

使用探地雷达与电磁技术进行地下环境评估

Brian Jones 著 谢坤志 译

摘要：在地下环境评估项目中，地球物理勘测是一种可靠的勘探手段。本文从分析常见的物理勘探手段入手，着重叙述了探地雷达的探测原理和使用范围，介绍了探地雷达与电磁技术的组合方法，即先采用电磁技术确定关键区域，再采用探地雷达对关键区域进行精细探测。采用这种方法可以节约大量的时间，以5英亩范围为例，可以将工作时间从5天缩短至2天。

关键词：非开挖、探地雷达、地球物理

对于现今的环境项目来说，从查找废弃的地下储油罐等设施，到生态恢复调查，以及查找填埋场的边界线和其他地下的未知问题。地球物理勘探都是一种很可靠的勘探手段。

在过去的几十年里，在地下环境类的工程项目中，相比于那些既昂贵又费时的钻探和开挖的手段，有许多的无损检测方法正变得越来越受欢迎。在这些方法之中，将探地雷达(GPR)和电磁(EM)技术配合使用，就是一种能有效减少勘测时间和成本、并且可靠性很强的方法。



图1 使用探地雷达寻找加油站的地下储油罐

1 地球物理工具箱

在以前，大多数的环境科学家和地质学家都依赖于开挖揭露，包括钻孔和开挖测试坑。对于小场地来说，一次勘测可能需要钻孔或者开挖一到两个槽，而对于大场地来说，可能需要20到30多个孔。这些都取决于现场条件（以及项目预算）。平均来说，每一个用于环境类场地的地下钻孔都要花费大约5,000到10,000美元，因此会使通过钻孔的取样成本变得非常之高。这些方法不只速度慢、成本高，而且只能产生点状探测，不能产生连续的面状探测。

由于开挖揭露的费用和安全问题，以及仅依赖于点探测的可靠度担忧，许多公司想出了其他的方法，他们最近已经开始更多地采用非破坏性的勘测方法。

这里面最主要的方法就是GPR，它的工作原理是通过一根天线发射一个微脉冲到地层中，计算机记录任何反射信号返回的峰值和所需的时间。脉冲在地质体差异界面将产生反射，由系统拾取并存储在数字媒体上。这些反射是由各种材料差异产生的，包括地质构造差异和管道、地基等物体。GPR被认为是最准确、分辨率最高的地球物理技术。

一般来说，GPR在含盐量少的干燥砂土中工作效果最好，但GPR难以穿透致密的粘土。在某

些情况下, 穿透深度在粘土中可能会被限制在几英尺内或者更小, 而在砂土中可以达到 9.144 米或更大的深度。图 1 显示了使用探地雷达寻找加油站的地下储油罐。

GPR 勘测每天花费 1,000 到 2,000 美元, 这意味着 GPR 可以用小于单个钻孔的成本覆盖整个场地。鉴于这些明显的成本优势, GPR 现在已经成为环境类场地和建筑场地的首选方法。现在的公司可以只钻一个孔, 然后使用 GPR 来核对钻孔结果并与场地其他区域的数据对比分析, 而不用再钻三到四个孔。

用于勘测地下条件的另一个工具就是使用地震波法, 这种方法需要地震激发源、触发电缆(或无线连接)、地震检波器、地震检波器电缆和一个地震仪。地震波设备可用于发现土层和基岩深度等更多的特征, 尤其是需要更深层的信息时。在粘土中, 使用 GPR 就不是那么有效了, 而使用地震折射法却可以很好的工作, 但缺点是很耗时。设置设备, 收集数据, 分析数据, 你每天只能收集 2 到 4 个断面, 这些断面基本上会给你探测位置的竖直剖面。通过对比, GPR 可以在场地的横竖两个方向上使用 5 英尺 (1.524m) 的间距, 并用检波装置来收集数据, 并且每天可以在相同的时间内采集大约 6 亩的范围。

另一种可广泛用于绘制地下剖面的工具是电阻率成像 (ERI), 这涉及到将电极放置在地面上并测量电阻的过程。这种工具在粘土中也非常好用。然而, 类似于地震设备, 这种工具需要更多的时间和成本获得所需的数据采集。技术人员通常需要沿着地面, 在一条直线上设置一排大约 24 到 48 个电极。然而这条直线可能比实际所需要的更长, 并且你只能得到这条测线所在的信息, 不能得到面状的信息。在使用该技术收集 2 到 4 个剖面时, GPR 可以收集 80 个或更多具有相似大小的剖面。

磁力装置用于测量磁场的强度, 有时也测量磁场的方向。通过检测地球磁场的异常, 磁力装置可以指示旧油罐和油桶的位置, 但只能探测到铁制品。它们找不到塑料制品、混凝土公用管道或玻璃纤维油罐。有一些类型的磁力装置, 也称为管道或电缆定位器。探测器的功能是在地面来

回摆动并寻找信号, 它能很好地找到铁质物品, 但不能像 GPR 那样提供准确的深度信息。

还有一种勘测技术是使用电磁感应 (EM 或 EMI) 装置, 用于测量地表或地表之上的一对线圈之间阻抗的相对变化。大多数 EM 装置由两组或多组线圈组成。这些线圈通电连接并且以固定距离分隔开。EM 装置可以同时检查土的条件和定位地表下的物体, 但是不能提供良好的深度信息。

EM 的限制之一是, 无法在邻近地面障碍物 (5 到 20 英尺的范围内, 取决于制造商) 的地方使用, 比如建筑物、汽车和围栏。这使得它对于那些有许多地面障碍物的小型城市场地不太有用, 比如说加油站。

图 2 技术人员正在使用 GSSI Profiler EMP-400 频域的 EM 剖面测量系统, 这种剖面仪可以在距离地面障碍物 5 英尺以内使用, 可以用于定位金属目标, 也可以测量土壤电导率, 即使是在更困难的城市场地也能使用。



图 2 技术人员正在使用 GSSI Profiler EMP-400 频域的 EM 剖面测量系统, 这种剖面仪可以在距离地面障碍物 5 英尺以内使用, 可以用于定位金属目标, 也可以测量土壤电导率

2 GPR 地球物理探测越来越受欢迎

在所有的勘测手段之中, GPR 在过去的十年之中已经在环境项目中变得相当受欢迎。它通常被用来定位废弃的储油罐、油罐和气罐, 以及 189 升规格的废弃桶, 其中装满了上世纪七十年代和八十年代那些经常被倾倒在场地上的化学物质。

GPR 对于公共设施和地下线缆、旧的填埋场边界、残骸坑、地下环境污染物质或者废弃物的定位都是一种很重要的工具。GPR 还可以用于生态恢复调查，勘测土壤层以及地下水顶面和基岩顶部的深度。污染物主要集中在地下水顶面或基岩的顶部，因此环境科学家需要在钻孔的计划中加入地下水和基岩的特征变化。

GPR 普及率的上升主要归功于其低成本和安全性，比起在地面钻许多孔所需的高成本，做一个快速的地球物理勘测要便宜和安全得多。GPR 的成本相对于其他勘测技术已经很低了，而且还更容易使用。老式的 GPR 设备需要训练有素的地球物理学家来操作，而如今的设备，使用者直接摁下按钮，就可以开始扫描勘测了。

3 GPR+EM= 节约

在某些场地上，配合使用 EM 和 GPR 具有明确的成本优势。在较小的项目，比如定位加油站的油罐，GPR 或者是管道与电缆定位器可以轻松地完成这项工作。但是对于更大型的大面积的项目，比如说旧厂区或大型污染物处理场区域。通过首先使用 EM 进行勘测，然后使用 GPR 集中在使用 EM 定位的“重点”或异常区域的方法，可以节省大量的成本。EM 成为大型场地的首选工具主要有三个原因：你能更快地收集数据，EM 设备不用像 GPR 那样必须和地面接触（或者靠地面很近），并且 EM 装置的扫描范围要更广一点。

因为 EM 可以被携带，而不用像 GPR 设备那样需要被推着或拖着走，使用者可以走的更快，并更快地围绕障碍物移动。在有杂草丛生的草地、长着很高的杂草或者有岩石的地方，使用可携带的 EM 来收集数据要容易得多。此外，EM 可以非常容易地安装在拖车或雪橇车等全地形车（ATV）后面，并使数据收集更快。大多数 EM 系统还具有内置或插入式全球定位系统（GPS），所以不必再浪费时间建立实物测量网格（测量、喷漆、针标等）。

在使用 EM 进行首次快速勘测后，用户可以迅速地把数据绘制成图（在现场使用笔记本电脑，可以在大约 10 分钟内完成），并发现异常、目标物或土的潜在问题。EM 不能提供关于目标的深度、

形状和方向的准确信息，但对于数据的查看，处理都很方便，甚至可以立即覆盖在地图上，比如“谷歌地球”地图。GPR 可以在 EM 发现目标的范围内进行精测，并且 GPR 在 2D 或 3D 成像中用于提供目标的深度，大小（尺寸/形状）和方向信息。

在环境场地和建筑场地中，寻找旧的地下储油罐，非法处置或埋藏的 189 升规格的桶，旧基础，也可能是碎片坑或以前的填埋场等各种类型的目标，甚至是一些污染的液流时，配合使用 GPR/EM 勘测的方法可以节省大量时间和金钱。

客户必须支付 EM 和 GPR 这两种设备费用的原因是，它需要解决不断变化的土或地面条件。例如，EM 在粘土中工作得比 GPR 更好（成图深度更深），而 GPR 在砂土中工作得比 EM 更好（成图深度更深）。另外，如上所述，在探测范围大约 5 英尺内有汽车，建筑物和围栏的地方，不能使用 EM，而 GPR 没有这些限制，因此将这两种方法配合使用，可以覆盖更宽广的场地。

使用者经常将这两种工具一起带到一个未知的场地，如果土的粘性过大，他们会使用 EM，而如果是含砂量很大的土，他们主要是用 GPR。如果处于两者之间，他们可能会同时使用这两种工具。通过这种方式，他们收集了多个数据集，并为他们的客户把潜在的结果寻找出来并优化。同时，当他们在寻找并定位场地内所有东西时，可以缓解他们的压力并提高他们的信心。既用 EM 又用 GPR 找到异常处或目标时，相当于是一个地球物理学家所做的双重保障。

最后，每种工具可能会更好地被用于定位特定的目标类型—GPR 可以找到金属和非金属物体，而 EM 主要擅长找到金属物体。EM 善于勘测土的变化（地质变化，或者地下储油罐空间的扰动），泥坑和潜在的液流污染物，而用 GPR 识别这些更加困难。在一些情况下，由于 GPR 的设计和能量被散射的方式，GPR 寻找波纹金属排水管可能有困难，而 EM 可以很好地寻找这样大型的金属目标。因此，将这两种工具配合使用，有更大可能查找到客户们正在寻找（或不寻找）的一切东西

配合使用两种工具的成本优势在于其实际工作情况，EM 在前端的工作速度比 GPR 快 5 倍，这使得用户将 GPR 只放在已识别的重点上。让我

三、海水钻井复合土

海底、沿海地区、盐碱性严重地区，地下底层长年受地表和地下高矿化度水质中各种盐类的侵蚀和污染。在这地质条件下钻井和非开挖穿越作业，用淡水配制任何高性能的泥浆，一旦泵入井（孔）内，钻井液会受到各类盐的污染和干扰。从而需要不断地补充新泥浆和使用大量的各种抗盐护胶剂进行维护浆体性能，给钻井或穿越作业增加了很大的作业成本。

海水钻井复合土的特点：

- 1、用产品和海水、高矿化度水直接配浆；泥浆的动塑比在0.6-1.5之间，滤失量 ≤ 15.0 。泥浆具有良好的携砂（屑）、护壁能力，大幅度地降低了为提切、降滤失的作业成本。
- 2、不需要淡水预水化、不需要对水预处理（碱、火碱对钙、镁的处理）。节省了作业成本，同时做到了省时、省力、方便了现场作业。

1、产品质量参数 执行标准：QB/YB05-2015

浓度6.42% (m/v)	项	Φ 600读值	动/塑比	滤失量	筛余	备注
	水					
	复合盐水	≥ 30	0.6-1.5	≤ 15.0	≤ 4.0	参照GB/T5005-2010
	海水	≥ 30	0.6-1.5	≤ 15.0	≤ 4.0	350ml水，22.5g±

2、配制泥浆参考数据： 参照国标：（ 浓度6.42% ）Φ 300:33不同浓度对照

浓度 (m/v)	5%		6%		6.42%		7%		8%		9%		10%	
粘度对照	Φ 600	s	Φ 600	s	Φ 600	s	Φ 600	s	Φ 600	s	Φ 600	s	Φ 600	s
Φ 600:33	24	39	30	42	33	44	37	47	45	54	52	66	60	83

说明：

数据指复合盐水配浆，S指946ml漏斗秒数，海水配浆比上述数据稍高。

使用建议：

- 1、产品常温下，泥浆性能优越，钻井近2000m后，需逐步对泥浆进行维护。非开挖工程不需对泥浆特意维护。
- 2、作业需提粘时：用本产品提高泥浆浓度或用XC、阴离子酰胺、PAC等来提高粘度（常规用CMC-HV类有降粘现象）；作业需要改变流变性（降粘）时：用就地水稀释或用聚丙烯酰胺盐，或用低粘CMC进行降粘降滤失（成本低）；钻进或穿越工程回拖作业需加入润滑剂时，建议加抗盐乳化剂类。

公司名称：宣化燕北矿业有限责任公司 经理：安云翔 手机：13831306623
公司地址：河北省张家口市宣化区崞村镇辛家庄村
公司电话（传真）：0313-5087388；邮箱：ybgs2008@sohu.com