

一、项目名称

压缩感知油气地球物理勘探基础理论与算法

二、提名者及提名意见

黑龙江省科技厅

该项目面向国家能源重大需求，立足于数学与勘探地球物理学的交叉学科研究，提出压缩感知油气地震勘探的基础理论和算法。突破传统香农采样定理对勘探理论和方法的限制，其采样不再与信号最高频率有关，而与稀疏度有关。降低了野外勘探数据采集代价，提高勘探精度。科学发现包括：1. 从计算调和与分析出发，将地震波动力学与地质属性结合构造了新的几何小波变换，建立了勘探数据稀疏表示的理论基础。2. 提出基于稀疏约束优化的不完备数据高精度重建优化理论与算法，提高了深部弱反射信号的信噪比。3. 发现压缩感知油气勘探欠定反问题有效求解及应用潜力，构建了突破传统采样定理勘探瓶颈的地震处理与反演理论，引领和推动了低成本油气资源勘探技术的发展。8篇代表性论文谷歌学术他引1018次，SCI他引350次，入选中国百篇最具影响国际学术论文。部分成果曾获黑龙江省自然科学一等奖、中国地球物理学会科技创新二等奖（全国一、二等奖共2名）。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

三、项目简介

复杂地质油气资源勘探是《国家中长期科学和技术发展规划纲要》优先主题之一。为满足国家对油气资源的重大需求，规避高度依附国际能源对国家安全与经济建设造成的风险，迫切需要开展勘探地球物理重大科学问题研究和关键技术攻关。由于油气储层的赋存状态复杂、地球物理响应微弱且受到各种干扰而畸变，加之观测资料不足，使得地球物理探测结果的分辨能力不够、多解性强。本项目立足数学与勘探地球物理学的交叉学科创新，在稀疏变换和压缩感知勘探领域从事了多年的持续研究，提出压缩感知地震勘探的基础理论和关键算法，突破传统香农采样定理对勘探理论和方法的限制，建立地球物理欠定反问题求解新体系。

本项目围绕压缩感知地震波勘探的关键科学问题进行研究，取得如下创新：

（一）发现几何小波稀疏变换新理论，为地震数据的稀疏表征提供数学基础。将调和分析和优化理论的最新数学前沿技术带到地球物理学中来，构造了多类新颖有效的几何小波变换，提出从曲波变换、字典学习、再到蒙特卡洛及张量图约束字典学习的系统性方法，为地震数据的稀疏表达提供了有效途径。

（二）发现压缩感知遥感成像新理论，应用“嫦娥”探月卫星数据进行了验证分析。首次提出单像素遥感成像新理论，有效地降低了遥感数据获取和成像的成本，在采样的同时进行数据压缩，大幅度降低了在轨遥感系统的功耗、数据存储以及传输需求，同时保持了数据的空间分辨率。建立了稀疏约束优化重建算法，为地球物理领域欠定反问题的求解提供了基础。

(三) 发现基于压缩感知的数据重建方法，把插值问题转换为稀疏和低秩约束优化问题，使压缩感知地球物理勘探新技术突破传统勘探受限于香农采样定理的瓶颈，将野外勘探成本转移到数学计算成本。针对传统勘探方法依赖于空间域或者变换域进行插值的缺点，提出基于数据驱动紧框架高维地震数据重构方法，比传统的字典学习方法计算速度提高 10-100 倍。发现了随机下采样地震数据在空间结构上具有自相关性，提出了基于低秩矩阵完备的三维地震数据重构算法，在节省野外数据采集成本的同时提高了地震勘探的效率。

本项目的研究成果得到同行的高度评价，8 篇代表性论文谷歌学术他引 1018 次，SCI 他引 350 次，其中一篇入选中国百篇最具影响国际学术论文。项目独立完成人获得国家杰出青年科学基金项目资助、中国地球物理学会科技创新奖、傅承义青年科技奖等荣誉；入选国家万人计划领军人才、科技部中青年科技创新领军人才、中组部首届青年拔尖人才。通过与中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石油勘探开发研究院、中国石化胜利油田等生产科研单位的合作，成果在超深层弱信号高精度成像、多波层位匹配、噪声压制等实际工作中得到应用。本项目的部分成果曾获黑龙江省自然科学一等奖。

四、代表性论文

序号	论文(专著) 名称/刊名 /作者	年卷页 码 (xx年 xx卷 xx页)	发表时间(年 月 日)	通讯 作者 (含 共 同)	第一 作者 (含 共 同)	国内作 者	他引 总次 数	检索 数据 库	论文署 名单位 是否包 含国外 单位
1	Combined curvelet shrinkage and nonlinear anisotropic diffusion/ IEEE Transactions on Image Processing/ Ma, Jianwei; Plonka, Gerlind	2007年 16卷 2198- 2206页	2007 年08 月13 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	152	谷歌学术	是
2	Single-pixel remote sensing/ IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters/ Ma, Jianwei	2009年 6卷199- 203页	2009 月01 月19 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	138	谷歌学术	是

3	Deblurring from highly incomplete measurements for remote sensing/ IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing/ Ma, Jianwei; Le Dimet, FX	2009年 42卷 792-802 页	2009 年 02 月 06 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	117	谷歌 学术	是
4	The curvelet transform/ IEEE Signal Processing Magazine/ Ma, Jianwei; Plonka, Gerlind	2010 年 27 卷 118-133 页	2010 年 03 月 25 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	407	谷歌 学术	是
5	Improved iterative curvelet thresholding for compressed sensing and measurement/ IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement/ Ma, Jianwei	2011 年 60 卷 126-136 页	2010 年 05 月 24 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	85	谷歌 学术	是

6	Three-dimensional irregular seismic data reconstruction via low-rank matrix completion/ Geophysics/ Ma, Jianwei	2013年 78卷 V181- V192页	2013 年 08 月 08 日	Ma, Jian wei	Ma, Jian wei	马坚伟	56	谷歌 学术	是
7	Interpolation and denoising of high dimensional seismic data by learning a tight frame/ Geophysics / Yu, Siwei; Ma, Jianwei; Zhang, Xiaoqun; Sacchi, Mauricio D.	2015年 80卷 V119- V132页	2015 年 07 月 31 日	Ma, Jian wei	Yu, Siwei	于四伟 马坚伟 张小群	41	谷歌 学术	是
8	Monte Carlo data-driven tight frame for seismic data recovery/ Geophysics / Yu, Siwei; Ma, Jianwei; Osher, Stanley	2016年 81卷 V327- V340页	2016 年 07 月 03 日	Ma, Jian wei	Yu, Siwei	于四伟 马坚伟	22	谷歌 学术	是

合 计	1018		
-----	------	--	--

补充说明（视情填写）：

承诺：①本项目所列知识产权符合提名要求且无争议。②已明确告知上述论文（专著）所有作者：所列论文（专著）用于提名 2020 年国家自然科学奖；项目如获奖后所列论文（专著）不得再次参评，如未获奖所列论文（专著）再次参评须间隔一年。③未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。④如因上述事项引发争议，将积极配合调查处理并承担相应责任。

第一完成人签名：

五、主要完成人

马坚伟

行政职务：人工智能研究院副院长，地球物理中心主任

技术职称：教授

工作单位：哈尔滨工业大学

完成项目时所在单位：哈尔滨工业大学

对本项目主要学术贡献：负责项目的总体研究内容的确定和关键理论的创新

曾获国家科技奖励情况：无