

文章编号:1005-0523(2012)01-0067-04

探地雷达在桥梁预应力管道定位检测中的应用

潘海结¹, 黄福伟^{1,2}

(1. 重庆交通大学土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067)

摘要:对预应力管道进行定位检测,是目前桥梁无损检测技术的一个重要问题,在阐述探地雷达无损检测技术原理和方法的基础上,通过室内模型试验,并结合工程实例说明了高精度探地雷达在桥梁预应力管道定位检测中的应用,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耐久性和安全使用功能提供科学依据。

关键词:探地雷达;预应力管道;定位检测

中图分类号:U446.3

文献标志码:A

预应力是为了改善结构或构件在使用条件下的工作性能而在使用以前预先施加的永久性内应力,预应力混凝土桥梁结构中的预应力筋是结构中的主要受力单元,是预应力混凝土结构中至关重要的部分。如何对预应力管道进行定位检测,进而确定预应力钢筋的位置和压浆实度是预应力检测技术的一个重要问题,开展这方面的研究对保证桥梁的耐久性和安全性,以及对于此类桥梁养护工作的决策等至关重要^[1]。

1 探地雷达工作原理

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^[2-3]。即

$$\nabla \cdot E = -\frac{\partial B}{\partial t}; \nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}; \nabla \cdot B = 0; \nabla \cdot D = \rho。$$

式中: ∇ 为位置坐标偏导数,表示势场3个自由度方向上一阶偏微分的矢量和; ρ 为电荷密度, $C \cdot m^{-3}$; J 为电流密度, $A \cdot m^{-2}$; E 为电场强度, $V \cdot m^{-1}$; D 为电位移, $C \cdot m^{-2}$; B 为磁感应强度, T; H 为磁场强度, $A \cdot m^{-1}$ 。

该方法是一种对地下目标体或界面进行定位的电磁技术。其基本工作原理是:利用一个天线发射电磁波,另一个天线接收界面反射波,根据反射波的双程走时、振幅、极性特征、频谱特征以及反射波的形态特征等参数资料,来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^[4-6],见图1。

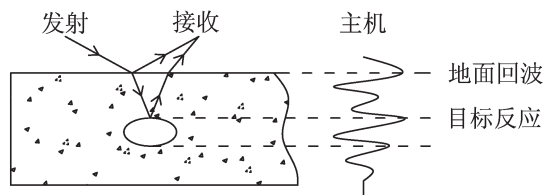


图1 探地雷达工作示意图
Fig.1 GPR work scheme

1.2 介质的电磁学性质^[7-8]

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大小的性质,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

收稿日期:2011-11-12

作者简介:潘海结(1986—),男,硕士研究生,主要从事桥梁检测方面的工作。

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。

2) 介质的磁导率。磁导率 μ 表征介质在磁场作用下产生磁感应能力的强弱,是一个无量纲物理量。绝大多数工程介质的磁导率都接近1,对电磁波传播特性无重要影响。但是对于铁、硅钢等铁磁性物质,其磁导率很高,对电磁波的传播的影响很严重,衰减很大。

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

Tab.1 Electromagnetic parameter of the common media

材料	电导率 $\sigma / \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$	相对介电常数 ϵ	速度 $v / \text{m} \cdot \text{ns}^{-1}$
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 电磁波的反射与折射

当雷达波由低速介质进入高速介质,反射系数为正,反射波的极性与入射波相同。当雷达波由高速介质进入低速介质,反射系数为负,反射波的极性与入射波相反。雷达波由混凝土向进入预应力钢筋传播时,是由高速进入低速,反射系数为负,反射波极性与入射波相反。

2 模型试验

2.1 试验概况

预应力混凝土板, $1.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 。板内埋设一层预应力管道,直管;管道直径 $\Phi 80$ (内径 $\Phi 70$),金属管和塑料管各3根,共6根,管道编号为M1, M2, M3, M4, M5, M6;管道内穿 $\Phi 15$ -9 钢绞线;分别做成真空、灌浆密实和灌浆不密实3种情况各2根;板顶面和底面各设置一层普通钢筋,纵向钢筋采用 $\Phi 16$ 钢筋,间距12 cm;箍筋采用 $\Phi 10$ 钢筋,间距16 cm;采用C60混凝土,模型见图2。

仪器采用意大利IDS公司的RIS-K2型探地雷达,天线选择由4个1.6 GHz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。

根据探测目的的不同,测线布置也会有所差异,但一般的原则是横竖交叉布置,特别是探测钢筋、预应力束时,有平行与垂直与钢束的测线。为方便比较,本次试验测线布置为平行于管道轴向和垂直于管道轴向,测线布置见图3(C1~C7依次表示1~7号沿线)。

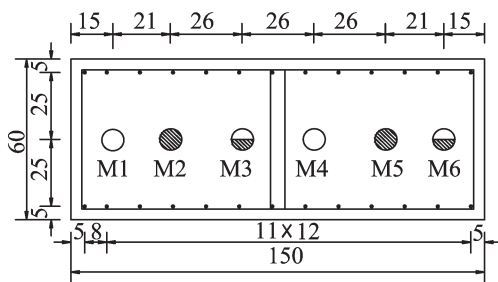


图2 模型设计横截面图(单位:cm)

Fig.2 Cross-sectional images of model design (unit:cm)

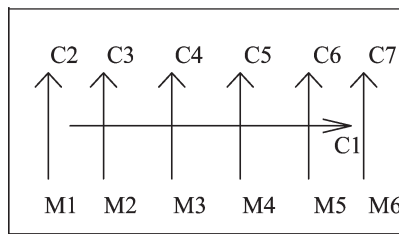


图3 测线布置图

Fig.3 Layout of monitoring lines

2.2 探测数据处理分析与图像解释

1) 1号测线(垂直于管道轴向)。当测线垂直于预应力管道时,管道在雷达检测T-D图上显示的波形为向上凸起的弧形,弧顶为管道顶部位置根据雷达剖面图,预应力管道均能分辨出。1号测线3号通道雷达检测剖面图见图4。预应力管道M1~M6雷达探测结果见表2。

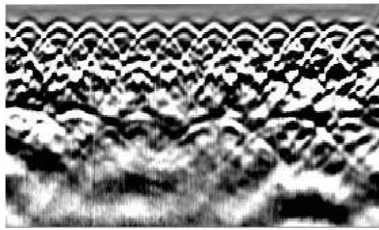


图4 1号测线3号通道雷达检测剖面图
Fig.4 Radar detection section of Tunnel 3,
Monitoring Line 1

表2 1号测线3号通道探测结果
Tab.2 Detection result of Tunnel 3, Monitoring Line 1

管道 编号	设计值/ cm	测量值/ cm	误差/ cm
M1	26	24	2
M2	26	24	2
M3	26	24	2
M4	26	26	0
M5	26	25	1
M6	26	26	0

2) 5号测线(平行于管道轴向)。当测线垂直于管道轴向时,在雷达检测 T-D 图上,显示的是一条随管道轴向位置变化的曲线,根据雷达检测剖面图,M4管道的位置能够很明显的分别出来,5号测线4号通道达检测剖面图见图5。5号测线4号通道探测结果见图6其他各测线探地雷达均能检测出管道的位置,在此不一列出。

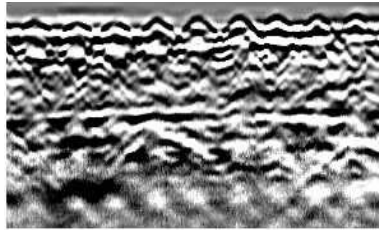


图5 5号测线4号通道雷达检测剖面图
Fig.5 Radar detection section of Tunnel 4,
Monitoring Line 5

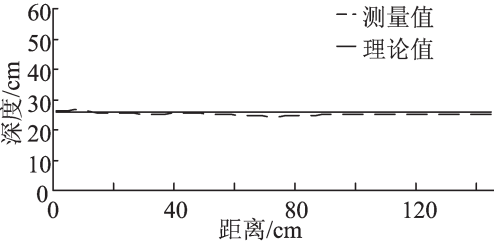


图6 5号测线4号通道雷达检测结果
Fig.5 Radar detection result of Tunnel 4,
Monitoring Line 5

2.3 小结
经过对比分析可知,测线垂直于管道轴向(即天线偶极子方向平行于管道轴向)和测线平行于管道轴向均能探测出管道位置,垂直于预应力管道时,雷达检测 T-D 图上显示的是向上凸起的弧形,弧顶为管道顶部位置根据雷达剖面图,平行于管道轴向时,雷达检测 T-D 图上显示的是一条随管道位置变化的曲线,垂直于管道轴向时,信号较强,能对管道进行有效探测,有利于寻找预应力管道位置,测线平行于管道轴向,信号较弱,但是平行于管道轴向有利于追踪管道的线性变化。

3 工程应用实例分析

3.1 工程概况
重庆市北滨路某小箱梁桥,为了能够对该桥进行更加全面的养护管理,由于缺乏原始资料,要求对小箱梁预应力筋进行定位检测,现取外侧第一片小箱梁外腹板。
仪器依然使用意大利IDS公司的RIS-K2型探地雷达和由4个1.6 GHz的高频天线组成的HIRESS天线阵,由于测线垂直于管道轴向,信号较强,因此测线布置为垂直于管道轴向,由跨中向支座,沿着腹板向上布置4条测线。

3.2 数据处理分析与图像解释
图7~图10为4条测线雷达检测剖面图,预应力管道均能分辨出。

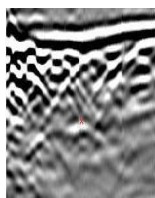


图7 1号测线雷达剖面图

Fig.7 Radar detection section of Monitoring Line 1



图8 2号测线雷达剖面图

Fig.8 Radar detection section of Monitoring Line 2

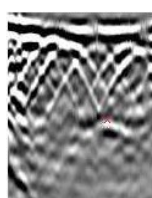


图9 3号测线雷达剖面图

Fig.9 Radar detection section of Monitoring Line 3

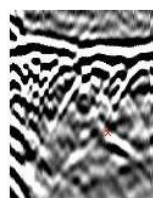


图10 4号测线雷达剖面图

Fig.10 Radar detection section of Monitoring Line 4

建立坐标系,以腹板下缘为原点,以雷达扫描方向为 x 轴正方向,管道埋深为 y 轴正方向,雷达探测结果见表3。

其他箱梁各腹板探地雷达均能检测出预应力管道的位置,在此不一一列出,为了验证检测结果的准确性,需对个别预应力管道进行破孔论证,根据检测结果,选取了第4片梁的一侧腹板进行破孔验证,说明,检测结果与破孔实测结果吻合较好,基本上反映了预应力管道的位置。

3.2 小结

意大利 RIS-K2 地质雷达和由 4 个 1.6 GHz 的高频天线组成的 HIRESS 天线阵系统,能够对位于普通钢筋下方的预应力管道,进行定位检测,准确度较高,方便实用。

4 结论

通过探地雷达在公路桥梁预应力管道无损检测中的应用可以得出以下结论:

1) 高精度探地雷达作为一种快捷、高效、准确度搞的无损检测工具,已用于工程质量检测,特别是在公路桥梁预应力管道检测中,可推广应用。

2) 探地雷达是利用电磁波在介质中的传播进行探测的,然而桥梁预应力管道处于多层钢筋和混凝土的包裹之中,雷达电磁波受到钢筋间的相互干扰、边界条件、混凝土内部缺陷等影响下的传播规律,有待于我们进一步的研究。

表3 雷达探测结果

测线号	测量值		cm
	x	y	
1	29.5	18.16	
2	37.9	18.36	
3	41.4	16.41	
4	42.4	18.55	

参考文献:

- [1] 徐建达,杨超,季文洪,等. 预应力管道压浆质量无损检测技术综述[C]// 第十四届全国混凝土及预应力混凝土分会学术会议,2007: 213-217.
- [2] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社,1994:5-7.
- [3] 曾昭发,刘四新,等. 探地雷达方法原理与应用[M]. 北京:科学出版社,2006:1-20.
- [4] 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(5):54-62.
- [5] 左峥嵘. 国外探地雷达技术新进展[J]. 中国地质大学学报,1993(3):315-322.
- [6] 徐进前. GPR在公路桥梁质量无损检测中的应用[J]. 工程与建设,2009(4):515-519.
- [7] 唐钰昇. 探地雷达法进行预应力管道定位检测的模型试验研究[M]. 重庆:重庆交通大学出版社,2008:18-19.
- [8] 黄福伟,唐钰昇. 2005年西部交通科技项目“大、中跨径混凝土桥梁预应力检测技术研究”专题2调研报告[R]. 重庆:重庆交通科研设计院,2006:14-17.

(下转第 78 页)

A Research of China's Financial System Based on Composite Stability Index

Pan Yangchun

(School of Economics and Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Aiming at defects and deficiencies of the existing literature measuring China's financial stability of indicators, this paper measure the current level of China's financial stability by establishing a comprehensive stability index of the financial system, adopting data from 2004 to 2011 as the sample. The study finds that since 2004, China's overall financial system is stable. By the influence of financial crisis in 2008, China's financial system stability is the weakest in the fourth quarter of 2008, and is on the rise in 2009. After 2010, China's financial stability tends to decline. There is a high matching degree between the comprehensive financial system stability index and China's financial operation. The empirical analysis results further test and illustrate the financial stability comprehensive index measurement results has its accuracy and rationality.

Key words: financial system; comprehensive stability index; financial stability; empirical analysis

(上接第 70 页)

Application of GPR Technology in the Location Detection of Bridge Prestressed Pipeline

Pan Haijie¹, Huang Fuwei^{1,2}

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. Chongqing Transportation Research and Design Institute, Chongqing 400067, China)

Abstract: Location detection of prestressed pipeline is an important problem in nondestructive testing of bridge structure. Based on elaborating the principles and methods of GPR nondestructive testing, combined with engineering examples, through the model test, application of GPR in bridge nondestructive testing is explained in the paper. Advantages of non-destruction, simplicity, high efficiency, high precision, and strong anti-interference capability are displayed. The scientific basis is provided for accurate evaluation the bridge structure durability and safety function.

Key words: ground penetrating radar; prestressed pipeline; location detection