

第二章 高频大地电磁测深数据采集与预处理

2.1 全球电磁场基本特征

作为大地电磁测深的场源——大地电磁场(又称天然场),具有很宽的频率范围,它主要由太阳风与地球磁层、电离层之间复杂的相互作用,以及雷电活动等这些地球外层空间场源引起的区域性,乃至全球性的天然交变电磁场,不同频率的电磁场相互迭加在一起,是一个非常复杂的电磁振荡。大地电磁场入射到地下时,一部分

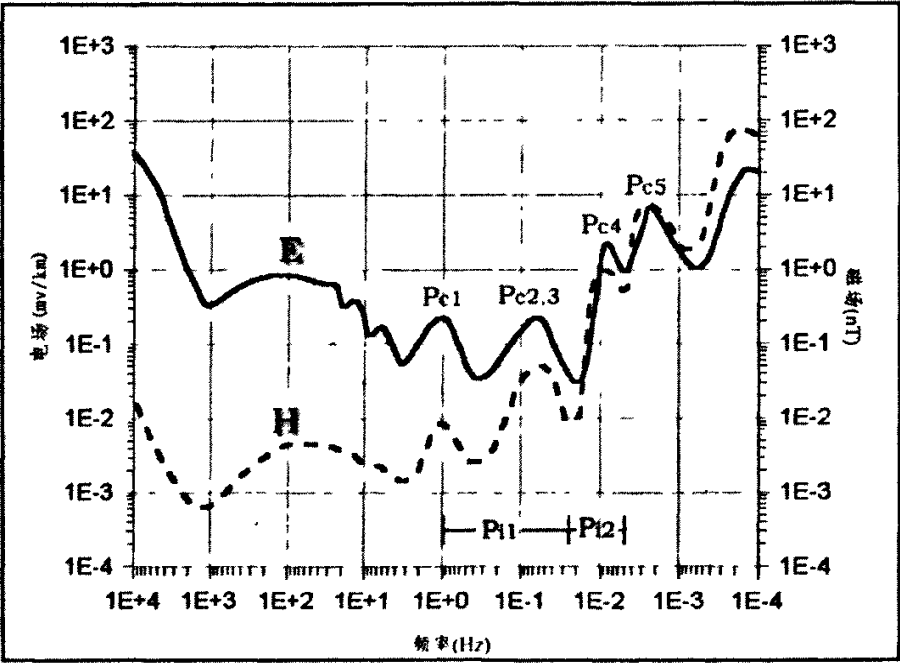


图 2-1 全球电磁场强度平均振幅特征

被介质吸收衰减,一部分反射到地面,它带有反映地下介质电性特征的信息,人们通过观测地表的电、磁场分量,来研究地下地质结构及其分布特征。频率不同的大地电磁场,在激发机制、振幅强度、振动形式及分布特征等也各有特点。

图2-1是一幅反映全球电、磁场强度平均振幅的特征图。它取自1967年Compbell

的研究成果^[18]，到目前为止，凡涉及到天然电磁场的论著、论文，均引用到该图，它堪称是一幅经典图件。但是，任何事件都有共性与特殊性两方面。Compbell 的成果反映的是全球天然电磁场强度平均振幅谱分布的一般规律。

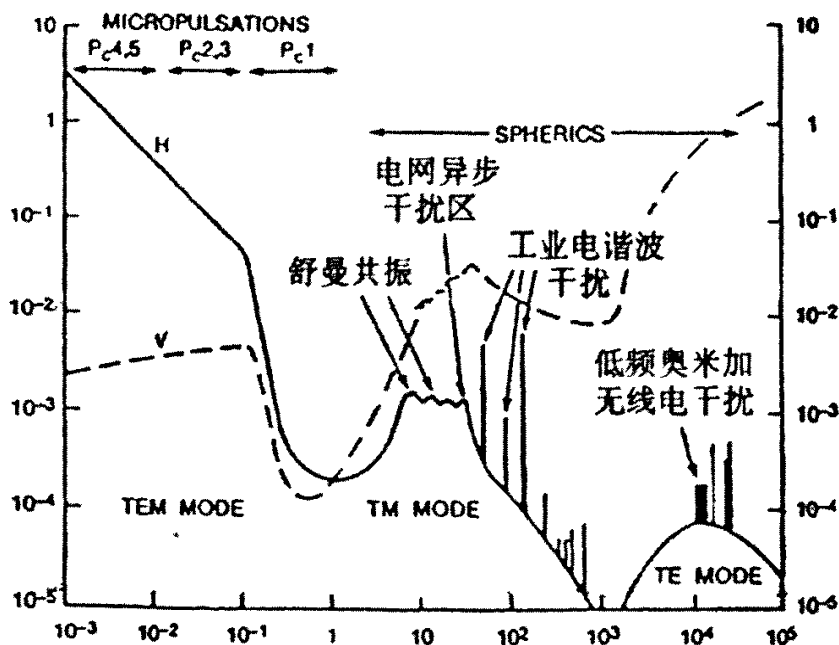


图 2-2 大地电磁频谱特征图

图 2-2 为劳雷公司用户手册中的大地电磁场频谱曲线图，图 2-2 中不仅反映了低频段天然电磁场的分布情况，而且反映了频率高于 1000Hz 的电磁场的分布情况。由图 2-2 可见，电磁场各分量在所对应的频段上，频谱特征趋于一致，而对于较高频率的频谱特征，则有所不同。在 1Hz 左右，无论电场和磁场都是低谷；通常认为 5-0.05Hz 间大地电磁信号极其微弱，使得信噪比较低，高质量的资料相对较难获取，所以称此频段为死频带^[19]。但通过大量的工作发现这种划分太笼统了^[20]，而且电场和磁场频带范围是不同的。电场在 0.56-0.09Hz 信号最弱，所以死频带较窄，而磁场在 4.5-0.3Hz 时，为弱信号段（在 1Hz 左右 pc1 脉动使信号稍微有些增强）。这种较详细的区分电、磁场死带，对识别 MT 资料中误差是由于电干扰引起的，还是由于磁干扰引起的，以便采用相应的措施，是十分有意义的。在几十赫兹到 10KHz 范围内，人文活动的电磁场干扰特别严重。这部分人文活动所产生的信号中，有些是人文干扰信号，在数据处理中随频率增高而增强。也有一部分经过长距离的传播，信号已经到达了波区的远区，且趋向平面波特特性，很有可能成为电磁测深场源的一部分。

总之, 大地电磁测深法所观测的电磁场信号十分微弱, 电场振幅最低仅有 0.01mv/km , 磁场的振幅最低为 10^{-3}nT 。对于如此微弱的信号, 即使在一般的干扰背景上, 会使得微弱的电磁信号淹没在噪声之中, 以至于无法提取真实的大地电磁信息。对此, 一方面要求观测仪器要有很高的精度, 同时如何有效地识别、抑制干扰噪声也是至关重要的。

2.2 EH-4 高频大地电磁测深的数据采集

原始资料的采集是所有物探工作中最为关键的一步, 大地电磁测深工作尤为如此。因此选择一台合适的仪器并配合正确合理的操作是相当重要的, 近年来, 由于仪器灵敏度、抗干扰能力不断增强, 仪器所能记录信号的有效频带不断加宽, 更由于实际生产生活的需要, MT 已经从传统的深部应用中走出来, 越来越被重视地应用于地热、地下水甚至固体金属矿等中浅层次的隐伏资源的定位预测中。由美国以研制大地电磁仪器闻名的 EMI 和以研制高分辨率著名的 Geometrics 公司联合研制的 EH-4, 而是一种全新概念的张量式电导率测量系统, 该系统除具备轻便、性能稳定等基本特点外, 其磁探头具有良好的抗噪能力, 并且接收信号的频带宽度大。这为开展小尺度、高密度、中浅层(深度 $<3000\text{m}$)隐伏资源探测提供了有力的保证。

野外测量方法是在测点上记录互相垂直的两个水平电场和两个水平磁场的时间系列。电导率成像系统由发射系统、接收系统和控制系统三大部分组成。其中发射系统主要由发射天线、发射机和控制开关组成; 接收系统主要由前置放大器(AFE)、电磁传感器及附属设备组成; 控制系统主要由主机及系统软件组成, 系统软件有数据采集控制和资料处理两大功能。工作流程见图2-3。

野外测量尽量避免周围环境中的不利因素对测量的影响。首先, 避免人工电场的影响, 在无法避免的情况下, 适当减少信号的增益, 避免信号溢出, 同时适当延长测量时间和增加叠加次数。其次, 当风动影响较大时, 将接收装置的电缆、探头等用土埋压, 以保证信号不受干扰。再次, 每一个测点要保证各个电极接地良好。

2.3 高频大地电磁测深仪器的稳定性

原始数据的采集的质量是所有物探工作中最为关键的一步, 在没有可靠的原始数据保证的前提下去追求定量反演的精度是没有多大意义的。而仪器的稳定性又是

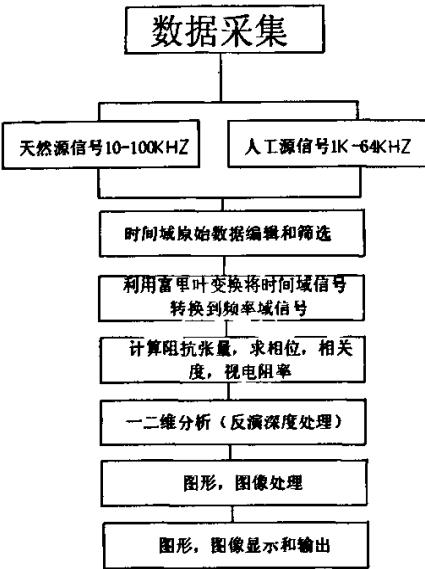


图 2-3 EH-4 电导率成像系统工作流程图

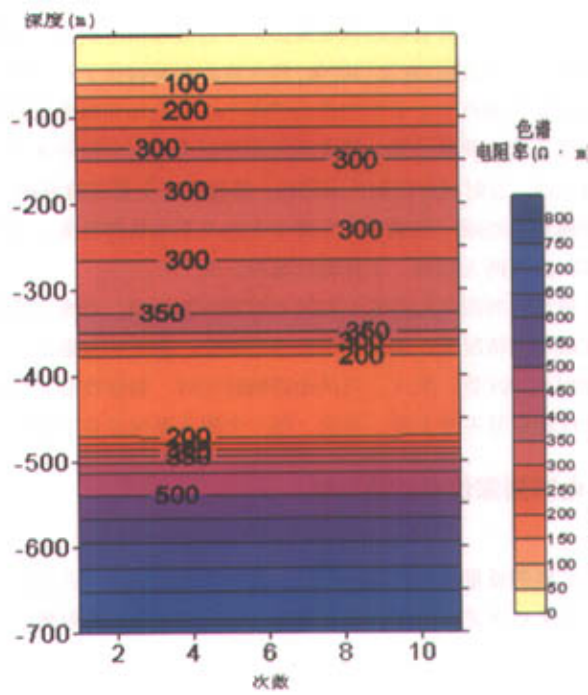


图 2-4 河南某铝土矿区 A 号测点多次连续测量视电阻率二维反演结果图

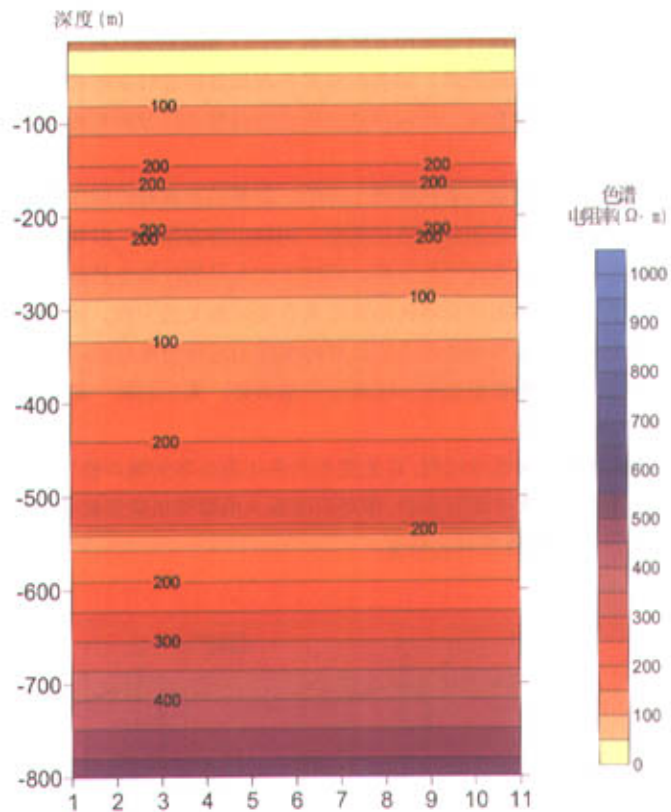


图2-5 河南某铝土矿区B号测点多次连续测量视电阻率二维反演结果图

数据可靠性的基础，是取得良好勘探结果的必要条件。图2-4及图2-5是仪器分别在河南渑池县某铝土矿区试验A点及试验B点连续测量11次的反演结果，由图2-4可以看出同一测点上，不同时间的11观测数据的反演结果的一致性相当吻合，说明观测数据是可靠的，仪器稳定性相当好。

2.4 高频大地电磁测深数据的预处理

时间序列(Time-series)是大地电磁测深中存储在地表采集到的场信号的一种方式。处理大地电磁测深时间序列资料的目的就是把时间域的场函数通过实施傅立

叶变换成功率密度谱或复振谱，进而达到求取传输函数及其它相关参数的目的。目前主要应用的傅立叶变换有快速傅立叶变换（FFT）和实时傅立叶变换，前者用于在取得完整数据后离线精细处理，后者可对野外观测数据进行实时处理，对野外初步估计勘测数据质量十分有用。时间序列分析包括对噪音的分析和标识以及传输函数的求取。

在大地电磁测深的室内数据处理工作中，需要的步骤对时间序列进行编辑，即对时间序列中每一次的迭加信号进行判别，识别出噪音信号，以便在进一步处理中将其剔除。这是一项十分耗时的工作，同时工作人员的经验也是影响最x重要因素。因此将时间序列的编辑工作自动化是非常具有实际意义的工作。针对原始序列中存在的不同噪音，人们最早的处理方式是对时间序列进行信噪标识，在此基础上又提出了对不同噪音形式的数据处理方法求取传输函数，典型的如：最小二乘法、远参考道法、Robust方法等。

Robust处理是一种统计过程，它先把不具备正态分布的噪声检测出来，根据观测误差的剩余功率谱的大小进行加权，即对误差棒大的那些值降低权重，使之对传输函数的影响最小，从而改善资料的精度。

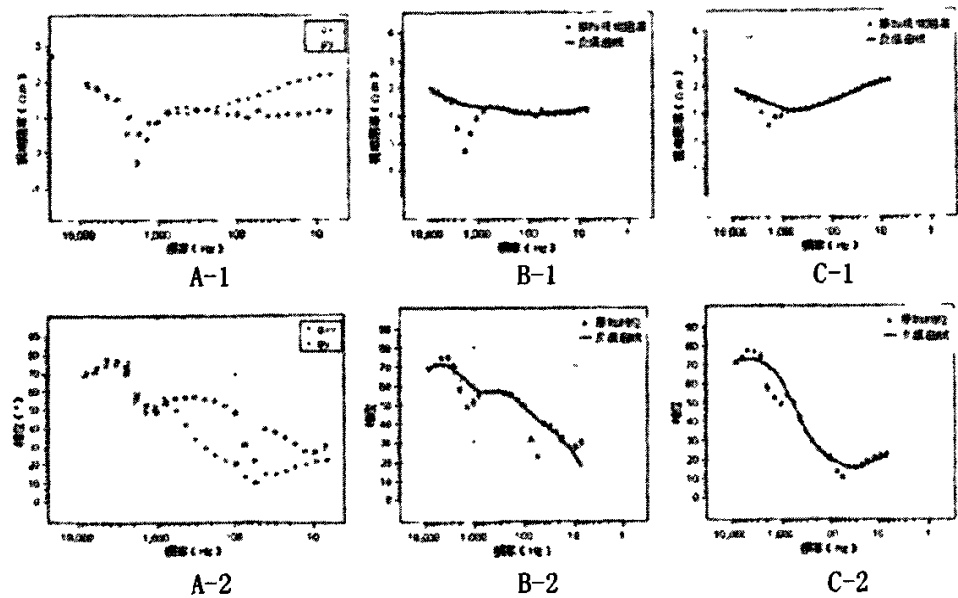


图2-6 大地电磁测深曲线Robust处理结果图

图A-1为原始数据常规处理结果，A-2为Robust原始数据处理结果，图B为xy方向视电阻率及相位和Robust处理结果，图C为yx方向视电阻率及相位和Robust处理结

果。显然, 经过Robust处理, 受干扰影响而分散零乱的中低频段得到改善^[21]。