

探地雷达病害检测的精度影响因素分析

章天杰¹, 李树伟¹

1. 交通学院, 东南大学, 江苏, 南京

简介:探地雷达作为一种无损检测方法, 在路面病害检测中已经得到越来越多的应用。但是由于路面内存在大量空隙, 而这些空隙如何影响病害的识别不得而知。该模拟主要解决使用探地雷达进行路面内病害检测时, 电磁波在随机空隙分布路面内的传播状况分析。模型在不同频率下对路面内脱空病害进行分析, 发现较低频率的电磁波不会受到随机空隙的影响, 同时文章对不同位置的病害检测的难易程度做了分析。



图 1. 探地雷达

计算方法:在研究中, 应用波动光学模块中的电磁波瞬态, 将整个模型置于波动方程中, 并对模型外边界采用散射边界条件, 其中上边界的散射边界条件给与入射电场以产生电磁波, 反射边界的公式如下:

$$\mu_0 \mathbf{n} \times \mathbf{H} + \frac{\mu_0}{Z_c} \mathbf{n} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{n}) - \frac{\gamma}{\mu_r} \mathbf{n} \times (\mathbf{A} \times \mathbf{n}) = \frac{\mu_0}{Z_c} \mathbf{n} \times (\mathbf{E}_0 \times (\mathbf{n} - \mathbf{k}_{dir})) - \frac{\gamma}{\mu_r} \mathbf{n} \times (\mathbf{A}_0 \times (\mathbf{n} - \mathbf{k}_{dir}))$$

$$E_0 = -\frac{\partial A_0}{\partial t} \quad Z_c = \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\epsilon_0 \epsilon_r}} \quad \gamma = \frac{\sigma Z_c}{2}$$

该模型只考虑单层结构, 采用18cm AC-13的结构。模型设置中, 首先用矩阵代替路段, 然后通过编程产生随机位置和随机大小的圆形, 使圆形分布在矩形内, 控制其总面积为一个具体可控值。将所有圆形统一到一个并集, 做差集将该并集从矩形中减去, 在图中心画圆代表其病害位置。

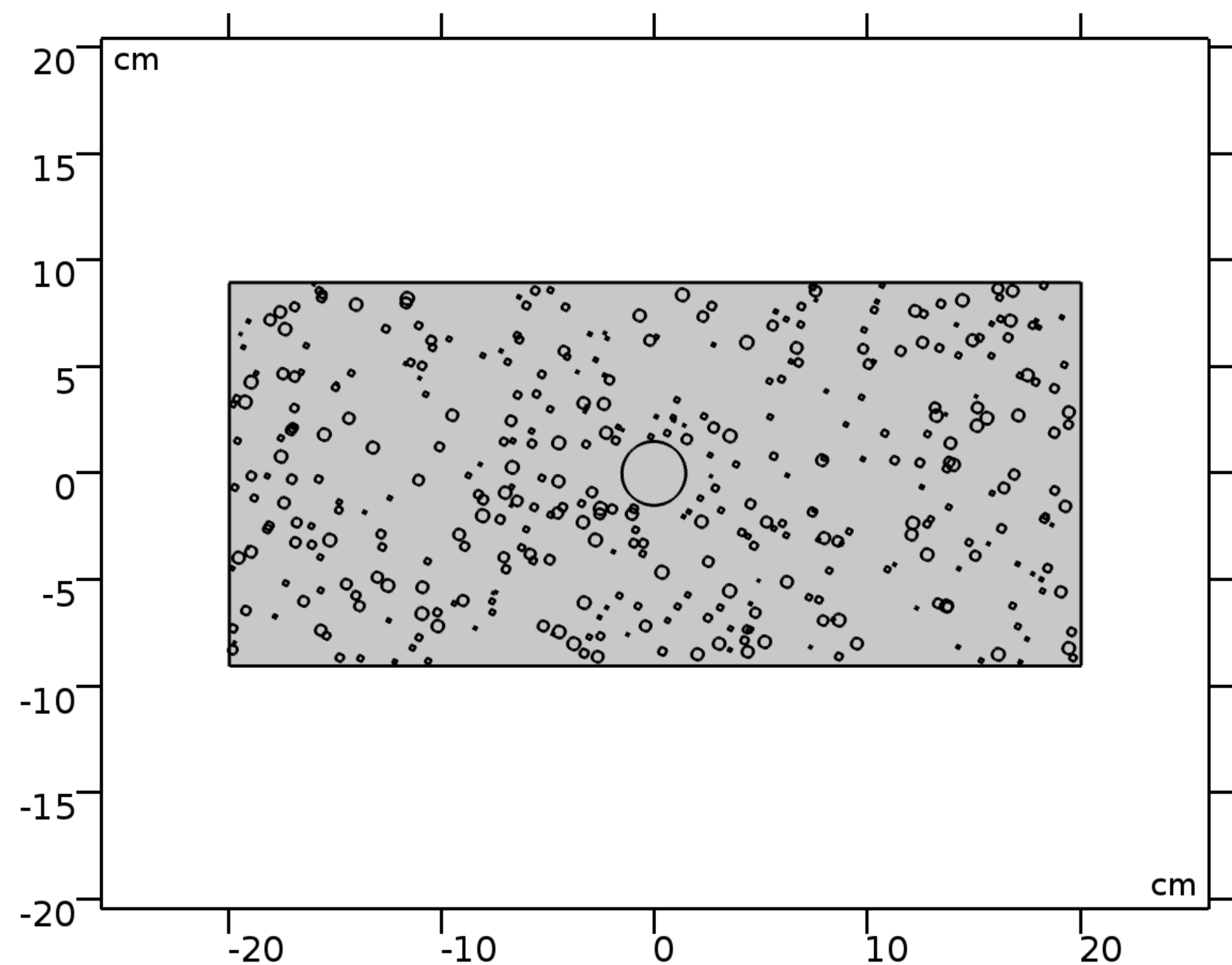


图 2. 路面单层模型

结果:在200MHz-1600MHz间以200MHz为间距, 总共在8各频率下对模型进行实验, 分析了不同频率下空隙对于电磁波传播的影响。电磁波频率设置为1600MHz, 使病害位于不同高度处, 设置三个探针的位置分别为probe1: (0, 0)、probe2: (0, 病害顶部)、probe3: (5, 病害顶部)用于提取各位置处的振幅数据以比较检测的难易程度。

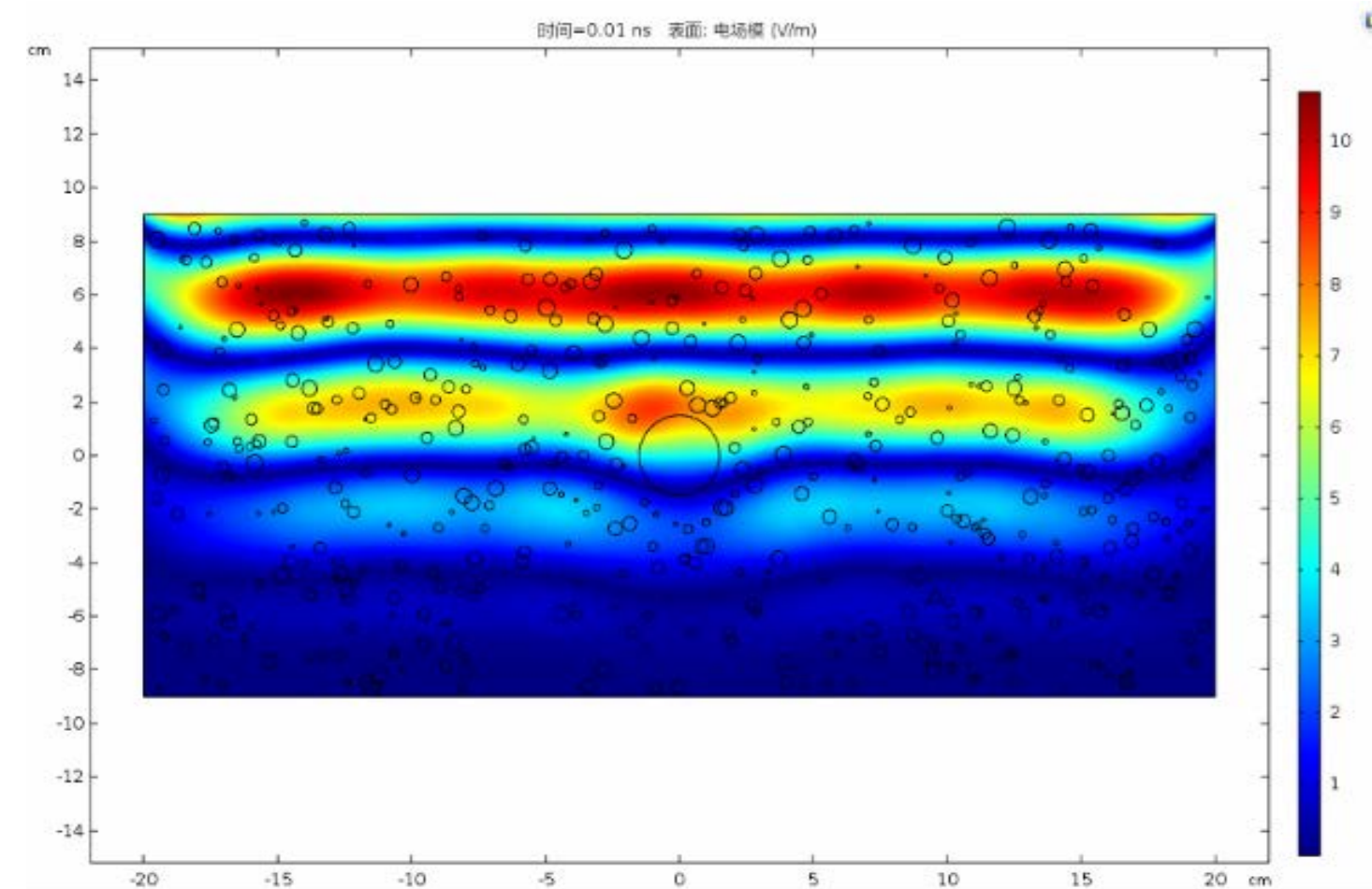


图 3. 1400MHz 下
1. 50ns时电磁波传播图

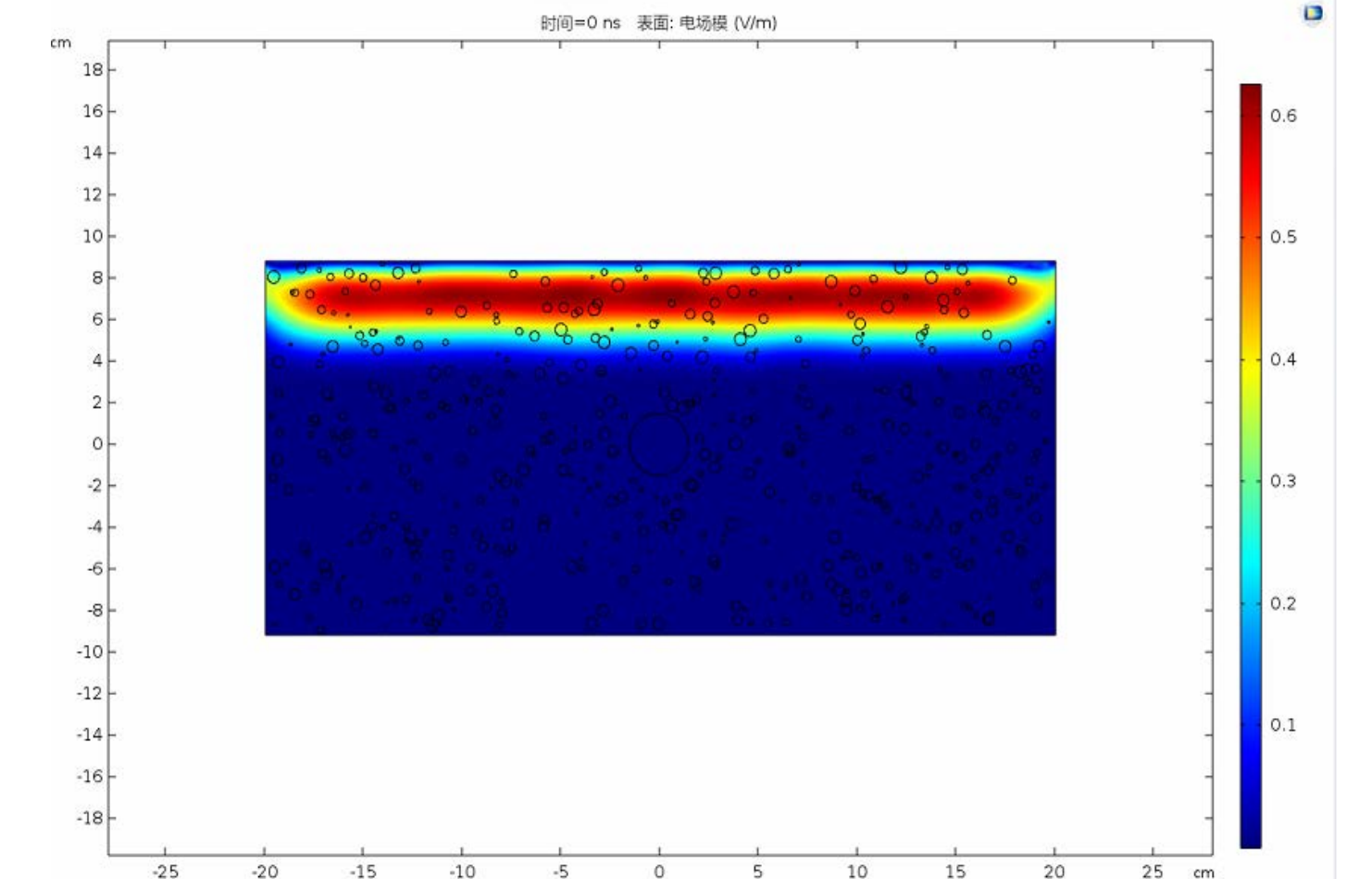


图 4. 1000MHz 下
0. 50ns时电磁波传播图

深度 (cm)	半径 (cm)	Probe 1	时间 (ns)	Probe 2	时间 (ns)	Probe 3	时间 (ns)	Probe 3 / Probe 2
2	0.5	9.725	0.007	9.2943	0.167	6.9789	0.167	0.75088
2	1	10.208	0.007	9.8842	0.121	6.948	0.121	0.70294
2	1.5	10.233	0.005	10.147	0.065	6.781	0.065	0.668276
7	0.5	9.5187	0.012	8.4482	0.615	7.9084	0.615	0.936105
7	1	9.5068	0.012	9.7494	0.556	7.3462	0.556	0.753503
7	1.5	9.4966	0.012	9.9043	0.531	7.6084	0.531	0.768192
14	0.5	9.552	0.013	8.4175	1.179	7.4649	1.179	0.886831
14	1	9.552	0.013	9.038	1.13	7.1703	1.13	0.79335
14	1.5	9.552	0.013	9.5927	1.105	6.8816	1.105	0.717379

表 1. 探针数值表

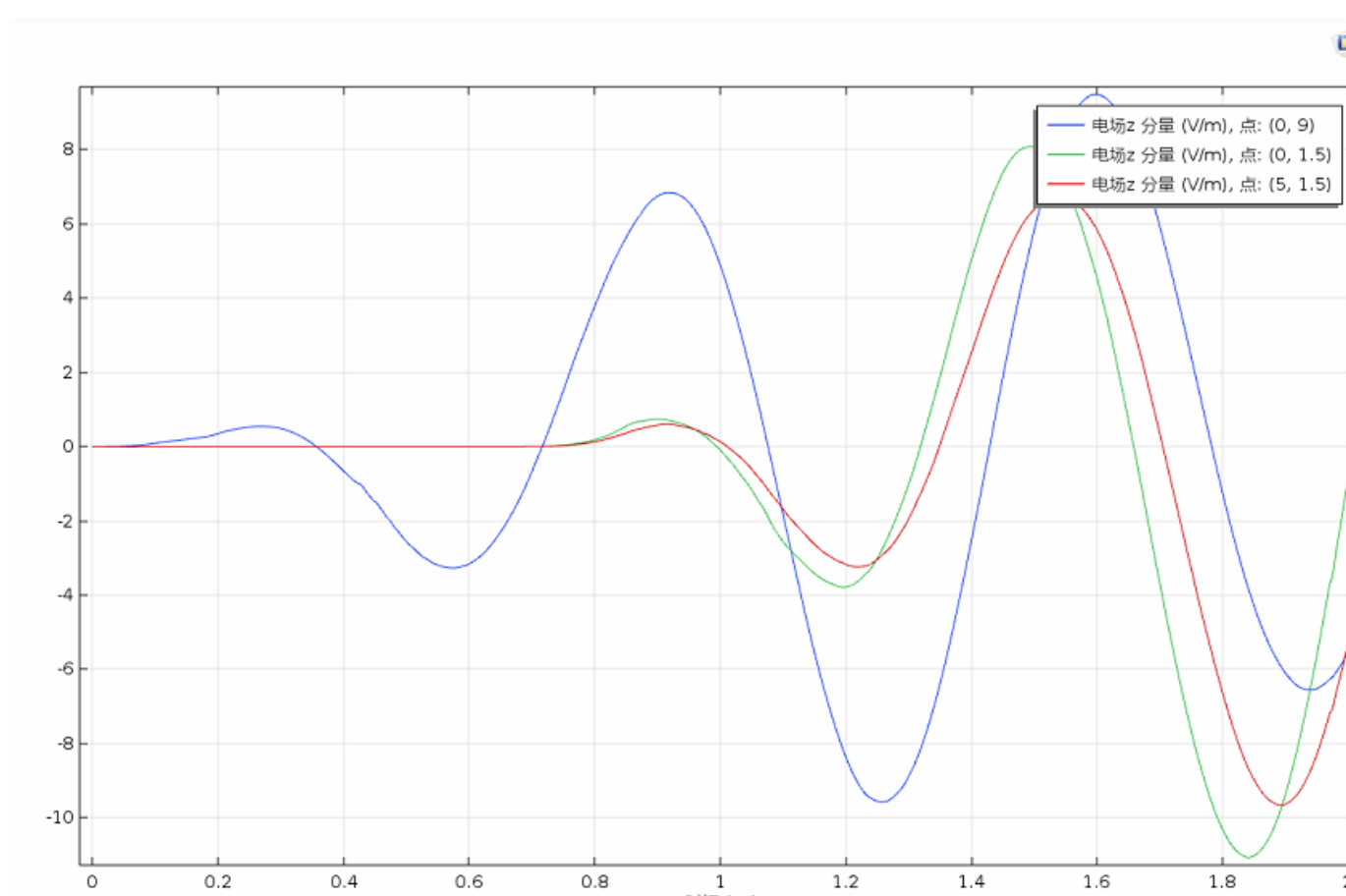


图 5. 探针图

结论:

1. 当入射频率一定时, 病害半径越小, 越不容易被识别; 病害所处的位置越浅, 则该病害越容易被识别。
2. 在随机空隙的影响下, 当探地雷达的天线频率小于1000MHz时, 路面内的空隙对其影响会大大下降。
3. 在实际检测中, 可以尽量选择1000MHz的天线, 既可以保证检测病害时不受空隙的影响, 又可以使精度满足要求。

参考文献:

1. 陈承申, 冯德山. 探地雷达有限元数值模拟及衰减特性探讨[J]. 物探化探计算技术, 2014, 36(2):152-157.
2. 邓国文, 王齐仁, 廖建平, 等. 路基病害的探地雷达正演模拟与探测[J]. 物探化探计算技术, 2016, 38(1):41-47.
3. 黄玲, 曾昭发, 王者江, 等. 钢筋混凝土缺陷的探地雷达检测模拟与成像效果[J]. 物探与化探, 2007, 31(2):181-185.