

文章编号:1671-251X(2013)04-0020-04

DOI:

李晓新,王吉宇,牛昱光.基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统的设计[J].工矿自动化,2013,39(4):20-23.

基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统的设计

李晓新, 王吉宇, 牛昱光

(太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:针对现有的浸润线监测方法由于观测点少而无法反映尾矿坝的整体实际情况的问题,提出了一种基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统的设计方案。该系统通过智能电极开关采集测点数据,根据实测的视电阻率剖面进行计算、分析,可获得尾矿坝剖面的电阻率分布情况,通过电阻率等值面图可直观了解到尾矿坝浸润线的位置和坝体异常情况,为尾矿库风险状态评估提供了科学依据。

关键词:尾矿坝; 浸润线; 监测系统; 高密度电阻率法

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of seepage line monitoring system for tailings dam based on
high density resistivity method

LI Xiao-xin, WANG Ji-yu, NIU Yu-guang

(College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract:For problem that existing method of seepage line monitoring can not fully reflect situation of tailings dam because of few monitoring points, the paper proposed a design scheme of seepage line monitoring system for tailings dam based on high density resistivity method. The system collects data from monitoring points through intelligent electrode switch. It gets resistivity distribution of the tailings dam profile based on analysis and calculation of the collected results, and know position of seepage line of the tailings dam and abnormal geological condition of the tailings dam body according to resistivity iso-surface figure. It provides scientific basis for risk assessment of tailings dam.

Key words:tailings dam; seepage line; monitoring system; high density resistivity method

0 引言

尾矿是指金属或非金属矿山开采出的矿石,经选矿厂选出有价值的精矿后排放的“废渣”。尾矿坝是由尾矿堆积碾压而成的坝体,是一个具有高势能的人造泥石流危险源,存在溃坝危险,一旦失事,容易造成重特大事故。国内外矿山由于尾矿坝工程失效造成过很多起严重危害事故。

尾矿库内的水沿尾矿颗粒间的孔隙向尾矿坝下游方向不断渗透形成渗流,稳定渗流的自由水面线

被称为浸润线。尾矿坝内浸润线位置越高,坝体稳定性越差,发生地震的可能性也越大。汛期尾矿库内的水涨落变化,地下水位也会随之抬高或降低,堤坝内部浸润线也因此而发生变化。

目前,尾矿坝坝体浸润线的监测最常用的方法是选择能反映主要渗流情况的坝体横断面,或预计有可能出现异常渗流的横断面作为观测断面,埋设适当数量的测压管,通过人工测量测压管中水位来获得浸润线的高低。尾矿坝上测点个数受坝体的地质条件和成本等因素的限制,反应坝体的实际情况

收稿日期:2013-01-10。

基金项目:山西省科技攻关项目(20110321036)。

作者简介:李晓新(1984—),男,山西临汾人,硕士研究生,主要研究方向为智能仪表, E-mail:lixiaoxinopo@163.com。

有限。另外测压管和渗压计都是需要在坝体上钻孔观测,还会对尾矿坝造成新的隐患。

针对上述情况,笔者设计了一种基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统。堤坝内部筑堤材料和密实度不同,造成堤坝内部含水量和地下水渗透速度不同,可以反映在电阻率上就是阻值的变化,因此,可采用高密度电阻率法对尾矿坝的浸润线进行探测。该方法在尾矿坝上布置简单方便,对坝体的损害程度较小,地理环境等因素考虑较少,还可对坝体建立整体的数据模型,从而能具体了解尾矿坝的实际情况。

1 高密度电阻率法及其原理

高密度电阻率法的基本原理:在地面上通过供电电极加载电压并向地下供入直流电流,形成一个人工电场,然后利用测量电极通过仪器观测其电压和电阻率等电场分布情况,从而推断和研究地下浸润线的变化及分布情况。如图 1 所示,通过供电电极 AB 向地下发射恒定的电流 I ,此电流场通过地下物质时形成电位差 ΔU ,并由测量电极 MN 测量这些电位差值的分布(此电位差分布与地下物质的电导率呈函数关系),从而划分出地下的各种物质分布,包括埋深、形状、体积以及电导率值等^[1]。

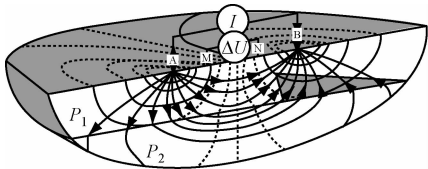


图 1 高密度电阻率法原理

电阻率计算公式为

$$\rho = k \frac{\Delta U}{I} \tag{1}$$

式中: ρ 为岩土 的视电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; ΔU 为 电位差, V ; I 为 供电电 流, A ; k 为 装置系 数。

如果被检测的物体是均匀的,则监测结果得到的电阻率应该是相同的。如果物体中存在其他物质或结构,例如含水量的不同,则在电阻率上会与其他测得结果不一样,从而在电阻率等值图上表现出来。根据实测的视电阻率剖面进行计算、分析,便可获得尾矿坝剖面中的电阻率分布情况,从而可以判断浸润线位置。由电阻率变化可以观测堤内浸润线的变化,及早发现溢出点,预测堤内集中渗漏通道的形成,预报管涌发生的可能。

2 系统硬件设计

尾矿坝浸润线监测系统主要由数据采集部分和系统主机 2 个部分组成,如图 2 所示,数据采集部分又由智能电极开关、数据采集收发仪、电源等组成。系统工作过程:系统主机通过无线接收器向数据采集收发仪发送控制命令,数据采集仪接收到控制命令后,向指定测点的智能电极开关发送控制命令,智能电极开关接收到命令后完成对地的供电和对测点的数据采集任务。数据汇总到数据采集收发仪,并无线传输到系统主机。系统主机对原始数据进行筛选和处理并 对其绘制出尾矿坝的浸润线剖面图。通过该剖面图可详细了解尾矿坝的实际情况。

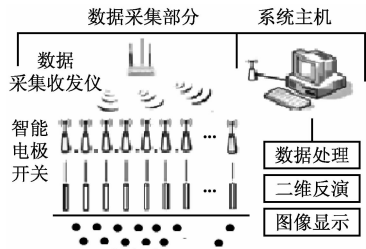


图 2 尾矿坝浸润线监测系统组成

尾矿坝浸润线监测系统主要针对尾矿库大坝的地下水位以及渗流量等进行自动监测。现场一般地形复杂、测点分散,故系统采用高密度电阻率法测量和 ZigBee 无线通信方式组网^[4](见图 3),可以避免施工的 难度,同时降低工程的投资及开发过程。

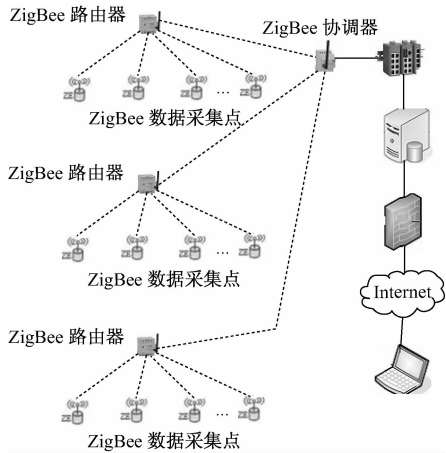


图 3 尾矿坝浸润线监测系统的 ZigBee 无线通信组网方式

2.1 系统主机

中心控制室的系统主机是该监测系统的终端,在数据采集收发仪中得到的数据信号输送给系统主机后,由系统主机对测点的数据进行监测、显示、存储和分析。系统主机还具有设备自检、电源管理、通信控制以及系统防雷等功能。

2.2 智能电极开关

智能电极开关接收到系统主机的控制命令后，对已经设定好的尾矿坝横断面采集电阻率数据，采集完数据后通过无线传输汇总到数据采集收发仪中，数据采集完后则进入休眠状态。

智能电极开关组成如图 4 所示，主要由 5 个部分电路构成：AB-MN 电极控制电路、滤波电路、放大电路、控制电路、射频电路。AB-MN 电极控制电路主要控制测量电极的接通和对地的供电。由于该开关工作采用的是工业电源，为了有效抑制对电源信号的干扰，采用工频陷波器设计滤波电路。

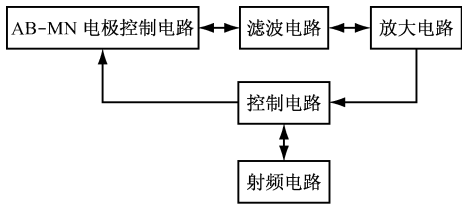


图 4 智能电极开关组成

系统控制电路采用 CC2530 芯片模块采集信号。CC2530 集成符合 IEEE 802. 15. 4 标准的 2. 4 GHz 的 RF 无线电收发机，成本低、功耗低，具有 14 位高精度模 AD 数模转换，动态范围宽，可进行自校准，抗噪声性能优良，因此，很适合应用到此尾矿坝监测系统中^[4]。

在该系统设计中电极的转换由智能电极控制，不再用以往的多路电极转化器，从而使电缆的使用长度明显的减少，并使现场的施工更加方便。传输信号电缆与供电电缆分开，从而避免了电源信号的干扰，并减少了信号损失。

2.3 数据采集收发仪

数据采集收发仪主要由电源电路、控制收发电路和数据存储电路 3 个部分组成，如图 5 所示。首先控制电路收到控制信号命令，数据采集收发仪从休眠状态进入工作状态。根据命令要求，控制电源电路中电极 AB 两端的电压电流，使其保持平稳输出。当数据采集仪采集到数据及时发送回系统主机，系统主机接收到数据后先储存于 Flash 中，当测量结束后依次将数据发回控制中心进行数据处理。

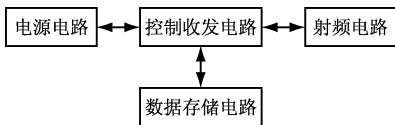


图 5 数据采集收发仪组成

3 系统软件设计

尾矿坝浸润线监测系统软件主要包括 3 个处理模块：数据处理模块、二维反演计算模块和图像显示模块。3 个模块处理过程的顺序关系：数据处理二维反演提交可靠数据，二维反演计算得出最终反演结果数据，图像显示用于显示反演结果和尾矿库的整体实际情况。

处理软件在 VC++ 6. 0 开发环境下开发，设计的 3 个主菜单分别为数据输入、反演计算和结果显示。主菜单的下拉菜单选项中有各装置的数据输入、网格剖分、地形显示等处理选项。二维反演界面的主窗口用于显示地形和区域的网格剖分、反演结果以及反演结果和实测数据的对比误差曲线^[5]。

该软件可在 Windows98/XP 操作系统下运行。程序对自然序列模拟电阻率文件，在不同排列、不同地形文件的条件下，试算结果与原程序结果完全相同。

4 实验结果

在实验室内制作一个标准长方体模型，长为 240 cm，宽为 60 cm，高为 70 cm，用于尾矿砂电阻率测试，模型实物如图 6 所示。

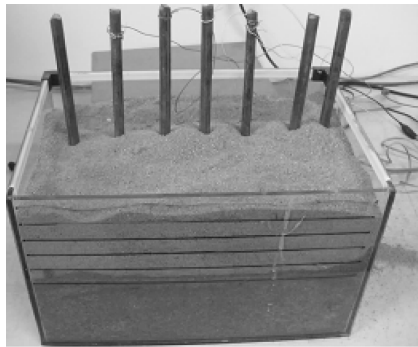


图 6 试验模型实物

当尾矿砂饱和度达到 100% 以后，多出的水分会渗出，坝体的浸润位线位置就处于饱和的尾矿砂与非饱和的尾矿砂之间。在实验室里，对饱和的尾矿砂进行电阻率测试，电阻率为 $16.89 \Omega \cdot m^{[6]}$ 。数据处理后，图 7 中的这条电阻率等势线 ($16.89 \Omega \cdot m$) 就是浸润线所在位置。

将尾矿砂放入玻璃模型中，倒入适量的水并搅拌均匀达到饱和状态，再倒入干燥的尾矿砂，使尾矿砂的浸润线的高度 h 保持在 50 cm 左右（见图 7）。根据测量结果绘制试验模型内的剖面视电阻率的等值线，图中探测的浸润线高度与 50 cm 基本一致，证

明了该监测系统的可行性。

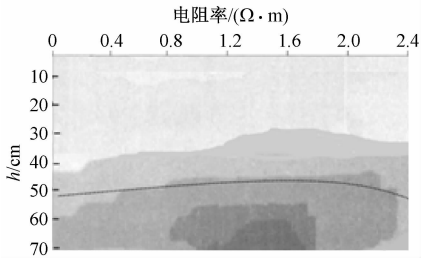


图 7 实验数据反演结果

5 结语

基于高密度电阻率法的尾矿坝浸润线监测系统已在山西省运城市闫家池尾矿库内试点运行。运行结果表明,该系统可通过电阻率变化观测堤内浸润线的深浅,及早发现溢出点,预防堤内集中渗漏。ZigBee 无线传输技术还方便了其在尾矿坝上的安装。相比测压管和渗压计,该系统获得的数据更多,使尾矿坝的数值建模最大程度接近实际情况,有助

于其稳定性计算。

参考文献:

[1] 罗昌泰,刘优平,鞠海燕. 高密度电法在尾矿库隐患调查中的应用[J]. 南昌工程学院学报,2010,29(6): 42-45.

[2] 赵江倩,鞠海燕,黎剑华. 综合物探法在尾矿坝隐患勘察中的应用[J]. 金属矿山,2011(2):102-105.

[3] 胡文志,马海涛,谢振华,等. 三维高密度电法在尾矿库隐患检测中的应用[J]. 中国安全生产科学技术,2011,7(9):64-67.

[4] 郭强,马涛,赵越,等. 基于 Zigbee 技术的无线大坝渗流监测系统的设计与实现[J]. 水利科技与经济,2011,17(4):91-93.

[5] 吕玉增,阮百尧. 高密度电法二维反演软件设计与实现[J]. 桂林工学院学报,2004,24(4):420-421.

[6] 马海涛,吴永锋,王云海. 尾矿坝浸润线的坝面快速观测方法研究[J]. 中国安全生产科学技术,2010,6(1): 31-34.