

# 探地雷达技术在路面厚度检测中的应用

何博

河南中平交科研究设计院有限公司, 河南平顶山 467000

**摘要：**我国在全球范围内是基础设施建设增长最迅速的国家，伴随着科技的持续发展，众多创新的勘察技术开始被融入到基础设施的建设过程中。探地雷达技术是其中具有代表性的一种，自这项技术从军工行业进入勘测领域以来，就以其功能性强，准确性高等优势活跃于地质探测，土木工程检测领域。这一技术最为显著的特点是在实践中能准确、直观，迅速地获取信息，并能实现非接触性的连续测量。本文对探地雷达技术在路面厚度检测中的应用进行了分析。

**关键词：**探地雷达技术；路面；厚度检测；应用

**中图分类号：** TN957.51

**文献标识码：** A

**文章编码：** 2023010190

## Application of Ground Penetrating Radar Technology in Road Thickness Detection

He Bo

Henan Zhongping Jiaotong Research and Design Institute Co., Ltd., Pingdingshan, Henan 467000

**Abstract：** China is the country with the fastest growth in infrastructure construction worldwide. With the continuous development of technology, numerous innovative survey technologies have begun to be integrated into the process of infrastructure construction. Ground penetrating radar technology is one of the representative technologies. Since its entry into the survey field from the military industry, it has been active in geological exploration and civil engineering testing due to its strong functionality and high accuracy advantages. The most significant feature of this technology is its ability to accurately, intuitively, and quickly obtain information in practice, and to achieve non-contact continuous measurement. This article analyzes the application of ground penetrating radar technology in road thickness detection.

**Key words：** ground penetrating radar technology; road surface; thickness testing; application

### 一、探地雷达的分类

探地雷达分类探地雷达有两种，一种在频率域，另一种在时间域。频率域探地雷达，也被称作连续波雷达，它主要是基于电磁波在地下介质中不同频率的传播特点来进行探测的。这类雷达系统一般都是利用频率比较低的电磁波，可以深入到地下更深处，适合探测更大面积、更深程度的地质结构。以公路建设为例，利用频率域探地雷达可对路基深层结构进行探测，从而为路面设计与建设提供重要基础。相比较而言，时间域探地雷达是利用脉冲电磁波对地下介质的反射与散射特性来实现检测。该雷达系统利用了频率更高、分辨率更高、精度更好、能更加精确识别地下介质变化及异常情况等电磁波。所以时间域探地雷达探测路面厚度有着广阔的前景。比如利用时间域探地雷达进行测量就能准确得到路面厚度资料，从而对路面养护与维修提供确切依据。值得强调的是，探地雷达的种类不只是在频率域和时间域内，它还涵盖了其他众多种类，例如多频探地雷达和三维探地雷达等。这几种不同型号探地雷达各具特点与优点，可针对特定应用场景与需要加以选用与应用。比如在探测城市地下空间的复杂情况下，为了获得更加全面的地质信息，三维探地雷达可能会被应用其中。

### 二、探地雷达的组成

探地雷达构成是核心技术基础，它决定着探测路面厚度的性能与结果。通常探地雷达包括发射天线，接收天线，信号处理器及记录器等几个部分。发射天线承担着将高频电磁波辐射到地下的任务，电磁波在地下介质内传播时会受介质电性参数影响产生反射，折射以及散射。接收天线的主要职责是捕获这些反射回来的电磁波信号，而信号处理器则负责对这些接收到的信号进行深入的处理和分析，以提取与地下介质相关的关键信息。最后记录器通过图像或者数据等方式记录被处理信号以便后续进行分析与判读。以某市道路检测为例，探地雷达各部件对路面厚度检测起到至关重要作用。本课题所选探地雷达设备性能较高，发射天线为宽带技术，可发射较宽频率范围的高频电磁波。接收天线则采用了多道接收技术，能够同时接收多个反射信号，提高了数据的采集效率和质量。信号处理器运用了尖端的数字信号处理技术，对接收到的信号进行了一系列的处理，包括滤波、增强和识别等，从而有效地提取了地下介质的信息。最后由记录器以影像方式记录被处理信号，清楚显示路面各层厚度及分布。探地雷达构成不但决定着它对路面厚度探测的性能与效果，而且影响着它实

际使用时操作便捷性与成本效益。所以在探地雷达设备的选型上，必须考虑到设备各部件的性能，稳定性以及成本，才能保证设备对路面厚度检测能起到最好的作用。

### 三、探地雷达工作原理

探地雷达是根据电磁波传播与反射特性而建立起来。当探地雷达释放的高频电磁波碰到地下的各种介质界面，例如路面与基层的交界处，电磁波可能会产生反射现象。这些反射波在雷达接收器的捕捉和记录下构成雷达图像。对雷达图像进行分析，可得到地下介质分布，厚度及属性的信息。在实践中，探地雷达技术可以通过选取适当的天线设施，参数设置以及测线布置等措施来达到准确测量路面厚度目的。如调节雷达频率与功率可使探测深度与分辨率达到最佳。同时通过设置若干条测线可得到较为完整的路面厚度资料。除此之外，探地雷达技术还能与其他数据处理和分析手段，例如滤波、反演和成像技术，相结合，以进一步提升测量的准确性和可靠性。探地雷达技术用于路面厚度检测有显著优点。探地雷达技术与钻芯取样，超声波检测等常规手段相比较，具有非破坏性，高效率，高精度的特点。既能迅速获得路面厚度的信息，又能实现路面结构的持续监测与评价。另外探地雷达技术能够提供大量路面结构信息对路面养护与修复提供强有力的支撑。

### 四、路面厚度检测的意义与价值

路面厚度检测对交通基础设施养护和管理起着关键作用。随着城市化进程加快，交通流量越来越大，路面承载压力越来越大，路面破坏老化现象越来越突出。所以对路面厚度进行精确而有效的检测对保障道路安全，延长道路使用寿命和减少维护成本都有着十分重要的作用。对路面厚度进行精确检测，直接影响道路安全与稳定。路面太薄会造成路面破损，开裂和坑洼，加大交通事故发生的机率。定期对路面厚度进行检测，能够及时发现可能存在的隐患，采取适当的养护措施保证路面安全行驶。另外路面厚度检测对控制道路维护成本至关重要。路面维护成本通常与其使用寿命息息相关。通过对路面厚度进行科学准确地检测，能够制定出合理的养护计划，避免浪费及过度养护的不必要，进而有效地减少养护成本。

### 五、探地雷达技术在路面厚度检测中的应用

#### （一）选择合适天线设施

探地雷达技术用于路面厚度检测时，选用适当的天线设施非常关键。天线是探地雷达系统中最核心的组成部分，天线性能的好坏直接影响雷达信号发射与接收的效果，从而决定着路面厚度探测的精度与可靠性。所以在天线设施的选型上需考虑很多因素。一是天线频率是个至关重要的因素。不同频率天线穿透地下介质能力存在差异，高频天线穿透能力更强，但是分辨率更低；

且低频天线分辨率高，但是穿透能力弱。所以在挑选天线时需结合实际路面材料及厚度来选择合适频率才能使穿透能力与分辨率达到最优。二是天线大小与形状同样要考虑。天线大小决定着它的波束宽度及指向性，外形影响着它的辐射模式及接收效率。针对路面厚度检测，一般要求选用波束宽度窄、指向性好的天线来提高雷达信号聚焦能力及分辨率。三是天线的极化模式也被视为一个关键的考量点。极化方式决定天线对电磁波的发收模式，针对一些具体地下介质选择适当的极化方式能显著改善雷达信号反射强度及信噪比以提高探测精度。

#### （二）参数的设置

探地雷达技术用于路面厚度检测中，其参数设定是保证测量准确可靠的关键环节。其中有但不限于雷达频率，发射功率，接收增益和采样率。适当的参数设置可以将信号衰减与干扰降到最低，增强雷达信号穿透能力与分辨率。以雷达频率为例，高频雷达分辨率较高，能对路面各层结构进行较为准确的识别，但是穿透能力比较弱，对较细的路面结构比较合适。而低频雷达尽管分辨率不高，但是其强大的穿透能力使其更加适合较厚路面结构的设计。所以在雷达频率的选取上，必须考虑路面结构，材料特性和检测需求。雷达信号的强度和灵敏度直接受到发射功率和接收增益设置的影响。发射功率太高会造成信号失真或者对周围环境造成干扰，发射功率太低会使信号强度不够。接收增益设定则需根据环境噪声及信号强度自适应调节，才能保证雷达系统准确捕获有用信号。此外，采样率的设置也是参数设置中的重要一环。采样率的高低决定着雷达系统每秒钟所采集到的数据点数的多少，采样率越高，得到的数据就越多，但是同时也提高了数据处理与分析的复杂性。所以在采样率的选取上，有必要对数据质量与处理效率进行取舍。

#### （三）测线的布置

一是测线布置要考虑到路面结构特点及材料性质。不同路面材料与结构对于雷达信号反射与衰减的程度是不一样的，所以有必要针对具体路面情况来选择适当的测线排列。如对于沥青路面来说，因沥青层强烈反射雷达信号，可适当加大测线密度来提高测量精度。但对水泥混凝土路面而言，因信号衰减大，可能要使用较长测线来保证信号穿透深度。二是测线布置要考虑环境因素及干扰源。实际测量时，道路上障碍物，车辆和行人会对雷达信号造成干扰，影响测量结果精度。所以在布设测线时应尽量避免这些干扰源的干扰，并选择比较安静的地段测线。与此同时，也要考虑到天气情况对雷达信号造成的影响，例如雨雪和雾霾等不良天气会造成信号衰减或者失真，因此需在天气情况比较好的时间段内进行实测。另外，测线布置需考虑特定测量目标与要求。比如在路面厚度检测中，有可能要注意路面总体厚度分布，局部薄弱区域。对于这些不同测量目标可采取不同测线布置策略。若对总体厚度分布进行探测时，可使用等间距排列测线；并对检测出局部薄弱区域，要求对这些区域进行测线加密处理，提高测量精度。

#### （四）系统误差分析

探地雷达技术检测路面厚度中，系统误差分析对保证测量精

度与可靠性至关重要。系统误差可产生于很多方面，主要有装置自身性能，测量环境干扰和数据处理方法限制。要精确地评价这些错误，就必须使用一系列分析方法与手段。一是对设备性能所造成的错误，可通过定期校准与保养加以降低。比如探地雷达天线测量结果的准确性与稳定性就有直接的影响。据有关研究表明天线不稳定会使测量误差达几厘米。所以选用优质天线和定期校准是保证测量精度的重点。二是测量环境中的扰动也是一个不容忽视的影响因素。如路面材料非均匀性和地下水位变化均会干扰探地雷达信号，影响测量结果精度。要想减少这些扰动，可先将路面预处理后再进行测量，比如清除杂物和平整路面。另外，多频率多角度测量方法也可应用于测量中，以提高测量结果可靠性。在数据处理中，可采用先进信号处理技术降低误差。如通过滤波和去噪来改善信号质量；并且利用反演算法能够较精确地反演路面厚度信息。另外，在人工智能技术不断发展的背景下，也可通过机器学习等技术实现测量数据的后期处理，从而进一步提升测量精度与可靠性。

### （五）精度分析

精度分析对探地雷达技术用于路面厚度检测起到关键作用。不仅可以对测量结果进行精度评估，而且可以为后续数据处理及结果分析等工作提供重要基础。精度分析在实践中一般有系统误差分析，随机误差分析和综合误差分析几个方面。系统误差主要来自探地雷达设备自身性能限制及测量时操作误差。要想降低系统误差就必须选用性能稳定且精度更高的探地雷达设备和对操作人员开展专业培训以保证测量时操作规范。另外，可采用多次测量取平均值等措施降低系统误差。随机误差是多种随机因素导致的，例如地面材料的不均匀性、电磁波传播过程中的干扰等。为减小随机误差可通过增加测量次数和优化数据处理方法来实现。比如可利用滤波技术预处理原始数据来去除干扰信号和提高信噪比。综合误差分析是一种综合考虑系统误差和随机误差的方法，目的是为了全面评估探地雷达技术在路面厚度检测方面的整体准确性。对其进行综合误差分析可了解测量结果是否稳定可靠，并可作为后续决策与应用的重要基础。

### （六）可靠性分析

将探地雷达技术应用于路面厚度检测时，其可靠性分析是非常关键的环节。可靠性分析不但关系着测量结果是否准确，而且直接影响着工程的安全与质量。我们在实践中运用各种手段保证探地雷达技术可靠。一是选用优质探地雷达装备及天线设施以保

证装备运行的稳定性与可靠性。同时，我们根据路面材料的特性和厚度范围，合理设置了探地雷达的工作参数，如频率、发射功率等，以获取最佳的测量效果。在测线布设上，充分考虑路面结构特点及环境因素，对测线进行合理布局，保证测量数据全面准确。另外我们对系统的误差也做了深入的分析，并通过校准与校正进一步增强测量结果可靠性。为检验探地雷达技术是否可靠，我们又和传统的路面厚度检测方法做了比较试验。试验结果表明：探地雷达技术对路面厚度检测的准确性及可靠性都已达到很高的水平，比传统方法有明显的优越性。除此之外，我们还运用了多样化的数据处理和分析手段，包括但不限于滤波和反演，以对探地雷达测量得出的数据进行更为深入的分析和处理。这些技术在提高资料信噪比与分辨率的同时，也使测量结果可靠性与准确性得到进一步的改善。

### （七）探地雷达测量后的数据处理和结果分析

探地雷达测后数据处理，是保证成果准确可靠的关键环节。进行路面厚度检测时，通过探地雷达获取的数据要通过滤波，去噪和信号增强等一系列处理环节才能提取有效反射信号。这些反射信号承载了路面结构相关信息，借助专业分析软件能够精确测量路面厚度。如通过比较不同深度反射信号强度及时间延迟等参数，可构造路面三维结构图像以直观认识路面厚度分布情况。结果分析为探地雷达技术用于路面厚度检测的最后一步。对所处理数据的统计与分析可评价路面总体厚度状况并找出可能出现的路面问题。比如对不同道路段路面厚度资料进行比较，就能确定路面薄弱区域的位置，从而为以后的养护与修复提供了重要的依据。另外，长期监测与数据分析可对路面使用寿命及养护周期进行预测，从而为道路管理部门决策支持。

## 六、结束语

总之，雷达检测技术的使用范围较广，对新型路桥的建设具有良好的使用效果。研究雷达检测技术在路桥检测当中的具体运用，帮助相关工作人员将超声波以及声波发射运用到路桥当中，对于路桥当中出现的施工准备缺陷以及施工控制不到位的情况进行有效的鉴别，以此来完善后期的检修工作，并做好充分的准备工作以及控制工作。所以，相关工作人员应增强对雷达技术应用情况的预判力度，营造数字化分析的良好环境，促进技术应用水平。

## 参考文献：

- [1] 郭士礼, 许磊, 李修忠. 探地雷达在公路路面变形沉降检测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2018, 33(03): 1213-1217.
- [2] 胡叶婷. 地质雷达在公路路面无损检测中的应用探讨[J]. 建材与装饰, 2017(28): 249-250.
- [3] 郭志伟. 探地雷达在某公路面层厚度检测中的应用[J]. 城市勘测, 2017(03): 171-173+176.
- [4] 李冷雪. 地质雷达在公路路面厚度检测中的应用[J]. 交通世界, 2016(11): 26-27.
- [5] 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(建养·机械), 2015(08): 86-88.