

Ground Penetrating Radar Detection for Bridge Bottom

Congyou Zhang

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: Due to the superior properties of GPR, has been widely used in the field of civil engineering, this paper introduces the main working principle of GPR, application of GPR in bridge detection, and the principle and method of bridge detection application, the research of GPR Detection for long-span bridge floor the crack.

Keywords: Ground penetrating radar; Bridge floor; Crack; Bridge inspection

探地雷达对桥梁底板检测应用

张从友

重庆交通大学, 土木工程学院, 重庆, 中国, 400074

摘要: 由于探地雷达的优越性质, 在土木工程领域中得到了广泛的运用, 本文简述了探地雷达的主要工作原理, 探地雷达在桥梁检测中的应用现状, 以及在桥梁检测运用的原理和方法, 研究了探地雷达对大跨径桥梁底板裂缝的检测。

关键词: 探地雷达; 桥梁底板; 裂缝; 检测

1 引言

由于二战期间, 德国和英国的战争, 英国为了能在反空袭战争中探测搜寻德国的飞机, 从而发明了一种能探测出空中的金属物体的设备即雷达^[1]。雷达首先单纯用于战争中, 随着科学技术的进步, 电子领域的科技不断完善, 雷达技术也出现了突飞猛进的成就, 其研究的内容和研究方向也不局限于战争, 而是贯穿于人们社会生活所需的各个领域。雷达是一种用无线电的方法发现某一特定物体, 并对该物体进行各种物理性质的分析, 是一种利用电磁波探测物体的电子产品, 由发射器、接收器、发射天线和接收天线, 电源、显示器、数据采集设备以及防干扰设备等组成一整套完整的雷达系统。雷达的主要优点在于不论白昼均能对指定目标进行远距离的探测, 具有一定的穿透能力, 不受云层、雨水以及雾霾的影响。目前雷达主要用于建筑结构的检测、地质情况的检测、土壤干湿度的测量、洪水以及海冰的探测等等^[2]。

近年来, 我国经济建设的突飞猛进, 国民生活水平不断提高, 生活需求不断的扩大, 为了城市与城市之间, 城市与周围城镇的紧密关系, 为了更方便快捷的需求, 道路桥梁的建设规模不断的扩大, 由于人们生活水平的提高, 轿车已成为最主要最流行的代步工

具, 随着车辆的增多和科技的进步, 对道路路线的要求也越来越高, 道路桥梁的质量要求已成为道路建设中最主要的问题之一, 桥梁是交通运输中的一个必不可少的关键环节, 由于桥梁里面的长期使用, 经过车轮的长期摩擦, 和车辆活荷载的重复作用, 容易是桥梁表面产生开裂和整体结构产生疲劳破坏, 因此对于桥梁质量检测的要求也不断的加强提高, 以保证使用者和受益者的人生安全。传统的路面检测方法通常使用随机钻孔取芯法, 桥梁裂缝的检查通常使用的是肉眼和望远镜观察法, 所以传统方法表现出了效率低、代表性差、局限性大且不能检测到危险性高的位置等缺点, 所以运用探地雷达的优点提出了一种新的检测方法。

2 探地雷达的概述

探地雷达是 20 世纪 70 年代发展的一种精度可靠、分辨率高、工作效率高、可实现连续测量、抗干扰性强且操作简单方便的一种直观、无损、快速、经济的新型目标检测设备, 简称 GPR, 其基础是高频电磁波传播, 是利用电磁波在地下可知不可视的介质中发生折射和反射的光学作用, 来探测地下目标物体的物理特性和成分的分布规律, 其发展经历发明阶段 (1904—1930)、发展阶段 (1930—1980) 以及成熟

阶段（1980 至今），根据探地雷达随时间的发展，可将其分为时间域测量的脉冲式探地雷达系统以及频率域测量的步进频率探地雷达系统^[3-6]。随着雷达技术的不断发展，不断完善，从而使得探地雷达的应用得到发展，是目前土木工程建筑结构检测的一种广泛的运用设备，是新型地球物理方法的一种，主要运用了被测目标与周围其他介质存在不同的介电性差异进行探测。其基本原理是发射器装置通过发射天线向被测目标物体发射高频率（从 1MHz 到 1GHz 不等）电磁波并利用宽带电磁波以短脉冲的方式发射到确定不可视的被测物体的内部^[7]，在发射出的电磁波的传播进行中，遇到介电性差异不同的被测目标，产生反射回波，接收器通过接收天线接收发射回波，电磁波在介质中传播时，由于介质的物理性质存在差异，电磁波传递的路径，强度和波形随着其通过的不同介质的几何形态和电磁特性的不同而发生变化，通过反射回波信号的双程时间、形式、相位、幅度以及频谱特性分析反射目标距离发射器的位置，以及对反射目标进行结构分析和物理特性分析^[8]，确定被测目标的健康性、完整性和可使用性，地质雷达系统的示意图如图 1 所示。在实际工程检测时，雷达系统的发射器从被测物体的测线从左到右保持匀速运动，通过目标发射和折射出一条条反射回波，由接收天线进行接收，最后传至主机，进行数据分析和图像处理，示意图如图 2 所示^[9-10]。

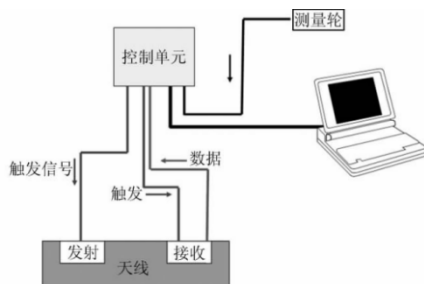


Figure 1. Geological radar system diagram t

图 1. 地质雷达系统图

通过采集接收器所接收的回波，进行探测数据处理和图像解释^[11]，而发射波所经过的所有介质都为一种及其繁杂的滤波器，对发射波具有一定的吸收作用，使脉冲式发射波经过层层介质最后到达接收天线的振幅大大降低，波形也得到了极大的改变。探地雷达的数据具有时间短暂并且噪声大的缺点，随着探测

深度的增加，分辨率将随着深度的增加变得越来越弱，干扰性随着深度的增加变得越来越强，信号随着深度的增加变得越来越弱，在处理数据时不但要考虑振幅和波形的改变，也要考虑周围环境和被测目标的深度所带来的影响，通常需要将输入电脑的数据通过后处理软件进行进一步的分析，包括设零线、去噪音、过滤回波、去漂移等^[10]，最后才生成雷达剖面进行解释，以增加数据的精确性、可靠性和说服力。

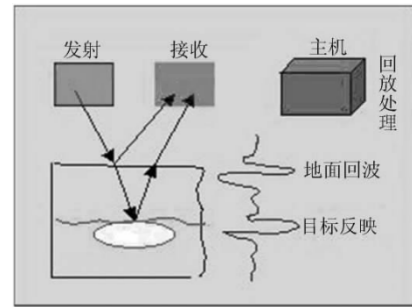


Figure 2. Ground Penetrating Radar Schematic

图 2. 探地雷达原理图

3 探地雷达在桥梁检测的应用现状

探地雷达各种工程中发展相当迅速，占据我们所有的工程检测中，在土木工程检测中更是如此，主要表现包括：路面和桥梁的结构检测、公路工程病害及隐患检测^[12]。随着雷达技术的不断发展，检测方法不断完善，在路面和桥面的结构检测中，主要用于检测路面和桥面的厚度，以代替具有破坏性和不具有代表性的随机铅芯钻孔检测，根据大量实验表明，探地雷达检测的精度可高达 3%^[12]，对桥梁的检测还包括对桥梁空心板的厚度和连续梁的预应力钢筋分布情况，从探地雷达检测出来的解译图上可以清晰的分析出桥梁空心板的厚度，底板钢筋保护层的厚度以及连续梁预应力钢筋的分布情况和钢筋间距，并且对空心板腔体内是否存在积水也能检测出来^[7]。

4 探地雷达对桥梁板底的检测

桥梁是服务人们生活的必不可少的一种建筑物，可以从时间和空间上给人们带来极大的生活上的便捷。但随着时间的推移，桥梁结构会承受各种自然条件带来的荷载作用，其荷载包括桥梁本身结构和布置在桥梁上的其他构件，例如栏杆、桥面铺装等的永久

性的恒载作用, 每天大量通过桥梁的各种车辆和行人以及随着天气的变化所引起的风荷载、通过桥梁下河流的水流荷载等的活荷载作用, 以及船只、车辆对桥梁的撞击和地震的作用等偶然荷载的作用, 在这些各种因素的荷载作用下, 桥梁会产生破坏。在车辆和行人的长期活荷载作用下, 会产生疲劳现象, 从而导致疲劳破坏, 而最容易破坏的即为桥梁结构板底产生裂缝, 裂缝桥梁结构中一种常见的病害, 通常随着时间的推移从无到有, 从细微裂缝变成宽裂缝, 因此尽早的通过检测的方法发现裂缝并在有效期内及时采取有效的措施进行治理, 这是保障桥梁有效运营的关键。

过去桥梁裂缝的检测最常见的方法是利用肉眼或者望远镜进行裂缝的观察, 其主要的缺点表现在, 首先由于检测的困难性不可能检测到整个桥梁结构沿纵向和横向的所有裂缝, 而是选择一些便于观察的裂缝进行观察, 所以检测出来的结果不具有代表性, 其次检测的效率低, 速度慢, 导致工期拉长, 最后对于建立在峡谷之间和建立在河流上的桥梁进行检测具有很大的危险性, 因此对于这类桥梁的检测困难重重, 所以需要进行改进。随着科学技术的发展, 无人机对桥梁的检测也起了重大的作用, 可以完成过去检测方法无法完成的任务, 而随着探地雷达技术的越来越先进, 桥梁检测技术更是发展的有声有色。

用探地雷达检测桥梁底板的裂缝主要运用的原理是裂缝的波场特征的变化, 探地雷达的工作原理服从麦克斯韦方程^[13], 即

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

当前有许多优秀学者在该方面中做出了大量的贡献, 例如, 李修忠^[14]等学者通过大量实验研究出了裂缝波场的特征以及探地雷达的检测方法, 对裂缝的辨别, 裂缝发展的宽度和裂缝发展形状等特征做出了大量的贡献。刘江平^[15-16]等学者对于垂直的裂缝反射波同向轴表现出像“八”字形状的特征从射线理论方面进行了阐明, 从而提供了是否存在垂直裂缝的依据。王国群^[17]学者对于用探地雷达检测裂缝得出图像的基本特征进行了总结, 分析了不同的原因所引起的不同的裂缝的探测原理和图像特征。检测桥梁板底的裂缝有探地雷达发射器通过发射天线发射电磁波, 依次经过桥面板铺装层、混凝土层、桥梁主梁最后到达桥梁底板, 电磁波经过各不同介质进行吸收减弱, 最后再

有桥梁底板发射由接收天线进行接收, 由裂缝的探测雷达图像特征进行分析, 对于不同裂缝会有不同的散射波振幅, 经过实验发现, 当裂缝的宽度小于视波长的一半时, 两者呈现出的是线性关系, 当裂缝宽度与一个视波长近视相等时, 散射波振幅出现最大值^[18], 当裂缝宽大过大时, 散射波振幅将不受裂缝的变化而变化, 失去了比对作用, 得出的结论也将是不要可靠的。

5 结论

本文运用理论分析了雷达对桥梁板底裂缝的检测, 得出了以下结论: 首先, 探地雷达在桥梁检测方面的发展, 对于新旧桥的健康监测和缺陷检测做出了贡献, 使之前不可能完成的任务或者是可以完成但达不到理想效果的任务变得可以实现并且完美, 使危险性高的任务变得不再危险。其次, 桥梁结构有不同的介质组成, 每一组介质对雷达发射的电磁波均有或多或少的影响, 我们在使用探地雷达进行检测是要综合考虑这些因素所带来的影响, 确保所测得结果的可靠性。最后, 利用探地雷达对桥梁裂缝的检测主要运用了裂缝的不同宽度对探地雷达波场特征的影响, 在一定范围内波的振幅会随着裂缝宽度的增大变得更大, 当裂缝宽度与视波长相当时, 振幅将出现峰值, 裂缝的宽度、长度、深度和所在桥梁底板的位置可有探地雷达固定的位置和所接收的数据波场特性综合进行确定。

References (参考文献)

- [1] Ding Lufei, Ruan Fulu, Chen Jianchun. Radar Theory (5th Edition)[M]. Publishing House of Electronics Industry, 2013
- [2] 丁鹭飞, 耿富录, 陈建春. 雷达原理 (第 5 版) [M]. 电子工业出版社, 2013
- [3] Pan Haijie, Huang Fuwei. Application of Ground Penetrating Radar in Positioning Detection of Bridge Prestressed Pipelines[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2012
- [4] 潘海结, 黄福伟. 探地雷达在桥梁预应力管道定位检测中的应用[J]. 华东交通大学学报, 2012
- [5] David J. Daniels. Surface-penetrating Radar[C]. Electronics & Communication Engineering Journal, 1996
- [6] D. J. Daniels, D. J. Gunton and H. E. Scott. Introduction to Subsurface Radar[C], 1988
- [7] Zeng Zhaofa, Liu Sixin, Wang Zhejiang, Xue Jian. Ground Penetrating Radar Method and Its Application [M]. Science Press, 2006, 6
- [8] 曾昭发, 刘四新, 王者江, 薛建. 探地雷达方法原理及应用 [M]. 科学出版社, 2006, 6
- [9] Jia Hailiang. Design and Implementation of Impact Pulse Ground Penetrating Radar System[D]. Shenyang Aerospace University, 2012
- [10] 贾海亮. 冲击脉冲探地雷达系统的设计与实现[D]. 沈阳航空

- 航天大学, 2012
- [11] Sha Weifu. Application of High Frequency Geological Radar in Bridge Inspection[J]. Engineering and Construction, 2013
- [12] 沙卫福. 高频地质雷达在桥梁检测中的应用研究[J]. 工程与建设, 2013
- [13] Liang Fuhui. Preliminary research on pavement radar detection technology[J]. Traffic Standardization, 2012
- [14] 梁富会. 路面雷达检测技术初步研究[J]. 交通标准化, 2012
- [15] Wu Xinxuan. Nondestructive testing technology manual for concrete [M]. Beijing: China Communications Press, 2003
- [16] 吴新轩. 混凝土无损检测技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003
- [17] Joel, Liu Jianxin. Theory and Application of Ground Penetrating Radar[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010
- [18] 乔尔, 柳建新. 探地雷达理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010
- [19] Zheng Jianying. Application of Ground Penetrating Radar in Highway Subgrade and Pavement Inspection[J]. Traffic World, 2015
- [20] 郑建颖. 探地雷达在公路路基路面检测中的应用[J]. 交通世界, 2015
- [21] Chai Jianghui. Application of Ground Penetrating Radar in Highway and Bridge Inspection[J]. Traffic World, 2012
- [22] 柴江辉. 探地雷达在公路、桥梁检测中的应用[J]. 交通世界, 2012
- [23] Li Daxing. Method and Application of Ground Penetrating Radar[M]. Beijing: Science Press, 2006
- [24] 李大兴. 探地雷达的方法与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [25] LI Xiuzhong, LU Chengming, LI Botao. The nonde-structive testing method for hidden cracks in highway pavement [J]. Highway, 2005
- [26] Liu Jiangping, Chen Chao, Xu Shunfang. The Wave Field Characteristics and Examples of Vertical Cracks[J]. Journal of Engineering Geophysics, 2004
- [27] 刘江平, 陈超, 许顺芳. 垂直裂缝的波场特征及实例[J]. 工程地球物理学报, 2004
- [28] LIU J, XIA J, LUO Y. Wave field features of shallow vertical discontinuity and their application in non-destructive detection [J]. Journal of Applied Geophysics, 2007
- [29] Wang Guoqun. Characteristics of Ground-penetrating Radar Images of Different Causes of Ground Fracture[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009
- [30] 王国群. 不同成因地裂缝探地雷达图像特征[J]. 物探与化探, 2009
- [31] Guo Shili, Zhu Peimin, Shi Xinghua et al. Comparative analysis of the effect of crack width on bottom radar radar wave field. Journal of China Radio Wave Science, 2013
- [32] 郭士礼, 朱培民, 施兴华等. 裂缝宽度对探地雷达波场影响的对比分析. 电波科学学报, 2013