

现代地球物理仪器的开发与应用

林 君

(吉林大学 国土资源部现代地球物理仪器开放研究实验室 吉林长春 130026)

摘 要:地球物理仪器是认识地球、地下资源探测与地质灾害监测的基础和关键。本文重点介绍了国土资源部现代地球物理仪器开放研究实验室近年来自主研制的新型地球物理仪器,主要包括城市物探采用的 PHVS 系列电磁驱动可控震源及其配套的分布式地震数据采集系统,ATEM-II 型瞬变电磁探测仪和全程瞬变电磁探测仪(ATEM),PISA-M 型野外现场用的近红外光谱矿物成分分析仪等。本文给出了所研制的新型地球物理仪器的部分应用实例。

关键词:城市地球物理探测 弹性波探测 电磁探测 野外现场测试 近红外光谱

1 引言

资源短缺和环境恶化是目前人类面临的重大问题,利用先进的探测技术和仪器装备进行地下油气、矿产、地下水资源探查,以及工程探测和环境(地质灾害)监测,是解决上述问题的重要途径,研究与发展先进的地下目标探测技术及仪器装备就显得十分重要。但是,同其它科学仪器一样,我国的地学仪器装备研制与开发水平还很落后,大型的地学仪器装备主要依赖于进口。在“十五”期间,中国地震局和地调局分别启动了 27 亿和 15 亿人民币的仪器装备计划,主要购买的都是国外先进的仪器装备。有人风趣的说,许多外国的仪器装备开发商,是中国人养活了他们,事实也正是如此!

为振兴中国的仪器仪表工业,1995 年王大珩等 20 位院士向国家提出“关于振兴中国仪器仪表工业的建议”。在制定国家“十五”计划时,当年提出建议的部分院士 2000 年再次向国家提出发展我国仪器仪表的建议。我国的地学仪器及装备,尤其是先进的大型地学仪器及装备,与国外的差距越来越大,加强自主开发,提升国力,这急需引起国家的高度重视。

国土资源部现代地球物理仪器开放研究实验室本着振兴中国地学仪器的宗旨,多年来一直坚持地学仪器装备的研发和高层次人才的培养。本文是跨入 21 世纪以来该实验室在地学仪器研发方面所取得的进展的简要总结,内容包括城市地球物理探测仪器装备、危机矿山潜力资源探查仪器、地下水探测仪器以及野外现场分析测试仪器等。这些新仪器的研制及其研究成果的产品化,将为我国地下资源探

测、地质灾害监测、工程与环境监测、认识地球等提供有力的技术支撑。

2 地震探测仪器装备

2.1 电磁驱动的可控震源

为了满足城市物探特殊环境的要求,实现浅层地震勘探的无破坏性激发,在国土资源部的资助下,从 1995 年开始研制浅层地震可控震源。这种震源利用电磁驱动的激振体,向地下长时间的发送频率可调的正弦波(Chirp 信号),再利用相关技术把长时间的扫频信号压缩成只有冲击震源才能形成的脉冲波。这种震源即称为可控震源。与液压驱动方式的可控震源相比,它具有轻便、高频、使用方便等特点。经过 5 年多的努力,已研制成功输出力为 500N 的 PHVS-500 型和输出力为 1000N 的 PHVS-1000 型两种型号的电磁驱动可控震源,如图 1 和图 2 所示。

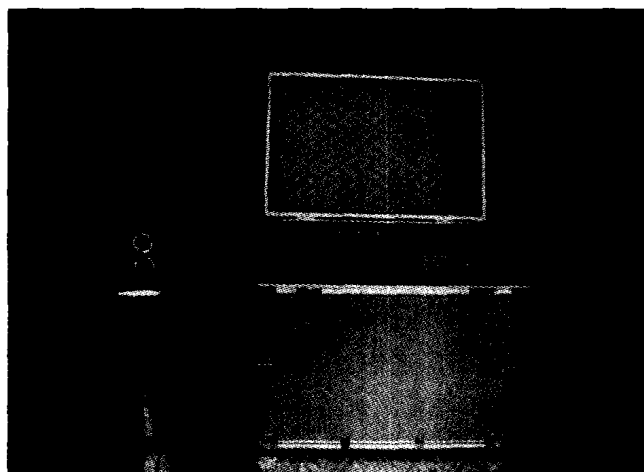


图 1 PHVS-500 型可控震源激震器



图2 PHVS-1000型可控震源激震器与功率放大器

以上两种震源的主要性能指标如下:

●PHVS-500 型可控震源

最大出力:500N

有效输出信号频率范围:5~1400Hz

扫描方式:升频、降频、联合扫描

相位控制精度:±3°(频率在 1400 Hz 时)

最大振幅:±10mm

最大允许峰值电流:40A

配用的功率放大器峰值功率:1500 W

电控箱体重量:25kg,

激震器重量:55kg

●PHVS-1000 型可控震源

最大出力:1000N

有效输出信号频率范围:5~1400Hz

扫描方式:升频、降频、联合扫描

相位控制精度:±3°(频率在 1400 Hz 时)

最大振幅:±10mm

最大允许峰值电流:80A

配用的功率放大器峰值功率:3000 W

相位控制精度:±3°(频率在 1400 Hz 时)

电控箱体重量:75kg,

激震器重量:150kg

PHVS-500 型可控震源于 2000 年获国家实用新型专利,PHVS-1000 型可控震源 2001 年申请了国家发明专利,PHVS 系列研究成果经过中试,形成的产品正在推广之中。

2.2 与高频可控震源配套的分布式地震数据采集系统

可控震源地震的数据采集需要长时间记录、相关叠加、较高的采样率和大容量存储,常规的浅层地

震仪难以满足要求。图 3 为自行研制的 24 位 A/D 设计的分布式有线遥测地震仪,这种地震仪实现了检波器模拟信号的本地数字化,减少了大线的重量和大线传输模拟信号所引起的衰减和干扰问题,通道数可根据需要扩展,突破了浅层地震仪只有 24 或 48 道的限制,适用于城市物探、灾害地质调查等。

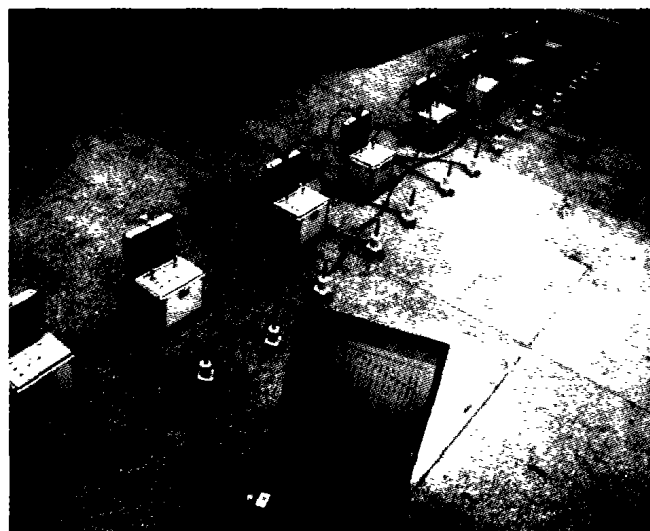


图3 用 24 位 A/D 设计的分布式有线遥测地震仪

上图所示的分布式有线遥测地震仪的主要技术指标见表 1。

表 1 分布式有线遥测地震仪的主要技术指标

技术指标		参数	技术指标		参数
数据采集指标	单站道数	2	数据传输	传输方式	同步串行
	A/D分辨率	24 位		传输速率	>1Mbps
	采样率	1/32, 1/16.8ms		编码方式	差分曼彻斯特编码
	串音抑制	>115dB		传输距离(无中继)	>200 米
	谐波失真	>95dB	供电电池	电池类型	镍—铬
	前放增益	0dB,18dB		内部/外部电池	内部
	最大输入	2Vrms		电池电压	12V
	共模抑制比	>100dB		电池容量(Ah)	8
	高切滤波	5.3KHz	监控功能	电池状态	有
	同步精度	+/-20us		充电控制	有
输入阻抗	20KΩ	采集站排列		有	
数据存储能力	512K 字节/站	工作参数		有	
系统噪音	有	触发站状态		有	
检波器脉冲响应	有	睡眠状态控制及自动唤醒功能		有	
测试功能	检波器通断	有			

2.3 震源对比实验研究

利用自行研制的可控震源地震系统于 1999 年底在河北唐山、迁安等地与夯击震源进行了对比实验。2000 年 10 月在河南郑州黄河滩与德国生产的

SUMMIT 分布式有线遥测地震仪进行了联机实验,并分别用锤击震源、枪击震源进行了对比实验。2001 年 7~8 月,PHVS-1000 型可控震源研究分别在辽宁鞍山进行了矿山采空区调查、河北唐山金属矿以及新疆土屋铜矿的地震勘查实验。2002~2003 年,自行研制的电磁驱动的可控震源经进一步改进与完善,实现了产品化,并且在矿井巷道和城市地下活断层的调查研究中获取了有突破性的应用成果。

3 时间域瞬变电磁探测仪器(TEM)

在美国能源部(DOE)和环保署(EPA)的资助下,由政府、工业界和学术界组成的联合攻关组于 1993 年立项,开展新一代的瞬变电磁探测技术研究,即甚早期瞬变电磁探测系统(VETEM)研究计划。该计划从 1994 年开始实施,历时 4 年,取得了较丰富的研究成果。VETEM 的思想来自于 HFEM,重点解决探地雷达与传统电磁法之间的探测空白区,目的是详细探测近地表的传导性和介电性,为环境污染探测提供新的手段。VETEM 计划包括数值正演模拟、仪器、系统分析、野外采集、数据处理与解释、电磁综合对比实验。VETEM 计划执行后,项目组继续在模型实验、数据分析、野外应用效果检验等方面进一步工作并取得成果。

我国在瞬变电磁探测仪器研制方面已有多年的研究历史,但是与国外相比差距较大。尤其在近地表瞬变电磁探测方面,开展的研究很少。为提高国内瞬变电磁探测仪器的水平,国土资源部现代地球物理仪器开放研究实验室从 1997 年开始,先后研制了具有快速关断的 TEM 发射机,具有从发射机关断时刻起进行全程记录的 TEM 接收机,研制成功利用 GPS 同步的阵列瞬变电磁探测系统(ATEM)。该系统 2000 年 12 月通过国土资源部鉴定,2000~2001 年分别在吉林头道沟、辽宁鞍山、新疆土屋等地开展了一系列对比实验和近地表探测。2002~2003 年,项目组对 ATEM 系统进行了工艺改进和可靠性研究,并进行了小批量生产,已经开始在国内市场销售。

在国家 863、国家自然科学基金科学仪器专项基金、国家“十五”科技攻关等项目资助下,本实验室还针对 TEM 在矿山、城市、浅海底等恶劣环境以及近地表浅层探测展开仪器系统和数据处理软件研究,分别在安徽铜陵、浙江舟山、内蒙正镶白旗、黑龙江呼中等地区开展强干扰背景下的矿山潜力资源勘

查、城市活断层调查、深部地下水勘查、舟山连岛工程地质勘查等应用研究,均取得了明显的效果,受到用户好评。在内蒙正镶白旗的引水工程水源地勘查中,与核磁共振找水技术、浅层地震技术配合,评价确定的井位经打井验证,每小时涌水 100 多吨,解决了正镶白旗人们生活缺水的水源地问题。

目前,为解决危机矿山潜力资源探查问题,本实验室正在开发抗强干扰的大探测深度的 TEM 系统。为解决矿井突水预测重大难题,项目组还开展了矿井突水预测的 TEM 技术探索性研究。

ATEM-II 瞬变电磁系统(发射机和接收机)的主要技术指标见表 2。

表 2 ATEM-II 瞬变电磁系统的主要技术指标

发射机		接收机	
技术指标	参 数	技术指标	参数
电 源	4~600V(DC)	同步方式	GPS 同步、导线同步
额定输出功率	3kW	同步精度	优于 500ns
最大输出电流	50A(连续)、70A(脉冲)	动态范围	156dB
频率范围	1024s ~ 2.5 kHz	采样频率	最快为 5us
输出波形	三种方式	叠加次数	1~9999 任选
最小关断时间	1.2μs	带 宽	直流到 13kHz
重 量	12kg	重 量	5kg(不含电池)
体 积	41cm×25cm×25cm	体 积	36cm×24cm×17cm

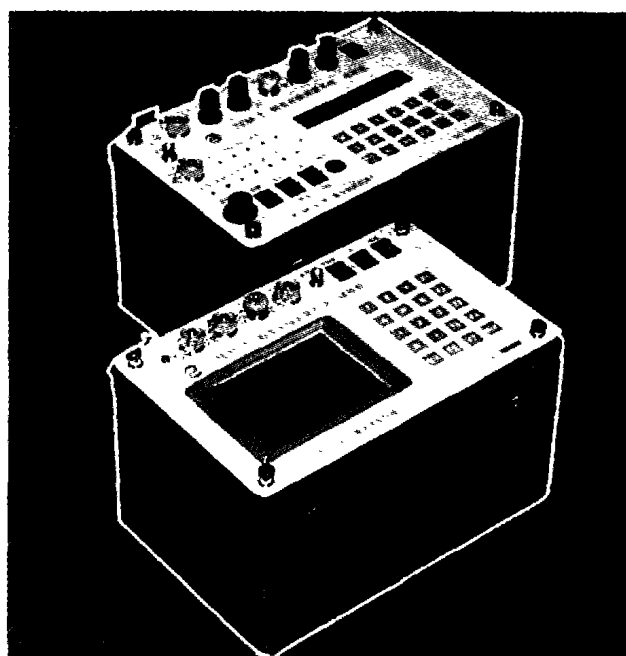


图 4 用 ATEM-II 瞬变电磁探测仪产品化样机

图4是ATEM-II瞬变电磁系统经产品化后的发射机与接收机的照片。为了实现大电流的探测来压制干扰,在野外采用多个发射机进行发射电流的叠加是可行且是有效的。ATEM-II瞬变电磁系统的特点之一是可以根据用户的实际需要配备多个发射机和多个接收机进行野外的面积性探测。

4 野外现场近红外光谱矿物成分分析仪

以往,分析仪器只能在实验室环境下工作。野外地质工作者无法现场测定岩石矿物组成,只能从野外采样、回到实验室进行分析鉴定。野外采样要经过包装、记录、运输等过程,工作效率低、周期长、易出错、严重地制约了野外地质工作。因此,把“分析实验室”带到野外现场,是野外地质工作者梦寐以求的事情。

近红外光谱(NIRS,700~2 500 nm)分析技术,属于分子振动光谱,是基频分子振动的倍频与合频,包含丰富的氢基团(C-H、O-H、S-H、N-H等)特征信息。现代NIRS分析技术由NIRS仪器、化学计量学软件和具体的应用模型3部分组成,突出优点是分析速度快、成本低、无须处理样品、可遥测等优点,不仅能对样品(固体、液体、胶体、粉末等)进行实验室分析,还能进行现场分析和在线分析,被誉为分析“巨人”。NIRS分析技术,在农业产品、炼油、化工、制药、环境、地质等领域,特别在生产过程质量控制及现场分析方面,得到了越来越广泛的应用,并产生巨大经济效益。

绝大部分天然矿物(包括氧化物、氢氧化物、含氧盐等)在近红外区都产生振动吸收。因此,可以用便携式NIRS分析仪器对大多数矿物进行野外分析测试,特别是含水矿物和有机物效果更佳。

发达国家的NIRS光谱仪器生产厂家越来越多,竞争非常激烈。澳大利亚 Integrated Spectronics Pty Ltd 的 PIMA (Portable Infrared Mineral Analyzer)是典型的便携式野外岩石矿物NIRS分析仪器。PIMA系光栅扫描型,光谱范围1 300~2 500 nm,仪器重2.5kg,野外电池供电,外接笔记本电脑。

我国NIRS仪器的研究与开发工作,虽然起步较晚,但已取得一定进展。北京北分瑞利分析仪器有限公司(原北京第二光学仪器厂)引进美国Analect公司的技术研制出傅立叶变换型NIRS仪器。中国石化集团公司石油化工科学研究院陆婉珍

等研制出基于CCD检测器的短波NIRS(700~1100nm)光谱仪,并建立一些石油化工产品的分析模型。上海棱光仪器公司和中国农业大学联合研制光栅扫描型NIRS谷物分析仪器,2002年完成了室内用的科研样机。但到目前为止,国内目前还没有便携式的NIRS商品仪器问世。

1999年,在中国地质调查局的支持下,国土资源部现代地球物理仪器开放研究实验室与北京地质仪器研究所等单位联合开展了便携式NIRS矿物成份分析仪的研制工作,2002年底研制出便携式近红外光谱(1300~2500nm)分析仪的原理性样机,2003年完成科研样机,其主要性能指标达到国外同类产品(澳大利亚 Integrated Spectronics Pty Ltd 的 PIMA)的水平,于2003年11月通过了国土资源部鉴定,准备进行产品化推向市场。图5给出了自行研制的近红外光谱矿物成分分析仪外观图,而图6是利用最新研制的野外便携式近红外光谱矿物成分分析仪与上海棱光仪器公司研制的实验室用光栅扫描型NIRS分析仪器(简称上海仪器)对方解石矿物进行测试的光谱对比图。从图中不难看出,自行研制的野外便携式近红外光谱矿物成分分析仪的测量结果优于上海仪器的测量结果(前者的信噪比高于后者,尤其是在2200nm之后)。

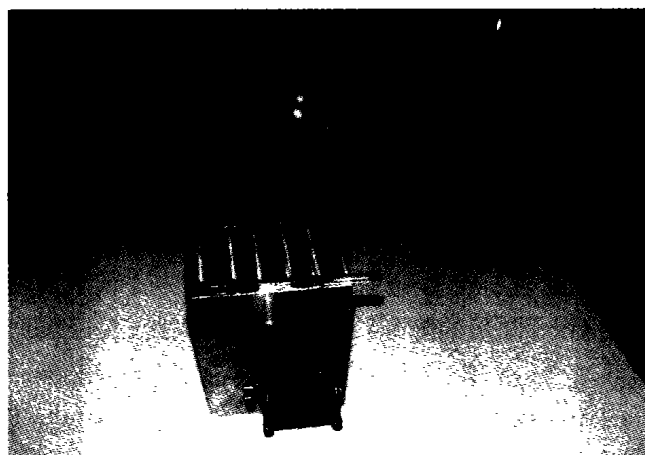


图5 自行研制的近红外光谱矿物成分分析仪

自行研制的近红外光谱矿物成分分析仪主要技术指标如下:

测量精度:小于0.5%

波长范围:1300~2500nm

谱分辨率:10nm

全谱测量时间:≤30S

光谱仪重量:≤5kg(不包括计算机)

电源:12VDC

仪器与计算机接口采用 RS232/USB 标准
仪器的光纤接口采用 SMA905 标准

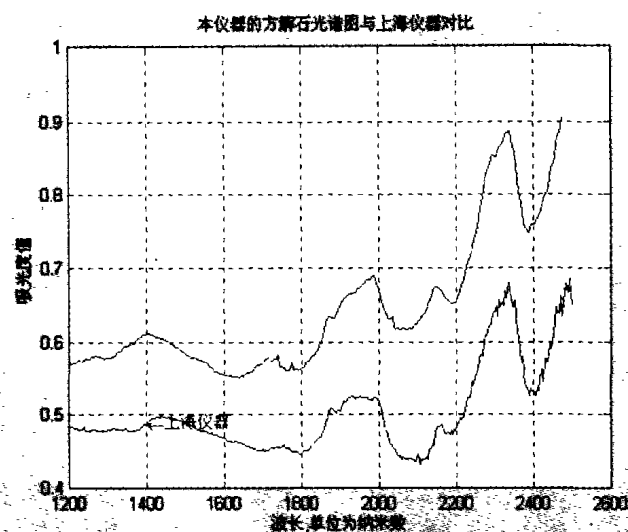


图 6 自行研制的近红外光谱矿物成分分析仪与
实验室台式仪器测量方解石的光谱对比图

5 我国地学仪器装备发展展望

近年来,光纤技术已用于研制新型的地震检波器,通信技术、数据采集技术与实时信号处理技术(DSP)的结合将进一步促进分布式测量系统的发展,新材料如高温超导材料等的应用将推进波动场探测仪器的传感器技术和场源发射技术的进步,借助雷达的扩谱技术在近地表电磁探测中将突破探测深度和分辨率的限制,网络技术、软件技术、虚拟现实技术等仪器中的广泛应用,将促进高精度、多功能化、智能化、网络化的新一代地学仪器不断涌现。

但是,我国具有自主知识产权的地学仪器与国外相比差距还很大,如果不能自主研制高性能的地学仪器,我们将永远受制于人,科技落后的局面难以改变,

科技创新就更难了!观测是地球科学研究的基础,而地学仪器的进步是地学观测的关键,大力加强具有自主知识产权的地学仪器研发并促进其产业化是我国科技领域急待解决的重大问题之一,不容忽视!

主要参考文献:

- 1 Lin Jun, Geophysical Instrumentation in China: A Review of Higher Education and Research, The Leading Edge, 1997, 16(7): 30~33
- 2 Lin Jun, Development of High-Resolution Geophysical Instrumentation for Engineering and Environmental Investigations, International Workshop on High-Resolution Geophysics, 1997, Tucson, USA
- 3 林君,于生宝,电磁驱动可控震源激震器,中国实用新型专利(ZL99208723.6),2000
- 4 陈祖斌,林君,于生宝,张子三,轻便浅层地震可控震源的研制,仪器仪表学报,2003,24(3):311~314
- 5 陈祖斌,林君,张林行,分布式浅层地震数据采集系统的设计,电子测量与仪器学报,2000,(5)
- 6 张子山,林君等,轻便高频可控震源的计算机测控系统,计算机自动测试与控制,2000,8(4)
- 7 林君,电磁探测技术在工程与环境中的应用现状,物探与化探,2000,24(3):167~177
- 8 Lin Jun, Sensitivity Analysis and Comparison of Frequency-Domain Electromagnetic System Configurations, ISA-PE'2000, China, 2000
- 9 Lin Jun, Cheng Defu, etc. Development of the Array Transient Electromagnetic System and Its Experiments, Journal of Geoscientific Research in Northeast Asia, 2000, 3(1), 99~106
- 10 蒋忠进,林君,双谱在可控震源地震信号预处理中对时延估计的应用,探测与控制学报,2003,25(2):58~61

(收稿日期:2003 年 12 月 25 日)

Development and Its Applications of Modern Geoscience Instrumentation

Abstract: Geophysics is based on observations. It is innovations in geophysical instrumentation that enable geophysicists to look into the earth, and seek oil and minerals. The innovative instruments for subsurface imaging, which are designed by the Open Lab of Advanced Geophysical Instrumentation (OLAGI) of the Ministry of Land and Mineral Resources, are introduced mainly in this paper. The innovative instruments are the electrodynamic vibrator for urban environment and its data acquisition systems, the transient electromagnetics(TEM)instruments, the portable near infrared spectroscopy for mineral analysis. (by Lin Jun)

Key words: Urban Geophysics, High Frequency Vibrator, Distributed Remote Seismic Instruments, Transient Electromagnetics(TEM)System, Near Infrared Spectroscopy