

等值反磁通瞬变电磁在堤防隐患探测中的应用研究

郭凯¹ 杨涛² 王万忠³ 孔驰⁴

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司 上海 200135

摘要: 堤防工程是保障人民生命财产安全的重要水利设施,其隐患探测一直是工程安全监测的关键环节。传统的探测方法存在诸多局限性,而等值反磁通瞬变电磁技术凭借其高分辨率、无损探测等优势,在堤防隐患探测中展现出巨大潜力。本文详细介绍了等值反磁通瞬变电磁技术的原理、技术优势、实际应用案例,并对其在堤防隐患探测中的发展前景进行了展望,旨在为堤防安全监测提供新的技术思路和方法。

关键词: 等值反磁通瞬变电磁法;堤防探测;隐患定位;除险加固

引言:堤防工程在防洪、灌溉、航运等方面发挥着重要作用。然而,由于自然因素(如洪水冲刷、暴雨侵蚀)和人为因素(如施工质量问题、白蚁危害)等,堤防内部可能会出现裂缝、空洞、渗漏通道等隐患。这些隐患若不能及时发现和处理,可能导致堤坝失稳甚至溃坝,造成严重的灾害后果。因此,准确、高效地探测堤防隐患是保障堤防安全运行的关键。

传统的堤防隐患探测方法主要包括钻探法、物探法(如电阻率法、地震法等)。钻探法虽然能够直接获取地下信息,但对堤坝结构具有破坏性,且效率较低,成本较高。电阻率法和地震法等物探技术在堤防探测中也有广泛应用,但存在一定的局限性。电阻率法对含水层和高阻层的分辨率较低,地震法在浅层探测中存在分辨率不足的问题。因此,开发一种高效、无损、高分辨率的探测技术对于堤防隐患探测具有重要意义。

1 等值反磁通瞬变电磁技术原理

1.1 瞬变电磁法基本原理

瞬变电磁法是一种基于电磁感应原理的地球物理勘探方法。其基本原理是利用发射线圈向地下发送一次脉冲电磁场,该磁场在地层中激发涡流。当一次场停止发射后,涡流逐渐衰减并产生二次磁场。通过接收线圈测量二次磁场的衰减过程,可以推断地下介质的电性结构^[1]。

在瞬变电磁法中,一次场和二次场的叠加效应是影响探测精度的重要因素。一次场是由发射线圈直接产生的磁场,其强度较大,且在浅层区域衰减较慢,会对二次场的测量产生干扰。二次场则是由地下介质中的涡流产生的磁场,其强度相对较弱,但包含了地下介质的电性信息。

1.2 等值反磁通技术的引入

等值反磁通变电磁法由中南大学席振铎教授提出,目的是为解决传统瞬变电磁法在浅层探测中存在的“盲区”问题而发展起来的一种新技术。其核心思想是通过在接收线圈中加入等值反磁通线圈,利用等值反磁通线

圈产生的磁场与一次场相互抵消,从而有效消除一次场的干扰,提高浅层探测的精度和分辨率^[2]。

在等值反磁通瞬变电磁系统中,发射线圈和接收线圈通常采用等值反磁通结构。发射线圈产生的磁场在接收线圈中感应出一次场信号,同时等值反磁通线圈产生的磁场与一次场信号方向相反,大小相等,从而实现一次场的抵消,提高早期信号质量。这样接收线圈主要测量的是二次场信号,能够更准确地反映浅部地下介质的电性变化。

1.3 数据处理与解释

等值反磁通瞬变电磁数据的处理主要包括数据采集、滤波、反演等步骤。数据采集是通过接收线圈记录二次磁场的衰减过程,得到时间域的电磁响应数据。滤波处理则是去除噪声和干扰信号,提取有用的二次场信息。反演过程是根据采集到的电磁响应数据,利用数学模型和反演算法,推断地下介质的电性参数(如电阻率、极化率等),进而构建地下地质结构模型^[3]。

2 等值反磁通瞬变电磁技术在堤防隐患探测中的优势

2.1 高分辨率探测

等值反磁通技术有效消除了传统瞬变电磁法在浅层的探测“盲区”,能够精确探测到浅层地表以下的地质结构变化。这对于堤防隐患探测尤为重要,因为堤防隐患大多位于浅层区域(如堤坝表面以下几米范围内)。高分辨率的探测能力使得等值反磁通瞬变电磁技术能够清晰地分辨出细小的裂缝、空洞等隐患,提高探测精度。

2.2 无损探测

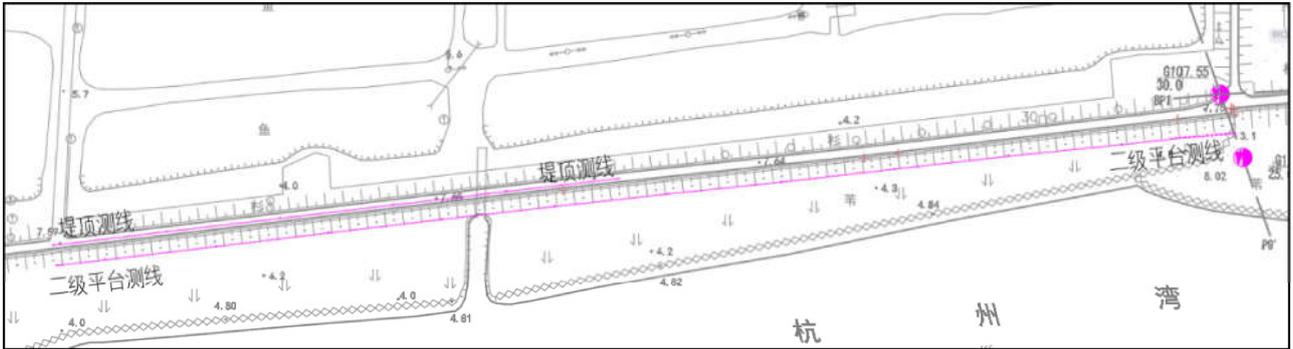
等值反磁通瞬变电磁法为一种非侵入性探测技术,不会对堤坝结构造成破坏。与钻探法等传统有损探测方法相比,等值反磁通瞬变电磁技术在探测过程中不会对堤坝的完整性产生影响,避免了因探测操作导致的安全隐患。

2.3 适应性强

该技术对地面场地的适应性强,可在不同地形条件下进行探测,且操作简便,效率高。无论是平缓的堤坝表面还是复杂的地形区域,等值反磁通瞬变电磁设备都可以灵活布置,快速完成探测任务^[4]。此外,该技术对环境条件的要求较低,能够在不同的气候条件下正常工作,具有较强的实用性。

3 等值反磁通瞬变电磁技术在堤防隐患探测中的应用案例

3.1 测线布置



上至下逐步增大的趋势。浅部的低阻异常为堤顶覆盖土层的电性反映。局部单点突变异常为地下埋设管线或钢筋引起。相对低阻异常区C(埋深5~10m,里程435~460m)为实地穿堤富水管涵映像范围,A、B、D、E异常区(图中红色虚线范围内区域)解释为堤身内部裂隙或渗漏区引起的相对低阻异常区。

L2测线位于二级平台位置,较L1测线整体海拔较低。但从工区视电阻率反演剖面图整体上来看,电阻率显示以中高阻为背景、纵向上从上至下逐步增大的趋势与L1测线反演趋势基本相似。浅部的低阻异常为二级平台覆盖层的电性反映。局部单点突变异常为平台下面埋设冲水管带或钢筋引起。相对低阻异常区H(埋深2~5m,里程82~88m)为平台实地塌陷富水区位置,F、G、L、M、N异常区(图中红色虚线范围内区域)解释为平台内部裂隙或渗漏区引起的相对低阻异常区^[5]。

3.3.3 成果验证情况

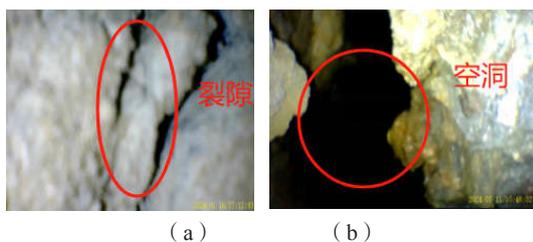


图3 钻孔验证照片

Fig 3 Drilling verification photos

为验证探测成果,分别选取了L1测线D点异常区(图6-a)和L2G点异常区(图6-b)进行钻孔验证。通过拍摄视频清晰看出内部裂缝和空洞,与等值反磁通瞬变电磁法探测结果相符。此次探测表明,等值反磁通瞬变电磁技术能够有效探测堤坝内部的渗漏通道,为堤坝渗漏治理提供了准确的依据。同时,该技术的高分辨率和无损探测特点,避免了对堤坝结构的破坏,降低了探测风险和成本。

4 等值反磁通瞬变电磁技术在堤防隐患探测中的发展前景

4.1 技术创新与优化

随着电磁法技术的不断发展,等值反磁通瞬变电磁技术也在不断创新和优化。未来,可以从以下几个方面进行技术改进:

4.1.1 提高探测深度和分辨率:通过优化发射线圈和接收线圈的设计,增加发射功率,提高数据采集精度,进一步提高等值反磁通瞬变电磁技术的探测深度和分辨率。

4.1.2 多参数联合反演:结合电阻率、极化率等多种电性参数,开发多参数联合反演算法,提高地下地质结

构模型的精度和可靠性。

4.1.3 智能化数据处理与解释:利用人工智能技术和机器学习算法,实现等值反磁通瞬变电磁数据的自动化处理和解释,提高数据处理效率和解释准确性。

4.2 应用拓展

等值反磁通瞬变电磁技术在堤防隐患探测中已经展现出良好的应用前景,未来可以进一步拓展其应用领域:

4.2.1 水利工程其他领域:除了堤防隐患探测,等值反磁通瞬变电磁技术还可以应用于大坝、水库、渠道等水利工程设施的安全监测和隐患排查,为水利工程的安全运行提供全面的技术支持。

4.2.2 地质灾害监测:在滑坡、泥石流等地质灾害监测中,等值反磁通瞬变电磁技术可以用于探测地下裂缝、滑动面等隐患,提前预警地质灾害的发生,减少灾害损失。

4.2.3 环境监测:在地下水污染监测、土壤污染监测等领域,等值反磁通瞬变电磁技术可以用于探测污染区域的分布范围和污染程度,为环境保护提供科学依据^[6]。

结论

等值反磁通瞬变电磁技术凭借其高分辨率、无损探测、适应性强等优势,在堤防隐患探测中展现出巨大的应用潜力。通过实际应用案例的验证,该技术能够准确探测堤防内部的裂缝、空洞、渗漏通道等隐患,为堤防安全监测和隐患治理提供了重要的技术支持。未来,随着技术的不断创新和优化,等值反磁通瞬变电磁技术将在更广泛的水利工程领域得到应用,并与其他技术联合应用,为保障水利工程安全运行和人民生命财产安全发挥更大的作用。

参考文献

- [1]李貅.瞬变电磁测深的理论与应用[M].西安:陕西科学技术出版社,2002.
- [2]牛之琰.时间域电磁法原理[M].湖南:中南大学出版社,2007.
- [3]席振铎,龙霞,周胜等.基于等值反磁通原理的浅层瞬变电磁法[J].地球物理学报,2016,59(9):3428-3435.
- [4]龙霞,席振铎,周胜等.等值反磁通原理瞬变电磁法探测薄层能力[J].地球物理学进展,2020,35(2):753-759.
- [5]杨建明,王洪昌,沙椿.基于等值反磁通瞬变电磁法的岩溶探测分析[J].物探与化探,2018,48(4):846-850.
- [6]陈建平,刘天佑等.基于等值反磁通原理的浅层瞬变电磁法[J].工程地球物理学报,2023,20(3):345-352.