

电偶源频率电磁测深视电阻率多 参量联合反演效果检验^{*}

陈军营, 林长佑, 王书明, 杨长福

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 通过大量的数值模拟试验, 对电偶源频率电磁测深(FEMS)视电阻率多参量联合反演的效果进行了检验和对比. 结果表明, 多参量联合反演具有较快的收敛速度和较高的拟合精度.

关键词: 电磁测深; 视电阻率; 联合反演; 多参量

中图分类号: P631.3⁺25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)03-0279-07

0 引言

在大地电磁测深中, 不同的场分量的观测误差不同, 而且往往不易识别. 对反演结果会造成一定的影响. 利用不同视电阻率组合的联合反演, 可以降低或消除观测误差的影响, 使反演结果比较合理、可靠. 此外, 受非均匀构造的影响, 实际观测的视电阻率曲线会产生畸变. 利用不同组合的视电阻率资料进行联合反演解释, 有利于识别地电结构的非均匀性质, 选择受畸变影响较小的视电阻率进行一维联合反演解释, 从而可获得较为可靠的地电结构信息.

近年来, 林长佑等人^[1~5]对大地电磁测深资料的联合反演问题进行了较深入的研究, 并研制出了一系列视电阻率-相位联合反演的实用化软件. 作者在文献[6]中介绍了对 2 种比值视电阻率 ρ_{xy} 和 ρ_{zy} 联合反演的研究结果, 证明了联合反演明显优于 2 个单参量反演. 在此基础上, 本文研究了 8 种组合的视电阻率联合反演效果, 为 FEMS 视电阻率资料的反演解释提供参考.

1 3 种组合的视电阻率反演效果

在包括给定装置全部 3 个可测量场分量的视电阻率的不同组合中, 本文研究了如下 3 种组合的视电阻率联合反演效果: 全部 5 种视电阻率的联合反演(5AR), 3 种单分量视电阻率 ρ_x 、 ρ_y 和 ρ_z 的联合反演(3AR)和 2 种比值视电阻率 ρ_x 和 ρ_z 的联合反演(2RR). 限于篇幅, 本文仅给出了对于 H 型模型的反演试验结果.

1.1 观测频带比较完整, 同时加有不同水平白噪声时的反演结果

表 1 和表 2 给出了频带为 1~16 380 Hz, 频点数为 30, 白噪声分别为 10%~25%时的反

收稿日期: 2001-04-18

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001042

作者简介: 陈军营(1968-), 男(汉族), 山东东明人, 工程师, 现主要从事大地电磁测深及其它电磁法的研究.

演结果. 由表 1 和表 2 可见, 尽管对资料所加白噪声分别高达 10%~25%, 经 2 次迭代, 所搜寻到的 H 型模型的基本特征已显示出来. 经 4 次迭代, 第一、二层电阻率和第一层厚度已基本稳定下来. 经 6 次迭代, 资料拟合差已大体与所加白噪声水平相当, 第二层厚度基本稳定. 显示出这 3 种联合反演的效果都是不错的. 当然, 反演效果也存在某些差别. 综观其资料拟合差下降速度、所搜寻到模型参数逼近理论模型参数的快慢及反演迭代过程中各模型参数变化的平稳性等几个方面, 以 5AR 联合反演效果最好, 2RR 联合反演效果次之, 3AR 联合反演效果较差. 主要原因是, 3AR 反演似对第二层的厚度和第三层的电阻率分辨较差, 从而搜寻到其真值的速度较慢.

表 1 3 种组合的视电阻率联合反演效果对比(白噪声: 10%)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/ %
2	5AR	11.2	1.32	26.8	17.8	32.7	29.7
	3AR	11.2	2.65	13.5	34.6	49.5	72.5
	2RR	11.2	1.84	21.5	15.3	48.0	37.5
4	5AR	11.2	2.01	58.3	9.60	39.2	7.96
	3AR	11.2	2.12	22.7	8.67	50.1	12.3
	2RR	11.2	2.22	39.8	8.73	44.3	12.2
6	5AR	10.4	2.00	193.0	9.77	40.0	7.10
	3AR	11.7	2.16	55.9	8.94	41.8	7.49
	2RR	10.8	2.01	123.0	9.51	40.2	7.35
8	5AR	10.8	2.01	412.0	9.60	40.7	7.08
	3AR	10.7	1.99	153.0	9.74	39.5	7.09
	2RR	10.8	2.01	335.0	9.63	40.6	7.06
10	5AR	10.9	2.02	488.0	9.55	40.8	7.09
	3AR	10.8	2.01	294.0	9.63	40.3	7.09
	2RR	10.9	2.03	476.0	9.52	41.0	7.08
	初始模型	11.2	12.3	10.1	50.0	50.0	166.0
	理论模型	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

表 2 3 种组合的视电阻率联合反演效果对比(白噪声: 25%)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/ %
2	5AR	12.7	3.15	27.7	17.8	26.6	78.2
	3AR	12.7	1.12	14.7	24.2	48.9	56.2
	2RR	12.7	1.35	23.2	17.3	43.8	51.8
4	5AR	12.7	18.9	84.4	9.11	41.8	18.9
	3AR	12.7	2.12	20.4	7.92	18.4	41.6
	2RR	12.7	2.16	37.2	7.69	33.3	25.2
6	5AR	13.5	2.03	334.0	8.53	42.5	18.5
	3AR	16.6	2.31	29.3	7.31	48.5	19.4
	2RR	13.1	2.01	124.0	8.71	41.2	18.3
8	5AR	12.9	2.00	751.0	8.77	41.7	18.7
	3AR	12.3	2.01	97.3	8.75	41.3	18.5
	2RR	13.5	2.02	378.0	8.65	41.8	18.6
10	5AR	12.7	2.00	1 350.0	8.79	41.8	18.7
	3AR	12.9	2.00	271.0	8.78	41.3	18.7
	2RR	13.0	2.02	828.0	8.66	42.1	18.6
	初始模型	12.7	14.0	11.4	50.0	50.0	219.0
	理论模型	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

1.2 对不完整的视电阻率资料的联合反演结果

表 3 和表 4 是频带为 16~2 048 Hz, 频点数为 13, 白噪声分别为 0~5% 时 3 种组合视电阻率的联合反演结果. 由表 3 和表 4 可见, 3 种联合反演对含误差的、极不完整的视电阻率资料的反演拟合同样有效, 它们都基本上可在观测误差的水平上拟合观测资料, 所搜寻到的模型比较接近理论模型. 其中 5AR 联合反演效果较好, 2RR 联合反演效果次之, 3AR 联合反演效果较差. 这主要是由于不同的视电阻率的组合在反演迭代中对不同场分量资料的加权是不同的.

表 3 频带为 16~2 048 Hz 白噪声为 0 时 3 种组合的视电阻率联合反演效果对比

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合格度 PN/%
4	5AR	5.04	1.20	30.2	24.7	18.2	13.3
	3AR	5.04	1.55	14.3	19.1	16.5	8.72
	2RR	5.04	1.27	28.2	23.4	30.3	17.8
10	5AR	9.15	1.98	395.0	10.4	39.4	0.04
	3AR	5.39	1.77	174.0	14.9	31.6	0.49
	2RR	8.53	2.00	376.0	10.2	39.8	1.07
15	5AR	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	0.0003
	3AR	7.85	1.95	327.0	11.2	38.1	0.08
	2RR	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	0.0006
初始模型		5.04	5.55	4.54	20.0	20.0	55.3
理论模型		10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

表 4 频带为 16~2 048 Hz 白噪声为 5 % 时 3 种组合的视电阻率联合反演效果对比

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合格度 PN/%
4	5AR	5.29	1.08	29.6	26.5	15.9	16.8
	3AR	5.29	1.33	18.3	17.7	19.7	6.24
	2RR	5.29	4.07	20.0	6.71	215.0	49.0
10	5AR	10.2	1.99	408.0	9.99	39.8	3.55
	3AR	5.36	1.70	166.0	15.5	29.9	3.56
	2RR	8.97	2.04	153.0	9.18	41.1	5.12
初始模型		5.29	5.82	4.77	20.0	20.0	61.0
理论模型		10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

如果以反演资料中某场分量模值的 1 次方为一加权单位因子, 根据各视电阻率的定义:

$$\rho_{\omega}(E_x)=\frac{\pi r^3}{P}\left|E_x\right|=\rho_x$$

(1)

$$\rho_{\omega}(H_y)=\frac{\pi^2\mu_0\omega r^6}{P^2}\left|H_y\right|^2=\rho_y$$

(2)

$$\rho_{\omega}(H_z)=\frac{2\pi r^4\mu_0\omega}{3P}\left|H_z\right|=\rho_z$$

(3)

$$\rho_{\omega}\left(\frac{E_x}{H_y}\right)=\left|\frac{E_x}{H_y}\right|^2\mu_0\omega=\rho_{xy}$$

(4)

$$\rho_{\omega}\left(\frac{H_z}{H_y}\right)=\frac{4r^2\mu_0\omega}{9}\left|\frac{H_z}{H_y}\right|^2=\rho_{zy}$$

(5)

(其中: $P=I\circ AB$, 为电偶极矩; r 为收发距; ω 为圆频率; μ_0 为真空中的磁导率) 将各视电阻

率反演加权归一化后, 可以获得场分量 E_x 、 H_y 和 H_z 在 3 种联合反演中的加权因子 W_x 、 W_y 和 W_z :

5AR: $W_x = 0.375$ $W_y = -0.250$ $W_z = 0.375$

3AR: $W_x = 0.250$ $W_y = 0.500$ $W_z = 0.250$

2RR: $W_x = 0.250$ $W_y = -0.500$ $W_z = 0.250$

如果以反演资料中某单分量视电阻率的一次方为加权单位因子, 如此可以获得 3 种联合反演的加权因子 W_{rx} 、 W_{ry} 和 W_{rz} :

5AR: $W_{rx} = 0.429$ $W_{ry} = -0.143$ $W_{rz} = 0.429$

3AR: $W_{rx} = 0.333$ $W_{ry} = 0.333$ $W_{rz} = 0.333$

2RR: $W_{rx} = 0.333$ $W_{ry} = -0.333$ $W_{rz} = 0.333$

根据上述分析似可以看出, 对于 H_y 、 ρ_y 加权较小的反演方案有较好的效果, 这与该分量及其视电阻率包含地电结构信息较小, 对模型参数分辨较差是相一致的.

2 3 种单分量视电阻率组合的联合反演

3 种单分量视电阻率的联合反演可以有如下 3 种方式: ρ_x - ρ_y (XYR) 联合反演, ρ_x - ρ_z (XZR) 联合反演和 ρ_y - ρ_z (YZR) 联合反演. 在 3 个场分量视电阻率观测误差水平及受横向非均匀畸变影响不甚清楚的情况下, 可以通过不同视电阻率组合的联合反演加以分辨、筛选, 以期获得较好的反演解释效果.

2.1 对于 H 型模型的反演结果

表 5 和表 6 给出了对于 H 型模型, 3 种组合的单分量视电阻率联合反演效果. 由表 5 和表 6 可见, 即使在观测频点很有限、曲线相当不完整及含有一定观测误差的情况下, 经 4~6 次迭代可在观测误差水平上拟合观测资料, 且所搜寻到的模型已比较接近理论模型. 在三者中 YZR 联合反演效果较差, 主要反映在这一组合方式的反演对第三层电阻率的分辨明显较差, 对第二层电阻率和厚度搜寻的速度也比较慢. 对于含有误差的不完整曲线的反演拟合效果, XZR 和 YZR 联合反演对第一层电阻率搜寻的速度也较慢.

表 5 对于 H 模型 3 种组合的单分量视电阻率的联合反演效果对比
(频带: 1~16 380 Hz; 频点数: 20; 白噪声: 0)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega, \text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega, \text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega, \text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 $PN/\%$
4	XYR	10.7	2.40	39.0	7.79	39.8	5.50
	XZR	10.7	2.20	49.9	9.38	39.4	3.13
	YZR	10.7	1.89	12.2	9.60	40.7	5.55
6	XYR	9.86	1.97	114.0	10.2	38.1	0.74
	XZR	9.92	2.00	158.0	9.96	39.7	0.89
	YZR	9.86	1.98	20.7	10.1	36.2	1.04
10	XYR	10.0	2.00	382.0	10.0	40.0	0.011
	XZR	10.0	2.00	394.0	10.0	40.0	0.008
	YZR	10.1	2.02	74.7	9.86	39.5	0.30
初始模型		10.7	11.8	9.61	50.0	50.0	111.0
理论模型		10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

2.2 对于 K 型模型的反演结果

表 7 和表 8 给出了对于 K 型模型, 3 种组合的单分量视电阻率的联合反演效果. 由表 7 和

表 8 可见, 在前 8 次迭代中 YZR 联合反演具有较好的效果, 主要表现在它较快地搜寻到了第三层电阻率值, 并在进一步搜寻过程中始终保持稳定. 在此方面 XZR 联合反演次之, XYR 联合反演较差. 此外, 在搜寻第一层电阻率和第一、二层厚度方面 3 种联合反演也显示出了其优越性, 其中 XYR 联合反演的效果相对较差.

表 6 对于 H 模型 3 种组合的单分量视电阻率的联合反演效果对比
(频带: 8~4 096 Hz; 频点数: 15; 白噪声: 5%)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
6	XYR	8.07	1.99	106.0	10.4	38.9	4.11
	XZR	8.77	2.01	113.0	9.54	40.1	4.71
	YZR	5.55	1.26	11.6	17.4	16.7	3.96
10	XYR	8.27	1.99	347.0	9.98	39.5	4.03
	XZR	13.4	2.02	452.0	9.18	41.3	3.48
	YZR	8.82	1.99	57.7	10.2	38.9	3.63
初始模型		6.55	7.21	5.90	20.0	20.0	65.1
理论模型		10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

表 7 对于 K 模型 3 种组合的单分量视电阻率的联合反演效果对比
(频带: 1~16 380 Hz; 频点数: 20; 白噪声: 0)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
4	XYR	9.76	173.0	86.0	5.82	30.6	23.3
	XZR	9.76	672.0	40.7	14.5	142.0	25.9
	YZR	9.76	291.0	5.06	8.74	197.0	3.30
8	XYR	9.87	402.0	3.49	9.91	201.0	1.50
	XZR	10.3	400.0	4.99	10.3	200.0	0.26
	YZR	9.33	369.0	4.98	9.15	201.0	0.30
10	XYR	10.0	400.0	5.01	10.0	200.0	0.0057
	XZR	10.0	400.0	5.00	10.0	200.0	0.0096
	YZR	9.78	380.0	4.98	9.68	201.0	0.12
初始模型		9.76	10.7	8.79	20.0	20.0	48.3
理论模型		10.0	400.0	5.00	10.0	200.0	—

表 8 对于 K 模型 3 种组合的单分量视电阻率的联合反演效果对比
(频带: 16~8 192 Hz; 频点数: 15; 白噪声: 5%)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
8	XYR	10.7	405.0	4.38	10.8	200.0	3.55
	XZR	11.1	405.0	4.82	11.2	199.0	3.52
	YZR	8.93	391.0	5.03	8.87	201.0	3.55
10	XYR	10.2	403.0	4.80	10.2	200.0	3.54
	XZR	11.0	405.0	5.13	11.0	198.0	3.51
	YZR	11.0	483.0	5.05	11.4	197.0	3.54
初始模型		15.2	16.7	13.7	50.0	50.0	46.2
理论模型		10.0	400.0	5.00	10.0	200.0	—

3 缺少一个场分量情况下的联合反演效果

在缺少一个场分量观测值的情况下, 作者研究了如下 3 种组合的视电阻率联合反演效果: $\rho_{xy}-\rho_x(XYX)$ 、 $\rho_{xy}-\rho_x-\rho_y(XYXY)$ 和 $\rho_{zy}-\rho_z(ZYZ)$ 联合反演. 由表 9~表 12 可见, 这 3 种组合的视电阻率的联合反演是实用的和有效的. 对于 H 型和 K 型 2 种模型, XYXY 联合反演似具有较好的效果, XYX 次之. 对于 H 型模型, 由于 ZYZ 联合反演对第三层电阻率分辨较差, 而影响了其整体反演效果. 对于 K 型模型, 虽然 ZYZ 联合反演对第三层电阻率有较好的分辨率, 但由于其仅对第一层的纵电导 $S_1=h_1/\rho_1$ 敏感, 对 ρ_1 (或 h_1) 的分辨欠佳, 而影响了其整体反演效果. 当第二层电阻率较高而厚度较小时, XYX 和 XYXY 联合反演迭代的收敛将会变得十分困难, 而 ZYZ 联合反演则显示出了明显的优越性. XYX 和 XYXY 联合反演效果的差异同样是由于对 2 个观测场分量(或单分量视电阻率)在反演中的加权不同所致.

表 9 对于 H 模型的 XYX、XYXY 和 ZYZ 联合反演效果对比
(频带: 1~16 380 Hz; 频点数: 20; 白噪声: 0)

迭代次数	参量组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot m$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot m$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot m$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
4	XYX	10.2	2.20	42.6	8.18	41.5	7.76
	XYXY	10.2	2.22	42.4	8.14	42.5	7.44
	ZYZ	10.2	2.20	12.4	8.19	34.5	4.75
10	XYX	9.96	2.00	318.0	10.0	39.7	0.094
	XYXY	9.99	2.00	355.0	10.0	39.9	0.056
	ZYZ	10.1	2.03	169.0	9.77	40.4	0.324
	初始模型	10.2	11.2	9.18	50.0	50.0	151.0
	理论模型	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

表 10 对于 H 模型的 XYX、XYXY 和 ZYZ 联合反演效果对比
(频带: 22~16 380 Hz; 频点数: 15; 白噪声: 5%)

迭代次数	参量组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot m$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot m$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot m$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
4	XYX	10.7	2.18	31.5	8.04	41.4	9.74
	XYXY	10.7	1.72	28.3	8.48	28.3	9.13
	ZYZ	10.7	2.38	7.06	8.41	33.5	8.50
10	XYX	9.98	1.99	248.0	10.0	39.4	3.54
	XYXY	10.1	2.00	378.0	9.94	40.1	3.54
	ZYZ	10.2	2.02	168.0	9.82	40.2	3.55
	初始模型	10.7	11.8	9.64	50.0	50.0	187.0
	理论模型	10.0	2.00	400.0	10.0	40.0	—

表 11 对于 K 模型的 XYX、XYXY 和 ZYZ 联合反演效果对比
(频带: 1~16 380 Hz; 频点数: 20; 白噪声: 0)

迭代次数	参量组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot m$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot m$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot m$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
4	XYX	9.79	722.0	62.3	16.7	53.2	32.5
	XYXY	9.79	486.0	69.5	15.7	75.8	28.8
	ZYZ	9.79	84.3	26.4	13.9	195.0	35.9
10	XYX	10.2	400.0	4.89	10.2	300.0	0.15
	XYXY	10.0	400.0	5.00	10.0	300.0	0.001
	ZYZ	8.70	376.0	4.98	8.70	302.0	1.88
	初始模型	9.79	10.8	8.81	20.0	20.0	54.1
	理论模型	10.0	400.0	5.00	10.0	300.0	—

表 12 对于 K 模型的 XYX、XYXY 和 ZYZ 联合反演效果对比
(频带: 22~16 380 Hz; 频点数: 15; 白噪声: 5%)

迭代 次数	参量 组合	第一层电阻率 $\rho_1/\Omega\cdot\text{m}$	第二层电阻率 $\rho_2/\Omega\cdot\text{m}$	第三层电阻率 $\rho_3/\Omega\cdot\text{m}$	第一层厚度 h_1/m	第二层厚度 h_2/m	相对不拟合度 PN/%
4	XYX	10. 1	154. 0	53. 5	9. 61	184. 0	20. 4
	XYXY	10. 1	188. 0	44. 9	9. 94	226. 0	16. 8
	ZYZ	10. 1	244. 0	8. 97	10. 7	234. 0	16. 9
10	XYX	9. 91	402. 0	4. 66	9. 92	300. 0	3. 53
	XYXY	10. 1	401. 0	5. 06	10. 2	299. 0	3. 54
	ZYZ	8. 00	390. 0	5. 01	7. 89	302. 0	3. 93
	初始模型	10. 1	11. 1	9. 11	50. 0	50. 0	55. 5
	理论模型	10. 0	400. 0	5. 00	10. 0	300. 0	—

4 结语

本文的结果仅仅是通过数值模拟试验得出的, 所用模型也是理论模型. 实际地壳电性结构、野外观测条件及所获资料等差异较大, 究竟哪几种参量组合的反演效果较好, 还需要在实践中不断探索和检验.

[参考文献]

[1] Lin Chang-you, Wu Yu-xia. The dispersion relation of earth' s electromagnetic response functions and the joint inversion of data[J]. Northwestem Seismological Journal, 1993, 15(2): 100—110.

[2] 林长佑, 武玉霞. 大地电磁资料的联合反演研究[J]. 西北地震学报, 1991, 13(2): 8—20.

[3] 林长佑, 罗东山, 武玉霞, 吕福林. 电偶源频率电磁测深中比值视电阻率和阻抗相位的联合反演[J]. 物探与化探, 1993, 17(4): 288—294.

[4] 林长佑, 罗东山, 武玉霞, 吕福林. 频率电磁测深中单分量视电阻率和相位联合反演[J]. 煤田地质与勘探, 1993, 21(3): 46—52.

[5] 林长佑, 武玉霞. 大地电磁测深和电偶源频率电磁测深资料联合反演[J]. 地震学报, 1993, 14(1): 91—96.

[6] 陈军营, 林长佑, 王书明, 等. 电偶源频率电磁测深中磁场比值视电阻率与其相位间的频散关系及资料的联合反演[J]. 西北地震学报, 1999, 21(4): 417—422.

A TEST OF JOINT INVERSION EFFECTS BY MULTI-PARAMETER OF APPARENT RESISTIVITY FROM FREQUENCY ELECTROMAGNETIC SOUNDING WITH ELECTRIC DIPOLE SUPPLY

CHEN Jun-ying, LIN Chang-you, WANG Shu-ming, YANG Chang-fu
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The joint inversion effects by multi-parameter of apparent resistivity from the frequency electromagnetic sounding with electric dipole supply (FEMS) are tested by using H and K models and numerical simulation. The results show that the inversion effects are better and have quicker convergent rate and higher fitting accuracy.

Key words: Electromagnetic sounding; Apparent resistivity; Joint inversion; Multi-parameter