

前 言

北京欧华联科技有限责任公司成立于 1996 年，目前是多家国外著名的地球物理仪器公司在中国的独家代理，负责销售、培训、技术支持和售后服务。这些公司是德国 DMT 公司和俄罗斯 NORD WEST 公司，加拿大 Geonics 公司和 GEM 公司，瑞典 RadarTeam 公司和芬兰 / 加拿大 VIBROMETRIC 公司，意大利 LUNITEK 公司，美国 KMS 公司等。他们的产品几乎包括全部地球物理仪器设备。在过去 25 年来，欧华联科技公司向国内提供的各种地球物理仪器近万台。

这些著名的地球物理仪器公司，由于历史悠久，经验丰富，有高端的科技人才，因而能不断地推出新产品。例如：

德国 DMT 公司 2016 年推出的轻便的（采集单元 175g），集成度高的，可连续记录，道间距可变的勘探地震仪 Summit x one 和三维导航、成像、检视系统；俄罗斯 NORD WEST 公司在自身多年经验积累基础上研发的新一代大地电磁仪器 NORD 系列，其磁场传感器（磁棒）和记录仪的硬件技术指标都达到了新高度，能有效地抑制环境电磁噪声干扰。NORD 为大地电磁法工作提供了新的选择；意大利 LUNITEX 公司推出的电化学宽频带三分量地震仪；瑞典 RadarTeam 公司推出的穿透深度 100m 地质雷达；荷兰 T&A Survey 公司新研发的 3D 钻孔地质雷达；加拿大 Geonics 公司 2018 年推出的大功率，多线圈发射接收一体化时间域瞬变探测仪和 2016 年推出的收发一体化的瞬变电磁法仪；加拿大 GEM 公司 2016 年推出的高分辨率 0.0001nT、近于连续记录的钾光泵航空磁力仪；加拿大 / 芬兰 VIBROMETRIC 公司推出的能量可积累、可同时激发纵波、横波和面波的锤击式可控震源，以及国外公司新研发的各种无人机物探仪器等等。

本公司经营的地球物理仪器有数百种，本书仅概略介绍一些新产品，如有其他需求，请登录本公司主页：www.ouhualian.com 或直接与我们联系：电话 010-82920623/24，Email：sales@ouhualian.com。

北京欧华联科技有限责任公司

2021 年 7 月 1 日



第一章 新型大地电磁仪 NORD 系列



1950 年前苏联吉洪诺夫教授提出大地电磁法理论，莫斯科国立大学长期从事大地电磁研究，在严酷的北极、玻利维亚山脉、伊朗沙漠和北部海域等地区进行电磁勘探的丰富野外经验基础上开发出大地电磁法 (AMT MT) 和可控源电磁 (CSAMT) 方法的测量仪器，并由 NORD WEST 公司进行开发。

NORD 仪器自 2014 年开始在野外现场条件下进行测试，从 2017 年开始，在乌拉尔山脉、泰米尔半岛、西西伯利亚和哈萨克斯坦的商业 MT 和 CSAMT 项目中连续记录并测试数十台 NORD 接收机。

多次野外测量已经证明 NORD 仪器是一种稳定、准确可靠的大地电磁野外观测仪器。

一、NORD 接收机

NORD 接收机是一种现代化数字接收单元，专门设计用于大地电磁法 (AMT MT) 和可控源电磁法 (CSAMT) 的多功能电磁接收系统。

NORD 接收机有 2 个电通道和 3 个磁通道，每个通道配备一个独立的 32 位 ADC(采样率为 2400 Hz) 和 24 位采样率高达 312.5 kHz 的 ADC。

NORD 记录的时间序列通过 EPI-KIT 软件进行处理，该软件可以在任何 Windows 系统的计算机上运行，是一个强大的通用工具，主要用于分析和处理原始 MT 和 CSAMT 数据。

1 NORD 接收机的主要特点

1) 高精度

NORD 接收机具有极低噪声水平 (约 3.5 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$) 和采用 32 位高分辨率的 A/D 转换器，并结合在 EPI-KIT 软件中采用的先进的数据处理算法进行数据处理，以确保所采集的 MT 或 CSAMT 数据具有很高精度。

- 2) 快速开始采集
- NORD 接收机启动后 10-20 秒便可以进行同步模式开始采集（同一区域进行采集），在许多情况下，此功能可以显著提高现场工作人员的生产效率。
- 3) 操作简单
- 接收机可以通过智能手机进行控制。
- NORD 接收机配备了多个内部传感器，允许用户监控电源电压和电流、ADC 和仪器内部的温度、压力和湿度等。在不中断记录的情况下，可以随时处理正在记录的数据，查看每个通道的信号和统计信息。这些功能非常有用，可以避免采集质量较差的数据。
- 4) 无线连接
- 设备状态控制、数据传输以及监控通过 WiFi 进行连接。高速 WiFi 连接可在几秒钟内下载全天记录的数据（传统的信号采样为 50-70MB）。可以通过具有 WiFi 模块和网络浏览器的 PC 电脑或智能手机轻松与 NORD 建立连接。
- 5) 延长保修期
- 在乌拉尔山脉、泰米尔半岛、西西伯利亚和哈萨克斯坦的商业项目中获得的大量野外现场数据表明，NORD 是一种强大、稳定而可靠的野外现场仪器。
- 我们对其可靠性的信心允许将免费保修期延长至 2 年
- 6) 体积小、重量轻、功耗低，防水，防雷击
- 尽管采用坚固的设计和金属外壳，NORD 非常紧凑，重量仅为 1.8 公斤。仪器体积小，便于人工搬运。低功耗允许使用较小的轻便电池为其供电，或使用标准 60Ah 电池工作数天。
- 7) 兼容性
- NORD 的一个主要特点是可以与加拿大凤凰公司制造的 MTU-5/2E/3H、MTU-5A/2EA 和 V8 接收机一起使用。NORD 能够直接与 MTC 传感器一起工作，也可以与 MTU 接收单元一起使用，可与另一种类型接收机的记录进行远参考处理。

2 NORD 接收机的主要功能

- 1) 采集过程中的实时处理、时间序列实时显示、叠加谱和信号一致性的可视化显示。
- 2) 内置传感器：电源电压和电流负载保护，ADC 和仪器的内部温度、气压和湿度显示。
- 3) 内置电源过压、短路和反极性保护系统。
- 4) 内置静电放电和防雷击保护系统。
- 5) 内置放大器和磁场线圈校准器。
- 6) 电场和磁传感器的正确连接测试。
- 7) 分别估算每个接地电极的接地电阻，并能够测量电场的整体响应函数。
- 8) 可以使用 Android 软件对 NORD 数据进行实时现场处理，处理过程中不会影响正在记录的数据。

3 NORD 接收机技术指标

技术指标:	
通道数	5 通道 (2 个电通道, 3 个磁通道)
测量分量	Ex, Ey, Hx, Hy, Hz

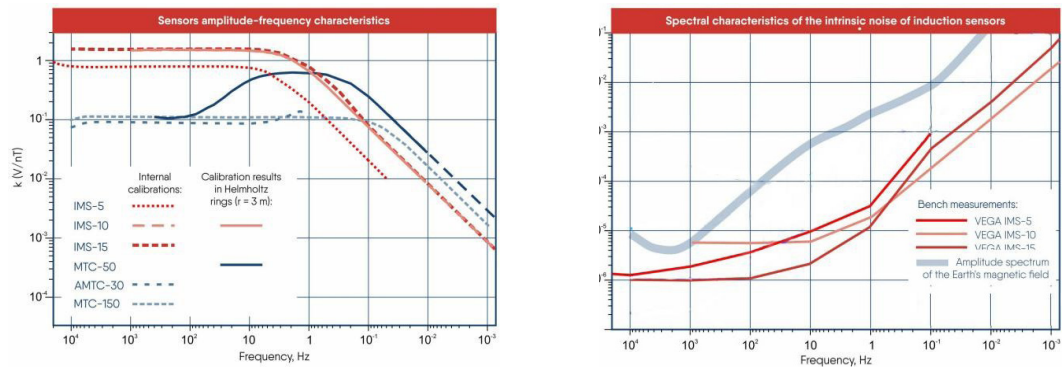
频率范围： NORD NORD-A NORD Plus	DC - 1000 Hz 5 - 100 000 Hz DC - 100 000 Hz
A/D 转换器： NORD NORD-A NORD Plus	32 bit 24 bit 32 bit+ 24 bit
采样率： 32-bit ADC 24-bit ADC	2400、150 、15 Hz 312.5 kHz
输入阻抗	20 MΩ
动态范围	> 120 dB (24 bit) > 165 dB (32 bit)
最大测量电压	电通道：+/- 600 mV 磁通道：+/- 2300 mV
系统输入噪声	约 3.5 nV/ √ Hz
数据传输接口	Wi-Fi 802.11n
GPS、北斗和 / 或 GLONASS 系统的定位精度	+/- 1 m, (12 颗以上卫星同步)
时间同步精度	+/- 100 ns (标准差)
内存	32 GB 工业级 (可选 - 最高达 256 GB)
重量	1.8 kg
外部尺寸	20x10x13 cm
电源电压	12 V
功耗	6 W
工作温度和其它	-40 ... +85 ° C, 防水, 防雷击

二、电场和磁场传感器

1 磁场传感器 IMS

IMS 磁场传感器——具有稳定的平坦的频率响应，很低的噪声和很高的灵敏度。

所有类型的 NORD 接收器都会自动识别任何连接的 IMS 传感器的序列号，从而避免在数据处理中使用错误传感器标定文件。传感器在亥姆霍兹环天文台经过认证的支架上进行校准，并具有校准文件。传感器还具有用于快速现场校准的内置校准系统。IMS 传感器的保修期为 2 年。



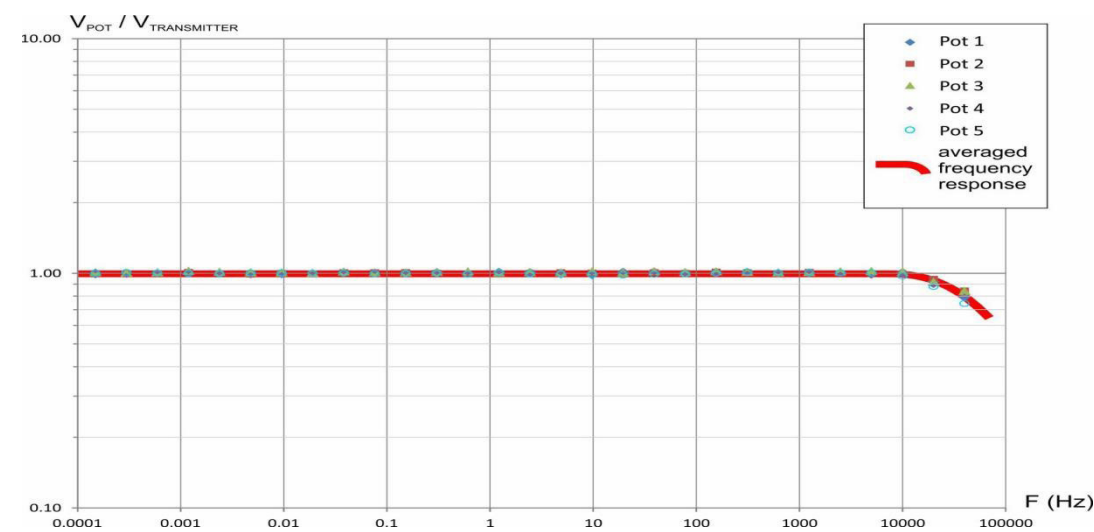
1) IMS 磁场传感器技术指标

	IMS-5	IMS-10	IMS-15
频率范围	0.1 - 20000Hz	0.0001 - 1000Hz	0.0001-10000Hz
传感器噪声：	3·10 ⁻⁵ nT/ √ Hz @ 1 Hz 4·10 ⁻⁶ nT/ √ Hz @ 100 Hz	2·10 ⁻³ nT/ √ Hz @ 0.01 Hz 2·10 ⁻⁵ nT/ √ Hz @ 1 Hz 5·10 ⁻⁶ nT/ √ Hz @ 100 Hz	3·10 ⁻³ nT/ √ Hz @ 0.01 Hz 2.5·10 ⁻⁵ nT/ √ Hz @ 1 Hz 1·10 ⁻⁶ nT/ √ Hz @ 100 Hz
输出灵敏度 线性频率响应 平坦频率响应	0.2 V/(nT·Hz)< 5 Hz 0.8 V/nT	0.7 V/(nT·Hz)< 2 Hz 1.6 V/nT	0.7 V/(nT·Hz)< 2 Hz 1.6 V/nT
最大输出电压, V	± 10V	± 10V	± 10V
电源电压, V	± 15V	± 15V	± 15V
功耗, W	0.96W	1.2W	1.7W
直径尺寸, cm	6cm	7.5cm	6cm
长度, cm	55cm	125cm	105cm
重量, kg	3kg	7kg	5.5kg

可见 NORD 大地电磁仪的关键技术指标远远超过目前流行的大地电磁仪。

2 电场传感器

非极化石墨电极 NW-4 用于测量电场变化。NW-4 是一种紧凑、环保且相对便宜的非极化石墨电极，具有平坦且稳定的频率响应和噪声水平。



非极化石墨电极 NW-4 技术指标

技术指标	
电极之间电位差	< 5 mV
频率范围 0.0001-0.1 Hz 自噪声水平	< 0.5 mV
频率范围 0.1-10000 Hz 自噪声水平	< 0.2 mV
保质期	2 年

三、数据处理软件

1 EPI-KIT 软件

为了处理 NORD 系统记录的原始时间序列而开发的 EPI-KIT 软件是一种用于处理 MT 和 CSAMT 数据的通用软件。

在当今的 MT 电磁法勘测中，软件支持的选择与硬件支持的选择同等重要。迄今为止，全球市场上有很多 MT 数据处理程序，它们大多数是为学术或科学目的而开发的，旨在与某些类型的 MT 仪器配合使用。

EPI-KIT 软件已被开发为商业化的 MT 和 CSAMT 数据处理的强大且通用的工具。

除了 NORD 数据文件之外，EPI-KIT 还能够处理许多其他制造商的 MT 接收机获取的时间序列，包括 Phoenix Geophysics、Metronix 和 KMS 等。由于 NORD 采样模式与其他接收器的采样模式兼容，因此可以在单个项目中同时使用不同制造商的设备，例如在勘测和远程参考站点。

1) EPI-KIT 软件主要特点

自适应处理算法：EPI-KIT 软件程序基于相关方法和 robust 统计的数学计算为核心。作为多年研究和经验的结果，已经创建了一种灵活的自适应处理算法，采用单独的方法来计算阻抗张量、Wiese 矢量、水平磁场张量和大地电磁张量。

快速计算：实现的代码支持图形加速器（GPU）上的并行计算技术，显著减少了处理时间，优化的计算程序和内存分配允许在简单的笔记本电脑和强大的多核计算系统上使用 EPI-KIT 软件。

友好的用户界面：EPI-KIT 软件界面实用且简单，具有许多有用的工具可用于分析和高效处理大量野外现场数据：

2) EPI-KIT 软件主要功能

- > 交互式地图显示测点位置；
- > 预览和编辑记录数据的采集参数可视化表；
- > 记录（时间序列）可视化工具，可选择从处理中剔除指定的时间间隔；
- > 用于分析所采集记录的叠加谱和相关特性的工具；
- > 查看和比较在不同时间执行的校准；
- > 各种处理任务的创建、排列和管理；
- > 在 MT-Corrector 程序中快速查看处理结果并快速过渡到高级数据编辑。

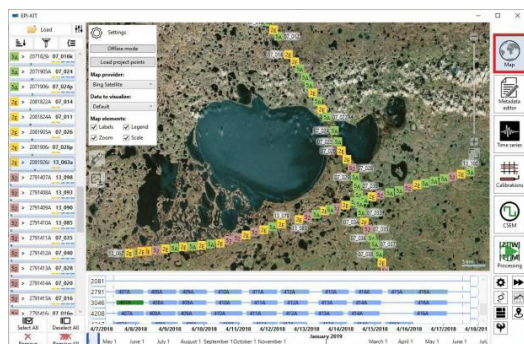


图1 地图显示



图2 时间序列编辑

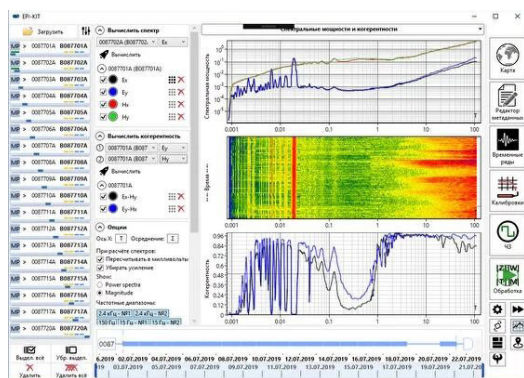


图3 数据分析

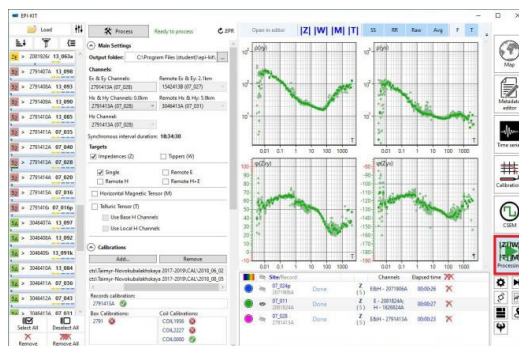


图4 数据处理

2.QC-QA 自动评估 MT 数据质量

QC-QA 软件用于对大地电磁数据的质量进行即时监测和评估，编制表格和报告，适用于使用 MT、AMT 和长周期 MT 方法的操作员、电磁勘探单位负责人和各方需要。

QC/QA 功能和特点:

数据输入:

大地电磁曲线从文件中加载，可以支持不同的数据格式。数据显示为视电阻率曲线和阻抗相位曲线。单独显示每个分量误差与频率相关的图表。

地图显示:

实际测量点的位置显示在通过互联网下载的卫星图像上。为此，请使用文件中记录的坐标。可以保存地形供以后使用，无需连接到 Internet。可以在地图上加设计点以使其位置与实际位置相匹配。

质量控制:

对于每个测点，都会进行整体质量评估和单个分量的质量评估。评估的质量由地图上标记的颜色指示，并显示在表格中。

设置:

质量评估的参数和使用期限由用户设置。在同一位置上选择进行估计的分量。一个或多个评估结果可以在外部编辑器 MT-Corrector 中打开。

一般统计:

为了对数据质量进行全面分析, QC-QA 软件构建了所有评估质量分布直方图, 以及数据质量与频率的汇总图。

目录和报告:

为了准备报告, 软件可形成包含 MT 探测详细信息的目录和表格, 以及对数据库质量进行总体评估的总结报告。

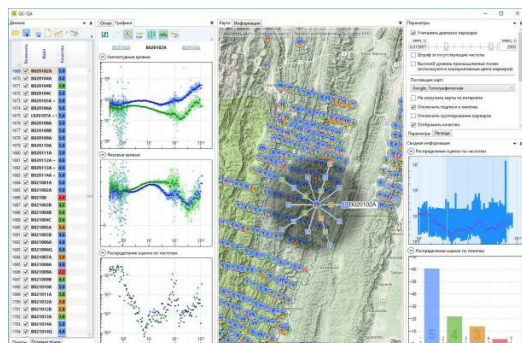


图 5 标准模式下的工作界面

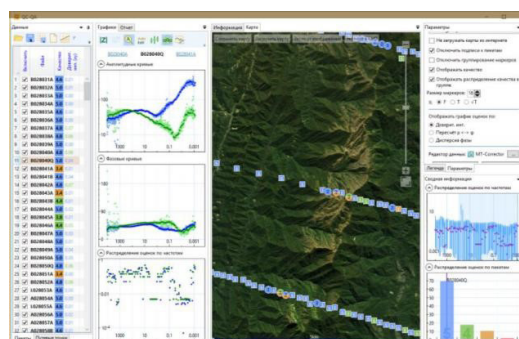


图 6 卫星图形查找曲线失真的原因

3 MT-Corrector 软件:

MT-Corrector 是一款功能强大的大地电磁 (MT) 数据编辑器。专为 MT 传递函数的后处理而设计, 例如阻抗张量和倾子。

主要功能:

- 1) 自动或手动滤波数据;
 - 2) 将不同文件中包含的数据合并成一条曲线;
 - 3) 检查在阻抗张量和其他传递函数分量的自动处理过程中获得的数据估计集 (MT 曲线);
 - 4) 根据各种标准 (噪声源、平滑约束、分散关系等) 删除数据评估不达标的频点及其分组;
 - 5) 根据各种标准 (来自相邻测点的数据、有关噪声源信息等) 确定不达标频点的新数据;
 - 6) 使用 MT 曲线的平滑样条近似, 允许在对结果曲线的两个相互矛盾的要求之间达到合理的平衡: (a) 在每个给定频率下采用足够接近平均初始估计的值; (b) 保持平稳;
 - 7) 将相位估计的样条曲线与使用分散关系从相应幅度值构建的理论上等效曲线进行比较;
- 从以下方面分析阻抗张量分量: (a) 虚部和实部; (b) 相位和幅度; (c) 相位和视电阻率;
- 8) 对基于 TDEM 数据的振幅曲线应用静态偏移校正;
 - 9) 将幅度曲线乘以任意系数; 调整相位值或添加 / 减去 180° 的倍数。

支持数据格式:

- 1) EDI 文件 (*.edi, *.plt)
- 2) 凤凰文件 (*.mt?)
- 3) Narsky 文件 (*.res, *.dan, *.rot, *.dat, *.smo, *.nor)
- 4) 逗号分隔值 (*.csv)
- 5) 水平磁场张量文件 (*.hmtf)
- 6) 水平电场张量文件 (*.httf)
- 7) 倾子文件 (*.tip)
- 8) MT-Corrector 工程 (*.mtcproj)

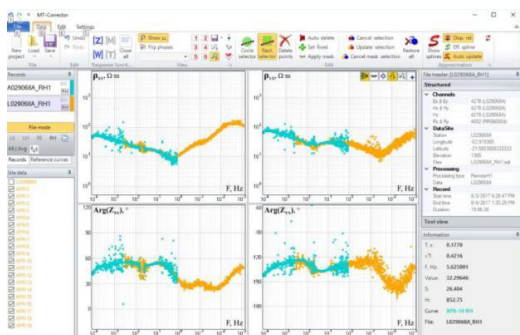


图 7 主要界面显示

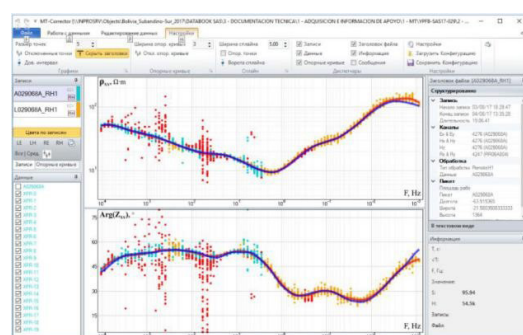


图 8 平滑曲线和幅度相位分散关系图

四、配置及应用范围

- (1) 矿产资源和非金属资源勘探；
- (2) 油、气、页岩气、煤层、沉积矿和沉积型铀矿以及沉积盆地结构勘探；
- (3) 地下水和热水资源勘探；
- (4) 地下溶洞和洞穴勘探；
- (5) 隧道地质结构勘探；
- (6) 高铁和高速路路基探测；
- (7) 工程地质勘探；
- (8) 地壳上地幔构造探测；
- (9) 电磁波监测和地震前兆监测。

1 不同系统配置及应用：

1) NORD-A 高频大地电磁仪：

- > 频带：0.1-20000Hz，勘探深度 0-20Km-40Km
- > 配置：NORD-A 接收机，2 根或 3 根 IMS-5 感应式磁场传感器和连接电缆，4 个不极化电极和电缆线，12V 电瓶一个，数据处理和二维（或三维）反演软件一套。
- > 主要应用领域：超浅层至中浅层勘探，各种工程勘探，路基勘探，溶洞勘探，隧道勘探，地下环境勘探，地下水和热水资源勘探，油气勘探，矿产资源勘探。

2) 中 - 低频大地电磁仪：

- > 频带：0.0001-1000Hz，勘探深度 40m 至上地幔软流圈内部
- > 配置：NORD 接收机，2 根或 3 根 IMS-10 感应式磁场传感器和连接电缆，4 个不极化电极和电极线，12V 电瓶一个，数据处理和二维（或三维）反演软件一套。
- > 主要应用领域：地壳上地幔构造研究，油气勘探，地下水和热水资源勘探，深部矿产资源预测。

3) NORD-PLUS 宽频带大地电磁仪：

- > 频带：0.0001-10000Hz，，勘探深度：0m 至上地幔软流圈内部。
- > 配置：NORD-PLUS 接收机，2 根或 3 根 IMS-15 感应式磁场传感器和连接电缆，4 个不极化电极和电极线，12V 电瓶一个，数据处理和二维（或三维）反演软件一套
- > 主要应用领域：近地表勘探，各种工程物探，溶洞勘探，隧道勘探，地下水和热水资源勘探，油气勘探，矿产资源勘探，地壳 / 上地幔构造研究，电磁波监测。

2 不同系统配置及应用:

1) 哈萨克斯坦某地测量单点曲线

测量系统: NORD 主机, IMS-10 磁场传感器

测量时间: 2020 年 6 月 9 日 记录时长约 16 个小时

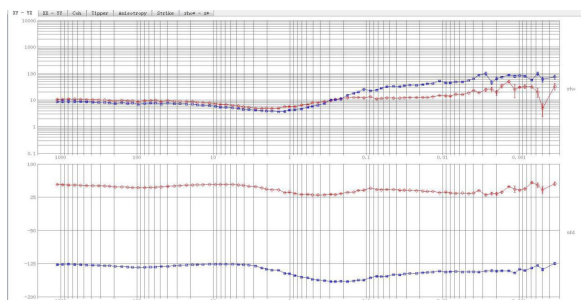


图 9 哈萨克斯坦地区测量单点曲线

2) 俄罗斯某地测量单点曲线

测量系统: NORD 主机, IMS-10 磁场传感器

测量时间: 2020 年 10 月 5 日 记录时长约 26 个小时

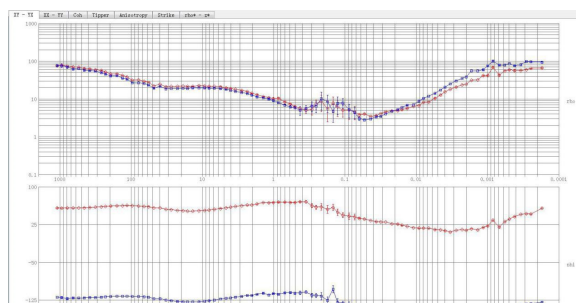


图 10 俄罗斯地区测量单点曲线

3) 俄罗斯贝加尔湖地区测量单点曲线

测量系统: NORD 主机, IMS-15 磁场传感器

测量时间: 2021 年 5 月 26 日 记录时长约 12 个小时

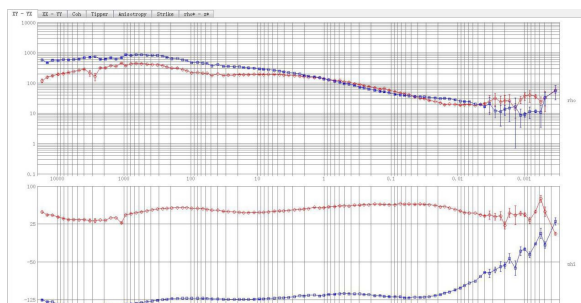


图 11 俄罗斯贝加尔湖地区测量单点曲线

第二章 新型宽频带三分量地震仪

地震仪简介

传统地震仪 (如图 1 所示): 两个水平分量和一个垂直分量传感器是由可活动的质量块组成, 它们在地面运动 (如地震) 时产生活动并转为电压变化, 然后经电子部分放大和处理后, 由数字转换器转换成数字信号。可称其为电子机械地震仪。例如: 加拿大 Nano 生产的 Trillium 地震计, 英国的 Guralp 生产的 CMG 地震计, 美国凯尼生产的 STS 系列地震计。

近代科技飞速发展, 创新产品不断涌现, 地震仪的创新产品是电化学或称电分子地震计 MET (Molecular Electronic Technology)。

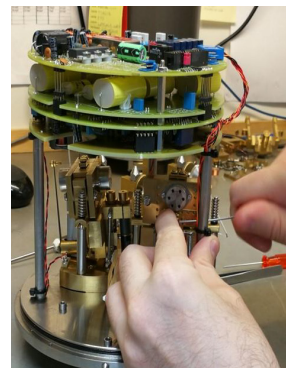


图 1、传统地震仪结构

1、电化学地震计原理:

电化学地震计 (MET) 的核心部分密封在一个小容器 (Cell) 内, 其中包括铂金组成的带有微孔的两个正负电极对以及将正负电极隔开的、不导电的微孔陶瓷垫片。小容器内充填含三碘离子或碘离子的电解液, 正负电极之间施以微小的直流偏移电压 (图 2)。在地面静止时, 碘离子在两个正负电极对之间积累的电荷密度平衡, 无电流流动; 当有地面运动 (如地震) 时, 电解液跟着运动, 导致电极间的电荷密度发生改变: 两个负电极 (C) 之间的碘离子密度差异最大 (图 3), 于是产生于地面运动相一致的电流活动, 该电流活动经过放大、滤波、数字化等一系列电路处理后, 即为地震活动的表示。

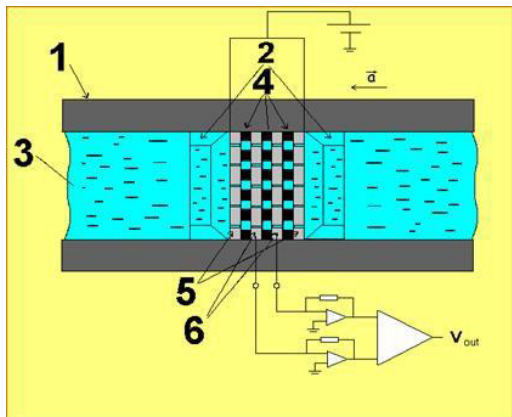


图 2. 1- 电介质管 (换能器外壳); 2- 微孔陶瓷片; 3- 电解质溶液, 5, 6- 电极

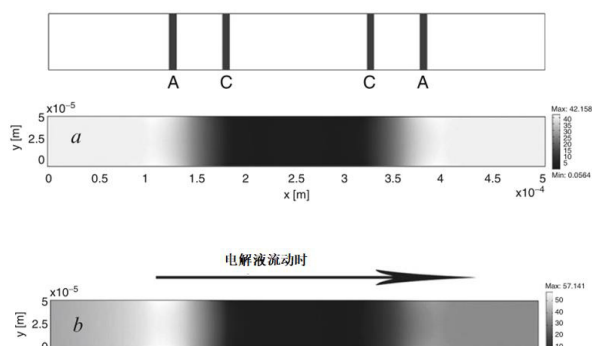


图 3 碘离子浓度在静止状况下 (中图) 流动状态下 (下图) 的分布其中 A 为正电极; C 为负电极 明亮的地方为电流密度大, 黑暗的地方为电流密度小

换句话说, 沿着传感器输入的外力引起小容器内部电解液的流动, 改变了两个电极对之间的电荷密度分布, 出现反应地面运动的电流变化。在这个系统内电解液扮演着双重的作用, 一个是 "栅极" (grid) 作用, 一个是质量块的作用。

如果电介质管 (换能器外壳) 做成圆环 (图 4 中的 1 和 2), 并在其中充满电解液, 就形成了旋转运动的传感器, 用以测量地震波中的旋转分量。

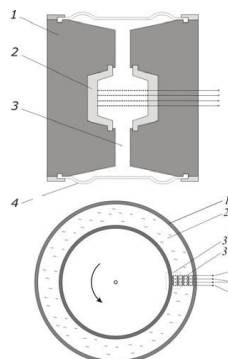
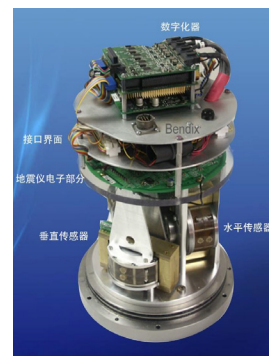


图 4



2、电化学地震计 (MET) 与传统的电子机械地震计相比较的优点有：

- > MET 地震计非常可靠和牢固，其技术指标不低于、甚至高于传统电子机械地震仪，不需要避雷，
- > 在仪器运输和安装中不需要解锁和对中，
- > 安装倾角可达 $\pm 15^\circ$ 以上，某一些型号可在任意安装倾角下正常工作（特别适用于 OBS），
- > 质量轻（最轻型号 2Kg）、低功耗，更加适合野外长期观测，最低功耗仅 90mv，最低工作温度达 -50°C ；
- > 动态范围高达 150dB；
- > 噪声显著低于美国 USGS 的 NLNM 标准，在地震台网长期观测条件下自噪声更低；可以测量地面旋转运动；
- > 在各类地震仪中价格低廉性价比高。

3、电化学地震仪主要应用在以下几个方面：

- > 国家地震台网，区域地震台网，地方地震台网以及临时地震台网，
- > 流动地震观测，探测深部地质构造，
- > 井中地震观测，
- > 海域地震观测 OBS，
- > 火山监测，
- > 大型建筑健康检查和安全监测，
- > 实验室，高精度加工厂地的振动监测。

4、对比实验结果

俄罗斯对电化学三分量宽频带地震计（120s）与加拿大 Nano 公司制造的 Trillium 三分量宽频带地震仪（120s）进行了广泛的对比试验。试验内容包括将两种地震仪所记录的远震输出结果直接进行对比，以及在无震期间记录的结果进行噪声对比。

试验是在 Patras 大学进行的，Sokos 教授安排了试验工作。图 5 和图 6 是 2017 年 2 月 12 日发生在土耳其西部近海岸的 Mw 5.2 级地震由 120s 电化学地震仪（上半部分）和 120s 的加拿大 Nano 地震仪（下半部分）的记录结果。可见两者的记录图形和谱分析结果非常一致。

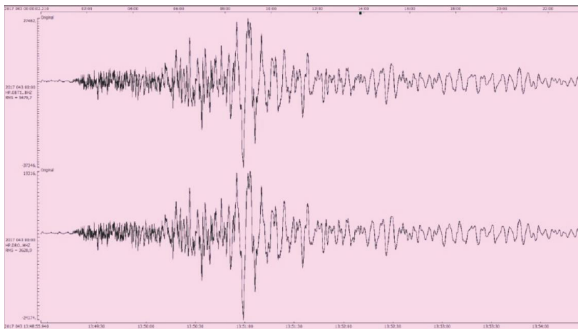


图 5 发生在土耳其西部的 Mw 5.2 级地震事件由 120s 电化学地震仪（上图）和 Trillium120s（下图）的记录图形

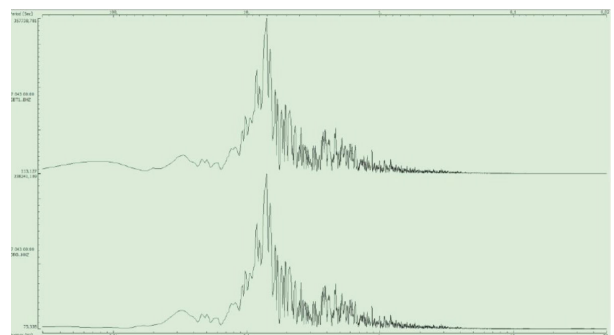


图 6 120s 电化学地震仪（上图）和 Trillium120s（下图）谱分析对比图形

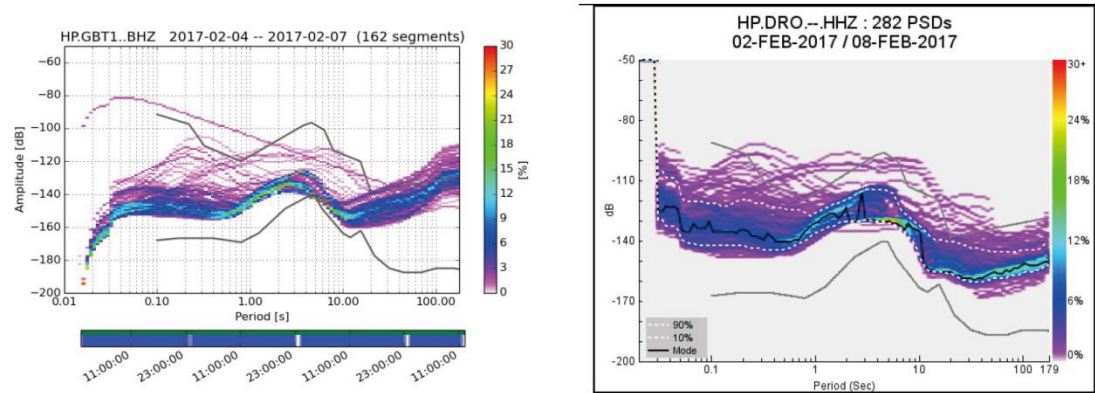


图 7 两种地震仪记录在平静期间观测的噪声谱 左图是 120s 电化学地震仪，右图是 Trillium 120s 地震仪的噪声谱

意大利电化学地震仪技术指标 (1s)

产品名称	Tellus-1s 电化学地震仪
频带宽度	1-100Hz
输出灵敏度	单端：±400V/m/s 差分：±800 V/m/s
动态范围	> 140dB
输出电压范围	±7.5V
电源电压	3-30Vdc
功耗	> 0.12w@12V
外壳尺寸	直径 100mm，高度 70mm
工作温度范围	-20-+70℃
防护等级	IP68
摆锤定中	无需解锁定中

意大利电化学地震仪技术指标 (60s--120s)

产品名称	Tellus Compact 电化学地震仪
频带宽度	30s-50Hz;60s-50Hz;120s-50Hz
输出灵敏度	2000V/m/s
动态范围	150dB
输出电压范围	±20V(40V p-p)
最大安装倾角	±15°
电源电压	3-30VDC

功耗	0.3w-0.12w
外壳尺寸	直径：200mm 高度：220mm
工作温度范围	-40-+55°C
防护等级	IP68
重量	3Kg
摆锤定中	无需解锁定中

意大利数采技术指标

技术参数	ALTAS
输入通道	3, 6 或 9 通道
采样	同时
输入阻抗	90KΩ 或 2MΩ 可选
输入电压	40, 20, 10, 5, 2.5Vpp
传感器兼容	加速度计 (FBA, MEMS) , 地震检波器, 地震计和微气压计
分辨率	24-bit
动态范围	> 136dB@100sps
采样率	25, 50, 100, 200, 250, 500, 1000 sps
最高输出能力	每秒 3 x 1,000 个样本
高级功能	双重采样
输入阻抗	90KΩ 或 2MΩ 可选
数字滤波器	FIR 或 最小相位
附加数字滤波器	高通或低通滤波器
触发模式	STA / LTA 通过网络接口手动触发 阈值独立于每个通道 所有通道上的 AND / OR 配置 触发向网络中的记录器广播
数据格式	MiniSEED
操作系统	Linux
内部存储量	32GB 标准, 可选最高 1TB
环形缓冲区数据记录	连续 16 天或 32 天, 具体取决于内存大小) 以及强震事件
高级功能	定期测量环境噪声和地震后分析
授时源	GNSS 和 NTP

授时系统	高灵敏度集成式 GNSS 接收器
授时精度	在 GNSS 信号丢失的情况下: ± 1 ppm (32 s / 年) GNSS 信号 $< 1\mu\text{s}$ 时的精度
LEDs	Heartbeat, 4G, WiFi, GNSS, 以太网, 电源
按钮	在同一按钮上打开 / 关闭电源以及启用 / 禁用 WiFi
文件传输	通过以太网 10/100, WiFi (可选) 或集成 4G 调制解调器 (可选)
WIFI 模式	SOFT AP 功能
元数据	IRIS 上提供 RESP 文件
数据下载	通过基于 SCP 协议的程序或通过 Web 界面
VPN	与 OpenVPN 和 IPSec 兼容
协议	SEEDLink SeisComP Earthworm Antelope
数据流	地震和健康状况
警报	远程监控服务器的管理
接口	WEB 服务器
控制	远程服务器的连接和管理
更新	远程软件更新 (本地网络或通过互联网)
高级功能	多个单元可以连接到网络 (以太网, wifi 或 4g) 作为一个单一的多通道仪器
电源电压	9-28 V DC
电源功耗	< 2 W (可根据要求提供 < 800 mW)
UPS	备用 LiPO 电池, 自主工作时间 > 33 小时
警报	停电情况下的远程警报管理
工作温度范围	- 40 至 $+85^{\circ}\text{C}$
工作湿度范围	0-100% 相对湿度
外壳	阳极氧化铝外壳 (AISI 316 不锈钢可选) IP67 IP68 可选
尺寸 (长 x 宽 x 高)	17 x 13 x 8 cm
重量	约 2Kg

第三章 新型地震勘探仪和纵、横波可控震源

德国 DMT 公司是 1990 年由近百年历史的三家公司重组而成，其地球物理仪器和勘探分公司主要从事地震勘探仪器研发和生产。其研发的 Summit 勘探地震仪系列在国内已销售近 10000 道（至 2021 年 7 月）。2016 年研发成功的 Summit X One 地震仪是世界上轻便、灵活、分辨率高的地震仪。现在国内已有很多家用户，应用效果佳。DMT 公司共有 8 种地震仪产品，包括三维地震勘探仪，组合型工程地震仪，槽波地震仪和微震监测仪。

一、Summit X One 三维地震勘探仪



图 1 Summit X One 数据采集站



图 2 一人可携带多个数据采集站



图 3 检波器可紧靠数据采集站

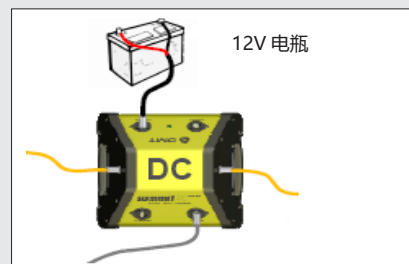


图 4 数据收集单元 DC

1. Summit X One 地震仪特点：

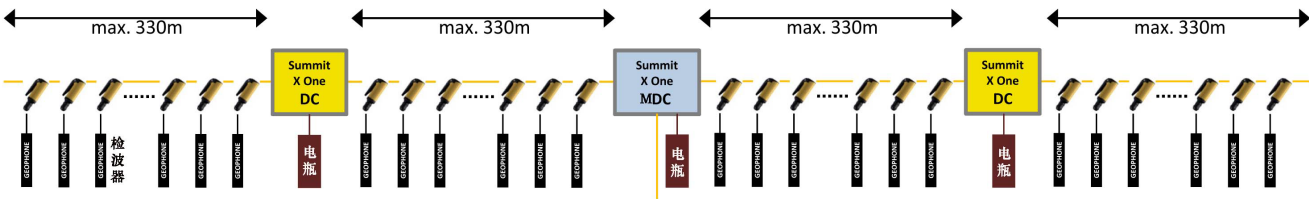
- 1) 是当今世界上轻便的地震仪，单道数据采集站（RU）仅 175g 重（图 1 和图 2），
- 2) 采用独特的 SNAP-on 技术，进站快捷，道间距任意可变的地震仪，
- 3) 检波器紧邻采集站，避免了检波器模拟小线带来的干扰（图 3），
- 4) 数据传输电缆非常轻便、通过 SNAP-on 技术可把数据采集站布置在任何位置上，
- 5) 数据采集站可在线自动定位，无需给主机输入物理地址，无需定位仪，
- 6) 数据采集站（RU），由数据收集单元（DC）控制，每个 DC 单侧可控制 50 个 RU，四个侧面可控制 200 个 RU，DC 兼有数据存储、处理、中继站、触发、供电等多种功能，在三维勘探中还兼有交叉站（DCX）功能，与笔记本电脑 PC 机连接便是主机，所以数据收集单元（DC）具有高的集成度，是当今世界上高集成度、超级功能的数据收集单元，
- 7) 具有高技术指标，可以在复杂的环境下开展二维和三维地震勘探和面波勘探，
- 8) 实时监控数据采集质量，可连接多道 RU 进行连续记录，用于被动源的面波勘探。

2.Summit X One 地震仪技术指标:

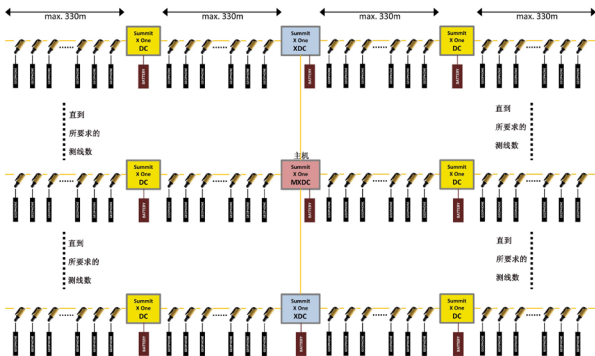
采样率:	1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8ms	数字去假频滤波器:	3dB@0.8Nyquist 频率
道记录长度:	0.5k 直到连续记录	Nyquist 频率抑制:	-120dB
采集站道数:	单道 Snap 连接, 道间距任意可变	带通波纹:	+/-0.05dB
前放增益:	0dB, 20dB, 40dB	内置测试功能:	正弦波 脉冲 仪器噪声 检波器节跃
分辨率:	32 位		
最大输入信号:	±5v		
输入阻抗 (差分方式):	20 千欧姆		
瞬时动态范围:	> 132dB @2ms	系统检测:	电池电压 等效输入噪声 畸变 瞬时动态范围 共模抑制比 道间串音
系统动态范围:	> 145dB		
等效输入噪声:	< 0.2 μv @2ms		
全谐波畸变:	≤ 110dB		
共模抑制:	≥ 100dB	检波器检测:	阻抗 自然频率 噪声 阻尼
增益精度:	1% (所有道之间)		
时间精度:	5ppm (所有道之间)		
重量及尺寸:	175g, 16×7×4cm		
工作温度:	-25℃—+60℃		
湿度范围:	0-95%		
电源:	12/24DCV		

3. Summit X One 地震仪野外观测系统和仪器配置

1) 二维观测系统包括数据采集站 RU，数据收集单元 DC 和主机 MDC (DC+pc 机)。



2) 三维观测系统由 XDC 担当交叉站，主机由 XDC+PC 组成。也可选择独立的触发单元。



4. 独特的主控单元 XDC

DMT 研发的、功能强大的主控单元 XDC 有四个数据接口，可控制 4 条地震测线、200 个数据采集站（道间距 3m），具有数据存储、采集站定位、触发、中继站、质量监控和供电等多种功能，除做为三维排列的中继站和交叉站外，还可以做为 4 线小三维排列的主控单元（图 5），或 4 条交叉测线的主控单元（图 6），或单条测线上 200 个数据采集站的控制单元（图 7），从而使地震排列变得非常简单、便捷，它非常适合工程地震勘探中的应用。

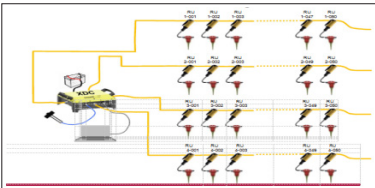


图 5：一个 XDC 控制四线小三维排列，每条测线可连接 50 个数据采集站 RU。

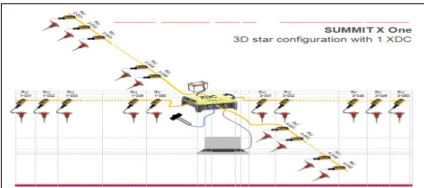


图 6：一个 XDC 控制四条交叉测线，每条测线可连接 50 个数据采集站。

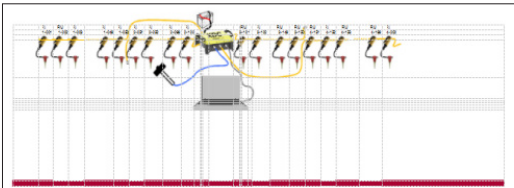


图 7：一个 XDC 可控制单条测线上 200 个数据采集站。

二、组合型工程地震仪

DMT 公司研发和生产三种组合型工程地震仪，它们可用于反射法、折射法、面波勘探、井间 CT、VSP。

1.SUMMIT X Stream Pro 组合型工程地震仪

SUMMIT X Stream Pro 是 24 道组合型工程地震仪，两台串接可组成 48 道地震仪。高清晰度显示屏可实时显示各采集道的技术指标和工作状态，实时监控数据采集质量，是当今高质量的组合型工程地震仪。



采样间隔	1/48,1/32,1/16,1/8,1/4,1/2,1,2,4,8ms	去假频数字滤波器	-3dB@0.8×Nyquist
记录长度	120,000 样点（单炮）	假频抑制	-120dB
前放增益	0dB,20dBor40dB	带通波纹	+/-0.05dB
A/D 转换	24 位	内置测试功能	- 正弦波 - 脉冲 - 仪器噪声 - 检波谐跃
最大输入信号	2.0Volt RMS 5.0Volt 峰 - 峰		
输入阻抗	20kOhm		
瞬时动态范围	=115dB@2ms 采样	技术指标测试	- 电池电压 - 等效输入噪声 - 全谐波畸变 - 瞬时动态范围 - 共模抑制 - 道间串音 - 时间精度
等效输入噪声	< 0.2μV RMS@2ms 采样		
道间串音	=112dB		
全谐波畸变	=0.0008%	检波器测试	- 阻抗 - 阻尼 - 自然频率 - 噪声
共模抑制比	=100dB	辅助道	可编程设置辅助道
电源	+9-18VDC@0.2W/ 道	工作温度	-20℃ ~ +60℃
尺寸	30×24.9×19.6cm	湿度范围	0 ~ 95%
重量	3.8kg	外壳	防水外壳

2. SUMMIT M Stream Pro 陆地拖缆地震仪

SUMMIT M Stream Pro 组合型地震仪连接陆地拖缆检波器，组成陆地拖缆地震仪。“陆地拖缆”由多段 12m 或 24m 的编织段组成，各段之间用扣环连接，重量轻，体积小。P 波和 S 波检波器都可安装在基板上，可手控变换位置。基板在“陆地拖缆”上的位置可以变动。基板和检波器的自重可使检波器与地面紧密耦合。数据传输电缆（大线）沿地震拖缆布置，检波器拾取的地震信号由数据传输电缆传送至地震数据采集单元。在观测过程中“陆地拖缆”利用车辆或其它工具沿观测剖面移动，是城市和公路上地震勘探的优越选择。

- > 可用任何震动源（如小型可控震源或落锤等）作为震源
- > 施工便捷，生产效率高



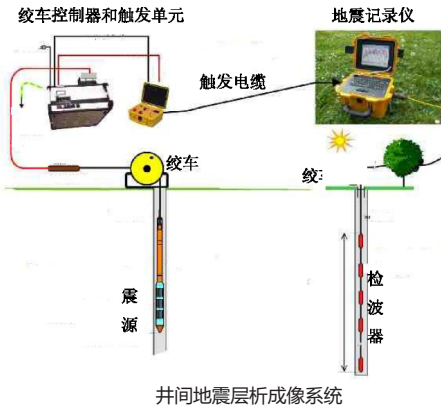
3. SUMMIT II Compact 组合型地震仪

标准型 SUMMIT II Compact 组合型地震仪为 24 道，最多可组成 40（个）×24（道）=960（道）观测系统。每个 24 道地震仪重仅为 6kg。

采样间隔：	1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 1, 4, 8ms	畸变：	≤ 0.0005%
道记录长度：	0.5K, 1.0K, 1.5K,; 120K 动态模式; 40K 动态模式，包括叠加; 60K 可控震源模式; 30K 可控震源模式，包括叠加		
分辨率：	24 位	共模抑制：	≥ 100dB
最大输入信号：	2.0V RMS, 5.6Vpp	增益精度：	1%（所有道之间）
输入阻抗（差分方式）：	20kOhm	时间精度：	5ppm（所有道之间）
内置测试功能：	正弦波，脉冲，仪器噪声，检波器节跃，扫描信号传输，自相关		
系统检测：	电池电压，等效输入噪声，畸变，瞬时动态范围，共模抑制比，道间串音，时间精度		
等效输入噪声：	<0.2μv RMS@2ms 40dB 前放增益	瞬时动态范围：	≥ 120dB
检波器检测：	阻抗，自然频率，噪声，阻尼		
道间串音抑制：	≥ 112dB（道间）	工作温度：	-30℃ ~+80℃

三、井间地震层析成像系统

DMT 井间地震层析成像系统由 24 道 Summit x stream pro 做接收单元，24 道 BHC-4 水听器做检波器，井中火花源或机械源做激发源。井间地震的分辨率和精确度都非常高，如果想确定地基的力学参数，则需要采用井中三分量检波器 8×3，既 8 个 3 分量检波器（10Hz）共 24 道组成一个检波器串，水听器和检波器间距为 1m。如果勘探深度大，则需要绞车控制井下系统，井间距离依赖于震源功率。



四、三分量微震监测仪

SUMMIT M Vipa:

SUMMIT M Vipa 是德国 DMT 公司研发的专供微震和强震监测使用的地震系统，其性价比优。自问世以来，已在全球范围内售出 15000 多道。SUMMIT M Vipa 微动监测系统具有三个振动监测道和一个噪音监测道，将多个单元相连可形成网络监测。

主要特点:

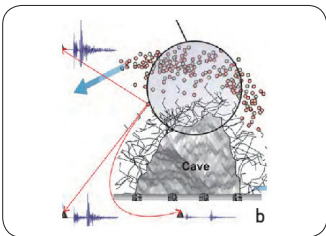
- > 轻便，耐用，易操作，
- > 多个 SUMMIT M Vipa 可以组成局域网监控系统，
- > 基于事件的触发记录或连续记录，
- > 4G 内存，使用外部 USB 端口可以无线扩展，
- > 参数设置多样化（采集站面板上设置或 PC 机上设置），
- > 拥有噪音监控道，
- > 具有灾害报警功能（短信或外接报警器），
- > 无线遥控、无线数据传输（移动网或互联网）。

主要用途:

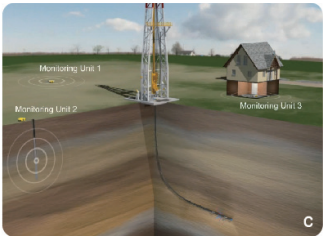
- > 建筑物的安全监测与评估，
- > 隧道超前探测，
- > 水库诱发地震监测，
- > 矿山微地震监测，
- > 桥梁、隧道、地铁和高层建筑物
安全性评价，
- > 页岩气和油气层水压致裂方位和范围监测。



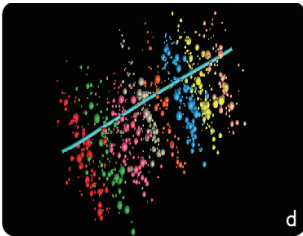
(a) 建筑物结构安全监测



(b) 煤矿微震事件监测图



(c) 煤层气和页岩气水压致裂孔布置



(d) 在水平井段水压致裂后监测到的微震事件。（指示压裂方位和压裂范围）

技术指标:

道数	3 道 (X-, Y-, Z-)，一个辅助道 (AUX)（噪声监测）
采样率	1KHz, 2KHz, 5KHz, 10KHz
频率范围	DC—5KHz
触发模式	针对每一道或所有道的门阀值
A/D 转换	24 位
瞬时动态范围	≥ 113dB@1000Hz 采样率
共模抑制比	≥ 105dB
增益精度	道间 < 1%
内部电池	锂离子，典型寿命 >60 小时
外部供给电池	9~18v 直流，电池充电期间最大 15W
电源	外部直流 9—18V
大小	30×25×12 cm
重量	3.6 Kg

五、VIBSIST 可控震源

VIBROMETRIC 公司成立于 1986 年，总部位于芬兰，并在加拿大设有分公司。VIBROMETRIC 公司是一家专门研发和生产地震可控震源和钻井井中震源的专业公司，其生产的 VIBSIST 可控震源系列享誉世界！它将落锤震源和扫频可控震源两者的优点有机地结合在一起，构成了全新的可控震源系列，包括微型可控震源 VIBSIST-20 和 VIBSIST-50S，中型可控震源 VIBSIST-250 和 VIBSIST-500，以及大型可控震源 VIBSIST-1000 和 VIBSIST-3000，相应的勘探深度为 250 米（硬质地层），250 米，500 米，1000 米，2000 米和 3000 米。由于 VIBSIST 是冲击点震源，冲击角度可变，所以既可激发 P 波，也可激发 S 波和面波。VIBSIST 震源高频特性好，冲击能量可积累，产生最大的功率输出。

1.VIBSIST-50S 小型震源

应用领域：

- > 隧道超前预测
- > 工程勘探
- > 路基检测
- > 溶洞探测
- > 大坝内部病害检测
- > 浇筑体内部检测
- > 浅层地下水勘探
- > 勘探深度 250m

技术指标：

- > 电源：230V/50Hz
- > 最大电流：12-25A
- > 重复率：每秒 1-5 次冲击，程控
- > 冲击能量：70 焦耳 / 每冲击
- > 频带：20-1500Hz
- > 程控震动特点：PC 控制或预置
- > 振动时间调整：2.5-30 秒
- > 控制器：30*12*6cm，重 2kg
- > 冲击锤：长 76cm，手柄间隔 60cm，重 48kg
- > 冲击推杆：长 30cm，重 3.8kg
- > 压力板：60*55*40cm，重 10kg
- > 按地耦合板：重 3 kg（硬性），1.5kg（软性）



2.VIBSIST-500 中型可控震源

VIBSIST-500 可应用在详细的地面地震调查、井中地震调查和井下地震调查，勘探深度 1000m。

VIBSIST-500 中型可控震源技术指标：

- > 冲击能量：300—500 焦耳 / 一次冲击
- > 冲击率：10—20 次 / 秒
- > 扫描编程特点：由操作员设置或预置
- > 扫描时间调整：2.5 秒—30 秒
- > 控制：按启动按钮
- > 冲击锤：液压冲击
- > 冲击底板：铜和铝三明治式，尺寸 500mm×500mm
- > 液压控制器：
 - 油箱 20 升
 - 压力 150 巴
 - 最大流量 55 升 / 分钟
- > 总重量 1500kg
- > 尺寸：长 1.4m，宽 0.8m，高 1.5m



3.VIBSIST-3000 大型可控震源

VIBSIST-3000 大型可控震源主要特点：

- > 勘探深度可达 3000m
- > 有效的反射震源
- > 产生聚焦压缩波速
- > 高生产率
- > 高分辨率
- > 牢固、方便移动
- > 环境友好型

VIBSIST-3000 大型可控震源应用领域：

- > 2D 和 3D 反射地震和折射地震
- > 石油天然气勘探
- > 多偏移、多方位 VSP

VIBSIST3000 是一种多次冲击、时间分布式震源。它应用安装在四轮触动 / 四轮转向操作越野车的液压冲击锤。越野车具有高灵活性和 3.7m 的旋转半径，在普通公路上的行驶速度为 40Km/ 小时，爬坡能力 30°。



第四章

超低频大地电磁仪 LEMI-424

数字记录器 DL 主要特点：

- > 高分辨率和高精度

> 噪音低

> 低功耗

> 8GB SD 卡

> 卫星同步

> 带触摸屏的图形显示
- > 4 个电道和 4 个磁通道

> 非常低的时间和热漂移

> USB 输出

> 防水塑料外壳

> 可选两种型号的防雷装置

超低频大地电磁测深台 LEMI—424 由数据记录器 (DL) 和模拟磁力计 (AM) 两部分组成。分别用于接收磁场和电场的模拟信号, 进行超长周期大地电磁场测量, 模拟信号数字化和存储。对于电通道而言, 主要关注的是热稳定性, 时间稳定性, 高输入阻抗和低漂移。输入级未设高通滤波器, 以便超长周期信号 (高达 100.000 秒) 通过。防雷装置 (图左下) 可以防止电场部分被雷击放电。建议使用专门开发的极低噪声 LEMI — 701 电极 (在下图右上角), 但也可以使用任何其他类型的不极化电极。



超低频大地电磁仪组成

数据记录器 DL 主要技术参数：

频带	DC-0.5 Hz
测量范围	±2450 mV
分辨率 (ADC 32bit)	2 nV
采样率	1 per s
SD card	8 GB
数字输出和控制	USB
GPS 定时, 坐标和高程确定 (天线电缆长度 3 米)	
工作温度	-20 to +60° C
电源	(5-20) V
功耗	<0.35 W
重量: 电子单元	2.0 kg
雷击保护单元	1.1 kg

第五章

三维高密度电法仪



1、RESECS II主要特点有：

- 1) 可进行多参数测量，包括实时计算和显示视电阻伪断面，计算复视电阻率和 IP，监视地下电阻率随时间的变化等，
- 2) 可进行地面测量、井中测量、水域测量和联合测量，
- 3) 8 通道主机，最多可以做到 8×128 道的 8 个通道同时测量的三维观测模式，
- 4) 分布式电缆，一条 8 芯的电缆可以最多能够连接 960 道电极，
- 5) 通过 windows 操作系统来控制整个观测系统，界面友好，操作灵活，
- 6) 多达近 20 种观测装置和三维观测装置，用户还可以自定义观测装置，
- 7) 发射电流与测量电位的波形实时显示，方便操作员根据实时的波形找到最佳的供电电压已及最优的供电时间、采集延时、积分时间等参数，
- 8) 可实时显示电位观测精度和实效电极位置，对观测质量进行实时监控，
- 9) 网络化监测模式，远程观测地下电阻率随时间变化，进行带时间维度的反演计算。

2. RESES II 主要技术指标：

RESECS II 三维高密度电法仪主要技术指标	
测量模式	视电阻率、极化率（最大 6 窗口）、自然电位、复视电阻率、相位差、方差等
测量范围	+/- 10Vp-p
分辨率	≤ 30nV
显示屏	12.1 “TFT” ， 1024×768 分辨率
操作系统	MS Windows 7 Pro

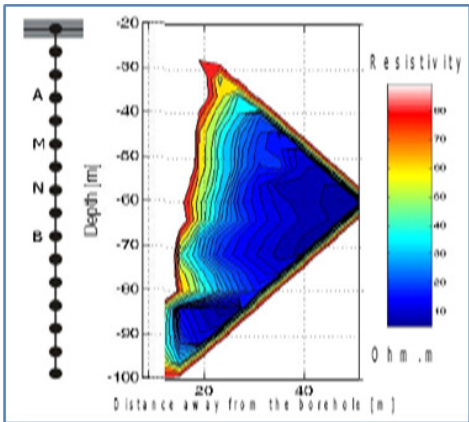
输出电流	最大 2.5A
输出电压	内置最大 800Vp-p (100W) ， 外置最大 880Vp-p (250W)
增益范围	自动或用户自定义
输入通道数	1 或 8 道
输入阻抗	100M
发射周期	128ms~8192ms 可自由选择
自然电位补偿	自动补偿
噪声压制	f>120Hz 时, > 100dB; 工业频率 > 120dB
测量精度	优于 1%
存储能力	60GB (可扩展) 固态硬盘
数据传输	通过 USB 接口或以太网接口传输数据
用户操作	采用防水键盘或鼠标进行操控
工作温度	-20—50℃
野外电源	12V 或 2 个 12V 外接电源, 12V,65Ah 的汽车电瓶最多可以用于 10 小时测量
电缆	8 芯, 直径 10mm
主机重量	12Kg
尺寸	400mm×300mm×320mm

以 RESECS II 高密度电法仪为基础，配以井中电缆和编码器盒便可组成井中高密度电法仪，包括单井观测装置和对井观测装置。

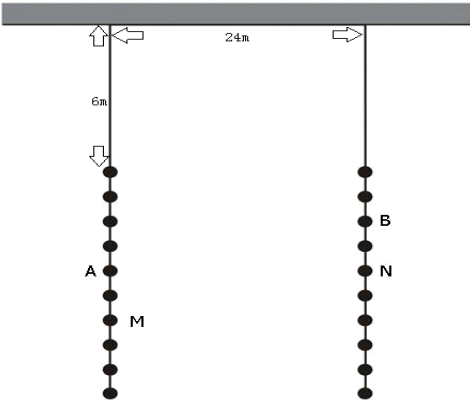
3. 井中高密度电法仪

在地面高密度电法仪基础上，只需增加井中电极电缆和编码器便可进行井中观测

- 1) 单井观测
- 2) 对井观测



单井观测装置示意图及 VRP 视电阻率伪断面图



对井供电方式示意图

第六章 大地电导率仪

加拿大 Geonics 公司研发的大地电导率仪系列，是专门用于快速获取近地表的电导率，电性结构和磁化率分布的仪器，在各种工程勘探，地下水勘探和地下环境勘探中均得到广泛应用。根据勘探深度不同 Geonics 公司的大地电导率仪有五种型号，它们是：

- > EM34-3 探测深度 60m
- > EM34-3XL 有更大的偶极距和更强的抑制环境噪声能力，探测深度 60m
- > EM31-MK2 探测深度 6m
- > EM31-SH 探测深度 4m
- > EM38-MK2 探测深度 1.5m



EM31-MK2 大地电导率仪



EM34-3 大地电导率仪



EM34-3 大地电导率仪

Geonics 大地电导率的主要特点有：

1. 有垂直偶极和水平偶极两种发射和接收方式，对地下电性和磁化率的垂向变化和横向变化具有很高的分辨率，
2. 可现场实时获得观测结果，
3. 噪声低，精度高，
4. 非常轻便，1 人或 2 人操作。

EM31-MK2 技术指标：

测量内容	视电导率 (mS/m)；二次和一次磁场响应比
内部线圈距离和工作频率	3.66&9.8kHz
测量范围	电导率 10、100/1000mS/m；同相位 ± 20 ppt
分辨率	满量程 $\pm 0.1\%$
测量精度	20mS/m 时 $\pm 5\%$
噪声水平	视电导率, 0.1mS/m; 同相位 0.03ppt
存储空间	512MB, 可使用 SD 卡或 CF 卡
工作温度	设备 -40 °C to +50 °C；野外计算机, -30°C to +55°C
规格尺寸	长度 4m
重量	12.4kg; 含运输箱: 28kg

EM34-3/3XL 技术指标：

测量内容	视电导率 (mS/m)
线圈距离和工作频率	10 m & 6.4 kHz；20 m & 1.6 kHz；40m&0.4kHz
电导率测量范围	10ms, 100ms, 1000ms/m
噪声水平	0.2ms/m
分辨率	满量程 $\pm 0.1\%$ 测量精度: 20mS/m 时 $\pm 5\%$
工作温度	-40°C to +50°C
规格尺寸	接收控制器 19×13.5×26cm； 发射控制器 15.5×8×26cm 接收和发射线圈直径 63cm； EM34-3XL 直径 100cm
重量	20.5kg, XL: 26.5kg; 运输箱: 43kg, XL: 51kg

第七章

10m 和 100m 探深地质雷达

瑞典研发和生产地质雷达的专业公司 Rader team，采用多项先进技术研发成功 100m 穿透深度的新型地质雷达 Cobra Plug-in，10m 探测深度高分辨率的 Cobra Wifi 和无人机地质雷达。

Cobra Plug-In 探地雷达能够对不同目标体的内部结构进行成像，它由插入式地质雷达单元，SE 型天线和控制单元 PDA 组成，PDA 包含 GPS 定位和数据后处理及存储功能。Plug-in 采用实时采样技术和独有的半屏蔽技术，在环境电磁噪声比较严重的城市地区，也能获得可靠的探测结果。

COBRA PLUG-IN 地质雷达—技术指标			
动态范围	192 dB (32 bit)		
发射机输出	40 V		
时间范围	0-1,600 ns		
最大勘探深度	120 m (RDP=4)		
采样间隔	3,125 ns (320 MHz)		
脉冲重复频率	156 kHz		
叠加次数	32,000 次叠加 / 秒，信噪比增加 45 dB		
电源	集成式 11.1 V/ 6.6 Ah, 73 Wh 锂离子电池		
充电器	Mascot 2241 3-cell Li-Ion		
充电后电池工作时间	可连续应用 16 个小时		
尺寸	190 x 140 x 80 mm (长 x 宽 x 高)		
重量	1 kg (包括电池)		
COBRA PLUG-IN 天线 SUBECHO MODELS	Model SE-40	Model SE-40 Model SE-70	Model SE-150
带宽 (MHz)	15-105 (90 MHz)	20-140 (120 MHz)	20-280 (260 MHz)
中心频率 @ $\xi_r=9$ (MHz)	52	80	124
BW/CF- 比 (%)	173	150	210
垂直分辨率 @ $\xi_r=9(\lambda/4)$	48 cm	31 cm	21 cm
水平分辨率 @depth= λ	141 cm	88 cm	59 cm
尺寸 (L x W x H)	200 x 15 x 21 cm	139 x 15 x 21 cm	92 x 22 x 22 cm
重量 (kg)	4.7	3.7	3.5



独特优点:

- > 尖端技术：实时采样，高信噪比，100m 大穿透深度
- > 收发一体天线：抗干扰性能优于传统的收发分置天线
- > 机载和空气耦合：既或在无法通过的地形区也容易操作
- > 特性：相对传统地质雷达，动态范围增加 45dB
- > GPR：与我们所有的低频 SE 天线匹配，低频天线 40MHz，宽带 15-90MHz，有较好屏蔽效果，在大城市可取得清晰的探测结果
- > 牢固的手持控制单位：包括 DGPS 高精度差分全球定位系统
- > 无线蓝牙技术操作：无线通讯
- > 低功耗：一次充电可工作 16 小时
- > 紧凑、轻便：整个系统重 7 kg
- > 低发射输出：40V
- > 快速数据处理软件
- > 0-100m 大穿透深度

第八章 3D 钻孔地质雷达



TISA 3D 钻孔雷达

TISA 三维钻孔雷达是一种对钻孔周围进行高分辨率三维成像的地球物理技术。应用于单个钻孔中，该技术将 GPR 的所有优点集成一台设备：具有方向信息的高分辨率数据采集，穿透范围可达钻孔周围 15 米，三维成像，高精度探测油气层厚度变化，储量分布，油水界面。

TISA 3D 是一项突破性技术，它是一个允许在更深的深度，非常高的精度和困难条件下进行雷达测量的工具。T & A 负责系统设计、工程、运行和处理软件以及测试。分包商 TNO-D & V（国防与安全）开发了井下雷达探头。

分两期研发

TISA 三维钻孔雷达的发展分为两个阶段。第一阶段，在 100 米深的钻孔中探测金属物体的 TISA3D 原型的开发已于 2019 年 12 月成功完成并进行了测试。

现在，T & A 将进入第 2 阶段：开发全套服务工具，用于深度达 4000 米的钻孔，用于油气藏表征。

TISA 3D 技术的优势

每种地球物理方法都有其适用范围和勘探效果。TISA 3D 技术相对于现有的工具和方法有以下优势：

> TISA 的 3D 成像可达 15 米，分辨率为 0.02-2.0 米，取决于天线类型。在高电阻率条件中，如纯盐体，雷达信号实际上能穿透数百米。

- > 可扩展性—由于其模块化特性设计，TISA 3D 工具的各个部分可以根据目标钻孔的分辨率和距离灵活互换。
- > 与其他钻孔工具相比，TISA 3D 测量的 3 维特性为目标增加了额外的维度，裂缝及其网络与流经裂缝的流体和蒸汽 / 水锋面一起成像。
- > TISA 3D 技术不依赖于特定类型的钻井液（水基、油基或合成钻井液），可以实测地层中的泥浆侵入程度。该设备在高压和高温条件下的坚硬程度可与其他钻孔工具相媲美。雷达测量不受高压和振动引起的机械噪声的影响。

测量原理

在测量过程中，TISA 3D 的发射天线从钻孔向地下发射电磁波。当发射的电磁波遇到电性差异（由物性或地质边界引起）时，一部分反射波将被同一钻孔的接收天线所接收。波的其余部分进一步远离钻孔传播，并在下一个反射界面反射。通过旋转天线系统并在钻孔中垂直移动 TISA 3D 系统，绘制地下连续的 3 维图像。

配置

TISA 3D 钻孔雷达包括以下部分：

1. 定位单元
2. 天线系统
3. 数据传输线
4. 操作与处理软件

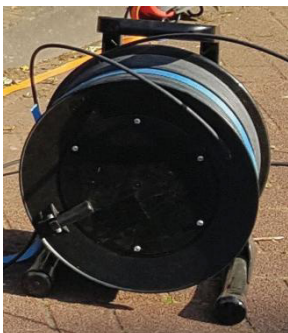


TISA 3D 系统是通过一个非金属套管和可选的充水钻孔进行提拉。

定位单元包括控制单元、控制天线模块旋转的电动机和几个传感器，以确定系统在钻孔中的位置。传感器包括方向传感器，导航传感器和角度编码器。定位单元和天线模块安装在管内，以保护其免受机械和钻孔的影响。

天线模块（右）是封闭的，并在 TISA 3D 系统内旋转。里面有两个定向天线，天线后面的反射器提供天线的方向灵敏度和能量束。

控制单元、发射机电子单元和接收机电子单元位于天线模块外部。记录的模拟数据通过快速的 A/D 转换器进行数字化处理。

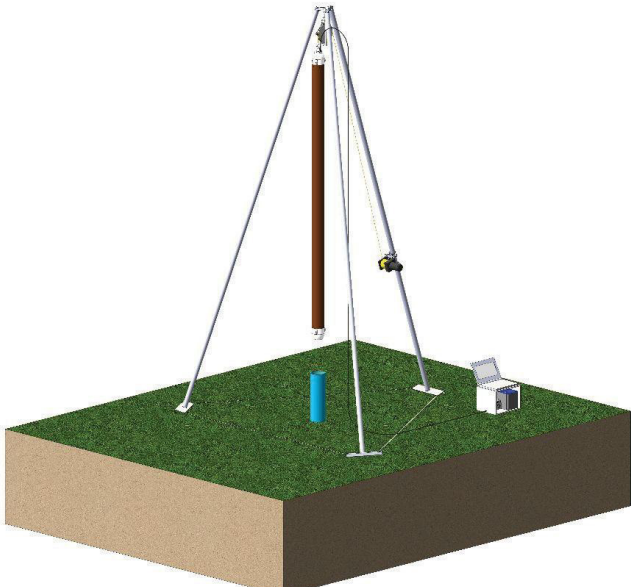


TISA 3D 钻孔雷达通过光纤电缆（左）连接到地面，从而可以在不干扰雷达信号的情况下进行高速数据传输。在地面上，数据被存储和处理，从而形成钻孔周围的 3D 图像。



配件：

- 三脚架
- 绞车
- 地面设备 (12V 直流电池、计算机和深度测量系统)



长度	3.1m
直径	135 mm
重量	50 kg
信号源	正弦扫频 (6 dBm)
中心频率	100 MHz
采样频率	156,25 kHz
带宽	225 MHz
动态范围	130 dB
平均穿透深度	5-15 m
平均角度精度	1-30 度
平均轴向精度	1–30cm
分辨率	在 5 米深度时可以检测到 10cm 目标体
电导率范围	20 mS/m @ 100MHz 及更低的 gg
天线设置	双基频 (双天线)
天线类型	屏蔽天线 (定向)
工作温度	0 ° C - 60 ° C
最高压力	4 bar (垂直充水钻孔 30 米)
平均功耗	12 W
材质	复合材料

T & A Suvey 制定了持续改进产品的政策。 TISA 3D BHR 的未来系列将更小，并包括扩展的温度和压力范围。

应用：油气储层状态

TISA 3D 钻孔雷达技术是对现有油气勘探和生产测井技术的一种有力补充。更准确的评估钻孔周围 15m 范围内储层厚度变化，含油气情况以及油水界面等储层状态和生产风险并改善储层管理。地面系统通常没有足够的穿透力或分辨率，无法清晰显示油气藏。目前，尚无其他技术能够三维地绘制钻孔周围的油气藏状态。

TISA 3D 将是第一个能够从钻孔周围采集高分辨率数据的技术，而不仅仅是从直接井壁采集数据。

TISA 3D 在勘探与开发中的主要应用

1. 测井工具：在勘探中，TISA 3D 可用作电磁波来检测地层的电性的工具。
2. 地质导向：在薄油层，遵循特定的钻探路径是至关重要的，TISA 3D 可以提供信息来引导钻进。也可测量储层顶部和底部的距离。
3. 监控：在使用水或蒸汽驱动的生产阶段，TISA 3D 非常适合监控蒸汽 / 水锋的移动。

探测范围：

基于平均油藏物性，TISA 3D 系统在油藏中的探测范围为 5 至 10 米（请参见表）。探测范围随电阻率的增加而增大。在理想情况下，可以达到 15 米的穿透范围。

储层	介电常数	电阻率 [Ohm-m]
含油的	10	50
含水的	20	2
T = 120° C and p = 300,000 hPa		

优势

- > 高分辨率信息和钻孔周围成像
- > 缩小地面地震和测井之间的差距
- > 允许雷达在更大的深度和困难的情况下进行测量
- > 多功能性：效率高，成本低
- > 监控油存在的动态部分（蒸汽 / 水锋和油存在 / 移位）
- > 测量油存在的静态部分
- > 测量期间无机械噪声干扰。

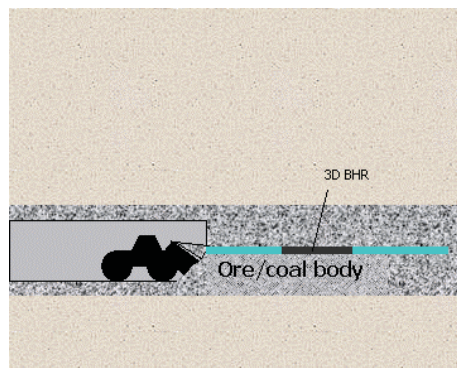
应用：矿业

采矿就是要知道地下详细的地质信息。没有进行地下测量，就不可能确定矿体的位置、确定可开采储量以及设计矿山开采计划。

石油工业中使用的地球物理方法（如三维地震技术）已在采矿工业中得到改进和广泛应用，为矿山勘探带来了巨大的效益。无论这些方法多么有用，它们都无法与 TISA 3D 钻孔雷达相比，后者能够高分辨率显示地下不同物性的差异。

TISA 3D 在采矿中的应用

1. 检测横向和纵向不均匀性
2. 空洞、断层和断裂带的探测
3. 定位矿体
4. 确定可采储量
5. 设计采矿计划



优势

勘探：

- > 高分辨率数据：微小的变化可以非常精确地被检测。
- > 定向数据：获得钻孔周围地质情况的三维图像。
- > 探测范围可达 20 米。

生产：

- > 监测潜在的采矿问题。
- > 发现因塌方和冲击波造成的潜在危险区域。
- > 在计划的矿山开采之前，发现诸如含水裂隙危险构造。

应用：地热

为了使地热项目取得成功，研究开采地点地下的地质结构和地层学是很重要的。地质研究的目标是绘制深层地下热水储量或含水层。在决定是否可以成功地和经济地开发地热之前，需要非常准确地估算地下水储量。

TISA 3D 在地热勘探中的应用

1. 确定含水层的位置和尺寸
2. 确定在含水层的顶部是否有不透水的涂层
3. 探测裂缝和断裂。



优势

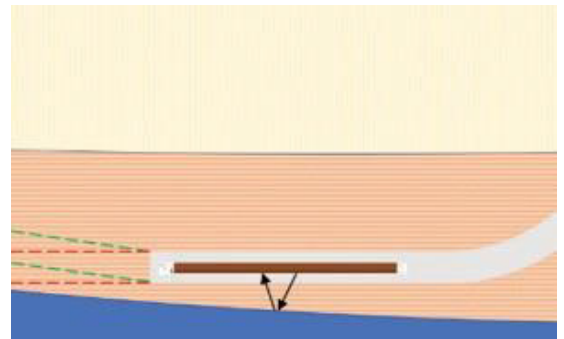
- > 可应用于地层垂直和水平钻孔，探测不同岩石类型之间的微小变化，探测和圈定岩洞、断层和裂缝。
- > 提供有趣的 3D 定位功能。
- > 提供高精度的数据。
- > 与其他地球物理勘测方法相比，具有较大的探测范围。

应用：岩土测量

多年后，地基结构（混凝土桩、板桩和地基）的确切位置往往变的不清楚，需要重新确定。地下结构的岩土工程研究旨在确定结构的确切位置和尺寸或检查有可能的损坏或腐蚀。从地面进行研究往往很困难，因为建筑物太深或建筑物非常密集。TISA 3D 可以提供解决方案。

导向钻井

导向钻井是铺设地下电缆的一项新技术。作为挖沟的替代方法，这是一种经济有效的方法。对周围环境的破坏较小。随着浅层地下电缆和其他目标体的数量增加，对钻探路径的探测需求越来越大。作为地面测量的一种替代方法，高分辨率定向钻孔雷达可以集成在钻井过程中，提前探测钻井路径。



优势

- > TISA 3D 更接近地下目标体
- > 不受覆盖层的影响
- > 获取的图像分辨率更高
- > 无需考虑地面结构的限制，钻孔可以是任意角度甚至水平方向钻孔。

测定：喷射灌浆柱直径的确定

喷射灌浆用于加固土壤来降低大型地面结构沉降的风险。喷射灌浆柱的直径大小取决于注入压力和土壤条件。直径是一个需要量化的重要性能指标，尤其是当多根灌浆柱连接形成地下混凝土板时。目前还没有很好的测量的技术来计算注入灌浆柱的直径。在基础应用中很难断定喷射浆基础是否提供足够的稳定性。

TISA 3D 在喷射灌浆中的应用

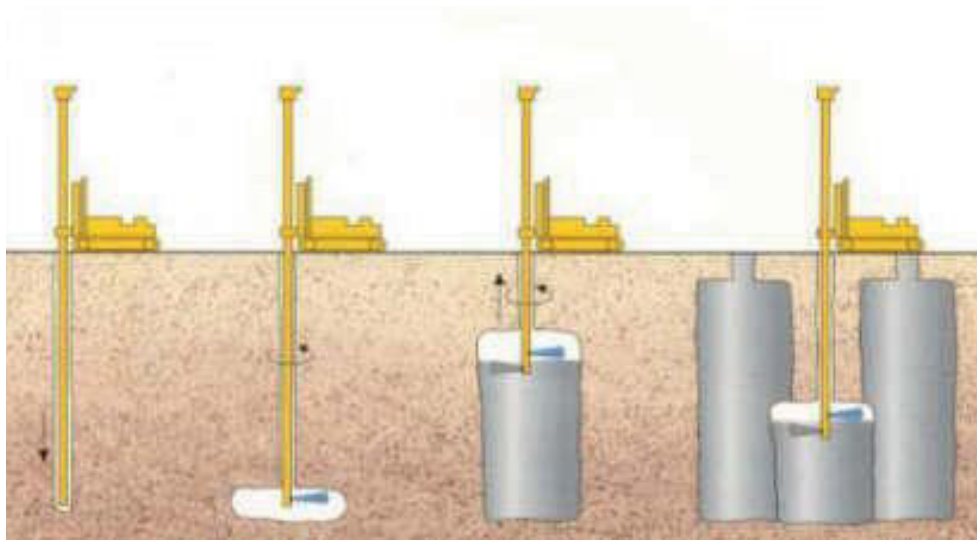
将 TISA 三维钻孔雷达技术集成到喷注枪中，可在现场确定柱的直径。灌浆柱与承载介质之间的边界是入射雷达波的良好反射面。

由于 TISA 3D 方法的分辨率，可以非常精确地测量灌浆柱的直径，以下两种方法可将 TISA 3D 应用于喷射灌浆过程中：

1. 在高压注浆系统中集成了 TISA3D 系统。在施工过程中，雷达位于注射点下方，灌浆柱直径是从柱内测量的。注入的过程中可以调节注入的压力。
2. 在灌浆柱附近钻一个孔可以使 TISA 3D 测量从该钻孔到柱边缘的距离。

优势

- > 由于具有高分辨率 TISA 3D 可以非常精确地测量喷射浆柱的直径。



应用：隧道轨道勘探

任何隧道工程都必须全面调查地质条件。此外，遇到不可预见的地质条件、物体或异常情况可能在时间和成本方面花费巨大。TISA 三维钻孔雷达技术不断收集有关障碍物和地质变化过渡带的详细信息。

TISA 3D 技术在隧道轨道勘探中的应用

TISA 3D 安装在直径约 20 厘米的水平钻孔中，并沿设计的轨迹钻取。测量钻孔周围的全部地质环境。旋转 360 度，通过特殊专有软件从各个角度采集和处理数据。处理后，将原始探地雷达数据与同时采集的定位数据相结合，提供有意义的采集数据。

优势

- > 更好的分析：可以提前勘探完整的隧道轨迹，确定断层的准确位置。
- > 更有效地利用 TBM：在钻井过程中可以获得更多相关信息，可以进行更精确的决策。
- > 可以避免重大的技术和财力风险。
- > 加强隧道施工的安全性。



应用：检测未爆弹药（UXO）

由于未爆炸物埋藏太深，从地面探测二战未爆弹药（UXO）通常不可行。当从飞机上投下的炸弹未在地表爆炸时，它会穿透上层的软土层和粘土层，停留在第一个稳定的沙层。在荷兰，这一层可以位于地表以下 10 多米的深处。由于分辨率问题，在这种情况下，从地表探测是不可行的。要解决这个问题需要从钻孔中进行测量。传统的测量方法是用磁力仪来完成的。

TISA 3D 在 UXO 检测中的应用

含有大量金属的未爆炸弹药与周围土壤具有强烈的电性差异。因此，这些目标体是非常好的雷达波反射物。在 TISA 3D 钻孔雷达测量中，在调查区域外的安全区域内钻孔。当确定该钻孔周围区域是安全的，下一次将在靠近调查区域的相邻位置进行测量。通过这种方式，整个区域都能探测到深层未爆炸物。

优势

> 5-15 米的大探测范围大大减少了钻孔数量。与磁力仪法相比，即使只有 5 米的探测范围，所需的钻孔数量也减少了 25 倍。

> 由于雷达方法的本身特性并结合 TISA3D 发射方向的模式，定位精度非常高。



实例 1: 水中测试案例

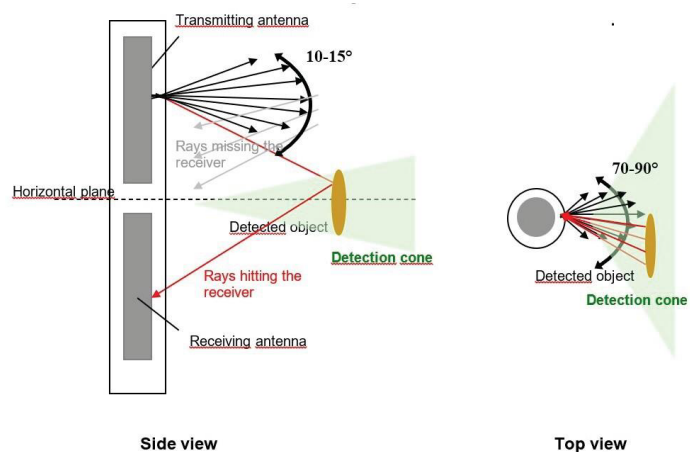
测试目标和情况

在水中进行的第一次测试是为了校准 TISA 3D 系统。本次测试是在 TNO 防御和安全实验室的水池里完成的。在距雷达系统 1.5 米的距离、2 米的水深和磁北 270 度的角度下悬挂一个铁气瓶。

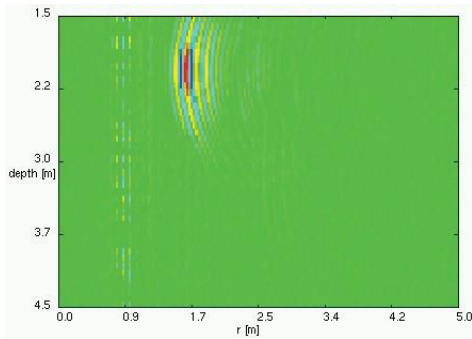
辐射图

TISA 3D 垂直放置在水池中。这样发射的信号沿水平面传播。如右图所示，TISA 3D 的天线系统是旋转的，由于是一个定向装置，发射的信号在水平面内有一个角运动。在垂直方向和角（水平方向）方向上，信号不是单向传播的，而是以一束方向传播的。该束在垂直方向上的宽度为 10-15 度，在角度方向上的宽度为 70-90 度。这两个束组合在一起形成探测锥。发射信号的能量密度在圆锥体的中间最强。因此，在测量数据中，对象在一定角度和深度范围内可见，而不是在一个角度 / 深度位置可见。

需注意，由于使用了单独的发射和接收天线，探测锥从距离天线很小的径向距离处开始。



测量结果

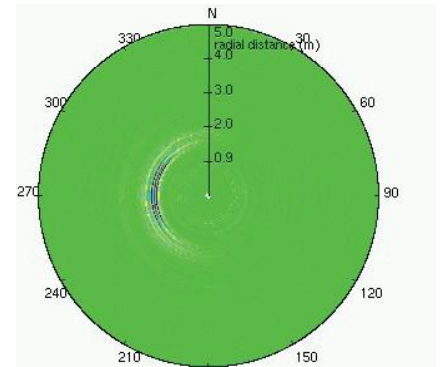


左边的图显示了气瓶测量的垂直角度扫描。所有垂直角度扫描的数据都具有相同的测量角度。x 轴表示距离 TISA 3D 的径向距离，y 轴表示水深度。使用水的相对介电常数将测量时间转换径向距离。

上图显示圆柱体在水深 2 米以下和距 TISA 3D 1.5 米的径向距离的反射结果。在垂直方向，可以看到与地面探地雷达的特点相同的双曲线反射模式，当 TISA 3D 垂直提升并且通过目标体时，目标体和 TISA 3D 之间的距离先是减小，然后又增大。

右图显示了相同测量的水平深度扫描。水平深度扫描中的所有数据具有相同的测量深度，在这种情况下为水面以下 2 米。径向轴是距 TISA 3D 的径向距离，而角轴是相对于磁北的角度。该图显示了相对于磁北的 270 度角和距 TISA 3D 径向距离为 1.5 米的圆柱体反射，证明了该系统具有出色的方向性。

在水平深度扫描中看不到双曲线反射模式。这是因为随着 TISA 3D 旋转并水平通过目标体，目标体与 TISA 3D 之间的距离保持恒定。但是，变化的是辐射波的强度。随着天线辐射束水平穿过目标体时会增加然后减少。这导致了在图中可以看到的一种“香蕉图案”。目标体位于此图案的中间。



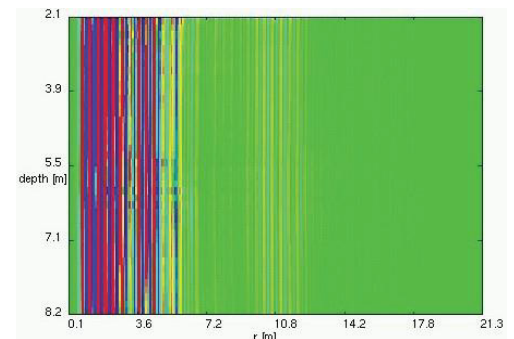
实例 2: 土壤测试案例

测试目标和情况

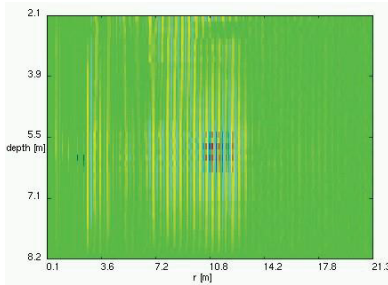
在此测试中，将 TISA 3D 放在一个钻孔中，将直径 10cm，高 30cm 的铁筒放置在 6 米深、9 米径向距离和磁北 345 度角另一个钻孔中。土壤是由均质的沙子组成，地表以下半米左右水是饱和的，电导率低。

测量结果

右图显示了测得的原始数据。未做任何处理。该图显示了测量数据的垂直角度扫描。垂直角度扫描中的所有数据都具有相同的测量角度。x 轴是距 TISA 3D 的径向距离，y 轴是地表以下的深度。使用土壤的相对介电常数将测量时间转换径向距离。



距离近时振幅大，对应的时间很短，为直达波。这是直接从发射机到接收机天线的（未反射）信号。在未处理的数据中不能看到该目标体。

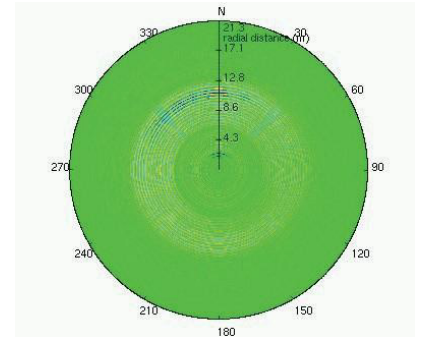


左边的图形显示了处理后对铁筒的垂直角度扫描。直达波被消除，圆柱体的反射现在出现在地下 6 米深处，距离 TISA 3D 的径向距离为 9 米，这是目标体的准确位置！

右图显示了同一测量的水平深度扫描。在水平深度扫描中，所有的数据都具有相同的测量深度，在这种情况下是在地表以下 6 米。径向轴是到 TISA 3D 的径向距离，角轴是与磁北的角度。图中显示铁筒以 345 度角和距离 TISA 3D 9 米的径向距离进行的反射，这也是目标体的准确位置！

虽然铁筒物体的直径只有 10 厘米，该目标体在 345 度角度最强的反射波，同时在大约 300 到 30 度的范围内也会出现较强的反射波，这是因为 TISA 3D 发送的信号束的宽度为 70 到 90 度，发射信号的能量密度在该束的中间最强。

该测试案例证明了 TISA 3D 在方向性和准确性方面的出色性能，不仅在实验室环境下，而且在地下土壤调查的真实案例中也是如此。表明该系统能够检测到距单个井眼 9 米处的目标体的精确位置，这是探地雷达勘测史无前例的结果。



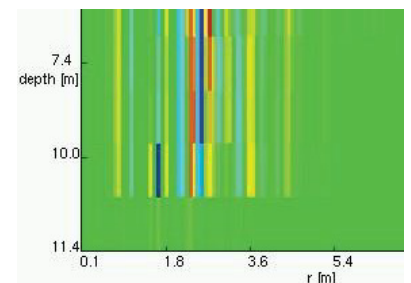
资料 3: 板桩墙

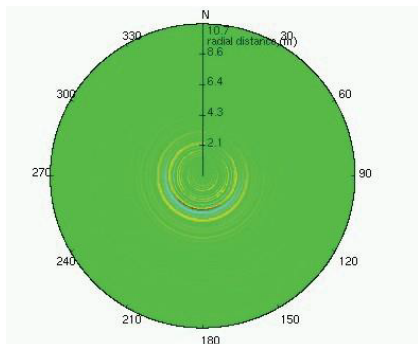
调查目的及情况

在这项调查中，目的是检测地下土壤中的板桩金属墙。测量是在 15 米深的 PVC 套管钻孔中进行的。局部由泥炭质（从地表直至 6 米深度）组成，在其下方则由沙子组成。金属墙位于距 TISA 3D 水平 2.8 米处，深度为 10 米。地下水位非常接近地表。饱和水的土层的导电性很高。

测量结果

右边的图显示了测量的垂直角度扫描。扫描中的所有数据具有相同的测量角度。x 轴表示钻孔的径向距离，y 轴表示的深度。利用土壤的相对介电常数将测量时间换算成径向距离图中显示了数据处理后的结果。可以看到金属墙的反射，深度约为 10 米，距离 TISA 3D 2.5 米。





左边的图显示了相同测量值的水平深度扫描。此扫描中的所有数据都具有相同的测量深度，在这种情况下，在地表以下 8 米处，径向轴是距 TISA 3D 的径向距离，角轴是相对于磁北的角度。图中显示墙体以 200 度角，径向距离为 2.5 米的测量结果。

资料 4: 探测未爆炸物

测量目的及情况

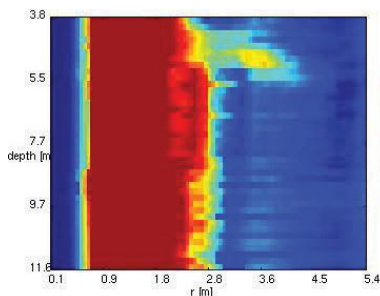
调查目的是确定在钻探过程中遇到的目标体是否可能是第二次世界大战期间的常规爆炸物。在钻井过程中，一个目标体在 8 米的深度被钻到，导致钻杆断裂。由于该地区的历史，不能排除爆炸物或地下掩体的存在。为了减少钻井作业中的风险，在钻孔位置进行了 TISA 3D 测量。这次调查的目的是确定目标的尺寸，以及它是否属于较大结构（地堡）的一部分。



测量结果

测量结果表明，该物体不是较大结构的一部分。

调查还显示，该物体位于 5 米深的地方。结论后来被磁力仪测量证实。



左边的图显示了数据在 2.8 度角处的垂直横截面。显示数据的绝对值，数据的波形已被移除。目标体在 5 米深度和 3.5 米径向距离处用黄色表示。小的径向距离处的红色表示发射机和接收机天线之间的直达波。

操作信息

设备

现场工作人员需要在钻孔附近有一个约 40 平方米的平坦地面进行拆包和安装设备。电脑和显示器需要有遮雨和防污的设施，可以是遮雨棚或者货车。两名操作员安装设备大约需要 30 分钟。

钻孔

钻孔的最大深度为 30 米，需要使用 PVC 管或任何其他非金属（非导电）材料进行套管。其内径约为 15cm，最小内径为 15cm，最大内径为 24cm。

如果地下水位较低，建议使用盖子或黏土塞住套管的底端，以免在测量过程中损失井眼水。

测量步骤

测量时，将 TISA 3D 放入钻孔中并缓慢提升（每分钟 1 米）。当 TISA 3D 露出地表时，测量停止。

电源

探头由内部电池供电。对于地面设备，使用 12V 汽车电池。

现场条件

场地四周的大型物体，如钢塔、金属板、混凝土墙，会干扰 TISA 3D 的测量。测量前需要了解详细的信息，以确保 TISA 3D 测量可以在特定的条件下进行。应尽量避免在钻孔附近出现电力电缆等干扰。

天气条件

天气条件，除了雷电，不影响 TISA 3D 测量。如有雷电发生，测量将要停止。

操作期间的最低温度为 -5°C，因为较低的温度会损坏 TISA 3D 注水系统。

三脚架电缆长度	约 30 米的自由电缆长度
三脚架举重	约 50 kg
起重机、钻机或三脚架提升速度	测量时约 1.0 m/min
钻孔	最大深度 30 米，PVC 外壳（或类似）内径 >15cm，在某些情况下底端闭合
连接口	顶部轮挡孔内径 34 毫米
功耗	12 W
水源	淡水，数量取决于地质情况，地下水位高度和地点。
天气条件	最小温度 -5 °C

第九章

时间域瞬变电磁法仪

加拿大 Geonics 公司是世界上较早研发和制造时间域瞬变电磁法仪的专业公司，1978 年研制成首台瞬变电磁仪，至 1998 年的 10 年间共升级 10 次，以后又经过多次升级换代，形成至今的 PROTEM 瞬变电磁仪系列。PROTEM 瞬变电磁仪是当今世界性能好、分辨率高、稳定的瞬变电磁仪。可以完成地面、矿井下以及钻孔中各个领域的探测任务，在世界各地得到了广泛应用。国内从 2002 年至 2021 年共引进 135 套 PROTEM 瞬变电磁仪，在实际应用中获得了用户一致好评。

一、PROTEM 瞬变电磁仪

1. 主要应用领域：

- > 工程和环境勘探

> 矿产资源勘探（地面和井中）

> 灰岩溶洞、煤田采空区探测
- > 地下水与地热资源勘探、咸水侵入范围探测

> 煤矿含水层、含水结构探测

> 隧道超前勘探

2.PROTEM 瞬变电磁仪仪器组成：

- > 数字接收机
- > 接收线圈
- > 发射机
- > 发射线框
- > 系统软件

3. 主要特点：

- > 关断时间短，盲区小，
- > 接收线圈灵敏度高，并配置超低噪声前放，能有效接收来自深层和小规模高导体的微弱瞬变信号，
- > 瞬时动态范围高达 138dB，系统动态范围可达 175dB，
- > 具有智能叠加功能，可根据电磁干扰水平选择最佳叠加次数、提高信噪比，
- > 可任选单分量和三分量测量，
- > 接收机前端设有噪声抑制器，能有效压制关断后发射线圈的残余震荡，
- > 接收线圈靠近接收机，几乎没有信号传输线引进的干扰，
- > 适合各种类型的野外观测装置，例如大定源装置、中心装置、偶极装置等，
- > 同一接收机可匹配 5 种不同功率的发射机，以最佳适应不同勘探深度。

4. 数字接收机技术指标：

观测值	三分量感应磁场的衰减比，nv/m2
时间门	20 个或 30 个时间门，时间窗口总长度 60μs-800ms
基本频率	0.3, 0.75, 3, 7.5, 30, 75, 285Hz (60Hz) 0.25, 0.625, 2.5, 6.25, 25, 62.5, 237.5Hz, 50Hz

信号分辨率	24 位，包括 1 个符号位，系统分辨率 29 位
同步方式	线同步或高稳定性晶体同步
观测时间	0.25, 2, 4, 8, 15, 30, 60 和 120s
标定	接收机内部 3 种自标定程序或外部 Q 标准线圈进行标定
动态范围	29bits (175dB)
电源	12V 可充电电池，可连续工作 8 小时
体积	34cm×38cm×27cm
重量	15kg
工作温度	-40℃ ~+50℃



PROTEM 数字接收机



TEM-47(HP) 发射机



PROTEM57-MK2 发射机



TEM-67 发射机



TEM67-Plus 发射机

5. 各种发射机主要技术指标：

发射机 型号	关断 时间	最大发 射电流	发射 频率	输出 电压	电 源	同步 模式	发射 线框	勘探 深度
TEM47	40×40m 发 射线圈，2A 发射电流时， 小于 2.5μs， 最小 0.5μs	3.5A	25、 62.5、 237.5Hz	0 ~ 9V 连续 可调	内置 12V 可 充电电源	线同步	5m×5mm ~ 200m×200m 单 匝线圈，1m×1m ~ 2m×2m 多匝发射线框	150m
TEM47Hp		10A	同 TEM47	12 ~ 36V 连 续可调	最大供电电 压可达 36V (外接)	同 TEM47	同上	250m
TEM57- MK2	20 ~ 115μs	25A	2.5、6.25、 25Hz	18 ~ 60V 连 续可调	1800 瓦， 220V 单相 发电机或 12 伏电瓶直流 供电	线同步或 晶体同步	最大 300m×600m 单匝线框， 5m ~ 10m×10m8 匝线框； 最小电阻不低于 0.7 欧姆	500m
TEM67	20 ~ 750μs	25A	0.25、 0.625、2.5 、25Hz	18 ~ 150V 连续可调	4,500 瓦， 220 V 单相 发电机供电	线同步或 晶体同步	最大发射线框可达 1000m×1000m，最小电阻不 低于 0.7 欧姆	1000m
TEM67- plus	20 ~ 750μs	28A	同上	18 ~ 240V 连续可调	67,000 瓦， 220 V，单相 发电机供电	线同步或 晶体同步	最大发射线框可达 2000m×2000m，最小电阻不 低于 0.7 欧姆	1500m

6.PROTEM 接收线圈：

有高频 3D 线圈、高频 1D 线圈、低频 1D 线圈、低频 3D-1、低频 3D-3 线圈、中频线圈和磁通门探头。高频接收线圈用于 200m 以内浅层勘探和煤矿井下及隧道超前勘探，中频接收线圈用于 500m 以内的中深层勘探，低频接收线圈用于 1500m 以内的深部勘探。

二、PROTEM 收发一体瞬变电磁仪

为方便某些特殊领域的应用，如煤矿井下、浅层工程、环境勘探等运用，Geonics 公司研发了两种一体机：PROTEM CM、PROTEM G-TEM。

1.PROTEM CM

PROTEM CM 是发射和接收一体，便携式瞬变电磁仪，体积小（40cmx35cmx24cm）重量轻（10.5kg 或 11.7kg（HP）），主要应用于工程勘探，适合在矿井内或复杂地形条件下使用。



PROTEM CM 收发一体机

2.PROTEM G-TEM

该系统专门用于近地表探测，内部集成了 PROTEM47 发射机，并采用了松下生产的触屏电脑，具备更多新功能：
> 用户可自定义接收道位置和接收时间，

- > 在每个测点上可进行单次或多次重复测量，或连续测量，
- > 多种显示模式，可显示剖面 and 拟断面图，
- > 可选数据反演软件，提供正演及反演的建模能力，
- > 可进行快速傅里叶变换（FFT），显示数据的噪声特性，
- > 320 GB 的数据硬盘存储，提供各种接口外传数据，
- > 集成 GPS，显示发射线圈和接收机位置，
- > 能耗低，接收 / 发送 内置 15V 锂离子可充电电池，
在 2A 电流输出时可连续工作 8 小时，
- > 仪器轻便，尺寸：接收机 10cmx32cmx40cm；
发射机 8cmx32cmx40cm 重量：接收机 8kg；发射机 5kg。



3.PROTEM 多匝发射线圈

Geonics 公司为 TEM47、TEM47HP 及 PROTEM CM 专门配置了多匝发射线圈它是由一条长 70m 的 8 芯屏蔽电缆，在特制框架上绕成 1.5m x 1.5m 或 2m x 2m 等正方形发射线圈。该线圈的支架可以改变发射角度，在保证发射稳定的前提下，探测煤矿井下顶底板和掘进巷道前方的储水体和地质结构。多匝线圈也用于在地表探测浅层构造。



三、井中瞬变电磁仪

BH43-3 钻井中探头

井中瞬变电磁法是世界上应用广泛且成功的瞬变电磁技术。通过井中瞬变电磁法，可以精确探测钻孔周围 300m 范围内的矿体的规模、方位、赋存状态等，提升钻孔使用价值，指导其它钻孔选址，提高钻孔成功率，节约勘探成本。

Geonics 公司的 BH43-3 钻井中瞬变电磁仪发射装置与地面勘探发射装置相同，均用 TEM57-MK2 或者 TEM67 作为发射系统，接收装置使用井中三分量探头 BH43-3D 或 MAG43-3D，数字接收机与三分量探头之间通过专用控制盒操控，对三分量瞬变场、探头倾角和旋转角等 5 个数据进行顺序测量。



井中瞬变电磁仪控制盒



BH43-3D 井中瞬变三分量探头

井中瞬变探头的技术指标：

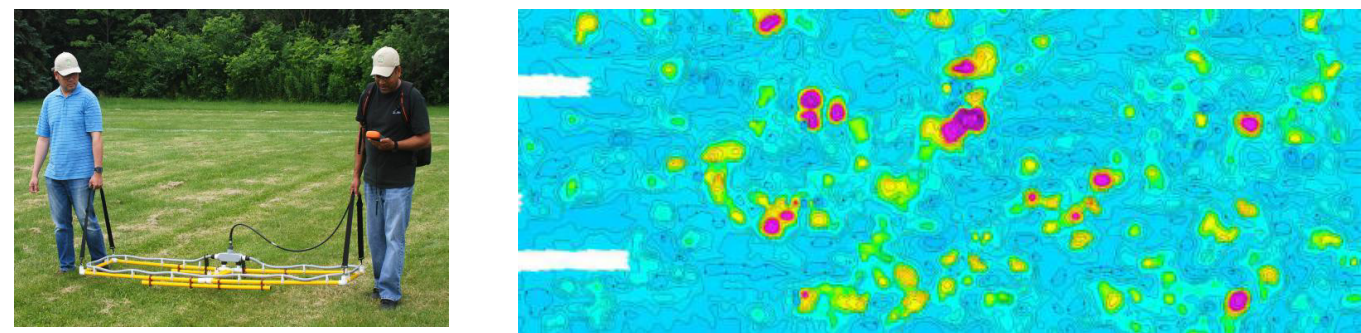
传感器	BH43-3D: 三个正交线圈（一个轴向，两个径向） MAG43-3D: 三个正交低噪音磁通门传感器		
传感器有效探测面积	BH43-3D 轴向线圈: 5,000m2; 径向线圈: 1250 m2 (含增益)		
传感器带宽	BH43-3D: 10kHz (所有线圈) MAG43-3D: 3kHz (所有传感器)		
探头旋转角校正	用两个互相垂直的倾角仪，改正范围: ±1℃—±80℃ (自垂直轴算起)		
测量范围	MAG43-3D: +/- 100 微特斯拉 (μT)		
控制箱	进行通道选择和 PROTEM 接收机之间的阻抗和增益匹配（将三个传感器的有效面积按 100m2 归一化）；带有超低频滤波器		
电源	密封可充电镍镉电池，可连续工作 20 小时		
电缆	双芯屏蔽电缆，聚氨脂外皮，卡夫拉尼龙高强度外护网 直径 5.6mm，重 40kg/km，		
抗拉强度	500kg	工作温度	-30℃ ~±80℃
重量	BH43-3D: 9.5 kg MAG43-3D: 4.7 kg 控制盒: 1.5kg	尺寸	BH43-3D: 3.8cm×234cm MAG43-3D: 3.8cm×138cm 控制箱: 22cm×13.5cm×8cm

四、时间域金属探测仪

EM61-LX2 金属探测仪

用于探测集速弹药及其它战争遗留的未爆炸物和地下金属埋藏物，EM61-LX2 金属探测仪与以往的金属探测仪相比，在生产率和测量精确度方面都有显著提高。

EM61-LX2 可实时识别地下埋藏物并可长期数字存储数据以利于进一步分析和目标物重构。EM61-LX2 是所有测量环境中性能优越的经济选择。



EM61-LX2 金属探测仪

过滤后的数据显示：保留目标特征的同时有效去除磁性土壤和岩石响应

测量数量	2 门二次响应, 两个通道 mV 滤波响应
EM 源	空芯线圈, 尺寸 2.10 x 0.52 m 或 1.03 x 0.52
电流波形	单极脉冲, 周期为 25%
EM 传感器	两个空芯线圈, 尺寸 1.03 x 0.5 m
动态范围	最小 18 bits
电源	12V 可充电电池
操作重量及尺寸	传感器 7.5 kg; 210 x 56 x 13 cm) 控制单元 2.5kg 电池 4.5kg
运输重量及尺寸	35 kg; 115 x 65 x 25 cm
系统控制单元	Archer 2 Field Computer
采集速度	每秒 16 个完整记录
数据存储	8GB 闪存, 350M 记录, 实时显示选项

EM63Flex Array 金属探测仪

EM63Flex 多个接收线圈可提供连续的全瞬态数据。可避免磁性土壤影响, 具有实时滤波器 and 高级数据处理的多种工具, 支持多种目标体探测显著减少错误报警。EM63Flex Array 可进行长期数据采集实时数据可视化和异常识别。

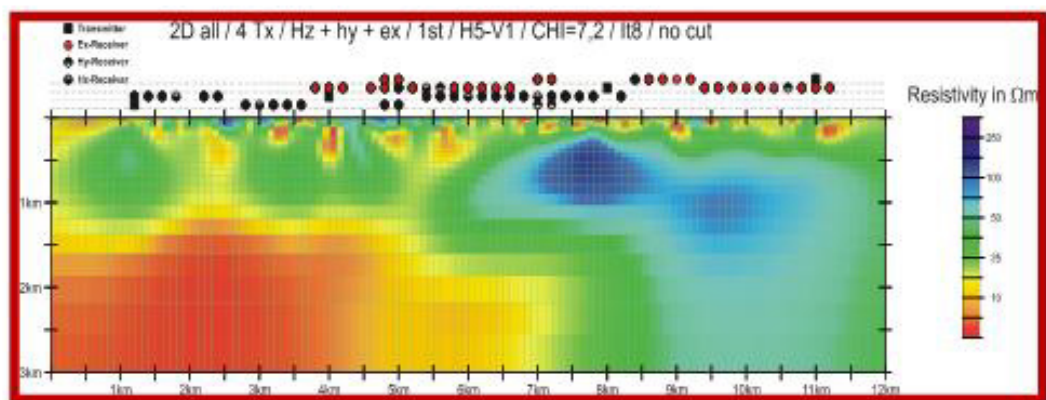


EM 传感器	四个空芯线圈, 每个尺寸 1.0 x 0.5 m
时间门	多达 26 个几何间隔时间门, 覆盖范围从 180μ-29ms
测量数量	每四个主通道多达 26 门 mV 二次响应
基频	7.5, 30, 75 和 150Hz 调节为 60Hz 或 50Hz 电源线
电流波形	矩形双极电流; 最大 12A T/O=74μs, 最大 7.5A, 150Hz, 大发射线圈 (9.5m) T/O=94μs, 最大 9.5A, 75Hz, 大发射线圈 (9.5m) T/O=66μs, 最大 12A, 150Hz, 小发射线圈 (5.45m)
EM 源	长 9.5m 或 5.45m
系统控制器	松下笔记本电脑 (选项)
存储	具有 2000h 容量的固态存储器 (CF-19 Toughbook)
接口	RS232, USB 和网络连接
定位	外置 GPS
采集速度	每秒可达 15 个完整记录
动态范围	18bits
标定	外置测试线圈 (选项)
操作温度	-20° C to +60° C

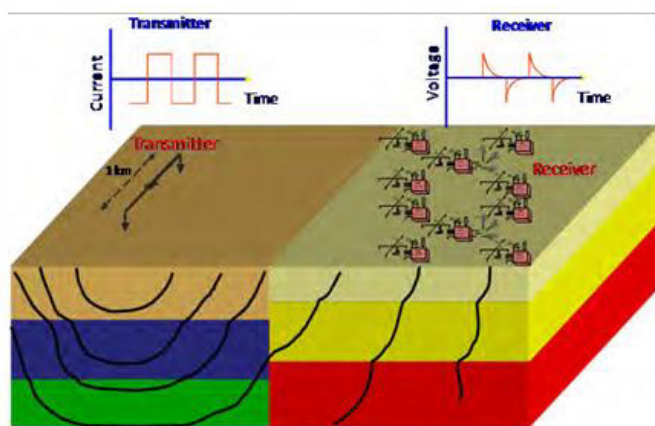
第十章 长偏移距瞬变电磁法 LOTEM

LOTEM 是瞬变电磁法的一种，其初始场由接地电偶极子产生。电偶极子发射的，连续变化的步进信号建立起 Collapsing 场，该场在导电地下介质中感应出电场和磁场。利用 KMS 列阵接收系统和同步的发射系统，就可以实现 LOTEM 的应用。LOTEM 的探测深度可达 6km，感应电场对高阻层敏感，感应磁场对低阻层敏感，所以 LOTEM 法可有效地探测和分辨高阻层和低阻层。LOTEM 主要用来探测以下任务：

- > 圈定玄武岩层和岩丘，
- > 接受感应电场探测薄的高阻层，侧如储油层，
- > 接受感应磁场探测低阻层，
- > 勘探深部矿产资源。



After Martin, 2009



LOTEM 应用示意图

第十一章 磁力仪系列

GEM 成立于 1981 年，是研发和生产磁力仪的专业公司，其磁力仪产品共有六个系列类 28 个品种，是国际上生产标准磁力仪的公司，其最新产品是钾光泵无人机磁力仪。从 2005 年至 2021 年国内从 GEM 公司共购买近 3000 台各种型号磁力仪，几乎占据了国内磁力仪的整个市场。

一、GSM-19T 标准质子旋进磁力仪系列

GSM-19T 主要特点：

GSM-19T 标准质子旋进磁力仪采用了大量新技术，性能及精度好于其他质子旋进磁力仪产品。

- > 全方位磁探头，无指北要求，非常有利于野外工作
- > 灵活设置测线号和测点号
- > 具有观测质量监控功能，可以及时处理质量不合格数据
- > 可在主机屏幕上实时显示观测磁场变化曲线
- > 通过 RS232 接口，快速下载或上传观测数据，速率高达

115200bps

> 分辨率达 0.01nT，灵敏度达 0.05nT，绝对精度 $\pm 0.2\text{nT}$ 在所有质子磁力仪中水平最高

> 具有编程式（预设）基站观测功能，软件进行日变校正

> 使用 GSM-19T 的 Walking Mag 采集模式仪器，可以按照预设的时间间隔自动读取磁场值，从而获得近乎连续的观测剖面

> 配置 GPS 时（可选），用户可以在办公室内把设计好的观测点位坐标输入到仪器，在野外就可以实现导航定位功能

> 基站观测和野外流动观测之间具有高精度的时间同步，这对于在磁干扰地区和保证高精度的观测结果是非常重要的



技术指标：

灵敏度	0.15nT@1Hz (1s 采样间隔) ; 0.05 (4s 采样间隔)
分辨率	0.01nT
绝对精度	$\pm 0.2\text{nT}$
动态范围	20,000 ~ 120,000nT
梯度容差	> 7000nT/m
采样率	日变站时 3s ~ 3600s 可选，移动观测等待时间 3s ~ 10s 可选，步行模式 0.5s ~ 2s 可选，快速步行模式 0.2s ~ 2s 可选
温飘	0.0025nT/°C (环境温度为 0 到 -40°C) ; 0.0018nT/°C (环境温度为 0 到 +55°C)
工作温度	-40°C ~ +55°C

存储 32M 字节	对流动站 1,465,623 个读数；对基站可存 5,373,951 个读数； 对梯度测量可存 1,240,142 个读数；对步行磁测可存 2,686,975 个读数
尺寸及重量	主机 223mm X 69mm X 240mm，重 2.1kg； 传感器 170mm (长) X 75mm (直径)，重 2.2kg
工作模式	流动站：Mobile、Grad 时手动观测（3s ~ 10s 同步等待，可无等待测量）； Walk、Walkgrad 模式时 0.5s ~ 2s 间隔自动采样（可扩展至 0.2s）， 测量结果输出电线号、磁场值、信号质量、测量时间、梯度值（梯度模式时）、点位坐标（使用内置 GPS 时） 基站：3s ~ 3600s 可选，自动读取磁场值，输出磁场值、时间和信号质量
遥控	可选择 RS232 接口进行远程控制和实时数据传输
输入与输出	RS232 接口数字输出或应用 6 针防水插头（选项）作模拟输出

GSM-19T 标准质子旋进磁力仪系列产品

- > GSM - 19T 标准质子旋进磁力仪
- > GSM - 19TW 标准质子旋进磁力仪 + 步行模式 (walkmag)
- > GSM - 19TV 标准质子旋进磁力仪 + 甚低频
- > GSM - 19TG 标准质子旋进磁力仪 + 梯度模式 (gradmag)
- > GSM - 19TGW 标准质子旋进磁力仪 + 梯度模式 + 步行模式
- > GSM - 19TGWV 标准质子旋进磁力仪 + 梯度模式 + 步行模式 + 甚低频

二、GSM-19 Overhauser 磁力仪系列

GSM-19 Overhauser 磁力仪的主要特点：

GSM-19 Overhauser 磁力仪把精确的数据采集、高工作效率和稳定性有效地结合在一起。观测精度高、功耗很低，稳定性佳：

- > 高灵敏度、高分辨率和高观测精度
- > 超级全方位磁探头
- > 测量之前无需预热，易于野外操作
- > 最高采样间隔可达 0.2s (5Hz)，可在测线上获取近乎连续的磁场数据
- > 32Mb 大容量存储器，在移动模式可存 1,465,623 个读数；
基站模式可存 5,373,951 个读数；
步行模式可存 2,686,975 个读数；梯度模式可存 1,240,142 个读数；
- > 具有独一无二的程式（预设）基站观测功能
- > 最高支持 115200bps 快速数据传输
- > 可搭配内置高精度 GPS (DGPS)，实现实时导航、定位功能，定位精度可达 1m 以上



- > 温度范围宽（标准型从 -40 到 +55 摄氏度；可选型从 -55 到 +60 摄氏度），可在极端的气候条件下使用
- > 牢固的硬件设计，适应性强

技术指标：

灵敏度	< 0.022nT@1Hz
分辨率	0.01nT
绝对精度	±0.1nT
动态范围	20,000 ~ 120,000nT
梯度容限	> 10000nT/m
采样率	步行模式 Overhauser: 2,1,0.5,0.2s, 基站 Overhauser: 3 ~ 3600s
温飘	0.0025nT/°C (环境温度为 0 ~ -40°C) ; 0.0018nT/°C (环境温度为 0 ~ +55°C)
工作温度	-40°C ~ +55°C
存储 32M 字节	对流动观测有 1,465,623 个读数; 对基站可存 5,373,951 个读数; 对梯度测量有 1,240,142 个读数; 对 Walking Map 模式有 2,686,975 个读数
尺寸及重量	主机 223mm X 69mm X 240mm , 重 2.1kg; 探头 175mm (长) X 75mm (直径) , 重 1.0kg
工作模式	流动站: 根据配置选项可实现单点采样或连续自动采样 (配置步行模式时) 基站: 每 3 ~ 3600s 自动存储一次观测值、时间、日期和信号质量
遥控	可选择 RS232 接口进行远程控制和实时数据传输
输入与输出	RS232 接口数字输出或应用 6 针防水插头 (选项) 作模拟输出

GSM-19 Overhauser 磁力仪系列产品：

- > GSM - 19 Overhauser 磁力仪
- > GSM - 19W Overhauser 磁力仪 + 步行模式
- > GSM - 19V Overhauser 磁力仪 + 甚低频
- > GSM - 19G Overhauser 磁力仪 + 梯度模式
- > GSM - 19GV Overhauser 磁力仪 + 梯度模式 + 甚低频
- > GSM - 19WV Overhauser 磁力仪 + 步行模式 + 甚低频
- > GSM - 19GW Overhauser 磁力仪 + 梯度模式 + 步行模式
- > GSM - 19GWV Overhauser 磁力仪 + 梯度模式 + 步行模式 + 甚低频
- > GSM - 19GW4 Overhauser 4 个探头 Overhauser 步行磁力梯度仪



三、钾光泵磁力仪 GSMP-35

新型 GSMP-35 钾光泵磁力仪是迄今具有高分辨率和绝对精度的磁力仪。它主要用于地面探测，数据质量和成本控制是它的重要特点。

主要特点:

> 灵敏度 0.0035 nT / √ Hz at 1 Hz, 是工业中最高的灵敏度。

在资源勘探应用中能够有效的对细微的异常或结构成图;

> 仪器的梯度允许误差超过 35,000 nT / m, 能够对铁矿地质体精确测量;

> 用 PDA 实现简单的菜单操作和实时浏览数据;

> 全球定位系统, 误差 <1m;

> 0.1m 的读数间隔, 几乎可以连续观测磁场变化;

> 大容量存储——可以连续测量一整天, 而不必清理内存空间。

> 新型钾光泵磁力仪能够克服恶劣的工作环境。

> GEM 的 R&D 项目始终处于磁力测定领域的前沿。

例如, 近期研发的小型传感器将梯度容差提高了 5 倍, 并依然保持着行业标准的最高灵敏度和绝对精度。



钾光泵磁力仪系列产品:

> 钾光泵磁力仪

> 钾光泵磁力仪 + 梯度模式

> 钾光泵磁力仪 + 步行模式

> 钾光泵磁力仪 + 梯度模式 + 步行模式

性能参数

灵敏度	0.0035 nT / √ Hz at 1 Hz
分辨率	0.0001 nT
绝对精度	+/- 0.1 nT
动态范围	20,000 ~ 120,000 nT
梯度容差	30,000 nT/m
读数间隔	0.1 秒
工作温度	-20° C ~ +55° C
** 量程最高可扩展至 300,000 nT (可供选择)	

尺寸和重量

传感器	141 × 64mm, < 1.3 kg
主机	30.6cm × 8.5cm × 7.5cm, 1.6 kg

电源

电源电压	18 ~ 35 V DC
功率	开始时接近 25W 预热后降至 8W
功率损耗	8 W (20° C 时)
预热时间	<15 分钟 (-40° C 时)

定位 / 方位

传感器角度	最佳角度 30°, 传感器主轴和场矢量之间的夹角
方向	10° ~ 80°和 100° ~ 170°
表头误差	< 0.1 nT 在 10°到 80°之间以及坐标轴 360°全方位

输出

循环测量的、带有位置和时间信息的总磁场强度, 由数字直接显示输出或通过 RS-232 端口以 ASCII 码形式输出; 前置放大器输出连续的磁场强度信号, 此信号与拉莫尔频率成正比 (7Hz/nT)

四、台站观测磁力仪

1. didD 三分量台站观测磁力仪系列

1) didD 测量原理

在 Overhouse 或钾光泵磁力仪探头上安装两个互相垂直的线圈，线圈悬挂在由皮青铜做成的弹簧悬丝上。

其中一个线圈平面垂直全磁场矢量 F ，另一个线圈平面平行全磁场矢量 F 。

首先向垂直 F 的线圈，即磁场倾角 (I) 线圈内，依次输入大小相等，方向相反的偏置电流，这两个偏置电流所产生的偏转磁场由 Overhouse 或钾光泵探头接收，并记录下来，称之为 I_p 和 I_m ，同时也记录下来未加偏置电流时的全磁场 F 。

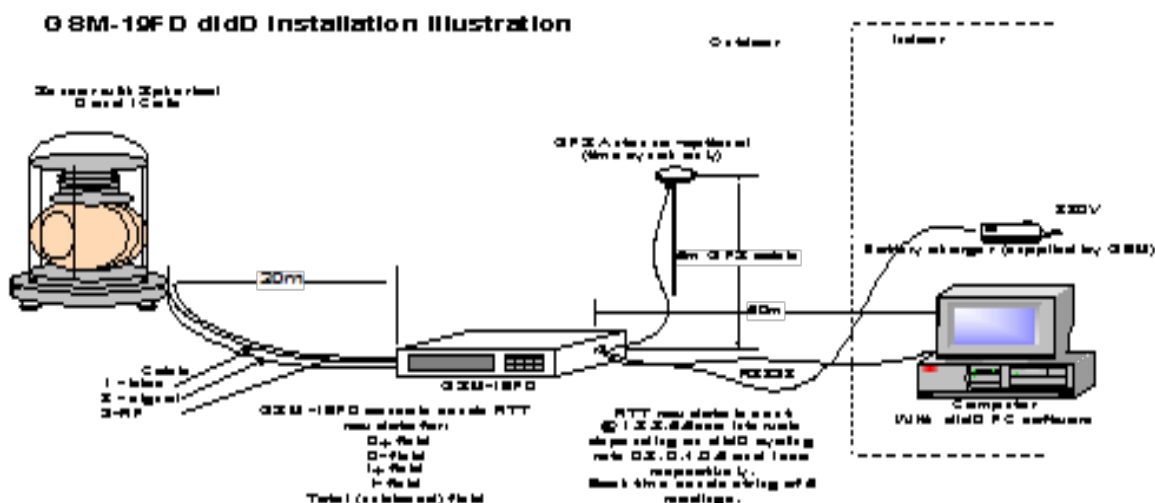
同样，在向平行 F 的线圈，即磁偏角 (D) 线圈内，依次输入大小相等，方向相反的偏置电流，这两个偏置电流所产生的偏转磁场由 Overhouse 或钾光泵探头接收，并记录下来，称为 D_p 和 D_m ，同时也记录下来未加偏置电流时的全磁场 F 。

应用简单算法就可以确定全磁场 F 的倾角 (I) 和偏角 (D) 的瞬时变化 dI 和 dD 。

如果我们知道观测地区的地磁场倾角 (I) 和磁场偏角 (D)，我们把 dI 和 dD 与它们相加便可知该地区的地磁场倾角和地磁场偏角的瞬时变化。

2) didD 技术指标:

灵敏度	0.01nT@5 秒
分辨率	0.01nT
绝对精度	0.2nT
动态范围	20000 到 120000 nT
梯度容差	> 10000 nT/m
工作温度	- 40°C—+55°C
温度漂移	< 0.1nT/°C
长时间漂移	< 2nT/ 年
功耗	1.5W, 12V 供电
采样率	① 1.0 秒—5.0 秒 ② 0.5 秒—2.5 秒 ③ 0.2 秒—1.0 秒
测量范围	磁倾角 $I_s \leq \pm 900$, 磁偏角 $D_0 \leq 1800$
操作模式	自动或远程控制
尺寸和重量	223×69×240mm (主机) 直径 250mm (探头)



didD 安装图

2、台站观测磁力仪 EUROMAG 系列:

- > GSM-90 Overhause EUROMAG 磁力仪

> GSM-90G Overhause EUROMAG 磁力仪

> GSM-90GW Overhause EUROMAG 磁力仪
- > GSM-90F1 Overhause EUROMAG 磁力仪

> GSM-90GF1 Overhause EUROMAG 磁力仪

五、钾光泵无人机航空磁力仪（UAV）

航空磁法由于其高效、快速、受地表地形影响小等优势，在地质普查、金属矿勘探、油气资源远景评价等领域发挥着重要作用。航磁测量系统的核心部件是航空磁力仪和磁补偿技术。近年来随着无人机技术的快速发展，航空磁力仪测量精度的提高以及数据采集系统逐步完善，无人机航空磁测正快速的成为航空磁测重要手段之一。

1、主要优点:

- 1) 设备简易轻便，无需租用昂贵的飞机和专用的起降场地;
- 2) 工作效率高，工作成本低;
- 3) 操作简单，预先设置好观测路线，起降时间便可放飞观测,无需领航员和专业操作员,没有意外的人员伤亡风险
- 4) 可在任何地形、地貌和地理环境下进行观测;
- 5) 根据 GPS 定位信息，可自动锁定磁异常位置;
- 6) 可用国产无人机搭载航空磁力仪。



2. 钾光泵无人机航空磁力仪类别和技术指标

1) 固定翼式无人机航空磁力仪

采用 GSMP-35U/25U 钾光泵传感器，集成了 IMU，磁通门磁力仪，雷达高度计，以及 GPS，GEMDAS 数据记录器以及固定翼式飞机搭载平台。采用后补偿方式来进行补偿。

2) 旋翼式无人机航空磁力仪

该系统采用旋翼无人机吊挂 GSMP-35U/25U 钾光泵传感器来进行磁场测量，因远离了无人机达 10m 以上的距离，无需采用补偿。同时搭载无线电基站完成实时数据传输。

可搭载的型号如下:

- > GSMP-35U/25U 钾光泵无人机航空磁力仪

> GSMP-35UP/25UP 钾光泵无人机航空磁力仪

> GSMP-35UC/25UC 钾光泵无人机航空磁力仪

> GSMP-35UB/25UB 飞鸟式钾光泵无人机航空磁力仪

> GSMP-35UGB/25UGB 飞鸟式钾光泵无人机航空梯度磁力仪

3) 技术指标:

参数	技术指标
灵敏度	0.0002nT/1Hz (GSMP-35U) 0.022nT/1Hz (GSMP-25U)
分辨率	0.0001nT
绝对精度	±0.1nT
测量范围	20,000 ~ 100,000nT
梯度容差	> 30,000nT/m
采样率	1Hz、5Hz、10Hz、20Hz
功率	电源 24V 至 30V，工作时功耗约 12W
尺寸与重量	传 感 器：148mmX64mm（外直径）；1.5kg 电 子 设 备 箱：229mmX56mmX39mm；0.63kg
GPS 精度	标准型定位误差 < 1.5m； 高精度 CDGPS 精度 < 0.6m
存储器	磁力仪：3,303,000 个读数 梯度仪：2,359,000 个读数
传输速率	最高支持 115,200Bit/s 传输
工作温度	-20℃ ~ +55℃
存放温度	-70℃ ~ +55℃
湿度	0-100%

第十二章

煤矿井下物探仪器

一、Summit II Ex 井下防爆槽波地震仪

德国 DMT 公司是煤矿井下槽波勘探的开拓者，一直是领引者。其研发的第五代槽波地震仪 Summit II Ex 是当今功能齐全、技术水平高、应用效果好的仪器，已销往德国、捷克、西班牙、墨西哥、俄罗斯、波兰、乌克兰、哈萨克斯坦、韩国、美国、法国等国家，我国 2010 年河南义马煤矿集团和河北煤科院引进该系统，至 2021 年已有 12 个单位共引进 15 套 Summit II Ex 槽波地震仪。以义马和晋城煤业集团等的应用为例，Summit II Ex 可以有效地解决：



Summit II Ex 井下防爆槽波地震仪

- 1. 在煤层厚度剧烈变化情况，精确地确定煤厚的分布，准确度达 90%，
- 2. 准确地确定大、小断层的分布，
- 3. 准确地圈定陷落柱和采空区的位置和规模，
- 4. 准确地判断煤层应力集中区，即高压带，
- 5. 有望能判断煤瓦斯富集带。

特点：

- > 检波器与煤层之间气囊耦合，保证高质量接收微弱的槽波信号，
- > 实时质量监控系统，放炮前检测和监视检波器耦合情况和仪器工作状态，工作中实时监控槽波数据质量，发现问题，立即解决，
- > 观测双水平分量的勒夫槽波，绝对优于观测垂直分量 Z 的瑞利槽波，
- > 道间距可变，可无限连接采集道数，
- > ia 级的防爆等级。

Summit II Ex 井下防爆槽波地震仪的主要技术指标：

数据采集站	每个采集站 2 个信号道
AD 转换器	24 位， $\Delta-\Sigma$ 技术
输入电压范围	$\pm 2.8\text{ V}$
输入阻抗	20 k Ω
采样率	125 Hz， 250 Hz， 500 Hz， 1 kHz， 2 kHz， 4 kHz， 8 kHz， 16 kHz， 32 kHz， 48 kHz

瞬时动态范围	≥ 120 dB
共模抑制比	≥ 100 dB
全谐波畸变	< 0.0008 %
前置增益	0 dB, 20 dB, 40 dB
电源	内部 NMH 电池
操作温度	20° C to + 40° C
操作湿度	0 – 95 %

二、防爆冲击地压监测仪 SUMMIT M Hydra

在 DMT 公司的地震仪器系列中的 SUMMIT M Hydra 是在 SUMMIT M Vipa 的基础上研发的专门用于观测冲击地压（矿震）的防爆型井下多道地震观测仪，其非防爆型可广泛应用于其他领域。

SUMMIT M Hydra 是 24 位、4-24 道可选的地震监测系统，多台 Hydra 可以连接一起使用，形成数十至数百道的地震台网监测系统或用于三分量地震勘探的数据采集系统。

作为地震监测系统时即可按设置的触发阈值记录，也可连续记录。由测量管理软件控制观测结构和仪器运行。所有的记录数据都储存在可扩展的 32GB 闪存之中，并可自动下载。配有完善的数据处理和解释软件系统。

主要用途：

- 冲击地压或矿山地震监测，水库诱发地震监测；
- 大型建筑物、桥梁、隧道、核电站、化工设备等振动特性和安全运行监测；
- 高铁地震预警，临震预警；
- 水压致裂方位和范围监测；
- 三分量地震勘探。

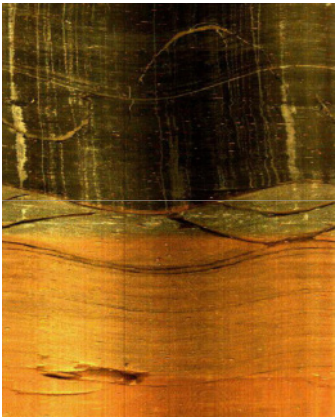
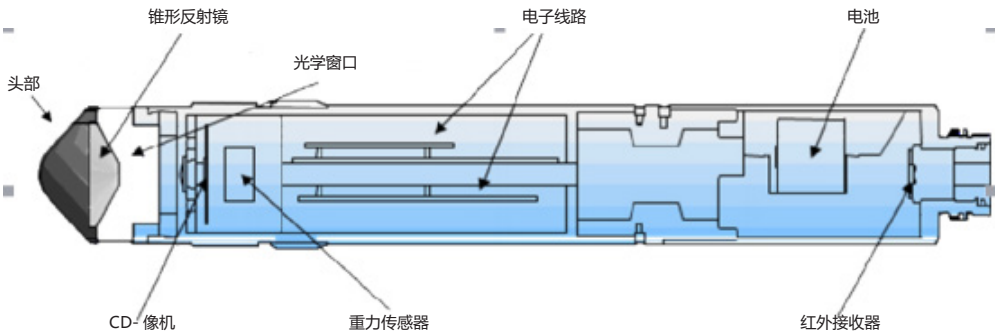


技术指标：

道数	4—24 道	瞬时动态范围	≥ 120dB
分辨率	24 位	共模抑制比	≥ 100dB
频带	0.1Hz—8KHz	全频谐波畸变	<0.0005%
采样率	125Hz—16kHz	道间串音抑制	≥ 112dB
增益	0dB,20dB,40dB,60dB, 由软件选择	输入噪声	0.3μV@2ms
电源	+9—18VDC	功耗	10W
工作温度	-30℃—+70℃	湿度	0—95%
外壳	固体防水外壳，可布设在任何环境下	传感器	可与三分量速度传感器，三分量加速度传感器和三分量检波器连接

三、小孔径，大深度煤层内部窥视和成像仪 SBS

德国 DMT 公司研发的煤层内部窥视和成像仪 SBS，是对小口径钻孔四周进行连续的光学扫描和对扫描数据进行再处理。用来直接窥视煤层内部，矿体内部和其他原始材料内部的结构，构造和组成，例如煤层倾角，结理、层理、裂隙、断层等的规模、分布和方位，并对他们进行展开成像，打印输出，以便详细研究和分析垂直分辨率达 0.8mm，水平分辨率达 0.6 和 0.47mm，所需钻孔直径 64mm 和 49mm，最大探测距离可达 700m，在煤矿井下可用若干个短套杆连接，加大探测距离。应用实例和硬件结构如图所示：



技术指标：

	HQ 型	NQ 型
长度	603mm	603mm
直径	64mm	49mm
重量	6.5kg	5.5kg
最大探测深度	700m	700m
最大压力	70bar	70bar
最大温度	40℃	40℃
工作时间	~25 hours	~11 hours
垂直分辨率	0.8mm	0.8mm
水平分辨率	0.6mm	0.47mm
最小钻孔直径	92mm	72mm
最大钻孔直径	150mm	150mm
芯体尺寸	HQ	NQ
传感器	光学扫描	光学扫描

四、便携式三维定位、成像和检视系统—DMT Pilot 3D

德国 DMT 公司与德国宇航中心（German Aerospace Center）利用现代多项创新技术，包括惯性测量系统，立体摄像机，摆动式传感器，增强现实（AR）技术以及 3 维测量和实时计算技术，联合研发出独有的“移动式定位、导航、三维成像和检视系统——DMT Pilot 3D”。

它是很多部门技术创新和管理创新的必备仪器设备。

1.DMT Pilot 3D 三种操作形式:

- 1) 头盔式，硬件传感器安装在头盔上，笔记本电脑和电池安置在背包内（图 1），
- 2) 手持式，硬件传感器安装在手持盒子内，笔记本电脑和电池安置在背包内（图 2），
- 3) 集成式，硬件传感器和电脑组装在一起，手持操作（图 3）。

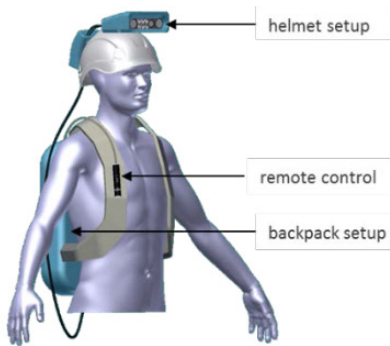


图 1 头盔式



图 2 手持式



图 3 集成式

2. 在地下没有 GPS 定位环境下的应用:

- > 对巷道和地下工程的布设、结构和设施等进行光学扫描，精确的三维定位，高清晰的三维点云成像并形成文件；
- > 对巷道、隧道、地下工程的地质结构构造进行三维定位和成图，并形成文件；
- > 检视地下建筑和设施的健康状况，对其缺陷和破损情况进行彩色成图和三维定位，以备分析和维修；
- > 以厘米级精度监视巷道、隧道和地下工程的变形；

三维定位是指对观测路径的起始点和终点的相对定位，精度达 0.1%，如果引进该两点的 GPS 坐标也可获得观测路径上各点的 GPS 坐标。

3. 在室内和房外环境下的应用领域:

- > 对各类建筑结构、形态、设施等等进行三维定位，成图并形成文件，以备存档、改建、恢复原状等所需；
- > 对外部环境形成点云和全影数据，为设计提供相关依据；
- > 对文物和各种目标物进行无接触测量、三维实景记录和建模；
- > 监视室内和户外各种设施、设备、各类建筑的健康状况，对其破损情况和破损程度进行三维定位和彩色成像，以对维修提供依据；
- > 对桥梁、隧道、边坡等变形进行监视；
- > 对野外地质和地理考查、地下溶洞调查和考古发掘等提供支持。

4. 在德国对 DMT Pilot 3D 进行培训期间的应用实例

1) 废弃煤矿三维调查:

这是一个废弃的老矿井，用 DMT Pilot 3D 调查其内部情况（图 4 和图 5），作



图 4 手持式 DMT Pilot 3D 在矿井调查

为后期处理的重要依据。

2) 检视煤矿巷道侧帮破坏情况：

用 DMT Pilot 3D 检视巷道侧帮破坏情况，并对破坏位置进行精确定位，以备安全评估用（图 6）。

3) 空内结构三维调查示意图：

图 7 表示的是用 DMT Pilot 3D 调查建筑物室内的三维结构，图中的封闭式曲线是 DMT Pilot 3D 的观测路径。可见视野空间很大，可查找图中各点的三维定位和细节。

4) 检视船运货仓

DMT Pilot 3D 可随人通过船内窄小的门洞检视船内货物和各种设备的运行情况，对任何破损进行照相和定位，以备随时监视和决定在下一个巷口停泊时是否需要维修。

图 8 是检视出的船舱内 148mm 宽的破损，可见即或很小的破损也可由 DMT Pilot 3D 检视出来。



图 5 地下矿井 3 维成像，可备查各处坐标位置和细节



图 6 检视巷道破坏情况

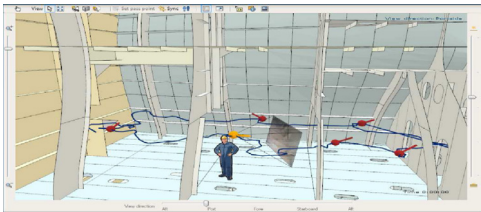


图 7 室内结构三维调查

DMT Pilot 3D 技术指标：

技术指标			
照相机像素	2 X 1280 X 1024 px (立体 b/w) 1 X 1280 X 1024 px (彩色)	接口	电源 USB 3.0
惯性单元	高精度 MEMS 传感器		GPS 天线
数据采集次数	10 次 / 秒		数据输入和输出
电池工作时间	3-6 小时	电源	放置在背包内
定向激光	5mw	LED 照明	白炽灯 3X 1W 红外灯 2X5W
精度	0.1%	环境指标	
尺寸	手持单元 20 X 15 X 5cm 背包 30 X 40 X 15cm	IP 等级	IP54
重量	手持单元：0.6kg 背包：5.9kg	温度范围	0-50℃

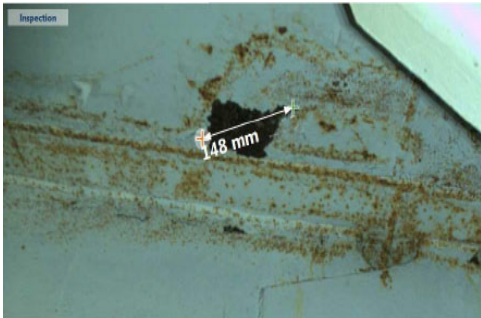


图 8 DMT Pilot 3D 检视出的船舱内破损