

# 网络化土壤电阻率参数采集系统研制\*

郭在华<sup>1</sup> 李良福<sup>2</sup> 覃彬全<sup>2</sup> 邓宇翔<sup>3</sup>

(1. 成都信息工程学院大气探测学院, 成都 610225; 2. 重庆市气象局, 重庆 401147;  
3. 广州市防雷设施检测所, 广州 510080)

**摘 要:** 本文研究了一种网络化土壤电阻率参数获取方法。网络化土壤电阻率参数的获取用于气象、地质、电力部门, 对土壤电阻率或建筑物接地电阻值的监测。该系统可以实现多点无人自动监测和管理。系统由土壤电阻率数据获取子系统、数据传输子系统、数据服务中心与显示控制子系统组成。利用计算机技术、GPRS 无线网络及电子技术完成数据采集、传输与处理显示。减少人工劳动强度, 提高了监测的实时性和完整性。经过气象部门应用证明, 本系统可进行业务应用并为大规模建立土壤参数监测网络奠定了基础并提供了实现方法。

**关键词:** 土壤电阻率监测; 数据采集; 远程监测; GPRS

中图分类号: TP274 文献标识码: B 国家标准学科分类代码: 510.4030

## Development of automatic acquiring system for network soil resistivity

Guo Zaihua<sup>1</sup> Li Liangfu<sup>2</sup> Qin Binquan<sup>2</sup> Deng Yuxiang<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;  
2. Chongqing Meteorology Administration, Chongqing 401147, China;  
3. Guangzhou Office of Lightning Installation Inspection, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** A soil resistivity test network is introduced in this paper. This system is used to test soil resistivity or grounding resistor of buildings in meteorology, geography and electric power departments. This system can implement the functions of automatic remote test and management. There are five modules in the system, they are: soil resistivity testing module, data acquiring module, GPRS transmitting module, data processing center and display-controlling terminal module. This system uses computer technology, GPRS wireless network and electronic technology to complete data acquiring, transmission, processing and display. This system can reduce the labor intensity and improves the integrity and timeliness of data. It is proved in practice of the meteorology station, the system is available in operation and can use to test the soil resistivity.

**Keywords:** soil resistivity testing; data acquiring; remote testing; GPRS

## 1 引 言

土壤电阻率和接地电阻是防雷接地中要考虑的一个非常重要的因素, 它影响到设施的接地系统设计与效果, 同时也是对土壤状况进行分析的重要数据。

为了满足多点定时连续观测需要, 设计了基于 TCP 网络结构的土壤电阻率参数监测系统。它的特

点是适合对某一点或多点进行不间断的土壤电阻率数据采集。适用于气象台站的常规业务观测和电力系统的接地电阻的监测<sup>[1-2]</sup>。

## 2 系统工作原理

本系统利用现代通信手段和电子技术及计算机技术, 来实现对大型土壤电阻率监测网络的数据获取、传输、处理与显示。系统结构如图 1 所示<sup>[3]</sup>。

本文于 2008 年 5 月收到。

\*基金项目: 国家科技基础条件平台工作(编号: 2004DEA71070)资助项目; 成都信息工程学院基金(编号: CRF200814)资助项目资助。

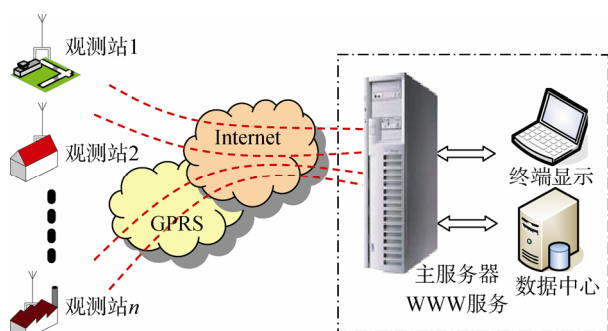


图 1 网络系统示意图

Fig. 1 Sketch map of network system

图 1 中每个观测站均安装一个接地电阻测试仪, 负责监测该站的不同土壤深度的土壤电阻率。数据经过 A/D 采样后, 按照一定的格式保存在数据采集与控制模块中, 同时通过 GPRS 无线发送模块, 向数据中心传输数据。数据中心的计算机负责处理接收到的数据, 并发送定时控制和应答指令。整个工作流程如图 2 所示。

## 2.1 土壤电阻率监测

土壤电阻率监测模块由土壤电阻率检测仪来完成对不同测试点的电极的接地电阻测试。该测试仪经检验证明性能稳定, 在  $0 \sim 1\,000\ \Omega$  范围内, 其测量误差可控制在 0.5%。符合业务用检测误差要求。

该检测仪对外有专用数据接口。接口共有 20 根对外引线, 与数据采集控制模块相连。分别完成控制, 供电, 数据传输功能。

工作原理: 在该模块中, 恒流源产生 900 Hz 的 3 mA 脉冲电流, 由 C 极注入, E 极与 C 极形成回路。P 为电压极, 处在零电位。通过电压传感器测量 E-P 上电压。MCU 为自带 12 位 ADC 的 MSP430 单片机<sup>[4]</sup>。在检测到电压传感器电压之后, 与电流相比较, 即测得当前的接地电阻值。本系统采用平均测量法, 每次测得的数据由不小于 3 000 次数据求平均获得。

## 2.2 数据采集与控制<sup>[5]</sup>

该模块电路如图 3 所示。数据采集与控制模块在本系统中完成调度的任务。模块具有断电保护功能, 在电源切断时, 能够通过电池保证数据不会丢失。MSP430 超低功耗单片机作为 CPU 来处理模块的逻辑功能。根据业务需要, 在模块中增加了通道选择功能, 通过继电器控制, 可以按顺序对 5 个通道进行依次检测。结合图 4, 这里的切换对象为归路极 E。

切换开关 K 在 E 与 5 个接地极之间完成多通道(不同的地表深度)切换。切换单元电路如图 4 所示。

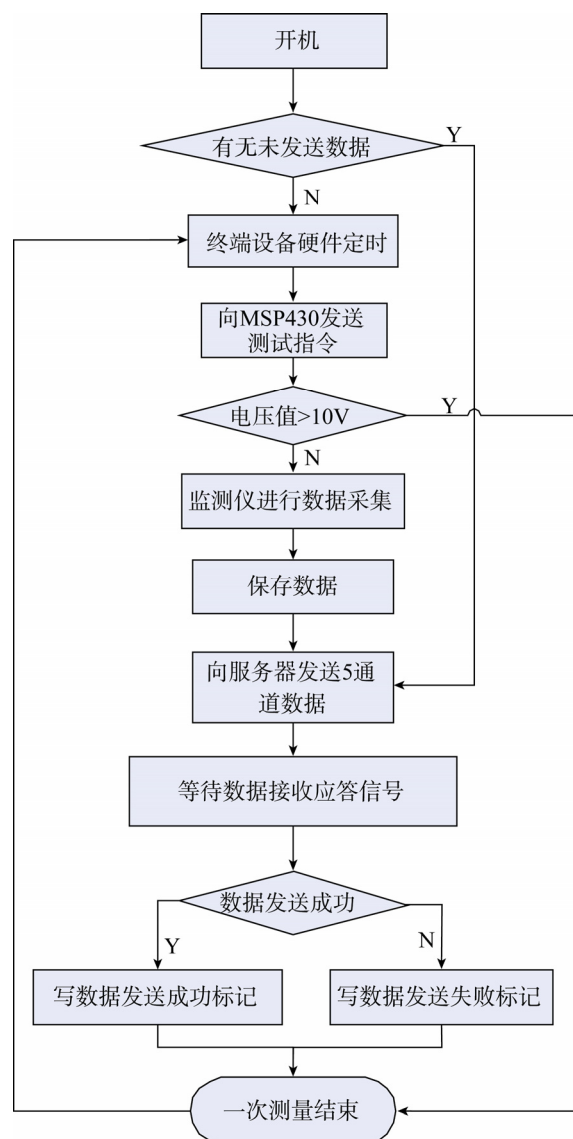


图 2 系统工作流程图

Fig. 2 System flow chart

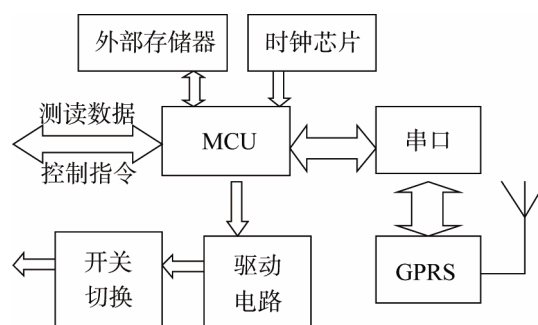


图 3 数据采集与控制电路结构图

Fig. 3 Data acquiring and controlling circuit

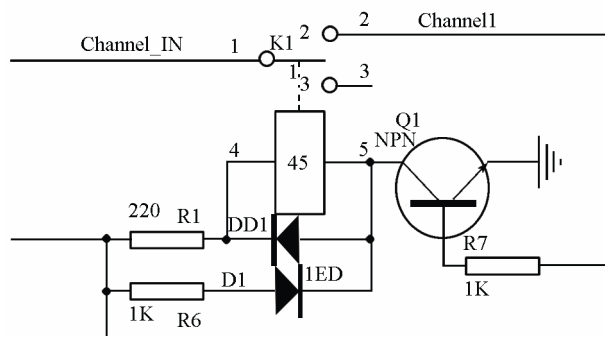


图 4 通道切换电路  
Fig. 4 Channels-switching circuit

图 4 中，Channel\_IN 为与 E 极相连的直通电路，在单刀双掷继电器 K1 和三极管 Q1 的控制下，完成对 Channel\_IN 与 Channel1~Channel5 之间的连通。连通控制指令来自三极管基极电平。高电平时导通，低电平时截止。对 5 个通道的选择，就是通过控制相同 5 个单元电路中三极管基极电平，来实现多通道串行数据采集。

该模块完成以下的功能。

定时发送数据监测指令给土壤电阻率检测仪；对检测仪发来的模块数据 ADC 转换；完成对监测数据的存储与发送；对数据中心的应答信号进行处理，系统开机自动发送数据。表 1 为本模块工作数据存储与发送格式。

1) PC 控制下位机命令字符：

Q: 下位机采样一次 5 通道数据，且一个通道有三个数据：平均值、最小值、最大值，平均值的万位。

D: 读取一次下位机状态，包括下位机时间和当前存储页地址/页内地址。

T: 读取 PC 机时间并发送给下位机，下位机正确接受后立即更改自己的时间，然后把更改后的时间发送回来。用于时间订正。

W: 将指针指向 0 页 0 字节，清理之后采样的数据将从片外 FLASH 中的 0 页 0 字节开始覆盖以前的数据。

2) 下位机发给 PC 机数据包

表 1 为数据包的帧格式。

以下的说明数据中，前面的阿拉伯数字代表数

据包中的字节。

1(开始符号 SOH(0X01)), 2(站号), 3(时间年), 4(月), 5(日), 6(小时), 7(分钟), 8(秒), 09、10(通道 1, 平均值), 11、12(通道 1, 最小值), 13、14(通道 1, 最大值), 15、16(通道 2, 平均值), 17、18(通道 2, 最小值), 19、20(通道 2, 最大值), 21、22(通道 3, 平均值), 23、24(通道 3, 最小值), 25、26(通道 3, 最大值), 27、28(通道 4, 平均值), 29、30(通道 4, 最小值), 31、32(通道 4, 最大值), 33、34(通道 5, 平均值), 35、36(通道 5, 最小值), 37、38(通道 5, 最大值), 39(结束符号 EOF(0X1A)), 40(CRC16 校验值高位), 41(CRC16 校验值低位)。

如：以下数据代表一次数据包的发送数据。通过终端程序进行解析。

01 00 08 09 1E 12 34 20 04 8C 04 6E 04 D1 04 93 04 6E 04 D1 04 93 04 74 04 C4 04 93 04 74 04 C4 04 93 04 74 04 C4 1A 00 00

### 2.3 GPRS 无线传输模块<sup>[6]</sup>

GPRS(general packet radio service)是通用分组无线业务简称，是在现有的全球移动通信系统 GSM(global system for mobile communication) 上发展起来的一种新的承载业务。

在本系统中，利用 GPRS 来完成系统的无线数据传输任务。它通过 RS232(或 485)接口与数据采集与控制模块相连，实现数据的无缝传输。本模块采用广州致远公司生产的 ZWG-23A 无线收发模块。该模块功耗低，性能稳定，能够完成数据的帧传输功能和流传输功能。使用时，只需要对其参数进行设置即可。重点在其 DNS 域名，目标公网 IP 地址，目标端口号进行设置<sup>[4]</sup>。在本系统中，DNS 为 210.41.224.33，IP: 222.18.149.210，端口号为 5500，建立 TCP 连接。

在服务器程序中作以下相关的配置：

```
With TCPServerSock(0) //以 WinSock 数组来处  
//理各终端通信。  
.LocalIP 222.18.149.210 //服务器本地 IP  
.Bind 5500 //服务器端口  
.Listen //TCP 服务器处在帧听状世态，//等待终端  
的数据连接
```

表 1 数据格式(单位: 字节)  
Table 1 Data format (unit: byte)

1	2	3-5	6-8	9-14	15-20	21-26	27-32	33-38	39	40-41
包头	站号	日期	时间	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4	通道 5	结束符	校位验

End With

而在各个子站的 GPRS 模块中的配置内容包括:

SIM 卡号;

目标服务器 IP: 222.18.149.210;

目标 DNS: 210.41.224.33;

服务器端口: 5500;

网络协议: TCP。

其他的设置均可以默认为主。但要注意当要控制数据包的大小时, 对数据长度要进行适当的确定, 通常为 512 byte 或 256 byte 即可。

为了更好地完成网络数据处理的任务和数据的畅通。在配置的过程中, 最好关闭相关的软件防火墙。

## 2.4 数据处理中心与显示控制终端

数据处理中心的功用是系统的枢纽。它负责对各个子站进行监控。一方面各个子站每间隔一小时整点向中心发送一次监测数据。另一方面在数据中心可能配合控制终端向各个子站发送监测任务。

所有的监测数据在这里汇集并处理。完成对数据的查询, 统计, 分析, 存储的功能。如图 5 所示。

本系统在 WINDOWS2000 平台下, 建立 TCP 服务器。通过 WINSOCK 与各子站之间建立通信联系。为了便于移植, 采用 Microsoft 的 ACCESS2000 作为数据库, TCP 通信协议保证了通信中数据质量的可靠性。如图 6 所示工作过程。

## 3 外场试验

本试验选取在重庆合川市气象局气象观测站进行, 该站具有土壤条件好, 在地表 5 米以上, 均为质地均匀的粘土。这给数据测量和接地极的埋设提供了良好的条件。

本试验的任务是采集不同深度层的土壤接地电阻值。通过公式转化成为土壤电阻率。五根长度分别为 15 cm、35 cm、80 cm、160 cm 和 320 cm 的Φ20 不锈钢圆钢(该材料统一制作), 其长度  $L$  分别为 15 cm、35 cm、80 cm、160 cm、320 cm<sup>[7]</sup>。

测试出各接地极接地电阻  $R$ , 求出土壤电阻率。

注意: 所有测试, 地电阻测试仪的电流极  $C$  和电压极  $P$  应保持插针位置不变。

土壤电阻率可由下式求出<sup>[8]</sup>:

$$\rho = \frac{2\pi RL}{\ln\left(\frac{8L}{d} - 1\right)}$$

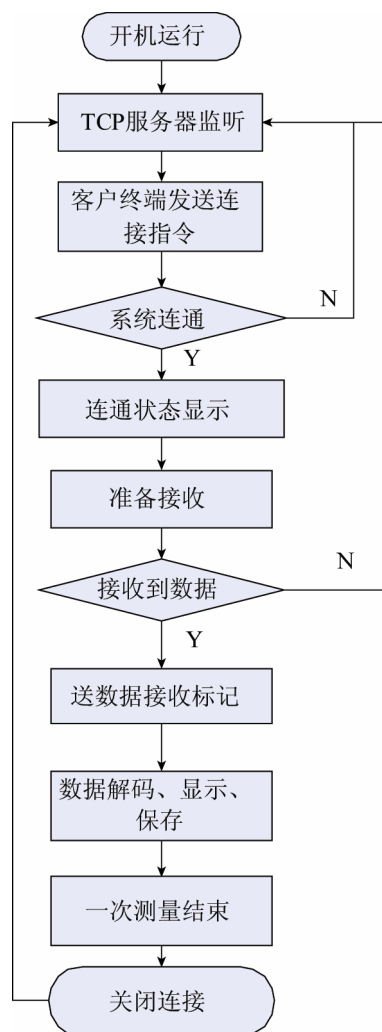


图 5 网络通信系统工作流程图

Fig. 5 Flow chart of network communication

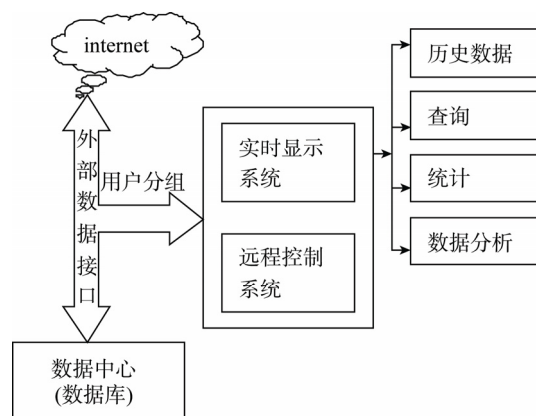


图 6 数据中心与显示控制模块结构

Fig. 6 Data center and display-controlling module

式中:  $\rho$  为土壤电阻率;  $R$  为接地电阻;  $L$  为接地体长度;  $d$  为圆钢直径;

图 7 为试验中, 从 2007 年 9 月 24 日至 2007 年

12月24日的检测接地极接地电阻及不同深度土壤电阻率数据。从该数据可以看出在一段时间范围内,不同地表深度的土壤电阻率的连续变化趋势与特征。该系统从最小的10 min检测一次到最长24 h监测一次,根据用户的需要自动设置。

图8中每个数据代表当天的测量值。是在一天内24个观测时间点采集的数据基础上获得。当然对于每个采集的数据,系统是通过200个以上的采集样本得到。因此对数据达到了工程和应用要求。该值充分表明,接地电阻的阻值与土壤电阻率与季节之间的变化关系。

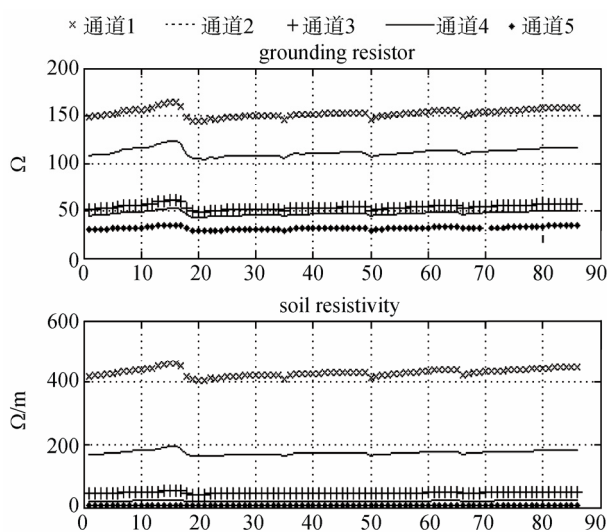


图7 2007年9月24日至2007年12月24日  
土壤电阻率数据

Fig. 7 Soil resistivity data from 2007-9-24 to 2007-12-24

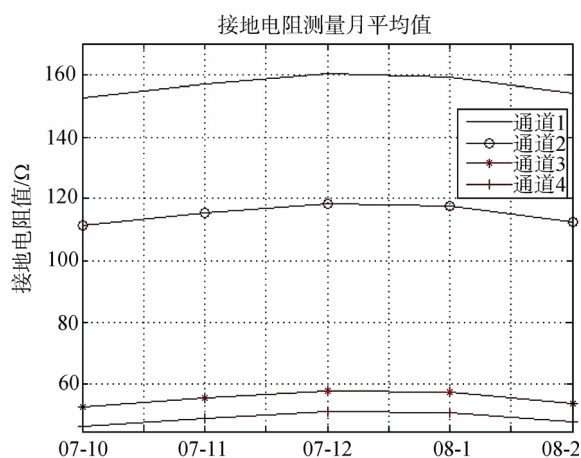


图8 接地电阻值月平均数据

Fig. 8 Grounding resistor mean data of months  
from 2007-10 to 2008-02

其中的关系是,每年的10月份后,由于雨水减少,空气干燥,土壤中的水分和蒸发明显降低,因此接地电阻和土壤电阻率均呈上升趋势。特别是每年的年底和年初,土壤电阻率最高。这和气象条件的影响及理论分析是一致的。

一月份过后,随着天气的逐渐转暖,土壤水分、蒸发逐渐增强,接地电阻又呈下降变化。

## 4 结 论

本系统完成了以下几个功能。

- 1) 无人监测。
- 2) 数据连续定时与精细化采集。
- 3) 可以满足在特定天气情况下,如暴雨、干旱等情况下土壤电阻率的连续变化与接地系统阻值变化的分析。
- 4) 实用于大型企事业单位组网运行。可用于统计大范围内的多点数据。
- 5) 该系统具有数据分析与处理能力。可以实现对监测数据的自动分析与处理。方便了对监测数据的使用。

## 参考文献:

- [1] 韩晓萍, 邵宏强. GPRS 技术在电力远程抄表系统中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(4): 81-84.  
HAN X P, SHAO H Q. Application of GPRS technology in remote meter reading for power[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2005, 19(4): 81-84.
- [2] 许丽丽. 基于 Internet 的远程测量系统实现方案研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2008, 22(2): 52-55.  
XU L L. Study of remote wireless test system based on GPRS[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2008, 22(2): 52-55.
- [3] 蒲诚, 张涛. GPRS 远程无线监测系统[J]. 电子测量技术, 2006, 29(4): 166-167.  
PU CH, ZHANG T. GPRS remote wireless monitoring system[J]. Journal of Electronic Measurement Technology, 2006, 29(4): 166-167.
- [4] 郭在华, 覃彬全. 基于 GPRS 的远程地阻监测系统[J]. 中国雷电与防护, 2006(4): 24-26.  
GUO Z H, QIN B Q. Remote wireless grounding resistor test system based on GPRS[J]. China Lightning Protection, 2006(4): 24-26.



- [5] 沈广, 李欣, 万德春. 基于 GPRS 技术的配变电能管理系统[J]. 高电压技术, 2004, 30(7): 53-54.  
SHEN G, LI X, WAN D CH. Power supply and transform management system based on GPRS technology [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(7): 53-54.
- [6] 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003, 1.  
HU D K. MSP430 series MCU C language program design and development[M]. Beijing: Beihang University Press, 2003, 1.
- [7] 吴一多, 曹亮. 基于 MSP430 与 GPRS 的远程数据采集系统[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(11): 74-75.  
WU Y D, CAO L. Remote data acquiring system based on MSP430 and GPRS [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2006, 25(11): 74-75.
- [8] 鲁志伟, 文习山. 三角法测量双层土壤接地电阻的误差分析[J]. 高电压技术, 2002, 28(7): 15-16.  
LU ZH W, WEN X SH. Triangular method of grounding resistance measurement in two-layer soil [J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(7): 15-16.
- [9] 刘泽生, 徐家奎. 几种杆塔接地电阻测量仪器和方法的比较[J]. 高电压技术, 2001, 27(5): 76-78.

LIU Z SH, XU J K. Comparison of Several Kinds of Instrument for Measuring Grounding Resistance of Tower[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27(5): 76-78.

#### 作者简介:



郭在华

郭在华: 1999 年于成都气象学院获得学士学位, 2004 年于电子科技大学获得硕士学位, 现为成都信息工程学院大气探测学院讲师。主要研究方向为大气探测、雷电防护科学与技术、信号处理。  
E-mail: gzh@cuit.edu.cn

Guo Zaihua: received B.S. from Chengdu Institute of Meteorology in 1999, and M.S. from University of Electronic Science and Technology of China in 2004, respectively. And now he is working at the Atmospheric Sounding School of Chengdu University of Information Technology. The fields of research include atmospheric sounding, lightning protection technology and signal processing.

李良福: 1986 年于南京气象学院获得学士学位, 2008 年于南京重庆大学获得博士学位, 现为重庆市气象局副局长, 教授级高工。主要研究方向为土壤电学、雷电防护科学与技术。  
E-mail: lilf@cma.gov.cn

Li Liangfu: received B.S. from Nanjing Institute of Meteorology in 1986, and Ph.D. from University of Chongqing in 2008, respectively. And now he is working at Chongqing Meteorology Administration as senior engineer. The fields of research are soil electricity and lightning protection technology.