

MT 法中利用阻抗相位资料对畸变视电阻率曲线的校正

杨 生^{1,2}, 鲍光淑¹, 张少云³

(1. 中南大学, 长沙 410083; 2. 北京矿产地质研究所, 北京 100012;

3. 华东有色地质勘查局八一四队, 镇江 212005)

[摘 要]从理论上论证了在一定条件下大地电磁响应中的相位资料将不受随机电磁噪声的影响, 介绍了由相位资料递推计算视电阻率的方法, 通过与远参考资料的比较, 证明利用阻抗相位资料可分段恢复校正畸变的实测视电阻率数据。

[关键词]电磁噪声 Robust 方法 趋势分析 远参考 相位视电阻率

[中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2001)06-0042-04

0 引言

大地电磁测深法中, 由于各种电磁噪声的存在, 不可避免地使实测资料带一定的误差, 严重时使曲线形态发生变化, 给后续的定量解释带来困难。在数据处理方面, 目前广泛应用的 Robust 方法^[1]在抑制电磁噪声方面具有明显的优越性, 但它只能有效地压制张量阻抗关系式中输出端的噪声, 而对输入端的噪声无能为力^[2], 所以凡从事 MT 处理解释的人员都面临着一个资料编辑与圆滑的问题。不论是人机联作的编辑还是计算机自动圆滑(如三次样条插值), 其本质都是一种趋势分析方法, 当由于干扰严重, 某一频段形态失真时, 仅靠视电阻率本身形态的趋势分析则失去了依据。对此本文提出了利用相位资料对视电阻率进行编辑圆滑的方法。

1 随机噪声对不同参考方式阻抗振幅及相位资料的影响

在 MT 法中, 以测点本身的磁场分量或电场分量作为参考信号时, 所计算出的阻抗分别称为本站(Local)磁参考阻抗 Z^H 和本站电参考阻抗 Z^E , 而以一定距离以外的电磁场为参考信号时, 所计算出的阻抗称为远参考阻抗 Z^R , 在电性主轴上 3 种阻抗可表示为:(仅以 Z_{xy} 为例)

$$Z_{xy}^H = \frac{\langle E_x H_y^* \rangle}{\langle H_y H_y^* \rangle} \quad (1)$$

$$Z_{xy}^E = \frac{\langle E_x E_x^* \rangle}{\langle H_y E_x^* \rangle} \quad (2)$$

$$Z_{xy}^R = \frac{\langle E_x R_y^* \rangle}{\langle H_y R_y^* \rangle} \quad (3)$$

其中: * 表示共轭复数, $\langle \rangle$ 表示功率谱平均值。

当有电磁噪声时, 可将实测电磁场表示为信号和噪声之和。

$$E_x = E_{xs} + E_{xn}$$

$$H_y = H_{ys} + H_{yn}$$

$$R_y = R_{ys} + R_{yn}$$

下标 s, n 分别表示信号和噪声, 在参加平均的数据量足够大且电磁噪声不相关时式(1)~(3)写为:

$$\begin{aligned} Z_{xy}^H &= \frac{\langle E_{xs} H_{ys}^* \rangle}{\langle H_{ys} H_{ys}^* \rangle + \langle H_{yn} H_{yn}^* \rangle} \\ &= Z_{xys} \left(1 + \frac{\langle H_{yn} H_{yn}^* \rangle}{\langle H_{ys} H_{ys}^* \rangle} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z_{xy}^E &= \frac{\langle E_{xs} E_x^* \rangle + \langle E_{xn} E_{xn}^* \rangle}{\langle H_{ys} E_{xs}^* \rangle} \\ &= Z_{xys} \left(1 + \frac{\langle E_{xn} E_{xn}^* \rangle}{\langle E_{xs} E_{xs}^* \rangle} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

$$Z_{xy}^R = \frac{\langle E_{xs} R_{ys}^* \rangle}{\langle H_{ys} R_{ys}^* \rangle} = Z_{xys} \quad (6)$$

其中: Z_{xys} 为无偏阻抗

由式(4)~(6)不难看出, 在有干扰噪声存在时, 由于自功率谱项的存在, 使得 Z_{xy}^H 的振幅比其真值偏低, Z_{xy}^E 的振幅比其真值偏高, 而 Z_{xy}^R 不受噪声影响。

但对相位而言, (4)式与(5)式中, 信号的自功率谱平均值和噪声的自功率谱平均值均为实数, 相位为 0, 所以 Z_{xy}^H 、 Z_{xy}^E 和 Z_{xys} 的相位是一致的, 换言之, 在电性主轴上不同参考方式阻抗的相位均不受电磁噪声的影响。这一结论使我们认识到相位资料具有

[收稿日期]2001-06-20; [修订日期]2001-08-01; [责任编辑]曲丽莉。

很重要的利用价值。

2 由阻抗相位计算视电阻率的递推公式

大地电磁响应的振幅和相位并不是独立的,在一维条件下阻抗振幅与相位之间的关系可由希尔伯特转换公式给出^[5]:

$$(f) = \frac{1}{\pi} \int \frac{\log |Z(g)|}{f-g} dg \quad (7)$$

由此求得近似公式:

$$\left(\frac{d}{d \log a}\right) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{d \log a}{d \log a}\right) \quad (8)$$

$$\text{则 } \frac{d \log a}{d \log} = 4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1 \quad (9)$$

上式给出了视电阻率幅值和相位的关系,虽然是在一维条件下推出的,但根据大量实测数据的分析,在非一维条件下也基本保持了上述关系。

以差分形式取代(5)式中的微分,并推得

$$\log \frac{a(i+1)}{a(i)} = \left[4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1 \right] \log \frac{i+1}{i} \quad (10)$$

则由相位计算视电阻率的递推公式为:

$$a_p(i) = a_p(i-1) \left(\frac{i}{i-1} \right)^{4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1} \quad (i = 2, 3, \dots, n, \quad i+1 < i) \quad (11)$$

或

$$a_p(i) = a_p(i+1) \left(\frac{i}{i+1} \right)^{4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1} \quad (i = n-1, n-2, \dots, 1, \quad i+1 < i) \quad (12)$$

式(11)和式(12)分别给出了由高频向低频和由低频向高频递推的计算公式,为了与由振幅计算出的视电阻率 (a) 加以区别,我们称为相位视电阻率。

式(11)和式(12)的初始值可由实测视电阻率给出,但应选择在离差较小、曲线形态正确的频段内,则完整的递推公式写为:

$$a_p(i) = \begin{cases} a_p(i) & i = m \\ a_p(i-1) \left(\frac{i}{i-1} \right)^{4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1} & i = m+1, m+2, \dots, N \\ a_p(i+1) \left(\frac{i}{i+1} \right)^{4 \left(\frac{d}{d \log a}\right) - 1} & i = m-1, m-2, \dots, 1 \end{cases} \quad (13)$$

3 不同参考方式视电阻率与相位视电阻率的比较

图1~3为同一测点3种不同参考方式的视电阻率 a_p 、相位 ϕ 及由相位资料计算出的视电阻率曲线 $a_{p,p}$ 在观测数据中有噪声存在时,3种不同参考方式的视电阻率资料在信噪比较小的频段相差较大,由式(6)知,远参考方式对干扰的抑制能力最强,其结果所反映的应是测点本身真实的大地电磁响应(图1a),本站磁参考方式的视电阻率在高频和1Hz~0.1Hz间的曲线比真值偏低(图2a),而本站电参考方式的视电阻率在10Hz~0.05Hz间的曲线比真值偏高很多,曲线失去形态(图3a),但3种方式的相位资料具有很好的一致性(图1b、图2b、图3b),不论是哪种参考方式,由其计算出的视电阻率曲线和远参考方式的视电阻率资料形态一致。实际资料证明电磁干扰对阻抗相位的影响比对阻抗振幅的影响小的多。

4 利用阻抗相位资料对畸变视电阻率曲线的校正

由式(7)可知阻抗相位资料实际上是阻抗振幅资料取对数的加权平均,由相位推算出的视电阻率可能会丢失一些细微变化,同时由相位计算视电阻率采用的是递推算法,前一频点的误差会累加到后

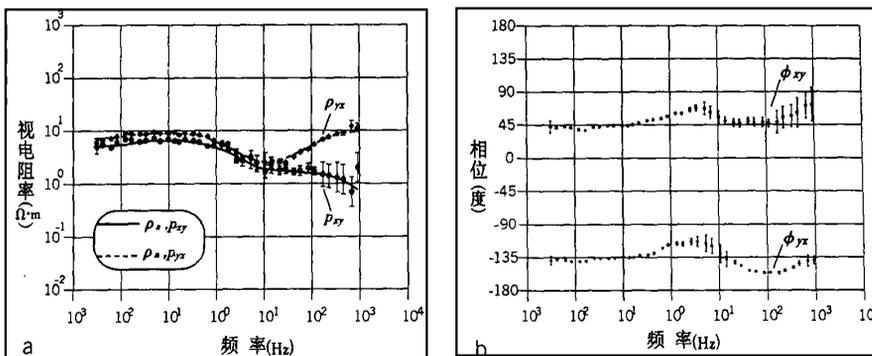


图1 N63-286测点远参考方式视电阻率、相位及由相位计算的视电阻率曲线对比图
a—视电阻率资料;b—相位资料

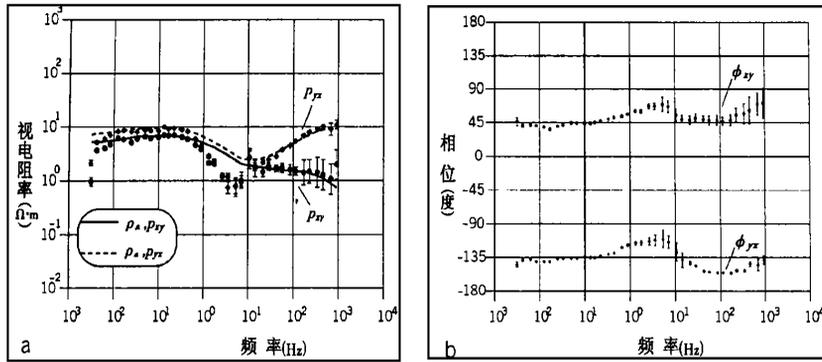


图2 N63 - 286 测点本站磁参考方式视电阻率、相位及由相位计算的视电阻率曲线对比图

a—视电阻率资料;b—相位资料

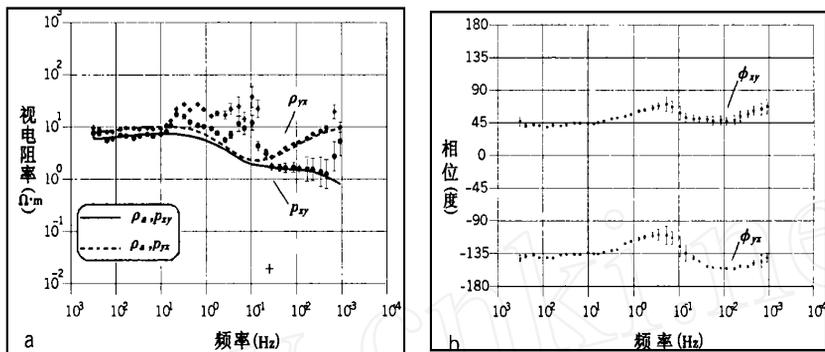


图3 N63 - 286 测点本站电参考方式视电阻率、相位及由相位计算的视电阻率曲线对比图

a—视电阻率资料;b—相位资料

一频点上,所以我们并不建议在全频域用相位视电阻率取代实测视电阻率。但是在某些频段实测视电阻率由于电磁干扰严重畸变时,选择实测视电阻率畸变段两侧的正常频点的视电阻率数据作为式(13)的初始值,由相位计算出畸变段的视电阻率,相当于在两正常点间搭起一个桥梁,对实测视电阻率进行编辑圆滑,以恢复测点大地电磁响应的本来面貌。

4.1 对高频视电阻率资料的校正

广播电台、空中和海上导航台、铁路、电话线、动力线的开关和控制信号、油气田管网等等构成最普遍的电磁干扰。这些干扰源的电磁噪声主要影响大地电磁测深的高频资料^[4](约100Hz以上),加之有用的天然信号在高频段出现强烈衰减^[3],所以在相同叠加次数的条件下,高频资料分散度(离差)要大的多。普遍的规律是在本站磁参考方式时,实测视电阻率出现“下掉”现象,(图2a),但从大量的野外数据中发现,高频段的相位资料品质很高(图2b),这与我们的理论分析是一致的。图2a中的实线和虚线是由相位资料计算出的两条视电阻率曲线,在资料处理过程中应将实测视电阻率数据编辑归位到该曲线上。

4.2 1Hz~0.1Hz 频带间视电阻率资料的校正

大地电磁天然信号的另一个弱信号区在1Hz~0.1Hz频带间,磁场振幅一般只有 10^{-3} nT,有时甚至更低,使得实测资料的性噪比和电、磁场相关性都很小,实测视电阻率曲线常常出现“下凹”现象(本站磁参考方式),如图2a。特别是实际的地质构造恰好在该频段呈现低阻特征时,极小值是真实的大地电磁响应特征,还是干扰所造成的,使数据处理人员相当棘手,处理不当会造成错误的解释结果。借助相位资料是解决这一问题的有效方法。不可否认该频段的相位资料相对离差也较大,个别频率的数据有时蹦跳,但其变化趋势是明朗的,编辑相位资料的依据比编辑视电阻率的依据充分的多。

4.3 指示视电阻率曲线尾支变化趋势

实测视电阻率曲线中往往最后几个频点(低频)的数据离差较大,甚至难以确定曲线变化趋势。为了改善低频资料质量,我们曾进行了不同远参考距的试验研究工作,在参考距达2000km时,不仅低频资料仍然没有得到改善,反而损失了高频资料(有用信号出现不相关)。由此可见决定低频资料质量好

坏的关键是叠加次数,在相同叠加次数的条件下,低频数据的离散度明显小于高频的。

对于相位资料,由于信号道的随机噪声使阻抗的实部和虚部均发生同向偏移,但作为两者之比的阻抗相位则可大大降低随机噪声的影响^[5]。同时在相同频率的情况下,相位资料反映了更深的地电信息,所以在实测视电阻率曲线的尾支零乱时,可借助相位资料确定其变化趋势(图1~3)。

5 结语

由于相位资料受随机干扰的影响比实测视电阻率小得多,在某些频点实测视电阻率曲线失去形态时,相位资料则仍能保持正确的变化趋势。所以可利用相位资料对畸变的视电阻率曲线进行恢复校正。

不可否认在干扰严重时,个别频点的相位资料也会发生蹦跳,偏离曲线正常变化轨迹,但对相位资料的编辑比直接编辑视电阻率数据容易的多。

由于叠加次数的有限性,试验证明远参考道方式也难以改善低频资料的品质,但利用相位资料可以较好地恢复出低频视电阻率曲线的变化趋势。

[参考文献]

- [1] Sutarno D, Vozoff K. Robust M - estimation of magnetotelluric impedance tensors[J], Expl. Geophys, 1989, 22: 382 ~ 398.
- [2] 王家映. 我国大地电磁测深研究新进展[J], 地球物理学报, 1997, 40(增刊): 206 ~ 216.
- [3] 陈乐寿, 王光镔. 大地电磁测深法[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [4] 何继善. 可控源音频大地电磁法[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1990.
- [5] 晋光文. 大地电磁阻抗相位资料的特点和应用[J]. 地震地质, 1988, 10(4): 159 ~ 168.

THE CORRECTION TO ABERRANT APPEARANCE RESISTIVITY CURVE BY USING IMPEDANCE PHASE DATA IN MAGNETOTELLURIC METHOD

YANG Sheng, BAO Guang - shu, ZHANG Shao - yun

Abstract: It is proved in this paper that the phase data of electromagnetism responding under certain condition is not affected by the stochastic electromagnetism noise in theory. A method to computing the appearance resistivity by using phase data is also introduced. Compared with the remote reference data, it is demonstrated that the aberrant - field measured appearance resistivity data can be partly recovered and corrected by using the phase data.

Key words: Electromagnetism noise, robust method, trend analysis, remote reference, phase appearance resistivity



[第一作者简介]

杨生(1959年-),男,中国地球物理学会理事,现就读于中南大学博士。主要从事电法勘探,特别是大地电磁测深法的理论研究及应用。

通讯地址:北京丰台区方庄芳城园一区10号楼乙门1405 邮政编码:100078

《地质通报》(月刊)征订征稿启事

《地质通报》是国土资源部主管、中国地质调查局主办的地质学综合性通报类学术刊物,以推动地质调查与地质科技创新发展,为国民经济建设和社会公众服务为宗旨,力求全面展示和及时报道地质大调查全新领域——基础地质调查、矿产资源调查评价、灾害预警工程、技术发展工程、数字国土,以及相关地质科学领域的新进展、新成果、新发现、新方法;辟有“专题报告”、“基础地质调查”、“矿产资源评价”、“水文地质·环境地质”、“方法与应用”、“地调快报”、“综述与进展”、“学术讨论”、“知识经纬”、“动态·信息”等栏目,内容涉及基础地质、经济地质、海洋地质、能源地质、生态环境地质、灾害地质、城市地质、农业地质、勘查地球物理、勘查地球化学、地质调查信息、地质科技管理等专业领域;刊物特色:着力突出报道的时效性与动态性,更注重成果的原

创性与前瞻性;报道简洁、精练,取材广泛、严谨,信息量大,刊期短。读者对象:从事地质调查、地质科学研究的科研、教学、生产人员,也包括对地质学及其边缘学科感兴趣的广大工程技术、管理人员。

《地质通报》(月刊)大16开,每期48页,月中15日出版。每本定价8元,全年96元。国内统一刊号:CN11-4648/P,国际标准刊号:ISSN1671-2552。国内外公开发行,国内邮发代号:2-767,全国各地邮局均可订阅。

《地质通报》编辑部地址:

北京市海淀区学院路31号中国地质调查局发展研究中心《地质通报》编辑部

联系电话:(010)82329417

传真:(010)82329008

邮政编码:100083 电子信箱:dzhtb@263.net