

揭开混凝土隐藏的秘密：GPR 能（和不能）揭示的内容

从混凝土结构无损检测中获得最佳结果

地面穿透雷达 (GPR) 具有广泛的行业用途，从简单的防撞到结构承载力分析，因此已迅速成为混凝土勘察中一种流行的非破坏性方法。GPR 是绘制钢筋混凝土物体图的终极工具，可生成钢筋或后张电缆等金属物体的清晰图像。GPR 在绘制钢筋分布图方面效果显著，因此有时会忘记它能发现和不能发现的限制。这可能会导致混凝土中的信息不完整。重要的是要认识到 GPR 扫描设备背后的科学，了解其能力和局限性，以及它能为操作员做些什么。

GPR 设备由一个或多个包含发射器和接收器的天线组成。发射器向混凝土中发射电磁波，当电磁波遇到材料边界时，一定比例的波能被反射并被天线接收。反射时间和能量都会被记录下来，当数据被收集到一定距离后，就能得到混凝土的横截面图像（图 1）。物体通常显示为双曲线，因为当设备靠近物体时，返回波的到达时间会缩短。当设备直接越过物体时，到达时间最短，从而形成双曲线峰值。当设备滚动离开时，到达时间增加，形成双曲线的后半部。如果物体不是一个单点，而是在扫描长度上恒定不变，如混凝土的另一侧（后墙），则不会形成双曲线。相反，恒定的反射到达时间就像横截面上的一条带子。

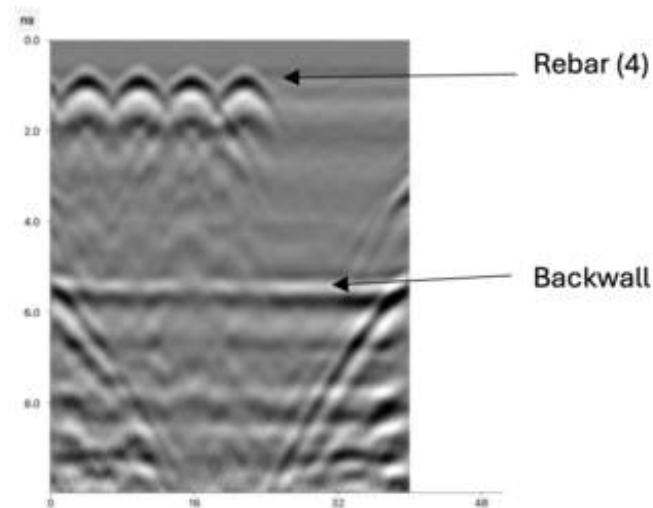


Figure 1: Typical GPR image, called radargram, with rebar and backwall

虽然波在遇到材料边界时会发生反射，但关键在于波的反射取决于单一的材料特性--介电常数。介电常数或相对介电常数是材料的导电性能。混凝土的介电常数通常在 7 到 12 之间，具体取决于混合设计和含水量。如果雷达波在穿过混凝土时与介电常数相差很大的材料相交，则会根据差异程度反射部分波能。金属是一种神奇的电导体，具有无限的介电常数。混凝土和钢筋之间的这种无限差异正是钢筋（如螺纹钢）产生强烈返回信号和清晰双曲线的原因。

混凝土中常见的其他材料还有空气和塑料。空气可以是高架板的对立面，也可以是内部的实质性缺陷，如缺乏固结、蜂窝或分层裂缝。空气的介电常数为 1，因此其反射比金属弱，但在扫描中仍然可以看到。不过，这些反射很少是干净的双曲线。如前所述，混凝土的对立面会出现条带。空洞的形状很少很好，双曲线很可能会出现扭曲（图 2）。塑料通常用于电线导管，其介电常数约为 4。混凝土和塑料之间的差异比其他材料小得多，由于其信号较弱，因此更难从 GPR 扫描中发现。

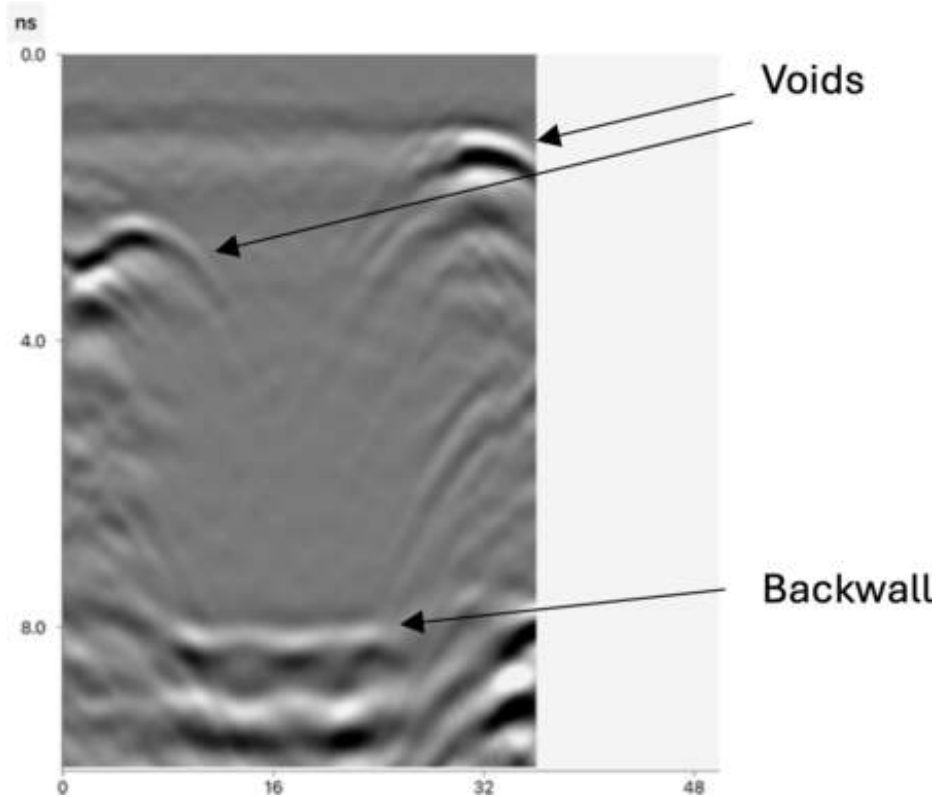


Figure 2: GPR scan showing air in concrete

考虑下式中的波的传播速度。到达时间由设备测量，光速是已知值。如果使用双曲线匹配或根据已知深度进行校准来估算介电常数，就可以计算出任何物体的深度。由于混凝土的介电常数范围很大，因此必须针对不同的混凝土混合物进行校准。

公式 1：

$$v = \frac{d}{t} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

在哪里？

v 是波速

d 是到物体的距离

t 是到达时间

c 是光速

ϵ 是介电常数。

混凝土的含水量也会影响介电常数，应进行校准。水的介电常数为 81，远高于混凝土。当混凝土饱和时，系统的介电常数会增加，水会散射波能。这会产生难以或无法解读的模糊图像。GPR 不适用于新拌混凝土，因为在混凝土完全固化和含水量降低之前，该技术会受到很大限制。

GPR 可视化深度取决于多个因素，其中包括与结构、混凝土、环境以及 [GPR 设备](#)。金属物体会 100% 反射波能，这意味着金属物体会清晰地显示出来，但金属下面什么也看不到。这对于观察堆叠的钢筋或钢筋网格下方的物体可能是个问题（图 3）。这是钢纤维加固混凝土的一个主要问题，因为纤维不允许电波通过，所以无法看到深度。钢筋间距过小也会造成问题，因为波浪没有空间有效穿过网格（图 3）。同样，这也会掩盖包括后墙在内的任何底层物体，使厚度测量变得困难。有些 GPR 设备可以进行交叉极化，即旋转天线方向，使更多的波能通过物体旁边。这将导致金属物体的双曲线尾部较短，但可以使后墙更加整洁。

决定潜在穿透深度的其他因素还有混凝土的饱和度和质量。当 GPR 波与水相互作用时，能量会损失，深度穿透力也会降低（图 3）。低质量的混凝土会有更多的空隙和裂缝，每个空隙和裂缝都需要穿过一个额外的边界，并因反射而造成相应的能量损失。混凝土质量越差，穿透深度就越小。

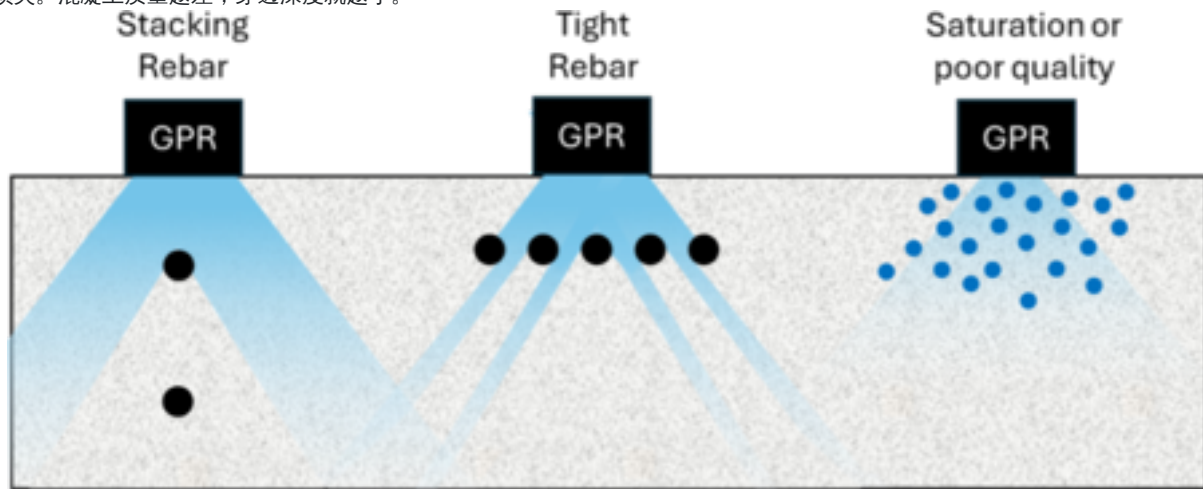


Figure 3: Factors limiting GPR imaging

对深度穿透有一定的控制。当发射器发射电磁波时，它的频率是特定的，这决定了在设定的时间段内发生的电磁波数量。这就决定了图像的分辨率。频率越高，分辨率越好，但深度穿透越浅。较低频率没有清晰的分辨率，但可以对更深的物体成像。有些设备允许用户通过多个天线选项选择所需的深度穿透，每个天线都有特定的脉冲频率。一种较新的方法称为阶跃频率连续波，可提供超宽频率范围，从而实现分辨率和深度穿透。

GPR 是混凝土行业绘制物体分布图的绝佳方法。然而，了解设备的局限性以及混凝土的质量和状况对于增强扫描的信心非常重要。每次混凝土发生变化时校准介电常数对于准确估计深度至关重要。考虑混凝土的质量和状况，确保混凝土足够干燥，以进行适当扫描并获得所需的深度穿透。此外，在优先考虑分辨率或深度穿透时，所选的天线频率（脉冲或阶跃频率）也很重要。

Katelyn Gennuso 博士是 CSDA 成员 Proceq - A Screening Eagle 公司的解决方案顾问。她拥有匹兹堡大学土木工程博士学位，研究方向为混凝土路面。Katelyn 是一名土木工程师，在无损检测的技术方面经验丰富，经常分析混凝土结构。您可以通过 Katelyn.Gennuso@screeningeagle.com 与她联系。



[Terms Of Use](#)
[Website Data Privacy Policy](#)

Copyright © 2024 Screening Eagle Technologies. All rights reserved. The trademarks and logos displayed herein are registered and unregistered trademarks of Screening Eagle Technologies S.A. and/or its affiliates, in Switzerland and certain other countries.