

地质雷达在某止水帷幕质量检测中的应用

孙懿斐¹, 王俊梅², 石林珂³, 冷元宝⁴

(1. 华北水利水电学院实验中心, 河南 郑州 450008; 2. 华北水利水电学院教务处, 河南 郑州 450008;
3. 华北水利水电学院岩土工程系, 河南 郑州 450008; 4. 水利部黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要:针对止水帷幕工程质量检测的特殊性, 介绍地质雷达的系统构成和探测原理, 并对仪器参数选取、测线布置、数据采集、数据处理和资料解释方法进行详细说明. 通过工程实例, 说明了地质雷达在止水帷幕工程质量检测中的应用效果. 认为地质雷达可作为止水帷幕工程质量检测的重要手段. 指出测线的布设除了沿帷幕走向布设长测线之外, 还应在局部地段垂直帷幕走向布设短测线; 必须把中频和高频天线配合使用; 为满足横向分辨率的较高要求, 应采用连续工作方式; 介电常数应在工作现场通过实地测试并参考场地地质钻孔资料来确定, 同时以此求取相应的速度参数, 作为时-深转换的依据.

关键词:地质雷达; 止水帷幕; 工程质量检测

中图分类号: TU976+.2; TP29

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2005)03-0032-03

Application of ground penetrating radar to quality detection of water stop curtains//SUN Yi-fei¹, WANG Jun-mei², SHI Lin-ke³, LENG Yuan-bao⁴ (1. Experimental Center, North China Institute of Water Conservancy & Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China; 2. Dean's Office, North China Institute of Water Conservancy & Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China; 3. Civil Engineering Department, North China Institute of Water Conservancy & Hydroelectric Power, Zhengzhou 450008, China; 4. Institute of Hydraulic Research of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In consideration of the particularity of quality detection of water stop curtains, an introduction was given to the composition and detecting principle of the ground penetrating radar system, parameter selection for apparatus, arrangement of surveying line, and methods for data acquisition, processing and explanation. The effectiveness of the ground penetrating radar in quality detection was demonstrated by its use in practical projects, and it was proved to be an important measure for quality detection of water stop curtains. It is proposed that, apart from some long surveying lines along the curtain, some short surveying lines should be set perpendicular to the curtain at some places, and that antennas of high frequency and mid-range frequency should be cooperatively used. Moreover, the continuous work pattern should be adopted to meet the requirement of high transverse resolution, and field tests should be carried out to obtain a precise dielectric permittivity based on the data of geological bores. Then, the corresponding velocity parameter could be obtained to provide a basis for time-depth conversion.

Key words: ground penetrating radar; water stop curtain; quality detection of project

地质雷达探测技术在解决超浅层地质体问题方面有其独到之处^[1]. 目前地质雷达在水利工程、建筑工程、地质工程、文物考古、环境保护等众多领域具有广泛的应用前景^[2], 特别是它可以解决许多其他物探仪器所无法解决的疑难问题, 其应用效果令人满意.

某高层建筑高 98m, 地上 25 层, 地下 2 层. 在基础处理过程中, 需进行基坑开挖和降水处理. 从安全角度考虑, 在拟建场地与临近建筑物之间设置了深层搅拌桩止水帷幕. 降水处理过程中, 沿止水帷幕排

列方向地面出现裂缝, 最宽处达数厘米, 临近建筑物地面也发生不同程度的开裂. 为此, 采用地质雷达对止水帷幕进行质量检测以查清隐患, 确保临近建筑物和基坑的安全.

1 地质雷达系统与探测原理

1.1 地质雷达系统

地质雷达系统由主机、电缆线、天线及 RADAN 数据处理软件包等组成. 主机的作用是在现场进行探测数据采集和储存, 在主机屏幕上可以监视数据采集效

果,同时还可以进行简单的数据处理.电缆线是由多芯屏蔽电缆所构成,保证电信号传递不受外界干扰.天线是由高频发射天线和接收天线所构成.发射天线向地下目标发射高频电磁波,同时接收天线接收经目标体反射回来的电磁波.RADAN 数据软件包由多种处理程序构成,可对现场数据进行各种方法的程序处理,突出目标体,压制各种随机干扰.

1.2 地质雷达探测原理

现场探测系统由主机、天线和电缆线等组成,按照现场布置的测线,将天线设置在测线上匀速向前拖动.在拖动过程中,天线向地下目标体发射高频电磁波,电磁波在向下传播的过程中在目标体或介质分界面上将产生反射.

反射波返回地表被接收天线所接收,经电缆线送回主机.在主机屏幕上可以监视探测信息,并将全部信息进行储存,以便后期数据处理.观测系统见图 1.

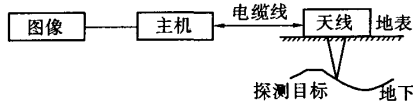


图 1 地质雷达探测原理示意图

高频电磁波在介质中的传播情况受多种因素影响.当介质均匀程度高时,其传播速度快;当介质均匀程度低时,则传播速度慢.反射波在介质中的传播时间为

$$t = \frac{\sqrt{4H^2 + x^2}}{v} \tag{1}$$

式中: H 为地下介质界面或目标体的深度; x 为发射和接收天线之间的距离(固定); v 为反射波在介质中的传播速度.

当介质的传播速度 v 已知时,可根据精确的反射时间 t (单位 ns, $1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$) 由式(1)反算出地层界面或目的体的深度.但地质雷达在计算深度时往往是利用介质的相对介电常数 ϵ 计算, ϵ 与 v 的关系为

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

式中: c 为光速, $c = 0.3\text{ m/ns}$.

介质的相对介电常数由介质的电性质决定,但往往同一种介质在不同地方的差别较大,所以,介电常数经现场试验得到最为可靠.

2 数据采集

数据资料采集是地质雷达测试工作的重要内容之一,数据采集的质量直接关系到工作成果的有效性和可靠性.这一工作包括仪器参数选择和工作方法、测线布置等相关内容.

2.1 仪器及参数选择

所用仪器为美国 GSSI 公司研制的 SIR-2 型地质雷达、DC-21 数字化控制与显示单元,雷达处理器为 Motorola DSP56001.匹配天线是中心频率为 100 MHz 和 400 MHz 的单体天线.设备选用基于以下思路:

a. 本次测试的目标最大深度在 15 m 左右.在地质雷达可探测深度范围内,目标埋深属中深度段,可考虑使用中频天线,旨在突出信息.由于雷达穿透能量具有一定的覆盖范围,因此探测目标在深部或浅部的信息也可包含在雷达反射信号中.

b. 测试的目标在横向分布上可能有突变表现,因此测试工作的横向分辨率要求较高,采用连续工作方式较为理想.

c. 浅部信息在中频天线扫描范围内分辨率较低,为此辅以高频天线探测,两者可互为弥补.

鉴于以上考虑,雷达天线选用 100 MHz 和 400 MHz 的天线比较合适.工作采样时窗选取 350 ns 和 50 ns,每秒扫描 32 次,采样率取 512 样点和 1 024 样点.预置数字滤波 20 ~ 200 MHz 和 30 ~ 800 MHz 预处理,自动采样记录并存储,实时数据监测.

介质介电常数和电磁波传播速度参数的求取是资料解释和时-深转换的关键.为求取精度较高的介电常数,在工作现场通过实地测试,并参考场地地质钻孔资料和层位埋深校核介电常数,同时以此求取相应的速度参数来作为时-深转换的依据.

2.2 测线布置

测线(网)的布设必须平行或垂直穿过目标体.根据止水帷幕的分布范围,沿帷幕排列走向布设测线.局部地段垂直帷幕长轴走向布设短测线,这样测网可基本控制整个场地止水帷幕的分布.测线布置平面分布见图 2.

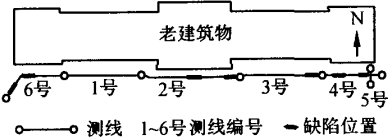


图 2 测线布置及异常位置平面分布示意图

3 数据处理

地质雷达数据处理是资料解释的基础,数据处理结果直接反映了雷达测试工作的成果.数据处理工作包括预处理和后处理两部分.预处理阶段主要采用频率域滤波和多道平滑等方法,目的是提高数据采集质量.后处理部分则是利用美国 GSSI 公司的 RADAN 数据处理软件包,在微机上实现.内容包括数字化滤波、速度分析、能量均衡等一般性处理和反

褶积、偏移等高级处理,旨在最大限度地压制随机干扰,提高信噪比,突出目标信息,为反演解释工作提供成果图.根据现场采集的资料特点,建立基本数据处理流程,即:预处理→数据回放→编辑处理→速度分析→滤波、反褶积→能量均衡→偏移→图形处理→成像显示.

4 资料分析与解释

地质雷达探测剖面(GPR)反映的是地下介质的地电性质.通过建立地球物理-地质解释模型,可将介质的物(电)性特征反演为地质特征,从而清晰地再现地下地质信息.

对于深层搅拌桩砌筑而成的止水帷幕,当旋喷均匀、密实度一致时,帷幕介质地电性质无变化,雷达扫描电磁波在帷幕内将是均匀衰减.当止水帷幕存在密实度差异、被水充填等异常缺陷时,介质的地电性质也随之改变,雷达电磁波在缺陷位置产生强反射同相轴界面.缺陷规模较小时,宽角度扫描的电磁波产生点反射弧形同相轴.同时由于物(电)性的差异,介质对电磁波各频段的吸收效应不同,与均匀帷幕介质相比,缺陷部位反射波将表现出不同的波幅、频率等运动学特征.对于帷幕内部组织结构的破坏如裂隙等缺陷,沿裂隙延展方向将产生一反射波组,反映破坏结构的界面分布特征.典型测线探测结果分析如下.

a. 1号测线.测试方向由西向东,雷达成像见图3.测线剖面上除瞬时点位反射波略有起伏,代表帷幕介质结构的均一性略有差异外,该剖面未发现明显异常缺陷.

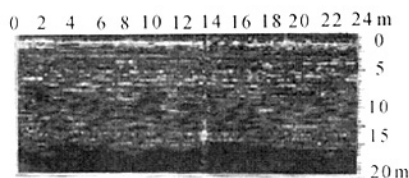


图3 1号测线雷达成像

b. 5号测线.测试方向由北向南,雷达扫描成像见图4.该测线走向与帷幕排列方向垂直,测线上1.6m点位与4号测线在15.7m以90°角重叠.墙体旋喷混凝土材质强度大于止水帷幕两侧的原状土

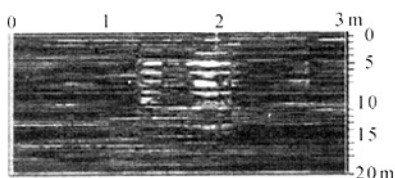


图4 5号测线雷达成像

层,对电磁波的吸收能力弱于后者.雷达天线由土体进入帷幕,反射波能量由弱变强,帷幕区间呈现强反射同相轴,墙体与土体分界线非常明显.从雷达扫描成像图上看,墙体与土体分界线基本垂直,在地质雷达探测精度内未发现墙体倾斜迹象.

c. 6号测线.测试方向由东向西,14m以后转向西南,雷达扫描成像见图5.测线上11~15m区间及18~21.5m区间均在深度5m以下出现强反射同相轴界面,反射波组杂乱,波形畸变.由于在11~15m旁侧有钢管支架,18~21.5m附近有铁架,因此,由地表金属物的强干扰等因素引起的异常反应较多.

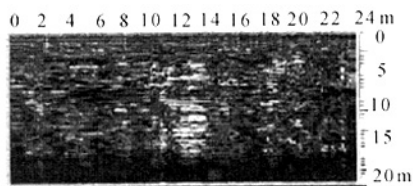


图5 6号测线雷达成像

综合各剖面分析结果,将异常位置展布于测线示意图上,见图2.经钻探验证,结果准确.

5 结语

a. 地质雷达在解决浅层地质体问题方面有其独到之处,是常规工程质量检测手段的有力补充.

b. 测线(网)的布设除了沿帷幕排列走向布设长测线之外,还应在局部地段垂直帷幕长轴走向布设短测线,这样就可控制整个场地止水帷幕的分布,获得完整的质量信息.

c. 为了在浅部和深部都能获得详细的信息,必须把中频天线和高频天线配合使用,两者互为弥补.

d. 为满足横向分辨率的较高要求,应采用连续工作方式.

e. 为精确求取介电常数,应在工作现场通过实地测试,并参考场地地质钻孔资料和层位埋深校核介质介电常数,并以此求取相应的速度参数来作为时-深转换的依据.

致谢:中国地震局地球物理勘探中心第五研究室刘保金高级工程师提供了基础资料,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 赵永贵.工程地球物理检测疑难问题研究进展[J].地球物理学进展,2003,18(3):368—369.
- [2] 冷元宝,黄建通,张震夏.坝坝隐患探测技术研究进展[J].地球物理学进展,2003,18(3):370—379.

(收稿日期:2004-04-10 编辑:路超)