

119-127

大地电磁测深资料的噪声干扰

P631-325

P631-322

孙洁, 晋光文, 白登海, 梁竞阁, 王立凤

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘 要: 在概述大地电磁场场源的基础上, 阐明了影响大地电磁测深资料的噪声分为场源噪声、地质噪声和人文噪声, 它们分别来自不同的源。研究了各种噪声对大地电磁测深资料的影响特点, 并对几种常见的噪声干扰信号进行了频谱分析。结果表明地质噪声一般影响全频域, 近场干扰主要影响高频的有限频率, 但近处雷电影响高频的较宽频带, 而负荷系统的不稳定则主要影响低频。最后提出了消除或降低各种噪声干扰的可能办法或建议。

关键词: 大地电磁测深; 场源; 噪声干扰; 频谱

磁法勘探

中图分类号: P631.3+25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2000)02-0119-09

大地电磁测深方法, 最初是建立在平面电磁波垂直入射到水平均匀层状介质的理论基础^[1], 也就是说, 大地电磁测深方法的有效性是基于场源为平面电磁波、介质为水平均匀层状介质以及电磁波从场源到介质垂直入射。通常认为空气为绝缘体, 地球为良导体, 地内折射系数极大, 因此向地球内部入射的电磁波, 不论入射角多大, 几乎都能垂直地表向下传播。在此条件下, 场源和介质结构就成为大地电磁测深研究的 2 个基本理论问题, 分别构成它的地质与地球物理基础。

应用大地电磁测深方法, 最直接的研究对象是地球介质的电性结构。从 50 年代初提出大地电磁测深基本理论至今, 还发展了水平非均匀介质的地地电磁测深理论, 为复杂构造地区的大地电磁测深工作提供了科学依据^[2~4]。加之二维正、反演技术的发展, 以及三维模拟计算的进展, 更提高了大地电磁测深方法的理论水平与应用效果^[5,6]。

长期以来, 对场源的平面波假设似有争论, 但是有关这方面的研究都很少受到关注。事实上, 当观测区离场源较远、测区构造的水平非均匀性尺度不是很大, 以及勘探深度并不特别深时, 平面波假设的正确性还是成立的。

近年来, 随着研究程度的深入, 工作地区从平原扩展到山区, 从陆地扩展到水域; 研究内容从壳幔电性分布扩展到油、气与地热资源勘察和地震预报。我们发现各种噪声干扰对大地电磁测深资料的影响日益严重。为提高大地电磁测深资料的质量, 抑制噪声干扰已成当务之急。

做大地电磁野外观测时, 记录中既有地下电性结构信息, 也有场源变化和噪声干扰。为获得地下的真实电性结构, 必须识别并消除噪声干扰, 而噪声干扰与场源关系非常密切, 因此必须研究场源。充分了解场源的组成、性质、状态和变化特征, 有助于认识各种噪声干扰对大地电磁场的影响特点, 从而根据工作任务与目标, 正确设计, 精心施工。只有选择合理的场源模型, 获取高信噪比的记录资料, 然后针对测区环境与噪声干扰特征, 在室内作进一步的资料处理与分析解释, 才能提高结果的精度和可靠性。

收稿日期: 1999-04-27

1 场源

在大地电磁测深中,应用的场源为太阳活动与雷暴活动,其频谱范围从 $10^{-4} \sim 10^4$ Hz^[7,8]。频率低于 1 Hz 的大地电磁场与太阳活动有关,主要受控于太阳的粒子流和电磁辐射。粒子流为一系列的高速带电等离子体,它以 300~800 km/s 的速度射向地球,称为太阳风。当太阳风与地球外层磁场相遇时,不同电性的带电粒子向相反方向偏转,在 2~10 倍地球半径的高度上,围绕地球形成电流。其产生的磁场将使地球磁场磁力线在向阳面被压缩,在背阳面被拉伸,形成非对称的地磁场边界,叫做磁层。另外,可见光、紫外线和红外线组成的太阳辐射以及宇宙线的作用可使 60~1 000 km 高度上的中性分子电离,形成电离层。电离层受太阳活动的加热作用和潮汐效应,产生气压差,形成电离层中的风系,由于地磁场的作用,使这些风系产生电流体系。正是太阳活动与地球磁层和电离层的相互作用,产生磁流体力学波,向地表传播,导致地磁场变化,产生地磁脉动、磁湾和磁暴,进入大地与地球导电介质相互作用,感应出大地电场^[9,10]。

频率高于 1 Hz 的大地电磁场起源于人文干扰和气象活动。人文干扰主要由电力和无线电台的场构成。气象活动中的电磁场则是与雷暴活动相伴随的闪电。强大的闪电电流,将产生静电场变化和丰富的电磁辐射。若观测点距闪电源较远,而电离层对闪电电磁场辐射的影响又可忽略,则闪电所引起的地面垂直大气电场随时间的变化为

$$E(t) = \frac{1}{R^3}M(t - \frac{R}{C}) + \frac{1}{CR^2} \frac{dM(t - R/C)}{dt} + \frac{1}{C^2R} \frac{d^2M(t - R/C)}{dt^2} \quad (1)$$

其中, C 是光速; R 是闪电距离; $M(t - R/C)$ 是闪电距随时间的变化。(1)右边第 1 项为静电场分量;第 2 项为感应场分量;第 3 项为辐射场分量。(1)式表明,闪电引起的地面垂直大气电场随闪电作用的距离而变化,如图 1a 所示。当闪电距离为 4~20 km 时,大气电场以静电场为主,呈近似立方反比关系递减;闪电距离大于 30 km 时,大气电场以辐射分量为主,呈近似一次方反比关系递减;闪电距离为 20~30 km 时,大气电场介于上述 2 种情况之间。

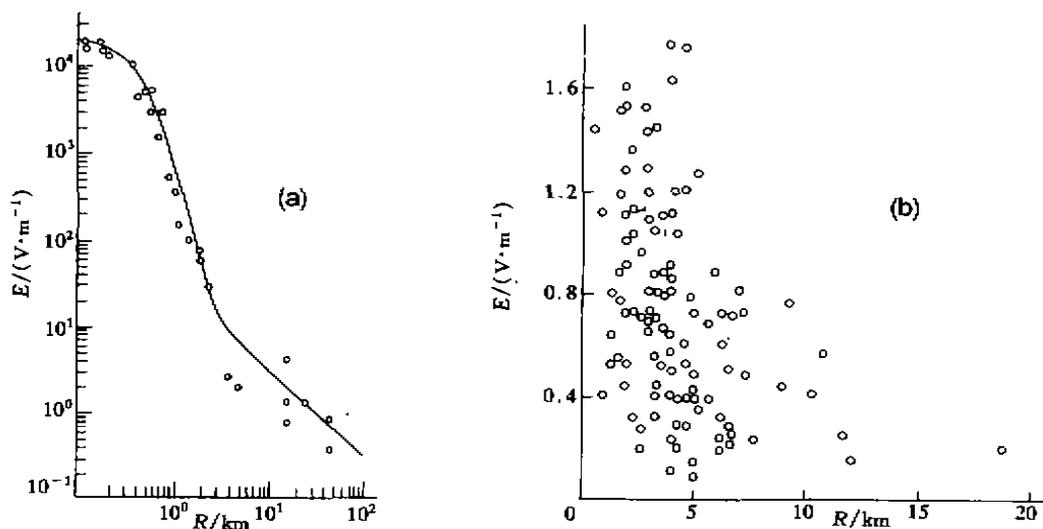


图 1 闪电所引起的地面垂直大气电磁场变化与闪电距离的关系

a—大气电场; b—大气磁场

闪电引起的地面大气磁场随时间的变化,仅由与地面垂直大气电场变化相对应的感应分

量和辐射分量组成。图 1b 表明,离闪电较近时,大气磁场随闪电距离增大而迅速递减;离闪电较远时,大气磁场随闪电距离增大而递减得较为缓慢^[11,12]。

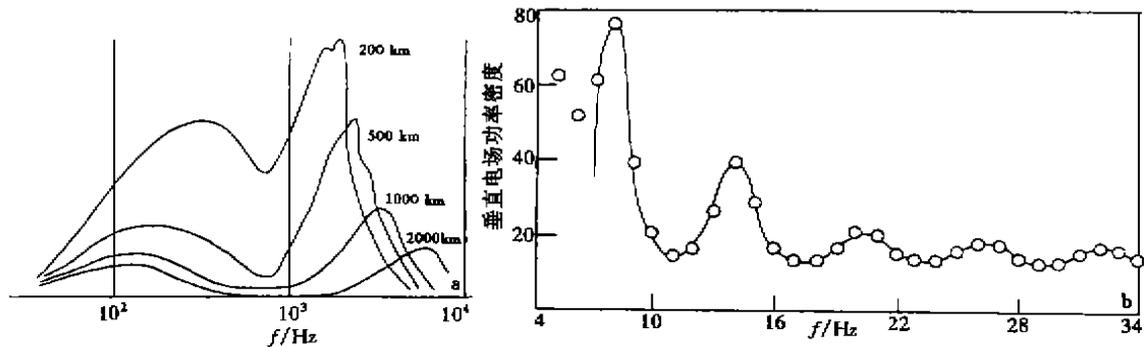


图 2 闪电信号的频谱特征

a—由大气电性活动所造成的电信号的振幅谱与场源距离的关系;b—苏曼谐振腔模式的谐振峰特征

图 2a 为不同距离上闪电信号的频谱。可以看出,闪电信号的频谱随离开闪电距离的增大而衰减,但它们在 40 Hz 处都趋于 1 个共同的低值。在闪电信号的低频谱,即苏曼谐振频率 4, 8, 12, 20, 26 Hz 处,大地电磁信号具有较大的振幅(图 2b)^[8]。

由于太阳活动、等离子体、磁层、电离层与地球磁场相互作用过程的错综复杂性和雷电活动的频繁性,以及观测离场源很远,使大地电磁场具有随机、同源、准谐振与极化多样的特点,为大地电磁测深工作提供了有利条件。也正因为如此,为获得较理想的大地电磁资料,必须进行较长时间的观测。

2 大地电磁资料的噪声干扰

大地电磁资料的噪声分为场源噪声、地质噪声和人文噪声。这些噪声因产生原因不同,对大地电磁测深资料的影响也就千差万别。

场源噪声起源于地球外部的天然电磁场,它的影响主要表现在以下几方面。(1)因场源的随机性,可能会出现某些频率成分缺失或极化特性单一等情况^[13,14];(2)在 1 Hz 左右,大地电磁场信号能量最低,谱值最小;(3)在 3~30 Hz 范围内,雷暴过程中的闪电信号在地球和电离层之间来回多次反射,使大地电磁场具有苏曼谐振特征,某些频率必然为低值;(4)距观测点太近的闪电信号与平面波假设相违背;(5)使用阻抗相位资料做深部电性结构解释。以上几种情况,均会造成阻抗计算值的不真实和不稳定,甚至为飞点。

地质噪声为测区地质因素对地球介质电性的影响形成的噪声,诸如地表附近的局部不均匀体产生的静位移畸变;地势起伏不平产生的地形影响;测区构造异常复杂,很难找到与此构造相适应的资料处理、分析和解释方法,用近似方法与简化模型代替而必然导致的误差等。另外,测区构造的大尺度非均匀性对平面波失效、浅层构造为高阻、用长周期资料探测深部构造致使场源影响加剧,由此产生的噪声均属于场源与地质因素共同形成。

人文噪声源于地球本体的人工电磁场与其它活动产生的噪声,包括电力传输系统、有线广播、电器设备与电信工程中的电磁辐射现象以及车辆运行和风等。这些电磁噪声离观测点很近,为非平面波,不符合大地电磁测深对场源的要求;而且噪声信号能量可以是正常信号的数倍甚至几个数量级,但只集中在少数几个频率(如 50 Hz 或 60 Hz 及其谐波)或某个有限频带。

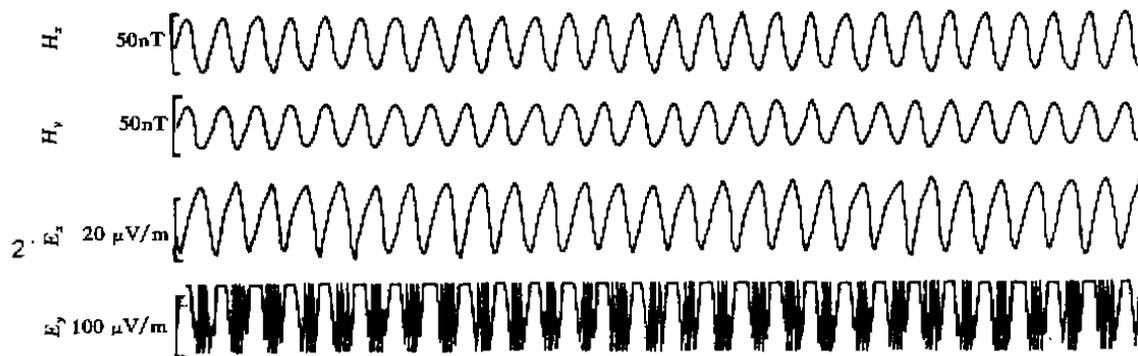


图 3 高压输电线附近 50 Hz 交流噪声干扰

在高压输电线附近,由于干扰信号强,有效信号几乎被淹没,形成似等振幅的 50 Hz 的噪声干扰(图 3)。为便于研究,图中曲线的变化幅度已被压缩。同时,电网电压波动除引起电道零线随之变化外,还会产生新的频率成分;而供电频率不稳形成的包络信号,也是低频噪声干扰源。如果测点靠近电台、雷达、载波电话及有线广播时,在工作期间,伴随声频信号的强弱变化,与原发射频率差频的结果,使频率降低,形成许多包络状的杂乱无章的假信号。另外当大型电器设备突然启动、关闭或负荷突然改变时,电道将产生阶跃信号,在其上升与下降沿,磁道将形成尖脉冲。特别是对两线一地或三线一地式线路流入地下的游散电流噪声,有人估计,电气化铁路运行时的机车电流为 200~700 A,短路时可达 1 000~2 000 A,若流入地下的游散电流按 30% 计算,则可达到 60~200 A,其影响非同一般^[15]。最后,若观测点在公路近旁,汽车驶过时,等效于 1 个大磁铁对观测的快速作用,尤其当磁棒与公路平行时,将使磁场信号发生突变。此外,刮风也会在悬空的导线中感应出电流。

3 几种常见噪声干扰的频谱特性

频谱乃是许多地球物理现象的最基本特征。大地电磁测深方法在时间域做观测,频率域做解释,频谱分析是联系时间域和频率域的桥梁,也是获得频谱的重要手段。用频率依赖关系描述的视电阻率、阻抗相位、主轴方位角和倾角等大地电磁资料与地下电性构造具有非常直接明确的关系;同时许多数学计算,如数字滤波、张量阻抗计算和分析、反演解释等,在频率域比在时间域更容易实施;而且大地电磁场原本是随机的无限时间序列,这种点测量的不同记录很难做对比,而频谱用到整个信号的形态,包含的信息非常多,因此借助于频率这个唯一可供比较的量,可对不同的时间记录做有效地对比。所以在大地电磁测深中,研究一些常见噪声干扰的频谱较之于研究其它特性,意义更为重大。当然为获得频率特性,除了应用谱分析方法之外,还可以应用直接展开成傅氏级数的途径^[16,17]。若噪声干扰信号为 $f(t)$, $t_1 \leq t \leq t_2$, 则

$$\text{频谱: } F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt = \int_{t_1}^{t_2} f(t)e^{-i\omega t} dt = a - ib;$$

$$\text{振幅谱: } |F(\omega)| = \sqrt{a^2 + b^2};$$

$$\text{相位谱: } \Phi(\omega) = \arctan\left(-\frac{b}{a}\right)。$$

下面着重研究几种常见的噪声干扰信号频谱特性。

3.1 尖峰干扰

尖峰干扰属于脉冲型游散电流噪声,可模拟为半个正弦信号,设幅度为 A ,底部宽度为 W ,且在极值两边为对称,则可表示为

$$f(t) = A \sin(\pi/W)t, \quad 0 \leq t \leq W;$$

频谱:
$$F(\omega) = \frac{\pi AW}{\pi^2 - (\omega W)^2} \{[(1 + \cos(\omega W))] - i \sin(\omega W)\};$$

振幅谱:
$$|F(\omega)| = \frac{\pi AW}{\pi^2 - (\omega W)^2} \cos \frac{\omega W}{2};$$

相位谱:
$$\Phi(\omega) = \frac{\omega W}{2}。$$

图 4a 为尖峰干扰信号及其振幅谱。原来单一频率的正弦信号,在频谱中增加了新的频率成分。其振幅谱低频最大,近似为与 A 或 W 有关的常数,高频近似为零。当 W 或 A 很大,振幅谱从低频向高频过滤的过程中,具有一定的正负过冲现象。相位谱与频率成线性关系。

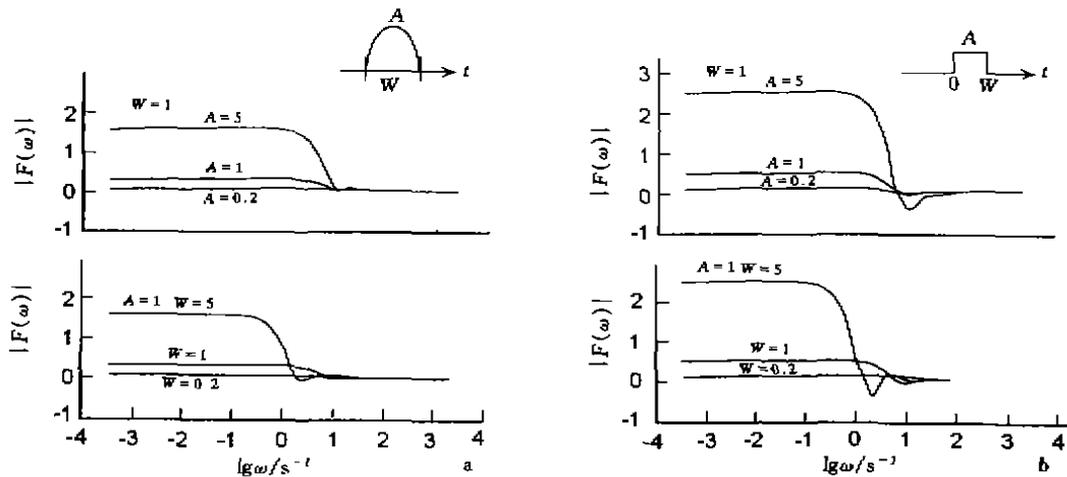


图 4 尖峰与方波干扰及其频谱特征

a—尖峰干扰; b—方波干扰

3.2 方波干扰

时间信号:
$$f(t) = A, \quad 0 \leq t \leq W;$$

频谱:
$$F(\omega) = \frac{A}{\omega} \{ \sin(\omega W) - i[(1 - \cos(\omega W))] \};$$

振幅谱:
$$|F(\omega)| = \frac{A}{\omega} \sin \frac{\omega W}{2};$$

相位谱:
$$\Phi(\omega) = \frac{\omega W}{2}。$$

图 4b 示出方波干扰及其振幅谱。方波相位谱与尖峰的完全相同,振幅谱也与尖峰的类似,只是在从低频向高频过渡时,负向过冲较大,但无正向过冲。

从图 4 看出,尖峰或方波干扰主要影响低频大地电磁资料。当 $\omega > 0.3$ 时,其影响急剧下降。似乎幅度比宽度影响到更高的频率,而且当宽度变窄时,影响范围向高频方向扩展。

3.3 单向漂移

在野外观测中,由于电极极化不稳,使电道零线在单方向上缓慢漂移,形成倾斜变化。设

斜率为 b , 记录时窗为 $W(t)$, 则记录时间序列为

$$f_1(t) = [f(t) + bt] \cdot W(t);$$

频谱为

$$F_1(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * W(\omega) + ib \left[\frac{d\delta(\omega)}{d\omega} * W(\omega) \right] = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * W(\omega) + ib \frac{dW(\omega)}{d\omega};$$

因为窗谱在主瓣贡献最大, 而主瓣中心又在 $\omega = 0$ 处, 所以倾斜变化的影响主要在低频。

这也不难从另一角度去理解, 因为 $bt = 2b \left(\frac{\sin t}{1} - \frac{\sin 2t}{2} + \frac{\sin 3t}{3} - \dots \right)$, 故 $f(t)$ 加上倾斜线, 增加了若干新的频率成分, 将引起 $f(t)$ 的频率混淆, 低频比高频影响更大, 并且 b 愈小, 影响愈小, $b = 0$ 时, 影响完全消失^[17]。

3.4 阶跃干扰

阶跃干扰产生于负荷的突然改变(图 5)。

阶跃函数可表示为

$$f(t) = \begin{cases} A \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sgn} t \right) & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases},$$

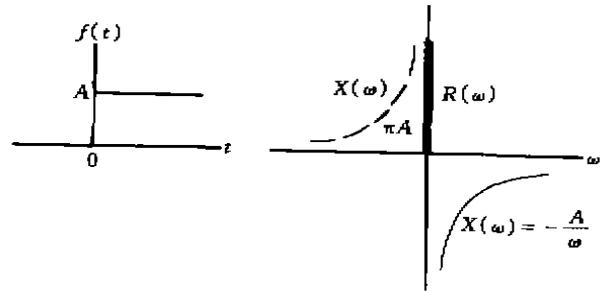


图 5 阶跃信号及其频谱的实、虚部

则

$$F(\omega) = A(\pi\delta(\omega) - i \frac{1}{\omega}) = R(\omega) + iX(\omega)$$

其中, 实部 $R(\omega) = \pi A$; 虚部 $X(\omega) = -\frac{A}{\omega}$ 。

3.5 频率偏移干扰

系统中因为供电频率不稳定, 将产生频率偏移干扰。设 2 个时间序列信号的频率为 ω_1 , ω_2 , 振幅 A , 初相位 φ , 则合成信号

$$f(t) = A \cos(\omega_1 t + \varphi) + A \cos(\omega_2 t + \varphi),$$

利用三角级数公式得

$$f(t) = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \varphi\right)。$$

当 ω_1 与 ω_2 相差很小时, $\omega_1 - \omega_2$ 比 ω_1 或 ω_2 小很多, 因而 $2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right)$ 是一随时间缓慢变化的量, 可视为合成信号的振幅包络。合成信号的频率为 $(\omega_1 + \omega_2)/2 \approx \omega_1 \approx \omega_2$ (图 6)。

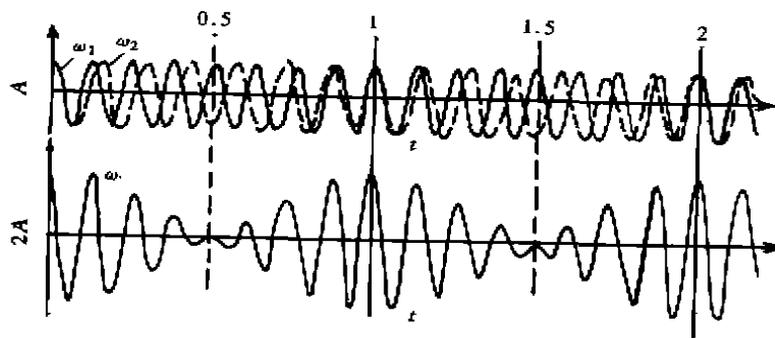


图 6 频率偏移形成的低频干扰

4 简要分析

上述研究表明,各种噪声干扰对大地电磁测深资料的影响,不仅与噪声的类型、强弱以及离观测点的距离有关,而且还与测点下面介质的电性非均匀性尺度有关。

地质噪声主要包括静位移畸变和地形影响,通常是全频域的。静位移畸变产生于地表附近的局部电性不均匀体和局部地形起伏,它们引起视电阻率沿测线急剧变化;而地下区域异常体或地质构造引起的视电阻率沿测线的变化则是平缓渐变的。这样,若设计某种低通滤波器沿测线作空间滤波,则可压制高频静位移畸变^[18],这就是通常所说的 EMAP 方法。地形影响则是由地表的较大尺度地势不平产生的视电阻率的畸变。经地形校正,可得到水平地表之下的电性结构^[19,20]。特别对于偏离二维不甚严重的区域三维电性结构,常造成 TM 极化视电阻率曲线的非正常变化,可利用阻抗张量畸变分解的办法,消除地表附近小尺度三维异常体的影响^[21]。此外,如两电极间存在局部不均匀性,根据大地电流场的强度和地表地质条件,酌情加大电极距,也可消除其影响。

场源噪声自然与场源同源,来自太阳与雷暴活动。小于 1 Hz 的来自太阳活动的噪声,使大地电磁资料在某些频率分散,甚至为飞点,根据资料初步处理结果作受畸变频率的点阻滤波或带阻滤波,然后再作处理^[22],或采用 Robust 处理技术^[23],均可消除或降低此种场源噪声。大于 1 Hz 的近处闪电,不满足大地电磁测深的场源条件,并且能量大,频率成分丰富,使高频资料产生畸变。对付此类噪声的可行的办法至今尚未找到,建议认真选图,避开它们的影响。

人文噪声基本上产生于测点周围的人工电磁系统与环境特征,为近场干扰。系统稳定时,主要影响 50 Hz 或 60 Hz 及其谐波,由于噪声频率已知,可采用点阻滤波加以消除或抑制。当系统负荷变化时,产生的电磁场噪声信号虽然频域宽广,但以低频影响为主。人文噪声是经济和文化发展地区的特有的噪声,一般表现为使视电阻率曲线以近于 45° 上升到非常高的水平而阻抗相位曲线则突然下跌至零,或者使某一段曲线产生畸变。显然电磁噪声是非常复杂且最难克服的噪声。它不仅强度变化大、频域宽、影响形式多样,而且还与测点周围的环境和地质条件有关。当沉积盖层很薄时,常使很大范围深受其害,在这种情况下,精细的野外施工尤为重要。做深部探测时,通过在同一构造部位重新选点,使之远离电磁干扰源;做浅部工作和工程勘探时,避开用电高峰时刻;有时使探测器成适当角度,甚至针对特殊的电磁干扰,改进仪器设计,均可降低其影响。

另外必须指出,噪声干扰总是与有效大地电磁场信号叠加在一起,当选取反映噪声干扰特征最突出的某个有限长度时,可以将噪声干扰信号看作是大地电磁场信号的一个时窗。根据谱与时间信号持续长度的相互制约关系,在时间域中的短促噪声干扰信号,其频谱必定分布在很宽的频率范围内,而且振幅谱与相位谱波动性小,结构很模糊,与大地电磁场相褶积的结果,必然导致大地电磁资料产生畸变,且分辨率降低,因此反映地下电性结构失真。

5 结论

1. 频率低于 1 Hz 的大地电磁场,产生于太阳活动的粒子流和电磁辐射;频率高于 1 Hz 的大地电磁场,则产生于雷暴活动中的闪电电流。

2. 影响大地电磁测深资料的噪声分为场源噪声、地质噪声和人文噪声,它们分别来自不同的源。地质噪声影响全频域;近场干扰主要影响高频的较单一频率成分,但近处雷电影响高频的较宽频带;而负荷系统的不稳定则主要影响低频。

3. 尖峰、方波、阶跃信号、单向偏移与频率漂移等噪声干扰,包含了丰富的频率成分,使大地电磁测深曲线畸变,且分辨率降低。

4. 根据影响大地电磁测深资料的各种噪声类型,采用精细的野外施工、适应特定噪声干扰的预处理措施,严格认真的选图与正确合理的分析解释方法,均可降低噪声影响。

参 考 文 献

- 1 Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting[J]. *Geophysics*, 1953, 18(3): 605~635
- 2 Smith W E, Bostick F X Jr. Method of magnetotelluric analyses[R]. Univ Texas, Elector Geophys Res Lab Tech Rep, 1969, 58
- 3 Word D R, Smith H W, Bostick F X Jr. An investigation of the magnetotelluric tensor impedance[R]. Univ Texas, Electr Geophys Res Lab Tech Rep, 1970, 82
- 4 Vozoff K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins[J]. *Geophysics*, 1972, 37(1): 98~141
- 5 Smith J T, Boober J R. Rapid inversion of two and three-dimensional magnetotelluric data[J]. *Geophys Res*, 1991, 96(B3): 3905~3922
- 6 Pu X H. Three-dimensional numerical modeling of geo-electromagnetic induction phenomena[D]; [Ph D Thesis] University of Victoria, 1994
- 7 考夫曼, 凯勒. 大地电磁测深法[M]. 刘国栋译. 北京: 地震出版社, 1987
- 8 刘国栋, 陈乐寿. 大地电磁测深研究[M]. 北京: 地震出版社, 1984
- 9 曾治权. 日地关系[M]. 北京: 地质出版社, 1989
- 10 陈乐寿, 王光镔. 大地电磁测深法[M]. 北京: 地质出版社, 1990
- 11 孙景群. 大气电学基础[M]. 北京: 气象出版社, 1987
- 12 Keller G V, Frischknecht. Electrical methods in geophysical prospecting[M]. Oxford, Pergamon Press, 1966
- 13 Cantwell T. Detection and analysis of low-frequency magnetotelluric signals[D]; [Ph D Thesis]. MIT: 1960
- 14 Morrison H F, Wombell E, Ward S H. Analyses of earth impedance using magnetotelluric field[J]. *Geophys Res*, 1968, 73(8): 2769~2778
- 15 陈有发, 侯远文, 王玉祥. 电气化铁路对地震台站影响的某些结果[J]. *西北地震学报*, 1993, 15(3): 101~104
- 16 巴特. 地球物理学中的谱分析[M]. 郑治真等译. 北京: 地震出版社, 1978
- 17 郑治真. 波谱分析基础[M]. 北京: 地震出版社, 1983
- 18 罗延钟, 何展翔, 马瑞伍, 等. 可控源音频大地电磁法的静态效应校正[J]. *物探与化探*, 1991, 15(3): 196~202
- 19 晋光文, 孙洁, 王继军. 地形对大地电磁测深资料的影响[J]. *地震地质*, 1997, 19(4): 363~369
- 20 晋光文, 赵国泽, 徐常芳, 等. 二维倾斜地形对大地电磁资料的影响与地形校正[J]. *地震地质*, 1998, 20(4): 454~457
- 21 赵国泽, 汤吉, 刘铁胜, 等. 山西阳高一河北京剖面大地电磁资料的初步分析—阻抗张量分解技术及其应用[J]. *地震地质*, 1996, 18(1): 66~74
- 22 晋光文, 王家映, 王天生. 一种大地电磁张量阻抗的计算方法[J]. *地球物理学报*, 1982, 25(增刊): 650~659
- 23 江钊, 刘国栋, 孙洁, 等. Robust 估计及其在大地电磁资料处理中的初步应用[A]. 见: 电磁方法研究与勘探[C]. 北京: 地震出版社, 1993, 60~69

THE NOISE INTERFERENCE OF MAGNETOTELLURIC SOUNDING DATA

Sun Jie, Jin Guangwen, Bai Denghai, Liang Jing, Wang Lifeng

(Institute of Geology, State Bureau of Seismology, Beijing 100029)

Abstract: On the basis of a discussion on the source of magnetotelluric field, this paper points out that the noises affecting magnetotelluric sounding data can be divided into field source noise, geological noise and human noise, which

are derived from different sources. The authors studied the influences of various sorts of noises upon the magnetotelluric sounding data and made frequency spectrum analysis for several sorts of common noise interferences. The geological noise commonly affects the whole frequency domain, and the near-field interference mainly affects the limited frequency of high frequency. Nevertheless, the nearby thunder and lightning affect relatively wide frequency band of the high frequency, whereas the instability of the load system mainly affects the low frequency. Finally, some suggestions are made concerning the elimination or reduction of various noise interferences.

Key words: magnetotelluric sounding; field source; noise interference; frequency spectrum

第一作者简介: 孙洁,女,1943 年生于上海市,1966 年毕业于华东师范大学地质地理系。现为中国地震局地质研究所研究员,在大地电磁方法、理论、野外观测、数据处理、资料反演及地质解释方面做了大量的探索和研究,发表论文 20 余篇。

(上接 104 页)

can be drawn directly with data calculated from the formula.

Key words: smoking ring theory; empirical inversion formula; sampling delay power exponent; resistivity

作者简介: 蒋邦远,男,1931 年生人,1952 年毕业于南京大学物理系。原为廊坊物化探所电法教研室主任,教授级高工,现任国家 863 计划某项目的顾问。发表论文 30 余篇,译、编书 4 部,获专利 1 项。

* 科技消息 *

新型数控地面测井仪

由西安石油仪器厂研制的新型 SKC9800 数控地面测井仪,近日通过集团公司组织的鉴定。该仪器达国内同类产品的先进水平。

该新型测井地面系统综合了国内外同类设备的特、优点,采用先进的制造工艺,选用最新的奔腾级工控机作主机,WINDOWS98 操作系统作测井平台,测井软件开发上采用可视化开发环境及面向对象的软件设计方法,成功地解决了计算机应用过程中存在的 2000 年问题。

由于 SKC9800 数控测井仪是模块式测井系统,因此,不同种类的测井项目和测井信号所需的信号通道和处理电路相对独立,可在测井过程中显示多种测井数据,从而保证了系统的可靠性。另外在数据采集方面,不仅可完成原 CLS3700 数控测井仪对模拟信号、脉冲信号、声波信号和遥传信号的接收和处理,还增加了双平台操作系统和射孔取心系统,具有地层倾角、碳氧化、岩性密度、自然伽马能谱等特种仪器的测井及射孔取心功能,具有较强的多种配接和组合下井仪器的测井能力。

引自《物化探科技消息》1999 年第 6 期