

# 探地雷达在公路工程中的探测应用

牛宝茹

中煤航测遥感局遥感应用研究院 西安 710054

**摘要** 探地雷达作为一种高分辨率无损探测新技术,已广泛应用于工程勘察各领域,但在公路工程地质条件探测上还刚刚起步。本文通过探地雷达对松散地层、活动断裂、滑坡、软土等的探测,分析了它们的波谱特征,探讨了探地雷达在公路工程地质领域的应用前景。

**关键词:** 探地雷达 公路 工程地质

**作者简介:** 牛宝茹 男 高级工程师 1965 年生 1987 年毕业于河北建筑科技学院 从事遥感水文地质工程地质研究

探地雷达是近十年迅速发展起来的一种无损探测新技术,它具有探测速度快、定位准确、轻便灵活、可实现连续透视扫描以及二维彩色图像实时显示等优点,目前已在工程勘察、水利隐患探测、工程质量检测、地下管网探测以及考古等领域得到了广泛应用。目前在公路系统主要用于路面质量检测,对公路工程地质条件探测还刚刚起步。

## 1 探地雷达探测原理

探地雷达 (Ground Penetrating Radar, 简称 GPR), 是利用高频电磁波 (1~1000MHz) 以脉冲的形式发射电磁波,雷达波在地下介质中传播时,遇到存在电性差异的地下介质或目标体时,电磁波便发生反射,根据接收天线接收到回波的波形、强度、电性及几何形态进行处理、分析,从而达到对地下目标体的探测。

电磁脉冲反射信号的强度与界面的反射系数和穿透介质的波吸收程度有关,一般介质的电性差异大,则反射系数大,因而反射波的能量也大,这就是探地雷达探测的前提条件。

$$P_R = \left[ P_T G^2 \frac{R^2 S}{(4\pi)^3 H^4} \right] R S L e^{-4\alpha R}$$

式中  $P_T$ 、 $P_R$  为发射、接收功率,  $G$  为天线增益,  $R$ 、 $S$ 、 $H$  为地下目标体的反射率、散射面截面和深度,  $\alpha$  为土壤衰减率,  $L$  为雷达波从发射到接收过程的散射损耗,  $\lambda$  为介质中雷达波的波长。

从上式中可以看出,探地雷达接收到的信号的大小与天线频率、地层的衰减、目标体的深度和反射特征等均有关,在仪器性能和地下介质一定的情况下,探测深度取决于工作频率和地层的衰减系数。一般天线频率越高,则探测深度越浅,分辨率越高;天线频率越低,则探测深度越深,分辨率越低。

探地雷达资料的解释主要依据剖面的反射回波特征,特别是反射回波的同相轴变化以及回波的振幅,一般表现为层状(线性同相轴) 管线状(双曲线同相轴) 洞穴状(双曲线同相轴) 等异常特征。

## 2 松散地层探测

对于公路选线、工点勘察等需要查明线路、工点点位的工程地质条件,其中首要的是查明地层剖面的岩性情况。基岩山区由于基岩裸露容易观察判断,而平原地区则需在宏观分析的基础上,利用一定的探测手段进行松散地层岩性划分,探地雷达就是其中之一。

探地雷达探测地层首先考虑的是探测深度和分辨率。从理论上把电磁波穿越介质的波长的八分之一作为分辨率的极限,但考虑到干扰噪声等因素,一般把波长的四分之一作为分辨率的下限,即地物分辨率  $= \lambda/4 = v/4f$

--地物电磁波波长;  $v$ --电磁波在地下介质中的传播速度;  $f$ --天线中心频率。

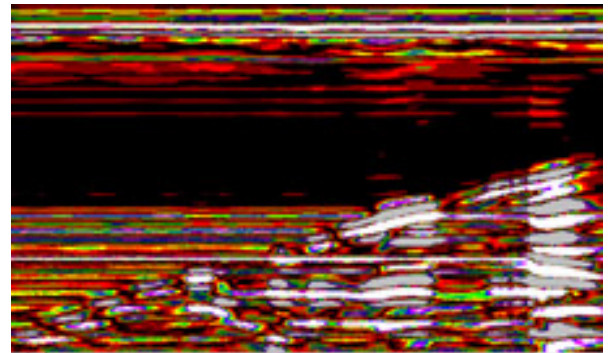
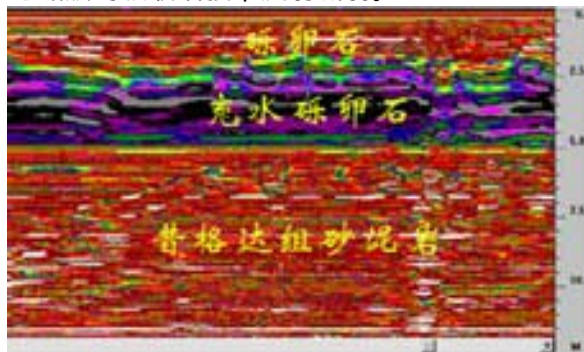
表 1 常见介质的相对介电常数与地层分辨率

介 质	相对介电常数( )	速度 $v$ (m/ns)	35 MHz 天线 分辨率(米)	100 MHz 天线 分辨率(米)	200 MHz 天线 分辨率(米)
水	81	0.033	0.24	0.08	0.01
干粘土	4	0.15	1.07	0.38	0.05
湿粘土	27	0.05	0.36	0.13	0.02
干 砂	4	0.15	1.07	0.38	0.05

湿 砂	6	0.12	0.86	0.30	0.04
饱和砂	25	0.07	0.50	0.18	0.02
干砂砾	5.5	0.13	0.93	0.33	0.04
湿砂砾	5	0.14	1	0.35	0.05
灰 岩	5.5	0.13	0.93	0.33	0.04
有机土	64	0.04	0.29	0.10	0.02

35 MHz 天线最大探测深度 40-50 米，100 MHz 天线最大探测深度 20-25 米，200 MHz 天线最大探测深度 10-12 米。对探测深度和分辨率进行综合分析认为，公路路基一般影响范围在 20 米以内，探测深度过大则分辨率降低，探测效果较差；采用高频天线虽然提高了分辨率，但探测深度太浅，容易漏掉深部异常信息。因此 100 MHz 天线最适合于公路工程地质条件探测，对发现的浅层异常可以结合 200 MHz 天线或其它高分辨率天线进行详细探测。

图版 1 是对四川安宁河大桥桥址进行探地雷达探测的结果，利用各类岩土体对电磁波的反射、吸收差异，可以清楚的划分出砾卵石、充水砾卵石和砂泥岩，其中砾卵石充水后对电磁波的吸收增强，反射减弱。



图版 1 松散地层探地雷达探测图像

图版 2 基岩面探地雷达

### 3 基岩面探测

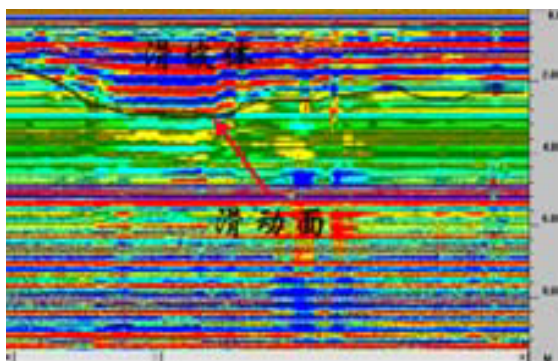
隧道进出口、大型桥梁等工点对地基的附加应力影响深，详细查明基岩面起伏对隧道口和桥梁位置的确定以及基础处理措施有重要意义。

松散土层多呈水平状，由于含水量多、有机质含量高对电磁波的反射相对低于基岩，在探地雷达图像上两者有明显差异（见图版 2），并可清楚的看到基岩面的起伏情况。通过野外实地观察周围基岩出露情况，确定该地基岩为灰岩，从探地雷达图像上还可以看到有一定的溶蚀现象。

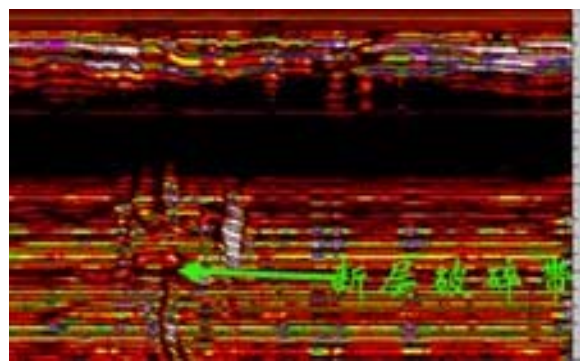
### 4 滑坡探测

滑坡是山区公路主要病害之一，规模大的滑坡一般缓慢的、长期的向下蠕滑，其位移速度多在突变阶段显著增大，常错断路基，使交通中断。

图版 3 是对某滑坡体进行探地雷达探测获得的图像。上部滑坡体由于滑动造成岩体破碎，裂隙发育，相对富水；而下部基岩则相对贫水。由于基岩面的坡度与滑坡地形坡度的一致性，造成滑坡体从上到下含水量的差异。在相同的岩性情况下，含水量越大，对电磁波的吸收越强，反射越弱，在探地雷达图像上表现为暗色调（Wiggle 显示为低振幅波）；含水量小则相反。利用滑坡体与母岩的电性差异解释探地雷达图像，确定滑坡体的厚度和宽度。



图版 3 滑坡体探地雷达图像



图版 4 断层破碎带探地雷达图像

## 5 活动断层探测

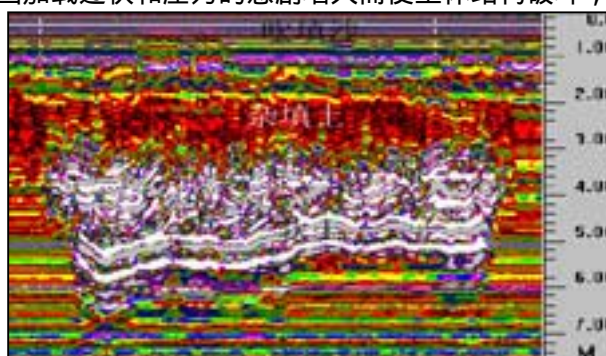
活动断层主要指新生代以来有过活动、工程期内还有可能继续活动的断层。活动断层的活动不仅直接破坏公路工程，而且常常是地震的发生地，影响范围非常大。因此查明活动断层的准确位置对于公路工程选线和隧道、桥梁位置的确定显得非常重要。

由于新生代以来形成的松散地层受到雨水的冲刷和人为的破坏，地表活动迹象很难找到。利用探地雷达进行探测，可以查明新生代地层的错动情况。图版 4 反映了松散层下断层破碎带的垂直裂缝发育情况，破碎带由于多呈松散状态与围岩形成鲜明的对比。

## 6 软土探测

软土是指天然含水量大、压缩性高、承载力低的一种软塑到流塑状态的粘性土。软土通常是指淤泥和淤泥质土，有机质含量 5~10%，天然含水量大于液限，天然孔隙比大于或等于 1.0。软土的透水性能很低，软土地基不易固结，压缩性大，在不排水剪切时的内摩擦角等于零，粘聚力一般小于 20kPa，往往因加载过快和压力的急剧增大而使土体结构破坏，导致基础下陷，因此是公路工程地质勘察的重点。

图版 5 是对长江岸边某地进行探地雷达探测所获得的图像。上部为砂土层，其下为杂填土，填土层混有不同粒径的碎石，造成同相轴不连续；下部的软土层由于受到填土的挤压，形成不规则强雷达反射波。软土层由于含水量高，有机质含量丰富，因而对电磁波的吸收较强，多呈细密波的



看到软土底部层状轮廓，分析认为由靠近湖泊的近于静水状态的古河道沉积形成。

探地雷达探测作为一种无损探测技术，由于不能直接观察地下物质，因而具有一定的局限性。对于探地雷达图像的解释要充分消化吸收各种常规资料，对探测工程地点进行仔细观察，并在实践中不断积累经验，只有如此，才能更好的解释探地雷达图像，使其最大限度的接近于实际情况。

## 参考文献

- 1 王兴泰主编 工程与环境物探新方法新技术 地质出版社 北京 1996
- 2 李大心 探地雷达方法与应用 地质出版社 北京 1994
- 3 谢广林著 中国活动断裂遥感信息分析 地震出版社 2000 年
- 4 牛宝茹 地质雷达在软土区探测中的应用 煤航技术研究 西北大学出版社 2002 年