

地电阻率法的台址条件(二)

陈有发 丁 卉

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

地电台测区介质的岩体力学条件是地电阻率法台址的重要条件之一。本文根据实测资料和实验结果研究了第四纪浮土层对地电阻率正常变化和地电阻率前兆特征的影响,并对浮土层下伏岩体的物理力学性质与岩体电阻率变化之间的关系作了探讨。由此得到,地电台探测区的岩体力学条件应该是浮土层较薄,下伏小孔隙度(或小裂隙率)的岩体。

一、前 言

地电阻率法的台址条件的第一部分研究了地电台所处位置的地质构造条件^[1],本文将研究地电阻率法探测体内介质的岩体力学条件(所谓岩体力学是研究岩体在其环境应力场改变时产生变形和破坏规律的科学)。这个条件是地电阻率法台址条件中又一个重要条件。介质在不同的岩体力学条件下对地电阻率法观测结果的影响应该是不同的。探测体内岩体的物理状态和力学性能及其变化的差异导致岩体电性变化是地电阻率法测量结果差异的主要基础。研究地电台址的岩体力学条件目的在于一方面弄清楚地震孕育过程中岩体变形甚至破坏引起地电阻率变化的特征;另一方面也研究它与地电阻率正常变化特征之间的关系。由于岩体力学内容很丰富,涉及面很广泛^[2、3],当前,我们只选择在地电台址条件中最有意义的两个方面的内容加以研究,也就是第四纪松散沉积物浮土的性质和成岩岩体空隙(称为结构面)与地电阻率变化特征之间的关系。它们都是控制岩体力学作用和力学性质规律的基本因素之一,也是制约地电阻率变化特征的主要因素。

二、浮土层与地电阻率变化的关系

1. 浮土层与地电阻率前兆的关系

在一般情况下地电阻率法探测区的固体介质包括两部分:一是具有弹塑性的第四纪浮土层;二是浮土层下伏的基岩。它们是岩体力学性质不同的地质体。因此,它们不同的组合体在地震孕育过程中产生形变的程度及影响范围显然是不同的,进而会造成地电阻率异常

$\Delta\rho_{sa}/\rho_s$ 在时间延续上和空间分布上都有很大的差异。由于浮土具有孔隙度大、湿度高和连续性极差的特点，所以，浮土的力学性质（抗压、抗拉、抗切等）不好，不利于应力应变的远距离（相对而言）传递，对来自震源深处的应力应变有“吸收”和“软变”的作用；浮土越厚，这种作用越显著。探测体内较厚的浮土层对由应变引起的地电阻率前兆的特征也就有抑制作用。浮土层越厚，这种抑制效应也就越大^[4]。因此，测区较厚的浮土层是地电阻率法的主要干扰因素之一，地电台址必须选在第四纪浮土层较薄的地区才有可能记录到与地震或地壳运动有关的地电阻率变化的信息。下面以两个震例说明这个问题。

将1976年7月28日唐山7.8级地震震中周围150公里范围内能够互相比较的地电台有关参数列于表1。由表1可以看出，在震中距相同（ $\Delta \approx 80$ 公里）时，随着浮土厚度由70米增大到600米以上，地电阻率异常量 $\Delta\rho_{sa}/\rho_s$ 明显地由5.6%减少到1.0%，已接近观测误差。不同震中距而有相同浮土厚度的地电台有关参数见表2。由表2可以看出，当浮土厚度相同（昌黎和忠兴庄为80米，唐山和马坊为250米）时地电阻率正常变化量 $\Delta\rho_{se}/\bar{\rho}_{se}$ 分别为4.0%和2.0%左右。这说明相同厚度的浮土对地电阻率正常变化的影响程度基本上是相同的。但是，地电阻率的地震异常 $\Delta\rho_{sa}/\rho_s$ 却随着震中距的增大而衰减，这从另一个方面说明浮土对地电阻率异常的抑制作用。虽然，忠兴庄台距震中比马坊台要远40余公里，但是，由于该台浮土厚度只有马坊台的三分之一，所以，在唐山地震过程中地电阻率异常仍为3%左右。而马坊台地电阻率没有异常。

表1

相同震中距的地电台有关参数

台名	震中距(km)	浮土厚度(m)	AB/MN(m)	$\Delta\rho_{se}/\bar{\rho}_{se}\%$	$\Delta\rho_{sa}/\rho_s\%$
昌黎	77	70	900/200	3.6	5.6
宝坻	83	180	1000/200	2.6	2.8
塘沽	80	>600	2000/600	1.3	1.0

表2

不同震中距而有相同浮土厚度的地电台有关参数

台名	震中距(km)	浮土厚度(m)	BA/MN(m)	$\Delta\rho_{se}/\bar{\rho}_{se}\%$	$\Delta\rho_{sa}/\rho_s\%$
昌黎	77	70	900/200	3.6	5.6
忠兴庄	150	80	1000/300	4.1	2.7
唐山	0	250	1000/200	2.8	3.2
马坊	110	250	1200/300	1.5	0

1976年8月16日松潘7.2级地震震中周围可供对比的地电台有关参数如表3所示。由表3中武都台四条测线地电阻率异常可以看出，浮土较厚地电阻率异常 $\Delta\rho_{sa}/\rho_s$ 较小。由武都和松潘台地电阻率前兆对比可以发现，虽然武都台离震中比松潘台远70多公里，但是武都台浮土厚度为松潘的 $1/10 - \frac{1}{2}$ ，所以，武都台地电阻率异常 $\Delta\rho_{sa}/\rho_s$ 为松潘台的2—12倍之多。

实测资料还表明，浮土不仅影响地电阻率前兆量的大小，而且也影响地电阻率前兆在时间延续上的阶段性，空间分布上的区域性和方向性特征¹⁾。这也表明浮土对地电阻率前兆

1) 陈有发等，地震前后地电阻率阶段性变化特征的物理解释，1983。

特征的抑制作用。

浮土对地电阻率前兆的抑制效应在压力实验结果中也得到了证实。1973年9—10月在兰州观象台自然条件下的黄土层中作了压力实验,有关数据见表4。为了便于和岩体的力学性质比较也列出了1974年2月—1975年1月在湖南某矿井下现场矽化灰岩的压力实验结果²⁾。表中 $\Delta L/L$ 为线应变, $\Delta \rho_s/\rho_s/\Delta L/L$ 为电阻率变化量与线应变之比,称为电阻率对应变的“放大因子”。在 10^{-5} 这样大的应变时黄土层电阻率的变化量很小,只有1.6—1.8%,“放大因子”为 3.4×10^2 ;与岩石的平均“放大因子”(9×10^2 — 3.28×10^4)相比,要小1—2个数量^[5、6、7]。表中矽化灰岩比黄土的平均应变变量要小,但是,岩石的平均电阻率变化量(4.1%)比黄土(1.7%)要大许多。由此更可以看出,浮土的力学性质对地电阻率前兆量的抑制作用。

表3 松潘7.2级地震前武都和松潘地电台有关参数

台名	方向	浮土厚度(m)	AB/MN(m)	$\Delta P_{sa}/P_s\%$	备注
武都 ($\Delta = 102\text{km}$)	N66.5°W	22	900/300	14.3	山脚 ↓ 河边
	N44°W	↓	1000/300	4.2	
	N85°E		1000/300	2.8	
	N66.5°W	100	900/300	2.6	
松潘($\Delta = 50\text{km}$)		150~200	600~800/200	0.6~1.2	

表4 受压黄土和岩石的应变,电阻率和它们的比值(平均值)

时间	名称	实验次数	$\Delta L/L \cdot 10^{-6}$	$\Delta \rho_{sa}/\rho_s \cdot 10^{-2}$	$\frac{\Delta \rho_{sa}}{\rho_s} / \frac{\Delta L}{L} \cdot 10^2$
1973.9—10	黄土	24	—52	—1.7	3.4
1974.2 1975.1	矽化灰岩	9	—49	—4.1	9.8

2. 浮土层与地电阻率正常变化的关系

浮土层不仅影响地电阻率前兆特征,而且也影响地电阻率正常变化的特征(形态、极值时间和年变化幅度)。由表1可以看出,随着浮土厚度由70米增大到600米以上时,地电阻率年变化幅度 $\Delta \rho_s/\rho_s$ 由4%左右衰减到1.0%左右。由表2可以看出,浮土厚度相同时地电阻率年变化量也大体相当,如昌黎和忠兴庄,唐山和马坊台。大范围的统计也表明,浮土厚度小于80米时地电阻率年变化幅度从百分之零点几到8%,少数可达百之十几;而浮土厚度为80—400米时地电阻率年变化幅度在0—3%左右变化^[4]。一般讲,浮土厚度越大,地电阻率年变化量越小。

浮土层还影响地电阻率变化的形态及其极值出现的时间。有关数据见表5。表中 ρ_s 形态栏有正、反、乱三种情况,正系指地电阻率年变化在每年3月份左右取极大值,9月份左右取极小值,这种形态的地电阻率称为正常年变化;反指与正常年变化相反,称为地电阻率

2) 陆阳泉等,自然条件下受压岩(土)层电阻率变化的实验结果及大地震前后地电阻率某些异常特征的初步分析,1981,

表5 全国部分地电台的浮土厚度、下伏岩石和地电阻率年变化形态

台名	浮土厚度 (m)	下伏岩石	ρ_s 年变化形态	AB/MN (m)
山丹	$\rightarrow 0$	N, 砂砾岩	正	800/250
临沂	8	石灰岩	正	740/140
邢台	10	石灰岩	正	1500/100
临夏	10—20	粘土岩(N), 花岗闪长岩	正	1500/500
静宁	10—30	N, 泥岩, 砂质泥岩	正	800/200
高台	27	花岗岩	正	1000/300
武都	20—100	S ₂ , s, 碳硅质板岩, 页岩	正	900—1000/300
昌黎	70	花岗石	正	900/200
刘家峡	32—70	N, 砾岩, 砂岩, 砂质泥岩	正	1500/500
忠兴庄	80	灰岩	正	1000/300
宝坻	196	页岩, 灰岩	正	1000/200
马坊	248	" "	正	1200/300
西集	380	N, 砾岩	正	2100/380
郫县	3—4	砾岩, 砂岩	反	846/270
天水	20—30	N, 粘土岩	反	1035/350
张掖	500		反	1200/400
嘉峪关	530		反	1000/300
武威	630		反	1000/300
郑州	10—15	灰岩, 砂岩, 泥质砂岩	乱(反)	300/30
马各庄	15	K, 砂岩	乱	2000/600
昌邑	很薄	砂页岩	乱(反)	1500/500
通渭	20	N, 砂质泥岩	乱	800/200
定西	20	N, 砂岩, 砾岩	乱	1000/400
兰州	10—30	砂岩, 泥岩	乱(正)	1000/300
大圩河	27	砂岩	乱(反)	1500/500
小汤山	150	硅质灰岩	乱	800/400
西峰镇	234	砂岩	乱	1200/400
青光	600	N, 砂岩	乱	3000/1000
塘沽	>600	N, 砂岩	乱(正)	2000/600
徐水	420		乱	2000/200
西安	500		乱	2000/667
大柏舍	680		乱	1500/500
徐庄子	1000	N, 砂岩	乱	3000/1000

反常年变化；乱指地电阻率变化杂乱，无规律可寻。由表5可以看出，13个地电台地电阻率具有正常年变化形态，其中10个台的浮土厚度在100米以内，只有3个台的浮土厚度在200—400米；5个台地电阻率具有反常年变化形态，其中2个台浮土厚度在30米以内，3个台浮土厚度在500—600米范围内；15个台地电阻率变化无规律可寻，7个台浮土厚度在30米内，8个台浮土厚度在150—1000米。浮土厚度较薄的地电台地电阻率年变化幅度和极值时间都比较稳定，形态也很规则〔8〕。

从上述讨论可以得到，由于浮土本身结构的特点，在受压过程中浮土变形容易出现局部化的致密状态，应力应变在浮土中衰减很快。因此，较厚的浮土对地电阻率前兆和地电阻率正常变化的基本特征都有影响。

三、结 束 语

地电台探测体内孔隙度大和连续很差的较厚的浮土对地电阻率法测量的地电阻率正常变化量、形态和极值时间以及地震的地电阻率前兆量、阶段性、区域性和方向性特征都有不可忽视的影响。而它的下伏高、中孔隙度($\phi \geq 0.03$)的岩石在压力作用下电阻率变化量趋近于零,小孔隙度岩石的电阻率变化量却十分显著。因此,地电台址的岩体力学条件应该是浮土层薄,下伏小孔隙度的岩体。

(本文1984年1月20日收到)

参 考 文 献

- [1] 陈有发等,地电阻率法的台址条件(一),西北地震学报, Vol. 6, № 3, 1984.
- [2] 谷德振,岩体工程地质力学基础,科学出版社,1981.
- [3] 孙广忠,岩体力学基础,科学出版社,1983.
- [4] 陈有发等,岩性对地电阻率前兆的影响,西北地震学报, Vol. 4, № 4, 1982.
- [5] Y. Yamazaki, Electrical Conductivity of Strained rocks, Bulletin of the earthquake research institute, university of Tokyo, Vol. 45, part 3, 1967.
- [6] Y. Yamazaki, Coseismic resistivity steps, Tectophysics, Vol. 22, № 1/2, 1974.
- [7] 张同俊,矿井岩层受力状态与视电阻率关系的实验研究,西北地震学报, Vol. 3, 1981.
- [8] 陈有发等,地下岩石视电阻率年变化,西北地震学报, Vol. 1, №. 3, 1979.
- [9] Коцюсов И. А., О Зависимости удельного электрического сопротивления водонасыщенных горных пород от их пористости, Вестн. Моск. УН-Та, Сер. 4, Геология, № 4, 1980.
- [10] Даханов В. Н., Геофизические Методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород Недр., 1975.
- [11] Краев, А. П., Основы Геоэлектрики, 1951.
- [12] 沈明性,复杂条件下电测深曲线解释,地质出版社,1979.
- [13] 帕拉司尼斯, D. S. 应用地球物理学原理,地质出版社,1974.
- [14] Telford. W. M. et al., Applied geophysics, camrige university press, 1976.
- [15] Brace. W. F. et al, The effect of pressure on the electrical resistivity of Water-Saturated crystalline rocks, J. G. R., № 22, 1965.
- [16] Brace W. F. et al, Further studies of the effects of pressure on electrical resistivity of rocks, J. G. R., № 16, 1968.

INVESTIGATIONS OF THE CONDITIONS OF UNDERGROUND
MEDIUM ASSOCIATED WITH THE OBSERVATION
OF THE EARTH RESISTIVITY

Chen Youfa Ding Hui

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological
Bureau, Lanzhou, China*)

Abstract

In this Paper, based on the data of earth resistivity and some measurements of resistivity of rock specimen, the author studied the influence of the thickness of Quarternary over-burden of soil on the normal variations and the precursors of the earth resistivity and the relation is also studied between the mechanical properties and changes of the earth resistivity of the rocks under the Quarternary over-burden soil. The observing station of the earth resistivity must be located at place where the porosity of rocks is low under the thinner Quarternary over-burden soil.