

# 一种水生态环境 实时在线监测装置设计及应用

姜景晟<sup>1</sup>, 陈鹤翔<sup>1\*</sup>, 汪 露<sup>2</sup>, 张凯文<sup>1</sup>, 詹泸成<sup>1</sup>, 郁张睿龙<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省洪泽湖水利工程项目管理处, 江苏 淮安 223100)

**摘要:**设计了一种多功能野外水生态环境实时在线监测装置系统,并给出具体的实验操作方法和观测结果分析。该装置系统由3个部分组成:水生态监测系统、水文气象监测系统、控制与网关系统。在洪泽湖某点位开展实验,时序数据结果证明了所设计装置系统的实用性和可操作性,能够满足野外连续工作的要求。

**关键词:**在线监测; 装置; 应用; 水生态环境

中图分类号:X853

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)11-0055-0005

## Design and application of a real-time online monitoring device for water ecological environment

JIANG Jingsheng<sup>1</sup>, CHEN Hexiang<sup>1</sup>, WANG Lu<sup>2</sup>, ZHANG Kaiwen<sup>1</sup>,  
ZHAN Lucheng<sup>1</sup>, YU Zhang Ruilong<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Hongze Lake Water Conservancy Project Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223100, China)

**Abstract:** A multifunctional real-time online monitoring device system for field water ecological environment is designed, and specific experimental operation methods and observation results are analyzed. The device system consists of three parts: water ecological monitoring system, hydrometeorological monitoring system, control and gateway system. The results of the time series data in an experiment at a certain point in Hongze Lake proved the practicability and operability of the designed device system, which could meet the requirements of continuous work in the field.

**Key words:** online monitoring; device; application; water ecological environment

本研究设计了一种多功能野外水生态环境实时在线监测装置,实现以可控频率监测所需水质指标和气象指标,同时实时拍摄水下藻类图像,监测结果可实现实时云端上传与存储,用户可通过直接访问IP地址查看并下载数据。连续、可控、可操作

的数据流为河湖生态环境问题的研究、评估与治理提供支持<sup>[1-2]</sup>。

本文将介绍实验的主要装置组成和功能,给出实验装置基本操作步骤,并通过一次野外实验得到的案例数据结果,分析实验装置的工作性能。

收稿日期:2023-08-23

基金项目:国家重点研发计划(2019YFE0109900);江苏省水利科技项目(2021034,2022057)

作者简介:姜景晟(2002—),男,本科,研究方向为水力学及河流动力学。E-mail: 2019010220@hhu.edu.cn

通信作者:陈鹤翔(1997—),男,博士,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: chenhx@hhu.edu.cn

## 1 实验装置系统

多功能野外水生态环境实时在线监测装置主要包括水生态监测系统、水文气象监测系统和控制与网关系统3个部分(图1),整个装置系统通过立杆连接并插于河床中完成固定。水生态监测系统主要针对所需要的水质指标选择相应的传感探头,布置于水面下方并可调节深度,同时配备自主研发的藻类摄像装置,实时拍摄水下藻类图像,实现了藻类图像的原位连续拍摄;水文气象监测系统主要包括对湖区水面以上环境指标的监测;控制与网关系统通过电压的输入与输出控制系统工作环境,同时通过内部配置的物联网关模块完成监测数据的实时传输,控制与网关系统安装在防水箱中固定在立杆水面以上的位置,系统检修时打开防水箱进行操作。

整个实验装置配备太阳能发电装置,同时配备三元聚合锂电池,尽可能减少能耗的同时保证装置系统能够胜任任何天气条件下的野外连续工作。

### 1.1 水生态监测系统

集成传感探头用于监测特定的水质指标,所有传感探头通过外径50 cm、内径10 cm的聚酯环固定,沿径向排布。传感探头的尾部的连接线沿圆环分布,并通过2根半径方向的通道进入立杆,沿立杆向上穿过防水箱底部的打孔与转换模块相连,一方面保证工作供电,另一方面将监测数据向主板传

输。聚脂环与立杆之间通过竖直方向上的电动滑轨连接,可带动传感探头沿立杆上下移动,满足不同水深处的监测需要。调节水深时,使用者只需访问IP地址即可远程设置,输入预期深度后将由PID算法换算出对应压强并控制单片机输出信号,控制电机带动聚脂环移动。当压强传感探头中的MIK-P3000高精度单晶硅压力变送器所反馈的压强与信号相符时,则装置停止移动。

独立开发了藻类的水下原位摄像装置。摄像头固定在防水箱中,正对的防水箱面选用可透光的玻璃纤维材料,其余5个箱面均选用不可透光的ABS树脂材料。箱外距玻璃纤维面外壁面0.5 mm处设置等大、平行的ABS树脂壁面,两壁面之间形成一个狭窄夹室,夹室入流侧和出流侧分别设置蠕动泵,将水流泵入和泵出夹室。摄像头只拍摄夹室内的藻类,最大限度地减少水体环境对成像的影响,且由于夹室极窄,直接起到了防止外部杂质进入的作用,同时可以认为在极短的时间内藻类是静止的,从而降低了成像难度。防水箱中设置不同倍率的光学镜头,可实现5~80倍之间的放大。实时采集的藻类显微图像上传至大数据引擎可进行有害藻类识别。首先利用大津法去噪和直方图拉伸的对比度增强相结合,进行水下显微图像的预处理;之后基于专门用于藻类显微图像识别的网络模型RN-Algae迅速提取藻类形状特征,并与决策库对比进行藻种识别;最后综合RN-Algae模型、可识别景

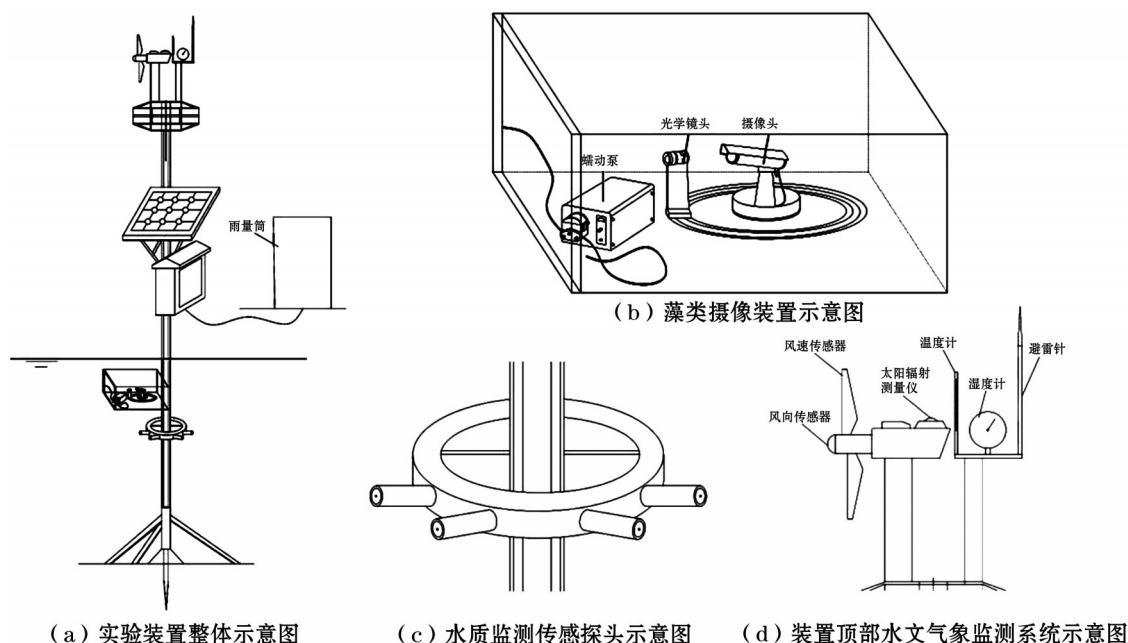


图1 多功能野外实时在线水生态环境监测装置示意图

深和藻细胞面积-体积转化方法,推算水体中各类藻细胞的个数和质量浓度。批量获取的藻类图像可以为基于人工智能等信息化技术实现蓝藻水华预警提供数据支持,从而为更高效治理湖泊富营养化抢时间。

## 1.2 水文气象监测系统

风速计装置固定于整个实验装置顶部的左端,其叶片长20 cm,内部安装有风速传感器与风向传感器,装置稳定性高、抗干扰能力强。风速计装置上的右端安装有太阳辐射测量仪。在太阳辐射测量仪右侧安装温度计、湿度计以及避雷针,温度计量程 $-10\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,温度计和湿度计内置传感芯片,通过数据线将环境温度和环境湿度数据实时上传;系统配备雨量筒,容积20 L,放置在实验装置附近的岸上,与主体装置之间通过缆线连接。缆线外包防水橡胶,穿过防水箱底部的开孔与转换模块相连。为防止雨水溅入,雨量筒口呈内直外斜的刀刃形,筒内置有储水瓶和漏斗,降雪季节取出储水瓶,换上不带漏斗的筒口,雪花可直接储入雨量筒底。

## 1.3 控制与网关系统

图2所示的控制与网关系统,主要承担2个功能:实验装置供电与监测数据传输。实验装置供电以太阳能控制器(MPPT)为核心,外接太阳能电池板和三元聚合锂电池作为电源。光照良好时,太阳能发电直接用于系统供电,多余电能可以储存在锂电池中。光照发电不足时,通过锂电池直接供电保证实验装置正常工作。太阳能电池板和锂电池的输出电压均为12 V,MPPT分别通过不同电压的接口直接输出5 V支持主板工作、输出12 V电压支持

传感设备工作。传感设备之间并联,与MPPT之间设置USB-485转换模块,同时该模块还通过数据线与主板相连,转换接口类型,保证数据信号的传输。电动滑轨、雨量筒等同样与传感设备并联连接,由MPPT供电。

主板上安装无线网卡,通过MQTT传输协议,将USB-485转换模块数据线串口发送的Raw数据流发送到服务器端,并且实现Python Flask后端接口,从而允许前端通过Ajax的方式获取近期数据,并提供网络下载数据功能。通过FRP将VNC端口暴露到公网,为用户提供远程桌面服务。网卡上通过IPEX-SMA转接线与吸盘天线相连,吸盘天线布置于防水基箱外部最上方,用于增强网络信号。除了太阳能电池板和吸盘天线外,全部工作装置均集成封装在基箱内,基箱防水、耐用、抗腐蚀,保证实验装置的核心部分能够胜任连续的野外工作条件,同时使得野外试验更加自动化、高效化、灵活化。

## 2 实验操作基本步骤

(1)根据实测水域的水深,调节太阳能电池板,使其置于水面以上;通过伸缩架调节太阳能电池板的角度,尽可能多地利用光能;

(2)将立杆插于水中,立杆底部锥形插入部和脚撑均插入河床或湖底底泥之中,保证立杆稳定;

(3)打开防水基箱盖,检查电路连接情况,确认无误后打开MPPT,开始系统供电,关闭防水基箱盖;

(4)通过访问IP地址输入指令或手动调节传感探头的深度;将雨量筒置于岸边合适位置,保证稳

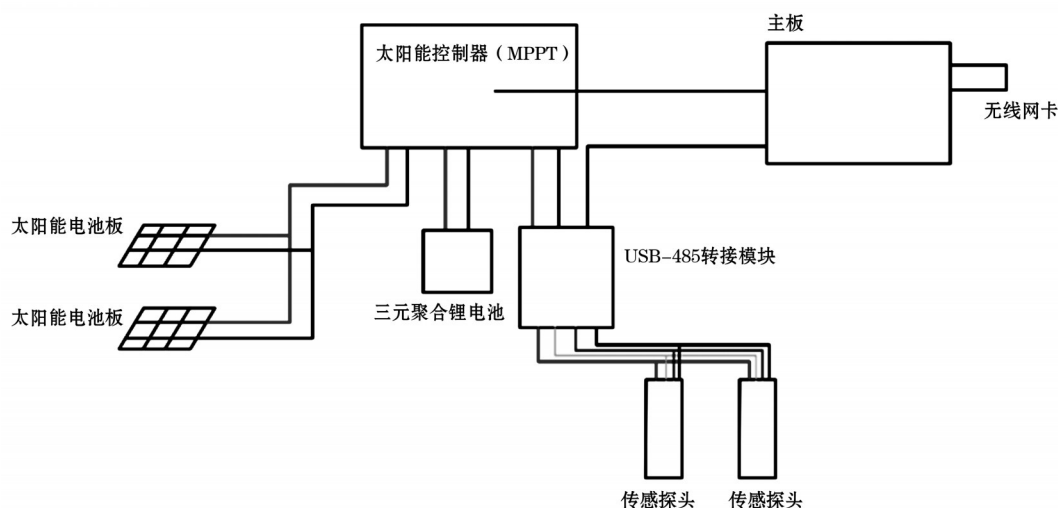


图2 控制与网关系统示意图

定、安全,且四周空旷无遮挡;确保藻类水下摄像装置在工作期间不会距离岸边过近;

(5)通过访问IP地址输入指令,设定传感探头数据监测和上传的时间步长,设定藻类水下摄像装置拍摄和上传的时间步长,打开主板网关模块开始数据传输,实验装置开始运行;

(6)通过访问IP地址查看预实验期间拍摄得到的藻类显微图像,根据图像质量输入指令调节光学镜头的放大倍率,直至拍摄的图像满足应用要求;

(7)如需进行装置维护与检修,直接关闭MPPT可停止装置整体供电,也可通过在IP地址中输入指令,停止某个具体装置的供电,进而有序、安全地进行装置的拆卸与检查。

## 2.1 实验监测数据分析

将实验装置布设在洪泽湖某点位,于2021年9月28日至2022年6月17日期间开展野外实验。数据传输与记录从第一天15:40开始,至最后一天20:36结束,记录步长为5 min,其中在2022年1月27日至2月14日进行装置的维护与检修,期间没有数据的记录。因此监测数据实质上可分为2个阶段,第一阶段的截止时间为2022年1月27日8:35,第二阶段的开始时间为2022年2月14日15:11。将

下载得到的野外实验连续监测数据分别绘制时序变化结果,见图3。

将水温与气温监测时序数据绘制在图3(a)中。实验期内水温和气温整体呈现先降低后升高的变化规律,每天24 h内则呈现先降低再升高再降低的规律。水温的变化幅度明显小于气温,且水温的变化相较于气温的变化往往滞后。

2021年9月末至11月末和2022年3月末至实验结束2个时段内水体浊度明显偏高,然而高浓度的叶绿素则集中于2021年10月末至2022年1月末和2022年2月末至2022年3月末2个时段,并在2022年3月28日前后有一个暴发。2项指标的变化规律并不相同,说明藻类和浮游植物只是水体中悬浮物质的一部分。图4给出2021年11月13日17:00~17:20拍摄得到的一组水下藻类显微图片,能较为清晰地辨别出藻类的形态特征。随着实验次数的增多,根据获取的图片质量对装置进一步进行调试,从而获取更清晰、质量更高的藻类图像。

实验期间雨量主要集中在4个时段,其中超过50%的雨量集中在2022年3月中旬至4月中旬。风向数据记录角度,在此以指示方向的矢量图的方式来表示,展示的3个时段分别为2021年10月7日19:07~19:53、2022年2月24日18:50~19:36和

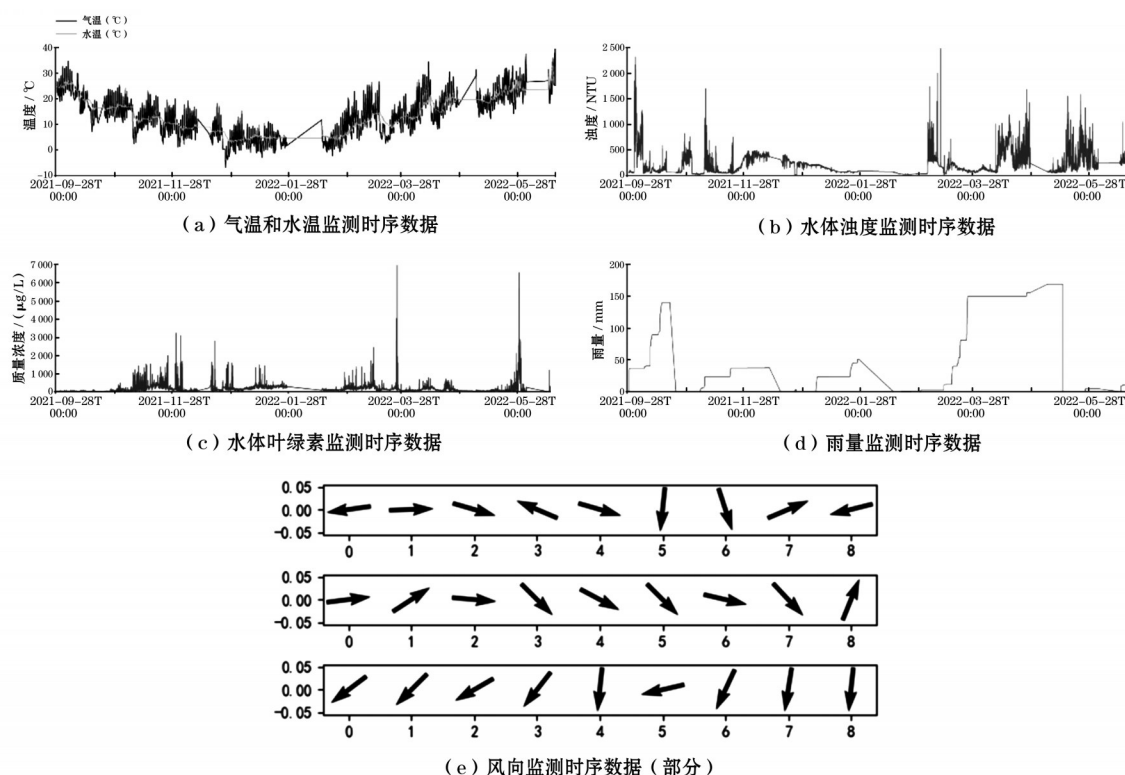


图3 野外实验监测时序数据



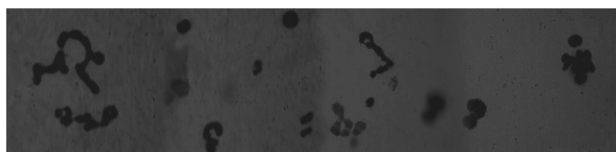


图4 水下藻类图片(一组)

2022年5月28日13:30-14:15。第一个时段内风向没有明显规律,第二个时段内以西风为主,第三个时段内以东北风为主。湖面附近风浪扰动会抑制藻类生长<sup>[3]</sup>,但风速处于较高区间的时段与叶绿素浓度处于较高区间的时段并无明显联系,推测是因为近岸水体的影响因素较为复杂,一方面风浪往往带动藻类或其他浮游植物沿岸周聚集,另一方面风可能使得湖岸附近的有机质进入水体,导致实验布设点位附近叶绿素浓度并不随风浪扰动的增强而增大。

## 2.2 系统工作环境参数记录

实验期间对系统的工作环境参数以同样的时间步长进行了记录,确保实验装置处于正常的工作状态。数据正常写入期间CPU温度高于工作系统温度,二者基本同步变化。CPU温度在10.5~61.2℃之间变化,平均温度为34.0℃;工作系统温度在16.0~48.0℃之间变化,平均温度为23.7℃。系统工作电压也较为稳定,基本在11.4~12.6V之间变化,处于MPPT所输出的12V电压的正常区间。系统基本保持了稳定的工作状态。

## 2.3 实验装置性能分析

本装置由多系统集成,可灵活地针对多项指标实现多功能野外实时在线水生态环境监测,同时充分利用自然资源供能。通过实验装置介绍和一次野外实验的数据分析,总结实验装置主要的性能特点:

(1)野外原位连续工作。当实验装置完成搭建和布设,即可实现对环境指标以设定频率进行监测与上传,海量时序数据和藻类显微图像只需访问IP地址即可远程下载,省略了水体监测的中间环节,提高应对效率,为水生态环境的研究、预警与修复提供数据支持。

(2)适用性与自动化。使用者可根据自身需要选择对应的传感设备,集成于本装置后可实现不同指标的灵活监测。实验装置设计安全可靠,并对系统工作环境参数进行自我监测,能够胜任长时间的野外工作。环境数据的监测与传输均通过算法自动完成,除了装置的检修与维护期间,和雨量筒需

要定时倾倒积水外,几乎无需额外的人工参与。

(3)成本与节能环保。装置可充分利用太阳能,建成之后几乎没有额外支出,几乎无需人工劳动力。与遥感监测技术<sup>[4]</sup>相比,在监测较大时间尺度上的成本优势明显,又可连续、重复使用,推广应用难度更低。

## 3 结 语

本文设计了一套水生态环境实时在线监测装置,并给出了实验装置的具体操作方法。通过对洪泽湖某点位的一期野外实验获得到的时序数据进行分析,得出了以下结论:

(1)与传统人工监测方法对比,本装置提高了监测数据的连续性和时效性,提高了监测效率和自动化程度。与遥感监测技术对比,本装置有效控制了数据获取成本,特别是监测时间尺度越长,优势越明显。

(2)通过集成不同的传感设备可以根据自身需要实现水质指标的有效监测。本装置解决了藻类数据的实时监测,有效弥补了水质监测仍主要依赖人工取样、分析,数据稀疏、孤立性明显,藻类生长状态监测、有害藻类识别仍无法摆脱实验室显微图像的依赖等缺陷。实验装置根据实际需要以一定频率获取监测数据并实时上传,使用者可远程查看并下载监测结果。

(3)本装置对系统工作环境参数进行实时监测,保证装置能够完成连续野外工作任务,满足不同使用者针对不同河湖水体的监测需要,监测取得的时序数据可为河湖生态环境的研究、预警、修复、治理提供有力支持。

## 参考文献:

- [1] 吴琳琳,侯嵩,孙善伟,等.水生态环境物联网智慧监测技术发展及应用[J].中国环境监测,2022,38(1):211-221.
- [2] 刘哲,张宁,彭定华,等.水生态监测方法研究进展及在黄河流域的应用实践[J].中国环境监测,2022,38(1):58-71.
- [3] 李飞鹏,陈蒙蒙,贾玉宝,等.气象因素对封闭浅水湖泊浮游藻类生长和分布影响[J].水生态学杂志,2019,40(5):55-62.
- [4] 耿春香,刘广东.遥感技术在生态环境监测中的应用研究[J].信息记录材料,2019,20(4):140-141.