

不同地质雷达测量参数 对数据采集效果的影响

王水强 万明浩 谢雄耀 赵永辉 姜卫方

摘 要 地质雷达探测技术的根本环节就是数据采集。通过结合工程实例来探讨不同的地质雷达测量参数对数据采集效果的影响,从而为以后的探测工作提供依据,提高探测质量。

关键词 测量参数;数据采集;地质雷达

THE INFLUENCE OF DIFFERENT GEOLOGICAL RADAR SURVEYING PARAMETERS ON THE EFFECT OF DATA COLLECTION

Wang Shuiqiang, Wan Minghao, Xie Xongyao, Zhao Yonghui, Jiang Weifang

(Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract The key link of the geological radar detection technique is data collection. With practical engineering examples, this paper has probed into the influence of different geological radar surveying parameters on the effect of data collection, thus providing grounds for further detection with the purpose of raising detection quality.

Key words surveying parameter; data collection; geological radar

探地雷达 (ground penetrate radar, 简称GPR) 方法是一种用于确定地下介质分布的电磁技术。近年来,随着地质雷达技术的普及推广,其应用范围也日益广泛,主要表现在:工程地质勘察(软土地基、基岩面、岩溶地区等的探测)^[1];地下管道、电缆及障碍物的探测;暗浜、古河道的探测^[2];地下建筑物的无损检测(桩体倾斜性的探测,公路工程质量的检测)。地质雷达利用其无损、快速、准确的优点,能够很好地解决这些问题,从而为建设单位去除了风险,缩短了施工周期,节省了开支。应当说,地质雷达方法有着广阔的应用前景。

1 原理

地质雷达与探空雷达相似,利用高频电磁波(主频为数十至数百兆赫)以宽频带短脉冲形式,由地面通过发射天线送入地下,经地下地层或目的物反射后返回地面,

为另一接收天线所接收〔3〕。电磁波在介质中传播时，其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态而变化。因此，根据接收到的波的旅行时间（亦称双程走时）、幅度与波形资料，通过图像处理和分析，可确定地下界面或目标体的空间位置或结构。

利用地质雷达来确定地下介质的分布情况，关键是要获取真实、直观的地质雷达图像资料，以便于正确的解释。而获取有效信号的根本是数据采集。因此，在进行地质雷达的数据采集阶段，应尽量选取适当的测量参数，以使所要了解的地下目的物或地层能在地质雷达图像上有一个直观、清晰的显示。

2 不同测量参数对数据采集效果的影响及工程实例

测量参数包括天线中心频率、时窗、采样率、测点点距与发射、接收天线间距。其中，时窗、采样率的选取对采集效果的影响不大，通常可以采用常规的计算方法。时窗 W 主要取决于最大探测深度 $d_{\max}$ 与地层电磁波速度 v ，数据采集时所开的时窗可由下式估算〔3〕

$$W = 1.3 \frac{2 \{d_{\max}\}_m}{\{v\}_{m/ns}}$$

上式中，时窗的选用值增加30%，是为地层速度与目标深度的变化所留出的余量。采样率由尼奎斯特（Nyquist）采样定律控制，即采样率至少应达到记录的反射波中最高频率的2倍。为了使记录波形更完整，一般采样率取天线中心频率的6倍。当天线中心频率为 f ，则采样率 Δt 为

$$\{\Delta t\} = \frac{1000}{6 \{f\}_{MHz}}$$

天线中心频率、测点点距与发射、接收天线间距的选取对探测效果有着显著的影响，在此一一加以探讨。

天线中心频率决定了地质雷达分辨最小异常的能力和所能探测到最深的目的体的深度，即地质雷达的分辨率和探测距离。当选用中心频率高的天线时，其分辨率高，但探测距离小；选用中心频率低的天线时，探测距离大，但分辨率降低了，这就要求在选取天线中心频率时，需兼顾目标深度和目标最小尺寸，使所选的天线既能探测到目标体所在的深度，又能达到分辨率的要求。一般来说，在满足分辨率的条件下应该尽量使用中心频率低的天线，以获取较多的信息。如果要求的空间分辨率为 x ，围岩相对介电常数为 ϵ ，则天线中心频率 f 可由下式初步选定

$$f = \frac{150}{x \sqrt{\epsilon}}$$

根据初选频率，利用雷达探测距离方程计算探测深度。如果探测深度小于目标深度，需降低频率以获得适宜的探测深度。

用中心频率分别为100 MHz和50 MHz的天线进行桩体倾斜性的探测，探测结果如图1所示。很明显，中心频率为50 MHz的天线探测的效果比100 MHz的要好得多。100 MHz的天线由于探测距离小，下部的信号被衰减掉了。

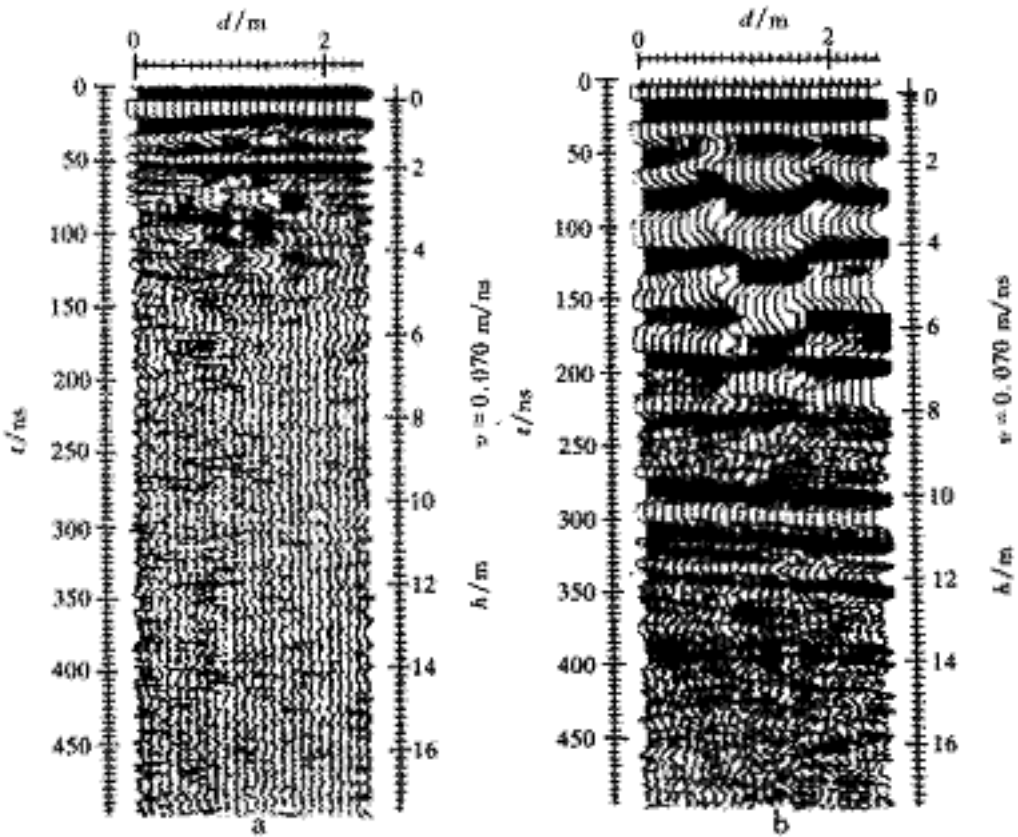


图1 桩体倾斜性探测结果
a—天线中心频率为100 MHz； b—天线中心频率为50 MHz

测点点距的选择取决于天线中心频率与地下介质的介电特性。为了确保地下介质的响应在空间上不重叠，亦应该遵循尼奎斯特采样定律，尼奎斯特采样间隔n为围岩中波长的1/4，即

$$n = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon}} = \frac{75}{f\sqrt{\epsilon}}$$

对于倾斜反射体，测点点距不宜大于尼奎斯特采样间隔，否则就不能很好地确定。当反射体比较平整时，点距可适当放宽。在实际工作中，根据研究的内容以及目标体的情况，测点点距可在几厘米至几米范围内变化。我们曾以2.5 m的测点距来进行长江三角洲北翼全新世沉积物的研究，也曾以0.2 m的测点距来探测地下障碍物，如管线、防空洞等，都取得了满意的效果。

从大量的工程实践中,我们发现正确选择发射、接收天线间距极其重要。适当选取发射、接收天线间距,可使来自目的体的回波信号增强。在介质电折射率随深度而增加的情况下,反射振幅系数随入射角度增大而增加,然而同时,地质雷达的记录振幅由于几何波前扩散与衰减项增大的影响而趋于减小,因而存在一个使反射振幅最大的最优天线间距。在不同地区,由于地层衰减的不同,所应取的最优的发射、接收天线的间距也应有所不同。下面举2个工程实例来说明不同的发射、接收天线间距对探测效果的影响。

某软土地区有相距2 m并排的混凝土管,埋深0.5 m,选用中心频率为200 MHz的天线进行实验性探测,天线的发射、接收分离距分别为0.4 m, 0.8 m, 1.2 m, 探测结果见图2。结果显示该场地潜水面以上地层取0.8 m的天线分离距为最优发射、接收天线间距。

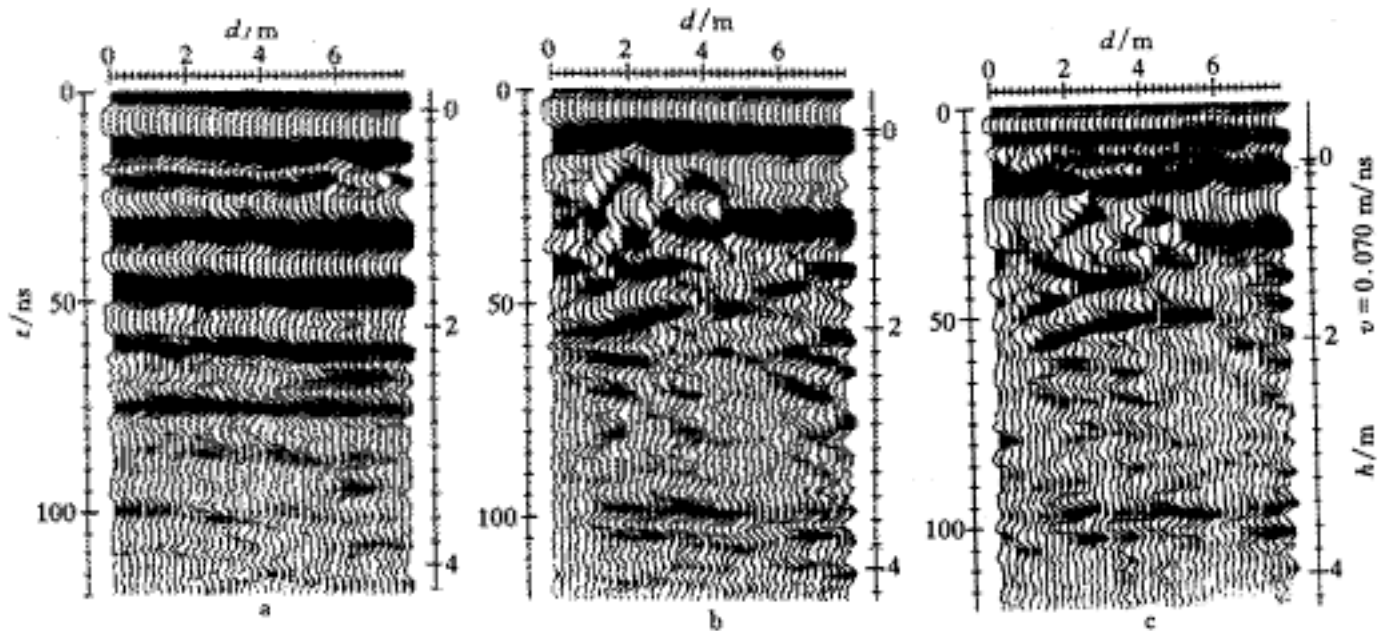


图2 混凝土管的地质雷达探测结果

a—天线分离距为0.4 m ; b—天线分离距为0.8 m ; c—天线分离距为1.2 m

某工地地下有埋深为2 m的防空洞。选用中心频率为100 MHz的天线进行探测,在同一条测线上分别使用0.8 m和0.4 m不同的天线分离距,探测结果如图3所示。由图3b可准确地确定出防空洞位于测线上0~12 m,而图3a则难以判定。

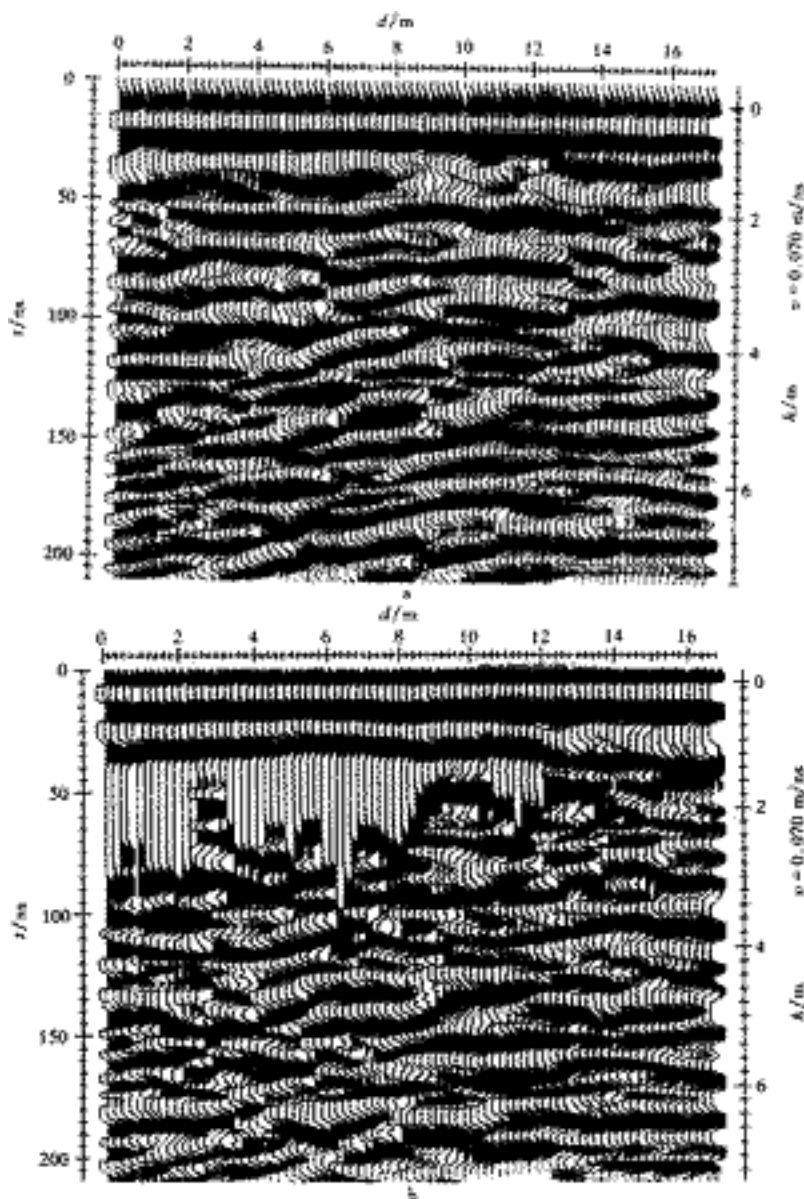


图3 防空洞的地质雷达探测结果
a—天线分离距为0.8 m； b—天线分离距为0.4 m

以上实例说明，天线分离距选择的正确与否将直接关系到某次地质雷达数据采集的效果，甚至影响到其后的图像处理和资料解释。目前，虽然有公式 $s = 2d \cdot \max/\varepsilon$ 用来计算天线的分离距，但该理论公式不能普遍适用，实际探测时，应根据工程的实际需要和场地的具体情况通过实验和经验来选定。

3 结论

地质雷达的数据采集是地质雷达技术应用的首要环节，它将直接影响到地质雷达图像的质量，有时甚至决定了地质雷达应用的成败。天线中心频率与发射、接收天线间距是地质雷达数据采集中2个最重要的测量参数，对探测效果具有很大的影响。目前，虽然有理论公式用来计算测量参数值，但由于各地区的地质结构、场地类型以及

干扰因素的不同, 这些理论公式不普遍适用。因此, 建议在实际测量前, 可通过设置不同的参数来进行实验性探测, 将探测的效果进行对比, 选取最优的测量参数, 来顺利完成整个工程的探测任务。

第一作者简介 王水强, 男, 1974年生。现为同济大学海洋地质与地球物理系硕士研究生, 主要从事工程物探方面的研究。

作者单位: 王水强 万明浩 谢雄耀 赵永辉 姜卫方 (同济大学, 上海 200092)

参 考 文 献

- [1] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术. 北京: 地质出版社, 1996
- [2] 万明浩, 陈冰, 吴健生等. 地质雷达探测地下目的物的方法技术及应用效果. 见: 全国地下目的物探测方法技术研讨会论文集. 北京: 中国纺织大学出版社, 1996
- [3] 李大心. 探地雷达方法与应用. 北京: 地质出版社, 1994

1998年12月17日收稿。