

太阳能曝气净化槽处理农村生活污水的运行及研究

张月强¹, 刘艳军², 于成鹏¹, 吴鑫明³, 胡晓茹³, 孙甲玉^{3*} (1. 临沂市生态环境局蒙阴县分局, 山东临沂 276000; 2. 泰安市生态环境局新泰分局, 山东泰安 271000; 3. 山东农业大学水利土木工程学院, 山东泰安 271000)

摘要 构建了一种以太阳能为动力的曝气净化槽, 研究其对农村生活污水的净化效果。研究表明, 在每日进水量 68 L、水力停留时间(HRT)24 h 的条件下, 污水中化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)及总磷(TP)的最高去除率分别可达 92.71%、60.31%、77.57%、87.74%, 出水浓度基本满足《农村生活污水处理处置设施水污染物排放标准》(DB 37/3693—2019)限值。太阳能曝气净化槽建造成本在 1 440 元左右, 以太阳能为动力曝气, 实现微动力运行, 可节约电力成本, 且运行维护方便, 具有较高的技术经济优势, 适合农村生活污水分散处理。

关键词 太阳能曝气; 净化槽; 农村生活污水; 氮; 磷

中图分类号 X 799.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0213-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.054



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Operation and Research of Solar Aeration Johkasou for Rural Domestic Sewage

ZHANG Yue-qiang¹, LIU Yan-jun², YU Cheng-peng¹ et al (1. Mengyin County Branch of Linyi Ecological Environmental Bureau, Linyi, Shandong 276000; 2. Xintai Branch of Taian Ecological Environmental Bureau, Taian, Shandong 271000)

Abstract An aeration purification johkasou powered by solar energy was constructed to study its purifying effect on rural domestic sewage. The results showed that under the conditions of daily inflow of 68 L and hydraulic retention time (HRT) of 24 h, the maximum removal rates of chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen (NH₃-N), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in sewage can reach 92.71%, 60.31%, 77.57% and 87.74% respectively, and the effluent concentration basically meets the limits of "Water Pollutant Discharge Standard for Rural Domestic Sewage Treatment and Disposal Facilities" (DB 37/3693-2019). The construction cost of the solar aeration johkasou was about 1 440 yuan. The solar energy was used for aeration to realize micro-power operation, which could save electricity costs, and was convenient to operate and maintain. It had high technical and economic advantages and was suitable for decentralized treatment of rural domestic sewage.

Key words Solar aeration; Johkasou; Rural domestic sewage; Nitrogen; Phosphorus

随着农村生活水平提高, 生活污水排放量也不断增加, 农村生活污水的整治并未得到较大改善, 导致污水横流, 农村生活污水随着地表流入沟河湖泊、农田土壤, 对农村生态环境造成了污染, 严重威胁人体健康^[1]。近年来, 我国大力推进农村污水治理, 中共中央办公厅、国务院办公厅联合印发《农村人居环境整治三年行动方案》^[2], 指出农村污水治理进程要不断加快。据山东省生态环境厅 2019 年初步统计, 山东全省已完成农村生活污水治理的行政村仅占 23.96%, 大部分农村地区的生活污水治理尚处于起步阶段。已建成的农村污水处理设施完全照搬城市污水处理, 由于水量无法满足、水质波动大、资金投入不足、缺乏有效管理^[3-4], 已出现水土不服的现象, 部分农村污水处理设施出现停用、弃用等现象。因此, 加快农村生活污水的治理, 从源头解决农村污水造成的污染问题迫在眉睫。

农村污水的主要特点: ①分布广、处理费用高。农村地域广阔、居住分散、污水管网建设费用高。②季节分布不均。水量的日变化大、季节性变化大, 冬季污水量少、夏季较多; ③污水中污染物的 COD、TN、TP 浓度与污水量呈相反趋势^[5]。

分散式净化槽由于处理方式灵活, 适用于布局分散、人口不集中的农村污水的特殊要求, 在保护乡村水环境方面

发挥了重要作用^[4]。然而由于填料溶解氧的含量较低导致污染物的去除效果不佳。我国北方农村地区天气多晴少雨, 太阳能资源丰富。近年我国太阳能利用技术成熟, 主要有太阳能保温技术、太阳能光催化氧化技术、太阳能驱动地表水修复^[6], 可以为构建太阳能微动力曝气污水处理系统提供支持。太阳能曝气的原理是将太阳能转化为电能, 再转化为机械能驱动曝气, 对污染水体进行增氧以提高污染物的去除率^[7]。针对农村污水处理面临的现实问题, 利用现有技术条件, 将太阳能曝气技术和农村生活污水净化槽有机结合起来, 构建太阳能曝气净化槽, 以实现农村生活污水资源回收利用、达标排放, 同时节约运行成本、安装维护方便^[8]。

笔者将太阳能发电技术耦合入农村生活污水净化槽, 利用太阳能发电对净化槽内曝气, 研究太阳能曝气净化槽对模拟农村生活污水中有机污染物和氮磷的净化性能, 为太阳能曝气净化槽应用于农村生活污水治理提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置及造价 太阳能曝气净化槽具体尺寸为长 1.08 m、宽 0.37 m、高 0.49 m, 由 9.5 cm×45.5 cm×30.0 cm 的调节沉淀池、84.5 cm×45.5 cm×30.0 cm 的好氧曝气净化池和 5.5 cm×45.5 cm×30.0 cm 的集水池组成(图 1)。好氧净化池自下而上依次分层填充 7 cm 厚的聚乙烯多面空心球、5 cm 厚的陶粒、5 cm 厚的火山岩、5 cm 厚的活性炭、5 cm 厚的石英砂、5 cm 厚的腐殖土, 在距离底部 7 cm 处同一水平面均匀放置 6 个曝气头。

基金项目 国家自然科学基金项目(41771502)。

作者简介 张月强(1985—), 男, 山东临沂人, 工程师, 从事水污染控制研究。* 通信作者, 实验师, 硕士, 从事水处理研究。

收稿日期 2021-02-26

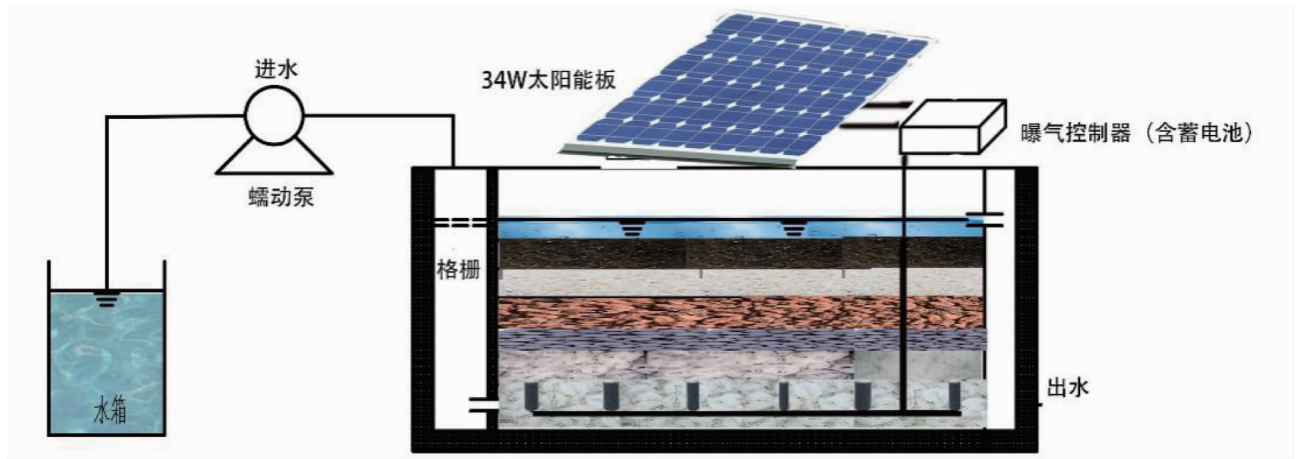


图1 太阳能曝气净化槽试验装置

Fig.1 Experimental installation of solar aeration johkasou

在净化槽中安装太阳能曝气装置,太阳能曝气装置由2块17W的太阳能板、12 000 mA 锂电池、定时控制器、导气管、曝气头等组成。依靠太阳能提供动力全天曝气,最大曝

气量为10.5 L/min,曝气强度、曝气时间与天气状况相关。太阳能曝气净化槽的建造成本明细如下(表1)。由表1可看出,该研究所用太阳能曝气净化槽的建造成本约1 440元。

表1 太阳能曝气净化槽成本明细

Table 1 Detailed price list of the cost of solar aeration johkasou

编号 Number	名称 Name	单位 Unit	数量 Amount	单价 Unit price//元	合计 Total//元
材料费 Material expense	聚乙烯空心小球	个	900	0.022	19.8
	陶粒	kg	15.17	5.44	82.5
	火山岩	kg	1.78	9.2	16.38
	活性炭	kg	11.2	5.81	65.07
	石英砂	kg	1.39	16.29	22.64
	腐殖土	kg	2.16	12.95	27.97
	8 mm 厚灰 PVC 硬板	台(净化槽)	1	276	276
	管件及配件	台(净化槽)	1	42	42
	太阳能曝气系统	套	1	592	592
人工费 Labor cost	组装费	台(净化槽)	1	165	165
	现场安装费	台(净化槽)	1	130	130
总计 Total					1 439.36

1.2 试验水质 试验进水采用模拟污水^[9],由自来水、乙酸钠、硫酸铵、磷酸二氢钾、氯化钙、氯化钠、硫酸镁、微量元素营养液等按照一定的比例配制,初始进水水质各项指标如下:温度10~18℃、pH 7.5~8.2、COD 262.29~370.03 mg/L、NH₃-N 22.78~35.24 mg/L、TN 25.24~8.59 mg/L、TP 3.48~4.26 mg/L。

1.3 装置运行工况 装置持续运行38 d,于2020年11月10日开始,至12月18日停止。首先对太阳能曝气净化槽进行驯化,装置稳定运行后开始进行水质监测。试验进水方式为连续进水,水力停留时间(HRT)为24 h,每日进水量68 L,水温10~20℃,每2 d在装置进、出水口分别取样进行水质监测,测定COD、NH₃-N、TN、TP的浓度。

1.4 水质分析方法 参照《水与废水监测分析方法》(第4版)^[10],化学需氧量(COD)采用重铬酸钾快速密闭催化消解法,氨氮(NH₃-N)采用纳氏试剂分光光度法,总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法,总磷(TP)采用钼锑抗

分光光度法。

2 结果与分析

2.1 COD去除效果分析 图2为太阳能曝气净化槽在运行期间COD进出水浓度及去除率的变化情况。COD进水浓度控制在262.29~370.03 mg/L,运行期间去除率达到80%以上的概率为88%,此时COD出水浓度均低于60 mg/L,满足《农村生活污水处理处置设施水污染物排放标准》(DB 37/3693—2019)一级标准。受天气影响,阴雨天气曝气量较小,使得COD去除率有所波动,运行期间有2次监测结果显示COD出水浓度>60 mg/L,但仍可满足DB37/3693—2019二级标准(<100 mg/L)。

2.2 NH₃-N去除效果分析 由图3可知,NH₃-N进水浓度在22.78~35.24 mg/L之间,其去除率较COD低,最高可达60%,出水浓度基本可满足DB37/3693—2019二级标准(水温≤12℃时NH₃-N浓度<20 mg/L)。

运行期间NH₃-N去除率较低的主要原因如下:①硝化

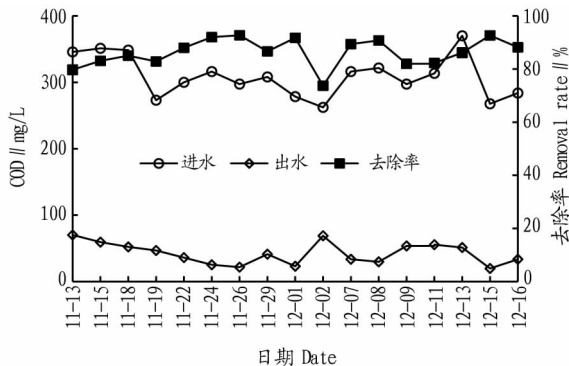
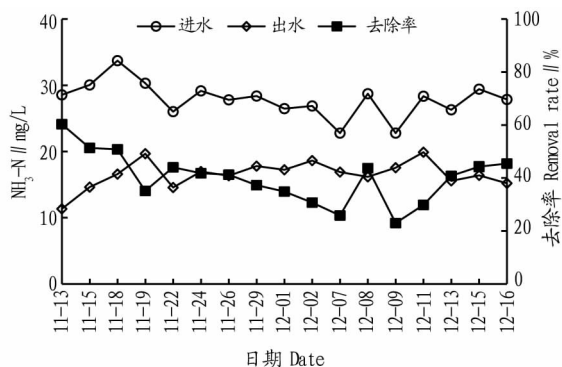


图2 太阳能曝气净化槽对 COD 的去除效果

Fig.2 COD removal efficiency of solar aeration johkasou

图3 太阳能曝气净化槽对 NH₃-N 的去除效果Fig.3 NH₃-N removal efficiency of solar aeration johkasou

反应最佳温度是 25~30 ℃,而试验时间正处于北方的冬季,气温较低,降低了硝化细菌的增长速率,抑制了硝化细菌的活性;②从 11 月 19 日开始,当地天气大多处于阴天,太阳能板发电产生的曝气量较小,硝化细菌为好氧菌,水中溶解氧的浓度降低减弱了硝化细菌对氨氮的硝化作用。

2.3 TN 去除效果分析 图 4 为太阳能曝气净化槽运行期间 TN 进出水浓度与去除率的变化情况。由图 4 可知,TN 进水浓度在 25.24~38.59 mg/L 之间,最大去除率为 77.57%,最小去除率仅为 16.35%。出水浓度波动较大,有 87.50% 的概率可满足 DB37/3693—2019 浓度限值(20 mg/L)。

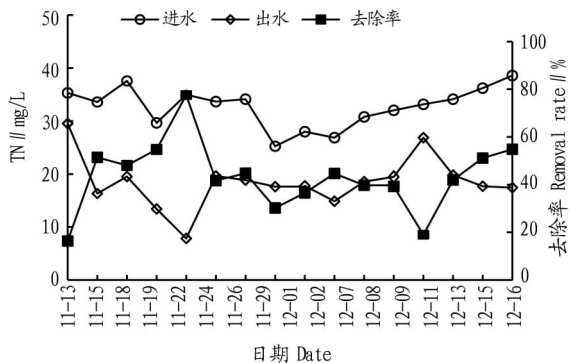


图4 太阳能曝气净化槽对 TN 的去除效果

Fig.4 TN removal efficiency of solar aeration johkasou

TN 的去除主要是 NH₃-N 和 NO₃-N 的综合去除,郭焯焯^[11]研究表明,填料上的生物膜吸收的 NH₃-N 能力优于 NO₃-N,且 NH₃-N 的存在严重影响了填料上附着的微生物

对 NO₃-N 的去除,故 NH₃-N 去除效率决定了 TN 的去除效率。由于低温原因导致了处理后出水 NH₃-N 的去除率降低,间接造成了 TN 的去除效果不佳。

2.4 TP 去除效果分析 由图 5 可知,太阳能曝气净化槽运行期间 TP 进水浓度在 3.48~4.26 mg/L 之间,出水浓度基本可满足 DB 37/3693—2019 浓度限值(1.5 mg/L)。运行期间 TP 去除率整体呈下降趋势,这是因为除磷的主要途径是填料对磷的吸附^[12],运行初期净化槽填料未达到吸附饱和平衡,净化效果良好,随着净化槽填料对磷的吸附接近吸附饱和平衡,吸附速率逐渐下降,导致出水浓度较高,去除率降低。

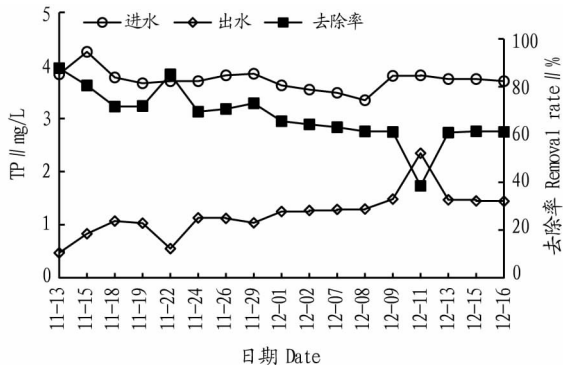


图5 太阳能曝气净化槽对 TP 的去除效果

Fig.5 TP removal efficiency of solar aeration johkasou

3 讨论

3.1 太阳能曝气净化槽对污染物的净化机理 太阳能曝气净化槽对农村生活污水的净化综合了物理、化学和生物三重作用,主要依靠净化槽内填料对污染物的吸附,以及附着在填料上的生物膜中微生物对污染物的吸收降解^[13-14]。污水中的 COD 为太阳能曝气净化槽中好氧微生物的呼吸作用提供碳源,太阳能曝气充氧使水体中 DO 浓度升高,有利于好氧微生物繁殖,二者协同作用,促进生活污水中的有机污染物的快速降解。

太阳能曝气净化槽内连续的硝化和反硝化过程被认为是脱氮的重要途径^[14]。生活污水中的氮主要是以氨氮的形式存在^[15],在曝气充足的条件下,净化槽填料所附着的硝化细菌将 NH₃-N 氧化为 NO₃-N 和 NO₂-N,从而使生物膜恢复对 NH₄⁺ 的吸附功能^[16]。郭小马等^[17]研究发现,净化槽中的溶解氧浓度越大,越有利于硝化细菌的生长,使硝化细菌活性增强、代谢旺盛。在太阳能曝气净化槽上部填料区域溶解氧较低形成了缺氧环境,反硝化细菌将 NO₃-N 和 NO₂-N 作为电子受体还原,以气态氮的形式排出。TN 包括 NO_x-N 和 NH₃-N,氨氧化细菌在曝气增氧条件下快速将 NH₃-N 转化为 NO_x-N,使 NH₃-N 出水浓度大幅度下降,但净化槽内缺氧环境的面积有限,延缓了净化槽填料上生物膜的反硝化作用,造成出水中 NO_x-N 的浓度增加,最终导致在监测期间太阳能曝气净化槽的 TN 出水浓度略高于 NH₃-N。

太阳能曝气净化槽对磷的去除主要通过净化槽内填料的吸附、置换和沉淀等实现^[18]。加入曝气增强了填料内水

流的流动,有利于填料与磷的接触。填料表面能截留大分子的磷,但是填料吸附除磷存在最大吸附饱和度,并不是一个可持续吸附的过程,逐步达到吸附—解析的动态平衡,因此磷的去除效率逐渐降低。定期清洗填料是解决磷吸附饱和的有效方式^[19]。

3.2 太阳能曝气净化槽的经济性分析 根据太阳能曝气净化槽在运行期间的水质监测数据可知,其出水基本满足农村污水排放要求,达到 DB 37/3693—2019 二级标准和《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)。在电池充满电的情况下,连续 3 d 阴天,仍能保证装置正常运行。尽管 COD、NH₃-N 的去除率略有降低,但出水浓度仍低于农村生活污水处理处置设施水污染物排放浓度限值,可直接排入Ⅳ类、Ⅴ类水域和其他未经划定的水环境功能区的水域、沟渠、自然湿地。因此,利用太阳能曝气净化槽处理农村生活污水在技术上是可行的。

工程造价和运行费用是太阳能曝气净化槽建设运行优先考虑的因素。该研究所用太阳能曝气净化槽的建造成本在 1 440 元左右,较其他污水处理设备的建造成本低^[20]。且该设备以太阳能为动力曝气,实现微动力运行,运行过程简单,无需专人维护,可节约运行成本。对于经济发展水平较低的农村地区可以安装使用并推广普及,这可在一定程度上解决农村生活污水就地处理、达标排放的难题。

4 结论

通过研究太阳能曝气净化槽对农村生活污水的净化效果,并对其技术经济性能进行分析,最终得出如下结论:

(1) 太阳能曝气净化槽可有效降解农村生活污水中的污染物,化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)的出水浓度基本满足《农村生活污水处理处置设施水污染物排放标准》(DB37/3693—2019)浓度限值,可直接排入Ⅳ类、Ⅴ类水域和其他未经划定的水环境功能区的水域、沟渠、自然湿地;且满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005),可用于农田灌溉。

(2) 太阳能曝气净化槽可实现对农村生活污水的低成本和高效处理,在净化生活污水方面具有显著的经济技术优势,为农村生活污水处理的工程实践提供了可行性方案。

参考文献

- [1] 刘雪美.我国农村生活污水治理现状及展望[J].安徽农业科学,2017,45(12):58-60.
- [2] 农村人居环境整治三年行动方案[J].广东农村实用技术,2018(2):8.
- [3] 于阳春,韩子叻,彭岩波,等.关于推动山东省农村分散式污水处理模式的思考[J].水利水电技术,2019,50(S2):129-132.
- [4] 杨卫萍,陆天友.日本净化槽技术应用对农村污水处理的启示[J].福建建设科技,2014(5):86-88.
- [5] 明劲松,林子增.国内外农村污水处理设施建设运营现状与思考[J].环境科技,2016,29(6):66-69.
- [6] 孟浩,陈颖健.我国太阳能利用技术现状及其对策[J].中国科技论坛,2009(5):96-101.
- [7] 吴薇,陈树磊,刘建华,等.太阳能曝气强化人工湿地对养猪废水的净化效果[J].安徽农业科学,2019,47(12):67-69.
- [8] 许春莲,孟伟,宋乾武,等.构建我国分散型污水处理装置技术体系[J].环境保护,2007(22):49-51.
- [9] 郭一明.耦合生态技术深度处理农村分散式生活污水效能与仿真[D].长沙:湖南大学,2014:23-25.
- [10] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:210-284.
- [11] 郭焯辉.间歇曝气垂直潜流人工湿地的污水净化效果及微生物机理研究[D].济南:山东大学,2014:32-34.
- [12] VYMAZAL J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands[J]. Science of the total environment, 2007, 380 (1/2/3): 48-65.
- [13] 叶建锋.垂直潜流人工湿地中污染物去除机理研究[D].上海:同济大学,2007:26-27.
- [14] 亓鹏玉.间歇曝气人工水平潜流湿地脱氮除磷效果及氧化亚氮释放研究[D].济南:山东大学,2012:23-25.
- [15] 李德豪,殷旭东,高桂枝.COD 浓度和进水流量比对一体化工艺脱氮除磷的影响[J].环境工程学报,2009,3(8):1360-1364.
- [16] 周金娥,唐立峰.人工湿地系统的除污机理及影响因素探讨[J].土壤,2009,41(4):520-524.
- [17] 郭小马,赵焱,王开演,等.分格复合填料曝气生物滤池脱氮除磷特性及微生物群落特征分析[J].环境科学学报,2015,35(1):152-160.
- [18] 杜刚,黄磊,鲁言言,等.处理微污染河水的人工湿地中磷的去除特征及吸附形态分布[J].环境科学学报,2013,33(2):511-517.
- [19] 李想,崔莉凤.曝气增强垂直潜流型人工湿地脱氮效果研究[J].北京工商大学学报(自然科学版),2009,27(1):6-10.
- [20] 闫向玲.植物强化活性污泥法脱氮除磷研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013:60-61.

(上接第 212 页)

- [3] 白元立.温室大棚机械卷帘技术分析[J].农机使用与维修,2020(5):17-18.
- [4] 张国祥,傅泽田,张领先,等.中国日光温室机械卷帘技术发展现状与趋势[J].农业工程学报,2017,33(S1):1-10.
- [5] 崔玉祥,赵亮,赵慧芳,等.日光温室卷帘机控制技术现状及发展研究[J].农业技术与装备,2019(4):50-51.
- [6] 崔玉祥,赵慧芳,赵亮,等.日光温室卷帘机控制器设计与试验[J].湖北农业科学,2020,59(17):161-165.

- [7] 崔玉祥,赵慧芳,赵亮.基于 STM8 的温室卷帘机控制器设计[J].农业技术与装备,2020(1):21-23.
- [8] 裴雪,范奥华,刘焕宇,等.基于温光耦合的温室卷帘机控制设备开发[J].农机化研究,2018,40(4):83-86.
- [9] 曹瑞红,李晋蒲,赵建贵,等.日光温室卷帘及通风口控制系统研制[J].江苏农业科学,2020,48(5):219-226.
- [10] 石建业,罗有中,王娇敏,等.日光温室卷帘机自动控制技术研究与应用[J].中国农业信息,2017(4):77-79.