**中国地质学会数学地质与地学信息专业委员会**

**推荐2022年度自然资源科学技术奖**

**（科技进步奖）公示材料**

**一、成果基本情况**

|  |  |
| --- | --- |
| 成果名称 | 地震各向异性弹性波探测技术 |
| 学会评审组 | 中国地质学会评审组 |
| 主要完成人 | 王赟、孙鹏远、芦俊、张少华、闫媛媛、汪洋、蔡志东、杨春、钱忠平、梁瀚、程志国、林建东、贾曙光、郎玉泉、余攀 |
| 主要完成单位 | 中国地质大学(北京)、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司勘探开发研究院、中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院、中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院、山西山地物探公司、北京金海能达科技有限公司、北京多分量地震技术研究院、中国科学院地球化学研究所、中国科学院地质与地球物理研究所 |
| 推荐等级 | 一等 |

1. **推荐意见**

|  |  |
| --- | --- |
| 推荐单位 | 中国地质学会数学地质与地学信息专业委员会 |
| 通信地址 | 北京市海淀区学院路29号中国地质大学（北京） | 邮政编码 | 100083 |
| 联系人 | 吴青 | 联系电话 | 18811561602 |
| 电子邮箱 | dxfzh2180@163.com | 传 真 | 010-82322180 |
| 推荐意见：（限600字） 以油气和煤炭为代表的化石能源仍是我国经济社会可持续发展的战略资源主体。在当前国际形势下，保障能源自主供给、减轻国际依赖度事关国民经济发展乃至国家安全。随着我国能源结构的调整与优化，以及碳中和达标的压力日益紧迫，含裂缝薄互层成为我国化石能源勘探开发的主要目标，地震勘探任务已转为针对深层与超深层的岩性与含流体性、裂缝隙以及薄层等复杂地质体。基于声学介质阻抗差界面反射理论的传统三维地震技术曾在我国化石能源勘探开发中发挥着地勘基石的作用，但目前已难以满足复杂地质体勘探降本增效以及高精度的要求。针对含裂缝薄互层地震波探测问题，该成果发展了薄互层弹性波传播理论，在各向异性弹性波成像与反演关键技术等方面取得了多项创新性成果，为裂缝等小构造探测与薄互层精细刻画、流体识别提供了系统有力的新一代地震技术保障。该成果登记计算机软件著作权证书111项，集成形成了工业化应用的弹性波处理与反演软件系统；获得发明专利授权48件，其中美国专利4件，制定团体标准3项；在国内外主流学术期刊发表学术论著145篇，其中SCI与EI检索112篇、专著4部；极大地推动了传统地震技术向弹性波的跨越发展，培养了一批掌握地震前沿技术的专业人才。成果的核心技术不仅集成于三大石油公司的弹性波地震软件平台，为我国化石能源勘探开发提供了关键技术支撑，在西部油气田与两淮、山西等煤田的推广应用产生了显著的经济与社会效益。该成果内容及提交的全部材料符合要求，我单位提名该成果申报科技进步奖一等奖。 |
| **声明：** 本单位遵守《自然资源科学技术奖章程（暂行）》规定，承诺遵守评审工作纪律，所提供的材料真实有效，无涉密内容，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的的情形。本单位承诺认真履行作为推荐单位的义务并承担相应的责任。  法人代表签名:      推荐单位（公章）  年 月 日  |

1. **成果简介**

在勘探地震频带范围内，以陆相或海陆交互相沉积为主的我国含煤层系与主要含油气储层属于典型薄互层。由于我国发育多期次构造运动，薄互层沉积又叠加了不同尺度的断层与裂缝隙，表现为复杂的地震各向异性特征，使得我国目前油气与煤炭资源的三维地震勘探主要面临薄层、小断层与破碎带、裂缝隙、含流体性与岩性等的精细刻画、识别难题。基于声学介质理论的传统纵波地震技术既使在“两宽一高”的三维采集条件下也难以克服分辨率与精度不足、多解性强等理论技术瓶颈。其实质是：针对目前我国化石能源勘探开发的高精度、精细探测需要和降本增效目标任务，建立在传统阻抗差界面地震反射理论基础上的单分量声波地震技术已难以满足生产实践的需要，需要考虑地震各向异性。针对此，在国家自然基金、科技部973与油气专项、重大攻关项目和企业技术应用项目等的支持下，十多年来申奖单位围绕着：① 薄互层的岩石超声弹性特征及其各向异性发育规律，② 薄互层弹性波传播，③ 薄互层多种目标地质体的地震波响应机理（包括构造、岩性、裂缝隙与破碎带、构造煤、含流体性等），④ 三维多分量弹性波勘探的关键处理与解释反演技术，⑤ 油田与煤田地震勘探应用，取得了如下三个方面的创新成果：

1. 建立了薄互层的弹性波传播理论，厘定了薄互层的长波长地震各向异性形成机理与发育特征，给出了等效介质理论近似；针对单薄层反射，给出了系列弹性波传反透射公式；针对含单组和多组裂缝薄互层，给出了正交、单斜介质模型的弹性波表征速度、偏振矢量、反透射系数公式；相比传统阻抗差界面反射，理论精度提高了10%以上。

2. 攻克了多分量地震处理与多波联合反演的系列关键技术，形成了三维三分量地震成像与解释技术体系，并集成工业化应用的大型软件系统，应用于多个大型三维弹性波勘探项目。

3. 不同油田与煤田的应用探索，形成了适用于裂缝等精细构造识别、岩性预测和含流体检测的多个特色弹性波地震技术。

煤田地震应用验证，获得了明显优于传统声波地震技术的小断层、煤层深度、厚度、岩性等各种地质构造的预测精度：小断层的识别能力在两淮煤田提高到3米，三维地震断点的平面摆动误差从国家规范的不大于30米提高到15米，煤层深度误差从1.5%提高到5‰；在沁水盆地中西部查明了目标煤层中5m以上断层及直径25m以上陷落柱等精细构造展布特征。

西部油气田地震勘探应用验证，川西须家河组致密砂岩储层弹性波成像主频提高15Hz，实钻井构造深度误差从1%减小到0.6%，钻井符合率由70%左右提高到85%以上，气水识别成功率从45%提高到75%。

成果获得发明专利授权48件，其中美国专利4件；登记软件著作权111项；发表学术论著145篇，其中SCI与EI检索112篇、专著4部；制定团体标准3项。成果集成为弹性波处理与反演软件，且部分关键技术移植于中石油、中石化与中海油多个弹性波处理软件系统，为国内外多个油气田的勘探开发提供了弹性波地震关键技术支撑。在我国西部多个油气田推广应用，助力新增探明石油储量10多亿吨、天然气万亿方，新增利润20多亿元；在两淮和山西煤田应用，新增利税10多亿元，经济与社会效益显著。

1. **客观评价**

**1. 技术检测报告、验收意见、鉴定结论**

(1) 一级科技查新站中国科学院文献情报中心科技查新报告（2022-0422）的结论：项目研发的裂缝薄互层弹性波传播理论、各向异性介质的偏移成像技术、含裂缝薄互层几何结构弹性波联合反演技术、储层流体识别技术，除项目成员发文外，在国内外公开文献中未见相同报道。

(2) 由滕吉文院士、李阳院士等专家组成的鉴定委员会认为项目主要取得了以下创新：

a、发明了薄层弹性波反射系数快速求解、双相介质地震波场数值模拟等方法，形成了多组多尺度裂缝与互层结构叠置模型的地震响应求解技术，为互层结构刻画、多组裂缝预测与流体检测提供了理论支撑。

b、发明了多波联合静校正、VSP约束下的多波联合各向异性Q偏移成像等方法，校正了走时与振幅的各向异性以及吸收衰减对弹性波成像的影响，提高了含裂缝薄互层的成像精度；对比传统处理方法，川中致密砂岩储层处理后弹性波成像主频提高15Hz，实钻井构造深度误差从1%减小到0.6%。

c、发明了砂泥岩薄互层与裂缝介质多波AVO联合反演以及基于高密度VSP数据的薄地层识别等方法，形成了针对裂缝与薄互储层的地面地震与VSP多波联合反演技术，提高了薄互层、裂缝及其所含流体属性的识别能力；在广安须家河致密砂岩储层预测钻井符合率由70%左右提高到85%以上，气水识别成功率从45%提高到75%。

鉴定委员会一致认为该项目成果总体达到国际先进水平，其中多组多尺度裂缝与互层结构叠置模型的地震响应求解、多波联合各向异性Q偏移成像以及针对裂缝与薄互储层的地面地震与VSP多波联合反演等技术达到国际领先水平。

(3) 中石化科技部专家认为“三维三分量VSP数据处理关键技术研发与应用”可以约束地面地震提高分辨率，有效提高了超深层碳酸盐岩缝洞体的成像精度以及缝洞体连通性的预测精度。

(4) 东方地球物理公司物探技术研究中心专家认为“基于薄层反射近似公式的PP波与PS波联合AVO反演软件”与常规的基于单界面假设的多波联合反演方法相比，反演精度更高。

(5) 中国石油新疆油田分公司评价：北京金海能达科技有限公司的储层预测等技术助力新疆油田公司在玛湖发现了十亿吨级大油田，也是世界最大的砾岩油田。

(6) 中海油研究总院有限责任公司评价：项目团队转化的发明专利为EWI系统提供了核心技术支撑，处理成果与商业系统处理成果对比表明：成像质量优于同类商业系统，可以部分替代进口软件。

(7) 淮南矿业（集团）有限责任公司顾桥煤矿评价：应用项目研究成果，不但巷道部署及煤矿采掘方案更为合理，减少了巷道及采掘成本，同时保证了矿井的安全、高效生产，经济与社会效益显著。

(8) 山西省煤炭地质物探测绘院有限公司评价：推广应用各向异性介质理论的全方位采集、各向异性处理及优势方位构造解释及面向薄互层的叠前/叠后岩性及储层特色反演等一体化技术体系，为煤矿安全高效生产提供了强有力的保障。

**2. 国内外同行学术性评价意见**

(1) 发表于行业顶级期刊《Geophysics》80卷第5期的文章《Joint PP and PS AVA seismic inversion using exact Zoeppritz equations》介绍了基于精确反射系数方程的纵、横波速度与密度的同时反演方法。该文章得到了国际同行认可，被选为该期《Geophysics》的研究亮点之一。

(2) 中国石油天然气集团公司科技管理部撒利明教授在《石油地球物理勘探》2016年第51卷第2期《中国石油“十二·五”物探技术重大进展及“十三·五”展望》一文中评价：研发的多波地震资料处理软件是国内功能最齐全、整体技术水平最高的，成为中石油工程技术利器之一，该软件的应用提升了中石油在委内瑞拉及南美地区的技术质量信誉，有利推动了中石油在海外3D3C勘探业务的发展。

(3) 中海油研究总院有限责任公司李维新教授在《地球物理学报》2018年第61卷第3期《中海油多分量地震处理技术的发展与应用实例》一文中给出目前国际地球物理领域实力最强的三家公司的多分量地震软件技术的对比，给出评价：多分量地震软件包已经取得了优于国外同行的优势。

1. **主要知识产权目录**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权(标准)类别 | 知识产权(标准)具体名称 | 国家(地区) | 授权号(标准编号) | 权利人(标准起草单位) | 发明人(标准起草人) |
| 1 | 标准 | 多波多分量地震勘探规范 | 中国 | T/CGS 009—2022 | 中国地质大学（北京）、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中国石化西南油气分公司等 | 王赟、王祥春、芦俊、钱忠平、李建峰、邓志文、杨军、吴永国等 |
| 2 | 发明专利 | 一种模型约束的薄层多波AVA联合反演方法 | 中国 | ZL201911021825.0 | 北京多分量地震技术研究院; 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司 | 杨春; 王赟; 孙鹏远; 张铁强 |
| 3 | 发明专利 | 一种对地震波沿传播路径进行Q补偿的偏移成像方法及装置 | 中国 | ZL202110594464.X | 中国地质大学（北京） | 李栋青; 芦俊; 王赟 |
| 4 | 发明专利 | PRESTACK SEPARATING METHOD FOR SEISMIC WAVE | 美国 | US10712461B2 | 中国地质大学（北京） | 芦俊; 王赟 |
| 5 | 发明专利 | VECTOR DENOISING METHOD FOR MULTICOMPONENT SEISMIC DATA | 美国 | US10761232B2 | 中国地质大学（北京） | 芦俊; 王赟 |
| 6 | 发明专利 | 一种确定叠前偏移时间结果的方法和装置 | 中国 | ZL201710761804.7 | 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司；中油油气勘探软件国家工程研究中心有限公司 | 王狮虎; 张少华; 王成祥; 张建磊; 张巍毅; 赵长海 |
| 7 | 标准 | 煤矿采区三维地震勘探规范 | 中国 | T/CGS 012—2022 | 中国煤炭地质总局、中国煤炭地质总局地球物理勘探研究院、江苏煤炭地质物测队等 | 程彦、赵谱、汪洋、林建东、郎玉泉等 |
| 8 | 发明专利 | 生成深度域数据体的方法、装置及存储介质 | 中国 | ZL201811157402.7 | 中国石油天然气股份有限公司 | 梁瀚;孔令霞;冉崎;曾鸣;韩嵩;代瑞雪;屠志慧 |
| 9 | 发明专利 | 一种识别致密岩甜点的方法 | 中国 | ZL201810380711.4 | 北京金海能达科技有限公司 | 贾曙光 |
| 10 | 发明专利 | 一种隐伏陷落柱的地震识别方法和装置 | 中国 | ZL201910214012.7 | 山西山地物探技术有限公司 | 常锁亮; 许玉莹; 陈强; 曾维望; 赵兴; 余攀 |