

探地雷达在公路检测中的应用

孙 军¹, 应后强¹, 王国群²

(1. 南京市公路建设处 南京市 210008; 2. 江苏省工程物理勘察院 南京市 210008)

摘 要: 有效、无损、快捷、简便为公路检测技术的发展方向。当前国内外先进的超浅层勘测技术——探地雷达检测, 以其无损、快捷以及超浅层高分辨率的优势被迅速应用于公路检测。文中主要论述了探地雷达在路面面层厚度检测、路基病害调查、公路维修质量检测、公路裂缝调查 4 个方面的应用。

关键词: 公路; 检测; 探地雷达

探地雷达勘察方法以其非破坏性探测、抗干扰性强、分辨率高、操作方便等优势, 在较短的时间内被迅速推广应用于国内外公路质量检测中。我国自 20 世纪 90 年代引进探地雷达系统开展在道路、隧道、堤坝、灾害地质调查等方面的应用研究工作, 取得了良好的社会效益和经济效益。

探地雷达检测方法与其它地球物理勘察方法相比具有独特的优势, 就是超浅层勘察, 它甚至可以划分出 10 余 cm 厚公路面层内部的亚层, 这是当前其它无损检测方法难以实现的。

1 方法技术

1.1 探地雷达检测原理

探地雷达是将高频电磁波(主频为数 10 至数千兆赫)以宽频带短脉冲形式, 由地面发射天线(T)送入地下, 被地下介质界面反射至地面, 由另一天线(R)接收(如图 1)。多层介质中的反射波系为多次反射波, 其基本原理类似于光学中的折射与反射(见图 2)。

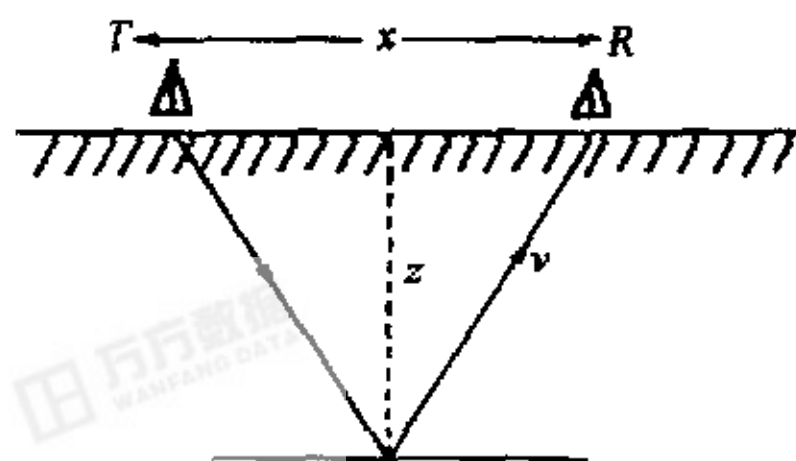


图 1 反射探测原理

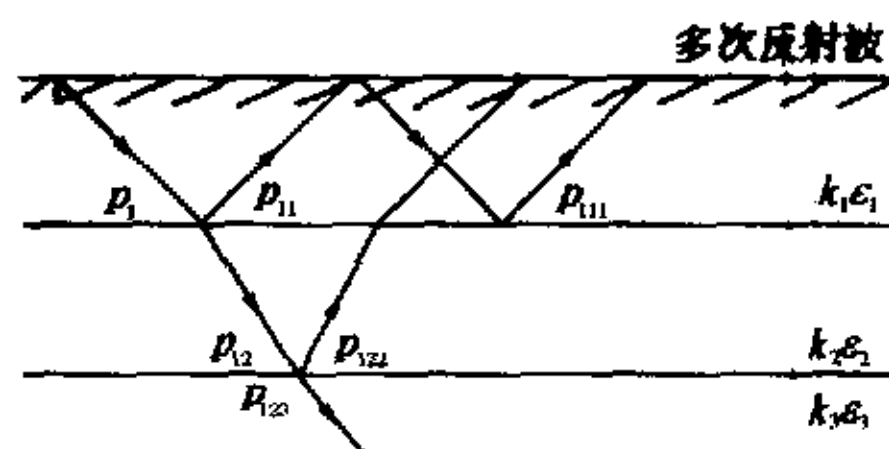


图 2 多层介质中反射波系

探地雷达发射天线与接收天线之间的距离很小, 甚至可合二为一。在公路面层检测时, 不同介质的界面倾角甚小, 反射波的全部路径几乎垂直于地面。因此, 在测线的不同位置上, 电磁波通过介质的双程走时的变化就反映了检测目的层厚度的变化。

1.2 天线频率的选择

通常情况下, 简易路面厚度为 10~20 cm、高等级公路路面厚度为 20~30 cm、机场跑道面层厚度为 40 cm。在检测中需根据检测目标界面的埋深, 选择合理的天线中心频率, 方可取得最佳效果。天线中心频率的选择要兼顾目标深度、目标最小尺寸以及天线尺寸是否符合场地需要。在满足分辨率且场地条件许可的情况下, 应尽量选择中心频率低的天线。

图 3 是为了解某高速公路一路段路面下 1 m 以内各层变化时所进行的不同频率发射天线的对比试验。通过对比发现在该路段 < 40 cm 的情况应选择大于 900 MHz 的天线, > 40 cm 的介质变化情况需选择小于 500 MHz 的天线。

一般情况下, 天线中心频率的选定可采用以下公式。当空间分辨率为 $x(m)$, 介质相对介电常数为

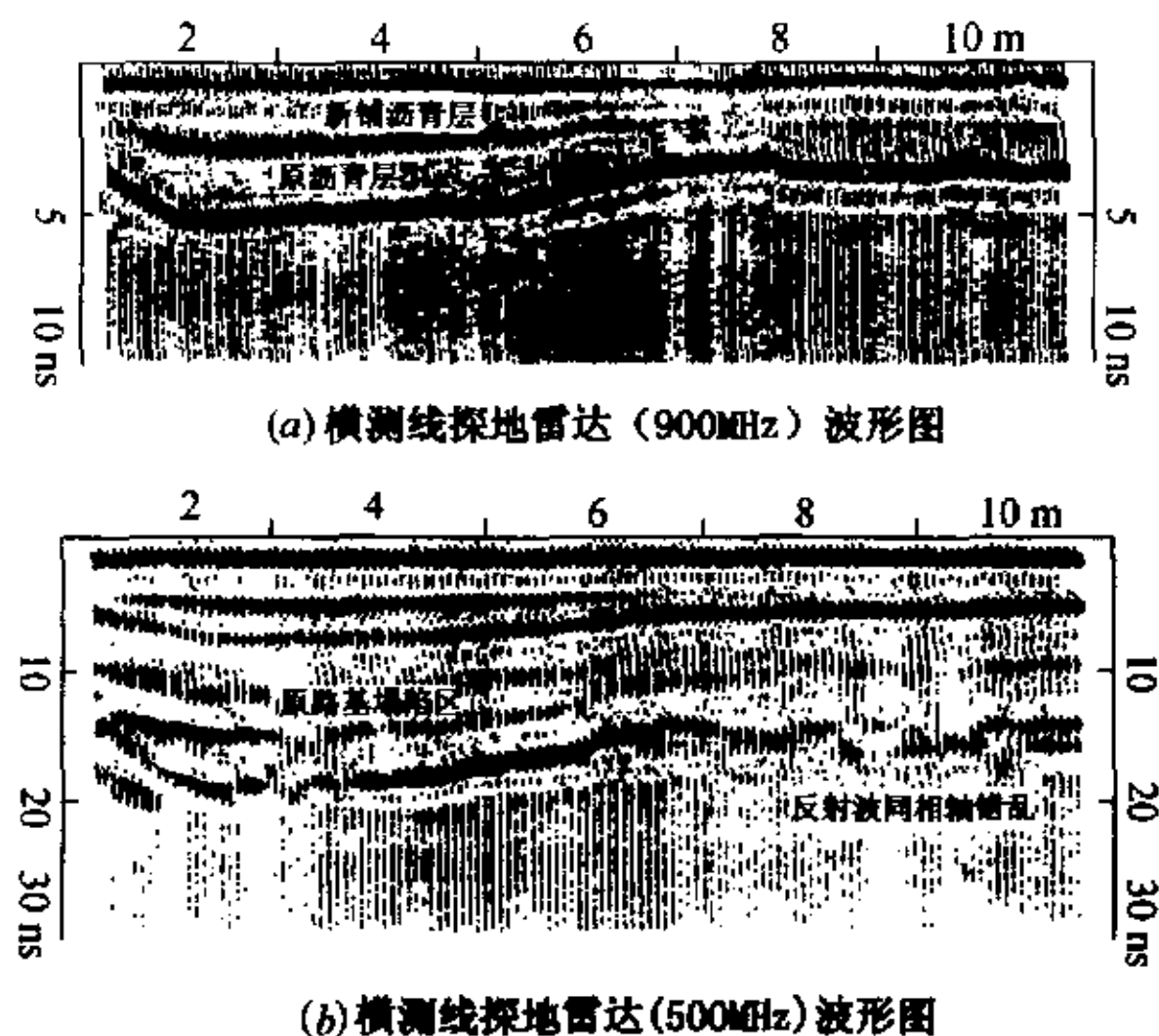


图3 不同中心频率天线检测对比试验

ϵ 时, 选择天线中心频率为 $f = \frac{150}{x \sqrt{\epsilon}}$ (MHz)。

2 路面层厚度检测

某公路为新建填方路基公路, 各层结构清楚。面层与二灰结石的介电常数和电阻率差异明显, 且无工业游散电流等对探地雷达检测可能产生干扰信号的干扰场源。试验结果表明, 各层位间的界面在 SIR-2 型探地雷达显示屏上反映清晰。由于新建公路表面平整, 发射、接收系统与路面接触部分耦合良好, 具备探地雷达检测地球物理前提。

该检测项目的沥青面层尚未铺设, 主要目的是检测沥青路面层(上、下层)厚度。电磁波在沥青层的传播速度由道路边缘出露部分的厚度与实测资料对比统计得来, $V = 14.8 \text{ cm/ns}$ 。检测后与抽芯取样标本实际量测厚度对比精度良好, 误差小于 1 cm, 符合有关规范要求。

在当地电条件良好的情况下, 应用 SIR-2 型探地雷达及其配套的 900 MHz 天线, 可以探明沥青路面上层与下层之间的界面(见图 4)。这主要是因为上层、下层的施工工艺有所区别, 且当两次沥青层铺设有一定时间间隔时, 会有少量尘埃落入。

3 路基病害调查

公路病害的种类较多, 但大致可分为两大类: 一类是面层病害, 主要指面层裂隙、面层脱空、面层凹陷; 另一类是基础病害, 包括面层二灰结石层、路基层、路床以及路床下基础软弱所导致的病害, 后者危

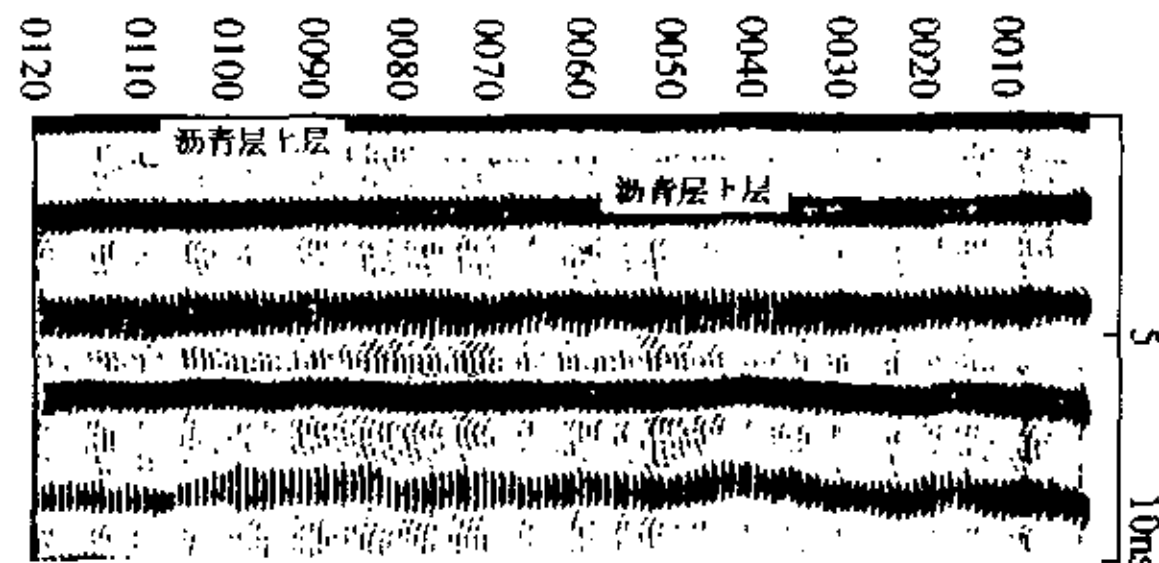


图4 良好地电条件下路面厚度检测结果

害更大。公路路基往往由于地基土软弱、承载力不足、压实度达不到要求等原因, 而使路基产生过度沉降, 或形成空洞、暗穴、甚至产生滑坍现象。路基病害与路面病害往往相互作用、相互影响。在公路病害调查中, 查明“病因”更为重要, 只有“对因治疗”, 方能根治病害。

某路段曾因基础软弱, 路面发生凹陷, 逐步酿成塌陷(如图 5), 如不通过检测手段查清病因, 仅仅修复路面层, 不能彻底根治病害。尽管当前公路检测手段很多, 而探地雷达浅层高分辨与检测图像连续的特点, 在公路检测中具有独特的优势。



图5 某路段基础塌陷影像图

在公路病害检测中, 检测工作者应重点查清软弱层位与部位、分析软弱层位与上下层的关系, 以及软弱部位对该层及周围的影响。只有找出病因, 查出“扩散范围”, 方能提出有效的治理方案。

4 公路维修质量检测

公路维修质量如何, 关键看造成病害的病因是否彻底被根治。探地雷达检测不失为一种有效的质检方法, 图 3(b) 是 1997 年 7 月某高速公路一段维修后的检测结果, 从成果图中可以清楚地看出, 原“锅底”状塌陷区域的层界面波形应该连续不断, 而经过维修重新压实后, 原沥青面层由于沥青的韧性与加铺的沥青面层的界面变化相对平缓。而路基下方的石灰土底界面反射波同相轴变得错乱无序, 原有的路基塌陷时探地雷达应显示的连续反射波同相轴已不复存在。检测结果认为维修质量良好, 至今此路段尚未出现质量问题。

2001年度《公路》月刊广告征订

《公路》月刊于1956年创刊,由中华人民共和国交通部主管,是中国公路行业出版最早的中央级综合技术类科学技术期刊,是公路运输类核心期刊,是全国优秀科技期刊。

为做好2001年度《公路》杂志的后期广告计划,并及早着手设计和制作,请漏订的客户尽早安排,并与本刊联系,索要广告刊登须知及价目表。

为加强广告安排的计划性,本刊将按照收到征订合约的先后次序,安排广告刊出位置与时间的优先权。

广告是市场营销活动的重要环节,本刊作为广告媒体,将竭诚为您服务。愿我们携手合作,共创美好未来。

广告负责人:谢跃庆 广告部联系电话:010-65125565,65279988-1816

地址:北京东四前炒面胡同33号(100010) E-mail:advt@chn-highway.com

《公路》杂志社

5 公路裂缝调查

公路裂缝存在是公路老化的标志,多表现在路面层。规模虽小,但危害较大,裂缝形成了雨水渗入通道,渗入路面下的水会加速路基路面的破坏。应用于裂缝调查的天线中心频率一般要选择在1 000 MHz左右。

在裂缝调查中,当天线宽度和目标体规模大小一定时,连续测量方式选择合理的移动速度非常重要。SIR系统认为查清目标体应至少保证有20次扫描通过目标,于是最大移动速度 $V_{\max} < (\text{扫描率 } 20) \times (\text{天线宽度} + \text{目标大小})$ 。

从已经抽道处理的图6中可以看出,在与实地可见的桥头接缝处相对应的反射波同相轴明显错动、中断,显示异常;而在处于原路面基础沉降变化率相对较大的40 m处,反射波同相轴连续性相对较差,说明原公路存在微裂缝。

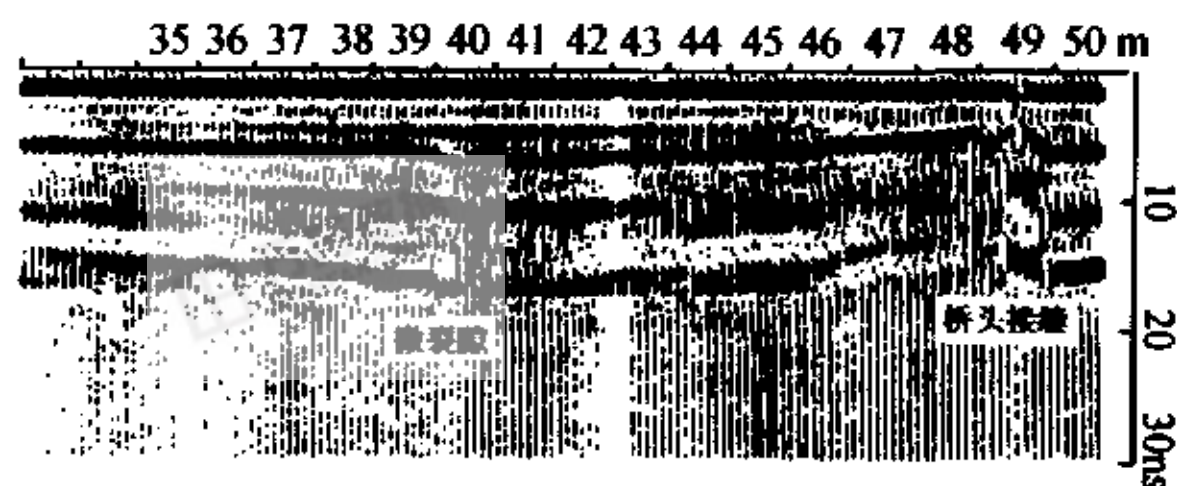


图6 裂缝波形特征

6 几点认识

6.1 探地雷达是一种新型的、先进的公路检测技术,在有条件的情况下,还应尽可能地与其它公路检测方法配合开展工作,加强与当前成熟的检测方法进行对比研究,以充分发挥各种方法的技术优势,共同促进公路检测水平的提高。

6.2 如同其它探测方法一样,探地雷达检测技术在实际应用中,应当根据检测目的等具体情况,选择合适的测量参数和适宜的工作方式,以增强探地雷达在公路检测中的有效性。

6.3 加快探地雷达检测数据分析的软件开发。一方面提高数据与图像处理的自动化水平,提高工作效率;另一方面使外业所采集的丰富信息,得以充分利用,提高探地雷达在公路检测中的应用的能力。

6.4 借鉴核子密度仪在公路密实度检测方面的经验,根据其它地球物理勘察方法,开展探地雷达检测在公路密实度检测方面的应用研究,逐步由定性步入半定量、甚至定量解释。减少公路有损测试,提高测试效率,充分发挥探地雷达测试连续性的优势,使密实度检测的数据采样更充分,更具有真实性。

参考文献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法与应用. 北京:地质出版社,1994.
- [2] 王国群. 探地雷达技术在公路工程检测中的应用. 江苏交通工程,1996(4).