

# 基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电监控系统设计

张安莉, 谢 檬, 苏 晨, 范明邦

(西安交通大学 城市学院, 西安 710018)

**摘要:** 针对新能源发电系统中实时数据采集不完整、监控资料缺失等问题, 文章设计了基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电监控系统; 下位机采用 STM32F105 作为主控芯片、电压检测元器件 PCF8591、LM75A 温度检测、三杯式风速检测、BH1750 光照强度检测等芯片构成太阳能光伏发电监控模块电路; 上位机采用 LabVIEW 实现监控参数的实时显示、故障报警与记录, 监控系统智能开闭和集中化管理; 经过测试, 系统误差范围在  $\pm 10\%$  以内, 测量数据与标准数据准确值范围在 0.5~20 区间; 相较于传统的光伏发电监控系统更加节能环保、更加智能、更加便于系统化集中化管理。

**关键词:** LabVIEW; 光伏发电; 实时监控; 集中化管理

## Design of Solar Photovoltaic Monitoring System Based on LabVIEW

Zhang Anli, Xie Meng, Su Chen, Fan Mingbang

(City College, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710018, China)

**Abstract:** This paper designs a solar photovoltaic power generation monitoring system based on LabVIEW, to aiming at the problems of incomplete real-time data acquisition and lack of monitoring data in the new energy generation system. The lower computer uses STM32F105 as the main control chip, voltage detection components PCF8591, LM75A temperature detection, three cup wind speed detection, BH1750 light intensity detection and other chips to form the solar photovoltaic power generation monitoring module circuit. The upper computer uses LabVIEW to realize real-time display of monitoring parameters, fault alarm and record, intelligent opening and closing of monitoring system and centralized management. The system error range is less than  $\pm 10\%$ , and the accurate value range of simulation data and standard data is between 0.5~20. Compared with the traditional photovoltaic power generation monitoring system, it is more energy saving, environmental protection, more intelligent, and more convenient for systematic centralized management.

**Keywords:** LabVIEW; photovoltaic power generation; real-time monitoring; centralized management

## 0 引言

自 1877 年第一块太阳能电池问世以来, 一百多年里, 以太阳光为代表的绿色能源因其绿色环保、效能高等特点日益受到人们的青睐, 绿色能源得到快速发展。其中, 太阳能的发展尤为迅猛<sup>[1-4]</sup>。目前, 世界各国都在积极建设新能源发电网络, 而太阳能光伏发电系统就是新能源发电系统中较为常见的一种发电方式。太阳能发电站及发电系统的光照强度是其发电量的主要决定因素, 因此, 太阳能发电站及发电系统多建造于人迹罕至的荒漠、沙丘、海岛等地带。此类地带光照强度大、日照时间长, 能够保证太阳能光伏发电的日照强度需要。但其昼夜温差变化大, 自然环境较为恶劣, 对于许多只能现场监控管理的地区, 人力物力的资源浪费较大, 且数据采集不完整、监控资料缺失

等情况时有发生<sup>[5-12]</sup>。同时, 恶劣的自然环境也对数据采集工作人员的操作安全和工作生活状态产生不利影响。

环境参数数据不仅对电站工作人员的操作安全与工作生活状态有影响, 也对光伏电池的发电量有影响, 同时还涉及到发电站设备的正常运行<sup>[13-16]</sup>。因此, 非常有必要对光伏电站的环境参数进行测量和监控管理。为了采集光伏发电系统的工作参数数据, 需要建立一整套完整的光伏发电监控系统, 这不仅可以提高光伏发电系统环境数据的监控与收集, 而且能更加科学、更加方便地进行人力物力的控制与协调, 进行合理调配运用<sup>[17-22]</sup>。

本文所设计的基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电监控系统将初步解决上述问题, 达到智能化监控、实时性采集、集中化管理的设计目标。设计中的下位机主要完成对温度、

收稿日期: 2020-10-14; 修回日期: 2020-11-16。

基金项目: 教育部产学研项目(201902028026); 陕西省教育厅教改专项(19BY139); 陕西省教育规划课题(ZJX0202001); 陕西省教育科学“十三五”规划 2020 年度课题(SGH20Y1384)。

作者简介: 张安莉(1974-), 女, 陕西西安人, 硕士, 副教授, 主要从事电子技术及信号处理方向的研究。

通讯作者: 谢 檬(1982-), 女, 陕西西安人, 硕士, 副教授, 主要从事虚拟仪器及智能仪器的设计方向的研究。

引用格式: 张安莉, 谢 檬, 苏 晨, 等. 基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电监控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 74-78, 113.

风速、光照强度及电压、电流等参数的实时数据采集。上位机主要实现光伏发电参数数据的实时曲线绘制与实时数值显示及故障报警等功能。同时, 通过历史数据库功能完成历史数据查询。系统对太阳能光伏电站进行多组数据变量的检测, 通过无线传输实现光伏电站环境及工作参数的全面监控, 旨在让监控者获取最实时全面的监控数据与完整的数据库, 进行光伏电站人员及设备的科学管理。相较于传统的光伏发电监控系统来说更加节能环保、更加便于系统化集中化管理。

## 1 系统硬件电路设计

基于 LabVIEW 的太阳能光伏发电监控系统结构如图 1 所示。下位机由电流电压采集模块、温度、光照、风速传感器检测模块、单片机及通信总线组成。温度、光照、风速传感器用于检测环境中的温度、光照和风速, 并产生电信号; 传感器和单片机用于对采集的信号进行 A/D 转换, 提供给上位机做数据调用。上位机分为监控子面板和历史波形子面板, 分别实现电压、电流及温度、光照和风速的实时数据显示、故障报警以及相关数据的历史查询功能。其中, 监控子面板与单片机进行通信, 实现实时数据的显示及温度报警等功能; 历史波形子面板通过调用单片机上传之数据, 实现历史数据的存储及显示。

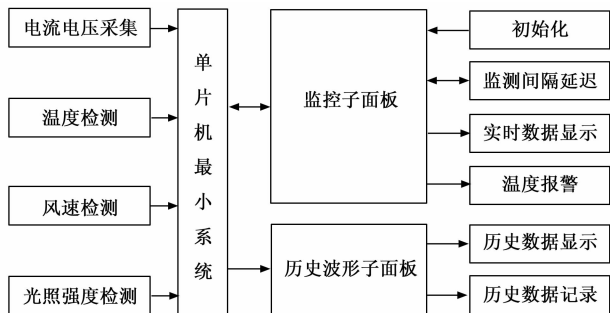


图 1 监控系统结构框图

### 1.1 STM32 最小系统

STM32 最小系统控制模块电路包括 STM32F105 主控芯片、电源电路、复位电路、时钟电路、调试接口电路和 BOOT 启动电路。其中, 电源转换模块为系统硬件电路正常工作提供保障, 将 220 V 电压转换为各个模块所需要的直流电压。采用晶振为最小系统提供时钟信号。STM32 最小系统可将 BOOT0 引脚和 BOOT1 引脚置为低电平, 使用 JTAG 或者 SWD 调试下载程序。

### 1.2 电流、电压采集模块

通过监测太阳能光伏发电系统中的电流、电压的变化, 能够判定太阳能光伏发电系统是否正常工作。电流、电压采集模块通过 A/D 芯片 PCF8591 进行系统电流、电压信号的 A/D 转换, 将所采集的电信号数据传输到单片机中进行处理, 当电流电压的线性关系发生突变时, 系统进入非正常工作状态风险增加, 可设置进行报警或进行人工远程干预。

### 1.3 温度检测模块

温度检测模块采用 LM75A 温度传感器进行光伏电站的温度数据检测。LM75A 温度传感器温度传感器供电电压范围为 2.8~5.5 V。电路接 5 V 电压, 可以检测 -55~+125 ℃ 的温度数据, 满足光伏发电温度监测系统现实需求。

### 1.4 三杯式风速检测模块

三杯式风速检测模块用于检测环境的风速及风向, 一般用于军工设施或强风口地带和海上, 可以监测 0~18 级阵风风速和 360° 的风向坐标。本设计采用三杯式风速检测模块进行光伏电站的风速检测。单片机读取三杯式风速传感器的转速并转换为数字信号, 通过无线通信方式发送信号并显示风速数据。同时, 风速检测模块的数据通过无线通信方式上传给上位机进行显示, 能够减少工作人员的攀爬作业风险。

### 1.5 光照强度检测模块

光照强度检测模块采用 BH1750 光照传感器来检测环境光照强度, 其光感分辨率高, 能够探测较大范围的光强度改变。BH1750 光照传感器具有接近视觉灵敏度的光谱灵敏度特性, 数据检测更精确, 其输入光范围为 1~65 535 lx。BH1750 光照传感器不需要 A/D 转换, 但需要 IIC 通讯方式读取光强测试结果。测量电路 BH1750 光照传感器接 5 V 电压, 供给电压为 3~5 V, 供给电流为 200 μA。

## 2 系统软件设计

### 2.1 监控系统总程序

太阳能光伏发电监控系统总设计流程如图 2 所示。软件系统由单片机驱动程序和上位机 LabVIEW 控制界面组成。下位机通过传感器实现温度、风速、光照、电压和电流共 5 个物理量的采集, 并它通过单片机进行数据处理, 将数据通过无线传输模块上传给上位机。上位机程序主要完成数据读取、数据数值显示、温度超阈值告警、数据记录存储、历史数据查询等功能。

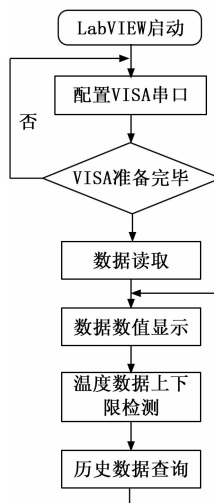


图 2 监控系统总程序流程图

系统总程序主要的工作步骤为:

- 1) 初始化光伏发电监控系统的状态, 启动 LabVIEW。
- 2) 配置 VISA 串口, 进行调试。
- 3) VISA 调试完成, 实现通信, 进行数据读取。
- 4) 对读取数据在相应子面板模块进行显示。
- 5) 对温度数据进行阈值判断, 根据判断结果进行告警显示。
- 6) 将数据进行存储, 实现历史数据查询功能。

## 2.2 监控系统前面板设计

太阳能光伏发电监控系统的上位机前面板分为监控子面板和历史波形子面板。前面板采用仪表盘形式显示监控量、数字方式显示各监测数据的具体数值。以波形图的方式显示定时监控的环境物理变量及所监控的历史变量。数据库表格用于记录和存储各监控数据。

## 2.3 监控子面板

太阳能光伏发电监控系统监控子面板如图 3 所示。根据使用顺序和功能划分为 4 个模块。分别是初始化及串口设置模块、监控间隔时间及延时模块、实时数据显示模块和温度报警模块。



图 3 监控子前面板

1) 初始化及串口设置模块: 初始化设置用来选择串口名称, 用于不同的串口连接。串口设置里可以设置波特率、数据位等详细参数。串口设置模块包括波特率设置: 调制传输速率, 可调节范围为 0~38 400; 数据位设置: 调整传输串行相应位, 可调节范围为 5~8 位; 停止位: 数据符号的最后 1 位, 可调节范围为 1.0 位、1.5 位、2.0 位; 奇偶校验位: 检错方式, 默认为 1 位 (None)。VISA 串口设置: 用来选择上位机读取数据的串口为 COM1-9; 读取缓冲区为显示所连接的串口信息; 停止按键用于整个系统的启动及停止。

2) 监控间隔时间及延时模块: 监控间隔时间及延时模块为控制系统读取数据的间隔时间, 控制时间范围: 0~10 s, 数据框显示间隔时间数值, 精确时间为 0.1 s。

3) 实时数据显示模块: 实时数据显示模块主要显示下位机采集的实时数据信息, 监控系统采用指针表盘和数字输出框等方式显示光照、风速、温度及电流、电压的监测实时数据。光照强度范围为 0~500 klx; 风速范围为 0~

35 m/s; 温度范围为 0~100 °C。电压范围为 0~220 V; 电流范围为 0~10 A。

4) 温度报警模块: 温度报警模块包括上下限调节装置、报警指示灯和运行状态显示控件。太阳能光伏发电监控系统正常工作时, 布尔灯与运行状态均显示为绿色。当监控的数值显示超过上限或下限时, 布尔灯变为红色, 运行状态显示为高温或低温警报。温度上下限参照《室内作业高温标准》取值 0~40 °C 之间。

## 2.4 历史波形子面板

历史波形子面板如图 4 所示。历史波形子面板包括历史数据波形模块和历史数据记录模块。历史数据波形模块显示从系统运行开始后所有变量的历史曲线记录和变化, 是历史数据的图形化展示。历史数据记录模块以实时数据记录的方式实现所监控变量的记录与储存, 数据以表格形式记录包括时间、温度、光照、风速、电压和电流共 6 个变量测试, 可以通过滑动条控件来查看所选日期的历史监控数据, 实现历史查询功能。

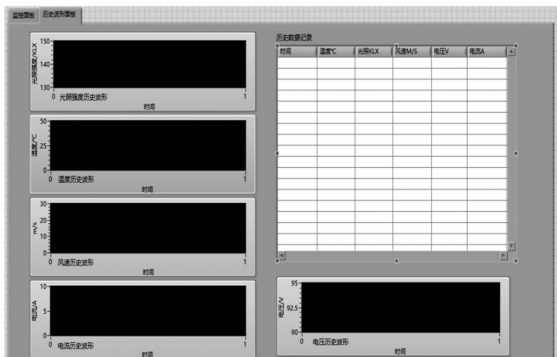


图 4 历史波形子前面板

1) 历史数据波形模块: 历史数据波形模块用来提供完整的数据变化曲线, 可以直观地观察历史数据的变化情况。波形图的横轴显示时间, 记录单位为秒; 纵轴为监控参数的单位, 可由波形数值自由变化或自定义设定上下限。光照历史波形上下限范围为 130~150 klx; 温度历史波形上下限阈值范围为 0~50 °C; 风速历史波形上下限范围为 0~30 m/s; 电压历史波形范围为 0~95 V; 电流历史波形上下限范围为 0~10 A。

2) 历史数据记录模块: 历史数据记录模块采用电子表格记录参数的实时数值, 记录数值格式为十进制数值, 可记录至小数点后一位。可以查看每个时间节点的历史数据, 实现每组数据的储存, 便于历史数据的管理和保存。

## 3 系统测试及结果分析

为了验证系统测试的准确性, 进行系统联调功能测试。完成仿真程序设计与连接后, 将相对应的端口接入上位机软件面板, 打开软件界面, 串口会显示所连接端口。选择快捷的 COM 端口即可完成连接。打开上位机, 进行参数设置运行观察上位机是否正常运行。正常运行后, 重新设置参数, 根据状态模拟方法对系统进行测试。将上位机与下

位机进行无线蓝牙连接, 无线蓝牙选用 HC-05 芯片, 通讯协议为 TCP/IP 协议, 波特率为 115 200<sup>[13]</sup>。通过读取 LabVIEW 历史数据, 观测下位机运行状况,

### 3.1 室内初始化测试

系统设置为室内初始化状态, 运行监控系统并连接虚拟串口, 设置波特率为 9 600 bps、停止位为 1.0 位、数据位为 8 位、检验位为 None, 其余参数均为默认值, 即可运行系统并实现仿真数据监控。室内初始化测试界面如图 5 所示。



图 5 室内初始化测试

系统间隔时间设定为 3 s, 参数设置完成后点击运行, 监控系统实时显示参数, 温度参数为 30.4 °C, 低于设定的温度上限, 运行状态显示为正常运行。光照强度为 123.7 klx; 风速为 10.2 m/s; 电压为 91.2 V; 电流为 5.2 A。此时, 监控系统正常工作, 显示的实时数据为连续稳定的波形。

### 3.2 室外正常模式测试

系统设置为室外模式, 串口设置参数为默认值, 采样间隔为 3 秒/次, 温度上限阈值设定为 40 °C。点击运行, 此时温度显示为 33.1 °C, 低于温度上限阈值, 系统为正常运行范围, 布尔灯显示绿灯点亮状态。光照显示为 139.3 klx、风速显示为 11.4 m/s、电流显示为 5.1 A, 电压显示为 93.9 V。室外正常模式测试结果如图 6 所示。



图 6 室外正常模式测试结果图

### 3.3 室外报警模式测试

系统设置为室外模式, 设定默认串口参数值, 采样间隔设定为 3 秒/次, 温度上限阈值为 40 °C, 点击运行, 此时运行状态为高温报警, 温度值显示为 41.0 °C, 大于上限阈值; 光照强度为 147.7 klx; 风速为 14.1 m/s; 电压为

93.1 V; 电流为 5.2 A。此时监控面板警示报警灯亮起, 显示为报警模式。室外报警模式测试结果图如图 7 所示。



图 7 室外报警模式测试结果图

### 3.4 历史数据查询测试

系统设置为历史波形面板模式。历史波形面板分为 6 个波形显示区域, 分别是光照强度历史波形显示区域、温度历史波形显示区域、风速历史波形显示区域、电流历史波形显示区域、电压历史波形显示区域和历史数据记录表格区域。历史波形图时间轴运行初始值从 0 开始, 共显示 44 次采样数据波形, 波形采样间隔为 3 s。历史数据记录表格储存系统运行的所有历史数据, 面板可见的显示为 18 次采样数据, 若要查询更多数据, 用户可通过滑动表格右侧滑动条进行查询。历史数据查询测试如图 8 所示。

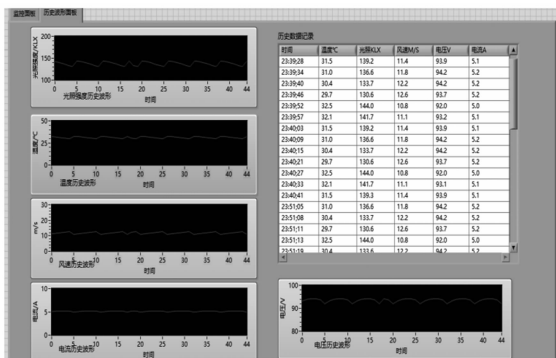


图 8 历史数据查询测试结果图

### 3.5 系统测试结果分析

为了验证系统的实际可行性与测量准确度, 对太阳能光伏发电监控系统进行系统运行实验测试, 记录五组数据的测量值和标准值, 并进行误差分析。系统监测数据表如表 1 所示。系统误差的计算公式如下所示:

$$Y = \left| \frac{X_b - X_a}{X_b} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式 (1) 中, Y 为误差值, X<sub>b</sub> 为标准值, X<sub>a</sub> 为测量值。

如表 1 所示, 测量误差值范围在 ±10% 内, 测试误差在 0.5~20 区间。

通过分析表 1 数据, 可见温度变化范围为 10~100 °C, 光照变化范围为 100~500 klx, 风速变化范围为 1~35 m/s, 电流电压为默认值。测试结果表明, 系统工作在测量状态时

表 1 系统监测数据表

测试参数		1	2	3	4	5
温度/℃	测量值	10.1	25.4	49.4	75.7	98.7
	标准值	10.0	25.0	50.0	75.0	100.0
	误差	1.0	1.6	1.2	0.9	1.3
光照/klx	测量值	101.3	197.6	303.1	404.8	492.5
	标准值	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0
	误差	1.3	1.2	1.0	1.2	1.5
风速/(m/s)	测量值	1.1	11.4	19.8	29.6	34.4
	标准值	1.0	10.0	20.0	30.0	35.0
	误差	1.0	1.4	1.0	1.3	1.7
电流/A	测量值	5.1	5.2	5.1	5.3	5.1
	标准值	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
	误差	0.0	1.0	0.0	3.0	0.0
电压/V	测量值	90.1	91.4	92.1	92.9	94.1
	标准值	90.0	91.0	92.0	93.0	94.0
	误差	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1

电流和电压数值变化较小，温度、风速和光照强度数值变化较大。

为了进一步分析数据、减小测量误差，对测量值进行数据拟合。设其温度、光照、风速、电流和电压变量分别为  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$ 、 $y_4$ 、 $y_5$ ，通过数据拟合得到其拟合方程。温度、光照、风速、电流和电压的拟合方程分别如下式所示：

$$y_1 = \frac{177}{140}x^2 + \frac{2123}{140}x - \frac{377}{50} \quad (2)$$

$$y_2 = \frac{2474}{25}x + \frac{149}{50} \quad (3)$$

$$y_3 = \frac{2204}{175}x - \frac{24}{35}x^2 - \frac{549}{50} \quad (4)$$

$$y_4 = \frac{1}{100}x + \frac{513}{100} \quad (5)$$

$$y_5 = \frac{19}{20}x + \frac{8927}{100} \quad (6)$$

根据表 1 之测量值和根据式 (2) ~ (6) 的拟合方程所拟合出的拟合值，分别绘制温度、光照、风速、电流和电压的测量值与拟合值曲线，如图 9 所示。

对拟合后的数据进行相对误差计算，可得温度的平均相对误差为 5.27%，光照的平均相对误差为 1.18%，风速的平均相对误差为 5.43%，电流的平均相对误差为 1.41%，电压的平均相对误差为 0.14%。数据表明：拟合后的各参数测量误差均得到改善，其中，温度参数相较之其他参数的平均相对误差最大，电压参数的平均相对误差最小。基于此算法，对检测算法进行优化，代入拟合方程式后，其测量准确度可得到明显改善。

#### 4 结束语

本文所设计的太阳能光伏发电监控系统下位机采用 STM32F105 作为主控芯片，LM75A 温度传感器、BH1750 光照传感器和三杯式风速传感器模块与内置电流电压检测模块组成。上位机主要实现监控参数数据的实时曲线与实

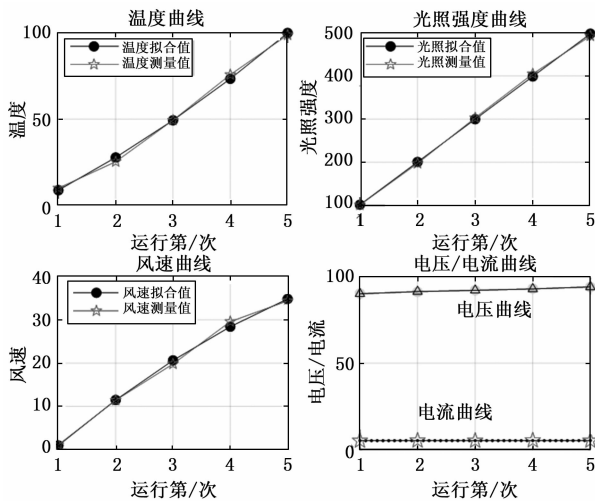


图 9 参数测量及拟合曲线图

时数值显示、故障报警和历史数据记录等功能。经测试，系统可实现对温度范围为 0~100℃，光照范围为 0~500 klx，风速范围为 0~30 m/s，电流范围为 0~10 A，电压范围为 0~220 V 的光伏发电系统的参数采集及实时波形和数据显示。经测试，系统误差范围在 ±10% 以内，测试数据与标准数据误差范围在 0.5~20 区间。对测试数据利用 Matlab 进行数据拟合后，可进一步减小误差，系统能够根据拟合方程对数据进行预测，从而对系统工作或故障做出预判。测试结果表明：本文设计的太阳能光伏发电监控系统工作稳定，测量准确度高，操作方便，相较于传统的光伏发电监控系统更加节能环保、更加智能、更加便于系统化和集中化管理。

#### 参考文献:

- [1] 杭帆, 张琴, 仓思雨, 等. 基于“互联网+”的分布式光伏发电监控系统设计 [J]. 电源世界, 2018, 6 (20): 31-35.
- [2] 赵露, 曹运华. 基于 LabVIEW 的光伏监控系统设计 [J]. 湖南科技学院学报, 2019, 5 (7): 23-24.
- [3] 丁全鑫, 师鑫, 杨君宝. 基于 LabVIEW 的光伏发电远程电能监控系统设计 [J]. 电子设计工程, 2014, 19 (45): 145-148.
- [4] 张杰, 张轶, 刘志辉. 基于 LabVIEW 的光伏发电监测系统通信差错控制 [J]. 自动化与仪表, 2011, 6 (7): 25-27, 32.
- [5] 周红标, 刘艳, 殷荣华, 等. 基于 STM32 和 LabVIEW 的光伏发电监测系统的设计 [J]. 微型机与应用, 2013, 10 (11): 27-29.
- [6] 党宏社, 王黎, 吕钊. 基于虚拟仪器的光伏发电监测系统的实现 [J]. 计算机工程与设计, 2014, 5 (68): 361-365.
- [7] 刘敬科, 孔祥新. 基于 LabVIEW 的光伏电源监控系统设计 [J]. 电子技术, 2011, 9 (36): 94-96.
- [8] 孟彦京, 徐晓龙, 马汇海. 基于 DataSocket 技术的光伏发电远程监测系统 [J]. 自动化与仪表, 2014, 9 (9): 26-29.

(下转第 113 页)