

# 基于并行直流电法的多频激电技术研究与应用

洪岗辉<sup>1</sup>, 梁希凯<sup>2</sup>, 陈兴海<sup>3</sup>, 周官群<sup>2</sup>, 吴小平<sup>3</sup>, 王亚飞<sup>2</sup>, 张维鑫<sup>2</sup>

(1. 中国水电基础局有限公司, 天津 301700;

2. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 合肥 230009;

3. 中国科学技术大学 地球和空间科学学院, 合肥 230026)

**摘要:** 频谱激电法在探测过程中存在设备笨重, 供电功率大, 施工不便等缺点, 利用并行直流电法快速时域信号采集的优势, 通过快速傅里叶变换, 可以将时域信号转换为频域信号, 从而得到电流和电压的频谱参数, 进而进行复电阻率的计算, 可达到一次数据采集获得两种参数的优点, 方法简单, 计算方便。应用基于并行直流电法的多频激电技术对安徽宣城某矿的塌陷坑进行探测研究, 布设了一条电法测线, 获得了视电阻率剖面图。结果表明该方法具有一定的优越性, 可为实际工程探测提供技术支持。

**关键词:** 并行直流电法; 时间域; 快速傅里叶变换; 复电阻率

**中图分类号:** P631.1 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2025.01.12

## 0 引言

直流电法是以地下介质的导电性差异为物质基础, 通过观测自然的或者人工稳定场源的时空分布规律, 达到分辨地下介质的一种地球物理勘探方法, 包括自然电位法、电阻率法和激电法等, 是一种成本低、效率高的探测方法, 广泛应用于工程地质调查、水文地质调查、环境地质调查等与国民经济密切相关的诸多领域<sup>[1-4]</sup>。电阻率和极化率是电阻率探测方法常用的两个参数, 其中电阻率参数利用人工稳定源一次场的电压和电流数据计算获得, 通过反演的方法可以获得测区内的电阻率数据。

激发极化法(简称激电法)是根据岩矿石极化率的不同而采用人工源进行勘探的方法<sup>[5]</sup>。激电法, 也被称为频谱激电法或复电阻率法<sup>[6]</sup>, 有两种常见的测量方法: 时间域测量和频率域测量。这两种方

法在工作方式、采集对象等方面均有一定区别<sup>[7-8]</sup>。时间域复电阻率法在野外采集到的数据是电流值和电位差, 对数据进行去噪处理, 并应用傅里叶变换等技术进行信号处理, 进而计算得到视复电阻率。频率域复电阻率法现场采集到的原始资料是电位差的振幅值与相位值, 为了获得准确可靠的结果, 在对这些数据进行分析之前, 需进行一系列预处理步骤, 包括: ①对电位差进行标定; ②反归一化处理; ③增益校正; ④计算复视电阻率; ⑤去噪处理<sup>[9]</sup>。

目前使用频谱激电法进行测量存在以下几方面的问题: 时间域激电法需向地下提供较大的电流, 设备体积庞大, 不便于野外施工。在频率域复电阻率法中, 为了获取准确的结果, 需对不同频率下的振幅和相位进行逐一观测。此外, 为了满足要求, 通常需要较大功率供电, 故现场观测效率相对较低, 成本相对较高。另外, 在进行频率域复电阻率观测时, 为了获得可靠的结果, 需采取措施确保发送机与接收机

收稿日期: 2023-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(V2039206)

第一作者: 洪岗辉(1982—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事水利工程方面的地质、水文、勘察方面的工作, E-mail: ghong\_2000@163.com。

通信作者: 陈兴海(1988—), 男, 博士, 工程师, 主要从事电磁方法的理论与应用研究, E-mail: xhchen1988@mail.ustc.edu.cn。

具有同步性,这增加了观测的难度和复杂性,且其存在抗干扰能力较低的问题,很容易受到电磁耦合干扰的影响。由此可知,频率域复电阻率法在实际应用中存在一些限制和挑战。

多源信息融合是矿井电法勘探的发展趋势<sup>[10]</sup>,同理,笔者认为地面电法勘探也应向多参数、多源物探信息发展,才能使复杂的地质情况透明化。笔者通过快速傅里叶变换将时域内电流和电压数据转化为频域值,即为频率域中不同频率对应的电压和电流,实现并行电法常规时间域电阻率数据转化为复电阻率数据,进行视极化率计算,并结合视电阻率数据进行工程应用。

## 1 复电阻率测量发展现状

Kenneecott 勘探服务公司在 1967 年开始制造一种新型的复电阻率仪器,其具有特定的频率范围,即 0.01 Hz~10 Hz。随后,在 1975—1976 年期间,一些研究人员如 Bill Sill, Stan Ward, Bill Pelton, Anaconda 等进行了多频时间域测量<sup>[11]</sup>。从二十世纪七十年代开始,美国 Zonge 公司的 GDP-32 和加拿大凤凰公司的 V5、V8 工作站的测量功能较成熟,可实现多种模式的复电阻率测量<sup>[12]</sup>。与此同时,我国在二十世纪六七十年代也开始了复电阻率的研究工作<sup>[13]</sup>,其中在复电阻率的正反演研究方面,许多国内学者进行了大量的工作,目前已经实现了三维带地形复电阻率反演<sup>[14-18]</sup>。在仪器设备方面,时间域激电仪有两款重要产品,其中,中国地质大学(武汉)研制的 LZSD-E 直流电法仪是一款值得关注的产品,该系统性能强大,此外,另一套名为 WDJD-4 的仪器也具备很多优点,可广泛应用于地质勘探、水文地球物理等领域。随着科技的不断进步,当前时间域激电仪的性能已经取得了显著提升<sup>[19]</sup>,但国内专门用于复电阻率观测的时间域激电仪系统并不常见。在变频率激电仪的研制工作方面也取得了一系列重要成果。在 1976 年,何继善院士提出了双频激电法,这标志着变频率激电仪的发展迈出了重要的一步。随后,通过何继善院士与袁宏基等人的努力,在 1978 年成功研制出国内首台频率域激电仪<sup>[20]</sup>,这一突破性的成果在地球物理勘探领域引起了广泛关注。在此基础上,何继善院士做出了更进一步的创新,他开发了一种新的频谱激电法并相继完成了三频激电仪、五频激电仪和多频激电仪<sup>[21]</sup>。在 2003 年, Fx-1 幅相仪的问世标志着我

国在激电仪领域取得了重要进展,该仪器是国内首台可以测量激发极化绝对相位的激电仪<sup>[22]</sup>,且其采用了“同步谐波分析多周期叠加法”,具备了很强的抗干扰能力,勘探深度可达 100 m~150 m,勘探效率大大提高,这使得勘探人员在实际工作中能够更加高效、全面地分析和解释数据。另外,在 2012 年,我国生产了一款新的电磁法系统—CLEM-V,代表了变频激电仪领域的新突破。该系统具有较高的性能参数,最高电压可达 1 000 V,频率范围为 1/128 Hz~8 000 Hz<sup>[23]</sup>。总体而言,我国时间域激电仪发展好于频谱激电仪,国内频谱激电仪主要以双频激电仪为主,目前国内已有诸多单位展开复电阻率测量系统的研制工作,但系统不完备,特别是高精度全自动的测量系统。

所以,现有的直流激电测量法设备笨重,现场使用不便,频率域激电仪对信号同步要求较高,现场需要采集多个频率下的视复电阻率,同时信号易受电磁耦合影响,抗干扰能力低。

## 2 直流电法并行采集方法

并行电法是一种真正的全通道直流电法数据采集方法,其采集原理见图 1,发射电极供电时,剩余的所有电极测量各自与无穷远的公共参考电极 G 之间的电位差,只需按顺序将每个电极进行一次发射即可完成所有电极发射接收组合的数据测量<sup>[24]</sup>。所以与传统的串行数据采集方式相比,并行采集具有同时性和瞬时性,同时在一次供电序列中,可同时采集时间域内自然场数据,一次场数据和二次场数据,从而进行自然电位、电阻率和极化率参数的计算,其数据采集的方式分为 AM 法和 ABM 法<sup>[25-26]</sup>。具有超高的现场数据采集效率,同时可以采集到海量的数据,以 64 个电极为例,并行电法的采集效率是串行数据采集效率的 1 365 倍。

## 3 激励信号频域分析与算例

### 3.1 直流方波信号的幅值谱及其傅里叶变换

直流电法的供电方式为发射一段周期恒稳的方波,在此供电方波时间段内测量若干个电流和电压,用来计算一次场的视电阻率数据。由于大地阻抗的存在,会导致在供电过程中有一个充电的过程,断电后有一个放电的过程,在此电压上升沿和下降沿的过程中,蕴含着频率信息,目前常用的直流供电信号

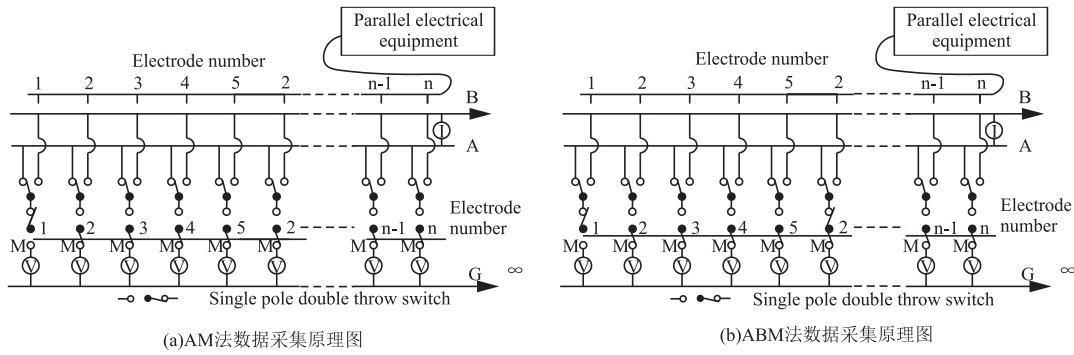


图 1 并行电法数据采集原理图

Fig. 1 Schematic diagram of parallel electrical data acquisition

为单正型方波信号。若供电方波信号的电压为  $U$ , 方波宽度为  $T$ , 则单正矩形方波时间域表达式为<sup>[27]</sup>

$$I(t) = \begin{cases} U & T \leq t \leq 2T \\ 0 & +\infty < t < T \text{ 或 } 2T < t < -\infty \end{cases} \quad (1)$$

通过傅里叶变换, 可得

$$F(\omega) = F[f(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

$$\begin{aligned} I(\omega) &= F[I(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)e^{-j\omega t} dt \\ &= \int_T^{2T} U e^{-j\omega t} dt \\ &= U \frac{e^{-j\omega T} - e^{-j2\omega T}}{j\omega} \end{aligned} \quad (3)$$

简化为:

$$I(\omega) = \frac{U}{\omega} [(\sin\omega T - \sin 2\omega T) + (\cos\omega T - \cos 2\omega T)j] \quad (4)$$

$$\text{令: } a = \frac{U}{\omega} (\sin\omega T - \sin 2\omega T), b = \frac{U}{\omega} (\cos\omega T - \cos 2\omega T)$$

$$\text{则 } |I(\omega)| = \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega} \sqrt{1 - \cos(\omega T)} \quad (5)$$

通过累加的方式, 计算测量获得的原始信号中的不同正弦波信号的振幅、频率和相位, 这样就能够将时间域内测量到的电流和电压数据分解为频域值, 并进一步计算出不同频率对应的复电阻率。

时域信号转换为频域值的具体做法为: ①对恒稳供电时间内的电流信号  $I(t)$  和电压信号  $U(t)$  进行离散采样, 以获得一系列在时间域内的  $I(t)$  和  $U(t)$  测量数据; ②对此离散的电流信号  $I(t)$  和电压信号  $U(t)$  做快速傅里叶变换(FFT), 用以计算其对应的频率域内的  $I(\omega)$  和  $U(\omega)$ , 此时可获得多个频点对应的  $I(\omega)$  和  $U(\omega)$ ; ③计算出不同频率对应的复电阻率  $R(\omega)$ , 进而求得视幅频率  $F(s)$ 。

$$U(\omega) = FFT(u) \quad (6)$$

$$I(\omega) = FFT(I) \quad (7)$$

$$R(\omega) = K \frac{U(\omega)}{I(\omega)} \quad (8)$$

$$F(s) = \frac{R(\omega)_D - R(\omega)_G}{R(\omega)_G} \times 100\% \quad (9)$$

所以, 通过快速傅里叶变换(FFT), 使时域信号变为频域信号, 进而获得视极化率参数, 结合时间域的电导率数据, 可进行一次探测的直流电法多参数工程应用和解释。

在频率域中, 单正矩形方波频谱幅值在其主频位置最大, 其他谐频幅值呈指数衰减, 如图 3 所示。

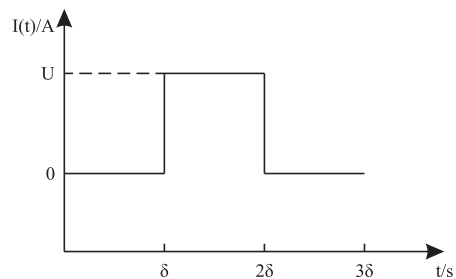


图 2 单正型方波时域图

Fig. 2 Single positive square wave time domain diagram

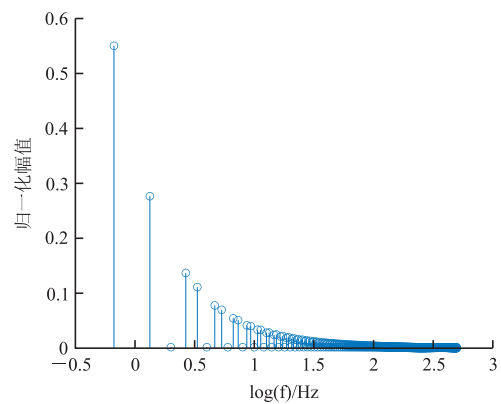


图 3 单正型方波频谱图

Fig. 3 Monophasic square wave spectrum

### 3.2 基于 Simulink 的电路仿真算例

基于 SIMULINK 可视化仿真平台,搭建如图 4 所示的仿真电路模型,电路模型为双 Cole-Cole 模型,激发信号源为单正型方波型激励信号,使用电压表测量模型两端响应电压。

在  $10^{-3}$  Hz~ $10^4$  Hz 频带内,以对数间隔选取 25 个频率作为激发频率,使用电流表(Current Measurement)测量激励信号波形,电压表(Voltage Measurement)测量阻抗网络两端响应电压信号波形,并由示波器元件(Scope)将测量信号记录并输出。将经过离散采样的电流电压信号,通过式 8 进行计算,得到电流电压信号间的幅值比谱。

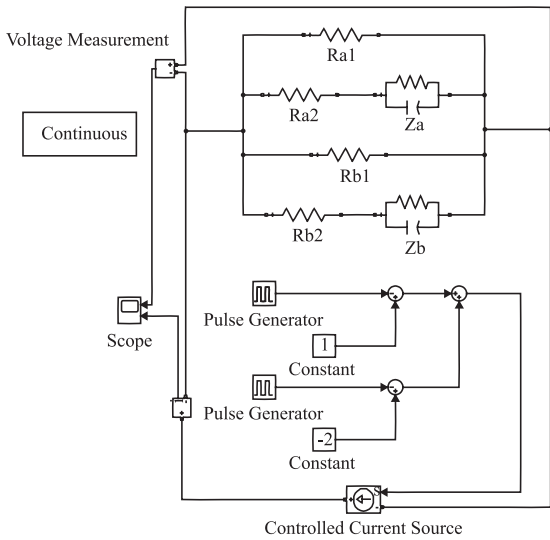


图 4 电路仿真示意图

Fig. 4 Circuit simulation diagram

根据图 5 的仿真结果,得到的阻抗幅值与理论值的平均相对误差为 0.003 7%。证明使用 3.1 的

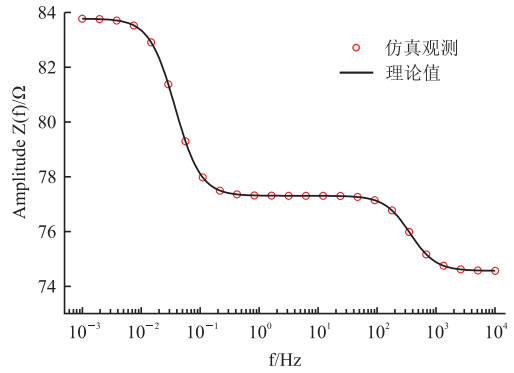


图 5 幅值比谱

Fig. 5 Amplitude ratio spectrum

方法观测阻抗网络的复阻抗信息是准确的。

## 4 应用案例

### 4.1 测区概况

安徽宣城某矿位于宣城市宣州区沈村镇境内,为多年开采的老矿山,2018 年,在矿区工业广场外出现数十个塌陷坑,直径从 1 m~5 m 不等,结合当地地质条件进行分析,推测塌陷区为石炭系黄龙一船山组下部白质云大理岩的岩溶所致,距塌陷区地表深度约 10 m。

### 4.2 测线布置及数据处理

王鹏飞等人<sup>[28]</sup>通过钻探与物探资料综合解释验证了激电测深法在定位含水层位方面的有效性,为验证基于并行直流电法的时域频谱激电法的适用性,在地面施工了一条电法测线,如图 6 所示,测线沿已有塌陷坑的边界布置,距塌陷坑 3 m~5 m 距离不等,共布置 80 个电极,电极间距 2 m,测线长度 158 m,地形坡度平缓,高差约 5 m。

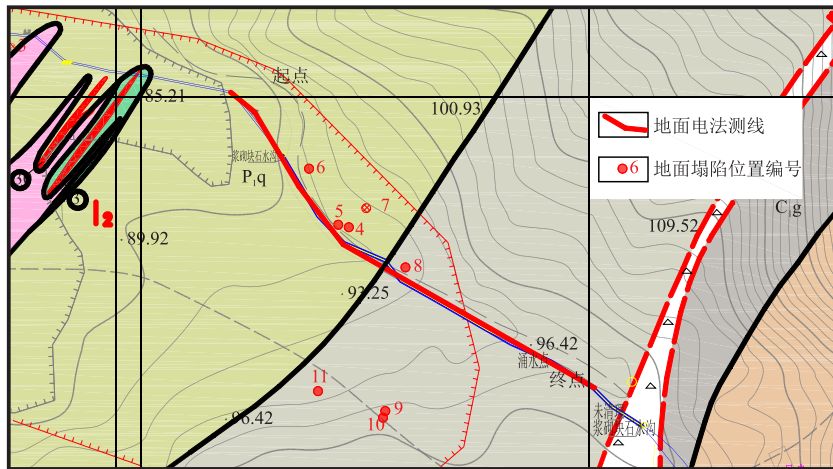


图 6 电法测线布置图

Fig. 6 Layout diagram of electrical survey line

数据采集设备为 HZE11D 并行高密度电法仪,供电电压 48 V,供电恒流时间为 0.2 s,采样间隔时间为 20 ms,数据处理为 WBD2.0 并行电法数据处理平台。经过数据解编预处理和坐标编辑后,对数据进行快速傅里叶变换,得到电流和电压的均值谱,见图 7。

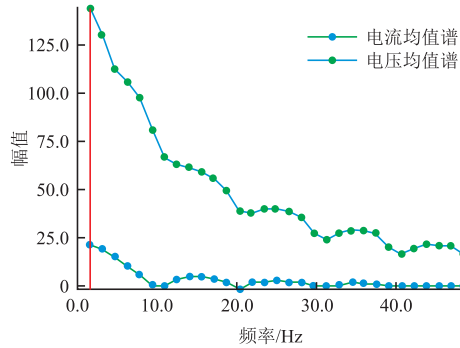


图 7 快速傅里叶变换后的电流和电压均值谱图  
Fig. 7 Average current and voltage spectra after FFT

分别选取 1.56 Hz 和 35.93 Hz 两个频率对应的电流和电压数据进行视电阻率成图,结果见图 8 所示,测线下方浅表 5 m 范围内为相对高阻区,5 m 以下为大理岩层位,在横向 20 m~100 m 范围内有一大范围的低阻区域,推测该区域内大理岩裂隙发育,且矿化度高。通过两个不同频率的电阻率数据进行视极化率数据处理:

$$P_s(f_D, f_G) = \frac{\rho_s(f_D) - \rho_s(f_G)}{\rho_s(f_G)} \times 100\%$$

其中,  $f_D = 1.56$  Hz、 $f_G = 35.93$  Hz,将所得到的视极化率数据经过处理,通过反演软件进行反演成像,并将其与对应勘探线钻探剖面图结合,得到图 9。由图 9 可知,在横向 65 m~85 m,深度 15 m~40 m 范围内有一个大范围的低极化率异常区,推测该区域为裂隙发育区或岩溶,由于 ZK1220 钻孔在 28 m~36 m 深度揭露一岩溶区,进一步验证了该结论的有效性和可靠性。

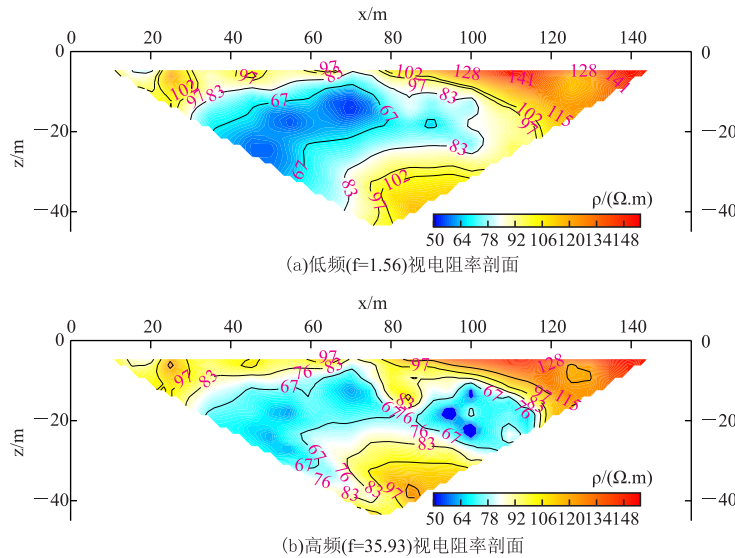


图 8 两个不同频率对应的复电阻率剖面图

Fig. 8 Cross-section of complex resistivity corresponding to two different frequencies

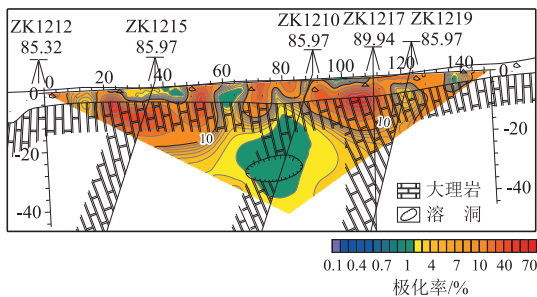


图 9 视极化率反演结果图

Fig. 9 Apparent polarizability inversion results

### 5 结论

利用并行电法仪器进行快速直流电法时域信号的数据采集,同时将直流电法时域方波信号进行快速傅里叶变换,计算频率域的复电阻率值,可以快速方便的获得电阻率和视极化率数据,一次数据采集获得两种电性参数,并且可对得到的视电阻率或视极化率数据进行反演成像,进而进行多参数的综合地球物理解释,方法简单实用,工作效率高,实际工

程应用效果较好,可作为地球物理解释工作中的一种补充勘察参数。

#### 参考文献:

- [1] 刘斌, 聂利超, 李术才, 等. 三维电阻率空间结构约束反演成像方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(11): 2258—2268.  
LIU B, NIE L C, LI S C, et al. 3d electrical resistivity inversion tomography with spatial structural constraint[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(11): 2258—2268. (In Chinese)
- [2] WILKINSON P, CHAMBERS J, UHLEMANN S, et al. Reconstruction of landslide movements by inversion of 4-D electrical resistivity tomography monitoring data[J]. Geophysical Research Letters, 2016, 43(3): 1166—1174.
- [3] 胡祥云, 杨迪坤, 刘少华, 等. 环境与工程地球物理的发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(2): 598—604.  
HU X Y, YANG D K, LIU S H, et al. The developing trends of environmental and engineering geophysics[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(2): 598—604. (In Chinese)
- [7] NTARLAGIANNIS D, DOHERTY R, WILLIAMS K H. Spectral induced polarization signatures of abiogenic FeS precipitation[J]. Geophysics, 2010, 75(4): F127—F133.
- [8] WELLER A, NORDSIEK S, DEBSCHÜTZ W. Estimating permeability of sandstone samples by nuclear magnetic resonance and spectral-induced polarization[J]. Geophysics, 2010, 75(6): E215—E226.
- [9] 苏朱刘, 吴信全, 胡文宝, 等. 复视电阻率(CR)法在油气预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2005, 40(4): 467—471.  
SU Z L, WU X Q, HU W B, et al. Application of complex apparent resistivity (CR) method in prediction of oil/gas[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2005, 40(4): 467—471. (In Chinese)
- [10] 岳建华, 杨海燕, 冉华赓. 矿井电法勘探研究现状与发展趋势[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(1): 259—276.  
YUE J H, YANG H Y, RAN H G. Research status and development trend of mine electrical prospecting[J]. Coal Geology & Exploration, 2023, 51(1): 259—276. (In Chinese)
- [11] ZONGE K L. Recent advances and applications in complex resistivity measurements[J]. Geophysics, 1975, 40(5): 851.
- [12] 许传建, 徐自生, 杨志成, 等. 复电阻率(CR)法探测油气藏的应用效果[J]. 石油地球物理勘探, 2004, 39(增刊 1): 31—35.  
XU C J, XU Z S, YANG Z C, et al. Application effect of complex resistivity (CR) method in oil and gas reservoir exploration[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2004, 39(Suppl 1): 31—35. (In Chinese)
- [13] 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.  
LV 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 of Geophysics, 2019, 62(10): 3629—3664. (In Chinese)
- [14] 罗延钟, 方胜. 视复电阻率频谱的一种近似反演方法[J]. 地球科学, 1986, 11(1): 93—102.  
LUO Y Z, FANG S. An approximate inversion of the apparent complex resistivity spectrum[J]. Earth Science, 1986, 11(1): 93—102. (In Chinese)
- [15] 刘崧, 官善友, 高鹏飞. 求极化椭圆体真 Cole-Cole 参数的联合谱激电反演[J]. 地球物理学报, 1994, 37(增刊 2): 542—551.  
LIU S, GUAN S Y, GAO P F. Joint sip inversion for estimation of intrinsic cole-cole parameters of a polarizable ellipsoid [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1994, 37(Suppl 2): 542—551. (In Chinese)
- [16] 阮百尧, 罗润林. 一种新的复电阻率频谱参数的递推反演方法[J]. 物探化探计算技术, 2003, 25(4): 298—301.  
RUAN B Y, LUO R L. A new recursive inversion method of the complex-resistivity spectrum[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 25(4): 298—301. (In Chinese)
- [17] 徐凯军. 2.5 维复电阻率电磁场正反演研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
XU K J. Forward and inverse research of 2.5-dimensional complex resistivity electromagnetic field [D]. Changchun: Jilin University, 2007. (In Chinese)
- [18] 赵广茂. 带地形的复电阻率 2.5 维电磁场正反演研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.  
ZHAO G M. Forward and inverse study of 2.5-dimensional electromagnetic field with complex resistivity with topography[D]. Changchun: Jilin University, 2009. (In Chinese)
- [19] 葛双超, 邓明, 陈凯. 复电阻率测量方法与模型仿真[J]. 地球科学进展, 2014, 29(11): 1271—1276.  
GE S C, DENG M, CHEN K. Complex resistivity measurement method and model simulation[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(11): 1271—1276. (In Chinese)

- [20] 何继善. 双频激电法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.  
HE J S. Dual-frequency IP method [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006. (In Chinese)
- [21] 何继善. 广域电磁法理论及应用研究的新进展[J]. 物探与化探, 2020, 44(5): 985—990.  
HE J S. New research progress in theory and application of wide field electromagnetic method [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(5): 985—990. (In Chinese)
- [22] 高原. 地质大调查又多新手段[N]. 中国矿业报, 2004.  
GAO Y. There are many new methods for geological survey [N]. China Mining News, 2004. (In Chinese)
- [23] 重庆地质仪器厂. CLEM—V 大功率多功能电磁法系统[J]. 地质装备, 2012, 13(4): 42.  
Chongqing Geological Instrument Factory. CLEM-V high power multifunctional electromagnetic method system in Chongqing geological instrument factory [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2012, 13(4): 42. (In Chinese)
- [24] 刘盛东, 刘静, 戚俊, 等. 矿井并行电法技术体系与新进展[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8): 2336—2345.  
LIU S D, LIU J, QI J, et al. Applied technologies and new advances of parallel electrical method in mining geophysics [J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2336—2345. (In Chinese)
- [25] 周官群, 王亚飞, 陈兴海, 等. 掘进工作面“三角锥”型直流电法超前探测正演研究[J]. 煤炭学报, 2022, 47(8): 3015—3023.  
ZHOU G Q, WANG Y F, CHEN X H, et al. Research on forward modeling of “triangular cone” type direct current method for heading detection [J]. Journal of China Coal Society, 2022, 47(8): 3015—3023. (In Chinese)
- [26] 张以文, 张卫, 邱占林, 等. 综合物探方法在新建水库勘察中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2022, 44(4): 477—482.  
ZHANG Y W, ZHANG W, QIU Z L, et al. Application of integrated geophysical prospecting method in new reservoir investigation [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2022, 44(4): 477—482. (In Chinese)
- [27] 张维鑫. 基于并行电法的复电阻率非线性反演研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020.  
ZHANG W X. Study on nonlinear inversion of complex resistivity based on parallel electrical method [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2020. (In Chinese)
- [28] 王鹏飞, 李勇, 李富, 等. 综合电法勘探在“红层地区”找水中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2019, 41(5): 659—664.  
WANG P F, LI Y, LI F, et al. Application of comprehensive electrical exploration in finding water in “Red Layer” [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 41(5): 659—664. (In Chinese)

## Research and application of multi-frequency IP technology based on parallel DC method

HONG Ganghui<sup>1</sup>, LIANG Xikai<sup>2</sup>, CHEN Xinghai<sup>3</sup>, ZHOU Guanqun<sup>2</sup>,  
WU Xiaoping<sup>3</sup>, WANG Yafei<sup>2</sup>, ZHANG Weixin<sup>2</sup>

(1. China Hydropower Foundation Bureau Co., Ltd., Tianjin 301700, China;

2. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

3. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** Spectrum IP method has the disadvantages of heavy equipment, large power supply, and inconvenient construction in the detection process. Considering the advantages of the parallel direct current method for fast time domain signal acquisition, the time domain signal can be converted into a frequency domain signal through a fast Fourier transform to obtain the spectrum parameters of current and voltage and then calculate the complex resistivity. Combined with the resistivity parameters of the time domain signal, the engineering geophysical interpretation can achieve the advantages of obtaining two parameters in one data acquisition; the method is simple, and the calculation is convenient. The collapse pit of a mine in Xuancheng, Anhui Province, was investigated by using multi-frequency IP technology based on the parallel DC method. An electrical survey line was laid, and the apparent resistivity profile was obtained. The results show that this method has certain advantages and can provide technical support for practical engineering detection.

**Keywords:** parallel DC method; time domain; fast fourier transform; complex resistivity