

文章编号:1672-058X(2012)02-0085-05

GPR 在桥梁无损检测中的应用研究

潘海结¹, 潘海军², 戴天帅¹

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 安庆市水利水电规划设计院, 安庆 246003)

摘要:探地雷达在公路桥梁无损检测中得到广泛的应用,在阐述探地雷达无损检测技术的原理和方法的基础上,结合工程实例说明了高精度探地雷达在公路桥梁无损检测中的应用,及其无损、简易、效率高、精度高、抗干扰能力强的优点,为准确评价桥梁结构质量提供了科学依据。

关键词:探地雷达;桥梁;无损检测

中图分类号:U446.3

文献标志码:A

探地雷达简称 GPR,是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型有效的目标探测方法。通过发射天线、发射高频宽带电磁波,电磁波在传播过程中,在遇到存在电性差异的目标体时,便会发生反射,利用接收天线接收来自目标物的回波,最后根据所接收回波的返回时间、幅度、相位信息及频谱特性和反射波同相轴形态特征,可推断介质的结构和性质等。随着探地雷达技术的不断完善,高频天线的出现,使得探地雷达无损检测技术的应用得到了极大的发展,包括工程地质勘查、隧道检测、公路桥梁检测、管线及建筑检测等。

1 探地雷达工作原理及数据处理

1.1 基本原理

探地雷达采用脉冲的高频电磁波进行探测,高频电磁波在介质中的传播服从麦克斯韦方程。即:

$$\begin{aligned}\nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t}, \nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}, \\ \nabla \cdot B &= 0, \nabla \cdot D = \rho.\end{aligned}$$

式中: ρ 为电荷密度(C/m^3); J 为电流密度(A/m^2); E 为电场强度(V/m); D 为电位移(C/m^2); B 为磁感应强度(T); H 为磁场强度(A/m)。

方法是一种对地下目标体或界面进行定位的电磁技术,通常采用反射测量方法。其基本工作原理是:利用一个天线发射高频宽频带电磁波,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(双程走时)、波形特征以及有效信号强度等参数资料,推断目标体的空间位置、结构、几何形态等情况,从而达到对地下目标体探测的目的,见图 1。

1.2 介质的电磁学性质

探地雷达是以高频电磁波参数为基础,通过高频电磁波在介质中反射和折射等现象来实现对地下介质

收稿日期:2011-07-07;修回日期:2011-09-10.

作者简介:潘海结(1986-),男,安徽安庆人,硕士研究生,从事桥梁检测技术研究.

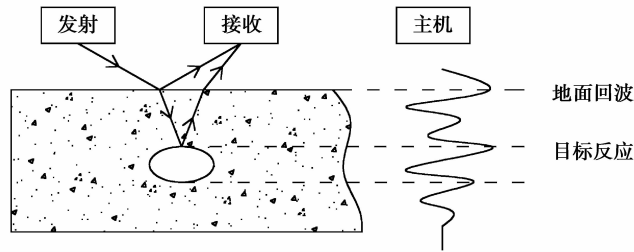


图 1 探地雷达工作示意图

的探测。当存在电磁性质差异界面时,电磁波发生反射,根据反射波的时程与动力学特征确定介质的结构。因而研究各类工程介质的电磁性质与差异,是了解电磁波在各类介质中传播、衰减、折射、反射、散射规律的基础,是应用地质雷达的基础。介质的电磁学性质可用电导率、介电常数和磁导率来表征。

1.2.1 介质的介电常数

介电常数 ϵ 是一个无量纲的物理量,它表征一种介质在外加电场作用下极化效应太小的性质,也称电容率。极化效应对外加电场有消减作用,强的极化效应阻碍电磁波的传播,这就是介电常数大,电磁波速度小的本质。介电常数不同的两种介质的界面,会引起电磁波的反射,反射波的强度与两种介质的介电常数及磁导率的差异有关。即使介电常数差异不大,也能产生雷达可以检测到的反射波。

1.2.2 介质的磁导率

磁导率 μ 是一个无量纲物理量,它表征介质在磁场作用下产生磁感应能力的强弱。绝大多数工程介质都是非磁铁性质物质,磁导率都接近 1,对电磁波传播特性无重要影响。但是对于铁、硅钢等材料为铁磁性物质,其磁导率很高,电磁波在这些物质中传播时波速和衰减都受到严重影响。

1.2.3 介质的电导率

电导率 σ 是表征介质导电能力的参数,电导率高导电性好,在外电场作用下传导电流大,能量损耗强。

低电导介质:电磁波衰减小,适宜雷达工作。中电导介质:电磁波衰减大,雷达勉强工作。高电导介质:电磁波衰减大,难于传播。常用工程介质的电磁参数见表 1。

表 1 常用介质的电磁参数

材料	电导率 $\sigma/(S/m)$	相对介 电常数 ϵ	速度 $v(m/s)$
空气	0	1	0.3
水	0.5	81	0.033
混凝土	1	6~7	0.12~0.14
铁	10^6	∞	0

1.3 数据处理分析

为获得雷达探测结果,需要多雷达记录进行解释,雷达波的解释是理论与实践相结合的综合分析。雷达波相分析技术要点包括反射波的时间、振幅、极性特征的识别,反射波的频谱特性的判定和反射波的形态特征分析。

1.3.1 反射波的时间振幅与方向识别

反射波的识别包括出现的时间、振幅和极性,一般来说时间的识别是比较容易的事情,振幅的识别只是相对判定,难度不大,而极性的识别比较困难同时又比较重要。反射振幅和极性的意义可以从反射系数的 Fresnel 公式中可以看出。第一,界面两侧介质的电磁学性质差异越大,反射波越强。从反射振幅上可以判定两侧介质的性质、属性;第二,波从波速高进入波速低的介质时,即从光疏进入光密介质,反射系数为负,即反射波振幅反向。反之,从低速进入高速介质,反射波极化方向与入射波同向。反射波的振幅和方向特征是雷达波判别依据。

1.3.2 反射波的频谱特性的识别

不同介质有不同的结构特征,内部反射波的高,低频率特征明显不同,这可以作为区分不同物性界面的依据。

1.3.3 反射波同相轴形态特征的识别

雷达记录资料中统一连续界面的反射信号形成同相轴,依据同相轴的时间、形态、强弱、方向反正等进行解释判断是地质解释最重要得基础。同相轴的形态与埋藏的界面的形态并非完全一致,特别是边缘的散射效应,使得边缘形态有较大的差异。

2 工程应用实例分析

2.1 工程概况

某在建大桥桥墩施工完毕,为确保施工质量,需对桥墩混凝土保护层厚度进行检测,查看是否满足设计要求,桥墩钢筋净保护层厚度为 5 cm。现取其中一个桥墩探测数据进行分析处理,桥墩截面形式为 4.2 m × 1.5 m 矩形墩,使用意大利 IDS 公司的 RIS-K2 型探地雷达,天线选择由 4 个 1 600 MHz 的高频天线组成的 HIRESS 天线阵,有效探测深度可以达到 0.5 m,水平最小分辨率 5 mm。测线布置如图 2 所示。

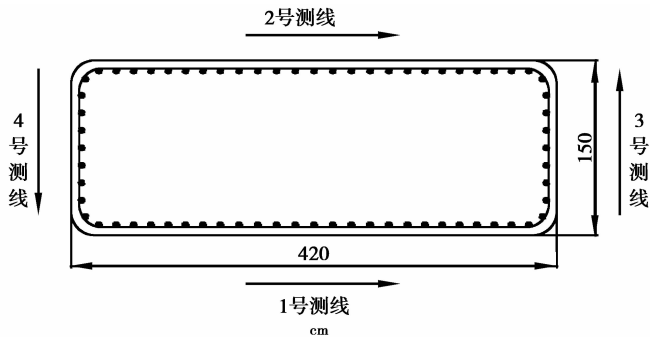


图 2 探地雷达测线布置示意图

2.2 数据处理分析与图像解释

探地雷达通过采集得到的原始数据既包含有用信息,也包含噪声等各种干扰信号,此外,雷达波在传播过程中也会衰减,波幅会减小因此需要对接收到的信号进行处理,得到有助于解释的数据或图像。

图像解释是一个经验积累的过程,一方面基于地质雷达图像的正演结果,另一方面由于工程实践成果获得。只有获得高质量的地质雷达图像并能正确的判别异常才能获得可靠、准确的地质解释结果。

2.3 检测结果

图 3-图 6 为探地雷达原始数据经过滤波、增益、校正后的结果示意图。

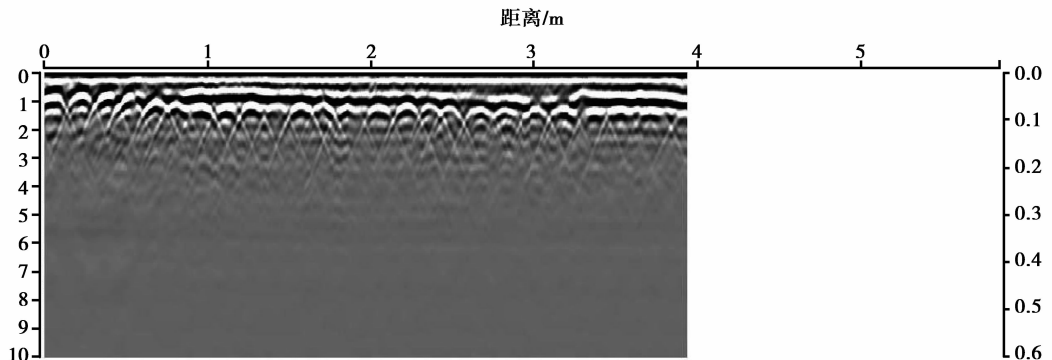


图 3 1 号测线 2 通道数据剖面图

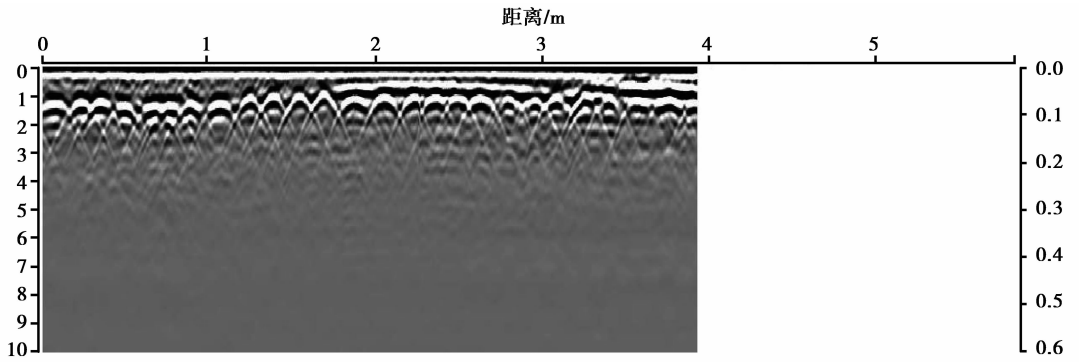


图 4 2 号测线 2 通道数据剖面图

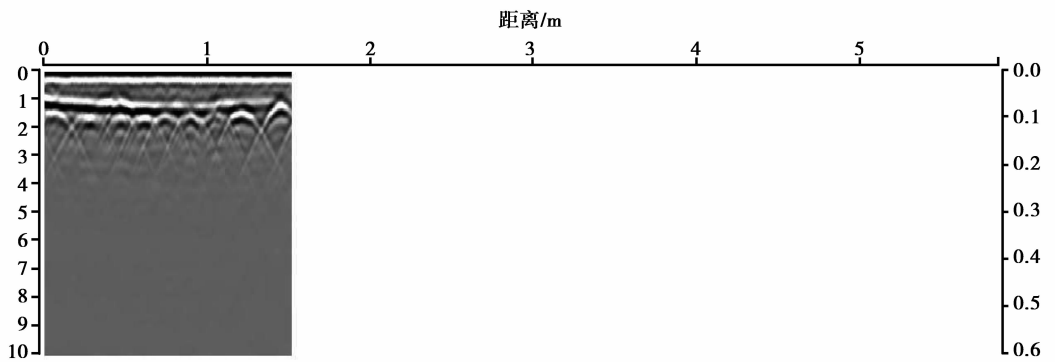


图 5 3 号测线 1 通道数据剖面图

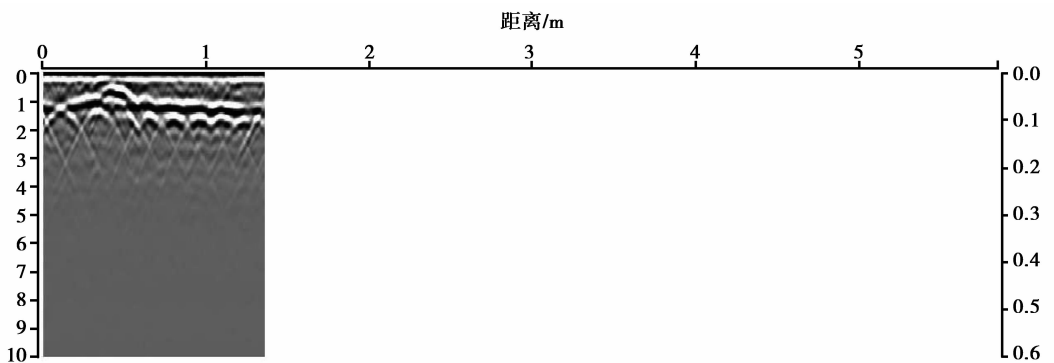


图 6 3 号测线 4 通道数据剖面图

从上面 4 张图中可以清晰的识别钢筋数量,横桥方向主筋数量为 25 根,顺桥方向主筋数量为 9 根,与设计数量一致,符合设计要求。

由于钢筋的反射波形为向上凸起的弧形,弧顶为钢筋顶部位置根据回波的双程走时和电磁波在混凝土中传播的速度,可计算出主筋的保护层厚度的平均值,计算结果见表 2。

从表 2 中可看出主筋保护层厚度均较设计值大,满足设计要求,且未出现钢筋笼偏位现象。

表 2 钢筋保护层厚度探测数据结果 cm

主筋	1 号测线	2 号测线	3 号测线	4 号测线
平均值	6.07	5.82	7.97	7.72
设计值	5	5	5	5

3 结 论

通过探地雷达在公路桥梁无损检测中的应用可以得出以下结论:

(1) 探地雷达作为一种快捷、高效的无损检测工具,已广泛用于工程地质勘察和工程质量检测,并得到了很好的发展。

(2) 探地雷达技术应用的前提条件是介质间存在明显的电磁学性质差异,混凝土与钢筋的电磁学性质差异大,因此运用探地雷达进行结构质量检测非常适宜,检测结果准确性高。但对于钢筋网,上层钢筋对下层钢筋有屏蔽作用,探测效果不好。

(3) 混凝土是一种极为复杂的介质,其电磁物理特性与信号的波形关系很难确定,在资料解释时要仔细严谨,多积累经验,减少漏判误判。

参考文献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法与应用 [M]. 北京:地质出版社,1994
- [2] 葛琳延,蒋田勇,田仲初. 地质雷达无损检测技术在混凝土箱梁桥中的应用研究[J]. 公路交通科技,2009(9):134-136
- [3] 贾学明,杨建国,赖思静. 探地雷达在道路工程检测中的应用[J]. 公路交通技术,2005(9):54-62
- [4] 吕曹炯,马远刚,雷文太. 地质雷达在桥梁预应力筋定位中的应用 [J]. 桥梁检测与加固,2009(2):6-8
- [5] 陈理庆. 探地雷达技术在结构无损检测中的应用 [M]. 长沙:湖南大学出版社,2008
- [6] 吴波鸿,白雪冰,孔祥春. 探地雷达在隧道衬砌质量检测中的应用[J]. 物探与化探,2008,32(2):229-231

Application of GPR Technology to Nondestructive Test of Bridge Structure

PAN Hai-jie¹, PAN Hai-jun², DAI Tian-shuai¹

- (1. Civil and Architecture Engineering School, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;
- 2. Anqing Water Conservancy and Hydropower Planning and Design Institute, Anqing 246003, China)

Abstract: Ground penetrating radar on highway bridge nondestructive test has been widely applied. In this paper, on the basis of elaborating the principles and methods of GPR nondestructive test, by combining with an example to show the application of high precise GPR to highway bridge nondestructive testing, and the advantage of non-destructive, simple, high efficiency, high precision, strong anti-interference capability of GPR is explained. An scientific basis is provided for accurate evaluation on the bridge structure quality.

Key words: ground penetrating radar; bridge; nondestructive test

责任编辑:代小红

校 对:田 静