

# 物探检测在水库大坝防渗加固效果检测中的应用

龚 术

(湖南省遥感地质调查监测所, 湖南 长沙 410000)

**摘 要** 针对水库大坝渗漏加固工程项目的首要任务是精确探寻潜在的安全隐患。物探法凭借其高效性、低成本以及高分辨率等显著优势成为此类工程中检查隐患位置的首选手段。每种物探方法各自适应于不同类型和特性的异常体勘测。其借助综合运用高密度电法、探地雷达及钻孔电视法则成功完成了对 A 水库的严格检测工作, 从而明确了水库存在的安全隐患, 为后续的加固工程提供了强有力的技术支持与参考依据。

**关键词** 物探检测; 水库大坝; 防渗加固效果检测

中图分类号: TV62

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)08-0025-03

水库大坝作为重要的水利设施, 在我国社会经济发展进程中起着极为关键的作用, 然而由于受到施工环境的制约, 大坝施工过程中普遍存在坝体填筑不够紧密, 或者清基以及坝基防渗处理不够彻底的问题, 从而导致大坝在实际应用过程中出现了多种病害现象, 对坝体的结构安全性和防渗安全性产生了极大的影响。甚至有部分大坝出现了破坝、溃堤的事故, 给下游地区的人民生命财产带来了严重的威胁。因此, 对于这些存在隐患的大坝, 迫切需要进行除险加固工作, 而首要任务便是找出其病害的根本原因。

## 1 物探方法概述

### 1.1 探地雷达

地质雷达探测技术主要是借助高频电磁波的宽频带短脉冲形式, 将信号自地面通过天线 T 垂直注入地下, 待其抵达探测目标后再原路返回地表, 并由另一个天线 R 进行接收, 如图 1 所示。当相关电磁波在介质内部进行传播过程中, 无论其波形或强度都会受到所经过介质电性质和几何形态的影响而产生相应的变化<sup>[1]</sup>。因此, 根据接收到的波的旅行时间、波形特征以及幅度等参数, 可以为本文深入分析介质的具体构造提供重要的参考依据。

### 1.2 高密度电法

高密度电阻率法是一种创新性的阵列勘探技术, 这一方法基于静电场的基本理论, 主要依靠筛选并测量目标地质结构间的电气性质差异来进行勘测。作为电阻率法的一种独特表现形式, 高密度电法则是电阻

率剖面法以及测深法的完美融合<sup>[2]</sup>。在预先设定好的测线上以及测点上, 会同时部署数十甚至上百个电极, 接着利用多芯电缆将这些电极连接至专门设计的电极转换设备中。这个设备可以根据操作人员的具体指令, 将这些电极按照特定的方式组合成不同的电极装置及电极间距, 最后再由自动化电测仪器迅速地完成对观测剖面上多个测点的电阻率法观测。

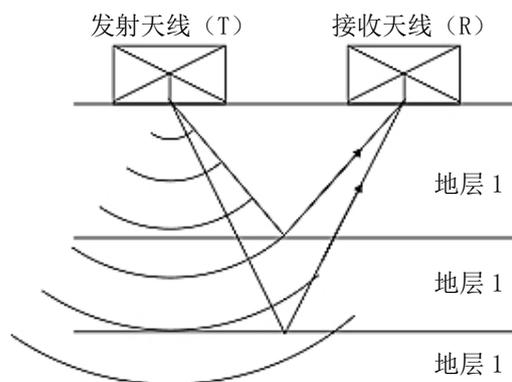


图 1 地质雷达原理

### 1.3 钻孔电视法

采用先进仪器设备——探析器与深度计, 深入钻孔孔壁获取图像信息、精准监测裂隙方位和深度, 并将其完整地纪录在案。借助地面监控系统灵活调整探析器的方向和焦点距离, 以确保获得高品质的孔壁影像资料。运用深埋于井下的高清摄像机探头进行 360 度全方位拍摄, 详尽地记录钻孔孔壁的全景式图像, 以及其深度变化情况。然后, 通过专业软件对所采集到的孔壁图像进行精细化编辑和深入分析处理。

## 2 物探方法实际工程应用

### 2.1 区域勘察

A 水库坝址坐落于两大河流的交汇之处，其地理位置优越，坝区内的河道顺滑且笔直，水流以  $N40^{\circ}E$  的方向流动；河谷地形呈现明显的“V”字形特征，两侧陡峭峻拔的悬崖绝壁颇为壮观，地形坡度约在  $60^{\circ}$  至  $70^{\circ}$  之间，属于中切割台状低中山地貌的典型代表。坝段基础岩石构成主要由 K2 和 Jp 两种地层的砂岩及少量薄层粉砂质泥岩以及泥质粉砂岩所构成。通过对钻孔压水试验所得数据的分析可以发现，新鲜的砂岩岩石基本上以微至极微透水性的层面为主导，河床部位的岩体则属于弱至中等透水性的区域，然而，处于风化带与裂隙带之间的岩体则归类为强透水性的部分。值得注意的是，从横向看，左岸岩体透水性相对于右岸更大，而从纵向观察，随着深度的增加，岩体的透水性会逐步减小<sup>[3]</sup>。

本区域未发现显著的断层面存在，然而，区域性的节理裂隙却在特定地点呈现出了相对密集的分

情况，这些区域主要集中在大坝的北部以及东部位置。其中，主要涵盖了张裂隙、压性裂隙以及扭性裂隙等多种类型。（见表 1）

### 2.2 测线布置

在此次全面深入的大坝坝基渗漏检测工作中，特别是针对泄洪闸左右两岸沿着大坝轴线的位置，精心设计并布置了两条地质雷达测线，分别从自钻孔 ZK 右 13 延伸到 ZK 右 1，以及从自钻孔 ZK 左 1 开始，一直延续到 ZK 左 45。同时，还在各个钻孔内部进行了探地雷达、超高密度电法以及钻孔电视等多种勘查手段的综合应用，具体的平面布置情况如图 2 所示。

### 2.3 探地雷达应用

在 ZK 点的左侧 45 度方向，位于水平位置 6 至 8 米、深度大约为 2 至 3.5 米的范围内，发现了明显的异常现象。同样地，在 ZK 点左侧 33 度方向上，位于水平位置 61 至 75 米、深度约为 5.5 至 7.0 米的位置处，以及在 ZK 点左侧 23 度方向上，位于水平位置 3 至 5 米、埋深 3 至 6 米的范围内，都存在着类似的异常现象。

表 1 坝区裂隙统计

位置	左平硐	右平硐	河床左区	河床右区	河床中区
裂隙间距 /m	0.51 ~ 0.75	0.54 ~ 0.88	0.47 ~ 0.50	0.40 ~ 0.56	0.42 ~ 0.54
宽度 /cm	1.82 ~ 2.00	1.32 ~ 1.95	1.50 ~ 1.87	1.42 ~ 1.97	1.65 ~ 1.84
长度 /m	3.12 ~ 4.75	3.96 ~ 5.06	2.86 ~ 5.13	2.94 ~ 4.77	3.34 ~ 5.04

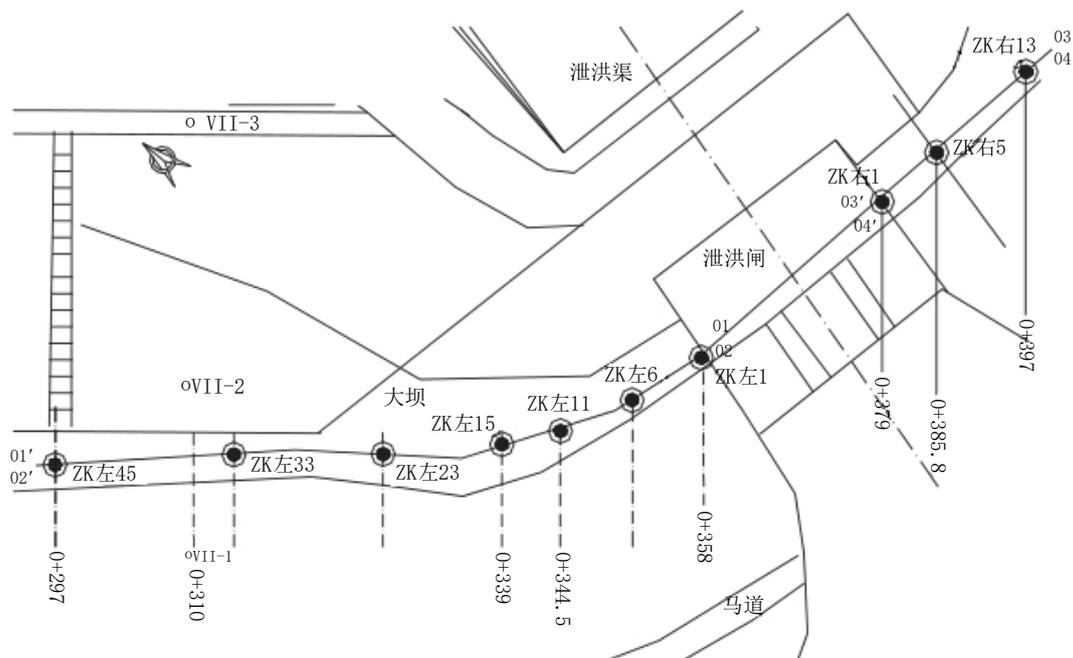


图 2 平面布置图

通过对雷达波的分析,发现这些异常区域的同相轴表现出不连续的特性。考虑到该地区的本土坝为均质土坝,且雷达工作场所周围没有大树、电线等可能产生干扰的因素,因此,这种强烈的反射现象很有可能是由坝体局部受浸水并处于相对饱和状态,与周围未受水浸润的土体形成明显的电性界面所导致的<sup>[4]</sup>。通常情况下,当土壤或砂卵石中充满空气时,其电导率和相对介电常数较低,而电磁波波速则较快;然而,当其中的空气被水取代后,其电导率和相对介电常数会显著增加,而电磁波波速则相应降低。综合上述特征,可以推测出异常区域内的含水量相对较高,这表明此处可能存在渗流通道。

#### 2.4 高密度电法的应用

基于现有钻探及配套钻孔电视勘测所得直观成果,本文特意选取了钻孔 ZK 左 33 与 ZK 左 23 间的一段电法剖面进行深入分析,剖面的纵坐标表示深度,而横坐标则代表水平距离,两者皆以米作为度量单位。

根据已有钻探数据以及 ZK 左 33 和 ZK 左 23 孔之间的电法剖面图可知,在 ZK 左 33 孔深 15.0 米以上至 ZK 左 23 孔深 13.3 米以上这一区间内,电阻率呈现出相对较低的状态,这表明此处可能存在塑性混凝土防渗墙结构,经过详细分析后得出结论,即该区域的防渗墙结构较为完整。然而,在两孔之间的深度范围,即 ZK 左 33 深度 15.0 ~ 27.0 米至 ZK 左 23 深度 13.3 ~ 23.4 米之间,视电阻率却呈现出相对较高的状态,这是由于钻探结果揭示出该区域为风化破碎的强风化基岩所致,据此推测该区域的灌浆效果良好,呈现出明显的高阻特征<sup>[5]</sup>。最后,在 ZK 左 33 孔深 31.2 米以下至 ZK 左 23 深度 29.6 米以下的深度范围内,视电阻率呈现出较高的状态,这说明该区域的岩石结构较为完整,属于微风化基岩。

#### 2.5 钻孔电视法的应用

在桩基础工程中,针对钻孔孔内状况的观测和评价主要采取的技术手段即为钻孔电视。它能够对钻孔孔壁的图像进行深入观察,从而详细揭示孔内混凝土的缺陷状况,以及基岩岩性的种类和裂隙的具体分布等细节信息。通过这种方式,可以得到关于钻孔混凝土或岩体内观特征的图片以及相关的电视观察缺陷剖面图。

首先,关于 ZK 左 33 号钻孔的相关信息。在此孔位上,钻孔电视的观测范围从 0 米至 40.19 米。在这个范围内,0 米至 15.95 米属于混凝土段,其内部结构

相对完整,并未发现明显的缺陷现象。而在 15.95 米至 16.20 米之间,则是混凝土与岩石的接触界面,该界面的胶结状态良好。

其次,从 16.20 米开始直至 40.19 米,这段区域主要由钙质页岩构成。强风化基岩的结构较为破碎,因此在多次破碎过程中容易形成空洞;而弱风化基岩的部分区域也存在破碎现象,但微风化基岩的整体结构则相对完整。

基于以上探测成果,对于倒挂井中的混凝土段落,其具有一定程度的塑性特点,并且视电阻率相对较低,但是均没有发现显著的异常情况,因此这个段落的混凝土结构基本保持完整。另外,针对接触带强风化基岩的钻孔电视图像所呈现出的岩石破碎现象,以及其中存在的多个空洞,通过超高密度电法剖面揭示出在相应深度范围内的视电阻率通常较高,这意味着在此深度范围内的灌浆效果可能比较理想。然而,当观察更深层次的钻孔电视图像时,发现岩石仍然较为破碎,存在大量的空洞,这说明在某些区域,此深度的灌浆过程可能尚未完成或者浆液的固结效果不佳,从而导致层状渗漏通道的形成。

### 3 结束语

本次对 A 水库坝基渗漏问题的综合探测成果精确度极高,成功地识别出坝底强风化基岩作为主要的渗漏路径,为确保 A 水库工程的安全性提供了坚实的基础。利用地质雷达、钻孔电视以及超高密度电法等多种综合性物理勘探手段,以其互补性以及地质钻探研究的紧密配合,精准地揭示出老石坎水库大坝下部的主要渗漏问题是源于坝基出现的渗漏现象,并经研究推断可能未存在明显的集中渗漏通道。

#### 参考文献:

- [1] 王永刚,吕明,张俊.综合物探在水库大坝渗漏隐患检测中的应用[J].物探化探计算技术,2024(01):118-126.
- [2] 肖晔.综合物探方法在某水库大坝渗漏检测中的应用[J].能源与环境,2023(03):119-122.
- [3] 屈宝莉.水库大坝灌浆施工技术与防渗加固处理研究[J].工业 A,2023(04):69-72.
- [4] 黄曦妮.水库大坝防渗加固方案研究[J].陕西水利,2023(06):144-145.
- [5] 陈光辉.基于帷幕灌浆加固技术的水库大坝防渗处理[J].水利监督技术,2023(05):279-282.