

# 用“剥皮法”处理腾冲地震台视地电阻率资料\*

杨玲英, 毛先进, 孙自刚, 邹平

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 用“剥皮法”处理了腾冲地震台 2002 年 1 月至 2008 年 8 月视电阻率数字化观测资料。结果表明:“剥皮法”反演计算速度快且稳定;反演后的资料明确显示深部电阻率存在明显变化,这一变化与地表气候及人文干扰无关,可能与 2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震有关。

**关键词:** 剥皮法;视电阻率;等将地电结构;腾冲地震台

**中图分类号:** P319.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2012)03-0416-04

## 0 引言

我国目前用于地震前兆监测的视电阻率观测系统,绝大多数只有一个极距,不具备测深功能,用这种观测系统获得的数据随时间的变化,是在观测范围内不同深度处电阻率变化的综合反映,人们难以弄清楚视电阻率变化的实际原因。研究是否可以从这种观测方式获得的数据中区分表层和深部的电阻率变化是有意义的。

我国的前兆视电阻率观测很早就实现了数字化整点时刻观测,这些整点值组成的时间序列中包含了地下不同深度处的介质电阻率随时间变化的信息,目前人们只是将一天内的整点值的平均作为日均值以消除随机干扰,对这种资料的利用还不够充分。

基于以上两方面的原因,毛先进和钱家栋(2001)以台址下一维地电结构为前提,针对我国绝大多数前兆地电阻率台单极距观测数据,提出了一种从这种观测所获得的视电阻率时间序列中识别表层和深部电阻率变化的方法,称之为“剥皮法”,本文应用此方法处理腾冲台地电阻率数字化整点值观测资料。

## 1 “剥皮”法原理简述

为了从单极距观测资料中区分表层和深部介

质电阻率变化,需做 2 个假定:

(1) 假定台址下电阻率分布分层均匀,即地电结构是一维的,可分为  $n$  层;各层电阻率随时间变化,但各层厚度不随时间变化。

如果在分层数及层厚度都有差异的两种地电结构上,用一个相同的观测装置观测到的视电阻率相同,我们称这两种地电结构相互等效。对一个确定的观测装置,总能找到与实际的  $n$  层介质结构等效的二层结构。笔者将可能受到气候及人文干扰的浅部若干层视为第一层,之下各层视为第二层。第一层电阻率变化代表了实际地电结构中受气候及人文干扰的浅部各层中某一层或某些层的电阻率发生了变化,第二层电阻率变化则代表了不受气候及人文干扰的深部各层中某一层或某些层的电阻率发生了变化。这种等效简化,一方面减少未知数个数,与地球物理反演理论中尽可能利用先验知识减少模型参数数目十分吻合(杨文采, 1997),另一方面,如果能借助这种简化较好地区分浅部和深部的变化,对于地震预报也是有益的。

等效地电结构第一层的厚度是以该层之下不受气候及人文干扰为原则,结合地质、电测深曲线综合确定,等效地电结构第一、二层地电阻率则据前述等效原则确定。

(2) 假定在连续 3 个观测时刻界定的时间段内(对于整点观测,相当于在 2 h 内),等效地电结构第一层和第二层电阻率的变化率为常数,即

\* 收稿日期: 2011-11-11.

基金项目: 国家科技基础条件平台重点项目“数字地震前兆观测地电方法标准”(2004DEA71000)资助.

满足线性变化。定性来看，在地震孕育而不是发生阶段，地壳介质形变较小，所导致的电阻率变化在几小时内线性变化是可以接受的。

在上述2个假定下，可以用最小二乘法求得等效地电结构第一层和第二层电阻率的变化率，进而求得等效结构第一层和第二层的电阻率。

2 腾冲台地电模型建立

腾冲地震台位于腾冲县城东面，距腾冲县城2~3 km，地理位置为25°01'47"N，98°31'13"E，海拔高度1 650 m，位于喜马拉雅褶皱带上全新世活动的南北向腾冲火山断裂带附近，测区周围地层为第四系堆积物，堆积物主要由冲积、冲洪积、冲湖积之砂砾石层、粘土层并夹泥炭、硅藻土等组成，基岩为下更新统安山岩类英安岩。测量电极布设在农田里，电极埋设处多为草煤（泥炭），地势较平坦，测区属于腾冲盆地的中段，盆地呈南北向长条形，测区有两条河沟从南到北流过。季节性干扰有农忙季节农田灌溉影响。地电测项映震能力较好（云南省地震局，2005）。

基本观测参数：  
EW向：AB=1 400 m，MN=400 m，K=3 533；  
SN向：AB=1 400 m，MN=400 m，K=3 533。  
图1为腾冲台电阻率测区电测深曲线，该测区EW、NS方向电阻率都是H型三层结构，第一层（浅层）和第三层（深层）电阻率都大于第二层（中间层）；AB/2（可视为深度）为100 m是测深曲线的拐点，小于或大于此深度视电阻率逐渐升高。按照“剥皮”法的思路，将此结构等效为两层，取等效结构第一层的厚度为100 m，得到EW、SN二个方向电阻率等效二层结构如图2所示。

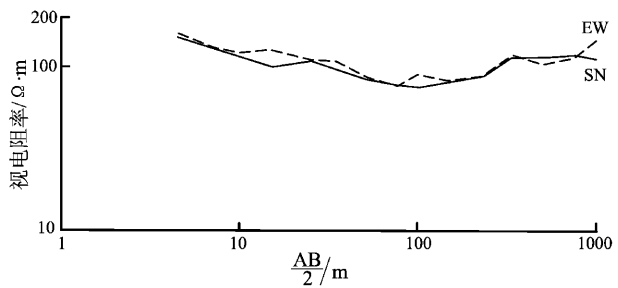


图1 腾冲台电阻率测区EW、SN向电测深曲线  
Fig.1 Electrical sounding curves in EW and SN direction in resistivity measuring area of Tengchong Station

EW向电阻率等效二层结构， $h_1 = 100\text{ m}$ ；NS向电阻率等效二层结构， $h_1 = 100\text{ m}$

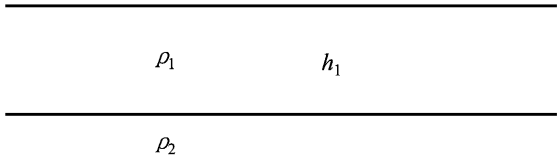


图2 腾冲台电阻率测区等效二层结构  
Fig.2 Equivalent two-layer structure in resistivity measuring area of Tengchong Station

3 资料收集与分析处理

3.1 资料收集

“九五”数字化改造后，腾冲台地电阻率测项实现了数字化观测，从2001年8月起开始试观测，从2002年1月起观测资料较为稳定、相对连续完整，因此笔者收集了腾冲台2002年1月至2008年8月，共2 396 d的EW方向和NS方向的视电阻率整点观测值。

3.2 “剥皮法”处理程序编制

按照“剥皮法”研究思路，针对腾冲台地电阻率观测资料时间长、数据多（每个方向每年有365×24个观测数据）的特点，编制了可处理多年整点值资料的“剥皮法”地电阻率资料反演处理程序。

3.3 电阻率观测资料处理与分析

用编制的“剥皮法”资料反演程序对腾冲台2002年1月1日至2008年8月31日EW、SN两个方向的视电阻率整点值资料进行了处理，求得了等效二层地电结构第一、二层电阻率的整点值时间序列，然后求得日平均值，如图3所示。

笔者在资料处理后发现，“剥皮法”处理计算速度快，反演计算稳定；反演后的资料（图3a）表明EW、SN两个方向的深部电阻率在2005年10月至2008年6月期间同步出现了一个“快速上升—相对缓慢下降—恢复原来值”的变化过程，累计上升幅度达60%，在原始观测资料（图4）中却看不到这种变化，尽管浅部电阻率也发生了一些变化，如EW、SN两个方向的电阻率2002年发生了较明显的下降（图3b），但经“剥皮法”处理后明确显示EW、SN两个测向深部电阻率都存

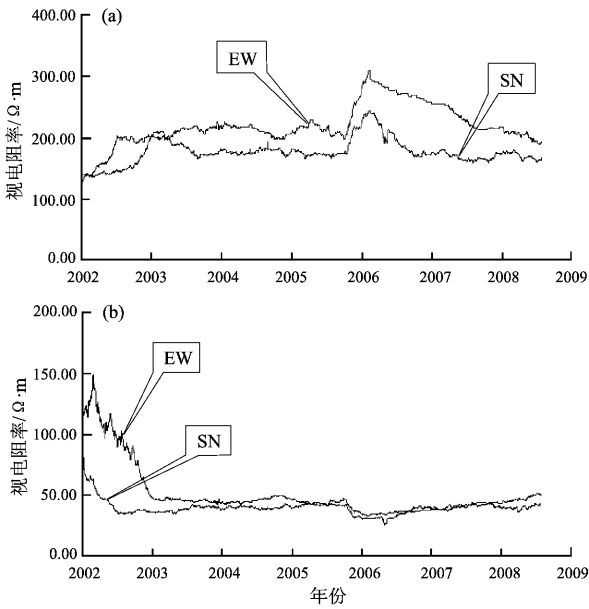


图3 腾冲台视电阻率观测资料“剥皮”法反演结果  
(a) 深部电阻率反演结果; (b) 浅部电阻率反演结果

Fig. 3 Inversion results of apparent resistivity observation data in Tengchong Station by stripping stratum method  
(a) Inversion results of resistivity in deep layers;  
(b) Inversion results of resistivity in shallow layers

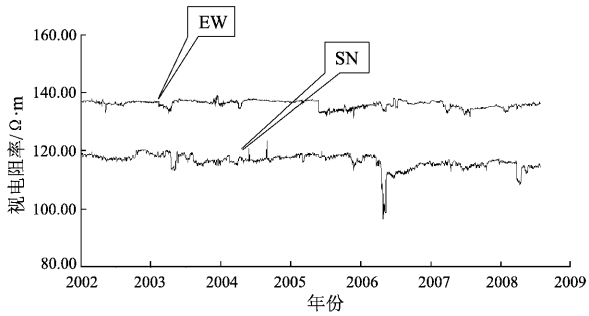


图4 腾冲台视电阻率观测值

Fig. 4 Observation value of apparent resistivity in Tengchong Station

在明显变化。据电阻率等效模型,深部电阻率变化发生在100 m 深度以下,应与地表气候变化及人文干扰无关。由于深部电阻率变化量较大,笔者推测也许与2008 年5 月12 日汶川8.0 级大地震有关。

对用“剥皮法”处理后得到的等效二层地电结构第一、二层电阻率的整点值时间序列做正演,其结果完全恢复了原始观测值时间序列,这从一定程度上验证了“剥皮法”的正确性和可行性。

#### 4 结论与讨论

(1) 研究表明,“剥皮法”反演地电阻率资料计算过程速度快,反演计算稳定,有整点值观测资料就可进行“剥皮法”分析处理。

(2) 腾冲台实际观测资料处理表明,通过“剥皮法”处理能发现深部电阻率的变化,而利用原始观测数据难以实现。

按照目前国内大多数人的观点,地震孕震过程中震源及附近岩石发生微破裂扩容,地下水的渗入会使电阻率下降,然而钱家栋和陈有发(1989)进行的一些岩石压力试验及国内外一些7 级以上地震前后电阻率变化情况表明,孕震过程也可能导致饱和岩石的电阻率上升,这与本文用“剥皮法”反演得到腾冲台深部电阻率上升的结果是一致的。

#### 参考文献:

毛先进,钱家栋. 2001. 前兆地电阻率资料处理的“剥皮”法[J]. 地震学报,23(6):72-76.  
钱家栋,陈有发. 1989. 地震地电学译文集[M]. 北京:地震出版社.  
杨文采. 1997. 地球物理反演的理论与方法[M]. 北京:地质出版社.  
云南省地震局. 2005. 地震监测志[M]. 北京:地震出版社.

## Processing the Apparent Resistivity Data Recorded by Tengchong by “Peeling Method”

YANG Ling-ying, MAO Xian-jin, SUN Zi-gang, ZHOU Ping

(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

### Abstract

Using the “peeling method”, we processed the digital observational data of apparent resistivity from Jan. , 2002 to Aug. , 2008 in Tengchong Seismic Station. The results showed that the inversion process of “peeling method” possessed fast calculation speed and stable. Inversion result showed that there existed evident changes of resistivity in deep layers. Those changes weren't associated with the interference of climate change and humanity activities, and might be associated with Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake in May 12, 2008

**Key words:** peeling method; apparent resistivity; equivalent geoelectric structure; Tengchong Station