

# 输变电工程水土保持在线监测系统关键技术研究

孙强<sup>1</sup>, 雷磊<sup>1</sup>, 邹斌<sup>2</sup>, 卫娟娟<sup>3</sup>, 杨彤<sup>4</sup>

(1. 国网陕西省电力公司电力科学研究院, 陕西 西安 710100; 2. 国网陕西省电力公司, 陕西 西安 710048; 3. 国网陕西省电力公司西安供电公司, 陕西 西安 710032; 4. 西安兰沣环境科技有限公司, 陕西 西安 710061)

**摘要:** [目的] 研发一套集数据采集、存储、分析等功能的输变电工程水土保持在线监测系统, 以提高水土保持监测工作质量和效率。[方法] 以影响水土流失的气象因子(包含雨量、温度、湿度、风速、风向等)与土壤含水量作为研究对象, 选择符合技术要求的传感器, 将传统的水土保持监测设备与最新测试技术、计算机技术和通信技术相结合, 初步集成研发了水土保持在线监测系统关键技术。[结果] 经现场试运行验证, 系统关键技术测试数据误差率小于 5%, 精确度和可靠性较高。系统运行状态稳定, 软件用户界面操作简单且功能完善, 采集和处理数据具有直观、准确、实时的优点。[结论] 研制的输变电工程水土保持在线监测系统关键技术具有良好的稳定性和精确度, 满足技术要求, 可应用于输变电工程水土流失监测实践工作中。

**关键词:** 水土保持; 在线监测; 采集与控制; 输变电工程

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)02-0241-05

中图分类号: X830, S157.1

**文献参数:** 孙强, 雷磊, 邹斌, 等. 输变电工程水土保持在线监测系统关键技术研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 241-245. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20180323.001. Sun Qiang, Lei Lei, Zou Bin, et al. Key technologies of online monitoring system for soil and water conservation of power transmission and transformation project[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 241-245.

## Key Technologies of Online Monitoring System for Soil and Water Conservation of Power Transmission and Transformation Project

SUN Qiang<sup>1</sup>, LEI Lei<sup>1</sup>, ZOU Bin<sup>2</sup>, WEI Juanjuan<sup>3</sup>, YANG Tong<sup>4</sup>

(1. State Grid Shaanxi Electric Power Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 3. State Grid Xi'an Electric Power Supply Company, Xi'an, Shaanxi 710032; 4. Shaanxi Lan Feng Environment Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710061, China)

**Abstract:** [Objective] In order to improve the quality and efficiency of the soil and water conservation monitoring in the power transmission and transformation engineering, an online monitoring system integrating the function of data collection, storage and analysis was developed. [Methods] The influence meteorological factors (including rainfall, temperature, humidity, wind speed, wind direction and other factors) and soil moisture were chosen as the research objects in accordance with the technical requirements of the sensor, the traditional monitoring device, the newest testing technology, computer technology and communication technology, the key technologies of the online monitoring system was successfully developed. [Results] With the verification by field test, the data error rates were lower than 5%, which demonstrated the high accuracy and reliability. The operating state of the system was steady. The software user interface is simple and functional, which makes the data collection and analysis visual, real-time and accurate. [Conclusion] The developed key technologies of online monitoring system of the soil and water conservation monitoring in the power transmission and transformation engineering are stable and reliable. The system can satisfy the technology requirements and can be applied in practice.

**Keywords:** water and soil conservation; online monitor; acquisition and control; power transmission and transformation engineering

水土保持监测是输变电工程水土保持工作的重要环节,它既对水土保持方案的实施情况监督,又是水土保持设施竣工验收评估的重要依据。2009 年以来,中国已建立起全国水土保持监测网络平台。国内外学者已对水土保持监测系统的数据传输、处理及分析开展了系列相关研究。邓玉娇<sup>[1]</sup>基于 WebGIS 系统构建了水土保持动态监测系统,有效解决了海量多时态数据更新、管理、分析的问题。杨永红<sup>[2]</sup>基于 3S 技术开发了水土流失动态监测系统,以彩色相元表示监测区域的年水土流失量和流失的空间分布情况,为水保监测数据处理与表达提供了新思路。钱巧静<sup>[3]</sup>对基于 WEB 的水土保持监测信息表达进行了研究,实现了对空间数据、属性数据及其组合的可视化交互查询分析功能,并能够进行灵活的自定义条件查询。李松<sup>[4]</sup>建立了一套应用于水土保持自动化监测站点的综合集成信息系统。该系统可以完成对各类自动监测设备的运行管理、数据的自动采集和入库、监测数据处理与输出、数据的远程传输等功能,提高水土保持监测的自动化和信息化水平。赵会东<sup>[5]</sup>提出面向水土保持数据采集的 GPRS DTU 系统,将串口设备采集到的数据转化成 TCP/IP 数据包并通过 GPRS 网络传回数据中心,实现了低价解决水土保持数据远程传输的问题。以上研究主要集中在数据传输及分析表达中,缺乏设备集成和传输方式有机结合的创新研究,不能完全适用于输变电工程水土保持监测工作的需要。水土流失影响因子监测是输变电工程水保监测的重要内容,它是水土流失发生、发展的内在原因,掌握它的动态变化能够解释水土流失的本质与规律,是预测预报和预防治理水土流失的关键。本研究选择水土流失影响因子中的气象因子(雨量、温度、湿度、风速、风向)与土壤含水量作为监测对象,对系统自动化监测、数字化传输、数字显示等关键技术进行研发,初步建立起输变电工程水土保持在线监测系统的功能框架。

## 1 系统总体结构

### 1.1 系统构成

输变电工程水土保持在线监测关键技术主要包括传感器集成、采集与控制模块、数据分析终端 3 部分。其中,传感器集成主要是集成雨量、温度、湿度、风速、风向、土壤含水量等传感器,将原始量转变为电信号并传输;采集与控制模块采用 DSPIC 系列工业级单片机作为主控芯片,用于定时采集、存储传来的信号;数据分析终端是 PC 机设计程序,用于数据收集分析、处理、数字化显示、存储和形成报告等。系统

总体设计框。如图 1 所示,输变电工程水土保持在线监测系统是现代测试技术和现代通讯技术相结合的产物,其工作原理是对水土流失各影响因子进行定时采样和按序存储,经 USB 本地导出或无线远程到监测中心,利用专用分析软件对所采集的信息进行归纳、统计和分析,最终得到监测地的水土流失状况。

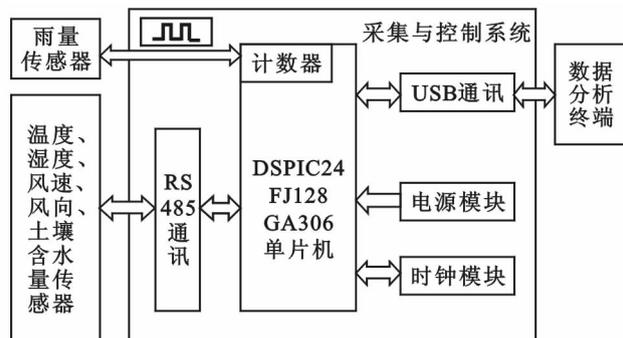


图 1 系统总体设计结构示意图

### 1.2 指标选取

根据输变电工程的特点,参照各类水土保持相关标准<sup>[6-8]</sup>和国网陕西省电力公司水土保持监测要求等,提出了水土流失影响因子技术指标(表 1)。

表 1 水土流失影响因子技术指标

监测指标	测量强度范围	分辨率	精度	采样频率
雨量/mm	≤4 mm/min	0.2	±4%	1 min/次
温度/℃	-20~+50	0.1	±0.5	30 min/次
湿度/%	0~100	4	±5	30 min/次
风速/(m·s <sup>-1</sup> )	0~45	0.1	±(0.3+0.03 V)	30 min/次
风向/(°)	0~360	1	±3	30 min/次
土壤含水量/%	0~100	1	±3	1 d/次

## 2 硬件设计

### 2.1 传感器选型

鉴于目前传感器市场已较为成熟,本文选择市场上满足水土流失影响因子技术指标监测要求的传感器。各监测指标传感器选型为:①雨量选择 CG-04 型翻斗式雨量传感器;②温度选择 PHQW 大气温度传感器,采用高精度热敏电阻作为感应部件,其阻值随温度变化而变化<sup>[9]</sup>;③湿度选择 PHQS 大气温度传感器,采用高分子薄膜湿敏电容作为感应部件,其介电常数随相对湿度而变化;④风速选择 PHWS 风速传感器,采用传统三风杯结构,当风杯受水平风力作用而旋转时,通过活轴转杯在狭缝光耦中的转动,输出频率信号;⑤风向选择 PHWD 风向传感器,采用低惯性风标及精密电位器,当风向发生变化时,尾

翼转动通过轴杆带动电位器轴芯转动,从而在电位器的活动端产生变化的电阻信号输出;⑥土壤水分选择 PH-TS100 土壤水分传感器,采用时域反射 TDR 法进行测量,即通过测量土壤的介电常数,直接稳定地衡量各种土壤的真实水分含量,与土壤本身的机理无关<sup>[10]</sup>。

传感器供电由 220 V 市政供电通过集成开关电源模块转为 12 V 提供。温度、湿度、风速、风向和土壤水分等监测传感器输出信号均采用 RS485 通讯;雨量传感器输出采用干簧管通断。

## 2.2 采集与控制模块

采集与控制模块硬件主要包括:单片机最小系统、数据存储、通讯模块、电源模块和实时时钟模块。

### 2.2.1 单片机最小系统设计

主控制芯片选择美国 Microchip 公司的 64 引脚 PIC24 F 系列单片机,工作电压 2~3.6 V,最高运行速度达 16 MIPS (32 MHz)。芯片本身集成了丰富的片内资源,包括 53 路通用数字 I/O 口,16 路 10/12 位精度的 ADC 通道可实现单端采集或差分采集,内部有 128 kB 程序闪存,8 kB SRAM 和具有 5 路 16 位定时器模块,保证了系统本地存储、低功耗、后期功能扩展的要求。

### 2.2.2 数据存储模块设计

数据存储模块采用 M25 P128 芯片作为单片机外部的 128 MB 闪存芯片,工作电压 2.7~3.6 V,工作温度 -40~85 ℃。数据保存期限 20 a,每个扇区可承受 10 000 次擦写循环。软件功能包括:整体擦除和扇区擦除、灵活的页面编程指令和写保护。

### 2.2.3 通讯模块设计

通讯方式有连接传感器的输入接口 RS-485 通讯和连接 PC 机的数据上传 USB 通讯。①输入接口 RS-485 通讯。采用 TI 公司的 SN65 HVD12 D 芯片作为 RS485 通信信号转换器,供电电压 3.3 V,具有共模输入电压 -7~+12 V,最高速率达 1 Mbps。考虑到数据采集周期可能较长,为提高可靠性,采用 9 600 bps 的速率。②数据上传 USB 通讯。USB 通讯信号转换器采用 FTDI 公司的 FT245 R 芯片,它能够实现全部 USB 通信协议,单片机无需编写固件程序。上位机(PC)使用 FTDI 驱动程序将 USB 接口转换为虚拟串口,实现数据传输;下位机通过并行方式与 FT245 R 通讯<sup>[11]</sup>。

## 2.3 数据分析终端

硬件设计选择 PC 机作为上位机,利用 USB 通讯,定期读取采集数据,完成动作命令的发送端和上传数据的接收端,实现数据的分析、显示、存储和读取。

上位机程序是整个系统的测试管理层,为用户提供测试平台与系统的信息互动,也是各功能模块的入

口<sup>[12]</sup>。上位机程序基于 Labwindows/CVI 虚拟仪器进行开发。测试平台的功能模块有:①设置功能。实现产品信息的输入以及参数的下传设置;②下载功能。实现将采集数据按照存储目录的顺序读入上位机内存中,并从上位机发命令将下位机内存数据全部擦除;③数据管理功能。实现数据的存储和查询,并导出报告;④数据处理与显示,将读入的数据进行分离、处理和显示。上位机总体结构框图如图 2 所示。

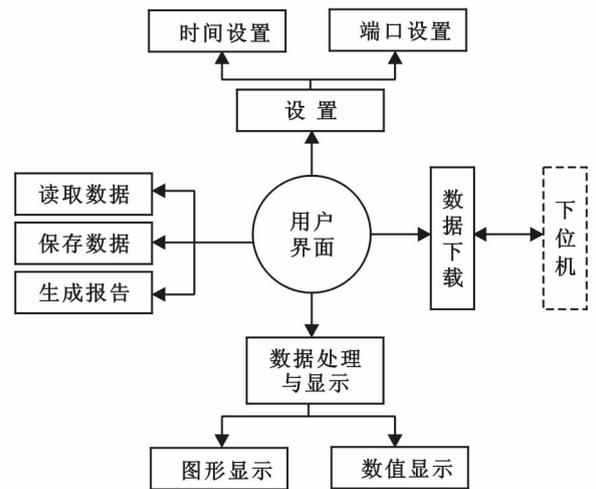


图 2 上位机总体结构示意图

## 3 软件设计

### 3.1 采集与控制模块

单片机(下位机)主程序流程图如图 3 所示。程序以 C 语言为基础,利用 MPLAB 开发软件编写。因为数据采集、数据存储的子程序动作次数不同,所以读取时间(RTC)设定也不同。但每次动作采集数据流程相同。其中,雨量采集设定每分钟 1 次,温度、湿度、风速、风向、土壤水分等采集设定每半小时 1 次。采集的数据缓存至单片机中,每小时将数据打包存储至数据存储芯片。下位机在接收到正确的读数指令后,开始在内存数据中寻找按照指令携带的月、日信息的指定数据,按照通讯协议中规定的数据格式返回给上位机<sup>[13]</sup>。

### 3.2 数据分析终端

上位机(PC)向采控模块发送读取数据目录命令,将数据从目录区读回到 PC 内存,通过查看目录可知采控模块存储数据的时间。系统查询某天数据时,PC 发送读数命令,采控模块将该天的数据量按 24 h 连续排列,每天的数据量总数为 1 680,每 1 h 数据量为 70,数据格式为“温度、湿度、风速、风向、土壤水分、雨量(60 个点)”。PC 按此格式读取该天的数据量,再重新拆分提取各参数的数据,并以整数形式

存储在内存中。在图形处理过程中,程序将上面的原始数据进行拆解、分离、整合出各类数据,然后利用 GRAPH 控件显示时间与各监测值的图形。因为温度、湿度、风速、风向、土壤水分等每 30 min 采集 1 个点,可以显示在同 1 张图中;而雨量每 1 min 采集 1 个点,所以单独绘制图形。

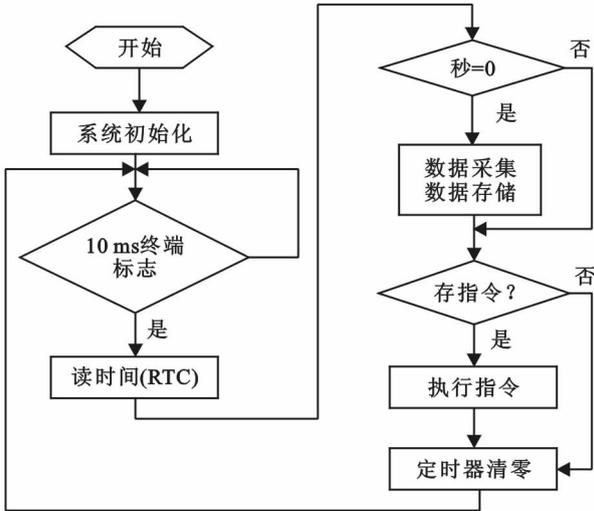


图 3 单片机主程序流程示意图

### 4 运行结果及分析

为了测试研发的输变电工程水土保持在线监测关键技术,在室外开展测试,测试地点为:国网陕西电科院北工作区试验楼楼顶,测试时间从 2015 年 8 月 1 日至 2016 年 1 月 18 日。测试现场如图 4 所示。



图 4 测试现场照片

测试系统通过 USB 通讯与 PC 连接,可进行参数设置、数据查询、图形显示和报告导出等操作(如图 5 所示)。

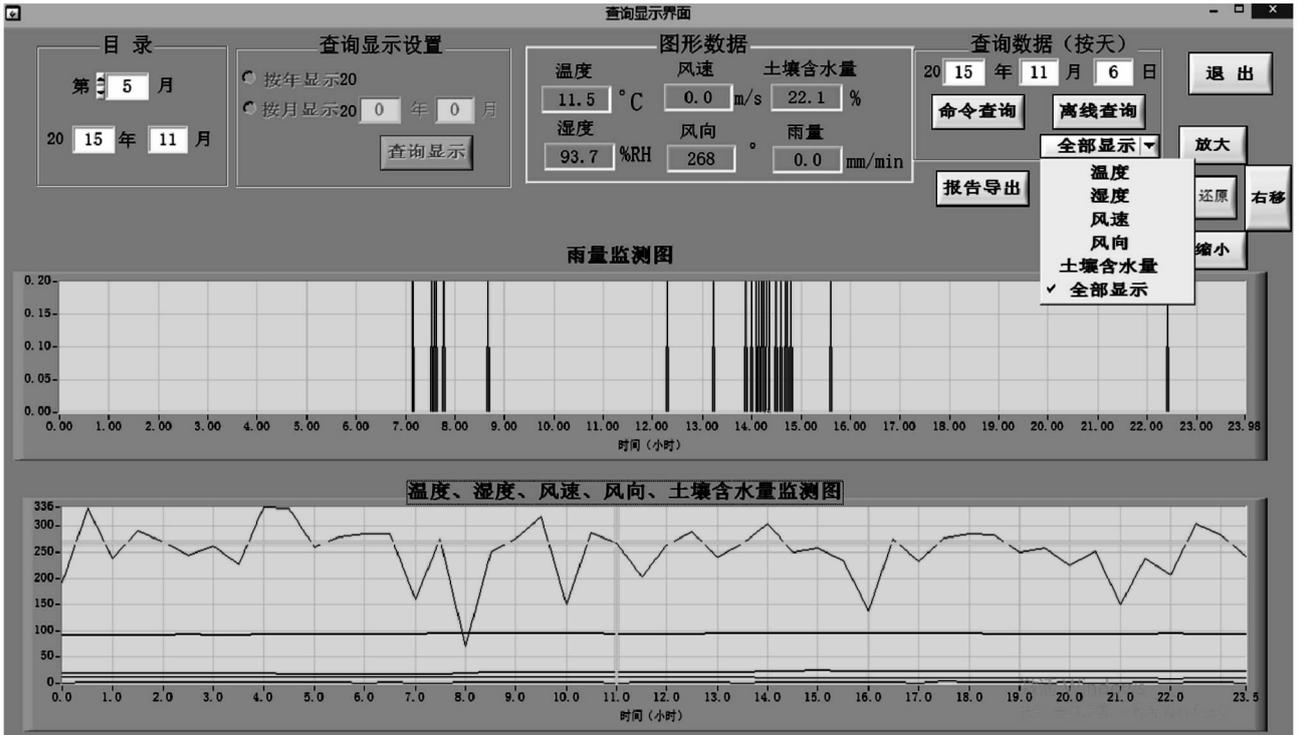


图 5 系统数据处理与显示界面

软件对监测数据可按要求进行分析处理,根据 2015 年 8 月实测数据,分析日平均温度、湿度、风速和日降雨量的变化情况,并绘制图形(如图 6 所示)。从图 6 中,可直观发现 8 月 23 日的数据存在异常。

经调查,异常原因为 8 月 22 日 23 时至 8 月 23 日 13 时停电,导致测试系统无法采集数据。为了验证系统在其他日期数据采集的准确度,选用市场上可读数的各独立指标传感器开展对比试验。对比验证试验持

续时间1个月,试验方法为:将对比传感器和监测系统放置在同种环境下,等传感器工作稳定后,读取各独立传感器数据和监测系统测试数据。通过对比,得

出各指标偏差均不超过5%。因此,研制的输变电工程水土保持在线监测系统关键技术具有良好的稳定性和精确度,满足技术要求。

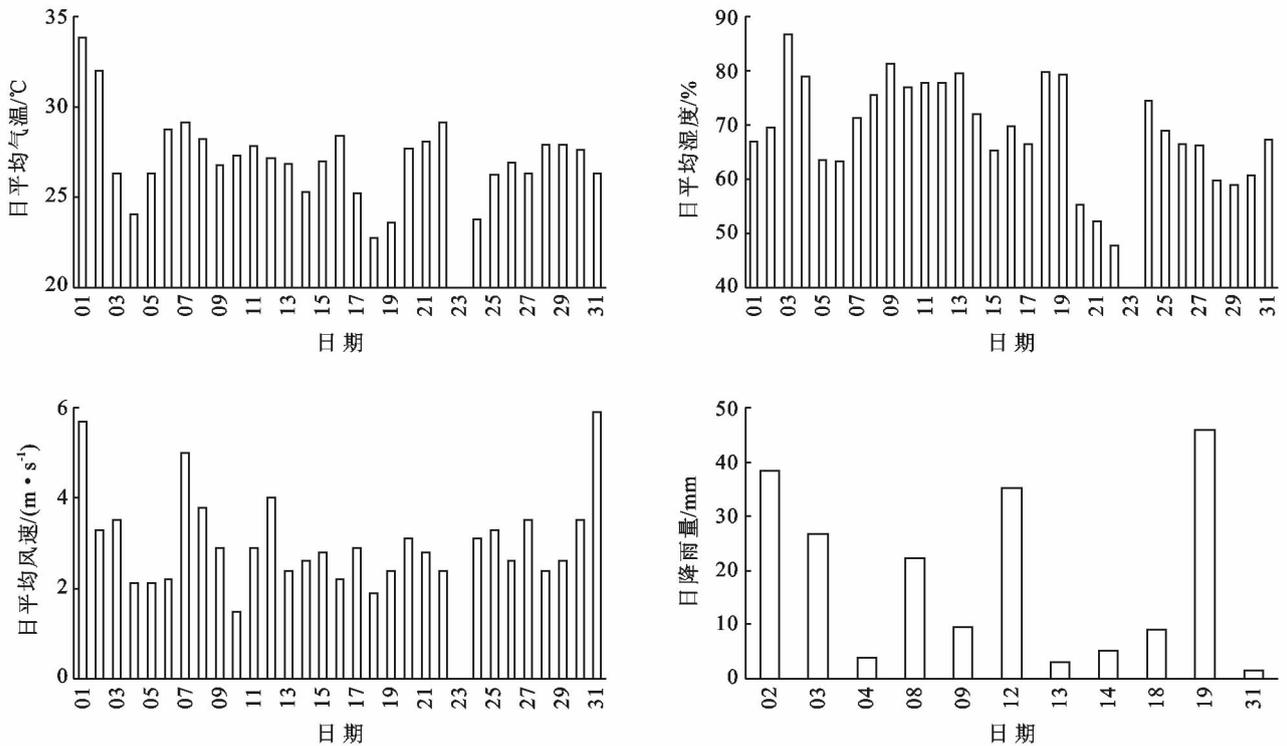


图6 2015年8月平均气温、湿度、风速和降雨量

## 5 结论

(1) 监测系统测试在高温、低温、大风、雷雨天气等不利条件下,无死机和数据丢失的情况,证明监测系统具备良好的工作稳定性和可靠性。

(2) 监测系统测试数据误差率小于5%,证明系统采集和处理数据具有足够的准确性。

(3) 监测系统上、下位机通讯良好,数据传输准确、迅速,数据管理软件用户界面操作简便、功能齐全。

相比其他现有水土保持监测技术,本研究开发的水土保持在线监测系统可以满足输变电工程线性分布的特点,并且采集和处理数据具有直观、准确、实时的优点,但是目前还存在以下问题:测试期间,曾发生停电状况,导致部分数据缺失,建议为测试系统配备备用电源,保障系统关键技术能不间断工作。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 邓玉娇. 湖北省水土保持动态监测 WebGIS 系统的设计及实现[J]. 成都信息工程学院学报, 2003, 18(4): 398-402.  
 [2] 杨永红. 水土流失监测系统开发及其在地表覆被中的应用研究[D]. 云南昆明: 云南师范大学, 2003.  
 [3] 钱巧静. 基于 WEB 的水土保持监测信息表达的研究及

实现[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.

[4] 李松. 水土保持自动监测信息系统研究与实现[D]. 湖北武汉: 华中科技大学, 2011.  
 [5] 赵会东. 面向水土保持自动数据采集的 GPRS+DTU 设计与开发[D]. 湖北武汉: 华中科技大学, 2016.  
 [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50434-2008 开发建设项目水土流失防治标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.  
 [7] 中华人民共和国水利部. SL277-2002 水土保持监测技术规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.  
 [8] 中华人民共和国水利部. SL342-2006 水土保持监测设施通用技术条件[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.  
 [9] 唐慧强, 张自嘉, 刘佳. 气象仪器基础[M]. 北京: 科学出版社, 2013.  
 [10] 王克栋, 陈岩. 土壤是水分测量技术与墒情监测系统研究[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 8-10.  
 [11] 刘思久, 张礼勇. 虚拟仪器与基于 USB 总线的测试设备[J]. 电测与仪表, 2003(1): 11-18.  
 [12] 仇志平, 李树军. Labwindows/CVI 虚拟仪器软件在测试领域中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(22): 5544-5548.  
 [13] 陈颖丽, 刘繁明, 王建敏. Labwindows/CVI 中基于 ActiveX 技术的 Excel 访问[J]. 测控技术, 2008, 27(6): 62-64.