

探地雷达在水利工程中的应用现状及展望

梁国钱¹, 吴信民², 王文双¹, 刘超英¹

(1. 浙江省水利水电河口海岸研究设计院, 浙江 杭州 310020; 2. 东华理工学院, 江西 抚州 344000)

摘要:综述探地雷达(GPR)在水利工程勘察、水文地质勘察、地下水及含水量测量、水利工程施工阶段的质量控制、水库坝体和江河堤防隐患的探测、水利工程质量的检测等领域的应用。根据应用状况,指出了探地雷达在水利工程应用中存在的问题与应开展研究的工作。

关键词:探地雷达; GPR; 水利工程; 综述

中图分类号: TN959.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2002)04-0063-02

探地雷达(ground penetrating radar, 简称 GPR), 也称为地质雷达或透地雷达。GPR 技术是一种用于确定地下介质分布的广谱电磁技术。电磁波在介质中传播时, 其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态而变化, GPR 利用一个天线发射高频宽带电磁波, 另一个天线接收来自地下介质界面的反射波, 根据接收到的波的旅行时间、幅度与波形资料, 来推断介质的结构及性质等信息。

GPR 技术是一项很早就提出的技术。早在 1910 年, 德国的 G. Leimbach 和 H. Lowy 曾以专利形式阐明了此项技术。然而, 也只是在高频微电子技术以及计算技术迅速发展的 20 世纪 70 年代, 此项技术才取得实质性的进展。今天, GPR 在探测装备方面高度集中了近代电信技术的成就而获得极大的改善。随着微电子工艺的迅速发展, 现在的 GPR 设备正在由庞大、笨重结构改进为现场适用的轻便结构。现有多家公司生产 GPR 设备, 我国也有几个单位在研制和生产这种设备。

1 探地雷达在水利工程中的应用

20 世纪 70 年代以后, 由于仪器的发展和进一步实用, GPR 的应用范围迅速扩大, 目前我国地矿、水利、电力、煤炭、铁道、交通、建筑、核工业、航天等部门都在开展这一技术的试验和应用研究工作, GPR 技术已在众多领域中得到越来越多的应用, 如地质构造填图、地基和道路下空洞及裂缝调查、管线探测、公路路面厚度检测、埋设物探测、隧道及古墓遗迹探查、工程勘察、工程质量检测、地下障碍物探查、地质灾害调查等。在水利中的应用主要有以下几个方面。

1.1 工程勘察

水利工程勘察中, 常规的钻孔勘察由于勘察数量有限, 无法全面了解工程地层状态。GPR 能较为有效地勘察地下管道、回填土的厚度、地层分层和地层断裂的情况、地下障碍物的分布等。其优点是能够快速大面积普查, 从而弥补钻孔勘察的不足, 为工程设计和施工提供依据。例如, 上海市白龙港污水排放系统中线西段工程 4.1 标段的工程勘察中, 利用 GPR 进行探查取得了较好的效果^[1], 由于此项工程的进度很快, GPR 较快速地完成了探测任务, 而用其他方法则有可能影响整个工程的工期。

1.2 水文地质勘察

潜水面下降及水质恶化, 会严重影响到农业生产和自然环境保护, 也会危及供水水源。在制定适当的管理方案来处理这些问题时, 要利用地下水流模型。在这方面 GPR 能提供极为详细的连续断面, 其分辨率可以满足浅层地下水模型和生态调查的需求。

GPR 也可用于土体含水量的测定。含水量测定的基本原理是利用 GPR 测定电磁波的传播速度, 因而可以求得介电常数, 然后根据介电常数与含水量关系的理论模型^[2]计算出含水量。此种方法已有成功的应用^[3,4]。另外, 也可以用 GPR 测定相移时间, 然后根据相移时间与含水量的理论模型^[1]计算出含水量。测定含水量可以在地面进行, 也可在井中探测, 利用井中 GPR 可以方便快速地确定地下水的深度和水流的方向, GPR 也可有效地确定地下岩层含水量情况。

1.3 工程施工阶段质量控制

水利工程在施工阶段有时会面临复杂的工程地

作者简介: 梁国钱(1962—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水利工程及岩土工程设计、测试及科研工作。

质问题和施工技术难题.GPR 能快速查明不利的工程地质问题.在地下水、断层及其影响带等不利地质情况下,由于不利介质与完好介质的相对介电常数有较大差异,因此可用 GPR 查明施工中出现的隐蔽的地质缺陷^[5,6].

另一方面,GPR 能够较好地测定混凝土浇筑质量、土体含水量等指标,评定工程均匀程度,从而达到控制质量的目的.在水利工程中,需要进行各种地基处理,其效果如何是工程成功与否的关键,利用探地雷达能较好地检测地基处理效果^[7].

从以上两个方面可以看出,GPR 技术可以对水利工程的施工进度和施工质量起到保证作用.

1.4 堤坝隐患探测及水利工程质量检测

在水库坝体、江河堤防隐患的探测及水利工程质量的检测方面,GPR 与浅层地震、地质地震映像及面波勘探相比具有效率高、不需震源的优点;它与传统的电测深、中间梯度、四极、联剖、偶极、高密度电法等直流电法勘探相比,具有分辨率高、效率高的特点;自然电场法由于成本低也有过一些成功应用的实例,但它比较被动,只有在漏水较严重形成自然电场时,才能取得一定的效果,其结果只是定性的,很难做到定量,而 GPR 在解决问题的能力方面要比自然电场法强.

最近几年用 GPR 探测堤坝隐患及在水利工程质量检测中取得成功的报道较多^[8~13].这些成功的应用表明,GPR 所用的天线种类较多,与其他的物探方法相比,在隐患探测及工程质量的检测方面具有其独特的优越性,针对不同的问题,如坝基的密度、完好程度及洞穴、裂缝、陷落等隐患,采用适当的设备和合理的方法可以取得良好的效果.

2 讨论与展望

水利工程中应用 GPR 的一个较为突出的问题是探测深度问题,由于水的介电常数为 80 左右,电磁波在介质中传播的速度较低,探测的深度相对较浅.水利工程中存在的隐患及质量问题的种类很多,GPR 也存在探测深度和分辨率之间的矛盾,也就是说要探测较深而隐患范围又较小时,就比较困难.GPR 是一种发展较快的技术,以下几个方面会有进一步的发展.

2.1 仪器方面

最近几年 GPR 仪器的发展很快,许多系列的仪器不断推出新的型号,如 SIR 系列的产品,在 SIR-2, SIR-3, SIR-8, SIR-10, SIR-2000 等型号的基础上,最近又推出了 SIR-20 的新型号.其发射功率、信噪比、采

样率等技术参数都有较大的提高.这就为水利工程中加大探测深度、提高解释精度、解决更复杂问题打下了基础.

2.2 基本理论及数据处理

由于 GPR 电磁波基本理论的复杂性,现在许多的理论计算与正演模拟都是建立在近似基础上的.从而引用地震数据处理软件进行 GPR 数据处理,其结果并没有像地震数据处理一样成功.因此,应加大这方面基础理论的研究,如 GPR 电磁波的运动学特点、动力学特点、多参数的测量、电磁波与土的密度和饱和度等的关系等问题,并研制适合 GPR 特点的专用数据处理软件.这些理论研究成果及数据处理软件的应用将更有利于 GPR 测量结果的解释.

随着基本理论、仪器、数据处理技术的进一步发展及应用,相信 GPR 技术在水利工程中会得到更加广泛的应用.

参考文献:

- [1] 吴信民.利用探地雷达测定土体含水量[D].杭州:浙江大学,2001.
- [2] Wei Feng. Simulation of time domain reflectometry based on soil dielectric properties[D]. UAS: Purdue University, 1999.
- [3] Robert J, etc. Velocity variations and water content estimated from multi-offset, ground-penetrating radar[J]. Geophysics, 1996(3): 683 ~ 695.
- [4] Hagrey S S al, Muller C. GPR study of pure water content and salinity in sand[J]. Geophysical Prospecting, 2000, 48: 63 ~ 85.
- [5] 李张明.地质雷达在三峡工程施工阶段应用研究[J]. CT 理论与应用研究, 2000, 9(3): 41 ~ 46.
- [6] 田原.地质雷达在水电工程中的应用[J]. 勘察科学技术, 1998(4): 56 ~ 59.
- [7] 孙洪星.有耗介质高频脉冲电磁波传播衰减理论与应用的实践研究[J]. 煤炭学报, 2001, 26(6): 567 ~ 572.
- [8] 曾校丰, 钱荣毅, 邓新生.水库坝体隐蔽缺陷的地质雷达探测[J]. 地质勘察, 2000(5): 67 ~ 69.
- [9] 薛建, 王者江, 曾昭发.地质雷达方法在水坝渗漏检测中的应用[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1): 89 ~ 91.
- [10] 邓世坤.探地雷达在水利设施现状及隐患探测中的应用[J]. 物探与化探, 2000, 24(4): 296 ~ 301.
- [11] 徐兴新, 吴晋, 吴相安.应用探地雷达技术进行堤坝隐患探测[J]. 广东水利水电, 1998(4): 15 ~ 19.
- [12] 徐兴新, 吴晋, 吴相安.石灰岩地区水库隐患及渗漏通道地质雷达探测研究[J]. 水利水电技术, 1999, 30(9): 45 ~ 47.
- [13] 王国群.探地雷达技术在堤坝工程中的应用[J]. 江苏地质, 2000, 24(2): 101 ~ 104.

(收稿日期: 2002-04-10 编辑: 熊水斌)