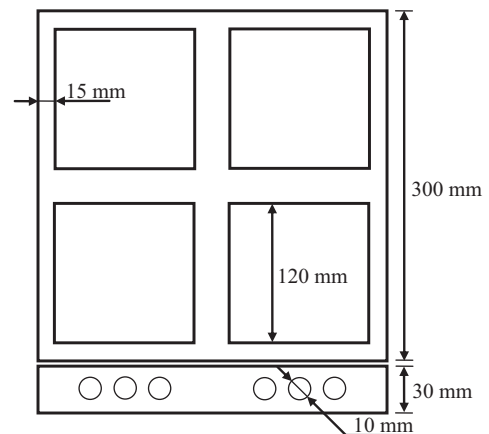


图 3 四单元浮式基座示意图

Fig 3 Diagram of floating base with four units



图 4 波浪水槽中的物理模型

Fig. 4 Physical model in wave flume

用于密封模型的 4 个单元格。实验开始时,首先将插入底板的基座放入水中,同时开启造波系统,待波浪数据稳定后,开始用特制的 4 分口漏斗向 4 个单元中同时注入含有 rhodamine-B 荧光剂的温水,注水时温水的温度比设计温度高约 0.5 °C。将水注满后,观察单元体中电子温度计的读数,当水温降至指定的温度时(若水温已降至指定温度以下,并且与预定温度偏差超过 10%时,则舍弃该组数据),抽开底板使单元体内温水与环境水体接触。开启 PLIF 系统,对水体交换进行观测。最后通过校准所得的数据库将图像的光强值转换为浓度值,并提取单元体内荧光染色剂浓度随时间变化的关系图。表 1 为波浪水槽中的实验方案。

表1 波浪水槽实验方案
Table 1 Test plant of wave flume

编号	简写	温差/℃	波高/ mm	连通 孔数
W1	0H WAVE1 2 ℃	2	4	0
W2	0H WAVE2 2 ℃	2	8	0
W3	0H WAVE3 2 ℃	2	12	0
W4	1H WAVE1 2 ℃	2	4	1
W5	1H WAVE2 2 ℃	2	8	1
W6	1H WAVE3 2 ℃	2	12	1
W7	2H WAVE1 2 ℃	2	4	2
W8	2H WAVE2 2 ℃	2	8	2
W9	2H WAVE3 2 ℃	2	12	2
W10	3H WAVE1 2 ℃	2	4	3
W11	3H WAVE2 2 ℃	2	8	3
W12	3H WAVE3 2 ℃	2	12	3
W13	0H WAVE1 4 ℃	4	4	0
W14	0H WAVE2 4 ℃	4	8	0
W15	0H WAVE3 4 ℃	4	12	0
W16	1H WAVE1 4 ℃	4	4	1
W17	1H WAVE2 4 ℃	4	8	1
W18	1H WAVE3 4 ℃	4	12	1
W19	2H WAVE1 4 ℃	4	4	2
W20	2H WAVE2 4 ℃	4	8	2
W21	2H WAVE3 4 ℃	4	12	2
W22	2H WAVE3 4 ℃	4	4	3
W23	3H WAVE3 4 ℃	4	8	3
W24	3H WAVE3 4 ℃	4	12	3
W25	0H WAVE1 7 ℃	7	4	0
W26	0H WAVE2 7 ℃	7	8	0
W27	0H WAVE3 7 ℃	7	12	0
W28	1H WAVE1 7 ℃	7	4	1
W29	1H WAVE2 7 ℃	7	8	1
W30	1H WAVE3 7 ℃	7	12	1
W31	2H WAVE1 7 ℃	7	4	2
W32	2H WAVE2 7 ℃	7	8	2
W33	2H WAVE3 7 ℃	7	12	2
W34	3H WAVE1 7 ℃	7	4	3
W35	3H WAVE2 7 ℃	7	8	3
W36	3H WAVE3 7 ℃	7	12	3

2 结果与讨论

在实际应用中,基座的散热效率很大程度上取决于基座内外水体之间的质量交换。水在基座内的滞留时间是衡量基座内散热效率的重要指标之一。在实验中,水体交换率与多方面因素有关,首先是模型的结构,基座墙壁可阻挡内部的水与周围的水交换。因此,连通面积和浸入深度会影响质量交换率。另一方面是外部水动力条件,在不同的温差和波高条件下,基座的交换效率也会受到影响。

图5为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3个连通孔)时,示踪染料在2 ℃温差下基座内的浓度衰减。浓度根据150 s内基座内的浓度变化来进行统计。为排除底板抽离等动作对初始阶段浓度值的扰动,主要对50~150 s总计100 s内的浓度变化趋势进行分析。比较不同波高下的衰减公式,其浓度衰减速率(c/c_0)随波高的增加而增加。在基座间完全隔断(0孔)的情况,波高为4 mm时,100 s内无量纲浓度只下降了不到5%。当波高增加时,无量纲浓度衰减较快。当波高增加到8 mm和12 mm时,浓度在100 s内分别下降10%和40%。比较图5每列的4张图片(波高相同,连通面积逐渐增大)的衰减效率可以发现类似的变化,随着连通面积的增大,浓度衰减得更快。用负指数关系可描述无量纲浓度 c/c_0 与 t 之间的关系,指数系数由波高和连通面积共同决定。当波高和连通面积较小时,相关系数较小。随着波高和连通面积的增大,相关系数从0.14增至0.96。相关系数越高,说明指数关系更加适用于波高较高和连接面积越大的情况。

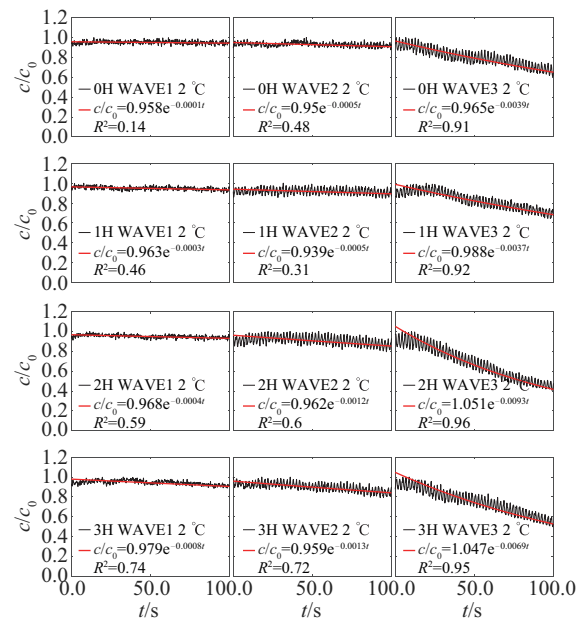


图5 不同波高和连通面积时2 ℃温差下浓度衰减
Fig. 5 Concentration attenuation at 2 ℃ under different wave heights and connected areas

图 6 为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3 个连通孔)时 4℃温差下的浓度衰减。与 2℃温差相比,浓度衰减较慢。较低浓度衰减可能是由于 4℃温差下内部水密度变小,使得内部水体更难向下沉降并与下面的环境水交换。 c/c_0 与 t 的关系也可用指数函数来描述。在 4 mm 波高下,浓度在 100 s 内略有衰减,小于 5%,而当波高增加到 8 mm 和 12 mm 时,浓度在 100 s 内分别下降 15%和 40%。当连通面积发生变化时,也可观察到类似的变化。在 12 mm 波高下,0、1、2、3 连通孔在 100 s 内浓度分别下降 10%、20%、25%、35%。4℃和 2℃温差情况的比较表明,较高的温差不利于基座中的水与周围水体的质量交换。相关系数的变化再次表明,指数关系更适合于较大波高和连通面积的情况。

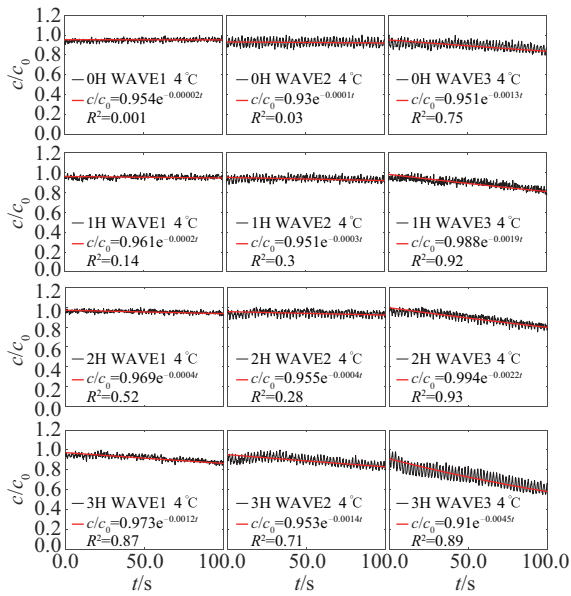


图 6 不同波高和连通面积时 4℃温差下浓度衰减

Fig. 6 Concentration attenuation at 4℃ under different wave heights and connected areas

图 7 为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3 个连通孔)时 7℃温差下的浓度衰减。与 4℃温差相比,其浓度衰减更慢。在 4 mm 波高下,浓度在 100 s 内略有衰减,小于 5%,当波高增加到 8 mm 和 12 mm 时,浓度在 100 s 内分别下降 10%和 30%。而当连通面积发生变化时,也可观察到类似的变化。在 12 mm 波高下,0、1、2、3 连通孔在 100 s 内浓度分别下降 8%、15%、20%、30%。相关系数在 0.001 ~ 0.9 之间,波高越低,相关系数最低。

图 8 为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3 个连通孔)时 2℃温差下荧光示踪剂的无量纲浓度 c/c_0 分布。当波高增加时,基座下方可观察到高浓度区。连通面积的增加也会导致基座中的水向下扩散。对比各浓度分布可得到,连通面积增大,基座下方的高浓度区也显著增加。然而,与波高的影响相比,连接面积对质量交换率的影响相对较小。

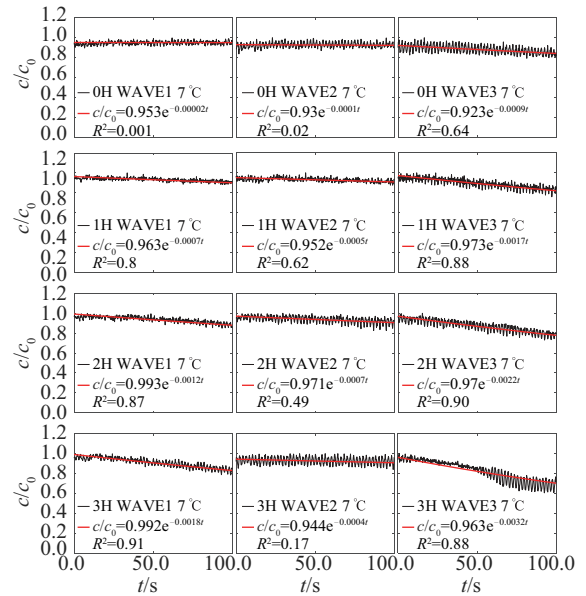


图 7 不同波高和连通面积时 7℃温差下浓度衰减

Fig. 7 Concentration attenuation at 7℃ under different wave heights and connected areas

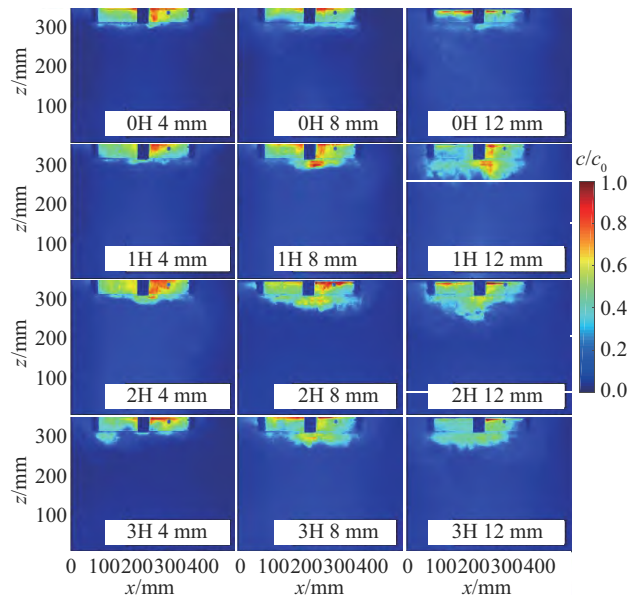


图 8 不同波高和连通面积时 2℃温差下浓度 (c/c_0) 分布

Fig. 8 Concentration distribution (c/c_0) at 2℃ temperature difference under different wave heights and connected areas

图 9 为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3 个连通孔)时 4℃温差下荧光示踪剂的无量纲浓度 c/c_0 分布。从图 9 第一排的 3 个分布图(连通面积相同,波高增大)可看出,当基座之间不连通(0 孔)时,由于基座内水体密度较小,基座中的水很难向下沉降并扩散到周围的水中。波高的增加使基座的水动力条件得到改善,使基座下方高浓度区略有增加。当连通面积增加到 3 个孔时,基座中水体质量交换量

显著增加。与 2 °C 温差情况相比,连通面积对质量交换的影响幅度较小。

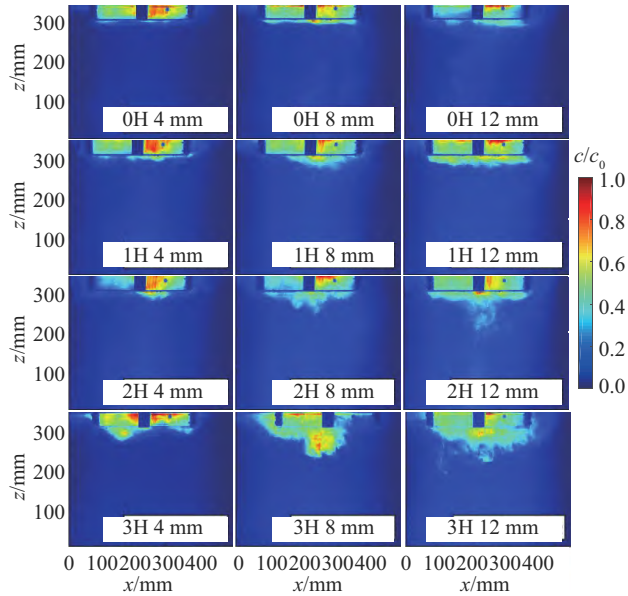


图9 不同波高和连通面积时4 °C温差下浓度(c/c_0)分布
Fig. 9 Concentration distribution (c/c_0) at 4 °C temperature difference under different wave heights and connected areas

图 10 为不同波高(4、8、12 mm)和连通面积(0、1、2、3 个连通孔)时 7 °C 温差下浓度 (c/c_0) 分布。与 4 °C 温差下扩散浓度 c/c_0 相比,在 7 °C 温差下,即使波高和连通面积增加,太阳能基座内的热水也很难扩散。结果表明,当温差过大时,即使波高增加,连通面积增大,基座内水体与周围的水体交换也很有限。

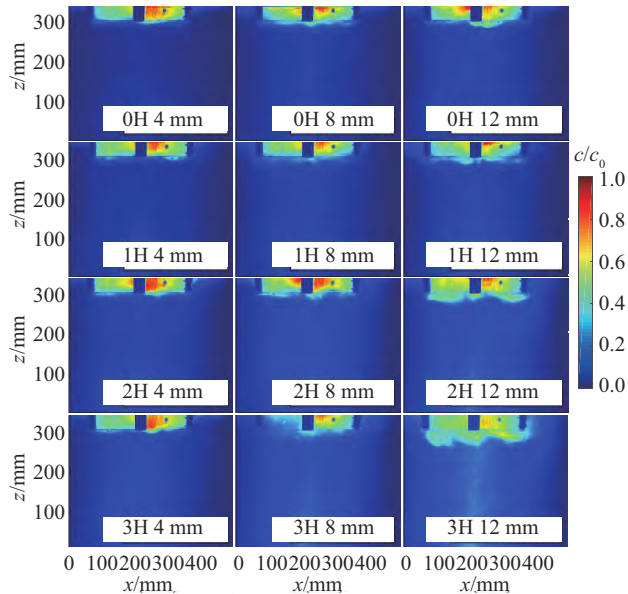


图 10 不同波高和连通面积时7 °C温差下浓度(c/c_0)分布
Fig. 10 Concentration distribution (c/c_0) at 7 °C temperature difference under different wave heights and connected areas

图 11 为单因素影响下,100 s 时单元体内染色剂的浓度。从图 11a 可看出,波高 4 mm、1 孔连通情况下,100 s 时单元体内染色剂的浓度随温差的增加而增大。当温差由 2 °C 增至 4 °C 时,单元体内染色剂的无量纲浓度由 0.933 增至 0.972,增加了 4.22%,表明较大的温差会抑制太阳能基座内的水体扩散。图 11b 为波高 4 mm、温差 2 °C 情况下,100 s 时单元体内染色剂的浓度随连通面积的变化。从图 11b 可看出,单元体内染色剂浓度随连通面积的增大而减少,当连通面积由 0 孔增至 3 孔时,单元体内染色剂的浓度从 0.944 减至 0.905,减少幅度为 4.1%。而从图 11c 可观察到,在温差 2 °C、1 孔连通情况下,100 s 时单元体内染色剂的浓度随波高的增加而显著减少。当波高从 4 mm 增至 12 mm 时,单元体内染色剂的浓度从 0.933 减至 0.683,减少幅度达 26.8%。由此可见,连通面积及波高的增加均会促进单元内的水体交换,且大波高作用下,单元体内水体与环境水体的交换明显增强。

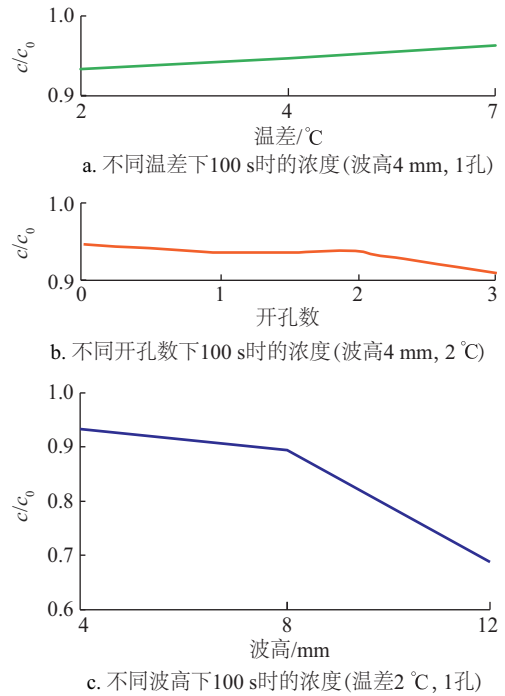


图 11 单因素影响下单元体内染色剂浓度的变化

Fig. 11 Changes of dye concentration in cell under single factor
浓度衰减与波高、孔面积、温差和时间有关。以 36 组波浪水槽试验数据为基础,采用无量纲分析,得到浓度衰减率 (c/c_0) 与波高 (h_w)、孔面积 (A)、温差 (Δt) 和时间 (t) 的关系式:

$$c/c_0 = e^{a_1 \left(\frac{A}{h_w^2}\right)^{a_2} \left(\frac{h_w}{T}\right)^{a_3} \left(\frac{h_w}{h}\right)^{a_4} \left(\frac{h_w}{H}\right)^{a_5} \left(\frac{\Delta t}{t_0}\right)^{a_6}}$$

式中: $a_1 = 16.326$, $a_2 = 0.2670$, $a_3 = 1.120649$; $a_4 = 2.22690350$, $a_5 = 1.1596207$, $a_6 = -0.9245973$; l —— 设备宽度,取值 300 mm; h —— 设备浸水深度,取值 38 mm; H —— 水深,取值 400 mm; t_0 —— 环境温度。根据连通面积、波高和温差的指

数值,得出水体交换的影响程度,波高的影响最大,温度次之,开孔面积最小。

3 结 论

本文采用平面激光诱导荧光(PLIF)系统,在波浪水槽中进行了一系列实验。考虑到实际情况中基座内水体温度与环境水体的温差一般较小,因此辐射和热传导的影响较为微弱。热量的交换主要依附于传质的方式进行,因此实验中对基座内热交换的观测主要以观察水体质量交换的方式进行。对不同温差、波高、连通面积下基座内和周围水体的质量交换进行测量,探讨了质量交换与连通面积、温差和波高的关系。得到如下结论:

- 1)基座与周围水域的温差越大,基座内的水体越难沉降到基座外,因此温差越大水体交换率越低。
- 2)波高越大,基座与周围水体交换越大,强水动力条件有利于基座与周围水体的质量交换。
- 3)当波高和连通面积较大时,无量纲浓度与时间呈负指数关系的相关性较高。
- 4)采用无量纲分析,得到浓度衰减率与波高、连通面积、温差和时间的关系式,结果表明波高的影响最大,温度次之,连通面积最小。

[参考文献]

- [1] BUONOMANO A, FORZANO C, KALOGIROU S A, et al. Building-façade integrated solar thermal collectors: Energy-economic performance and indoor comfort simulation model of a water based prototype for heating, cooling, and DHW production [J]. *Renewable energy*, 2019, 137: 20-36.
- [2] JUNG J, HAN S U, KIM B. Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes[J]. *Applied energy*, 2019, 242: 57-68.
- [3] KUMAR V A, RASHMITHA M, NARESH B, et al. Performance analysis of different photovoltaic technologies [C]//International Conference on Advanced Electronic Systems (ICAES), Pilani, India, 2013.
- [4] RAHMAN M M, HASANUZZAMAN M, RAHIM N A. Effects of various parameters on PV-module power and efficiency[J]. *Energy conversion and management*, 2015, 103: 348-358.
- [5] KUMAR P, JOHN S S, SHUKLA A K, et al. Performance analysis of 68 W flexible solar PV[J]. *International journal of energy and environmental engineering*, 2015, 2(3): 227-231.
- [6] SHUKLA K N, RANGNEKAR S, SUDHAKAR K. A comparative study of exergetic performance of amorphous and polycrystalline solar PV modules[J]. *International journal of exergy*, 2015, 17(4): 433-455.
- [7] 王春林, 郭放, 朱永利, 等. 大规模太阳能跨季节土壤储热系统设计优化[J]. *太阳能学报*, 2021, 42(4): 320-327.
- [8] WANG C L, GUO F, ZHU Y L, et al. Design and optimization of large-scale seasonal borehole thermal energy storage system for solar energy [J]. *Acta energiae solaris sinica*, 2021, 42(4): 320-327.
- [9] SUDHAKAR K, SRIVASTAVA T. Energy and exergy analysis of 36 W solar photovoltaic module[J]. *International journal of ambient energy*, 2013, 2(1): 31-44.
- [10] ROSA C M, TINA G M, NIZETIC S. Floating photovoltaic plant and wastewater basins: an Australian project [J]. *Energy procedia*, 2017, 134: 664-674.
- [11] HELFER F, LEMCKERT C, ZHANG H. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia [J]. *Journal of hydrology*, 2012, 475: 365-378.
- [12] SANTAFÉ M R, SOLER J B T, ROMERO F J S, et al. Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs [J]. *Energy*, 2014, 67: 246-255.
- [13] SAHU A, YADAV N, SUDHAKAR K. Floating photovoltaic power plant: a review[J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2016, 66: 815-824.
- [14] GAMARRA C, RONK J J. Floating solar: an emerging opportunity at the energy - water nexus [J]. *Texas water journal*, 2019, 10(1): 32-45.
- [15] DUBEY S, SARVAIYA J N, SESHADRI B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world-a review[J]. *Energy procedia*, 2013, 33: 311-321.
- [16] AZMI M S M, OTHMAN M Y H, RUSLAN M H H, et al. Study on electrical power output of floating photovoltaic and conventional photovoltaic [J]. *AIP conference Proceedings*, 2013, 1571(1): 95-101.
- [17] DASH P K, GUPTA N C. Effect of temperature on power output from different commercially available photovoltaic modules [J]. *International journal of engineering research and applications*, 2015, 5(1): 148-151.
- [18] 刘艳峰, 李荟婷, 王登甲, 等. 太阳能集热系统过热影响因素分析[J]. *太阳能学报*, 2021, 42(3): 463-468.
- [19] LIU Y F, LI H T, WANG D J, et al. Factor analysis of overheating in solar collector system [J]. *Acta energiae solaris sinica*, 2021, 42(3): 463-468.
- [20] 宋子旭, 由世俊, 张欢, 等. 槽式太阳能新型腔式吸热

器的热性能研究[J]. 太阳能学报, 2021, 42(3): 475-479.

SONG Z X, YOU S J, ZHANG H, et al. Thermal performance of solar trough system with a novel cavity receiver[J]. Acta energiae solaris sinica, 2021, 42(3):

475-479.

[19] LAW A W K, WANG H W. Measurement of mixing processes with combined digital particle image velocimetry and planar laser induced fluorescence [J]. Experimental thermal and fluid science, 2000, 22(3-4): 213-229.

EXPERIMENTAL STUDY ON WATER EXCHANGE OF FLOATING SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULE UNDER WAVE ACTION

Chen Wei¹, Liu Wenlong¹, Jiang Mingtao², Mao Chenhao¹

(1. College of Marine Engineering Equipment, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. School of Mechanics and Engineering Science, Shanghai University, Shanghai 200400, China)

Abstract: The planar laser induced fluorescence (PLIF) approach is used to quantify the exchange flux of the floating system under wave. The floating compartments model are designed with different open exchange areas and the experiments are performed under different temperature differences, and also different wave heights. Under wave condition, the experimental results show that the retention time depends on the wave height (h_w) and open area (A). The influence of wave height is formed to be most significant, and the temperature is the second while the open area is the least.

Keywords: PV modules; wave effects; mass transfer; floating power plants; planar laser induced fluorescence