

抽水灌溉对宝鸡地电阻率观测的影响

马世虎¹, 王秋宁¹, 王西平¹, 赵洁²

(1. 陕西省地震局宝鸡地震台, 陕西 宝鸡 721008; 2. 甘肃省地震局嘉峪关地震台, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要:在陕西省宝鸡台地电阻率测区内进行了短期的人工抽水和灌溉实验, 并对测区内大面积、长期抽水和灌溉活动对该台地电阻率观测的影响进行了研究。结果显示短期、局部范围的抽水活动对地电阻率观测没有明显影响; 而持续性的大量抽水、灌溉活动明显影响了地电阻率观测结果。讨论了这种现象的可能原因。此结果为地震监测、预报中地电阻率观测资料的有效应用提供了参考依据。

关键词: 宝鸡; 地下水位; 地电阻率; 抽水; 灌溉; 影响

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2011)03-0295-04

Effect of Pumping and Irrigation on Geo-resistivity Observation in Baoji

MA Shi-hu¹, WANG Qiu-ning¹, WANG Xi-ping¹, ZHAO Jie²

(1. Baoji Seismic Station, Earthquake Administration of Shaanxi Province, Shaanxi Baoji 721008, China;

2. Jiayuguan Seismic Station, Earthquake Administration of Gansu Province, Gansu Jiayuguan 735100, China)

Abstract: A experiment for effect of pumping and irrigation in short-term to geo-resistivity observation in the observation site of Baoji seismic station, Shaanxi province, was done, and the effect from pumping and irrigation in a large range with long-term around Baoji observation site was researched also. The result shows that pumping and irrigation in a small range with short-term has no noticeable influence on the geo-resistivity observation, but the one in a large range with long-term has significant effect on the observation. The possible reason of this phenomenon is discussed. The result present a reference for estimating influence of groundwater on geo-resistivity observation in earthquake prediction.

Key words: Baoji; Groundwater level; Geo-resistivity; Pumping; Irrigation; Effect

0 引言

1976 年唐山 $M_s 7.8$ 地震、松潘—平武 $M_s 7.2$ 地震和 2008 年四川汶川 $M_s 8.0$ 大震以及其它一些中等地震前观测到了显著的地电阻率前兆变化^[1-2], 证明了地电阻率观测是地震监测最有效的方法之一。我国现有七十余个固定地电阻台站担负着地震监测预报任务, 分布在 18 个省(市、区), 基本覆盖南北地震带、大华北、东南沿海等人口稠密地区的地震活动区/带。观测场地的环境条件、电性结构条件变化会直接影响观测结果。目前我国地电阻率台站中

相当一部分台站的布极区位于农田、果园、草场等地表耕种区内, 场地内的耕种、用水、用电等生产活动往往会对地电阻率观测结果造成不同程度的干扰和影响, 如果测区内有灌溉井, 季节性抽水灌溉会对地电阻率观测结果带来一定影响^[3]。为了研究抽水灌溉活动对地电阻率观测的影响, 我们在宝鸡台地电阻率观测场地内进行了机井抽水实验; 同时开展了周边大范围内抽水灌溉影响的调查与研究。本项实验有助于认识地电阻率观测环境影响。

1 地下水位与地电阻率的关系

地震的孕育、地下水变化和地电阻前兆变化三者之间具有一定的因果关系^[4]。地震地电阻率观测理论源自于电法勘探理论,地下介质电阻率变化可以用阿契定律(Archie's law)来表述:

$$\rho_R = \alpha \rho_w \varphi^{-m} S^{-n} \quad (1)$$

式中 ρ 表示介质电阻率; α 为无量纲系数; φ 为介质孔隙度; m 为经验常数,与介质孔隙结构有关,通常取值为 1.3~1.9; ρ_w 为孔隙水的电阻率; S 为水饱和度; n 为常数,与介质有关,通常取值为 2; 文献[5]给出了各向异性介质中视电阻率变化 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 与饱和水裂隙电阻率 ρ_f 、骨架电阻率 ρ_o (一般 ρ_o/ρ_f) 和裂隙率 v 之间的本构关系:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta\rho_{s\perp}}{\rho_{s\perp}} &= \frac{\rho_f - \rho_o}{\rho_f/v + \rho_o} \cdot \frac{\Delta v}{v} \\ \frac{\Delta\rho_{s\parallel}}{\rho_{s\parallel}} &= \frac{\rho_f - \rho_o}{2} \left(\frac{1}{\rho_f/v + \rho_o} + \frac{1}{\rho_o/v + \rho_f} \right) \cdot \frac{\Delta v}{v} \end{aligned} \right\} (2)$$

式中 $\Delta\rho_{s\perp}/\rho_{s\perp}$ 是垂直微裂隙优势走向方向的视电阻率变化, $\Delta\rho_{s\parallel}/\rho_{s\parallel}$ 是平行微裂隙优势走向方向的视电阻率变化^[5]。根据式(2),低阻的地下水直接影响了地下介质的视电阻率变化。

一般来说,地下水位升高(一般由降雨或灌溉引起)会造成观测区表层电阻率减小,但是,由于地下介质一般为多层结构,表层电阻率对视电阻率的影响与观测区的电性结构有关。在表层电阻率下降时,视电阻率可能是增大的,也可能是减小的^[6]。地下介质中的水主要有承压水和地表潜水。承压水的变化一般反映的是储水腔体应力的变化(例如有固体潮变化),它不反映介质含水量的变化,因此不会引起介质电阻率的变化。地表潜水位的变化直接改变观测区表层介质电阻率。目前我国地电阻率观测台站的供电极距在 1 000 m 左右、测量极距是供电极距的 1/3 左右,在这种观测装置下表层电阻率对视电阻率有一定的影响,大量抽取地表水可能造成地电阻率观测数据变化^[7]。

2 宝鸡台址条件

宝鸡台建于 1995 年 10 月,位于渭河东西向断裂与固关—县功 NW 向断裂的交汇部位,地电阻率观测布极区在秦岭北麓一级阶地上,测区内地势较为平坦,布极区最大高差不超过 2 m,地下水位埋深在 5 m 以内。共布设三个测道,采用对称四极观测装置,供电极距 900 m,测量极距 300 m(图 1)。台址地下差异不大,各测道介质电性参数大体相近,电测深曲线类型为 KQQ 型。

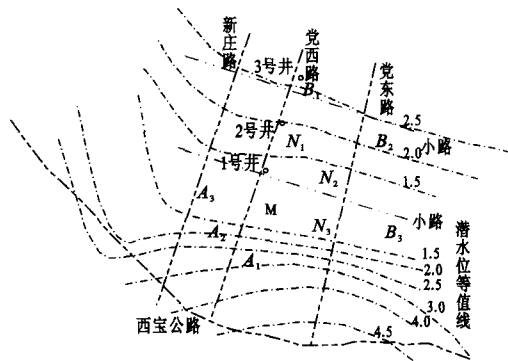


图 1 宝鸡台地电阻率观测布极图
(点画线为潜水位等值线)

Fig. 1 Sketch of Baoji geo-resistivity pole collocation.

3 短期抽水实验

在宝鸡台地电阻率测区内选择了三口灌溉井进行抽水实验,分别位于 M_1 极北 80 m(1 号井)、 N_1 极北 50 m(2 号井)和 B_1 极北 50 m(3 号井)。三口井深均为 6 m,井径 2 m。采用口径为 4 寸的潜水泵连续抽水,每口井的出水量为 60 m³/h。

实验共进行四天,每天连续抽水 10 个小时。第一天在 1 号井内抽水,所抽井水排向测区以外;第二天至第三天在 1、2 号井同时抽水,所抽井水向测区内灌溉;第四天在 3 号井内抽水,所抽井水向供电极附近灌溉。在抽水过程中每十分钟记录一次动水位数据,用 ZD8B 地电仪每半小时观测一次地电阻率。从测量数据来看,几口井由于类型相同,抽水时水位变化情况基本一致:由于几口井深度都较浅,井内存水均系地表水,所以可以看到在一开始抽水时井水位迅速下降,20 分钟下降 3 m 左右;之后降速趋缓,水位基本稳定在 5 m 左右(图 2)。

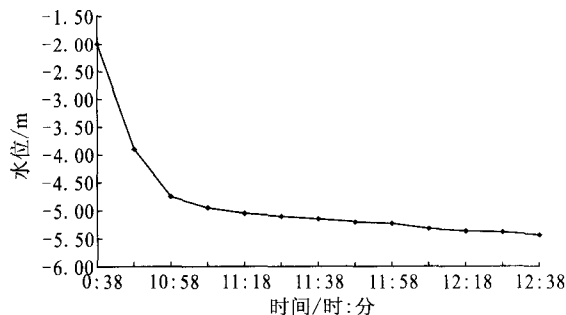


图 2 1 号井抽水过程中的水位变化

Fig. 2 Curve of water level of No. 1 well in the pumping process.

为了分析抽水过程中周围地下水位变化情况,在 1 号井西 60 m 处找了一口井,每半小时测量一次

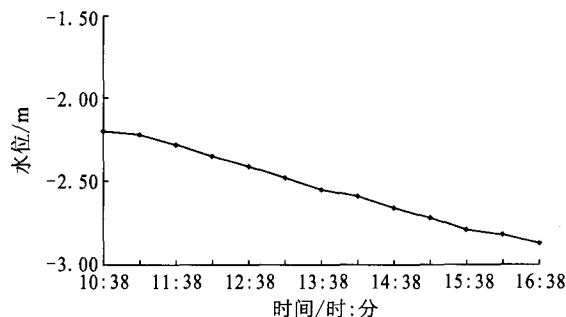


图3 抽水过程中的周围地下水位变化

Fig. 3 Curve of groundwater level of surrounding area in the pumping process.

水位。测量结果表明周围地下水位随抽水过程缓慢下降,平均每小时下降0.1 m左右(图3)。

从地电阻率测量数据结果来看没有明显变化(图4)。分析认为局部短期抽水没有产生影响的原因可能是:

(1) 抽水区原来处于过饱和状态,短期抽水土壤含水仍是处于饱和状态,其电阻率没有变化;

(2) 短期局部抽水虽改变了基本区域的电阻率,但此局部区域与整个被观测的勘探体相比影响太小(这是地电阻率观测与其他观测方法相比的优

越性),因此电阻率观测值变化不大。

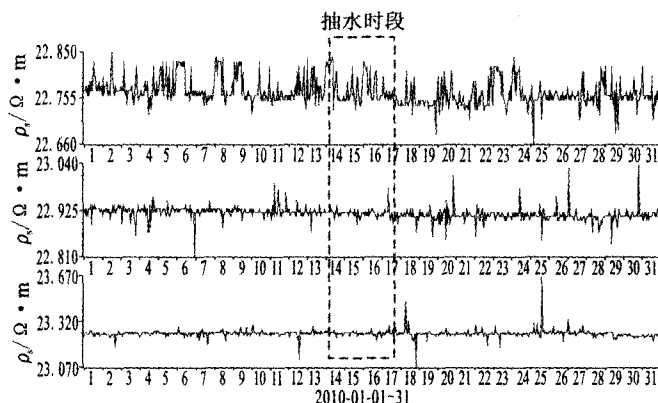


图4 宝鸡台2010年1月地电阻率整点值(三个测向)

Fig. 4 Hour's curves value of Baoji geo-resistivity in January 2010 (in three directions).

4 大范围抽水灌溉的影响分析

宝鸡台地电阻率测区大部分是果园区,自2000年起果园内陆续开掘了十余口灌溉用大口井,井深6~8 m,井口径2~3 m。随着灌溉井数量的增加,抽水灌溉面积和抽水量逐年增加,每年5~7月观测区内大面积长时间大量抽水灌溉,地下水位下降明

目,地电阻率观测资料亦明显变化,见图5。

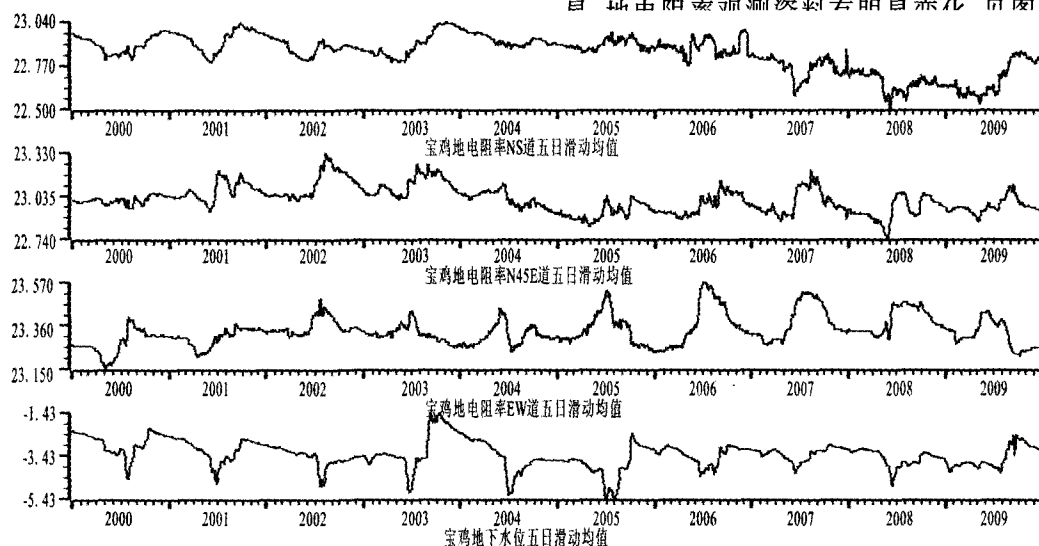


图5 宝鸡台地电阻率与水位变化曲线图(2000-01-01—2009-12-31)

Fig. 5 Curves of geo-resistivity and groundwater level at Baoji station (2000-01-01—2009-12-31).

2004年以后,测区内又新增了几口同类大口井,抽水灌溉活动更加频繁。从图5中可以看出,近几年宝鸡台地电阻率观测曲线年变幅明显增加:2000—2004年三道地电阻率年变幅基本不超过1%,但近几年都在1%以上,2009年NS测道的年变幅甚至达到1.78%。

分三个不同时间段计算三个测道地电阻率日均值与测区地下水位的相关系数,结果见表1。从相关性上看,NS、N45°E测道地电阻率变化与地下水位变化为正相关,EW测道地电阻率变化与地下水位变化为负相关。其中NS测道和EW测道相关性显著,尤其是近几年相关性更显著,表明了测区地下

水长期补给和抽水主要影响了 NS 测道、EW 测道的地电阻率变化。

表 1 宝鸡台地电阻率与地下水位相关系数

时段	NS	N45°E	EW
2000—2009 年	0.382	0.204	-0.453
2007—2009 年	0.776	0.106	-0.472
2009 年 1—12 月	0.868	0.521	-0.760

5 讨论与认识

从两个方面分析了测区地下水动态变化的影响。第一是在测区进行短时间的抽水、排放实验;第二是测区多口井大面积、长时间抽水引起的地下水位变化与对电阻率观测的影响。第一种实验中,测区短时间抽水、并向测区排放/不排放,抽水量已达到 60 m³/h,并且向电极附近灌溉。实验结果表明,这种短期行为的抽水、灌溉对地电阻率观测没有明显的影响。抽水机井的井深 6 m,主要影响的是测区局部范围表层介质的电阻率。宝鸡台地电阻率观测供电极距 $\overline{AB}/2=450$ m,理论上该台探测深度为数百米,抽水过程中地电阻率不发生明显变化,说明该台探测深度远大于本含水层下界面埋深。这个结果在今后的地电阻率观测资料分析中很有应用意义。通常地电阻率出现异常变化,人们更多的联系观测场地的微小环境变化,造成异常判定的不确定

性^[8]。本次实验结果说明,类似于宝鸡台台址结构的台站其表层短时间的地下水位变化以及局部灌溉对地电阻率观测没有明显影响。第二种情况中,测区内多口井长期抽水的出水量与地电阻率变化相关,说明了大量抽水对地电阻率变化有影响,在观测资料分析中应足够重视这种环境变化对视电阻率观测的影响。

[参考文献]

- [1] 杜学彬. 在地震预报中的两类视电阻率变化[J]. 中国科学(D 辑), 2010, 40(10): 1321-1330.
- [2] 肖武军, 关华平. 汶川 8.0 级地震以及其它大震前的地电阻率异常特征[J]. 西北地震学报, 2009, 31(4): 349-354.
- [3] 王铁城, 毛桐恩, 等. 地下水对地电前兆影响的实验研究[J]. 地震, 1997, 17(2): 157-161.
- [4] 田山, 郑文俊, 关华平, 等. 地电阻率年变化与气象因素及水位的关系[J]. 地震, 2000, 20(4): 45-49.
- [5] 杜学彬, 李宁, 叶青, 等. 强地震附近视电阻率各向异性变化的原因[J]. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1802-1810.
- [6] 杜学彬, 钱家栋, 陈军营, 等. 地电阻率台址条件研究[J]. 地震, 2007, 27: 19-27.
- [7] 马钦忠, 钱家栋. 边界元法在地电预报地震中的研究与应用[J]. 西北地震学报, 2004, 26(1): 18-23.
- [8] 毛先进, 李志祥, 杨玲英. 台址下表层介质电阻率变化对视电阻率观测值影响特征的初步研究[J]. 地震研究, 2003, 26(4): 338-342.