

doi: 10.11720/wtyht.2021.0443

石加玉,郭鹏,李勇.频谱激电测量仪器关键技术研究及实现[J].物探与化探,2021,45(6):1475-1481.http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0443

Shi J Y, Guo P, Li Y. Research and implementation of key technologies of spectral induced polarization instruments[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(6): 1475-1481. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.0443

频谱激电测量仪器关键技术研究及实现

石加玉¹, 郭鹏², 李勇³

(1. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局地球物理调查中心, 河北廊坊 065000; 3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000)

摘要: 频谱激电测量交流电场作用下的岩(矿)石的电化极化效应,即接收电位差与发射电流之间的相位差。在深入研究频谱激电测量仪器关键技术的基础上,设计了全新的弱信号同步相关检测技术,对原型样机进行了实用化改进,优化了电路结构,提高了相位测量的稳定性。矿区试验表明,改进后的频谱激电测量仪器成本更低,抗干扰能力更强,实用化程度更高,适合大范围推广应用。

关键词: 频谱激电法;同步相关检测;相位测量;恒流供电;抗干扰

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2021)06-1475-07

0 引言

频谱激电法(spectrum induced polarization, SIP, 简称谱激电)是直流电法勘探的一种,其基于几何原理实现测深,是恒流情况下时间域激电法的一种扩展,为针对交变电磁场实施的频率域激发极化方法。谱激电测量的是交流电场作用下岩(矿)石的电化极化效应,即接收电极间总场电位差相对于发射电流的相位差—复电阻率的相位角,它反映的是极化效应的“纯异常”^[1-3]。近年来,谱激电在资源、环境和工程等领域得到前所未有的发展和应用,越来越被工程技术人员和学者所重视。利用谱激电可以得到 Cole-Cole 模型复电阻率表达式中 4 个表征被探测目标的物性参数:零频率时的电阻率、极化率、时间常数和频率相关系数,这 4 个参数为区分矿与非矿以及不同类型的矿种提供了重要信息^[4-5]。其中,极化率等价于谱激电的极化相位,这是一个重要参数:在低频工作条件下,相位的大小可以反映地下介质激电效应的强弱,对于一定的频率,

激电效应越强,负相位的绝对值越大;反之,激电效应越弱,负相位的绝对值越小。

“十一五”期间,在中国地质调查局的支持下研制了频谱激电测量仪器原型机,并利用原型机在福建、海南、云南、西藏、新疆、内蒙古等矿区开展了方法技术应用示范,取得了良好的应用效果,尤其在弱极化区、接地困难区和干扰区,频谱激电法显示出比常规激电法更强的异常发现能力和抗干扰能力。为了充分发挥频谱激电法在资源、环境和工程等领域的作用,“十二五”期间对频谱激电原型机进行了完善和改进,形成可供推广的实用化仪器,并将该技术向全国进行推广。本文对频谱激电测量中的关键技术,如高精度同步技术、高精度稳流技术、相位提取技术和弱信号同步相关检测技术等做了充分探讨并给出了实现方法,最后对实用化仪器和原型机在内蒙古某矿区的对比试验结果进行了分析,结果表明:基于本文所述技术方案设计的频谱激电测量仪器实用化程度高,相位测量重现性好。目前,该仪器已向全国推广,实现了预期目标。

收稿日期: 2021-08-17; 修回日期: 2021-09-05

基金项目: 国家重点研发计划项目“深部矿产资源勘查评价技术联合研究”(2018YFE0208300);自然资源部科技项目“阵列相位激电测量系统完善与推广应用”(1212011220266)

第一作者: 石加玉(1999-),硕士研究生,研究方向为电磁探测仪器。Email: wtshijiayu@163.com

通讯作者: 李勇(1980-),教授级高级工程师,主要从事地球物理方法技术研究工作。Email: cgslyong@mail.cgs.gov.cn

1 关键技术及实现

Cole-Cole 模型复电阻率表达式中的 4 个物性参数,只有极化相位必须通过测量才能获得,其他几个参数可通过电位差的幅值、装置系数和发射电流等计算得到;因此,频谱激电测量仪器的关键技术就集中体现在相位测量这一环节。相位测量涉及的关键技术包括高精度同步技术、恒流供电技术和相位检测技术等。

谱激电测量仪器属于野外工作设备,发射机和接收机常常需要分开工作,某些观测装置甚至要求发射与接收之间相隔数千米。本文研究一种基于同步相关检测的绝对相位测量技术,发射与接收之间不受距离限制,接收电路的结构也相对简单。由于采用了数字式窄带选频与相位提取技术,提高了测量仪器的抗干扰能力和实用性。该技术实现的前提是:①发射与接收之间在时间上严格同步;②发射电流要维持恒定。

1.1 高精度同步技术

常规的基于硬件电路的相位测量方式需要在同一块电路板上对发射电流和接收电压进行比较,谱激电测量仪器属于野外工作设备,发射机和接收机相距较远,这种相位测量方法不再是最优方案。本研究方案采用高精度同步技术,使发射机和接收机在时间上严格同步,实现高精度绝对相位的测量。

同步精度设计规则是以满足谱激电法对相位观测的最高精度为原则,计算公式为

$$t = \frac{n \times \frac{1}{f}}{2\pi \times 1000}, \tag{1}$$

式中: f 为最高工作频率,单位 Hz; n 为谱激电观测系统要求的相位分辨率,单位 mRad; t 为同步精度,单位 s。本文研究的相位测量仪器,其相位观测精度要求为 1 mRad,最高工作频率为 128 Hz,通过上式计算出 $t=1.24\ \mu\text{s}$ 。实际设计电路时,同步精度应留有足够的余量,亦即 $t<1.24\ \mu\text{s}$ 。

常用的同步方式包括有线同步、恒温晶振同步、电台同步和 GPS 同步等。有线同步中的长导线会产生延时,距离越远延时越大,同步距离较远时施工很不方便;采用恒温晶体的晶体同步方式精度较高,但由于各个晶体之间始终存在频差,频差引起的时间误差会不断累积,所以经常需要对钟以消除该误差,当同步钟的数量超过 3 台时,同步和对钟将很繁琐;电台同步的精度较低,发射机和各个接收机之间

容易受障碍物遮挡,同步距离有限^[6-8]。本方案基于 GPS+温补晶振同步设计,GPS 秒脉冲只具有随机误差、不具有累积误差的优点可以消除同步时钟源的误差,温补晶振与恒温晶振相比功耗显著降低,可有效降低仪器的体积和重量。该设计无启动时间,可提高仪器的工作效率^[9-10];在保证同步精度的同时,可降低仪器设备的成本,便于推广应用^[11]。同步原理框图如图 1 所示,GPS 模块为 U-BLOX 公司的 LEA-5T,授时精度为 30 ns,温补晶振的频率准确度为 1×10^{-7} ,同步系统的最大误差为 GPS 授时精度与晶振的 1 个时钟周期之和。本方案中 GPS 授时精度为 30 ns,晶体频率为 16.384 000 MHz,对应的时钟周期为 $1/163\ 840\ 00\ \text{s}=61\ \text{ns}$,故最大同步误差为 $30+61=91\ \text{ns}$,远小于测量仪器要求的 $1.24\ \mu\text{s}$,满足最高工作频率为 128 Hz 时的相位测量精度。

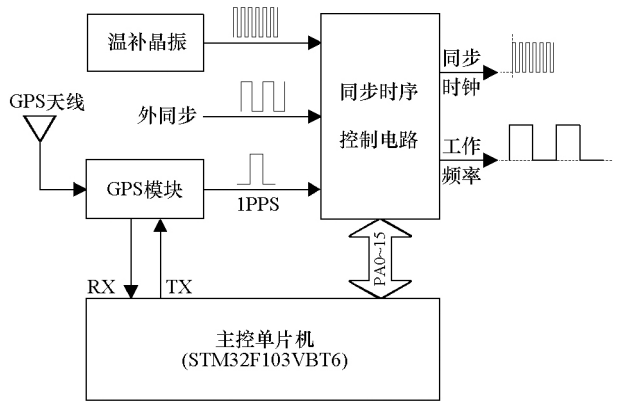


图 1 高精度同步原理框图
Fig.1 High precision synchronization principle block diagram

采用 GPS 同步时,同步时钟由 1 PPS 的上升沿触发,主控单片机读取 GPS 模块的授时信息,通过 PA 口设置同步时序控制电路的工作方式,产生发射机的工作频率。采用外同步时,同步时钟由外同步脉冲的上升沿触发。发射机和接收机采用相同的同步方案,保证发射电流和接收电压之间严格同步,如图 2 所示。在图 2a 同步时钟的驱动下,发射机以恒流方式供出图 2b 所示的理想方波电流。接收机的接收电压波形如图 2c 所示,与发射电流波形相比,上升沿变得圆滑,这是地下地质体的极化效应所致。频谱激电的观测参数之一就是该极化相位,因此,高精度的同步技术是相位测量的重要保证。

1.2 高精度稳流技术

基于同步相关检测的相位提取技术中,将发射电流方波作为参考基准,要求发射电流为理想方波(如图 2b)。实际工作中,供电电极深埋于地下,受

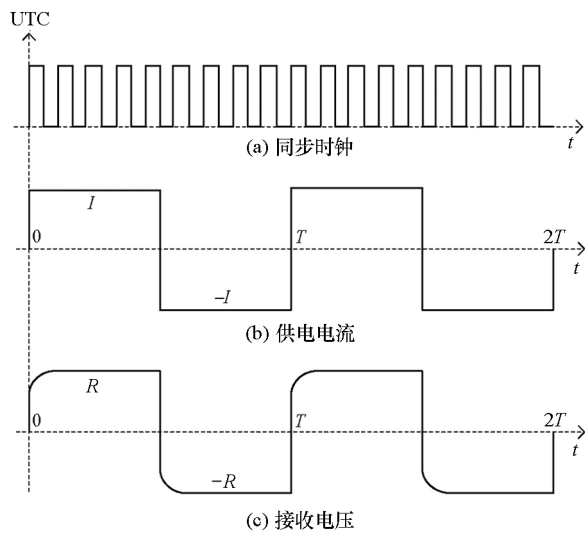


图 2 同步时钟、发射电流和接收电压时序图

Fig.2 Timing diagram of synchronous clock, transmitting current and received voltage

极化作用的影响接地电阻(发射机的负载)随时间发生变化,为保持发射电流恒定,使其不受负载效应和源效应(电源电压波动)的影响,发射机必须具有良好的稳流机制。实践表明,稳流精度应达到 0.1% 或更高^[12],观测到的绝对相位才有实际意义。换言之,如果发射电流不稳定,接收端观测到的相位可能是发射电流不稳定导致的伪相位,而不是地下目标体的真实极化相位。

图 3 是基于 ARM 单片机和 IGBT 功率开关设计的高精度稳流原理框图,由稳流 ARM、隔离驱动、IGBT 功率开关、电流隔离检测和低通滤波等组成。逆变桥及连接在 AB 端的大地或假负载构成稳流电路的负载。为了避免调制脉冲(PWM)与发射电流波形(AB 输出)之间由于时钟源的差异产生系统相位差,本方案中的主控 CPU 和稳流 ARM 采用同一

个温补晶振作为工作时钟,以消除系统自身相位误差。该工作时钟由同步时序控制电路产生。

工作时,稳流 ARM (STM32F103VBT6) 根据主控 CPU 设定的电流值启动稳流功能。STM32 控制内部的 ADC (12 位) 进行电流采样,对电流样进行数字滤波并与设定的电流值进行比较,若供电输出电流小于设定的电流,STM32 将增加调制脉冲的宽度(片内 16 位 PWM 控制器),使输出电流增大;反之,若供电输出电流大于设定的电流,STM32 将会减小调制脉冲的宽度,使输出电流变小。此过程无限循环,保持供电电流恒定。

稳流精度按照 $(1/2^N) \times 100\%$ 计算, N 为 ADC 的位数;这里 $N = 12$,故稳流精度的理论值为 0.02%,实际精度达到了 0.1%。由于电流采样、电流滤波、脉宽调制均为数字形式,因此本稳流方案的抗干扰能力强、稳流精度高。

1.3 相位提取技术

常规相位测量方法如图 4 所示,硬件电路同时对图 4a 所示发射电流波形和图 4b 所示接收电压波形做上升沿检测,得到如图 4d、e 所示的脉冲,测量这两个脉冲的时间差,再将其换算为对应供电周期的相位差,如图 4e 中的 φ_1 。图 4b 是一种理想的接收电压波形,实际工作中,由于接收电极埋设于大地,电极接收到的是包含天然电磁场和各种人文干扰的混合信号(如图 4c),这种包含噪声的信号经放大整形和上升沿检测后如图 4f 所示;该脉冲与发射电流脉冲图 4d 比较,测得的相位如图 4f 的 φ_2 所示,并非目标体的极化相位。由于干扰和噪声的频率和幅度不固定,导致相位测量发生偏差;在测量电路中加入工频陷波器,效果改善也不明显,而陷波器带来的相位移将使处理电路变得更为复杂,增加调

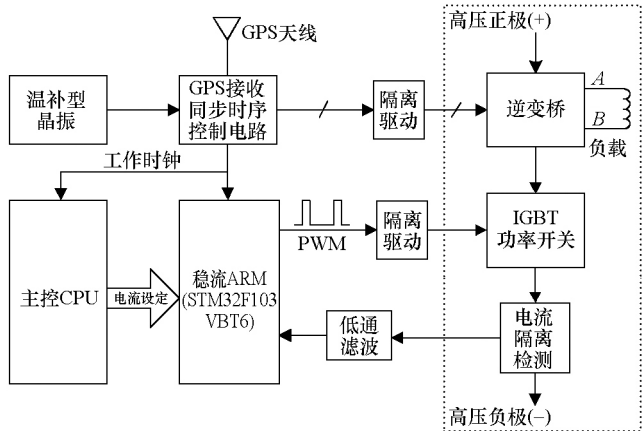


图 3 高精度稳流原理框图

Fig.3 High precision constant current principle block diagram

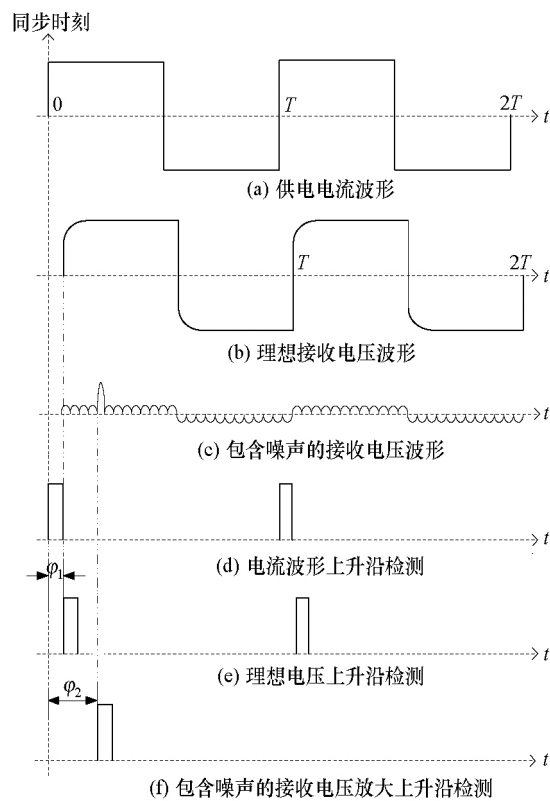


图 4 基于硬件电路的相位检测原理

Fig.4 Phase detection principle based on hardware circuit

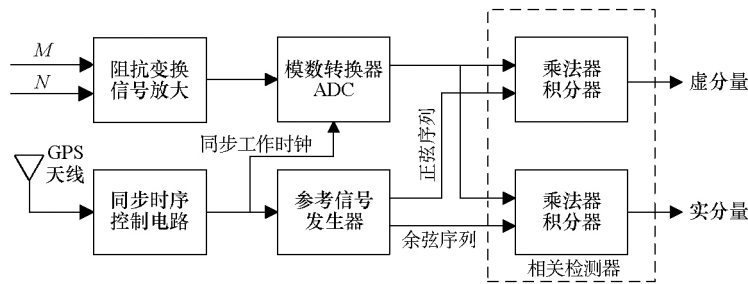


图 5 数字同步相关检测原理框图

Fig.5 Principle block diagram of digital synchronous correlation detection

信号相位： $\varphi = 1000 \times \arctan(B/A)$ ， (3)

视电阻率： $\rho = K \times \frac{R}{I}$ ； (4)

式中： R 为信号幅值，单位 V ； φ 为接收电压滞后于发射电流的绝对相位，单位 $mRad$ ； K 为装置系数； I 为发射电流，单位 A ； ρ 为视电阻率，单位 $\Omega \cdot m$ 。

本方案与常规相位测量电路相比，接收机省去了陷波器、信号整形、时间测量、乘法器和积分器等，接收机电路结构更简单、调试工作量小，采用同步相关检测和窄带数字滤波技术可有效滤除工作频率之外的干扰信号，具有更强的抗干扰能力。场地试验结果表明：该技术可在强干扰背景下有效提取周期性弱信号，效果优于基于硬件电路的信号检测方法；

试工作量和仪器成本。

野外观测时，被测信号常常淹没于噪声中，为了从干扰环境中有效提取微弱信号，本文开发了一种基于高精度同步的弱信号相关检测技术——同步数字相关检测技术，该技术实现的前提条件是发射电流恒定、发射与接收之间在时间上严格同步，其原理框图见图 5。

接收电极 MN 两端的信号经过阻抗变换、信号放大，直接送入模数转换器 (ADC) 进行转换。同步时序控制电路为模数转换器和参考信号发生器提供同步工作时钟，该时钟与发射机端的发射电流严格同步。ADC 转换后的数字信号在相关检测器中进行同频正弦变换和余弦变换，由于正弦函数和余弦函数是一对正交基，所以经过变换就可得到被测信号的实分量和虚分量，再利用实分量和虚分量计算出被测信号的幅值和相位。相关检测器中的乘法器和积分器可以采用硬件实现，也可以采用软件实现，由于 ARM 处理器的运算速度足够快，故本方案中采用软件实现。接收电压信号经过正弦和余弦变换后，若实部表示为 A 、虚部表示为 B ，则该信号的幅值、相位及电阻率的计算公式如下：

信号幅值： $R = \sqrt{A^2 + B^2}$ ， (2)

在弱极化区工作时极化相位的幅度更大，反映异常的效果更明显^[13]。

2 与原型仪器的对比试验

2.1 试验技术条件

基于上述方案对原型仪器进行了改进和完善，形成实用化的频谱激电测量仪器，并在内蒙古西乌珠穆沁旗某矿区开展了实用化仪器与原型仪器的对比试验。

试验采用阵列方式的偶极—偶极观测装置，如图 6 所示： AB 为供电电极， MN 为接收电极，接收机为双通道，2 个通道对应的接收电极分别为 $M1-N1$

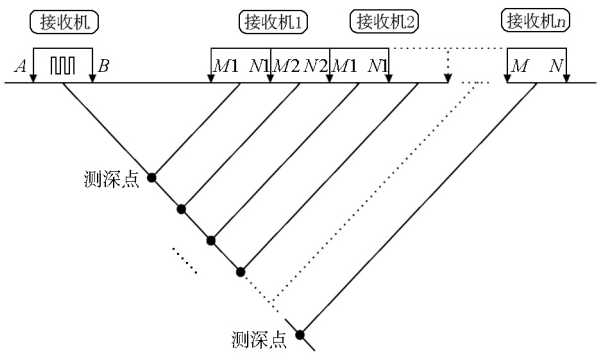


图 6 野外工作示意
Fig.6 Field work sketch map

和 M2-N2。发射与接收间采用高精度 GPS 同步方式,一台发射机供电,多台双通道接收机按阵列方式同时测量,一次供电过程就可获得多个深度的观测信息,观测深度根据工作需要选择相应的隔离系数 1,2,⋯,n;发射机和接收机沿测线跑极一遍,就可获得该测线的相位和电阻率等地电断面资料。

仪器主要指标:工作频率 128、64、⋯、2、1、1/2、⋯、1/128 Hz;最高供电电压 600 V;最大发射电流 1.5

A;相位测量精度优于 1 mRad;GPS 同步精度±30 ns;功率高压电源采用 24 V 锂电池升压产生。

试验参数:实用化仪器和原型仪器各投入 1 台发射机,实用化接收机 2 台(编号 1、2),原型接收机 3 台(编号 16、17、18)。工作方式:轴向偶极—偶极装置;AB=MN=80 m;点距 40 m;工作频率 4、1、0.25 Hz。实用化仪器和原型仪器的隔离系数均为 n=1、2、3、4。

2.2 一致性检测

实用化仪器和原型仪器的一致性对比在测量工作开始之前进行。在相位异常较大的地段选 11 个测点,每台仪器均在相同条件下进行往返多次观测,隔离系数选用 1 和 2,每台仪器的第 1 道与第 1 道对比、第 2 道与第 2 道对比。视电阻率采用均方相对误差衡量,视相位采用总均方误差衡量,一致性对比结果列于表 1。评判依据为《阵列相位激电法工作手册》(试用稿,2008 年 9 月由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所编制),该手册规定仪器的相位误差不应大于设计总精度的 2/3。从表中数据可看出,5 台仪器的一致性检测结果均满足手册要求。

表 1 仪器一致性检测结果

仪器编号	电阻率测量误差/%		相位测量误差/mRad		结论
	标准	实际最大值	标准	实际最大值	
实用化仪器(1)	<3.33	0.70	<0.67	0.09	符合要求
实用化仪器(2)	<3.33	0.33	<0.67	0.02	符合要求
原型仪器(16)	<3.33	0.59	<0.67	0.24	符合要求
原型仪器(17)	<3.33	0.61	<0.67	0.14	符合要求
原型仪器(18)	<3.33	0.34	<0.67	0.14	符合要求

2.3 工作量及工作质量

实用化仪器和原型仪器均完成 3 条剖面的测量工作,有效剖面长度 4 440 m,总测点数 114 个。实用化仪器和原型仪器检查点数分别为 12 个和 10 个,检查点数占总测点数比例分别为 10.53% 和 8.77%。经计算,实用化仪器视电阻率均方相对误差为 2.17%,视相位总均方误差为 0.30 mRad;原型仪器视电阻率均方相对误差为 3.38%,视相位总均方误差为 0.60 mRad,满足《阵列相位激电法工作手册》检查观测点数占总观测点数的 3%~5%、视电阻率检查观测的均方相对误差应小于 5%、视相位检查观测的总均方误差应小于 1 mRad 之要求。

2.4 剖面对比结果

为了客观反映实用化仪器和原型仪器对相位异常的发现能力,两种仪器开展了同测线、同测点、同深度的对比观测,并绘制成剖面图,相位和电阻率均为原始数据,未经任何处理或编辑。由于篇幅所限,

仅给出 124 号线的对比情况,图 7 为 2 种仪器在 124 号线的视电阻率和视相位观测结果对比,该图展示了 3 个频率的观测结果,每个频率均包括 3 个隔离系数的观测数据。黑色曲线表示实用化仪器的测量结果,红色曲线表示原型仪器的测量结果,两种仪器观测的曲线形态相同,数据对应关系较好。

对比试验表明,采用数字式同步相关检测技术设计的相位测量仪器,具有轻便、快速、观测精度高和抗干扰能力强等特点,能够在接地条件差、人文干扰强等常规激电难以开展工作的地区开展工作。在发射电流小、接收信号弱、强干扰等复杂地质环境下,可实现对激电异常的有效探测^[14]。

3 结论

深入研究了频谱激电测量仪器的关键技术,在此基础上对原型样机做了改进和完善,形成实用化

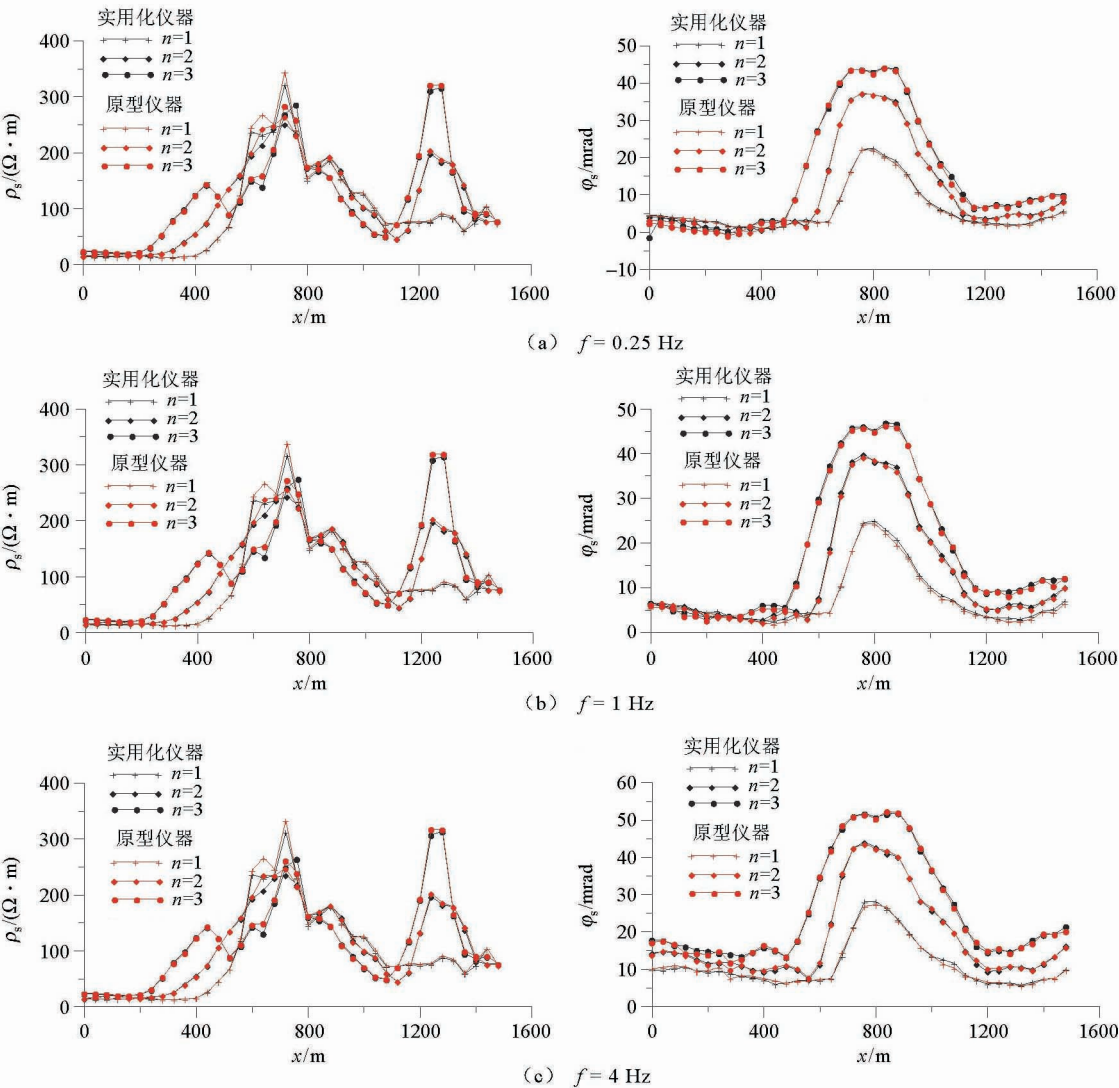


图 7 124 线实用化仪器与原型仪器视电阻率、视相位测量结果对比
Fig.7 Comparison profile of two instruments on line 124

的适合推广的频谱激电测量仪器。全新设计的数字式弱信号同步相关检测技术方案,省去了接收机中的陷波器、信号整形、时间测量、乘法器和积分器等硬件电路,简化了电路结构,提高了相位检测的稳定性,降低了仪器的成本,减小了仪器调试的工作量,更适合推广应用。矿区对比试验表明,基于新方案设计的实用化仪器与原型仪器相比,具有同等发现异常的能力和更强的抗干扰能力。希望本文所述关键技术及实现方案对同行及同类仪器研制有借鉴意义。

参考文献 (References):

[1] 吕庆田,张晓培,汤井田,等.金属矿地球物理勘探技术与设备:回顾与进展[J].地球物理学报,2019,62(10):3629-3664.
Lyu Q T, Zhang X P, Tang J T, et al. Review on advancement in technology and equipment of geophysical exploration for metallic

deposits in China [J]. Chinese Journal Geophysics, 2019, 62 (10): 3629-3664.
[2] 刘崧.谱激电法[M].武汉:中国地质大学出版社,1998.
Liu S. Spectral induced polarization method [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press,1998.
[3] 郭鹏,肖都,石福升,等.相位激电和时域激电对激电效应响应关系研究[J].物探化探计算技术,2014,36(6):697-683.
Guo P, Xiao D, Shi F S, et al. Study on the response relationship between phase IP and time domain IP [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 36 (6): 697-683.
[4] 张赛珍.岩石的低频相位频率特性的物理模型和它的拟合方法[A]//中国科学院地球物理研究所论文摘要集(1984) [C],1989.
Zhang S Z. Physical model of low frequency electrical phase frequency characteristics of rock and ore and its fitting method [A]// Abstracts of Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences(1984) [C],1989.
[5] 张宪润,陈儒军.激电相对相位法区分矿与非矿异常的成功实

例[J].物探与化探,1998,22(4):251-254.

Zhang X R, Chen R J. A successful example of distinguishing ore and non-ore anomalies by IP relative phase method [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1998, 22(4): 251-254.

[6] 石福升.大功率多频发射系统研究[D].北京:中国地质大学(北京),2005.

Shi F S. Research on high power multi-frequency transmission system [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2005.

[7] 石福升.大功率多功能发射系统研究[J].地球物理学进展,2009,24(3):1109-1114.

Shi F S. A study on high-power multi-function transmitting system [J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(3): 1109-1114.

[8] 王猛,金胜,魏文博,等.大功率井—地电磁同步发射技术分析与系统实现[J].地球物理学报,2019,62(10):3794-3802.

Wang M, Jin S, Wei W B, et al. The technique analysis and achievement of the high power borehole-ground electromagnetic synchronous transmitter system [J]. Chinese Journal Geophysics, 2019, 62(10): 3794-3802.

[9] 林君,吴勇,薛开昶,等.CSAMT探测系统的低功耗高精度同步时钟源设计[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(9):3193-3199.

Lin J, Wu Y, Xue K C, et al. Design of low power consumption and high precision synchronization clock reference source for CSAMT detection systems [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2014, 45(9): 3193-3199.

[10] 真齐辉,底青云.高频大功率CSAMT发射技术研究[J].地球物理学报,2017,60(11):4160-4164.

Zhen Q H, Di Q Y. High-frequency high-power CSAMT transmitting technology research [J]. Chinese Journal Geophysics, 2017, 60(11): 4160-4164.

[11] 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所.阵列相位激电测量系统完善与推广应用成果报告[R].2013.

Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences. Report on improvement, popularization and application of array phase IP measurement system [R]. 2013.

[12] 石福升.高精度数字稳流技术研究[J].物探与化探,2004,28(4):358-360.

Shi F S. A research of high-precision digital current-regulation technology [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004, 28(4): 358-360.

[13] 郭鹏,肖都,石福升.阵列相位激电法在弱极化异常区的试验效果[J].物探与化探,2012,36(5):772-774.

Guo P, Xiao D, Shi F S. Experimental effect of array phase IP method in weak polarization anomaly area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(5): 772-774.

[14] 肖都,郭鹏,林品荣,等.相位激电法在强干扰区的应用试验[J].物探化探计算技术,2016,38(5):593-597.

Xiao D, Guo P, Lin P R, et al. Application test of phase induced polarization method in strong interference area [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 38(5): 593-597.

Research and implementation of key technologies of spectral induced polarization instruments

SHI Jia-Yu¹, GUO Peng², LI Yong³

(1. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Geophysical Survey Center of China Geological Survey, Langfang 065000, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China)

Abstract: The measurement of the electrochemical polarization effect of rock (ore) in an AC electric field (i.e., the phase between receiving potential different and transmitting current) using spectral induced polarization (SIP) can provide important information for distinguishing ore from non-ore. Based on the deep research on the key technologies of SIP instruments, this study designs a new synchronous correlation detection technology of weak signals, and accordingly improves the prototype for practical purposes, simplifies the circuit structure, and improves the stability of phase measurement of the SIP instruments. The tests in mining areas show that the improved SIP instrument has lower cost, stronger anti-interference ability, higher practicability, and is suitable for large-scale promotion and application.

Key words: spectral induced polarization; synchronous correlation detection; phase measurement; constant current transmitting; anti-interference

(本文编辑:沈效群)