

项目情况简介（省科技进步奖）

1、项目名称

小尺度地质目标地震成像关键技术及规模化应用

2、主要完成人

沈鸿雁，李庆春，赵静，刘建，唐文，严月英，邵广周，马见青，车晗，宁忠华

3、提名单位

陕西省教育厅

4、提名意见

针对复杂地质条件下的地震波场成像困难、弱地震响应信息利用不充分及地质目标探测不精准等难题，在国家“863 计划”、中国石油科技创新基金、陕西省自然科学基金计划等科研项目的支持下，围绕小尺度地质目标精细地震成像关键技术开展创新研究，研发出地震波场正演模拟系统，创新了奇异值多分辨分析地震波场分离与弱信号提取方法，创立了初至波与反射波联合地震层析成像构建全尺度域速度模型的技术体系，创建了基于点散射地震-地质模型的散射波成像理论与技术体系，发展了绕射波分离与成像技术。成果获得国家授权发明专利 14 件，取得软件著作权 13 件，出版学术著作 3 部，发表学术论文 70 篇（其中 SCI/EI/ISTP 收录 37 篇）。研究成果已推广至胜利油田、中原油田、河南油田以及陕西、山西、内蒙古、山东等多个煤田应用，取得了显著的经济价值和广泛的社会效益，支撑探明石油可动用储量 1207.7 万吨、天然气可动用储量 39.9 亿立方米，新增煤炭资源储量 15.967 亿吨，潜在经济价值 290.1 亿元人民币。

项目成果丰硕、理论认识系统全面、方法技术先进、技术推广应用性强、对生产指导意义重大。中国石油和化学工业联合会成果鉴定认为，该成果整体达到国际先进水平。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖 二 等奖。

5、项目简介（500 字以内）

我国大型沉积盆地周边是油气、煤炭等资源的重要接替区，其资源开发对保障国家能源安全、推动社会经济发展意义重大。但这些区域的地表和地下构造极为复杂，小断块、破碎带及隐蔽性构造较发育，勘探难度极大，需要攻克系列世界级技术难题。地震波成像技术作为揭示复杂地质构造、检测资源属性的关键技术，是决定上述复杂地区能源矿产勘探方案设计和开采成功的关键。本项目通过地震-地质模型构建、数学理论推导、正演模拟、软件开发及现场试验等方法，经过 10 余年的持续攻关，取得五项创新成果：（1）创新了地震波场数值模拟技术，开发出地震波场数值模拟软件，揭示了地震散射/绕射波响应特征及传播规

律；（2）创立了初至波与反射波联合层析成像技术体系，支撑地震数据静校正及全尺度域速度模型构建；（3）创新了奇异值多分辨分析地震波场分离与弱信号提取技术，为低信噪比资料成像处理提供了重要支撑；（4）创建了地震散射波成像理论与技术体系，构建出点散射地震-地质模型，推导出散射波运动学方程，研制出散射波成像软件系统，建立了散射波偏移成像技术体系；（5）发展了绕射波分离及成像技术，研制出绕射波成像处理软件，构建出绕射波处理流程并形成技术体系。

6、客观评价（500 字以内）

（1）中国石油和化学工业联合会组织专家召开科技成果鉴定会，鉴定委员会认为，本项目成果总体达到国际先进水平。

（2）陕西科学技术情报研究院查新结论：基于视觉认知和差分进化算法的地震同相轴检测技术、奇异值多分辨分析地震波场分离与去噪、基于点散射地震-地质模型的地震散射波偏移成像技术、加权路径积分绕射波偏移成像技术等，除了本项目成员研究成果以外，未见文献明确报道。

（3）中国石油天然气集团公司组织专家对承担的中国石油科技创新基金项目“油气地震波场分离与信息提取新方法、新技术研究”（项目编号：2010D-5006-0303）进行验收，验收评价结果为优秀。

（4）陕西省科技厅组织专家对承担的陕西省自然科学基金基础研究计划项目“油气地震散射波成像方法研究”（项目编号：2011JQ5006）进行验收，验收评价结果为优秀。

（5）依托本项目取得的学术论文“频域奇异值分解（SVD）地震波场去噪”获中国石油和化工自动化应用协会优秀科技论文二等奖（证书编号：2012KXJSJ-LWY019-2）。

（6）本项目部分研究成果“地震散射波成像方法与技术”获陕西高等学校科学技术奖二等奖（证书编号：17K07）。

（7）依托本项目形成的新方法和新技术多次在 SEG 等国内外学术会议交流，得到行业专家的充分肯定。

7、应用情况（200 字以内）

研究成果推广应用于多个油气田、煤田、陆地可燃冰勘探以及工程勘察，累计支撑探明石油可动用储量 1207.7 万吨、天然气 39.9 亿立方米，新增煤炭资源储量 15.967 亿万吨，确定了多处地质灾害（缺陷）性质及规模，取得了显著的经济价值和广泛的社会效益。

8、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
----	--------	----------	--------	-----	------	------	-----	-----

1	发明专利	一种地震散射 P-P 波成像速度 分析方法	中国	ZL2010 1018947 2.8	2012.05. 23	第 949406 号	西安石 油大学	沈鸿雁
2	发明专利	一种地震散射 P-P 波成像方法	中国	ZL2010 1018947 3.2	2012.01. 11	第 895550 号	西安石 油大学	沈鸿雁
3	发明专利	一种地震散射 P-S 转换波成像 方法	中国	ZL2010 1019275 6.2	2013.06. 19	第 122025 6 号	西安石 油大学	沈鸿雁
4	发明专利	一种中值阻滤波 分离地震绕射波 的方法	中国	ZL20181 1120415 .7	2019.07. 30	第 347516 5 号	西安石 油大学	沈鸿雁, 严月英
5	发明专利	一种基于小波技 术的地震数据融 合方法	中国	ZL20211 0577205 .6	2022.09. 23	第 547388 2 号	西安石 油大学	唐文
6	软件著作 权	地震波响应及传 播虚拟仿真实验 软件 (SeisRP v1.0)	中国	2024SR 0271803	2024.2.1 8	第 126756 76 号	西安石 油大学	沈鸿雁, 李俊飞, 车晗
7	论文	Separation of diffracted waves via SVD filter	中国	https://doi.org/10.1007/s12182-020-00480-8	2020.10. 01	Petroleum Science	Xi 'an Shiyou Univer sity	Hong-Yan Shen, Qin Li, Yue-Ying Yan, Jing Zhao
8	论文	利用绕射波成像 提高煤田陷落柱 预测精度的方法	中国	2022,47(9):3442-3450	2022.09. 01	煤炭学 报	山西省 地球物 理化学 勘查 院, 西 安石油 大学, 陕西省 油气成 藏地质	刘建, 沈 鸿雁, 席 井昌, 李 勤, 赵静, 李萌

							学重点 实验室	
9	论文	频域奇异值分解 (SVD)地震波场 去噪	中国	2010,45(2):185-189	2010.04.15	石油地 球物理 勘探	西安石 油大 学, 长 安大学	沈鸿雁, 李庆春
10	论文	多分量地震的时 频域瞬时极化分 析和滤波	中国	2015,30(6):2723-2729	2015.06.01	地球物 理学进 展	长安大 学, 西 北有色 地质勘 查局物 化探总 队	马见青, 李庆春, 王卫东, 王美丁

9、主要完成人情况

序号	完成人	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	沈鸿雁	副院长	教授	西安石油大学	西安石油大学	组建本项目研究团队,全面负责项目的立项和组织实施工作。出版学术著作1部,以第1作者或通讯作者身份发表学术论文28篇,获得授权发明专利9件,取得软件著作权6件。对第3、4、5项重要科学发现做出创造性贡献,对第1项重要科学发现做出了重要贡献。投入该项目研究的工作量约占本人总工作量的80%。主要学术贡献:揭示了地震信号的奇异值多分辨特性,发明了奇异值多分辨分析分离地震波场的方法;创新构建了点散射地震-地质模型,揭示了地震散射波的响应机理、表现特征及运动学规律,发明了散射波速度分析方法、偏移成像方法和多种绕射波

						分离方法，研发出散射波/绕射波成像处理软件系统，创立了散射波/绕射波成像理论技术体系。
2	李庆春	无	教授	长安大学	长安大学	主导组建本项目研究团队，重点负责地震初至波层析成像研究，参与地震波场正演模拟、多域奇异值多分辨分析波场分离与去噪和地震散射波成像研究。以第 1 作者或通讯作者身份发表学术论文 36 篇，取得软件著作权 5 件。对第 2 项重要科学发现做出了创造性贡献，对第 1、3、4 项重要科学发现做出了重要贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 60%。主要学术贡献：创立了多波联合地震层析成像技术体系，开发出地震波场数值模拟系统、初至波与反射波多尺度渐进联合层析成像和分区多步 LTI 与多波旅行时联合层析成像等软件系统。
3	赵静	无	副教授	西安石油大学	西安石油大学	参与地震波正演模拟、初至波层析成像及绕射波成像技术研究。以第 1 作者身份发表学术论文 14 篇，获得授权发明专利 3 件。对第 1 和 2 项重要科学发现做出了重要贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 60%。主要学术贡献：研究形成基于流形自编码器的地震属性优化方法、基于视觉认知的环境抑制与轮廓结合模型的地震数据同相轴检测方法和用于局部相关同相轴的走时与梯度精确拾取方法，有力支撑了初至拾取的精度，为初至波与反射波联合层

						析成像奠定了良好的基础;发展了基于方向引导协同差分进化算法并用于射线追踪中,为地震波正演模拟提供了一种新的手段。
4	刘建	所长	高级工程师	山西省地球物理化学勘查院有限公司	山西省地球物理化学勘查院有限公司	负责技术推广应用,参与地震绕射波成像技术研究及野外数据采集实验。以第 1 作者身份发表学术论文 2 篇。对 4、5 项重要科学发现做出了重要贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 50%。主要学术贡献:系统开展了绕射波成像技术探测煤田致灾地质因素的实验,获得了有效的实验结论;推广本项目成果应用,取得了较大找煤突破,创造了较大的经济价值和社会效益。
5	唐文	无	副教授	西安石油大学	西安石油大学	参与地震波正演模拟及地震成像技术研究。出版学术著作 1 部,以第 1 作者身份发表学术论文 7 篇,获得授权发明专利 2 件,取得软件著作权 2 件。对第 1 和 4 项重要科学发现做出了重要贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 50%。主要学术贡献:提出了基于小波变换的地震数据融合方法,发展了起伏地表复杂介质波动方程有限元法叠前逆时偏移成像技术。
6	严月英	科级组织员	工程师	西安石油大学	西安石油大学	参与地震波成像技术研究,对研究成果的投产应用做出了重要贡献。主要学术贡献有:以第 2 完成人获得 2 项发明专利和软件著作权 3 项,参与发表论文 3 篇。投入该项目的研究工作量占本人总工作量

						的 40%。
7	邵广周	无	教授	长安大学	长安大学	参与地震波正演模拟、初至波层析成像、地震波场分离与去噪、散射波成像方法研究及野外地震数据采集实验。发表论文 3 篇，对本项目的完成做出了一定贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 30%。
8	马见青	系副主任	副教授	长安大学	长安大学	参与地震初至波层析成像、地震波场分离与去噪等方法研究及野外数据采集实验,对本项目的完成做出了一定贡献。发表论文 3 篇。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 30%。主要学术贡献：提出多分量地震的时频域瞬时极化分析和滤波方法,为本项目中地震波场分离与去噪提供了技术支撑。
9	车晗	无	无	西安石油大学	西安石油大学	参与地震波场分离与去噪、绕射波成像技术研究。参与发表论文 1 篇,对本项目的完成做出了一定贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 30%。
10	宁忠华	无	讲师	西安石油大学	西安石油大学	参与野外地震数据采集实验,对本项目的完成做出了一定贡献。投入该项目的研究工作量占本人总工作量的 10%。

10、主要完成单位及创新推广贡献

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西安石油大学	项目主持单位,在本项目实施过程中,提供了一切项目研究所需的实验室、仪器设备和人力资源,保证了该项目得以顺利完成。
2	长安大学	项目参与单位,在本项目实施过程中,提供了部分项目

		研究所需的实验室、仪器设备和人力资源，保证了该项目得以顺利完成。
3	山西省地球物理化学勘查院有限公司	项目参与单位，在本项目实施过程中，提供了部分项目研究所需的实验室、仪器设备和人力资源，保证了该项目得以顺利完成，为成果推广应用做出了突出贡献。

11、完成人合作关系说明（200 字以内）

沈鸿雁和李庆春共同统筹项目整体研究方向和技术路线；赵静、唐文、严月英、邵广周、马见青、车晗、宁忠华参与了项目的论证、申报、实施、实验、验证、应用等各环节；刘建主要负责成果推广应用，同时参与了地震绕射波成像技术研究。团队通过定期研讨、数据共享、成果互审等方式，实现了深度协作，联合发表论文、申请专利和软件著作权，保障了项目各环节的协同推进和成果落地。