

# 地质雷达在节段梁注浆密实度检测中的应用

殷习军<sup>1</sup>, 王修勇<sup>2</sup>

(湖南科技大学, 湖南湘潭 411201)

**摘 要:**在预应力后张法施工过程中, 注浆密实性成为影响工程质量的一个十分重要的因素。随着雷达检测技术的日益成熟, 并在不断的实践中显现出其无损、操作方便、检测速度快、检测范围大等优点。该文结合工程实践总结出雷达检测技术在注浆密实度方面的应用方法, 表明了雷达在检测密实度方面的应用是可行的。

**关键词:**雷达; 无损检测; 密实度

**中图分类号:** TN95 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2007)02-0103-03

## 0 前言

雷达, 意为“无线侦察与定位”, 出现于 1842 年, 并先后应用于航海与军事。1985 年, 美国采用线性调频脉冲雷达技术检测纽约地铁结构完整性, 由此, 雷达技术开始在考古、矿产资源勘探、岩土勘查、无损检测及工程建筑物结构调整中得到广泛应用。

在预应力后张法构件中, 由于其预应力一部分来源于钢筋(索)与水泥浆之间的摩擦, 因而注浆的密实程度对于预应力损失有着至关重要的作用。此外, 若注浆不密实, 也将使钢筋(索)直接与空气接触, 使其产生锈蚀。因此, 本文通过利用中国电波传播研究所青岛分所研制的 LTD-2000 型探地雷达对广州地铁 4 号线节段梁预应力孔道注浆密实度的检测情况, 并对不同注浆质量的雷达图示对照分析, 表明利用雷达可准确判断孔道内注浆的密实性。

## 1 雷达特性及检测原理

### 1.1 波动方程

探地雷达探测是一种高频电磁波勘探方法, 雷达电磁波可近似为均匀平面电磁波。在介质中传播时, 它的电场分量瞬时波动方程为:

$$E_x(z, t) = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \quad (1)$$

式中:  $E_0$ —— $z = 0, t = 0$  时的电磁场强度

$\alpha$ ——衰减系数

$\beta$ ——相移系数

$z$ ——传播距离

$\omega$ ——电磁波的角频率

### 1.2 电磁波速

从式(1)中可知, 当  $\cos(\omega t - \beta z) = 1$  时, 电磁场强度最大, 可求得电磁波波速的表达式为:

$$v = \omega / \beta \quad (2)$$

$$\beta = (\omega^2 - \mu \epsilon / 2)^{1/2} [1 + (\sigma / \omega \epsilon)^2]^{1/2} + 1 \quad (3)$$

式中:  $\mu$ ——磁导率

$\epsilon$ ——介电常数

$\sigma$ ——电导率

对于混凝土介质,  $\sigma / \omega \epsilon < 1, \mu = 1$ , 式(2)可简化为:

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

式中:  $V_0$ ——电磁波在空气中的传播速度, 0.3 m/ns

$\epsilon_r$ ——介质的相对介电常数

### 1.3 衰减系数

$$\text{式(1)中 } a = \omega \epsilon, \sigma = 2\pi f \epsilon, \sigma \quad (5)$$

由式(5)可知电磁波的衰减系数与介质的相对介电常数、电阻率有关, 因而对于空气电磁波衰减很慢, 而对金属物质则会很快衰减。

### 1.4 反射系数

地质雷达主要电磁波在不同介质中传播特性的差异, 造成雷达反射回波在波幅、波长及波形上有相应的变化。根据这一原理, 由雷达的发射天线向被探测介质的内部发射高频电磁波, 在电磁特性有变化的地方, 雷达波一部分被反射回来, 部分则发生散射, 剩下的继续向内透射, 反射回波由

收稿日期: 2006-11-21

作者简介: 殷习军(1982-), 男, 湖南常德人, 硕士在读, 研究方向为大跨度桥梁结构静动力分析与设计理论。

透水性混凝土用于路面铺装具有吸音、降噪、排水、防滑效果, 有利于交通运输行车安全。

透水性混凝土用于河道护岸、广场、园林, 则具有促进生态水循环, 减少地面沉降, 改善城市地表植物和土壤微生物的生存条件, 利生物生长, 保护水土平衡。

在汽车工业、交通设施高度发达的 20 世纪末期, 人类已经共同认识到保护地球环境, 维护生态平衡, 走可持续发展之路是 21 世纪人类的首要任务。在这个世界背景下, 研究开发环保、生态型的透水性路面材料具有极为重要的社会意义和广阔的发展前景。

接收天线接收,如图1所示。

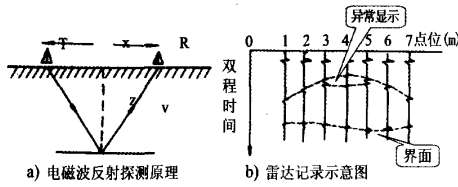


图1 雷达电磁波反射原理示意图

相对于探地雷达所用的高频电磁脉冲而言,通常工程勘探和检测中所遇到的介质都是以位移电流为主的低损耗介质。在这类介质中,反射系数和波速主要取决于介电常数。

由于电磁发射方向与界面垂直且收发天线距离很小,所以反射系数可写为

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}}$$

因此,可知材料的相对介电常数差别很大。当电磁波到达时,会在界面处产生反射回波信号。根据表1所示,水、空气、混凝土及钢筋的介电差异很大,所以在节段梁的注浆中如有不密实部分,会呈现强烈的反射。

表1 主要材料的介电常数及波速

材料	空气	水	混凝土	金属
$\epsilon_r$	1	81	6.4	300
V	0.3	0.03	0.12	0.017

2 现场检测

2.1 工程概况

广州地铁4号线采用节段拼接方法施工,沿纵向预设孔道,采用预应力钢绞线张拉,因此节段接口及孔道的注浆密实性显得尤为重要,直接影响整修工程的质量。众所周知,出于注浆本身的施工特点,在接缝及孔道周边容易存在漏注和灌浆不密实等缺陷,因此,对其密实性的检测很有必要。作为完工验收的一部分,本文作者利用LTD-2000探地雷达和900 M天线,对广州地铁4号线6个标段(6标~11标)共30孔进行了抽样检测。

2.2 现场测试

现场测试采用LTD-2000型探地雷达,所用天线为地面耦合式一体化天线(900 M)。雷达检测时,发射和接收天线与箱梁底板和腹板表面密贴,沿测线滑动,由雷达仪主机高速发射雷达脉冲,进行快速连续采集。雷达每秒发射64个脉冲,每米测线约有测点40~60个。为保证点位的准确,在腹板和底板有孔道的位置作一标志。当天线对齐某一标记时,由仪器操作员向仪器输入

信号。内业整理资料时,根据标记和记录的首、末标及工作中间核查孔道的位置。顶面、侧面及底面利用天线沿板缝方向进行,测线布置如图2所示。

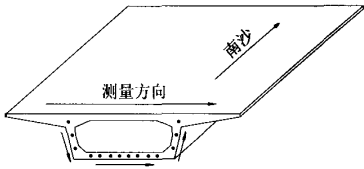


图2 节段梁检测测线布置图

2.3 图像处理及解释

数据处理采用中国电波传播研究所自行开发的IDSP5.0探地雷达处理解释软件。处理过程包括预处理(步骤:①修改文件头参数;②标记和桩号校正;③剖面翻转和道标标准化;④添加标题、标识等)和处理分析(包括①浏览整个剖面,查找明显的异常;②频谱分析;③滤波去噪;④振幅增强;⑤异常特征和面层对应相位分析;⑥剖面修饰等)。经过处理后的检测剖面中,不同的颜色对应不同的幅度强度,横轴代表桩号(单位为m),纵轴表示电磁波传播的双程走时(单位为ns)。现场测试收集到的图形信号可通过伪彩色图和单波图形进行对照分析。图3、图4和图5分别为未压浆、压浆不密实和压浆密实的图形。

从图中我们可以清楚地看出空气与混凝土的接触面、预留管道及预应力钢绞线的位置,因而对比以上三种情况可以得到注浆密实性在雷达图示上的反映规律:

(1)由于金属与空气、混凝土的相对介电常数存在很大差异,因而在其接触面上呈现白色双曲。从3个图中均明显反映出钢绞线的位置,外层钢绞线反射强烈,呈白色曲线状,内层钢筋反射明显减弱,呈灰白色。

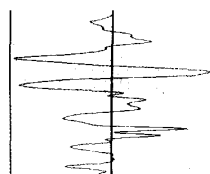
(2)在密实情况下,电磁波的衰减快;而在不密实的管道中,由于存在细微孔洞,孔洞中空气的介电与电阻率均很小,所以衰减慢,从其单波图形上可以清楚地反映这一点。

(3)不密实孔洞中,空气与混凝土、钢绞线的交接面表面电磁波表现为多次强烈反射。由图4可以发现,在不密实区域呈多点白色反映,且在其单波图形上呈不规则的多次反射。

(4)在未注浆和注浆不密实的孔道中,在钢筋反射周边呈现渐变,并表现为钢筋表面的反射与管道边缘反射结合不紧密,呈现白色到红色的变化区域。

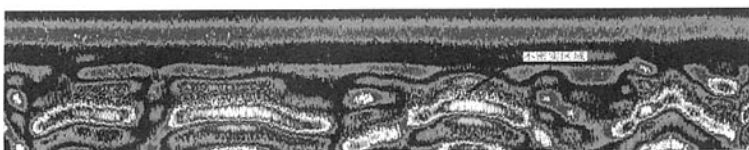


a) 伪彩色图

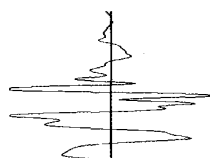


b) 单波图

图 3 未注浆波形示意图



a) 伪彩色图

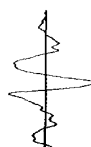


b) 单波图

图 4 注浆不密实波形示意图



a) 伪彩色图



c) 单波图

图 5 注浆密实波形示意图

### 3 结语

随着预应力后张法技术在桥梁及建筑工程中的广泛应用,对预应力孔道中注浆密实度的检测也随之变得尤为重要。本文作者采用的地质雷达对注浆密实性进行的检测表明,该技术具有无损、速度快、精度高、成本低等优点,适合在工程

实践中应用。

#### 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] 梁斌鑫. 地质雷达检测技术在隧道衬砌质量检测中的应用[J]. 铁道建筑, V2005(11).
- [3] 杨金山, 王百荣, 车殿国. 地质雷达技术及其应用[J]. 黑龙江水利科技, V2002 (1).

## 湖南省投资2.7亿建设湘潭污水处理项目

近日,湖南省重点工程之一的湘潭河东污水处理项目签署特许经营合同。该项目将改善长株潭三市水环境。

湘潭河东污水处理项目系湘潭第一个通过 BOT 方式引资建设的城市基础设施项目和环保项目,工程总投资 2.7 亿元。分两期建设,设计日污水处理能力为 20 万 t,其中一期工程为日处理污水 10 万 t。

由于相关部门采取全新的竞争招商方式和 BOT 运作方式,不仅大大降低了政府的招商成本,而且使运营成本降至目前国内较低水平,概算每年湘潭全市可少支付 1 800 多万元的污水处理费用。中环水务、中铁四局联合体成为这个项目投资建设运营商。双方商洽,确定污水处理费 0.819 元/t,低于政府测算的最低价格 0.82 元。该项目将于今年 12 月投入使用,建成投产后,将解决湘潭市河东近 50 km<sup>2</sup> 的污水处理问题,有效提高城市多个自来水厂取水水质,并减轻湘江下游污染。