

·地质与测量·

铁矿探测 EH - 4 的分析与应用

李维群 沙成满 付建飞 孙豁然 陈庆凯
(东北大学)

摘 要 EH - 4 连续电导率成像系统是新一代数字化的电磁法仪器。分析了 EH - 4 观测信号经离散傅里叶变换后,不同频率时长的傅立叶变换不可避免地产生信号频谱泄露。并在分析不同尺度窗口函数的特点及其作用的基础上,结合铁矿探测实践中对信号的分析与处理,用于指导找矿实践,应用表明,用 EH - 4 开展铁矿探测所圈定的地球物理异常可以确定地下矿体的存在和矿体地下延伸状况。

关键词 铁矿 EH - 4 傅立叶变换 视电阻率

Analysis and Application of EH-4 in Iron Deposit Exploration

Li Weiqun Sha Chengman Fu Jianfei Sun Huoran Chen Qingkai
(Northeastern University)

Abstract EH-4 continuous conductivity imaging system is a new generation digitalized electromagnetic-method instrument. The paper analyzes the unavoidable signal spectral leakage due to the Fourier transform of EH-4 observation signals under different frequencies. Meanwhile, based on the analysis of the features and functions of the different scaled windows and in combination with the practical signal analysis and disposal in iron deposit exploration, it was used to guide the ore prospecting practice. The application shows that the geo-physical abnormality detected by EH-4 in iron deposit exploration can be used to determine the existence of the underground ore body and the its underground extension.

Keywords Iron deposit, EH-4, Fourier transform, Apparent resistivity

铁矿探测中各种相应的地球物理手段都发挥了重要作用。作为目前国际上先进的电磁法勘探手段, EH - 4 连续电导率成像仪也得到广泛应用^[1,2]。该系统属于部分可控源与天然场源相结合的一种大地电磁测深系统,能在各种地形上产生电导率连续剖面。但在观测信号的分析与应用方面仍需深入研究。大地电磁测深法是在频率域上研究问题,而大地电磁测深的野外信号采集是在时间域上进行。因此,信号处理的首要任务是把时间域上的测量结果变换为频率域上的信息,要从时间域记录中提取电磁场的频谱信息。在变换过程中,势必会造成频谱泄漏问题,处理的方法是对时间域信号乘以一个窗口函数,以“加窗”的办法来减少频谱泄露的发生。各种窗口函数有其不同的特点和作用。其次,大地电磁测深的野外信息记录,既包含了反映地下介质电性分布的信息,又包含了各种外界电磁信号的干扰和噪声(如无线通讯、临近的高压输电线、汽车等),出现不平稳片段而影响信号质量。不同的地质环境和成矿条件、矿体赋存的地下结构模型也制

约着信号的质量和变化,影响着大地电磁测深结果的解释。本文在分析信号“加窗”变换会抑制频谱泄露的基础上,结合 EH - 4 在铁矿探测中的应用,研究了解释结果与矿体的吻合程度,获得了较满意的地质效果,以用于指导找矿实践。

1 信号的分析与研究

EH - 4 连续电导率成像系统是研究波阻抗的频率响应,观测信号是在时间域上测得,而对信号的解译是在频率域上完成,并根据谱分析结果求取张量阻抗元素。因此,时域信号 $f(t)$ 必须经过傅里叶变换成频率域信号 $F(w)$ 。实际上,观测信号是一个电磁波,可展开成傅里叶级数并进行变换,变换的数学模型有很多,有以主要分析时间序列周期和平稳过程或随机过程的傅氏谱和分析、傅氏暂态分析、统计功率谱分析等^[3,4]。时间序列信号是非周期性和非平稳性的,描述该信号的傅里叶变换公式为

李维群(1959 -),男,东北大学资源与土木工程学院,副教授,110004 辽宁省沈阳市。

$$F(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-wt} dt \quad (1)$$

非周期性和非平稳性信号问题都能用傅里叶变换来处理^[5], EH-4野外观测到的信号都是具有一定时间长度和一定采样时间间隔的数字信号,为了计算 $F(w)$, 必须将(1)式中的积分改为有限积分,然后用求和来逼近积分,因此计算中采用近似的离散有限时长的傅里叶变换。

连续时域信号 $F(x)$ 离散化的信号 $F(k)$ 的离散傅里叶变换定义为

$$F(w) = \sum_{k=0}^n e^{jwk} f(k). \quad (2)$$

由于实际的有限时间长度与整个时间域上的傅里叶变换存在误差,必然造成频谱泄露,使得变换到频率域的信号在某个频点上受到邻域的污染,使信号失真。为解决和降低频谱泄露问题,需要在傅里叶变换时乘以一个窗口函数,称为“加窗”。“加窗”的离散傅里叶变换定义为

$$F(w) = \sum_{k=0}^n e^{jwk} f(k) T_w(k), \quad (3)$$

式(3)中, $w(k)$ 为与连续窗口函数 $w(t)$ ($t \in [0, T]$) 相对应的离散形式。

研究表明^[6], “加窗”后的傅里叶变换对频谱泄露有所改善,降低了频谱泄露,不同的窗口函数各有特点,对频谱泄露的降低程度也不相同,在 10 Hz 单位谐波不同窗口下函数傅里叶变换的频谱图见图 1,反映了频谱泄露的不同情况。影响频谱泄露的因素有取样时域长度、数字取样间隔、谐波频率以及窗口函数。窗口函数有很多类型,如矩形窗、巴特窗、汉宁窗、凯塞窗等,在找矿探测中选用哪种窗口函数以获取高信噪比信号,提高工作效率和质量,提高地

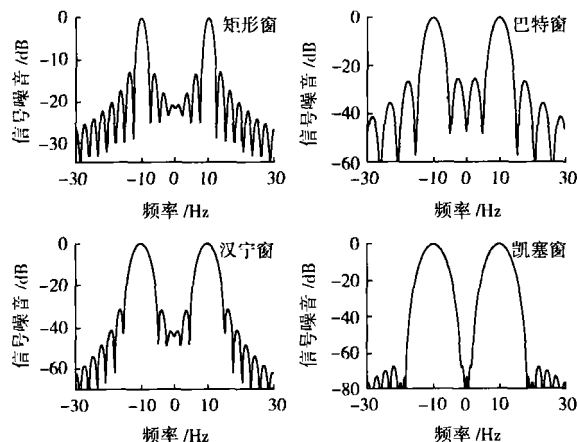


图 1 频率 $f = 10$ Hz 单位谐波不同窗口频率

质解译精度,应根据工作区域的地质环境、成矿条件、矿体特征等加以确定。

2 EH-4探测应用

分析不同窗口函数对频谱泄露所起的作用,考虑它们对于 EH-4 观测信号的影响,有助于评价异常。本次铁矿探测采用 EH-4 系统对山西大地坡铁矿进行了深部探测研究。该矿区位于五台山花岗岩-绿岩地体中。区域内出露的地层以太古界五台群为主。岩性主要以角闪变粒岩、斜长角闪岩、磁铁石英岩组合和黑云变粒岩组合为特征。区域内经受了多次构造运动,褶皱、韧性剪切带、断裂构造发育,基底变质岩形成了形态复杂的构造迭加样式。岩浆岩主要为五台期北台-车厂花岗质岩石,出露于矿区北西侧及南东侧,岩体遭受了韧性剪切作用的改造,空间上呈北东向展布,岩石中片麻理发育,产状与区域片麻理一致,并可见区域性韧性剪切带穿切于其中。多数情况下,岩体与围岩以剪切带相接触,局部可见岩体与围岩呈侵入接触关系。该岩体岩石类型复杂,主要由黑云角闪斜长片麻岩,黑云斜长片麻岩等组成。

2.1 矿区基本地质特征

矿区内出露的岩性以斜长角闪岩、磁铁石英岩组合为主,具有含铁建造(BIF)的基本特点,磁铁石英岩普遍遭受了变形作用的改造,在露头尺度上经常可见其石香肠化或构造透镜体。斜长角闪岩、磁铁石英岩组合中发育有许多超基性岩块,这些超基性岩的主要岩石类型包括辉石岩和角闪岩。它们呈层状、似层状、透镜状成群成带出现,并发生了强烈的构造变形。长英质岩石是一套复杂的 TTG 岩套,也遭受了强构造变形作用或韧性变形作用的改造,片麻理产状与“成层性”的斜长角闪岩、磁铁石英岩组合的片麻理产状协调一致。

矿区东南部见有一条断层,其性质应为角闪岩相逆冲型韧性剪切带。呈北东-南西展布,倾向南东,倾角 75° ,产状与围岩片麻理大体一致。矿体与围岩界线清楚,产状与上、下盘围岩产状基本一致,倾向南东,倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。矿体以层状、似层状、透镜状、扁豆状等形态分布在磁铁石英岩中。现有资料表明,横断层错断,沿走向断续分布,矿体上、下盘均遭受了断裂构造的改造与迭加,特别是下盘断裂的产状变化较大,使矿体厚度发生变化。单层矿体厚度 $1 \sim 10$ m 左右,当相邻单层矿体成层出现时,构成矿层,厚度在 $15 \sim 20$ m 左右,矿层中夹围岩,矿、岩两者产状一致,

见三道岭采坑矿体剖面图 (图 2)。

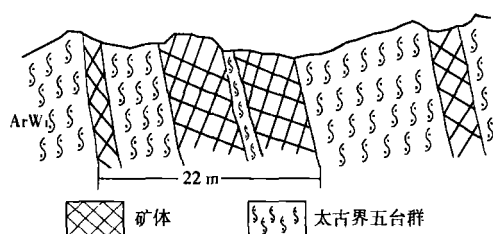


图 2 三道岭采坑矿体剖面

构成矿石的金属矿物占矿石矿物的 32%, 以磁铁矿为主, 其次为镜铁矿、赤铁矿及褐铁矿、菱铁矿, 偶见星散状黄铁矿。其中磁铁矿占金属矿物含量的 80% ~ 85%, 其它占 15% ~ 20%。脉石矿物: 石英 40% ~ 45%, 方解石 20% ~ 25%, 透闪石 10% ~ 15%, 绿泥石 10% ~ 15%, 绢云母 5% ~ 10%, 少量副矿物。矿石结构以中细粒结构为主, 构造有条带状、条纹状和块状 3 种。条带状和条纹状矿石黑白相间, 主要由金属矿物富集黑色条带 (或条纹), 脉石矿物构成白色条带 (或条纹), 细粒块状矿石由磁铁矿和石英组成, 一般品位较高, 矿区较少。

2.2 数据处理及探测结果

野外数据采集是根据现场实际地表情况和矿体基本特征而实施的。采用剖面测量, 测线横切矿体布设, 测点和电极间距均为 20 m。将采集到的数据资料进行实时预处理和后处理。根据现场测量时每个测点给出的视电阻率、相位、相关度及振幅曲线, 进行数据质量的实时分析。对于一些不可靠的数据从曲线中剔除, 然后继续进行测量, 如果整条曲线的数据质量太差, 就立即采取措施, 实施重复测量。在完成整条曲线的连续观测后, 在现场应用 MAGEM 系统中的 EMAP 法 (该法可有效地消除静态效应) 给出模拟的二维反演解释结果的灰度剖面图。后处理是在野外工作结束后即对实时预处理数据进行整理。在计算机上对野外的数据进行相关度、滤波系数、对实序资料文件进行逐个挑选或者剔除等处理。在上述工作的基础上, 将结果用专门的软件进一步作定量的解释及二维反演处理, 进行现实和彩色成图等。解译工作中要全面分析尽量降低影响因素, 突出异常, 达到反映客观地质目标体的目的。

大地坡铁矿 EH - 4 测量结果表明 (图 3), 视电阻率曲线形态和视电阻率数值特征反映的地下电性结构明显, 存在明显的视电阻率低阻异常区, 剖面上 140 ~ 160 m 和 320 ~ 340 m 处对应的地下物探异

常, 从地表浅部至地下 300 m 仍连续, 以低阻带状陡倾斜为特征, 与矿体产状一致。经地表揭露验证, 这两处已见矿体, 表明存在的低阻带状异常为矿致异常。在剖面上 30 m 和 240 m 处对应的地下同样存在窄异常带, 呈低阻, 带状异常明显, 延深大于 150 m, 推测也为矿体 (盲矿体) 所引起。应开展矿体深部的验证工作。

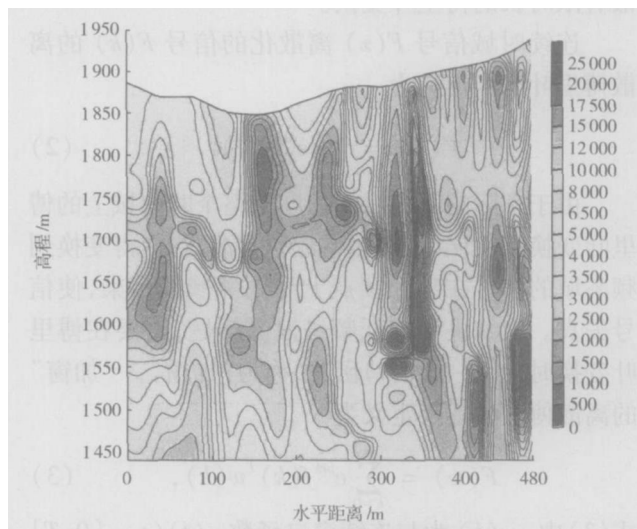


图 3 平安岭 EH - 4 测深剖面

3 结 论

窗口函数降低了频谱泄露, 但对不同成矿地质条件下产生的信号效果将给解译带来哪些影响还需不断总结经验, 本次工作表明, EH - 4 连续电导率成像仪开展铁矿探测所圈定的地球物理异常可以确定地下矿体的存在和矿体地下延伸状况, 提高了矿体控制程度, 为矿山资源评价和工程验证提供了科学依据, 同时, 增强了对矿山开发的指导作用, 对生产优化布局也具有一定意义。

参 考 文 献

- [1] 沈远超, 申 萍, 曾庆栋, 等. 新疆阿尔泰山金矿带主要金矿类型成矿规律及成矿预测 [J]. 地质与勘探, 2004, 40 (5): 1-5.
- [2] 武 毅, 郭建强, 朱庆俊. 宁南深埋岩溶水勘查的物探新技术 [J]. 水文地质工程地质, 2001 (2): 45-48.
- [3] 郭建强, 武 毅, 邵汝君, 等. StratagemTMEH - 4 电导率成像系统简介及应用 [J]. 物探与化探, 1998, 22 (6): 458-464.
- [4] 考夫曼 A A, 凯勒 G V. 大地电磁深探法 [M]. 北京: 地震出版社, 1987.
- [5] 潘文杰. 傅里叶分析及其应用 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- [6] 沙成满, 王恩德, 李维群. 水工勘测中物探观测信号的处理及解译 [J]. 水文地质工程地质, 2004 (6): 90-93.

(收稿日期 2006-04-22)