

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802244

基于 LabVIEW 的航空瞬变电磁数据采集系统*

曹展宏^{1,2} 李军峰^{1,3} 刘俊杰^{1,3} 吴珊^{1,3} 刘磊^{1,3}(1.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所 廊坊 065000; 2.北华航天工业学院 廊坊 065000;
3.国土资源部地球物理电磁法探测技术重点实验室 廊坊 065000)

摘要: 根据航空瞬变电磁法的原理及其信号特点,按照长时间连续采集和存储的要求,设计了基于 LabVIEW 的航空瞬变电磁数据采集系统。系统硬件平台以 NI PXIe-4492 动态信号采集卡为核心,搭配 NI PXIe-6674T 和 NI PXI-6682H 等辅助板卡进行搭建;软件部分采用 LabVIEW 编写,利用生产者/消费者模式,结合用户事件处理循环和队列消息处理器,实现了数据连续采集、存储、实时处理及显示的功能,并解决了发射和接收时钟不同步的问题。最后实验表明,该系统能够长时间稳定采集,并且各项性能满足设计要求。

关键词: 瞬变电磁法;数据采集;LabVIEW;时钟同步

中图分类号: TP2;TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

Airborne transient electromagnetic data acquisition system based on LabVIEW

Cao Zhanhong^{1,2} Li Junfeng^{1,3} Liu Junjie^{1,3} Wu Shan^{1,3} Liu Lei^{1,3}(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CAGS, Langfang 065000, China;
2. North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China;
3. Key Laboratory of Geophysical EM Probing Technologies, Ministry of Land and Resources, Langfang 065000, China)

Abstract: According to the principle of aero-transient electromagnetic method and its signal characteristics, according to the requirements of long-time continuous acquisition and storage, an airborne transient electromagnetic data acquisition system based on LabVIEW is designed. System hardware platform with NI PXIe-4492 Dynamic signal acquisition card as the core, with Ni pxie-6674t and NI pxi-6682h and other auxiliary board to build; the software part uses LabVIEW to write, using producer/consumer mode, combined with user event processing loop and queue Message processor, realizes the function of data continuous collection, storage, real-time processing and display, and resolves the issue that the transmit and receive clocks are out of sync. Finally, the experiment shows that the system can be collected stably for a long time, and the performance satisfies the design requirements.

Keywords: transient electromagnetic method; data acquisition; labview; clock synchronization

0 引言

计算机技术和测试测量技术的不断发展,推动了虚拟仪器技术的不断进步。LabVIEW 作为第一个建立虚拟仪器的图形程序设计语言,具有编程灵活、可自定义功能、强大的数据处理能力、开发成本低、易学易用等优点,广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受,视为一个标准的数据采集和仪器控制软件^[1]。与传统仪器相比,虚拟仪器不仅功能更加多样化,而且拥有成本低、开发周期短、易扩展易维护等优势,在工业、科研、生产活动等领域具有广泛的

应用^[2-3]。

航空瞬变电磁法 (airborne transient electromagnetic method,ATEM),又名时间域航空电磁法,是在飞机上搭载发射和接收装置等电磁勘察设备的地球物理勘察技术^[4-5]。时间域航空电磁测量方法要求数据高分辨率、全波形采样、收发同步,以获得更好的数据质量,从而提高探测深度和空间分辨力,这对数据采集系统提出了更高要求。因此本文依据瞬变电磁法原理,开展了基于 LabVIEW 的航空瞬变电磁数据采集系统的研究,实现对航空瞬变电磁信号的采集、存储、实时处理及显示。

收稿日期:2018-11-02

* 基金项目:国家重点研发计划重点专项(2017YFC0601900)、基本科研业务费专项(JYYWF20180103)资助

1 航空瞬变电磁法

1.1 航空瞬变电磁法原理

航空瞬变电磁法的基本原理与地面瞬变电磁法完全相同^[6],是以电磁感应定律为基础的时间域电磁勘测方法。其原理如图 1 所示。

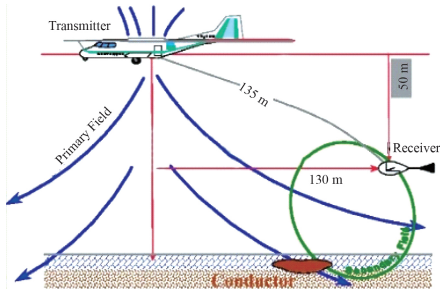


图 1 航空瞬变电磁法原理

航空瞬变电磁采用发射线圈发射电磁信号,通过接收线圈接收经空气传播的一次场信号和经地下导电介质感应产生的二次场信号^[7]。二次场中含有地质导电体的电阻率等物理信息,通过对其中异常信号的提取和分析,推断地下不均匀导电体的导电性能和位置,从而寻找地下有用矿源和解决水文地质等问题。

1.2 航空瞬变电磁信号特点

航空瞬变电磁信号的特点和瞬变电磁信号的特点大致相同,分为 3 个方面:

- 1) 信号的动态范围大,从早期到晚期的信号幅值从 $n \times 10^5$ uV 变到 $0.n$ uV。
- 2) 信号的频带宽,瞬变电磁法实际上是宽频的电磁系统,接收机的通频带一般选在 $0 \sim n \times 10$ kHz 的范围。
- 3) 对信号的分辨,瞬变信号在早、中、晚期的衰变速度差别相当大。在早期,信号幅值高而且衰减快;在晚期,信号幅值低且衰减慢^[8]。

依据上述信号特点,数据采集系统需要有高采样率,宽动态范围,信号分辨力强等特点。此外,航空瞬变电磁法因其工作方式的不同,需要采集系统对瞬变信号进行全波形连续采样,并且为 XYZ 3 分量多通道同步采样,还要求对数据进行实时处理及显示,因此采用 LabVIEW 来完成航空瞬变电磁数据采集系统,下面将介绍数据采集系统的详细设计。

2 数据采集系统设计

2.1 系统硬件平台

为了提高系统可靠性和稳定性,并增强系统性能,硬件部分采用基于 PXIe 总线技术的工业控制硬件平台。PXIe 不仅保留了 PXI 的定时和同步特性,还通过利用 PXI 中已有的差分连接器,提供更高性能、更低成本的差分信号连接技术,增添了多个新的同步特性,获得了抗干扰能力更强的

仪器时钟和传递更高频率时钟信号的能力。

NI PXIe-4492 动态信号采集卡是 NI 公司专为动态信号采集设计的采集卡,具有 8 通道同步输入,每通道最大采样率为 204.8 KS/s,具有 24 bit 分辨率 ADC,动态范围达 114 dB,各项性能满足设计要求^[8]。系统硬件平台设计方案如图 2 所示。

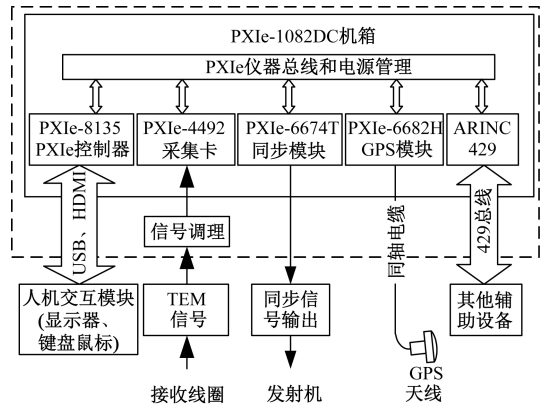


图 2 系统硬件平台

系统启动后,PXIe-6674T 同步模块产生同步信号,并分别通过内部连线和外部连线启动 PXIe-4492 采集卡和发射机工作。瞬变电磁信号通过接收线圈和信号调理电路后,由采集卡完成模数转换生成 ATEM 数据,同时 PXI-6682H 接收并解析 GPS 信息,将两者数据合并后以数据流的方式送入上位机存储。

由于发射机和数据采集系统处于同一飞机内,当发射机工作时产生的瞬态大电流会对数据采集系统和相关的辅助仪器产生电磁干扰,因此需要做好各系统之间的电磁隔离工作。

2.2 系统软件设计

系统的软件设计作为虚拟仪器系统的核心^[9],也是系统主要组成部分。软件设计采用模块化和层次化思想,自顶向下的设计方法^[10],根据系统设计要求,分为各个功能模块,再往下逐步划分为更小的子模块。分层次模块化的程序结构增加了程序的可维护性和可读性,避免了大量的重复编程工作。基于 LabVIEW 的航空瞬变电磁数据采集系统软件功能模块框图如图 3 所示。

1) 系统配置模块

本系统中需要设置的参数主要包含采样通道、采样频率、输入增益、数据存储位置等。为了避免每次都需重新设置配置的重复工作,将设置好的配置数据捆绑成簇的形式,然后平化为 XML 字符串写入 XML 文件进行存储,在下次运行程序时会直接读取上次已保存配置加载到程序中,送入各个功能模块。

本功能模块的实现主要使用了 LabVIEW 的 XML 库函数,包括读取 XML 文件,从 XML 还原,平化至 XML 和

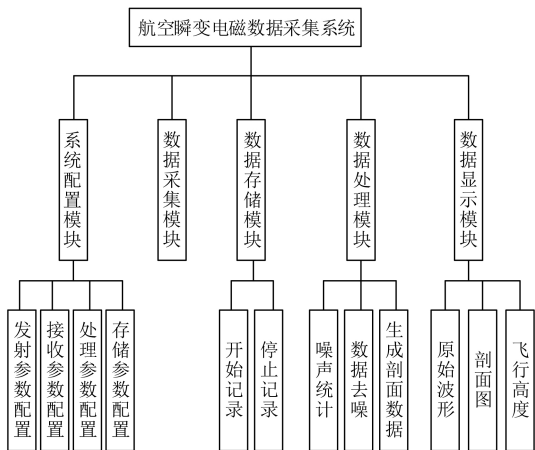


图3 系统软件功能模块

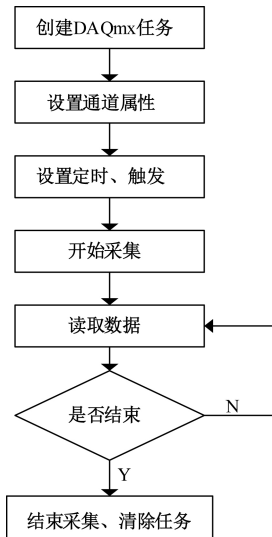


图5 采集流程

写入XML文件。其中读取XML文件根据文件路径读取XML元素,该VI为多态VI,本程序选择的是读取XML字符串;从XML还原将读取的XML字符串还原为簇数据类型,当中包含所有配置数据;平化至XML将经过修改的配置数据簇平化为XML字符串格式;写入XML文件将最新的XML字符串重新写入XML文件。图4所示为修改配置并写入XML文件程序,首先在循环中等待用户修改配置参数并点击确定,然后将修改后的配置重新写入XML文件进行保存。

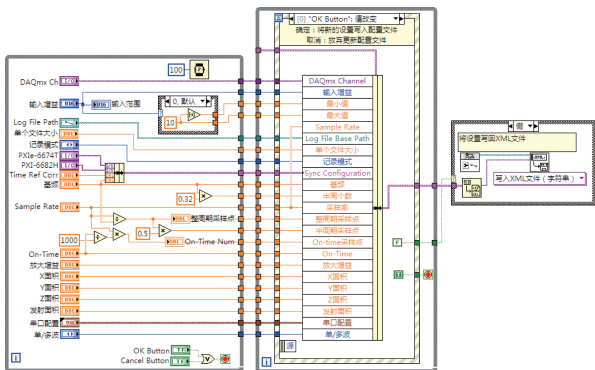


图4 配置修改程序

2) 数据采集模块

数据采集模块主要实现连续数据采集功能,采用的是LabVIEW的DAQmx库函数,是NI公司专门为其硬件产品提供的驱动程序。在本文设计的数据采集系统中,使用的是NI公司的PXIe-4492动态信号采集卡,因此使用DAQmx来编写数据采集程序是十分易学易用的,可以节省大量的编程时间。数据采集模块主要由DAQmx创建任务、DAQmx创建通道、DAQmx定时、DAQmx开始触发、DAQmx开始任务、DAQmx读取、DAQmx停止任务、DAQmx清除任务组成。数据采集的流程如图5所示。

DAQmx创建任务用于创建DAQ任务句柄,DAQ任

务是一个或多个通道定时、触发等属性的集合,贯穿整个数据采集过程;DAQmx创建通道用于创建物理通道并设置相关信息,如输入接线端配置、输入范围、输入耦合方式、输入增益、数据单位等,此为一个多态VI,在本系统中选择为模拟电压输入;DAQmx定时用于配置获取或生成的采样数,并创建所需的缓冲区,设置采样率和参考时钟;DAQmx开始触发设置采集任务的开始为数字触发,等同步信号的上升沿到来再开始采集;DAQmx开始任务使采集任务处于运行状态;DAQmx读取是数据采集中的主要VI,它按照设置好的任务读取数据,并输出到上位机中进行存储、处理和显示;最后DAQmx停止任务和DAQmx清除任务用于停止采集并清除内存和释放引用。

3) 数据存储模块

数据存储模块和数据采集模块两者独立运行,采用生产者/消费者模式,通过队列来传输数据^[11],这样数据存储等其他模块不会对数据采集模块产生影响。

航空电磁法采用全波收录的方式存储数据,经过实际测试每小时数据量达5Gb,这就对存储文件的格式有所要求,需要具有高速的数据存储能力和便捷的数据管理。综合考虑,采用NI公司的技术数据管理流(TDMS)文件格式存储数据,这是一种针对测试测量应用的高效二进制数据存储格式,兼顾了高速、高效及数据共享。数据记录流程如图6所示。

为了便于后期的读取和处理,本文设计的数据采集程序将数据分为多个文件进行存储,用户可以设定单个文件的存储大小,当文件大小达到设定的大小时会自动依据当前系统时间重新创建新的文件并开始存储。

4) 数据处理模块

数据处理模块用于对采集到的数据进行处理,统计噪声信息,最后形成剖面图,以便工作人员实时观察工作质

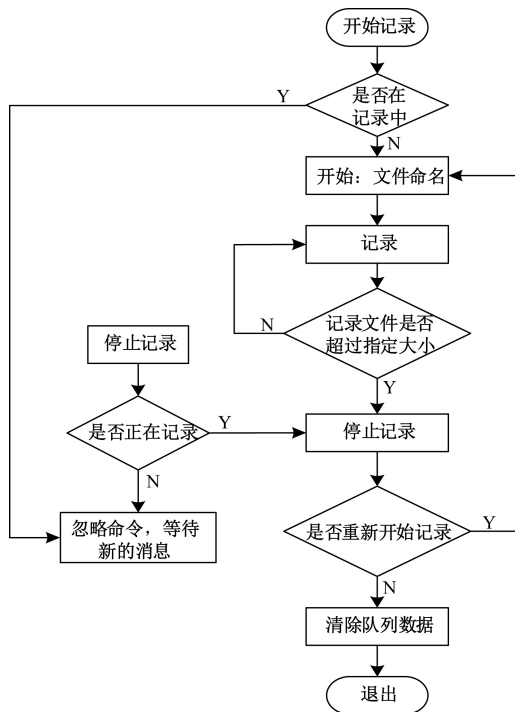


图 6 数据记录流程

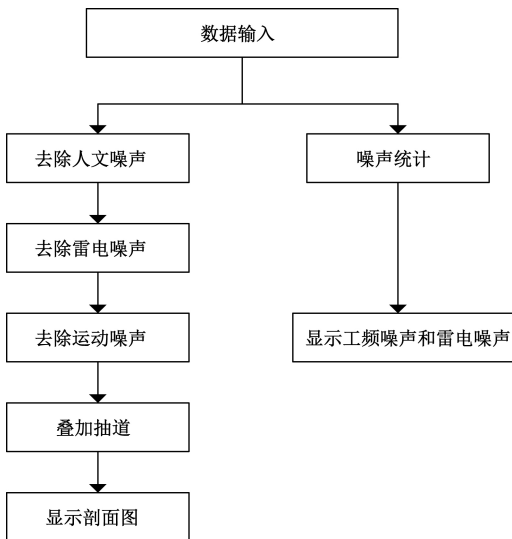


图 7 数据处理流程

量。数据处理的流程如图 7 所示。数据输入以后,一方面进行噪声去除和数据处理,显示剖面图;另一方面进行噪声统计来显示 50 Hz 工频干扰和雷电噪声水平。人文噪声主要由 50 Hz 工频干扰组成,为了较小此噪声的影响,航空瞬变电磁的发射波形为双极性半正弦波,在处理中可以采用滑动正反叠加来去除工频干扰^[12];雷电噪声主要来自于地球上的雷电活动,在地球上几乎时刻有雷暴发生,本文中采用中值滤波来去除^[13],此方法处理速度快,可以在实时处理中发挥作用;运动噪声是由接收线圈在地磁场中来回摆动而感应出的低频干扰,本文采用一维插值的方法拟合出运动曲线,再从数据中去除运动噪声^[14];最后将数据叠加求均值,并通过近似等对数间隔抽道^[15],生成剖面图数据进行显示。

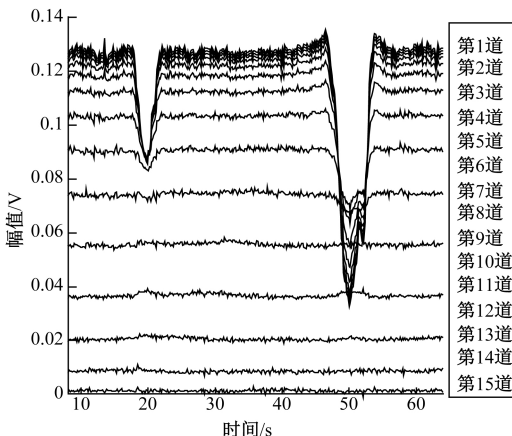


图 8 地面实验剖面

图 8 所示为地面实验采集数据经过数据处理后形成的剖面图,从图 8 中可以看出在 20 s 和 50 s 处,存在明显的异常响应。该异常响应是由接收线圈经过异常体造成,在 20 s 时异常体距离接收线圈较远,在 50 s 时异常体距离接收线圈较近。数据处理呈现的结果能正确反映出现实情况,说明数据处理方法行之有效。

5) 数据显示模块

该模块用来显示原始波形和经过数据处理后的剖面图,噪声水平等内容,以及显示飞机的飞行高度,发射电流峰值,运行状态,存储文件大小等其他信息,辅助工作人员对采集数据质量和仪器状态进行判断。程序显示主界面如图 9 所示。

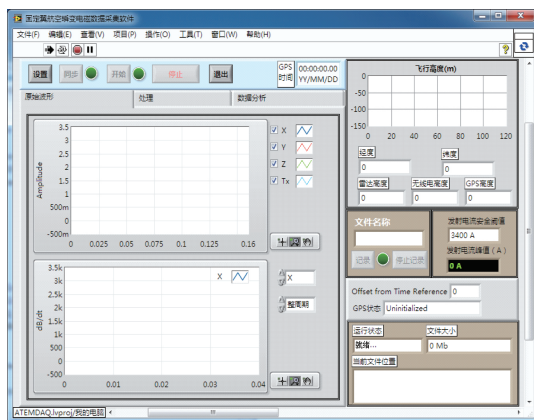


图 9 程序显示界面

3 收发时钟同步

当使用 100 KSa/s 采样率,对 50 Hz 同步信号(50%占

空比的方波)进行采集时,每周期内含有2 000个采样点。图10为在时钟不同步的情况下采集10 s数据,每个同步周期的采样点数,每隔60个同步周期会丢失一个采样点,计算可得采样误差为0.83 Sa/s,此现象会造成在数据处理时出现数据叠加错位,影响最终结果。

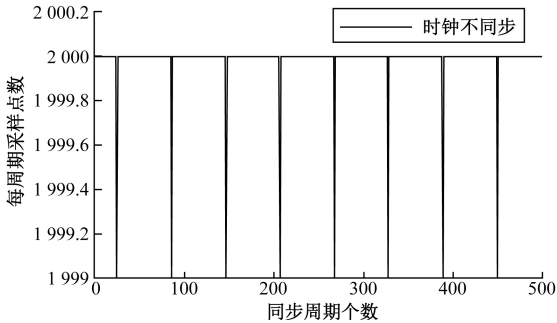


图10 时钟不同步每周期采样点数

本文利用PXIe总线的定时同步性能,通过PXIe-6674T和PXI-6682H来实现接收和发射之间的时钟同步。PXIe-6674T是一块高精度的定时板卡,板上载有 ± 80 ppb精度的OXCO晶振以及锁相环。具体实现方法是将PXIe-6674T的高精度OXCO晶振的10 MHz时钟路由到背板上,代替机箱背板原来的10 MHz时钟,这可以提高系统整体的时钟精度;然后通过DAQmx定时VI设置采样时钟的参考时钟为替换后的背板时钟PXI_Clk10,这使得两者时钟之间具有相互关联性。在完成同步设置后,重新进行采样,结果如图11所示。可以看出每同步周期采样点数均为2 000点,说明时钟同步设置方法的有效性,对后期数据处理提供很大帮助,提供更高质量数据。

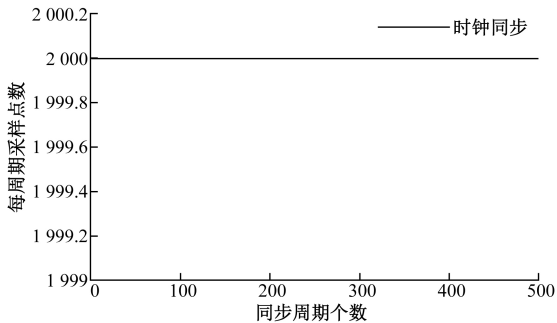


图11 时钟同步每周期采样点数

4 结 论

本文设计的基于LabVIEW的航空瞬变电磁数据采集系统,主要由PXIe机箱、NI PXIe-4492动态信号采集卡和装有LabVIEW的计算机组成。通过LabVIEW编写的数据采集软件,将各个硬件模块合理的结合在一起,实现了对数据的长时间连续采集、存储、实时处理及显示的功能。软件采用模块化和层次化的设计思路将系统分为各个功能模

块,利用LabVIEW的多线程技术,各模块相互独立并行运行,使得整个系统更加稳定,实时性好,并且具有更好的扩展性和维护性,充分发挥了虚拟仪器的优点。通过研究解决了接收和发射时钟不同步的问题,为后期地面数据处理提供更高质量的采集数据。最终经过实验测试,本数据采集系统的各项功能都满足设计要求,能够应用在固定翼航空瞬变电磁法的实际工作当中。

参考文献

- [1] 向科峰. 基于LabVIEW的数据采集系统设计与实现[J]. 机械管理开发, 2011(4): 191-192.
- [2] 汪成龙, 黄余风, 何宣, 等. 基于LabVIEW的应变片数据采集系统[J]. 电子测量技术, 2018, 41(14): 97-101.
- [3] 刘景峰. 基于LabVIEW的数据采集与多功能分析系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2015.
- [4] 殷长春, 张博, 刘云鹤, 等. 航空电磁勘查技术发展现状及展望[J]. 地球物理学报, 2015, 58(8): 2637-2653.
- [5] 梁盛军, 张力卡, 曹学峰, 等. 时间域航空电磁法研究进展综述[J]. 地质与勘探, 2014, 50(4): 735-740.
- [6] 庞丽丽, 董翰川, 史云. 时间域航空电磁微弱信号数据采集器的研制[J]. 自动化仪表, 2014, 35(4): 83-86.
- [7] 牛之珺. 时间域电磁法原理[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2007.
- [8] 佚名. NI推出基于PXI Express的高通道数动态信号采集模块[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(3): 80.
- [9] 王世隆, 林君, 王言章, 等. 直升机式航空时间域电磁法全波收录[J]. 吉林大学学报(工学版), 2011, 41(3): 776-781.
- [10] 孟盈盈. 基于LabVIEW的数据采集系统教学仪器的设计[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [11] 叶枫桦, 周新聪, 白秀琴, 等. 基于LabVIEW队列状态机的数据采集系统设计[J]. 现代电子技术, 2010, 33(4): 204-207, 210.
- [12] 吴巧, 闫述. 均值滤波和小波变换在瞬变电磁信号处理的应用[J]. 数据通信, 2013(6): 33-35, 43.
- [13] BOUCHEDDA A, CHOUTEAU M, KEATING P, et al. Sferics noise reduction in time-domain electromagnetic systems; application to MegaTEMIII signal enhancement[J]. Exploration Geophysics, 2010, 41(4): 225-239.
- [14] 尹大伟, 林君, 朱凯光, 等. 时间域航空电磁数据线圈运动噪声去除方法仿真研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(5): 1639-1645.
- [15] 嵇艳鞠, 林君, 程德福, 等. 瞬变电磁法中数据取样处理方法的研究[J]. 物探与化探, 2003, 27(2): 142-145.

作者简介

曹展宏, 硕士研究生, 主要研究方向为信号采集与处理。

李军峰(通信作者), 博士、教授级高级工程师, 主要研究方向为地球探测与信息技术。

E-mail: lijunfeng@igge.cn