

## 业务工作业绩总结

当前我国工业化、城镇化高速发展面临着资源瓶颈和空间制约的严重问题，以深度换面积是国际上解决空间制约问题的一个重要方法。为了合理利用地下空间，首先需要精确掌握地球浅表层的地质构造和人造结构的详细信息。探地雷达是近地表地球物理学技术中的一项重要手段，在地球浅表层进行工程检测、环境保护、文物考古、灾害救援、反恐安检、资源勘探等科学技术领域中发挥着其他手段无法取代的重要作用。但是浅表层介质的物理性质复杂变化、多样和日益增强的干扰，是探地雷达等近地表地球物理必须面对的主要技术挑战。

为了在浅表层支撑地下小目标的高精度探测需求，申请人重点开展了**全极化探地雷达关键技术**的研究，包括原理、信号采集和处理、高精度成像和极化属性分析：

① **原理方面，建立了全极化探地雷达正演模拟技术，揭示了地下目标对高频电磁波的极化变换效应**：通过水平正交双方向同时接收获取线极化类全极化探地雷达信号技术，构建了基于FDTD算法的全极化GPR正演模拟方法，进而更好地分析目标属性，揭示了地下目标对高频电磁波的极化变换效应，发现了随机表面的粗糙程度能影响到电磁波的共极化响应和交叉极化响应，它们的振幅比与粗糙度成正比关系（冯晖等，全极化探地雷达正演模拟，地球物理学报，2011）。地下裂隙走向也对共极化和交叉极化最大响应振幅呈正比响应（Xuan Feng et al., Joint evaluation of fracture azimuth by electromagnetic wave and elastic wave, JAG, 2013）。

② **信号采集和处理方面，创建了共中心点(CMP)多输入多输出(MIMO)线极化类全极化阵列天线，并建立了全极化探地雷达的极化校正技术，获取了高质量步进频率的目标散射矩阵**：研究了探地雷达天线组内各个天线单元之间，相互空间位置变化对特性的影响，创建了可变间距的共中心点(CMP)多输入多输出(MIMO)天线组，为后期的信号处理提供高质量数据，显著地提高了地下目标回波信号与其他杂波信号的比（Xuan Feng et al., CMP Antenna Array GPR and Signal-to-Clutter Ratio Improvement, IEEE GRSL, 2009）。创建了线极化类全极化天线组，能采集 VV 极化、HH 极化的共极化数据，和 VH 极化、HV 极化的交叉极化数据，形成全极化数据集，推导了全极化探地雷达数据的极化校正公式（Xuan Feng et al., Calibration with High-order Terms of Polarimetric GPR, IEEE J-STARs, 2012），建立了针对全极化探地雷达数据的极化校正理论和技术，能较好的对采集的多频点的目标散射矩阵数据进行校正，不仅能够提高目标探测能力而且能对目标进行分类识别。

③ **高精度成像方面，建立了地下小目标的高精度三维极化偏移成像算法体系，显著地提高了地下小目标的成像质量**：发展了用离地探地雷达数据快速高精度的计算地表地形，利用 CMP 多输入多输出数据快速计算地下浅层速度，构建全空间三维速度模型的技术。并研发了快速射线追踪算法，能在复杂多变地形情况下较好的计算波场、射线路径和到时，建立了组天线三维叠前、叠后 Kirchhoff 偏移算法，对地下多种姿态的小目标进行高质量成像（Xuan Feng et al., Profiling the Rough Surface by Migration, IEEE GRSL, 2009; Xuan Feng et al., Pre-stack migration applied to GPR for landmine detection, Inverse Problems, 2004）。

利用绕射波传播等时曲面上信号相关的物理机制，建立了不规则数据无插值偏移算法，该算法不需要预先对数据进行网格化插值，首次实现了手持离地探地雷达对小目标进行高速高质量的二维、三维可视化成像（Xuan Feng et al., Subsurface Imaging Using a Handheld GPR MD System, IEEE GRSL, 2012; Xuan Feng et al., Hand-Held GPR Imaging Using Migration for Irregular Data, IEEE J-STARs, 2011）。

将散射矩阵在 Pauli 基上进行分解的过程, 和 Kirchhoff 偏移过程进行融合, 首次将极化分解算法融入偏移成像算法, 推导建立了极化偏移成像算法(Xuan Feng et al., Subsurface polarimetric migration imaging for full polarimetric ground-penetrating radar, GJI, 2015)。该算法不但能对目标成像, 而且能在成像的同时融入部分极化属性, 显著的提高了地下小目标的成像质量。

④极化属性分析方面, 建立了全极化探地雷达地下目标极化属性分析理论和技术, 提高了地下目标的分类能力: 发展了全极化探地雷达极化分解算法, 创立了全极化探地雷达地下目标极化属性分析、目标分类理论。我们将全极化探地雷达数据描述为以散射矩阵为元素的集合, 将数据在 Pauli 基上进行分解, 发展了三维全极化探地雷达 Pauli 分解算法(Xuan Feng et al., Subsurface polarimetric migration imaging for full polarimetric ground-penetrating radar, GJI, 2015)。推导出相应的相干矩阵和协方差矩阵, 建立了三维全极化探地雷达 H-Alpha 分解算法(Xuan Feng et al., Combination of H-Alpha Decomposition and Migration for Enhancing Subsurface Target Classification of GPR, IEEE TGRS, 2015) 和以三类物理模型为背景的 Freeman 分解算法(Xuan Feng et al., Application of Freeman decomposition to full polarimetric GPR for improving subsurface target classification, Signal Processing, 2017), 能同时展示地下小目标的空间几何形态和极化属性, 有效提高对地下目标的分类识别。

在研究开展过程中, 负责了包括 3 项自然科学基金、1 项国家重点研发计划课题、1 项国家“跃升计划”子课题等科研项目, 参加了深部探测技术与实验研究专项、“973”计划、“863”计划、自然科学基金重点项目等科研项目。部分研究成果已经应用在, 北京市勘察设计研究院有限公司对北京市道路、地铁地下空洞等探测中, 获得了显著的经济效益(其他证明材料\_经济效益证明)。曾在阿富汗、埃及克罗地亚与国际组织合作开展探地雷达地雷探测试验, 获得良好的效果(Xuan Feng et al., Hand-Held GPR Imaging Using Migration for Irregular Data, IEEE J-STARS, 2011; Xuan Feng et al., Subsurface Imaging Using a Handheld GPR MD System, IEEE GRSL, 2012), 得到国内外同行的积极评价。应邀担任 2004 年在日本召开的第 7 届 SEGJ, 2010 年、2011 年分别在美国和加拿大召开的第 30 届、第 31 届 IEEE-IGARSS 国际会议和 2012 年在上海召开的第 14 届 GPR 国际会议的专题主持(其他证明材料\_国际会议专题主持)。2015 年应邀在 MIT 的地球大气与行星科学系(EAPS)的 ERL-FISH 系列研讨会做特邀报告(其他证明材料\_特邀报告)。第一或通讯作者发表了 SCI 论文 19 篇, 1 篇被 IEEE J-STARS 期刊选为封面文章(Xuan Feng et al., Hand-Held GPR Imaging Using Migration for Irregular Data, IEEE J-STARS, 2011), 第一作者 EI 论文 14 篇; 总被引用次数 695 次(数据来源于 Google 学术搜索)。第一作者取得计算机软件著作权 5 项。获得吉林省科学技术奖二等奖(排名第 1, 2014)、吉林省科学技术奖一等奖(排名第 4, 2013)等奖项。入选教育部新世纪优秀人才支持计划、国土资源部杰出青年科技人才培养计划等人才支持计划。并获得第 1 届刘光鼎地球物理青年科学技术奖、第 13 届青年地质科技奖-银锤奖等青年人才奖。

申报人: 冯暄  
吉林大学地球探测科学与技术学院  
2017 年 3 月 31 日