

# 高密度电阻率法延时性勘探在地质灾害监控预警中的应用\*

肖宏跃<sup>1</sup>, 雷行健<sup>2</sup>, 雷 宛<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学 信息工程学院, 四川 成都 610059; 2. 电子科技大学 生命科学与技术学院, 四川 成都 610054)

**摘 要:** 将高密度电阻率法延时性技术应用于地质灾害(堤坝渗漏及岩土体稳定性)监控与预警中是一种创新。结果表明, 高密度电阻率法的延时性勘探能有效地划分可能发生地质灾害的地段及位置; 同时, 还能为灾害治理提供区域性和地下结构方面的基础资料。

**关键词:** 高密度电阻率法; 延时性; 地质灾害; 监控预警

**中图分类号:** P631.3<sup>+</sup>22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2008)02-0037-04

## 0 前言

高密度电阻率法属电法勘探范畴, 它是以岩、矿石之间电学性质的差异为基础, 通过观察和研究与这些差异有关的电场和电磁场在空间或时间上的分布特点和变化规律, 来查明地下地质构造和寻找地下电性不均匀体的一类物探方法<sup>[1,2]</sup>。

随着我国经济建设的发展, 对工程与环境的要求越来越高, 而隐患勘探与监测工作显得尤为重要。为了提高对大面积灾害监测的效果, 更好的解决堤坝的渗漏、未饱和区域水的渗漏、化学污染物的扩张、水位的变化及岩土体稳定性等工程地质问题, 防止随时间的推移勘探目的区域发生大规模的环境地质问题, 需要一种准确性高、综合性强、保证生态环境安全的勘探方法, 高密度电法延时性勘探正是在这种实际需求下提出<sup>[3-5]</sup>。

前人的许多高密度电法工作都是在空间上进行的, 即对当时当地的地质情况进行勘探。绝大多数情况下没有考虑到在同一地点随时间的不同而发生的自然环境、地下水状况等变化所引起的地下介质物性的变化。在工程勘探中, 未饱和区域水的流动、水位的变化、化学污染物的扩散和堤坝的渗漏等将引起地下电阻率随时间的变化, 对于工程地质调查、环境监测以及灾害预警等重大工程与环境问题, 有着特别重要的意义。

国外曾对高密度电法延时性进行过试验, 该试验在英格兰中部的伯明翰进行, 通过实际地质

情况以及反演模型进行研究。此试验对高密度电法的延时性勘探理论做出了较形象的描述, 然而对具体的地质因素没有进行说明, 且对于其他可能出现的情况没有进行工程与环境的解释。该方法在国内还处于起步阶段。为了弥补国内空白和国外的不足, 通过研究国外的高密度电法延时性勘探的理论模型和国内高密度电法在各种工程的应用, 我们依托国家科技攻关计划, 针对矿山排石场的稳定性等问题进行了高密度电阻率法延时性的实际勘探。对各种可能发生的情况进行了详细的研究和验证, 并提出了解决灾害区域的部分方法, 达到了国家科技攻关的目的, 被评为国内领先水平<sup>[6-8]</sup>。

## 1 应用实例

高密度电阻率法延时性勘探的核心思想是通过同一地点不同时间的地下介质的电阻率进行测量, 针对目的区域进行电阻率变化的实时跟踪勘探, 对比不同时间的地下介质的电阻率变化, 结合工程地质、环境分析以及其他物探资料, 判断引起电阻率变化的地质工程与环境意义, 从而确定隐患部位, 达到监控和预警的目的。

### 1.1 堤坝渗漏通道大小对视电阻率断面影响的研究

某地区堤坝顶部宽为4 m, 底宽20 m, 高8 m, 堤坝分两层, 上层为粘土层, 电阻率为500  $\Omega \cdot m$ , 下层为基岩, 电阻率为3 000  $\Omega \cdot m$ , 水的电阻率

\* 收稿日期: 2007-09-10

基金项目: 国家科技攻关计划项目(2005BA901A03)

作者简介: 肖宏跃(1958-), 女, 四川成都人, 副教授, 主要从事应用地球物理及工程与环境物探工作. E-mail: xiaohy@cdu.edu.cn

为  $100 \Omega \cdot \text{m}$ 。

在汛期渗漏通道范围一般是随着江河水位的变化而变化的, 由于含水量的关系, 一般来说渗漏通道电阻率相对周围介质较低, 这就是利用高密度电阻率监测渗漏通道变化的地球物理前提。渗漏通道顶部距堤顶 5 m, 截面大小  $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ , 随着江河水位不断上涨, 截面不断扩大, 经过 20 h 最后达到  $10 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  (这是在汛期之后实测数据)。在堤顶延中轴线布置测线, 采用偶极 - 偶极测量方式, 点距 2 m, 图 1、图 2 以及图 3 分别是渗漏通道截面为  $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  (水位 6 m, 汛期 3 h 之后的实测数据)、 $6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  (水位 7 m, 汛期 10 h 之后的实测数据) 和  $10 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  (水位 8 m, 汛期 20 h 之后的实测数据) 时视电阻率成像断面图。

在渗漏通道较小时, 视电阻率断面图 (图 1) 上可以看出视电阻率出现对称的代表渗漏通道八字形低阻异常带, 在其两侧渗漏通道上部出现低阻异常带。

汛期随着时间的延长、水位的上涨、渗漏通道的扩大, 视电阻率断面图 (图 2 及图 3) 上仍可以看出代表渗漏通道八字形低阻异常带, 在其对应两侧渗漏通道上部出现高低阻异常带。随着时间的延长到 10 h、20 h 水位的上涨、渗漏通道的不断扩大, 代表渗漏通道八字形低阻异常带不断扩大, 而对应两侧渗漏通道上部高阻异常带逐渐变小。

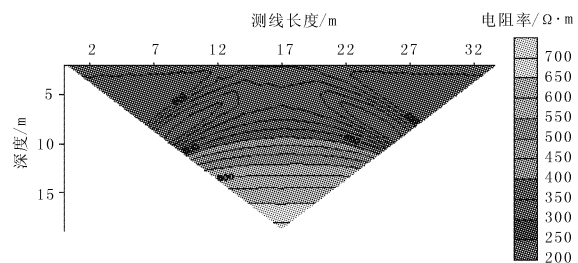


图 1 渗漏通道  $2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、汛期 3 h 视电阻率断面图

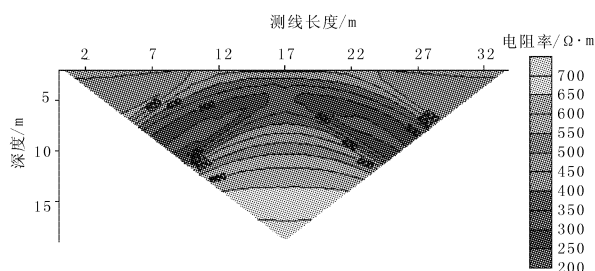


图 2 渗漏通道  $6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 、汛期 10 h 视电阻率断面图

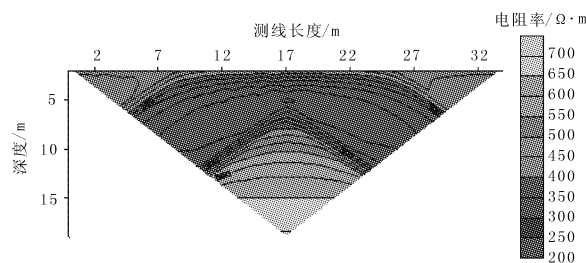


图 3 渗漏通道  $10 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 、汛期 20 h 视电阻率断面图

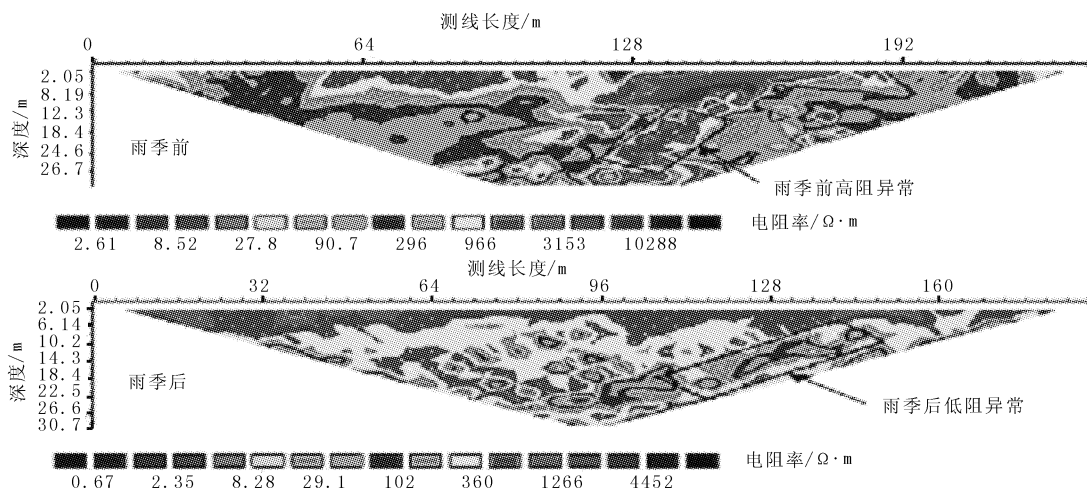


图 4 雨前高阻异常区域在雨后呈现低阻异常区域对比图

由这次研究可以看出, 在汛期随着时间的延长渗漏通道的扩大, 其代表渗漏通道八字形低阻异常带不断扩大, 水主要从渗漏通道流出, 所以渗漏通道两侧上部电阻率增大, 也即利用高密度电阻率法延时性勘探可以监测堤坝渗漏通道大小

变化情况。

## 1.2 高密度电法延时性勘探对矿山排石场稳定性的研究

某工区为露天矿山排石场, 为接纳废矿石的场所。但由于排石场在建设使用过程中对各种

影响因素考虑不周,现已见地表裂缝产生,甚至出现宽0.1 m、长10 m多的数条裂缝,给矿山生态环境和社会安全带来严重的威胁。

排石场废矿石的凝聚力很差,堆积不均匀,容易形成地下洞穴、渗漏通道、隐伏裂缝以及破碎带而失去重力平稳。如果排水设施不健全,大气降雨和地表水对排石场的浸润作用,会使排石场初始稳定状态发生改变,稳定条件趋于恶化。如遇持续降雨,排石场排水不及时,大量的地表水便汇入排石场,随着水体下渗,排石场平衡状态迅速改变,内部充水饱和,既增加了自身下滑重量,又削弱了内部潜在滑动面的摩擦力,从而引发排石场坍塌。因此重点需要评价水对排石场的影响,故必须在雨季前后分别在同一测线同一地段做两次高密度电法探测。

工区属于高原河谷亚热带岛状立体气候,旱季雨季分明,一般6~10月份为雨季,11月份至次年5月份为旱季。雨季降雨量占全年降雨量的90%。利用该区的这一特点,高密度电阻率法野外数据采集分两次进行,雨季前后各一次,时隔5个月。旱季时气候干燥,气温很高,蒸发量很大,引起地表浅部异常干燥;而下部深处含有水分以及潜水作用,造成地表浅部呈高阻,深部呈低阻。雨季时,孔隙含水量剧增,矿物质大量溶解,整个排石场的电阻率将会比旱季时降低。但在裂隙、洞穴等不良地质体的地方,水的含量相对较高,电阻率变化较大。通过对比雨季前后资料,分析视电阻率的变化规律,能有效地查明地下洞穴、渗漏通道和隐伏裂缝的位置、埋深及空间形态。

图4(见上页)为在排石场同一位置雨季前后得到的高密度电阻率法剖面。由图4可见,整条剖面视电阻率雨季后比雨季前均有所降低,在异常处视电阻率变化较大,比旱季电阻率值低1000~3000  $\Omega \cdot m$ 。雨季前在测线为108~152 m,埋深在10~26 m处,为雨季前异常区,电阻率值为300~3150  $\Omega \cdot m$ ;而雨季后在测线104~152 m,埋深在为6~26 m处,变为一低阻异常区,电阻率为100~300  $\Omega \cdot m$ ,较雨季前电阻率值有明显下降。分析认为,电阻率下降是该区域雨季时充水所致,因此推断该区域为相对独立的空洞或裂缝,是潜在含水区域,为不能储存雨水的裂缝或者空洞。

本次工作应用高密度电法延时性勘探查明了排石场内部存在的空洞或裂缝,包括空洞或裂缝的大小、空间位置,效果良好。后经过钻孔验证

得到的结果也与勘探的结果相吻合,证明了高密度电法延时性勘探在露天矿山排石场的应用是行之有效的,为排石场的稳定性研究提供了一整套的方法与技术,提出了解决灾害区域的部分方法。

## 2 结论

(1) 高密度电法的延时性勘探作为一种勘探手段,具有准确性高,保证生态环境安全及实效性,且适宜于较大面积工程监测,避免因钻探钻孔可能造成的污染液体或堤坝渗透运移的通道,形成新环境灾害问题。同时,电法勘探还能为灾害治理提供区域性和地下结构的基础资料。

(2) 高密度电法延时性勘探研究堤坝渗漏及排石场稳定性监控预警是一种创新。对堤坝渗漏问题:在汛期用高密度电法延时性勘探方法进行堤坝扫面,先查明堤坝渗漏的通道,监控堤坝渗漏通道的扩大,汛后对危险地再进行治理;而对于矿山排石场稳定性问题:用该方法进行工区的扫面,先查明该区空洞、裂隙等不良地质体的纵、横向发育及分布规律,再进行有目的布钻,以精确地控制空洞、裂隙的深度、走向及规模,为治理提供可靠数据和位置。

(3) 建立堤坝、排石场等地质灾害的监控预警机制,重点地段重点监控,在汛期和雨季时加强监控,避免地质灾害的发生。

(4) 在实际工作中应结合当地的地球物理条件,具体情况具体分析,先做实验,选取最适合当地地球物理条件的装置,从而取得最佳的实际效果。

## 参考文献:

- [1] 雷宛,肖宏跃,邓一谦.工程与环境物探[M].北京:地质出版社,2006.
- [2] 王兴泰.工程与环境物探新方法新技术[M].北京:地质出版社,1996.
- [3] 梁爽,任隽,闫述,等.勘察地裂缝的电阻率法[J].灾害学,2004,19(1):73-75.
- [4] 张胜,韩许恒,李秉强,等.高密度电法在采空区勘测中的应用[J].灾害学,2005,20(4):64-66.
- [5] 肖宏跃,雷行健,雷宛.环境物探技术在岩溶勘察中的应用及其效果[J].灾害学,2007,22(3):58-62.
- [6] 张腊根,刘基.高密度电法在岩溶路基勘察中的应用[J].土工基础,2006,20(5):69-71.
- [7] 冷元宝,黄建通,张震夏,等.堤坝隐患探测技术研究进展[J].地球物理学进展,2003,9(18):370-379.

[8] 阴健康, 赵云胜. 高密度电法在地质灾害调查和安全评价中应

用研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2006, 2(4): 84-87.

## Application of Delay Exploration of High Density Resistivity Method in Geological Disaster Monitoring and Early Warning

Xiao Hongyue<sup>1</sup>, Lei Xingjian<sup>2</sup> and Lei Wan<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering in Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. School of Life Science and Technology in University of Electronical Science and Technology of China,  
Chendu 610054, China)

**Abstract:** Application of delay technique of high-density resistivity method in geological disaster monitoring and early warning is an innovation. The results show that the delay exploration of high-density method can effectively identify the area and location where the geological disaster may occur. Meanwhile, it also can provide basic data of regional distribution of geological hazards and underground structure for disaster management.

**Key words:** high-density resistivity method; delay; geological disasters; monitoring and early warning

+++++  
(上接第 28 页)

## The Study on Drought Perception of Residents in Semiarid Areas ——A Case Study of Western Guanzhong plain in Shannxi Province

Shi Yan<sup>1</sup>, Yang Qingyuan<sup>1</sup>, Zhou Qi<sup>2</sup> and Shi Hui<sup>3</sup>

(1. Department of Geographical Science, Southwest University, Beibei 400715, China;

2. Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating, Baoji University of Art and Science,  
Baoji 721007, China; 3. School of Municipal and Environmental Engineering,  
Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The drought is a seriously natural disaster in arid and semiarid areas in north of China, which occurs frequently, continuously and spreads widely. The degree of residents' perception of drought would affect their behavior pattern and policy-making and action of reducing disaster by government departments. A random sampling survey on drought awareness among residents in semiarid areas shows that drought perception of residents in Baoji of Shaanxi is of uncertainty and spatial difference. Residents' drought perception may be affected by the objective environment. Meanwhile, the residents' attitude and action of disaster reduction are of inconsistency, in other words, the action of disaster reduction lags behind the attitude.

**Key words:** drought perception; ability of drought perception; resident; semiarid areas