

高密度电阻率法在病坝水库探测中的应用

王 兵, 陆 新, 周培岳

(后勤工程学院军事建筑工程系, 重庆 400041)

【摘 要】 介绍高密度电阻率法的原理、野外数据采集及数据处理等基本情况。通过对重庆某病坝水库的探测成果分析, 说明高密度电阻率法对重庆市病险水库土石坝干裂损伤的快速检测的可行性和有效性。

【关键词】 土石坝; 高密度电阻率法; 病坝水库; 隐患探测; 裂缝

【中图分类号】 TV698.1+4

【文献标识码】 B

目前, 重庆市有近1 000多座病险水库(渠), 其中多数是建于上世纪50~70年代, 工程设计标准低, 建设质量差, 经几十年的运行, 老化失修, 存在一定的隐患。2006年7月由于长期高温干旱, 水库水位降低明显, 使得原有的坝体情况更加恶化。如不及时查清并采取有效措施就会导致管涌、溃坝等地质灾害, 将影响当地人民生命财产的安全及经济建设。

我国堤防隐患的探测方法主要有地质钻探、人工探视和地球物理勘探3种。前两种均不能满足快捷、准确和无损等要求。人工探视既费力又难于发现隐患, 钻探既具有局部性又具有破坏性。而地球物理勘探能够克服上述不足, 其应用范围逐渐广泛。实践证明, 对水坝隐患探测效果较好的方法有自然电场法、电阻率剖面法、激发极化法以及近几年发展起来的高密度电法、地质雷达和微波遥感探测^[1]。其中高密度电法是根据普通电法原理采用专门的仪器设备来观测坝体的电性差异达到查清隐患的勘探目的。该方法具有观测精度高、数据采集量大、地质信息丰富、生产效率高等特点^[2]。本文根据某工程的检测实例, 说明了高密度电阻率法在病坝水库隐患探测中的可行性和有效性。

1 高密度电阻率法的基本原理及测试

高密度电阻率法本质上属于直流电阻率法的范畴, 是以介质导电性差异为基础, 研究在人工施加电场的作用下, 地下传导电流的变化分布规律, 根据电阻率值在不同区域间的变化, 以反演方式推断地下的地质情况。

此方法的实现原理是当在地面布设点电源时, 便在大地上产生地电场。地表与电源不同距离的电位分布是相关范围内地电特征的综合反映。通过地表布设的一系列电极, 不断改变供电电极的位置, 测得相关位置的电位分布, 达到对不同深度的探测目的^[3]。

高密度电阻率法在工作时, 通过给供电电极AB极供电, 接收电极MN测量电位差 ∇V , 如图1所示。

通过式 $\rho = (\nabla V/I) \times K$, 求得测点X处的视电阻率值 ρ (单位 $\Omega \cdot m$)。式中K为装置系数, 且:

$$K = \frac{2\pi}{(1/L_{AM} - 1/L_{AN} - 1/L_{BM} + 1/L_{BN})}$$

式中: L_{AM} 为供电电极A到测量电极M之间的距离; L_{AN} 为供电电极A到测量电极N之间的距离; L_{BM} 为供电电极B到测量电极M之间的距离; L_{BN} 为供电电极B到测量电极N之间的距离。

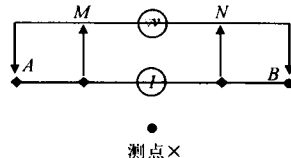


图1 工作原理图

野外探测时, 将所有电极沿测线按照预定的电极间距布置在测点上, 然后用多芯电缆将整个电极依次连接起来并接到电极转换器上, 实现电极的排列方式、极距及测点数据转换, 测量数据由转换开关输送到直流激电仪上

显示并储存。

在装置选择上, 常见装置如图2, 由于偶极和微分装置剖面除隐患部位产生主异常外, 还有相应的伴随异常。尤其多个异常存在的情况下, 主异常和伴随异常相互叠加, 致使异常形态变得相当复杂, 给资料的解释推断带来较大的困难, 故通常选择温纳装置。

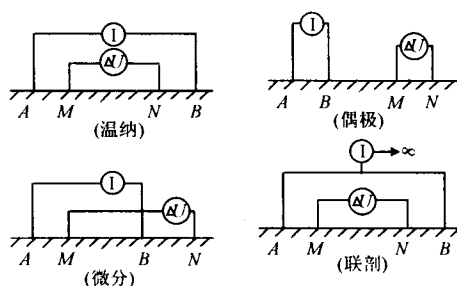


图2 测量装置电极排列图

以常用的温纳装置为例说明测量结果的剖面图示, 如图3。电阻率法的探测深度随着供电电极A、B的距离增加而增大, 当隔离系数 n 逐次增大时, A、B电极距也逐次增大, 对地下深部介质的反映能力亦逐渐增大。由于岩土剖面的测点总数是固定的, 因此, 当极距增大时, 反映不同

[收稿日期] 2007-07-10

[作者简介] 王兵 (1983~), 男, 在读研究生, 研究方向: 岩土工程。

勘探深度的测点总数将依次减少。高密度电阻率法的测量结果记录在观测电极 M 、 N 的中点，深度为 n_a 的点位上，整条剖面最后的测量结果便可以表示成倒三角形的二维断面的电性分布。

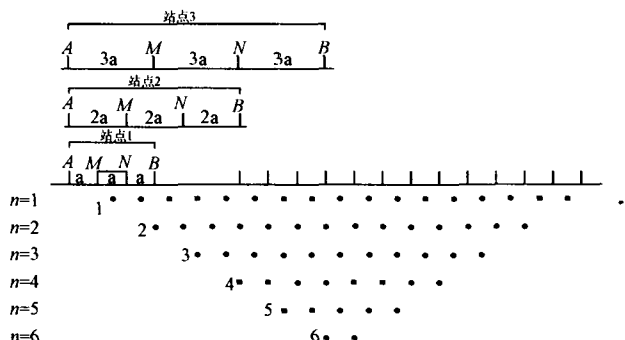


图3 高密度电阻率测点分布示意图

高密度电法的剖面一般采用拟断面等值线图、彩色图或灰度图表示，由于它表征了地电断面每一测点的视电阻率的相对变化，因此该图在反映地电结构特征方面具有更为直观和形象的特点。

野外实测数据首先要经过圆滑处理，再进行数据格式转换，然后输入计算机进行自动二维反演，最后成图并对图做出合理的解释。数据圆滑是资料处理的常用方法之一，圆滑处理一般采用坏点剔除和滑动平均等方法。反演解释是提高高密度电阻率法资料解释质量的重要方法。目前常用计算机自动二维反演来进行实测结果处理。同时勘探时如果测区地形起伏较大，必须进行地形改正，否则会最终解释结果带来较大的误差。

2 工程概况

重庆市某水库位于渝北区兴隆镇，于1966年动工修建，1971年10月完工并投入使用。正常库容 $38.90 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，最大库容 $43.30 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，水库大坝为均质土坝，坝体最大横断面坝高16.2 m，顶宽5 m，坝顶纵断面全长65 m。地质状况经现场钻探显示坝体上部为一层厚度较大的砂岩，下部为泥岩，在基础岩层上有一层近2.5 m厚的粉砂质黏土，粉砂质黏土层上部有清基不彻底而留下的粉沙黏土层。

2006年工程技术人员对现场进行查看，在大坝上游出现塌坑，右坝端外较为潮湿，大坝存在绕坝渗漏情况，且坝顶及内坝面有欠佳的填料。并针对出现的问题进行工程勘探，采取钻探和人工探槽等方法进行检测，为了对坝体内部的情况深入了解，采用高密度电法对坝顶表面出现的干缩裂缝及内部碾压不实区进行确定。

3 检测方法及结果分析

3.1 检测方法

该水库始建于20世纪60年代，当时设计标准低，建设质量不高，年久失修。再加上2006年7月~9月重庆出现的持续高温、干旱，加剧了水库的老化，其表面出现干缩裂缝。裂缝分布特点为一般在地表面且深度不大。

现场检测采用重庆奔腾数控研究所生产的WDJD-3型多功能数字直流激电仪，测量时单剖面电极数 $m=60$ ，电极间距 $a=0.5 \text{ m}$ ，测量层数为17层，180 V电压供电。现场检测时共布置3条测量线路，见图4。其中测线1，测线2均沿迎水面坝顶纵断面边线布置，每段测线长度均为30 m，共计60 m；测线3主要是检测坝体横断面裂缝分布情况，在测线2的中间点（即K+45m）沿横断面垂直布置。3条测线数据采集均采用 α 法（温纳装置）。

采集后的数据处理采用RRES二维数据反演处理软件，对其数据经过坏点剔除和数据圆滑处理，而测区地形的差异会影响最终数据处理的结果，需对其检测数据进行地形修正，故对测线3进行地形修正，3条测线的最终的反演图像如图5。

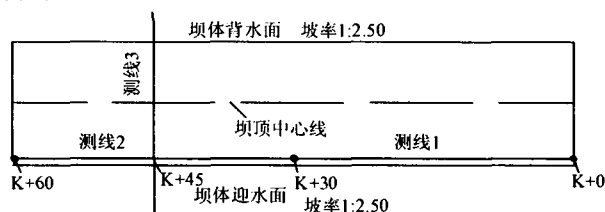


图4 坝体测线布置示意图

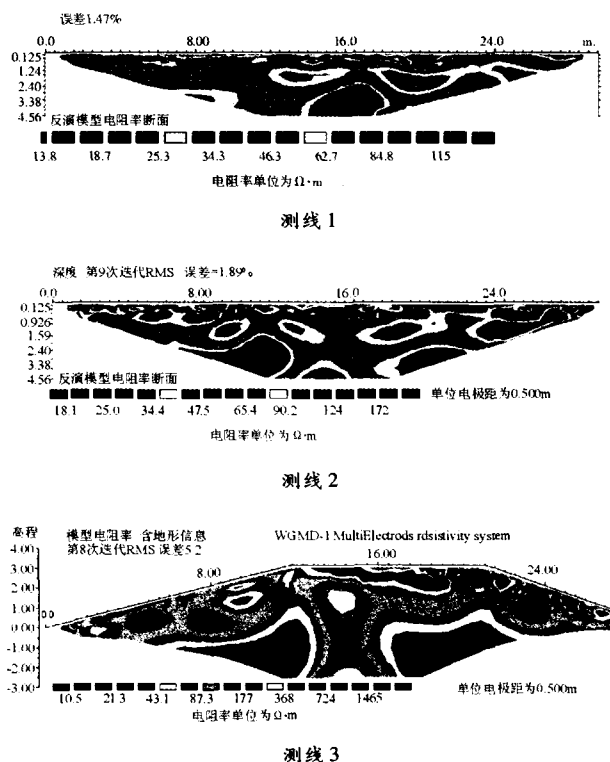


图5 高密度电阻率反演色谱图

3.2 结果分析

从反演色谱图可以看出，0~3 m层坝体表层土体的视电阻率主要分布在15~70 $\Omega \cdot \text{m}$ 范围内，主要表现为含水量低的密实的低塑限的黏土；在局部松散的部位视电阻率分布范围为65~120 $\Omega \cdot \text{m}$ ，由于松散土体内土体孔隙内充满空气，而空气又近乎绝缘体，致使该范围内视电阻率高，对

应在色谱图上的对应特征为呈现形状不规则,范围较大高阻异常区,主要表现为不密实的黏土或松散砂层。后经现场开挖坝体表层土体,与检测的结果相吻合,通过室内实验确定该土为塑性指数 $I_p = 11$,含水量 $w_p = 16.8\%$ 的粉质黏土。从图 5 可见在坝体纵断面上主要是坝体在地平面 2 m 以内存在土体松散情况,在测线 1 上主要集中在 K + 19 m ~ K + 21 m 范围内;测线 2 在色谱图上反映在 K + 48 m ~ K + 54 m 坝体表面土体松散;在测线 3 上坝顶与背水面的交接处色谱图上呈竖向条状高阻异常,结合以往检测经验,判断该处有 1 m 深左右,0.4 m 长的表面裂缝。后经现场开挖查探,发现该处有一深约 0.8 m、长 30 cm 左右的孔穴,与检测结果基本一致。

4 结 论

实践表明,利用高密度电阻率法对病坝水库的隐患探测是一种有效的方法。结合现场勘探,能够避免勘探的局部性,同时其检测信息量大,效果好,成本较低。

从检测结果看,表层土体密实度越好,其视电阻率相对较小。视电阻率的影响因素较多,如岩土的种类、密实性、含水率。同一岩性土体在同一水位线上,密实性越好,一般视电阻率相对较大;在同一水平面上出现局部碾压不实区或松散体反映在高密度电阻率色谱图上呈形状不规则,

范围较大的高阻异常区;裂缝或小孔穴在色谱图上呈竖向条状高阻异常。

高密度电阻率法是一种新型的物探方法,但在具体检测前要充分考虑各种影响因素,在有条件的情况下尽量使用综合物探的方法,以使得检测结果更加准确、可靠。

参 考 文 献

- [1] 邓居智. 高密度电阻率法在探测水坝隐患中的应用[J]. 华东地质学院学报, 2001(4).
- [2] 廖从荣. 高密度电阻率法在水库坝体隐患探测中的应用效果分析[J]. 山西地震, 2004(7).
- [3] 董秀好. 高密度电阻率法在金岭水库坝基渗漏勘察中应用[J]. 水利建设与管理, 2005(4).
- [4] 郭君科. 高密度电阻率技术与应用[J]. 黑龙江水利科技, 2005(1).
- [5] 郭庆华. 高密度电阻率法在堤坝除险加固效果检测中的应用研究[J]. 中国海洋大学, 2005(6).
- [6] 孙寅鹤. 高密度电阻率法在工程、环境及地质勘察中的应用[J]. 地质装备, 2000(4).
- [7] 刘思源. 高密度电阻率法探测堤坝隐患初探[J]. 湖南水利水电, 2000(4).
- [8] 刘松玉, 查甫生. 土的电阻率室内测试技术研究[J]. 工程地质学报, 2006(2).

(上接第 110 页) 隧道,可根据由灰色虚拟变量多元回归方法计算出来的评判标准预测可能涌水量大小。

2.3 时间序列分析方法

时间序列分析方法是把隧道的含水围岩视为集中参数系统,其涌水量 $Q(t)$ 是水文地质条件、施工条件等随机因素影响下的一个随机变量,而 $Q(t)$ 的整个过程是一个随机过程,可对此过程进行建模,并且对模型进行预测。

3 隧道涌水量预测方法比较

水文地质类比法要求研究区与已知区的水文地质条件相似,且较简单,两者越相似,预测精度就越高。

水均衡法的特点,就是能在查明有保证的根本补给来源的情况下,确定隧道的极限涌水量值。在补给源有限时,它可以作为核对其他方法计算结果的一种补充性计算方法。

解析法在隧道涌水量计算中应用较为普遍,常用稳定流或非稳定流理论的裘布依公式、泰斯公式等计算水文地质参数,再以水平集水建筑物的水量计算公式结合隧道的边界条件、含水层特征等选用认为适合于隧道涌水量计算的公式。

水文地质数值算法适用性强,只要建立的定解问题

真实地描述了客观地质及水文地质体,往往能取得较好结果,但对勘探试验的要求高,因而成本也高。计算工作量大,且必须电算,不甚方便。

随机性数学模型法适用于因水文地质条件的复杂性和不确定性致使一些基本要素(如含水层的非均质性、地下水径流特征、补排关系等)难以搞清,定解条件不易准确概化的隧道。所需数据一般较易获取,方便、快捷,可以大致定量预测涌水量的大小。岩溶隧道的初、定测阶段可用之。

参 考 文 献

- [1] 铁道部第一勘察设计院. 铁路工程地质手册[M]. 中国铁道出版社, 1999.
- [2] 铁道部第一勘察设计院. 铁路工程水文地质勘测规则[M]. 1992.
- [3] 常士骥. 工程地质手册[M]. 中国建筑工业出版社, 1995.
- [4] 郑黎明. 隧道涌水灾害预测的随机性数学模型方法[J]. 西南交通大学学报, 1998, 33(3): 273-278.
- [5] 朱大力, 李秋枫. 预测隧道涌水量的方法[J]. 工程勘察, 2000(4).