

# Finite Element Simulation of Typical Interferences in Baoji Deep Geoelectrical Resistivity Observation

Wei Xu

Baoji Earthquake Station of Shannxi Province, Baoji Shaanxi  
Email: [xuwei3516@163.com](mailto:xuwei3516@163.com)

Received: Jul. 22<sup>nd</sup>, 2015; accepted: Aug. 11<sup>th</sup>, 2015; published: Aug. 18<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The finite element model of Baoji deep geoelectrical resistivity observation is established according to the observation way and sounding data. It simulates the finite element method for typical interferences, the change of shallow medium and the surface current. It calculates the influence degree of Baoji deep geoelectrical resistivity observation from the change of shallow medium and the surface current. The research results of this article have important reference for the design and construction of the deep geoelectrical resistivity observation system and the analysis of the disturbance.

## Keywords

Deep Geoelectrical Resistivity, Shallow Medium, Surface Current, Finite Element Simulation

---

# 宝鸡深井地电阻率典型干扰有限元模拟

许 维

陕西省宝鸡综合地震台, 陕西 宝鸡  
Email: [xuwei3516@163.com](mailto:xuwei3516@163.com)

收稿日期: 2015年7月22日; 录用日期: 2015年8月11日; 发布日期: 2015年8月18日

文章引用: 许维. 宝鸡深井地电阻率典型干扰有限元模拟[J]. 地球科学前沿, 2015, 5(4): 308-313.  
<http://dx.doi.org/10.12677/ag.2015.54031>

## 摘要

本文根据宝鸡深井地电阻率观测系统的观测方式,结合台站电测深数据建立有限元模型,对于井下地电阻率面临的典型干扰:浅层介质变化和地表电流干扰进行有限元模拟。计算得到了宝鸡深井地电阻率受浅层介质变化和地表电流干扰的影响程度。本文章的研究成果对于深井地电阻率的系统设计建设,干扰异常分析有重要参考意义。

## 关键词

深井地电阻率, 浅层介质, 地表电流, 有限元模拟

## 1. 引言

地电阻率观测手段在我国有 40 多年地震监测历史,是我国地震监测的主要方法之一,多年以来积累了的大量观测数据及科学研究成果[1]-[6]。但是由于社会经济的发展,地电阻率观测场地环境保护面临越来越严重的挑战,深井地电阻率观测系统便在这种情况下得到了一定的发展[7]-[9]。

深井地电阻率观测是近年来逐渐摸索的一种新的地电阻率观测系统。2009 年河北大柏舍地电台建成一套小极距地电深井观测系统[10],陕西合阳台深井地电观测系统 2011 年 7 月建成并投入观测,甘肃天水台深井地电观测系统 2011 年 3 月建成并投入观测[11] [12]。该方法具有能大大缩小观测环境保护区范围,对于地电阻率变化信息的测量响应程度高,是未来地震地电观测的发展的方向。

但是深井地电阻率观测系统在全国范围内仍属于摸索阶段,在典型干扰分析等都罕有直接经验可以借鉴[13]-[15]。本文针对于宝鸡深井地电阻率观测面临的典型干扰:表层介质变化和地表电流干扰,建立简化模型,进行 ANSYS 有限元模拟,从而得到以上两种典型干扰的定量分析。本文的研究结果对于深井地电阻率观测手段的干扰分析和异常排除有重要参考意义,同时又为新建井下地电阻率观测系统提供一定参考价值。

## 2. 宝鸡深井地电阻率基本情况

宝鸡台地处渭河断陷盆地的秦岭北麓断裂以北,渭河大断裂的南侧,渭河东西向断裂与虢镇-固关北西向断裂的交汇部位附近,台站位于渭河一级阶地,测区水层较浅,常年平均在 3 米左右。2013 年 3 月建成深井地电阻率观测系统,共进行三个测道的观测,其中水平道井 1 和井 4 两口井的 20 m 电极供电,井 2 和井 4 两口井中 120 m 处电极测量为第一道,80 m 处电极测量为第三道。第二道为井 2 口中 40 m 处电极和 160 m 处电极供电,井 3 中 80 m 处电极和 120 m 处电极测量。电极布设情况如图 1 所示。根据王兰炜等对于装置系数的计算分析,得到宝鸡深井地电阻率各道相关系数分析为 2931、883 和 1175。

## 3. ANSYS 建模

ANSYS 软件是美国 ANSYS 公司研制的大型的集结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的通用有限元模拟软件。在航空航天、机械土木、轻工日化、能源化工、地矿水利等领域有着广泛的应用。本文选用 ANSYS 软件针对于宝鸡台地电阻率观测系统进行有限元模拟。

图 2 为宝鸡台勘选时 1000 m 电测深数据,台站 1000 m 内地下介质可简化为水平层状分布三维有限元模型,各层电阻率及厚度分别为  $30.2 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $91 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $26.5 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $16.1 \Omega \cdot \text{m}$  及 3 m、12 m、265 m、720 m,其中反演曲线与实际测值的相对均方误差为 2.78%。为了有效地减小截断边界对地下电场线分布的影响,

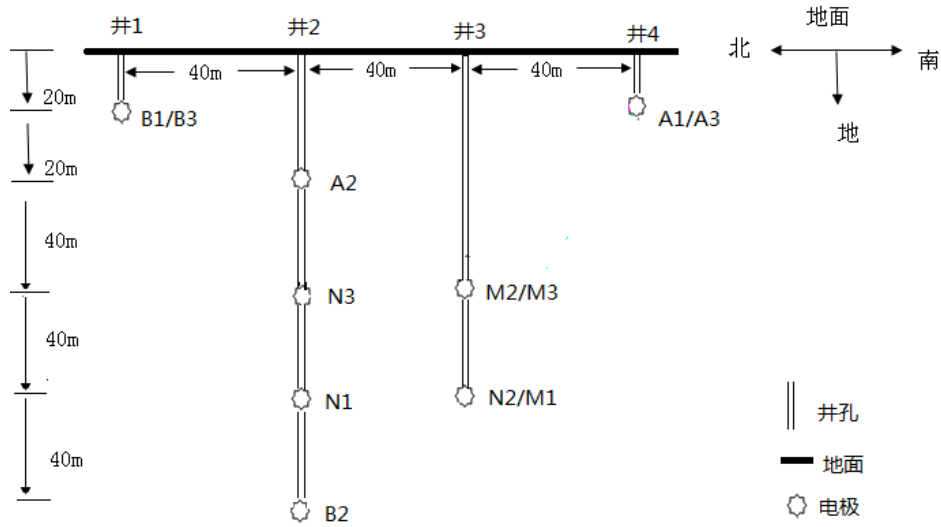


Figure 1. Electrodes position of deep geoelectrical resistivity in Baoji station  
 图 1. 宝鸡深井地电阻率布极方式示意图

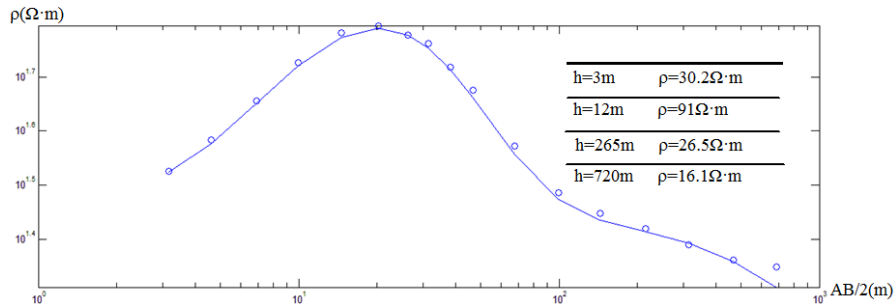


Figure 2. Deep sounding data and inversion curve in Baoji station (“o” means sounding data)  
 图 2. 宝鸡台深层电测深数据及反演曲线图(“o”为实际测量结果)

结合前人已做的研究，本文经过反复试验，选取大小(长 × 宽 × 高)为 1000 m × 1000 m × 1000 m 的模型模拟无限半空间的地下介质，选用 solid5 三维 8 节点电磁场耦合实体单元，自由度为电压。在各道供电电极分别施加激励电流  $I_A = 1\text{A}$ ， $I_B = -1\text{A}$ ，计算在各道测量极 M、N 上的供电电位差  $\Delta V$ ，根据地电阻率的计算公式  $\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$  得到各道理论测值。

#### 4. 表层介质变化干扰分析

地下表层介质是相对于深层介质而言，该层介质受到测区降雨、地表蒸发、气温、农田灌溉、河流蓄水等因素影响，导致表层介质的电阻率会随着以上诸多因素发生一定程度变化。而地下深层介质由于位置较深，介质电阻率受到以上诸多因素的影响不明显。

图 3 为宝鸡台浅层 10 m 电测深数据，台站浅层介质可简化为三层电性模型，各层电阻率及厚度分别为 40  $\Omega\cdot\text{m}$ 、17.5  $\Omega\cdot\text{m}$ 、90  $\Omega\cdot\text{m}$  及 1.5 m、3 m、5.5 m，其中反演曲线与实际测值的相对均方误差为 3.16%。

浅层介质由于受到诸多因素的影响，电阻率处于动态变化范围。从图 3 可得进行浅层电测深时，深度为 1.5 m 到 3 m 的介质电阻率明显小于深层介质，结合附近施工开挖情况和测区地下水位常年深度判断该层为含水层，据此判断图 2 模型中表层 0 m 到 3 m 介质电阻率下限约为 17.5  $\Omega\cdot\text{m}$  左右。由于进行浅层电测深时为旱季，地表土壤严重干旱，据此判断图 2 模型中表层 0 m 到 3 m 介质电阻率上限约为 40  $\Omega\cdot\text{m}$  左右。

表层介质变化的干扰模型为：表层介质电阻率变化范围为 16~40 Ω·m，以 2 Ω·m 为步长进行有限元模拟，计算各道地电阻率受表层介质电阻率变化的影响程度。

将各道模拟结果进行同尺度绘图，从结果曲线(图 4)看可得：当浅层电阻率 ρ 增大时，各道地电阻率增大，当表层电阻率从 16 Ω·m 增加到 40 Ω·m 时，第一道地电阻率增加了 1.03 Ω·m，影响程度 3.50%，第二道地电阻率增加了 0.28 Ω·m，影响程度 0.98%，即第二道测值受表层介质受变化的影响最大程度不足 1%，第三道地电阻率增加了 1.18 Ω·m 影响程度 3.78%；从各道地电阻率受浅层介质变化影响曲线的斜率来看，当表层电阻率减小时，各道地电阻率的变化率增大，反之亦然，即表层介质电阻率较小时，其变化对各道测值影响较大，反之亦然。

### 5. 地表电流干扰分析

宝鸡深井地电阻率测区处于宝鸡市高新区三期项目内，台站周边有诸多工厂、工程、高铁等大型用电设施，运行过程中难免会对地漏电形成电流干扰。本文主要分析直流干扰电流产生的影响。

当漏电在一段时间内为稳定状态时，即干扰电流存在于仪器整个测量过程中。根据仪器的工作时序，在供电极 A、B 供电前首先测量测量极 M、N 上的自然电位  $V_{sp}$ ，存在干扰电流的情况下会在自然电位上叠加一个干扰电流产生的附加电场  $V'$ ，即实测自然电位为  $V_{sp} + V'$ 。在供电极 A、B 供电时，测量极 M、N 上的人工电位差  $\Delta V$  同样也会叠加  $V'$ ，即实测人工电位差为  $\Delta V + V'$ 。仪器程序中的计算公式为地电阻率为  $\rho_s = K \frac{\Delta V - V_{sp}}{I}$ ，实测地电阻率  $\rho_d = K \frac{(\Delta V + V') - (V_{sp} + V')}{I}$ ，可得  $\rho_s = \rho_d$ ，即干扰电流存在于整个测量过程中时，地电阻率测值不受影响，干扰电流对自然电位实测值产生影响。

当漏电为非稳定状态时，影响最大的极端情况下，干扰电流只存在于测量人工电位差的过程中，即

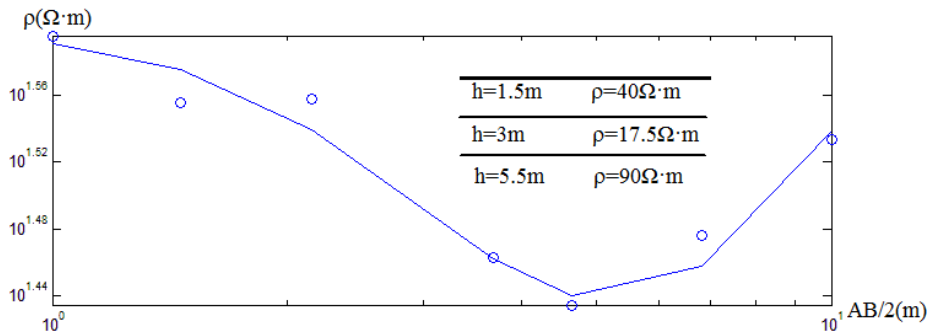


Figure 3. Shallow depth data and inversion curve in Baoji station (“o” means Sounding data)  
图 3. 宝鸡台浅层电测深数据及反演曲线图(“o”为实际测量结果)

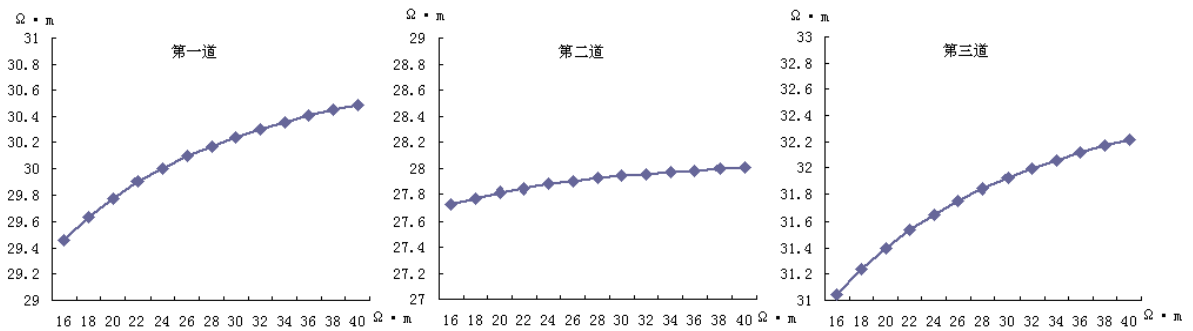


Figure 4. Influence curve of change of shallow medium for geoelectrical resistivity  
图 4. 各道地电阻率受浅层介质变化影响曲线

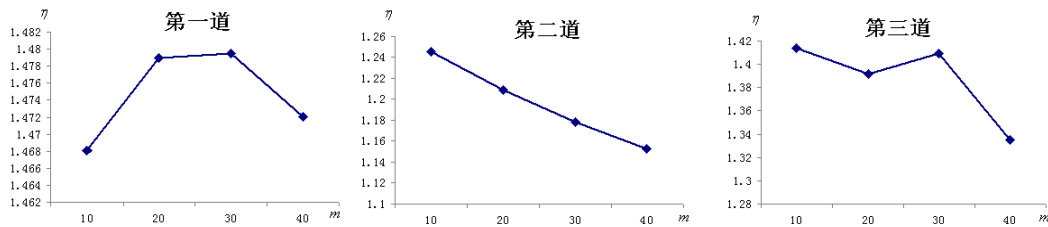


Figure 5. The relationship between the influence coefficient and positional parameter  
图 5. 各测道干扰电流影响系数随位置变化关系图

$$\rho_d = K \frac{(\Delta V + V') - V_{sp}}{I}, \text{ 定义干扰电流的影响系数为 } \eta, \eta = \frac{\rho_d}{\rho_s}.$$

在模拟计算中假定自然电位  $V_{sp} = 0$ 。在模型中引入大小为 1A 的干扰电流，位置为与各井口处于同一直线距井 1 距离为 10 m、20 m、30 m、40 m 处，计算干扰电流对各道数据的影响程度。

如图 5 所示结果，第一道随着干扰电流距井 1 距离的增加，影响系数先增大后减小，在 30 m 处影响系数最大，干扰电位位于各位置的影响程度均大于 1.46%。第二道干扰电流的影响系数随距离的增加减小，影响程度最大为 1.25，明显小于其余两道。第三道干扰电流的影响系数随距离的增加，先减小后增大然后再减小。

在测区存在干扰电流时，均对实测自然电位产生影响。其中当干扰电流稳定时，不对地电阻率测值造成影响。当漏电电流非稳定时，可对地电阻率测值造成明显影响，第一道和第三道到的影响程度较大，第二道受到影响程度最小。

## 6. 结语

本文以 ANSYS 有限元分析软件为平台，根据宝鸡台深井地电阻率观测系统，结合台站电测深数据建立层状介质模型，分析表层介质变化对各道地电阻率的影响，结果显示第二道受影响程度最小，第一道和第三道受影响程度相近，当表层介质电阻率较小时，其变化对各道测值影响较大；地表电流干扰分析结果显示各道自然电位均受到影响，当干扰电流稳定时，各道地电阻率不受影响，不稳定时第二道受到影响程度最小。本研究成果对于新建深井地电阻率及其干扰异常分析能提供重要参考。

## 基金项目

陕西省地震局启航与创新基金课题“宝鸡台深埋电极地电阻率观测系统分析研究”；中国地震局监测、预报、科研三结合项目“宝鸡台深井地电阻率抗干扰能力实验研究”(项目编号：152704)。

## 参考文献 (References)

- [1] 杜学彬, 马占虎, 叶青, 李宁, 陈军营, 谭大诚 (2006) 强地震附近视电阻率各向异性变化的可能原因. 第二届环境与工程地球物理国际会议论文集, 中国地球物理学会、中国地质大学(武汉).
- [2] 杜学彬 (2008) 地震预报中的两类视电阻率变化. 国际地震动态——中国地震学会第十二次学术大会论文摘要专集, 中国地震学会、中国地震局地球物理研究所.
- [3] 杜学彬, 安张辉, 范莹莹, 刘君, 陈军营, 王建军, 崔腾发 (2013) 汶川 8.0、芦山 7.0、岷县-漳县 6.6 级地震前地电阻率变化. 中国地震学会地震电磁学专业委员会 2013 年年会论文集, 中国地震学会地震电磁学专业委员会.
- [4] 杜学彬, 邹明武 (1991) 地震预报中计算地电阻率的新方法. 1991 年中国地球物理学会第七届学术年会论文集, 中国地球物理学会.
- [5] 杜学彬 (2010) 在地震预报中的两类视电阻率变化. 中国科学: 地球科学, 10, 1321-1330.
- [6] 杜学彬, 李宁, 叶青, 马占虎, 闫睿 (2007) 强地震附近视电阻率各向异性变化的原因. 地球物理学报, 6, 1802-

1810.

- [7] 解滔, 杜学彬, 陈军营, 安张辉, 谭大诚, 范莹莹, 刘君 (2012) 井下地电阻率观测中地表电流干扰影响计算. *地球物理学进展*, **1**, 112-121.
- [8] 尹相好, 田凤东, 赵庆红, 李佳竹 (2010) 山东莒县深井电阻率资料分析. *防灾减灾学报*, **2**, 70-74.
- [9] 李晓鹏, 席继楼, 关华平, 白云刚, 张波, 赵永红 (2011) 地电阻率井下观测装置抗干扰能力实验研究. *地震地磁观测与研究*, **5**, 66-71.
- [10] 乔子云, 白云刚, 关华平, 贾立峰, 张国苓 (2012) 河北柏舍台深井与浅层地电阻率观测对比分析. *国际地震动态*, **6**, 293.
- [11] 杨兴悦, 杨立明, 康云生, 安海静, 郝臻, 武银, 王燕 (2012) 天水地震台井下地电观测系统介绍及其分析. *地震研究*, **1**, 92-97.
- [12] 王兰炜, 张世中, 张宇, 胡哲, 颜蕊 (2014) 井下地电阻率观测中装置系数的计算——以天水地震台井下观测为例. *工程地球物理学报*, **1**, 50-59.
- [13] 汤井田, 肖晓, 杜华坤, 王武 (2006) ANSYS 在直流电法正演中的应用. *地球物理学进展*, **3**, 987-992.
- [14] 王书明, 杜学彬, 刘玉兰 (2006) 基于 ANSYS 的地电观测数值模拟. *第二届环境与工程地球物理国际会议论文集*, 中国地球物理学会、中国地质大学(武汉).
- [15] 刘玉兰, 王书明, 杜学彬, 吴岩 (2006) 利用 ANSYS 数值模拟河水涨落对地电观测的影响. *西北地震学报*, **4**, 352-354+385.