

钢筋混凝土板件地质雷达的应用

朱海堂¹,周道传²,高丹盈¹

(1. 郑州大学,郑州 450002;2. 河海大学,南京 210098)

摘要:模拟混凝土中的典型情况设计制作了三块厚度为 200 mm 的钢筋混凝土板,对板件应用美国 GSSI 公司生产的 Handy scan 地质雷达进行了无损检测,将检测得到的信号应用雷达信号处理软件 Radan 进行分析,研究了各种典型情况的雷达反射波图像典型特征,总结了图像特征的规律;检测结果表明,使用中心频率为 1 GHz 的雷达可以分辨出钢筋的位置、保护层厚度以及可分辨钢筋的最小间距,钢筋的最大检测深度等,雷达检测的分析结果表明,本试验中所采用的雷达设备,可以精确探测混凝土体中的物体位置,具有较高的可信度。

关键词:钢筋混凝土板件;地质雷达;应用研究

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2009)11-0897-04

The Application of Reinforced Concrete Slab Ground Penetrating Radar

ZHU Hai-Tang¹, ZHOU Dao-Chuan², GAO Dan-Ying¹

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Three 200mm thick reinforced concrete slabs were designed and made with typical simulated circumstance. Non-destructive test carried out on the slabs with different ages by using ground penetrating radar of Handy scan produced by GSSI company of United States. The software Radan was used for processing the detected radar signal. The characteristics of the radar image were studied and summarized; test results showed that radar with the center frequency of 1 GHz could identify the location of steel bars, protective layer thickness and the minimum distance and maximum depth of steel bars. The analysis results indicated that radar equipment used in the test could accurately detect objects location in the concrete with high credibility.

Keywords: Reinforced concrete slab; Ground penetrating radar; Application research

钢筋混凝土无损检测是对建筑结构质量进行监测、诊断和评估的重要手段之一,同时也是后期维护和保养的重要依据。由于钢筋混凝土本身的复杂特性、检测环境场地条件的限制以及特殊建筑物的保护需要等,一些常规的检测方法,如超声波、冲击回波、红外线等方法,不能达到检测的目的^[1]。雷达无损检测技术以其检测精度高、快速、准确,工作要求的环境条件宽松,又具有一定的穿透深度等优点,已逐渐受到岩土工程界和工程检测部门所关注^[2-4]。

但是,雷达图像所反映的只是钢筋混凝土介质

的电性分布,进行钢筋混凝土结构质量评价时,还必须将钢筋混凝土介质的电性分布转化为本体分布,这就需要综合应用雷达信号的各种特征进行系统地分析。然而,由于钢筋混凝土内部结构的复杂性等多方面的原因,使得雷达脉冲到达接收天线时波的振幅衰减,实测波形和原始波形有较大差别,不同程度的各种随机信号噪声和干扰波也歪曲了实测数据^[5-6]。因此,如何分析不同钢筋混凝土介质的雷达图像特征,对接收到的信号实施适当处理,以获得高质量的雷达图像,并能正确识别异常,成为雷达无损检测技术的关键问题。

针对上述问题,对钢筋混凝土结构的雷达检测图像特征识别进行了深入研究^[7]。

收稿日期:2008-11-15

基金项目:河南省重点科技攻关计划(0423034100)

作者简介:朱海堂(1964—),男,博士,教授,从事混凝土结构性能及其检测技术研究。

1 试验

1.1 试验目的

根据钢筋混凝土结构的特点,对钢筋混凝土结构的雷达无损检测技术进行试验研究,分析不同钢筋直径及配置方式、不同内在结构质量(如裂缝、空洞或离析等)的钢筋混凝土介质对雷达成像及接收波形特征的影响,探讨实测数据的异常识别方法,研究为进一步资料解释提供清晰图像的数据处理准则,提出钢筋混凝土的雷达无损检测技术的评价体系,为钢筋混凝土工程质量的雷达无损检测提供必要的技术支持。

1.2 试件设计与制备

根据上述研究目的,针对不同的研究对象,设计制作了三块钢筋混凝土板,考虑的因素有:钢筋直径、钢筋间距、钢筋保护层厚度、混凝土体内的空洞及直径、混凝土体内部异物以及胶结质量等。三块钢筋混凝土板的设计概况如下:

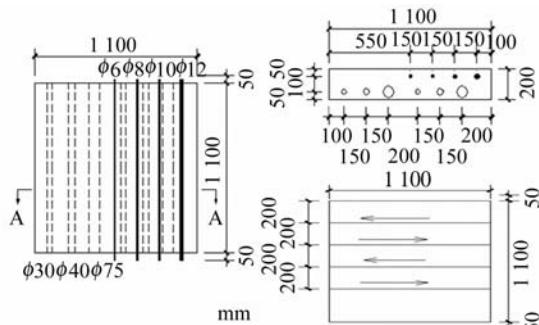
板1尺寸为1100 mm×1100 mm×200 mm;钢筋保护层厚度50 mm,间距150 mm,四根钢筋依次是 $\phi 6, 8, 10, 18$ mm, $\phi 18$ mm钢筋离板右边界距离100 mm,长度1200 mm,贯穿于整个板长,且每端外露50 mm,以确定钢筋的实际深度;设计了两组直径分别为30,40和75 mm的空洞,空洞也贯穿整个板长,由预埋PVC管制作,一组置于钢筋下,一组上面无钢筋,每组空洞的圆心间距为150 mm。

板2尺寸为1100 mm×550 mm×200 mm;钢筋设计分两组,一组设计保护层厚度50 mm,自右板边100 mm处向左布置的四根钢筋依次是 $\phi 18, 10, 8$ 和6 mm;另一组全部采用 $\phi 18$ mm钢筋,混凝土保护层厚度依次以30 mm递增。两组钢筋间距均为100 mm,钢筋长度650 mm,每端外露50 mm。设计了直径为40和75 mm的两个空洞,由预埋PVC管制作置于保护层厚度为50 mm的钢筋下方,空洞圆心间距100 mm。

板3尺寸为1100 mm×550 mm×200 mm;分两层浇筑,中间设置胶结层;钢筋保护层厚度50 mm,间距50 mm,四根钢筋依次是 $\phi 6, 8, 10$ 和18 mm, $\phi 18$ mm钢筋离板右边界距离100 mm,钢筋长度650 mm,贯穿于整个板长,且每端外露50 mm;两个直径为40 mm的空洞由PVC管预埋于胶结层下方。胶结层上方预埋尺寸不同的木块和塑料泡沫各两块。

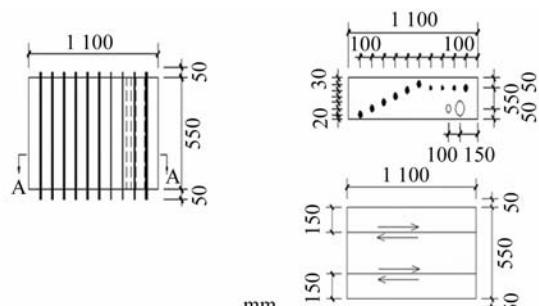
混凝土浇筑配合比是水泥:水:中砂:碎石=460:175:547:1271 (kg/m³),采用325硅酸盐水泥,中粗河砂浇筑,机械搅拌,振动棒振捣,室外洒水养护。

三块板的设计详情及测线布置如图1~3所示。



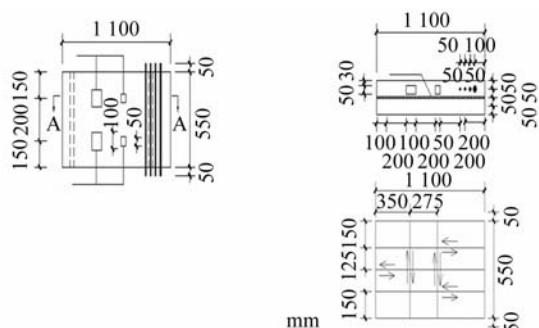
(a) 结构示意图 (b) 测试布置

图1 板1的试件设计及测线布置



(a) 结构示意图 (b) 测试布置

图2 板2的试件设计及测线布置



(a) 结构示意图 (b) 测试布置

图3 板3的试件设计及测线布置

1.3 试件检测与分析

采用美国GSSI公司生产的Handy scan地质雷达对板件按设计测线进行了检测,雷达中心频率是1 GHz,时窗为6 ns。检测过程中数据自动采集并存入电脑,用雷达仪器配备的Radan软件对采集到的雷达图像进行了分析处理。地质雷达数据处理包括压制随机的和规则的干扰,进行滤频处理,以最

大分辨率显示检测图像,以帮助解释检测结果。

2 试验结果与分析

通过对不同设计测线的检测发现,检测图像基本相同,钢筋和PVC管没有在混凝土体内发生位置移动,钢筋位置和PVC管位置同设计位置相同,其它设计参数也在成型板件中得到实现。通过对雷达图像进行处理,得到三个板件在不同工况下的各种雷达成像及特征,分述如下。

2.1 钢筋的雷达图像特征

在钢筋混凝土体中,混凝土为主介质,而钢筋是异常体。由于钢筋的相对介电常数比混凝土大很多,因而在钢筋和混凝土的界面上将产生强烈反射。同时,由于钢筋截面为圆形,因此反射电磁波到达接收天线的时间是不一致的,在雷达成像剖面图中应表现为弧线。从实测的雷达成像剖面图可以看出,在与钢筋对应的位置的确为弧线。图4给出了三块板28天龄期的检测处理图像。

从图4(a)中可以看出,混凝土体中钢筋的雷达图像特征是一个白色弧状抛物线,抛物线开口向下,而混凝土体的雷达显示为灰色图像,对比鲜明;钢筋的雷达图像有4条明显的弧线,显示混凝土板的横向布置了4根钢筋,这与图1所示的实际钢筋位置是完全一致的。由于不同直径的钢筋处于同一水平位置,其反射弧大小相差不大,钢筋直径的差别主要反映在传播时间的不同上,钢筋直径越大,传播时间越短,钢筋直径越小,则传播时间越长。当钢筋间距为150 mm,保护层厚度为50 mm时,反射弧抛物线底端相连在一起。

从图4(b)中可以看出,当混凝土中钢筋间距100 mm,保护层厚度50 mm时,钢筋直径的差别在图像上反映在反射弧大小的不同,钢筋直径越大,反射弧越大,而钢筋直径越小,反射弧越小。当采用直径18 mm的Ⅱ级钢筋,钢筋间距为100 mm,保护层厚度分别是30,60,90,120,150和180 mm时,钢筋

图像均比较明显,呈白色弧状抛物线,钢筋保护层越大,白色弧状抛物线在图像中的位置越低,这与图2所示的实际钢筋位置是完全一致的。可见,本次试验采用的地质雷达可以探测到深度为180 mm的钢筋。

从图4(c)中可以看出,当钢筋间距50 mm,保护层厚度为50 mm时,从钢筋的检测图像中已经无法分辨出每根钢筋的具体位置和直径,钢筋的检测图像连成一片。当钢筋间距为50 mm时,地质雷达无损检测技术无法检测出每根钢筋的具体位置。

2.2 空洞的雷达图像特征

将三种不同管径的PVC管预埋在混凝土体中,以模拟直径大小分别是75,40和30 mm的空洞,其试验检测结果如图5所示。由于空洞内充满空气介质,而空气和混凝土的相对介电常数是不同的,这就导致了电磁波在传播的过程中,会在两者的界面上产生反射。在雷达波成像剖面中,图像将发生明显的变化。这一特征为识别空洞的位置提供了依据。空洞的图像特征如下所述。

混凝土的雷达检测图像呈灰色。当空洞存在于混凝土中时,由于形成了空洞和混凝土体之间的界面,所以雷达波在此界面上发生反射,形成了类似于钢筋的图像特征,即开口向下的白色弧状抛物线,如图5(a)所示。当空洞圆心距离混凝土表面距离150 mm,空洞间距为150 mm时,只有空洞直径为75 mm的图像比较明显,而空洞直径为40和30 mm的图像不很明显,只能隐约可见其反射弧的顶端位置。另外,当空洞上方有钢筋存在时,由于钢筋对于雷达电磁波的强烈反射作用,使得钢筋下方的空洞检测图像较为模糊,只有直径为75 mm空洞的反射弧可见,而另外两个直径的空洞的雷达图像基本上未能反映出来。通过对比可以看出,钢筋对其下方空洞的检测有着重要的影响,上方不存在钢筋时的空洞图像比上方存在钢筋时的图像要清晰明显得多。

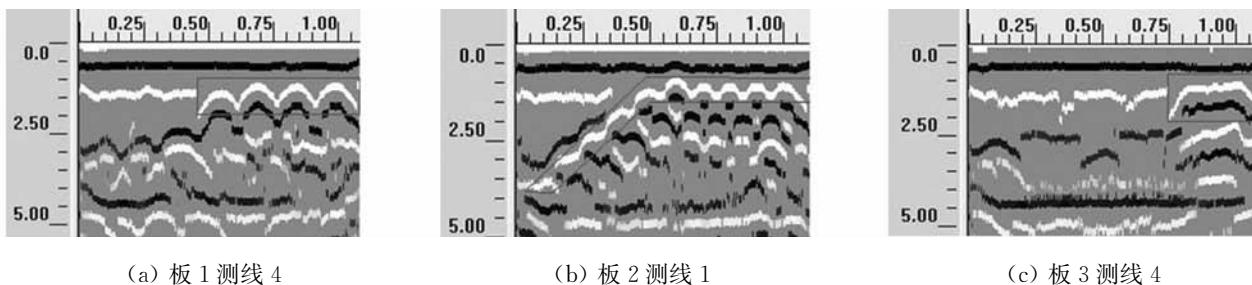
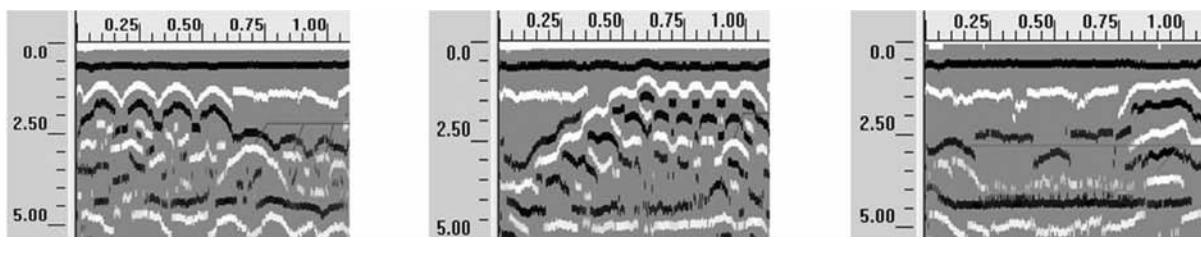


图4 钢筋的雷达检测图像

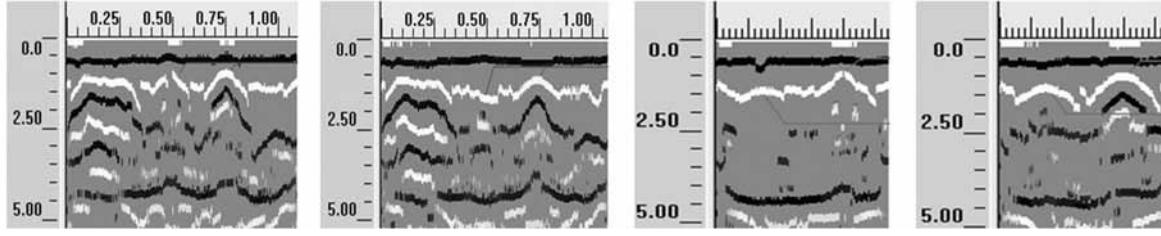


(a) 板 1 测线 1

(b) 板 2 测线 1

(c) 板 3 测线 3

图 5 空洞的雷达检测图像



(a) 板 3 测线 2

(b) 板 3 测线 6

(c) 板 3 测线 10

(d) 板 3 测线 8

图 6 异物的雷达检测图像

同样是钢筋下空洞的检测,板 1 和板 2 的检测图像表明,钢筋下空洞的检测图像与上层的钢筋间距和本身空洞间距关系不大,而只与本身空洞的直径有关。板 1 的上层钢筋间距和空洞间距均为 150 mm,板 2 中上层钢筋间距和空洞间距均为 100 mm。比较分析表明板 2 中的空洞图像与板 1 中的空洞图像没有很大的差别,两者都是只有直径为 75 mm 的空洞在图像上有显示,而直径为 40 和 30 mm 的空洞在图像上都没有明确显示。从图 5(c)中也可以发现,当空洞上方没有钢筋时,空洞的图像呈开口向下的弧状抛物线形式;空洞上方有钢筋时,空洞的图像没有出现反射弧状,说明钢筋的存在对于其下方空洞的检测有明显地影响,空洞上方没有钢筋时的检测图像更加清晰明显。

2.3 异物和分层的雷达图像特征

在板 3 试件中分别预埋了木块和泡沫两种异物,每种异物尺寸分别是 100 mm×100 mm×50 mm 和 50 mm×50 mm×50 mm,在板中的预埋深度距离板表面 30 mm。养护 28 d 后进行雷达检测,检测处理图像如图 6 所示。

从图 6(a)中可以明显地看到预埋木块在混凝土体中的反射图形呈开口向下的白色弧形抛物线状。两个木块的预埋深度相同,所以反射弧顶端处于相同的水平位置;木块体积尺寸对反射弧的形状有较大影响,木块体积越大,反射弧的开口越大,抛物线所包围的面积也越大。

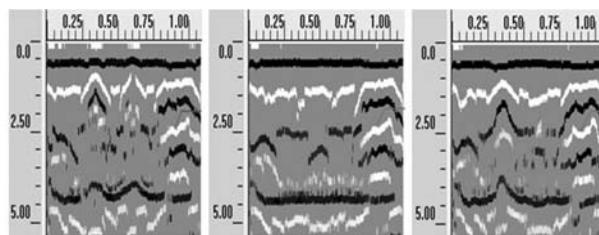
从图 6(b)中可以看出一个体积较大的泡沫图

像被检测到,泡沫的检测图像也呈开口向下的白色弧状抛物线。体积较小的泡沫,在图像上反映传播时间长,反射弧不明显。

从图 6(c)中可以看到 50 mm×50 mm×50 mm 的木块和泡沫的反射图像,都呈开后向下的白色弧状抛物线。泡沫的传播时间长,木块的传播时间短,表明泡沫的实际埋深比木块大。

从图 6(d)中可以看到,100 mm×100 mm×50 mm 的木块和泡沫的反射图像均呈开口向下的白色弧状抛物线。与图 7(c)相比,不论是木块还是泡沫,体积越大,其反射图像越明显,反射弧越大,抛物线包围的面积越大。

为研究混凝土分层对雷达图像特征的影响,在进行板 3 试件混凝土浇筑时采用了分层两次浇筑,即先浇筑出 100 mm 厚的底层混凝土,充分振捣,约 6 h 后再在底层混凝土上浇筑 100 mm 厚的上层混凝土。在浇筑第二层混凝土时,在底层混凝土的表面作出划痕,便于两层混凝土之间的粘结。养护 28 d 后,进行雷达检测,检测处理图像如图 7 所示。



(a) 测线 1

(b) 测线 3

(c) 测线 5

图 7 分层的雷达检测图像

(下转第 924 页)

上
英
科
桥
无
损
检
测

国 SONATEST(Asia)CO.Ltd
华东地区总代理, 专门经销英国
声纳集团公司各成员单位的产品,
如 DAKOTA, SONATEST 的超声
探伤仪和测厚仪。BALTEAU 的
射线机、NDT SOLUTION 的快
速扫描仪以及 HAFANG 公司的
便携式超声相控阵等。

地址: 201600 上海市莘松路 1288 弄绿洲长
岛花园 521 号 601 室
电话: (021)6769 2080/6769 2015
传真: (021)6769 2080
E-MAIL: sonatestshg@vip.sina.com
keqiaond@sina.com.cn

NDT 北京有色金属研究总院
CENTER 无损检测中心

拥有强大的开发和研制涡
流、超声和漏磁等无损检测设
备的技术力量。

与俄罗斯动力诊断公司合
作推广金属磁记忆检测技术,
开设互研互反培训中心。

地址: (100088) 北京市西城区新街口外大街 2 号
联系人: 袁琪 手机: 13501390616
电话: 010-62010116 传真: 010-62352572
E-mail: enerdiag@163bi.com

Sankyo Denki 日本进口
磁粉探伤高强度黑光管

◆寿命延长 30% ◆强度提高 15%
◆符合 ROHS 标准 ◆适合大面积检测

BLB 6W BLB 30W

本公司同时销售世界名牌黑光灯泡
OSRAM, GE, PHILIPS, WINGSPAN

DUV 35W HPW-R 125

上海奇点电子科技有限公司

Tel: 021-65503721 65504069
www.wingspan.com.cn
E-mail: sales@wingspan.com.cn

青岛持恒工程技术有限公司主要从事锅炉、压力容器、压力管道等特
种设备、海上设施检测和钢结构的检测服务, 具有对外从事公正的第三方

诚邀锅、容、管、特 (II、III 级人员); 船舶及海上设施(DNV 或 EN473
资质人员); 钢结构等检测领域中精英人才, 共创伟业。
热忱欢迎全国有志之士加盟, 待遇从优。以上招聘长期有效。

联系电话: 13906398498 0532-83766886
邮箱: chinenada@163.com

联系人: 董先生 于小姐
http://www.china-nat.net

Qingdao ChiHeng Engineering & Technology Co., Ltd

152-13 Ruichang Rd Qingdao, P.R.China; 青岛市瑞昌路 152-13 号
TEL: 0086-532-83766886 FAX: 0086-532-83761213

热烈祝贺我所研制生产的黑光窥镜

部件的生产检测!

供应: 修理:
● 大功率黑光光源 ● 进口黑光窥镜
● 各种型号黑光电源 ● 黑光电源
● 附带黑光电源

状态: 100% 100% 100%

网址: www.xanki.com E-mail: liw@xanki.com

(上接第 900 页)

从图 7 可以看出, 两层混凝土之间的粘结情况
较好, 未出现大面积分层现象, 仅在埋置钢筋一层出
现分层现象, 图像特征是白色层状图形。

3 结论

(1) 混凝土体的雷达显示为灰色连续图像; 钢
筋、空洞、异物的雷达图像特征均为开口向下的白色
弧状抛物线, 与混凝土体的检测图像对比明显; 混凝
土分层的图像特征是白色层状图形。

(2) 钢筋直径越大, 其检测图像的反射弧越大;
试验采用的地质雷达可以探测到深度为 180 mm 的
钢筋; 当钢筋间距 50 mm, 钢筋检测图像连成一片,
地质雷达检测技术无法检测出每根钢筋的具体位置。

(3) 空洞直径越大, 其检测图像越明显; 钢筋对
其下方空洞的检测有着重要的影响, 上方不存在钢
筋时的空洞图像比上方存在钢筋时的图像要清晰明
显得多。

(4) 异物体积越大, 其检测图像越明显, 反射弧
越大。木块对雷达波的反射作用比泡沫强, 雷达图
像明显。

(5) 地质雷达检测技术应用于钢筋混凝土结构
的优势是可以确定钢筋的位置, 保护层厚度以及钢
筋直径大小情况, 可以探测到混凝土中的异常情况, 对
其他异常情况的识别是需要继续深入研究的内容。

参考文献:

- [1] 周道传. 地质雷达检测混凝土结构性能的试验研究及
应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2006.
- [2] 吴新璇. 混凝土无损检测技术手册[M]. 北京: 人民交
通出版社, 2003: 284—285.
- [3] 赵永辉, 吴健生, 万浩明. 钢筋混凝土地层透视雷达无
损检测技术[J]. 工程勘察, 2002, 1: 64—66.
- [4] 毛海和. 地质雷达应用于隧道健康诊断的试验研究与
实例分析[D]. 上海: 上海同济大学硕士学位论文,
2004.
- [5] 谢雄耀, 李永盛, 黄新才. 地质雷达检测在保护性建筑
结构加固中的应用[J]. 同济大学学报, 2000, 28(1): 19
—23.
- [6] 刘军, 赵晓华, 赵崇伟. 钢筋混凝土板的雷达波无损检
测[J]. 汕头大学学报, 2003, 11(18/4): 67—72.
- [7] 徐茂辉, 赖恒, 谢慧才. 探地雷达在混凝土板钢筋检测
中的应用[J]. 无损检测, 2004, 26(1): 30—33.