

李晓斌,张贵宾,武绛宁. 基于数字电极技术的电法测量系统. 地球物理学进展, 2009, 24(2): 782~786, DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 058.

Lli X B, Zhang G B, Wu J N. The electrical measurement system based on digital electrode. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(2): 782~786, DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 058.

## 基于数字电极技术的电法测量系统

李晓斌<sup>1</sup>, 张贵宾<sup>1</sup>, 武绛宁<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)“地下信息探测技术与仪器”教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中信机电制造科研设计院, 侯马 041000)

**摘 要** 本文分析了电阻率层析成像系统的阵列电极的特征和现代地震勘探采集系统的数字检波器技术, 提出了基于数字电极的电法测量系统设计, 这种设计将实现电法测量的一次创新; 然后较为详细讨论了数字电极的电路结构、系统的总体设计、控制通信网络拓扑结构和其他关键技术, 该系统的通信网络结构基于 DeviceNet 现场总线; 最后描述了该系统的功能特点, 它不仅用于电阻率、激发极化、相位以及复电阻率的等多种方法, 而且可用于时间域或频率域中的 2D、3D 电法勘探, 并同时测量多种装置的数据, 实现拟地震方式的勘探。

**关键词** 电法勘探, 数字电极, 数据采集, DeviceNet 现场总线

DOI: 10. 3969/ j. issn. 1004-2903. 2009. 02. 058

中图分类号 P631

文献标识码 A

## The electrical measurement system based on digital electrode

LI Xiao-bin<sup>1</sup>, ZHANG Gui-bin<sup>1</sup>, WU Jing-ning<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Geo-detection, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of CITIC Mechanical & Electrical Equipment, Houma 041000, China)

**Abstract** We analyze the features of the electrode array of the resistivity tomography system and the development of digital detectors of the modern seismic acquisition system and introduce the characteristics of digital electrodes. Then we put forward the design of an electrical measurement system based on digital electrodes, which will bring about the innovation in electrical survey. The circuit structure of digital electrodes, communication network, the other important techniques and the design of the electrical measurement system are also described. The controlling communication network is designed based on DeviceNet Fieldbus technology. Finally we discuss the characteristics of electrical measurement based on digital electrodes, which can not only be used for resistivity, IP, phase and complex resistivity etc, but also be applied to 2D and 3D electrical measurements in the time domain or frequency domain. This system can measure more parameters of varieties of survey assembly at the same time, which will achieve electrical survey similar to the seismic exploration way.

**Keywords** electrical measurement, digital electrode, data acquisition, deviceNet fieldbus

### 0 引 言

在各类勘查地球物理方法中, 电法测量是勘探地球物理学的重要分支, 是变种和分支最多、应用面最广的方法, 它的发展水平和工业生产技术、社会经

济状况以及其他学科的技术进步密切相关。随着现代物理学、电子学、计算机和信号处理技术的突飞猛进的发展, 电法测量无论在仪器研制, 或是数据采集、处理技术与反演、解释方法的研究, 都融合了当代先进的科学理论和高新技术<sup>[2]</sup>。然而, 现有的电法

收稿日期 2008-08-15; 修回日期 2008-10-15.

基金项目 中国地质大学(北京)“地下信息探测技术与仪器”教育部重点实验室”与中信机电科研设计院联合资助。

作者简介 李晓斌, 男, 1975 年生, 高级工程师, 毕业于江汉石油学院(现长江大学)电子仪器专业, 现中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院在读博士, 从事地球物理勘探和仪器研究. (E-mail: alxb98@126.com)

测量和层析成像系统仍存在以下不足:

- (1)设备笨重;
- (2)功能单一,一套设备适用于测量方法少;
- (3)操作不便,许多仪器依旧采用 DOS 界面;
- (4)数据采集效率低;
- (5)不能满足 3D 勘探需求等.

本文针对现有电法测量系统亟待改进之处,分析了层析成像系统的阵列电极技术和地震勘探的数字检波器思想,提出数字电极的概念,并设计了基于数字电极的电法测量系统.

## 1 数字电极

### 1.1 阵列电极技术

由于数字电极是在阵列电极技术发展起来的,有必要对阵列电极技术和在其基础上发展起来的层析成像系统简要的阐述.在上个世纪 70 年代,有人借鉴地震勘探的台阵技术和成像方法,提出阵列电极思想,并发展成为层析成像(Resistivity Tomography)理论;90 年代,该理论取得了突破性进展,电法勘探遂放弃了延续了约百年的传统的 4 极人工测量方式,走上了在观测技术上采用阵列电极(Array Electrode)技术的在数据处理上实施了电阻率成像技术的发展道路<sup>[1]</sup>.电阻率层析成像系统是在阵列电极技术的基础上发展起来的,这是一种多道电法勘探装置;主要有电极转换器、测量主机、控制软件、阵列电极、和电缆系统 5 部分组成.其中根据电极转换器的设计不同可分为集中式(并联)和分布式(串联)两种方式.

集中式电极转换器的特点是:测线的所有电极都直接与电极转换器的入口相连接,转换器与测线的连接和控制都是并联结构,母线是(A、B、M、N)4 条线,转换动作由 CPU 发出并行控制码,通过并行接口电路驱动阵列组中的开关部件,达到不同电极、不同极距的切换.集中式层析成像采集系统如图 1 所示.集中式是传统的电法层析成像采集系统,存在一些开关转换器本身的一些电气特性限制,只适用于较小规模组态和低压供电的多道电探系统<sup>[1]</sup>.

对于高达几百道的大型阵列电极和 3D 观测而言,简单的集中式层析成像系统难以发挥作用,分布式电极转换器应运而生.该电极转换器采用分离结构,每个电极对应有一个开关盒,由一条 9 芯电缆串联,组成一个完整系统.主控制器为一单独机箱(亦可与测量主机合为一体).转换器与测线的连接和控制都是串联结构关系,每一步的转换动作均有 CPU

发出的串行码控制,通过串行接口电路,驱动分布在各个电极开关盒的执行部件,分布式层析成像数据采集系统结构如图 2 所示.

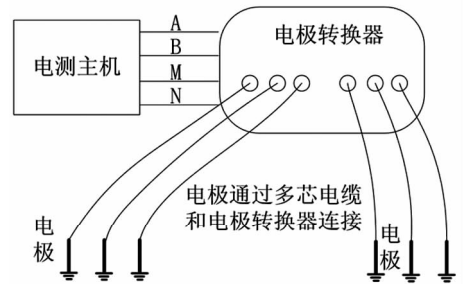


图 1 集中式层析成像数据采集系统结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of centralized resistivity tomography imaging system

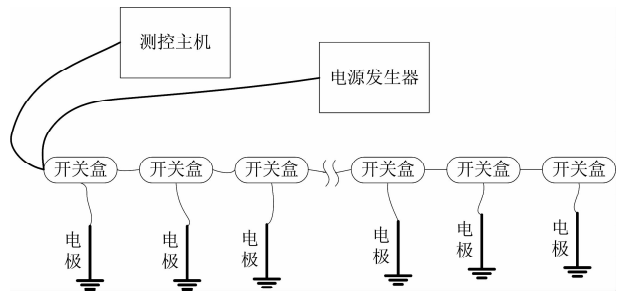


图 2 分布式层析成像数据采集系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of distributed resistivity tomography imaging system

### 1.2 数字电极设计

数字电极的引入使新型多功能电法勘探系统设计得以实现,是新型多功能电法测量系统的核心,他的结构方式和通道容限决定着系统的整体性能与功能.技术上的发展主要体现在将信号采集、数据存储和通讯等功能分布在采集电极上.其设计思想来源于电法层析成像系统的阵列电极技术和现代地震勘探的数据采集系统.现代地震勘探数据采集系统采用数字检波器加先进的的网络技术,在振幅校准、温度变化、重量、可靠性及时效的稳定性等方面远远优于常规动圈式检波器,由于全数字输出,有较好的电磁兼容性能,对于漏电不敏感,串音的影响也很小;能满足上万道的实时数据采集<sup>[6]</sup>.数字电极融合了数字检波器和层析成像采集系统的特征,实现了电法勘探的数据采集系统的一次创新.

数字电极集成了微处理芯片、通讯模块、信号转

换和数据存储转发等模块于一体,其结构如图3所示.数字电极和主机形成主从关系,接收主机指令,完成电极工作方式设定、数据采集和数据传输等功能.数字电极技术相当于地震勘探系统的数字电极,多道协同采集,不仅能够实现直流高密度电法勘探的数据采集,而且能够实现多种频率域的数据采集,从而测量激发极化、相位、复电阻率的测量.

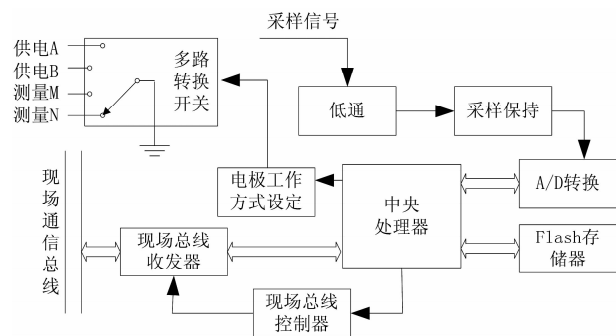


图3 数字电极电路结构图

Fig. 3 Schematic diagram of distributed resistivity tomography imaging system

数字电极与层析成像系统的电极不同.层析成像系统电极的开关盒仅接收主机开关指令码,切换电极与电缆系统导通或断开,从而实现电极电缆连接测量主机的A、B、M或N极的连接;主机的采集模块实现信号调理、转换、处理和数据暂存等.而数字电极不仅实现不同电极间的切换,而且也实现信号采集和存储功能,主机与数字电极之间集成为主从网络结构;由于数字电极单道完成信号调理、转换、处理等工作,抗电磁干扰能力大大增强,几乎没有串音干扰;此外,数字电极与主机之间完全数字通讯,克服了传统的层析成像系统的长距离信号衰减、丢失等问题.

## 2 系统介绍

### 2.1 系统数据采集方式

数字电极有独立的地址,数字电极接收主机命令并控制多路开关接通测量大线中A、B、M极或断开;测量方式有两种,然后另一个被作为N极的数字电极测量MN之间电位差并传回主机,另一种方式是所有数字电极测量与A、B、M之间的电位差,经过简单的运算处理得到任意两个电极(可看做 $MN_1$ 、 $MN_2$ 、 $MN_3$ 、 $MN_4$ 等)之间电位差.如图4所示:数字电极2接通A,数字电极9接通B,数字电极4接通M,其他数字电极与大线A、B、M断开,其他任

意数字电极可做N并测量MN之间的电位差;或者所有数字电极测量与A、B、M之间的电位差,数字电极1测量值为 $U_{a1}$ 、 $U_{b1}$ 、 $U_{m1}$ ,同样道理,其他数字电极测量 $U_{a2}$ 、 $U_{b2}$ 、 $U_{m2}$ 、 $U_{a3}$ 、 $U_{b3}$ 、 $U_{m3}$ 、 $\dots$ 、 $U_{a10}$ 、 $U_{b10}$ 、 $U_{m10}$ 等;则数字电极3与6之间的电位差为: $U_{a3} - U_{a6}$ 、 $U_{a3} - U_{a6}$ 或 $U_{m3} - U_{m6}$ ;以此类推,可以同时得到任意两个数字电极组合之间的电压差.

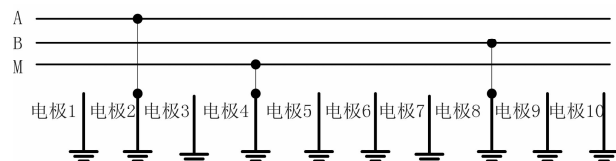


图4 基于数字电极的电法测量系统的采集方式  
Fig. 4 Data acquisition mode of electrical survey system based on digital electrodes

### 2.1 系统总体设计

基于数字电极技术的电法测量采集系统由主机、电源发生器、控制箱体、测量大线、智能电极5部分组成,采用主从网络拓扑结,如图5所示.电源发生器产生供地电源(电测的A、B极);主机可使用普通PC机;控制箱体实现数据电极控制、电源测量、数据转存等;电缆通信部分可采用双绞线、同轴电缆、光缆等,AB供电部分采用双绞线.

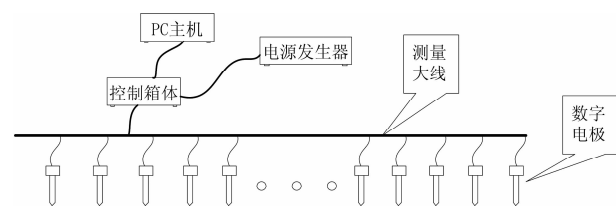


图5 基于数字电极的电法测量系统

Fig. 5 Electrical survey system based on digital electrodes

### 2.2 关键技术

主机对阵列电极的网络控制是系统设计的关键,其通信网络要实时传达主机的指令,并把数字电极的状态等参数和采集的数据实时传回主机.传统的RS232、RS485等通讯技术远远不能满足多道数字电极和主机之间的数据交换,新型的USB和TCP/IP通信技术特点传输数据包大,实时性能差,不能满足数字阵列电极的控制要求,DeviceNet现场总线技术就是顺应这一形式需要发展起来的通信技术. DeviceNet是基于CAN技术发展起来的一种

低成本的通信总线,具有以下技术特点:

(1)数据通信可靠性.采用 CRC 校验以及独特数据信号表示方式,并具有错误识别及自动重发功能.

(2)数据通信实时性. CAN 采用面向数据块的通信方式,每帧数据量为 8 个字节,优先级高的数据享有占用总线的优先权.

(3)数据通信的灵活性. CAN 采用多主站总线结构,支持多个 CPU 互联,各总线节点间可直接通信,通信介质可为双绞线、同轴电缆和光缆.

(4)总线拓扑结构灵活.即可做干线,也可用作支线,且电源和信号在同一电缆中.

(5)总线寻址方式多样.带多点传送(一对多)的点对点;多主站和主/从;轮询或状态改变(基于事件).

(6)系统支持设备的热插拔,无需网络断电.

DeviceNet 总线性能完全满足基于数字阵列电极的要求,数字电极和控制箱体组成主从网络拓扑结构;根据测量方式的要求,采用轮询和基于事件灵活的寻址方式.由于一般的 PC 机无现场总线接口,故控制箱体与主机之间采用 USB 或 TCP/IP 局域网通讯,控制箱体实现数字电极与主机通信的协议转换.主机实现人机交互、数据处理、数据存储等功能.

### 3 功能特点

相对与传统的电法测量系统,基于数字电极的电法测量系统由于采用数据检波器的设计理念和先进的 DeviceNet 现场总线技术,不仅能够满足常规电法勘探的测量工作,也可用于层析成像测量系统,具备以下几个方面独有的性能特点:

(1)数据采集效率大大提高,且同时进行多种装置的测量,数据相互修正,提高处理解释精度.

(2)时间域和频率域的多参数测量.数字阵列电极的实时性能,采用不同供电模式,可采集激电效应和电磁效应的多种参数.

(3)能够用于激发极化法、频谱激电法、自然电位、自然电位梯度、充电法等多种测量方法,并方便的实现类似直流电法层析成像系统的测量装置.

(4)实现 2D 和 3D 电法测量.由于每个数字电极都有一个地址,野外测量布线灵活,从而实现拟地震模式的数据采集.

### 4 结 论

基于数字电极的电法测量系统融合了其他学科

的最新发展,借鉴了现代地震勘探仪器的数字检波器的设计理念,在电法勘探数据采集方面获得突破,从而使得电法测量系统轻便化、自动化、数字化、高效化、多功能化发展.由于采集参数多、数据量大、信息丰富,勘探的准确性将大大增强;但是,综合多参数和信息的电法数据处理软件亟待研究.

**致 谢** 中国地质大学(北京)“地下信息探测技术与仪器”实验室和感谢中信机电制造科研院和的领导和老师的大力支持.

### 参 考 文 献 (References):

- [1] 李志武,周燕云,冯锐.电阻率层析成像数据采集系统[J].地球物理进展,2004,19(4):812~818.  
Li Z W, Zhou Y Y, Feng R. Data-collection system for resistivity tomography [J]. Progress in Geophysics, 2004, 19 (4): 812~818.
- [2] 魏文博.我国大地电磁测深新进展及展望[J].地球物理学进展,2002,17(2):245~254.  
Wei W B. New advance and prospect of Magnetotelluric Sounding in china[J]. Progress in Geophysics, 2002, 17(2): 245~254.
- [3] 罗福龙.地震数据采集系统综述和展望[J].中国石油勘探,2007,2:41~46.  
Luo F L. Review and prospect for seismic data acquisition system[J]. China Petroleum Prospecting, 2007, 2:41~46.
- [4] 王喜双,董世泰,王梅生.全数字地震勘探技术应用效果及展望[J].中国石油勘探,2007,6:32~36.  
Wang X S, Dong S T, Wang M S. Application and prospect of full digital Seismic exploration technology [J]. China Petroleum Prospecting, 2007, 6:32~36.
- [5] 董浩斌,王传雷.高密度电法的发展与应用[J].地学前缘,2003,10(1):171~176.  
Dong H B, Wang C L. Development and application of 2D resistivity imaging surveys[J]. Earth Science Frontier, 2003, 10(1):171~176.
- [6] 韩晓泉,穆群英,易碧金.地震勘探仪器的现状及发展趋势[J].物探装备,2008,18(1):1~6.  
Han X Q, Mu Q Y, Yi B J. Current situation and development of seismic exploration device[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2008, 18(1):1~6.
- [7] 蔡运胜,张宝华.几种电法仪器在地质勘查中的应用[J].地质与勘探,2006,42(5):72~78.  
Cai Y C, Zhang B H. The application of a few electrical devices in geologic prospecting[J], 地质与勘探,2006,42(5):72~78.
- [8] 魏萍.基于 DeviceNet 汽车涂装线控制系统设计[J].控制系统,2008,24(7):97~99.  
Wei P. Based on DeviceNet automobile painting line control system design[J]. 控制系统,2008,24(7):97~99.
- [9] 李聪媛.新型高密度电法仪器设计与实现[D].中国地质大学,

- 2005.
- Li C B. The design and implement of new device of high-density resistivity, China University of Geosciences in Beijing, 2005.
- [10] DZ/T 0072-93, 电阻率测深法技术规程[S].  
DZ/T 0072-93, the technical regulations of resistivity sounding method[S].
- [11] DZ/T 0073-93, 电阻率剖面法技术规程[S].  
DZ/T 0073-93, the technical regulations of resistivity sounding method[S].
- [12] 德国 DMT 公司. RESECS Hardware Documentation[Z]. 2005.  
German DMT Co.. RESECS Hardware Documentation[Z]. 2005.
- [13] 重庆地质仪器厂. DUK-2 高密度电法测量系统使用说明[Z]. 2005.  
Chongqing Geological Instrument Co.. the direction for use of high density electric survey system[Z]. 2005.
- [14] Zonge I N C. Instrument system for electrical and electromagnetic exploration[Z]. 2005.
- [15] 赵聚林. IP 找水与 DDJ-型仪器野外数据采集[J]. 物探与化探. 2003, 27(4): 302~304.  
Zhao J L. Water detection and field acquisition through IP and DDJ-type appliance[J]. Geophysical and Geochemical Exploration. 2003, 27(4): 302~304.
- [16] 令庆九, 梁咏仁, 罗延钟. LGM-2000 型高密度电法仪[Z]. 2005.  
Ling Q J, Liang Y R, Luo Y Z. LGM-2000 high-density resistivity device. [Z]. 2005.
- [17] 郑晓亮. 并行采集电法仪器研制[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(3): 60~63.  
Zheng X L. Research and development of series collected electrical method meter[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(3): 60~63.
- [18] 刘国栋. 电磁法及电法仪器的新进展和应用[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(增刊): 46~51.
- Liu G D. New development and appliance of electric-magnetic method and electrical method apparatus. Oil geophysical prospecting, 2004, 39: 46~51.
- [19] 肖建平. 基于单总线技术的地电高密度数据采集系统研究[D]. 湖南: 中南大学, 2003.  
Xiao J P. Geoelectric high density electric data collection system research based on 1-Wirebus technology[D]. Hunan: Central South University, 2003.
- [20] 崔益安, 白宜诚, 杜华坤. 基于扩展总线的电法勘探数据采集仪器设计[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2005, 36(2): 288~292.  
Cui Y A, Bai Y C, Du H S. Data-acquisition instrument design based on extended bus in electromagnetic exploration [J]. Journal of Central South University of Technology, 2005, 36(2): 288~292.
- [21] 李晓斌, 张贵宾, 贾正元. 新型分布式高密度电法仪器发展展望[J]. 地质仪器, 2008, 9(3): 32~34.  
Li X B, Zhang G B, Jia Z Y. New advance and prospect of 2D electrical resistivity imaging surveys instrument [J]. Geological instrumentation, 2008, 9(3): 32~34.
- [22] 张军华, 郑旭刚, 王伟, 朱焕, 张帆. 地震采集技术新进展[J]. 物化探计算技术, 2007, 29(5): 373~380.  
Zhang J H, Zheng X G, Wang W, Zhu H, Zhang F. New development of Seismic data collection technology [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29(5): 373~380.
- [23] 岳建华, 刘志新. 井-地三维电阻率成像技术[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 407~411.  
Jianhua Yue, Zhixin Liu Well Surface 3-D resistivity imaging technology [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(2): 407~411.
- [24] 李传伟, 慕德俊, 李安宗. 双频介电测井方法与实现[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(6): 1862~1866.  
Li C W, Mu D J, Li A Z. The method and compliment of dual frequency electric well logging method[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(6): 1862~1866.