

地电阻率预报地震新方法的研究*

薛顺章 温新民 董永德

梁子彬 张庆渊 赵和云

(中国兰州 730000 国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

采用单一极距观测地电阻率预报地震存在一些问题和困难. 本文以地下浅部水平层状介质模型为基础, 建立多极距观测系统电阻率反演方法, 以探索提高地电阻率预报效能的新途径. 多台的长期实验研究结果表明, 采用多极距观测反演方法获得的地下浅部勘探底层电阻率的变化预报地震, 比地电阻率变化预报地震具有明显独特的优越性.

关键词 水平层状结构; 多极距观测; 电阻率反演

1 引 言

通常采用单一极距观测地(视)电阻率的异常变化预报地震, 虽然预报效能较好(钱家栋等, 1985; 赵玉林、钱复业, 1982; 马熙康等, 1984), 物理依据可靠(顾功叙, 1981), 但往往存在一些问题和困难(钱家栋、赵和云, 1988). 其主要的原因是测得的地电阻率变化是地下不同部位电阻率变化的综合效应, 无法区分各部位电阻率的变化过程, 从而给研究震前异常及其与孕震过程的联系增加了不确定性.

为了克服这些问题和困难, 本文根据地下电性结构和电法理论(武汉地质学院金属物探教研室, 1980), 建立地电阻率新的观测系统及其资料处理方法, 并在滇西地震实验场等地开展多年实验研究, 获得了有意义的结果.

2 地电阻率多极距观测及其反演处理的思路和方法

地下浅部介质的电性通常表现为水平层状结构. 电性分层往往与岩性分层及地下水分布相联系, 地下水位的升降会对数米或数十米深度范围内近地表的电性变化有影响, 但同一岩性层的电性变化大致相同. 所以, 将电性层厚度变化的影响可等效为电阻率的变化. 在此条件下, 可以假定各电性层的厚度是不变的, 而变化的参数仅是各电性层的等效真电阻率, 简称电阻率; 观测到的地电阻率的变化仅是各层电阻率变化的综合效应. 对固

* 地震科学联合基金会资助课题.

1992年6月27日收到初稿, 1993年5月1日决定采用.

定测区,首先利用电测深法可获得地下电性结构的原始参数.运用反演方法,便可将地面观测到的地电阻率随时间的变化演变为勘探体内各层电阻率的变化;由于假定电性层厚度不变,需反演的可变参数的数目大大减少,建立少量数目的不同极距的地电阻率观测系统便可满足反演条件.具体反演方法如下:

(1) 设地下有 n 层水平层状介质,地面上有点电源 A ,供电强度为 I , M 点的电位 $V(M)$,选取柱极坐标系,原点在 A , z 轴垂直向下,则 $V(M)$ 的计算公式(武汉地质学院金属物探教研室, 1980)为

$$V(M) = \frac{I}{2\pi} \int_0^{\infty} T(\lambda) J_0(\lambda y) d\lambda \quad (1)$$

式中, $T(\lambda)$ 为电阻率转换函数, $J_0(\lambda y)$ 为 λy 的零阶贝塞尔函数.

(2) 假定各层的厚度不变,某一极距的地电阻率 ρ_s 仅是各层电阻率 ρ_i 的函数,即为

$$\rho_s = f(\rho_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

由此得出

$$\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\rho_i}{\rho_s} \right) \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial \rho_i} \right) \frac{\Delta \rho_i}{\rho_i}$$

$$\text{令} \quad \left(\frac{\rho_i}{\rho_s} \right) \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial \rho_i} \right) = S_i$$

则有

$$\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} = \sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta \rho_i}{\rho_i} \quad (2)$$

对某固定四极装置, $\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$, K 为装置系数, $\Delta V = V_{AM} - V_{BM} - V_{AN} + V_{BN}$, 等式右边四项分别为点电源 $A(+)$ 和 $B(-)$ 在 M, N 点产生的电位, 因此有

$$S_i = \frac{K}{I} \left(\frac{\rho_i}{\rho_s} \right) \frac{\partial (\Delta V)}{\partial \rho_i} \quad (3)$$

并由(1)式可得

$$\frac{\partial V}{\partial \rho_i} = \frac{I}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{\partial T(\lambda)}{\partial \rho_i} J_0(\lambda y) d\lambda \quad (4)$$

(3) 如果不同极距有 m 个, 则有 m 个方程

$$\left(\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} \right)_k = \sum_{i=1}^n S_{ki} \frac{\Delta \rho_i}{\rho_i} \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

上式可写成矩阵形式

$$P_s = S P \quad (5)$$

式中, P_s 和 P 分别为 $\left(\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} \right)_k$ 和 $\frac{\Delta \rho_i}{\rho_i}$ 的列向量, S 为 S_{ki} 的 $m \times n$ 阶矩阵, 称反演系数矩阵.

(4) 当 $m \geq n$ 时, 由式(5)求解得出

$$P = [S^T \cdot S]^{-1} S^T P_s \quad (6)$$

反演处理的流程见图 1, 由此获得了各层电阻率随时间的变化资料.

3 多极距地电阻率及其反演结果的分析研究

为了有效地开展电阻率反演,观测条件要求地形平坦;地下为水平层状电性结构;先开展高质量的电测深,结合地层钻孔资料反演获得地下电性结构原始参数(河南省地矿局物探队,1984);探据电性结构合理设计多极距观测装置.

在大理、平凉、郫县等台开展多年野外实验观测.在大理台沿 NE 方向布设多极距偶极观测装置,其偶极半径分别为 490, 310, 230, 120, 80, 40 m 等,各装置的地电阻率均有明显的季节变化(图 2).

在平凉台布设多极距的四极对称系统,

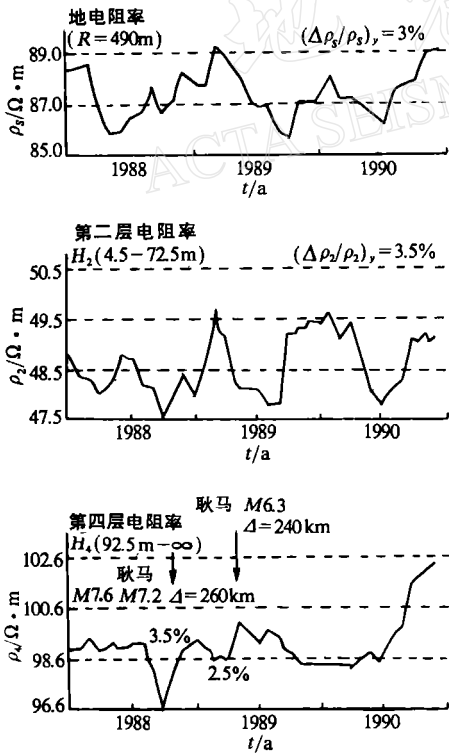


图 2 大理台地电阻率及各层电阻率变化图

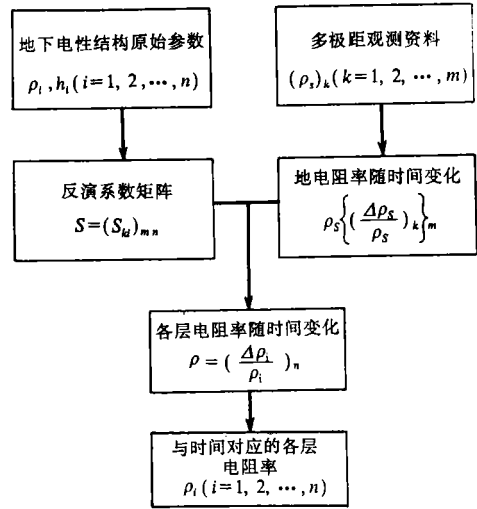


图 1 地电阻率反演处理流程图

供电极距分别等于 15, 30, 425, 850 m. 1981 年 8 月至 1983 年 8 月期间,地电阻率的季节变化幅度分别为 80%, 70% 和 1% 左右.

郫县台建立多极距的四极对称系统,供电极距分别等于 35, 115, 307, 499, 736 m. 地电阻率干扰变化明显, $AB = 736$ m 的地电阻率年变化幅度为 5% 左右,其它极距的地电阻率年变化幅度更大.

对大理、平凉、郫县等台观测到的地电阻率变化资料分别进行反演处理,获得了各台地下浅部各层电阻率随时间的变化过程(图 2, 图 3, 图 4),并进行分析研究,得出以下几点认识:

(1) 地下浅部呈水平层状电性结构,各层的厚度可假定为不变的参数,而各层的电阻率随时间表现不同的变化过程.

近地表的电阻率主要呈年变化形态,幅度在 50% 左右;近地表层电阻率的年变化是地表干扰因素引起的干扰变化,如平凉台第一层(地下 1.5 m 深度范围内)电阻率的变化与干扰因素相关系数为

0.635; 郫县台第一层的干扰相关系数为 0.835(见表 1). 随着深度的增加,较深层位电阻率的干扰变化逐渐减小.

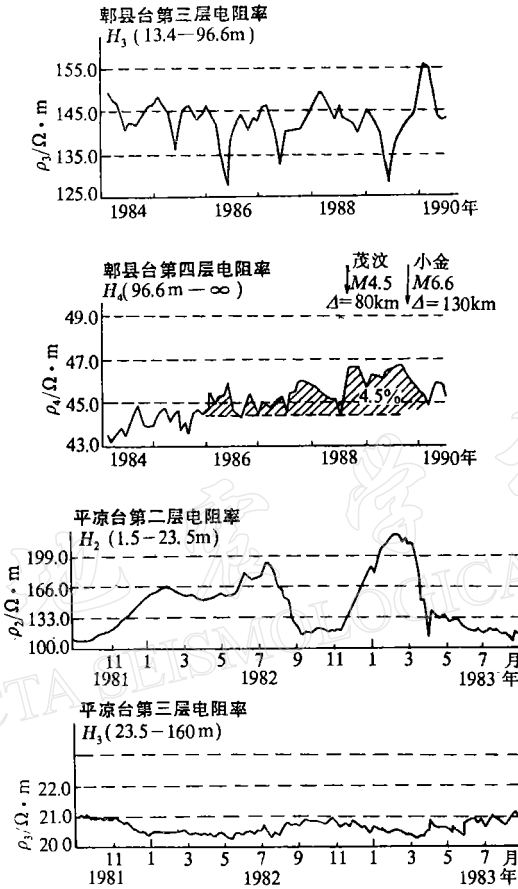


图 3 地下各层电阻率变化图

表 1 地下各层电阻率变化分析表

层 位	台 名	电阻率变化形态	变化幅度	与干扰因素关系	与地震关系
第一层	大理台	年变化	26%	相关	不相关
	平凉台	年变化	80%	相关(0.635)	
	郫县台	年变化	110%	相关(0.835)	不相关
第四层	大理台	平稳		不相关	5次与地震对应
	平凉台	平稳		不相关	
	郫县台	平稳		不相关	4次与地震对应
视电阻率	大理台	年变化	3%		
	平凉台	年变化	2%	相关	
	郫县台	年变化	5%	相关	

地下勘探体内最深层位(底层)的电阻率基本无干扰背景影响(见表 1, 图 2, 图 3).

(2) 在多次地震前, 地下勘探底层的电阻率出现明显异常, 异常形态见图 4, 异常指标见表 2. 异常形态清晰完整, 与 7 级以上典型震例的电阻率异常相似(图 5), 其中大理台第四层电阻率于 1990 年 9 月开始上升变化(图 2, 图 4), 可能与今后孕震有关(在本文投稿后于 1992 年永胜发生 5.4 级, 1993 年思茅发生 6.3 级地震). 因此, 利用地下勘探底层的电阻率变化预报地震是有效的.

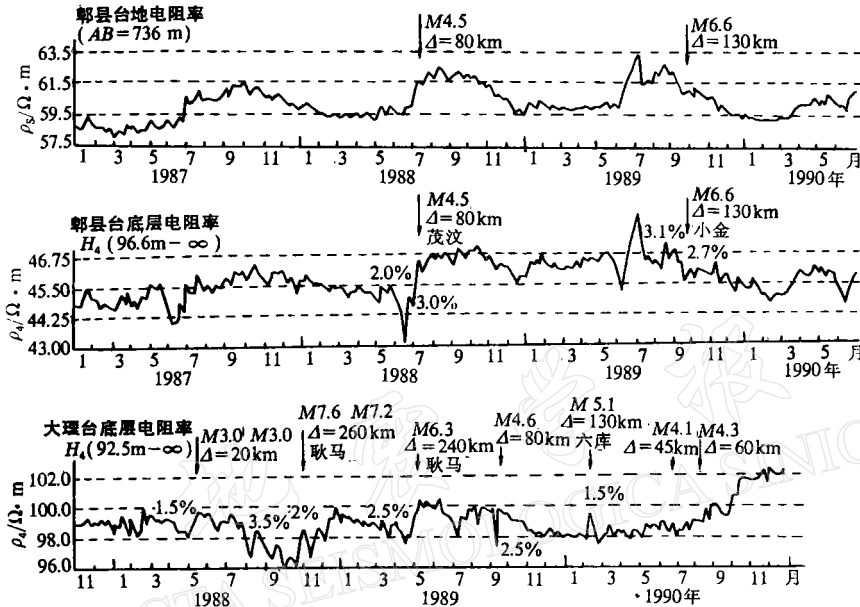


图 4 勘探底层电阻率变化与地震关系对应图

表 2 勘探底层的电阻率异常与地震关系分析表

发震时间 年-月-日	地震位置	震 级	地电台名	震中距 km	电阻率异常 幅度(%)	异常持续 时间, d
1988-07-18	茂 汶	4.5	郫 县	80	2.0, 3.0(临震突变)	180
1989-09-22	小 金	6.6	郫 县	130	4.5, 3.1(临震突变)	900
1998-11-06	澜 沧	7.6	大 理	260	3.5, 2.0(临震突变)	105
1989-05-07	耿 马	6.3	大 理	240	2.5	120
1989-09-20	洱 源	4.6	大 理	80	2.5(临震突变)	
1990-02-14	六 库	5.1	大 理	130	2.0, 1.5(临震突变)	110

4 地下勘探底层电阻率的震前异常特征及其优越性

地下勘探底层的电阻率, 其震前异常与地电阻率相似. 震前异常出现下降或上升的长趋势变化, 短期有加速变化及临震突变等特征. 但勘探底层电阻率的震前异常还有一些独特的优越性:

(1) 勘探底层电阻率的震前异常无干扰背景影响, 容易识别和确定异常特征性指标, 比地电阻率的异常要可靠得多.

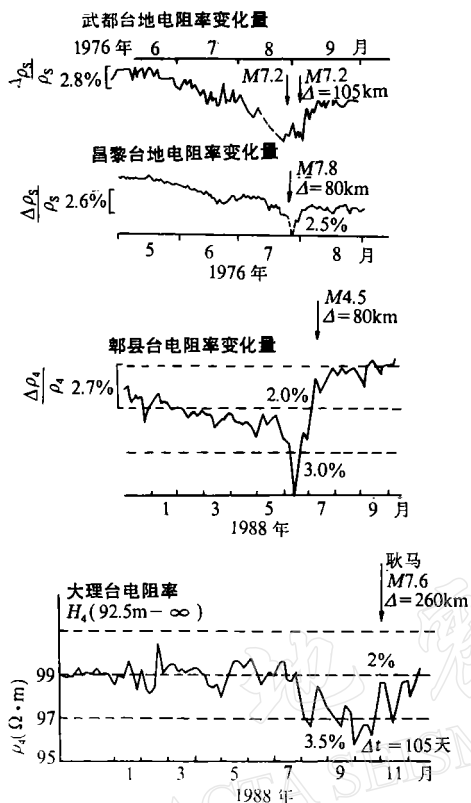


图 5 地震前电阻率异常与地(视)电阻率异常对比图

异常强度系数 α 大小进行对比研究表明(表 3),大理台、郫县台勘探底层电阻率的异常强度系数 α 比中国著名地震例的昌黎台、武都台地电阻率的异常(钱家栋等,1985)强度系数要大多倍。由此可见,利用反演获得的勘探底层电阻率的异常变化预报地震要比单一极距的地电阻率可靠有效得多。

(3) 勘探底层的电阻率显示临震突变比地电阻率有效得多。

大理台、郫县台勘探底层的电阻率不仅在两次 6 级以上地震前显示临震突变,而且在 5 级左右地震前也出现了临震突变(图 4, 表 2),其中一次与水氢临震突变同步(图 6)。但与此形成鲜明对照的是,原观测系统的地电阻率仅在 7 级以上地震前,在部分台能观测到临震突变。通常,在中强地震前观测不到临震突变(马熙康等,1984)。

(4) 勘探底层的电阻率是地下介质的固有参数,其震前异常不受电性结构及观测装置的影响,不但物理意义明确,而且有效地克服了地电阻率异常在多台不可对比研究的困难,便于可靠地研究震前异常的时-空演化特征。

通常地电阻率的干扰变化幅度有 2%—5%,甚至更大。因而,从强干扰背景中识别和提取较弱的前兆信息是较困难的(薛顺章、毛可,1988)。经过反演获得的勘探底层电阻率,一般无明显的干扰背景,震前异常是在平稳状态中出现的。不但容易识别,而且能可靠地确定异常形态、幅度和异常时间等(表 2)。但原观测系统的电阻率异常有 3%—5% 的干扰背景影响,可靠性较低(图 2, 图 4)。

(2) 勘探底层电阻率的震前异常量比地电阻率大得多,从而大大提高了预报效能。

为了提高预报效能,设法加大前兆信息强度是一个重要条件。为了比较不同地震前不同台站的地电阻率异常强度的大小,根据震例及实验研究结果(赵玉林、钱复业,1982),本文试用电阻率异常强度系数 α 来表征。 α 由以下公式计算得出(定义):

$$\alpha = \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right) \cdot \Delta^2 \cdot (1.953)^{(3.95-M)} \quad (7)$$

式中, Δ 为地电台的震中距, M 为震级, $\frac{\Delta\rho}{\rho}$ 为该台(地)电阻率的异常幅度。 α 越大,表示该台地电阻率震前异常反应灵敏度越高,可靠性越大。将不同地震前多台(地)电阻率的异常

表 3 不同台(地)电阻率异常强度系数表

地电台名	对应地震	震中距, km	异常幅度	α
昌黎	唐山 7.8	80	0.04(ρ_s)	19.46
武都	松潘 7.2	105	0.03(ρ_s)	37.56
甘孜	炉霍 7.9	50	0.10(ρ_s)	17.77
腾冲	耿马 7.6	220	0.03(ρ_s)	126.2
大理	耿马 7.6	260	0.035(ρ_s)	205.6
郫县	小金 6.6	130	0.045(ρ_s)	129.1

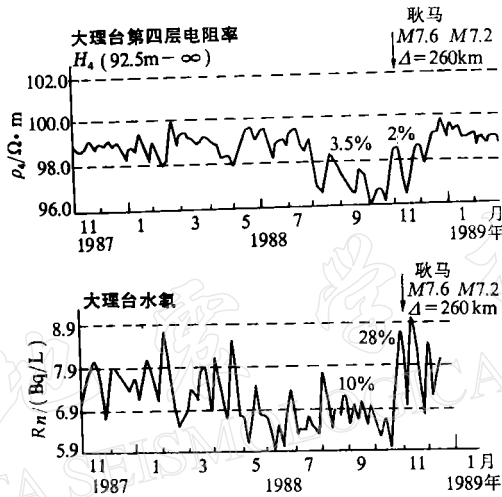


图 6 大理台电阻率与水气临震异常对比图

5 结 论

(1) 地下浅部介质的电性非均匀性通常表现为水平层状分布,可在假定各层厚度不变的条件下,在固定测区建立多极距观测系统的电阻率反演方法,可以较可靠地获得地下各层电阻率随时间的变化状态。

(2) 经反演获得的地下浅部勘探底层的电阻率不受干扰影响,在地震前显示较好的异常变化.与地(视)电阻率相比,它具有可靠性大、异常强度大、临震突变明显以及物理意义明确等优越性.因此,开展多极距地电阻率反演,是提高地电阻率预报效能的一种可靠的新方法。

任立芬、李志学、陈宝智、张宝全、丁布、于存顺、翟丽君、党小钢、周尽、梁戈涑等参加了本工作.本工作还得到滇西地震实验场、郫县地震台以及平凉地震台的支持,在此特表感谢。

参 考 文 献

- 顾功叙, 1981. 探索中的几类地震前兆的物理依据. 西北地震学报, 3, 2, 1-5.
- 河南省地矿局物探队, 1984. 对称四极直流电测深正反演 PC-1500 机程序. 物化探计算技术, 8, 2, 52-61.
- 马熙康、薛顺章、于谋明, 1984. 我国大陆中强地震前地电阻率异常的分析研究. 西北地震学报, 6, 4, 4-10.
- 钱家栋、陈有发、金安忠, 1985. 地电阻率法在地震预报中的应用, 226-259. 地震出版社, 北京.
- 钱家栋、赵和云, 1988. 地电阻率的数值模拟和多极距观测系统. 地震学报, 10, 77-88.
- 武汉地质学院金属物探教研室, 1980. 电法勘探教程, 196-198. 地质出版社, 北京.
- 薛顺章、毛可, 1988. 地电阻率干扰变化及其排除方法. 地震监测与预报方法清理成果汇编, 地磁地电分册, 186-190. 地震出版社, 北京.
- 赵玉林、钱复业, 1982. 地震前地电阻率的异常变化. 西北地震学报, 4, 2, 31-37.

地震学报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA