

基于 LabVIEW 的智能光伏灌溉系统设计

魏奎奎 张立辉
(吉林建筑大学)

摘要：随着新时代下“碳达峰，碳中和”目标的提出，光伏能源上升为国家战略。我国是农业大国，但在智能光伏灌溉方面研究较少，农田灌溉设备大多存在不够稳定，电力损耗大，智能化水平较低等问题。本文设计一种基于 LabVIEW 的智能光伏灌溉系统，即结合光伏发电技术、PLC 控制技术、LabVIEW 监测技术进行远程监控控制，实现智能光伏农田灌溉系统的设计。本套控制系统投入应用后，光农田灌溉具有环保节能、稳定可靠、节省成本、提高产量和智能化运行的优势，一定会成为未来绿色灌溉发展的重要方向之一^[1]。

关键词：光伏；S7-1200 PLC；光伏水泵；GA-BP 神经网络算法；LabVIEW

2025.02.DQGY
15

0 引言

智能光伏灌溉系统具有以下优势：首先，光伏发电低碳无污染，并且解决偏远地区用电不便问题。其次，PLC 控制器具有很高的可靠性和灵活性，能够根据土壤实际需要进行科学和精准控制，提高灌溉系统的稳定性和灵活性^[2]。最后，在上位机 LabVIEW 中，使用 OPC 技术使上位机和下位机 PLC 间的通信更方便，使土壤监测数据和灌溉数据实时显示在人机界面中，实现了对整个智能光伏灌溉系统的远程控制和监测。

1 系统的总体方案设计

智能光伏灌溉系统由光伏组件、逆控一体机、蓄电池组、PLC 控制器、光伏水泵、水管网络和土壤温湿度传感器等组成。在光伏组件中采用光伏双轴跟踪结构，实现太阳能电池输出功率的最大化^[3]。蓄电池组将多余的电能储存，逆控一体机控制光伏逆变以及对蓄电池充放电，PLC 控制器根据实时土壤参数和算法控制整个灌溉系统的运行，光伏水泵将水从地下抽取并送入水管网络。上位机 LabVIEW 与 PLC 间建立通信，可以实时监测土壤温湿度、光照强度、光伏组件状态、光伏水泵状态等参数，并将监测数据通过上位机传给用户，方便用户实时了解灌溉系统运行状态，系统整体框架如图 1 所示。

基金项目：吉林省科技发展计划项目，项目编号：20230203022SF。

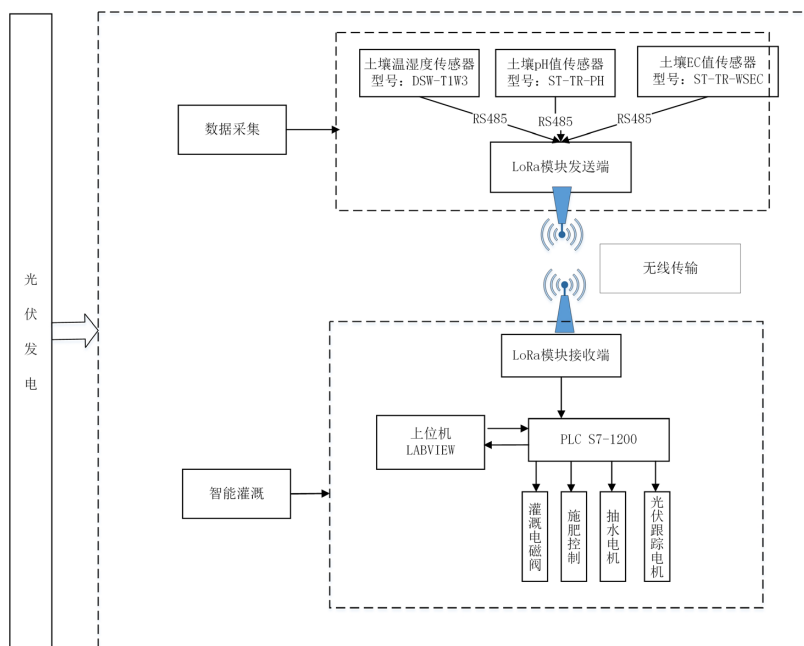


图1 系统整体框架图

2 硬件设计

2.1 光伏双轴跟踪

光伏双轴跟踪结构中将四颗光线照射角传感器安装在光伏板的四个角的位置，当太阳方位发生变化时，传感检测到照射角角度信息进行传输，PLC对数字量信号进行分析后，驱动东西偏转电机和南北偏转电机，从而接收太阳辐射量最大化。相比传统固定式光伏系统，可以增加30%~40%的太阳辐射接收量。

2.2 逆控一体机

逆控一体机是将逆变器与MPPT（最大功率点跟踪）控制器合二为一的供电设备。太阳能在逆控一体机的控制下向蓄电池组充电，逆控一体机通过内部设定程序，实时检测电池组两端参数，可防止蓄电池组过度放电损坏电池寿命。逆控一体机将蓄电池组的直流电转化成为220V、50Hz稳定的交流电供光伏水泵运转。

2.3 传感器选型及通信

传感器的测量数据灵敏性直接关系到执行机构的动作。智能光伏灌溉系统中使用了高精度土壤pH值、土壤EC值、土壤温湿度、液位等传感器，系

统供电电压为24VDC，PLC支持标准MODBUS通信。传感器网络组网设计采用控制器PLC与LoRa模块结合的方式，LoRa通信网络的组网形式为星形组网，可以根据实际需求适当增加多个传感器节点。以LoRa发送模块作为传感器节点，由恒压供电模块给传感器节点供给12VDC。汇聚节点的硬件设计是以西门子S7-1200PLC作为控制器，LoRa接收模块通过485通信接口与控制器连接，负责将传感器采集的土壤温湿度等数据传输到控制器进行储存。

2.4 控制器PLC选型

本文选用西门子S7-1200系列的CPU 1215C，该系列的CPU在设计上实现了高度的集成性，集成了电源、输入输出控制点、模拟量输入以及运动控制数字量等功能。此外，它还配备了PROFINET接口，使得用户能够方便地进行通讯操作。西门子S7-1200系列的CPU具有集成性好、扩展能力强、结构紧凑、安全性高、功能强大以及易于使用等优点^[4]。

3 控制系统的软件设计

3.1 PLC 程序设计

智能灌溉系统的程序结构包括主程序（OB1）、中断程序（INT0）和子程序（SBR）。主程序包括自动灌溉程序和手动灌溉程序，系统控制流程图如图 2 所示。用户可以随意切换手动与自动灌溉模式，在自动灌溉程序中，根据用户的参数设置，系统为控制程序进行赋值。自动灌溉程序会对传感器监测值和预先设定值进行比较，当判定某一区域需要进行灌溉时，对应区域的电磁阀打开，灌溉电机开始运行进行灌溉。传感器监测值达到预设值时，电磁阀和灌溉电机断电关闭。

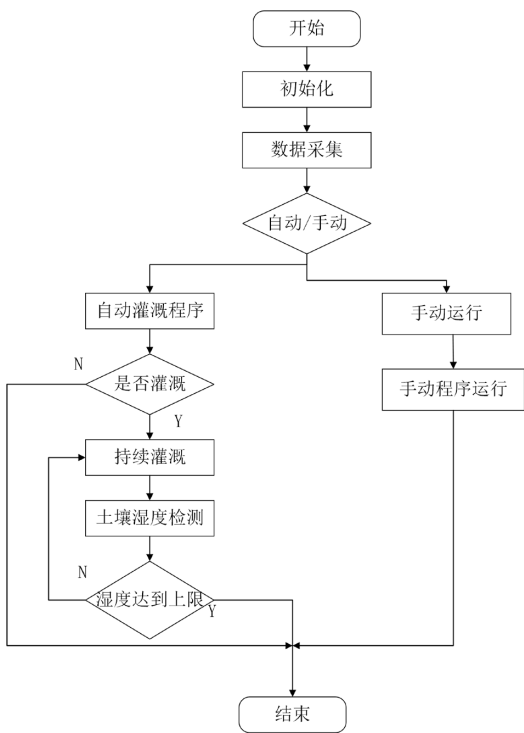


图 2 主程序控制流程图

当自动灌溉模式发生故障时，为保证智能灌溉系统仍然有效工作，用户可以启动手动灌溉程序，对手动滴灌控制程序进行设计，此程序包含对所有灌溉区域电磁阀、灌溉电机的启动和关闭。

3.2 监测界面 LabVIEW 程序设计

基于 LabVIEW 的智能监测系统，有着高效的数据采集和处理能力，提高监测精度和响应速度。系统通过集成传感器技术与虚拟仪器软件，实现对环境参数的实时监测与分析，进而优化监控过程，提升系统的整体性能与可靠性^[5]。主要功能模块包括土壤监测、光伏状态、流量监测、报警记录四大模块。

LabVIEW 监测界面如图 3 所示。具体功能分别是：

(1) 土壤监测

无线传感网络覆盖范围内的土壤数据，对于温度、湿度以波形图的方式直观显示在人机界面中，人为设置温度、湿度上下限值，并且记录报警次数。便于用户掌握农田土壤数据动态情况。此外，水泵、电磁阀、光伏组件状态等也会同步到人机界面实时监测单元，实现灌溉过程的可视化。

(2) 光伏状态

本文采用的光伏双轴跟踪结构，自动跟踪太阳角度变化，太阳能电池板的总输出功率效率明显提高，使负载的水泵抽水效率提高，并且为整个系统供电，因此光伏设备的运行状态至关重要，当光伏设备出现故障时，LabVIEW 界面显示故障灯，方便用户及时维修。

(3) 流量监测

通过 LabVIEW，可以实时监控灌溉管网中的水流量，通过调节电磁阀门、水泵或其他控制设备来保持科学的灌溉流量。这有助于农作物获得最佳的灌溉水量，提高灌溉效率。

(4) 报警记录

LabVIEW 可以确保报警记录的准确性和灵敏性。用户提前设定好温湿度的阈值，一旦触发报警，系统可以自动记录报警时间、报警类型、报警值等，并将数据保存在数据库中。这有助于用户追溯和分析问题原因，并采取相应的解决措施，提高了灌溉系统的管理效率^[6]。

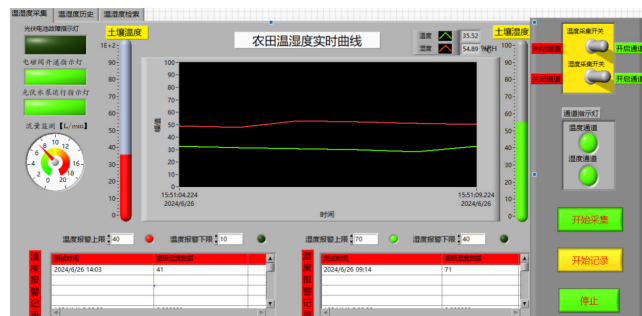


图3 LabVIEW 监测界面

3.3 遗传算法优化 BP 神经网络需水量预测

在实施农田的灌溉过程中，提前预测到农田各时期对应的需水量，能够更加高效利用水资源和提高产量。采用 BP 神经网络进行需水量预测时，不符合土壤需水量随机性的特点，其产生的误差会偏大，而遗传算法优化 BP 神经网络能有效针对这一问题对权重进行优化^[7]。因此，本文将利用遗传算法优化 BP 神经网络进行需水量预测。

本文选用试验田地区 2018~2022 年近 5 年的气象数据信息，并通过参考作物需水量 Penman-Monteith 计算公式得出参照作物需水量 ET，以此作为模型的训练样本。

$$ET = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

以日为步长，则式中，ET 为参考蒸散量，mm/day； R_n 为作物表面上的净辐射， $M/(m^2 \cdot day)$ ； G 为土壤热通量， $M/(m^2 \cdot day)$ ； T 为 2m 高处日平均气温， $^{\circ}C$ ； u_2 为 2m 高处的风速，m/s； e_s 为饱和水汽压，kPa； e_a 为实际水汽压，kPa； $e_s - e_a$ 为饱和水汽压差，kPa； Δ 为饱和水汽压 - 温度关系曲线中在某处的斜率， $kPa/^{\circ}C$ 。

同时选用 2023 年随机连续 50 天的气象数据信息以及土壤实际需水量进行验证。该算法的目的是通过遗传算法优化 BP 神经网络的预测模型^[8]，准确预测

出农作物参照需水量的最优值，达到科学化、智能化灌溉。

遗传算法优化 BP 神经网络的输入、输出层的神经元数量根据实际的应用来确定。本研究是针对农田光照，空气温度、湿度对于土壤相对湿度的变化量的研究模型，BP 神经网络的输入层节点为 3，即光照、土壤温度、土壤湿度；输出层节点数为 1，即土壤的相对湿度的变化量。

4 实验结果

通过仿真分析，可以得出遗传算法优化 BP 神经网络预测结果的相对误差均小于 3%，同时得出的检验样本的平均相对误差为 3.7%，说明模型不仅在个体数据上预测精度较高，也意味着整体精度也比较高。通过观察图 4 可知，模型预测值不仅在趋势变化上与真实值保持一致，同时在细节方面也做到很好地拟合真实值。因此，本文所设计的农田需水量预测模型符合预测要求，可以应用到农田需水量的预测中。

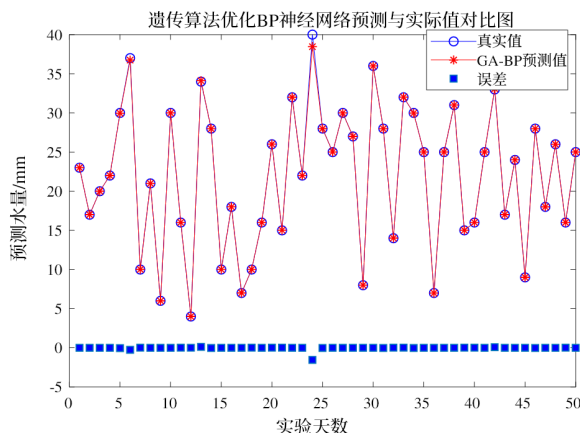


图4 需水量预测值和真实值对比图

R 系数图主要用于说明预测输出值和目标输出值之间的相关性。具体来说，当 R 值越趋近 1，表示预测值和输出值之间的联系越紧密；当 R 值越趋近 0，则表示预测值和输出值之间的联系随机性越大。由图 5 可看

出, R 系数趋近于 1, 极大验证了预测需水量输出和目标需水量输出存在强相关性, 说明遗传算法优化 BP 神经网络对农田灌溉需水量预测数据的有效性。

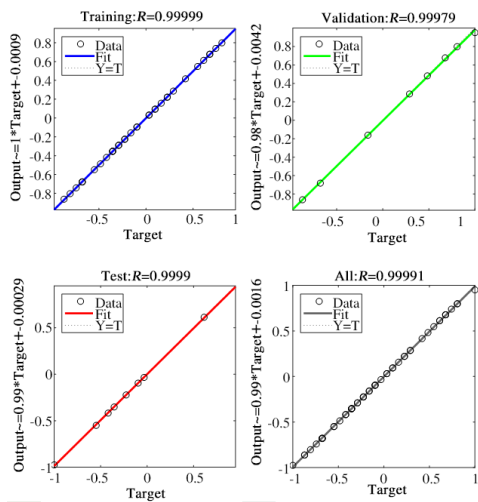


图 5 R 系数图

5 结束语

本文在深入了解我国农田光伏灌溉发展现状的基础上, 提出基于 LabVIEW 的智能光伏灌溉系统, 以光伏发电作为供能, 无线传感网络技术为基础, PLC 控制整个农田管网, 以 LabVIEW 软件为开发平台, 开发一套集土壤监测、光伏状态、流量监测、报警记录为一体的智能光伏农田灌溉控制系统。该系统不仅提升农作物高产量, 还能够利用太阳能进行灌溉设备的供电, 从而实现节能减排的目标, 符合我国“碳达峰”和“碳中和”的发展战略。

参考文献

[1] 许丁中, 杨洪明, 项胜, 等. 适应乡村振兴与可持续发展的农村光伏发电生态补偿优化决策 [J]. 农业工程学报, 2023, 39 (17) : 218-226.

[2] Shepovalova OV, Belenov AT, Chirkov SV. Review of photovoltaic water pumpingsystem research [J]. Energy Reports, 2020, 6 (S6) : 306-324.

[3] 詹宇, 胡佳宁, 任振辉. 基于 PLC 的果园水肥一体化控制系统设计 [J]. 农机化研究, 2020, 42 (4) : 100-104.

[4] 于彤, 张璐. PLC 在水利闸门自动化控制中的应用 [J]. 电子技术, 2022, 51 (5) : 284-285.

[5] 张代宏. LabSQL 在 LabVIEW 中对数据库访问的实现方法 [J]. 航空维修与工程, 2020 (2) : 70-72.

[6] 刘小群. 基于 LabVIEW 的通信系统信号相关性研究 [J]. 电子设计工程, 2022, 30 (3) : 71-74.

[7] 陈雄波, 王俊昀, 龚钰婷, 等. 基于神经网络和遗传算法的泥沙模型研发及应用 [J]. 人民黄河, 2020, 42 (12) : 18-22.

[8] 孙博瑞. 基于 LSTM 神经网络的智能灌溉系统开发 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2022.

(收稿日期: 2024-05-24)