

项目公示信息

一、项目名称：油气井中地震波勘测光纤矢量检波技术

二、主要完成人情况：

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	主要贡献
乔学光	1	无	教授	西北大学	西北大学	项目总体负责人,主持本项目主要技术的总体规划和研究策略。提出了井中地震波勘测光纤三维检波技术与地震物理模型光纤超声波成像技术相结合的地层油气资源勘测新方法、新技术、新仪器研究。对于促进我国面向地层能源结构探测的光纤传感新技术发展做出了突出贡献。对主要技术发明 1.1、1.2、1.3、1.4 均有突出贡献
荣强周	2	无	副教授	西北大学	西北大学	完成项目主要技术中的光纤三维矢量传感器及光纤宽频带超声传感器。设计新型高性能光纤光栅与光纤微结构,分析光纤传感结构对振动加速度、超声波加载高灵敏响应机理,为传感器研制提供理论指导。对主要技术发明 1.1、1.2、1.3 有突出贡献。投入项目技术研究工作量占本人工作量的 70%。
高宏	3	无	讲师	西安石油大学	西北大学	完成项目主要技术中光纤振动加速度传感器制作及解调系统研发。设计并制作光纤振动加速度增敏结构,实现一至三维地震波探测。针对光纤检波器幅频特性,研发了高频振动加速度解调系统,实时采集三维地震波数据。目前已集成光纤检波器及解调系统,研发了地震波光纤传感样机。对主要技术发明 1.1、1.3、1.4 有突出贡献。
王若晖	4	无	副教授	西北大学	西北大学	主要完成项目主要技术中光纤微结构加工及光纤振动加速传感结构制作。设计并利用激光微加工系统完成了新型微型光纤传感结构制作,提高了传感器的振动响应灵敏度和响应频带。此外,参与了振动加速度检波的实验测试,为检波器性

						能优化提供实验指导。对主要技术发明 1.1、1.2 有突出贡献。
刘钦朋	5	无	副教授	西安石油大学	西北大学	完成项目主要技术中一至三维光纤光栅振动加速度检波研制及应用现场测试。设计并制作了一至三维光纤检波器,完成地震波波采集测试。此外,参与了下井光缆设计与制作,与油田现场积极对接,对研制的光纤地震波勘探实验样机进行现场测试,获取现场应用反馈信息资料。对主要技术发明 1.1、1.4 有突出贡献。
邵敏	6	无	副教授	西安石油大学	西北大学	主要完成项目主要技术中新型光纤传感结构理论分析与微结构制作。利用有限元模型,分析了多种新型微结构的光波传输机理,为光纤振动加速度、光纤超声传感器研制提供了坚实的理论基础。此外,制作了多种光纤微结构传感器,提高振动加速度、地震物理模型反射超声波的感测灵敏度。对主要技术发明 1.1、1.2 有突出贡献。
冯德全	7	无	讲师	西安石油大学	西北大学	主要完成项目主要技术中传感器高可靠性封装结构与材料研究。根据新型光纤传感器结构,提出并研制了系列振动加速、超声波激励增敏机械结构与封装材料,提高传感器的现场应用的可靠性。此外,与课题组其他成员共同参与光纤传感技术的现场应用测试。对主要技术发明 1.1、1.4 有突出贡献。
樊伟	8	无	讲师	西安石油大学	西北大学	主要完成项目主要技术中传感器耐高温高压封装材料研制。研制了石英纳米粒子适度融合于硅烷耦联剂,结合热处理改性工艺,通过分子桥将基底材料与光纤光栅紧密耦联粘接,提高光纤耐高温高压、耦联粘接效果、响应时间及“永久”性能。对主要技术发明 1.1、1.4 有突出贡献。
邵志华	9	无	无	西北大学	西北大学	主要完成项目主要技术中宽频带光纤超声传感器设计与制作。研制了基于光纤光栅与光纤微结构干涉仪的超声波传感器,实现了对宽频带超声波的高信噪比感测。并完成了地震物理模型光纤

						采集系统搭建,实现了多种地震物理模型超声回波的三维采集与成像。对主要技术发明 1.2、1.3 有突出贡献。
包维佳	10	无	无	西北 大学	西北 大学	主要完成项目主要技术中三维光纤检波器设计与制作。研制了系列包层型正交光纤光栅与偏芯型正交光纤光栅,实现了对三维地震波的矢量感测。此外,搭建了三维矢量分析系统,实现了对地震波三维矢量信息的采集与分析。对主要技术发明 1.1、1.3 有突出贡献。

三、完成人合作关系说明:

项目完成人均为乔学光教授带领的光纤测井科研团队成员,一直从事光纤光学、光纤传感、光信息处理、激光技术、光电解调技术等基础研究,以及油气田现场井中光纤高温高压检测、光纤低启动流量监测、光纤微地震监测、光纤地震波勘测、光纤地震物理模型成像等光纤测井应用技术研究。近 10 余年内,主要开展了油气井中地震波勘测光纤检波新方法、新技术、新仪器研究,重点攻克宽频带、高密度、高维度井中地震波勘测的诸多科学技术难题。

项目整体研究内容分为三种关键技术:(1)地震物理模型光纤超声成像技术;(2)井中地震波勘测光纤三维矢量检波技术;(3)两种技术融合的高精度、高密度、高维度地层油气资源勘测新方法、新仪器、新技术。乔学光教授为项目总负责人,负责项目总体规划、学术研究方向、科学技术攻关、计划目标任务落实等指导协调工作。项目组诸位完成人共同参与并分工完成了研究内容中的地震波与声波传播规律研究、各种检波器研制、传感光源研制、地震波资料解释、数据分析及信号解调系统研制、仪器样机研制联调、与项目研究相关的油田资料数据收集与提供、油气田现场调研、现场测试(实验室和井下)条件提供及协调,数据解释、国内外学术交流、学术会议承办、研究实验测试资料汇总、项目年报、结题验收、专利申请、论文撰写发表等。项目完成人在各个主要技术发明中分别做出了突出贡献。

项目组完成人共同申请且参加了乔学光教授主持的国家自然科学基金重大科研仪器项目(No:61327012)、国家自然科学基金重点项目(No:61735014)、国家自然科学基金仪器专项及面上项目(No:61275088, 61077060, 60727004, 60654001)、国家 863 计划项目(No:2009AA06Z203, 2006AA06Z21),科技部国际科技合作项目(No:2009DFB1305G),中国石油天然气集团公司科技项目

(No:2014A-3609, 2008D-5006-03-08, 2011A-3907) 等国家级科研项目研究,且均为项目骨干成员。近 10 年内,共同署名在国内外光学及传感器领域高水平期刊上发表 SCI 收录论文 120 篇, EI 收录论文 40 篇,授权国家发明专利 21 项。

四、主要完成单位排序及贡献:

1. 西北大学。

科研团队在光纤传感基础研究及应用技术研究领域历经近 30 年艰苦奋斗,坚持基础研究与实际应用相结合、与人才培养相结合、与学科建设相结合,已形成了一支基础与应用技术研究,高层次人才培养,科研平台建设等方面在国内外同行领域享有较高学术声誉的创新性科研团队。主要完成单位西北大学高度重视团队建设发展,在项目组多年工作积累的基础上,支持建设了“光电子技术与功能材料省部共建国家重点实验室”,“光电技术与功能材料及应用国际联合研究中心”等科研平台,为团队项目顺利完成、人才的高水平培养提供了坚实的科学研究平台。配套团队的国家级项目,提供经费支持,补充完善实验室设备,提升实验室的科学研究条件。积极引荐海内人才、选留优秀博士优秀毕业生,帮助团队快速建设与发展。支持科研团队国际合作研究,协助团队派出及请进科研工作者(教授、博士研究生)进行合作交流,与意大利帕多瓦大学签订学术交流、人才培养及合作研究协议。支持团队承办国家自然科学基金委员会信息科学部主办的“光纤传感关键技术基础问题研讨会”,“光纤传感关键技术基础研究”重点项目群启动暨学术交流会等重要学术会议,提升团队的国内外影响力。综上所述,完成单位在人力、物力、专业技术、基础平台、现场测试应用等方面均为该项目的完成提供了良好的研究资源条件。

2. 西安石油大学

完成单位西安石油大学高度重视光纤传感技术研究团队的建设和发展,在场地紧缺的情况下,为项目组提供了 1000 余平方米的科研与办公用地,并在项目组多年工作积累的基础上,支持建设了教育部“光电油气测井与检测重点实验室”、陕西省“光电测井重点实验室”及陕西省油气资源光纤探测工程技术研究中心等科研平台,为项目的顺利完成、高水平人才的培养提供了坚实的科学研究平台。完成单位有完备的科研支持制度,有专门的经费配套团队的国家级项目,补充完善实验室设备,不断提升实验室的科学研究条件。积极引荐优秀人才,帮助团队快速建设与发展。支持科研团队开展校企合作,协助团队与中国石油长庆油田公司、中国石油集团测井有限公司、中国石油长城钻探工程分公司及中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司等油田企业进行合作交流。完成单位积极组织项目组开展相关工作,对项目研究中的经费使用、研究进度及完成情况等全面管理,积极协调解决项目研究中的测试单位、测试场地等问题。综上所述,完成单位在

人力、物力、专业技术、基础平台、现场测试应用、管理、协调等多方面均为该项目的完成提供了良好的研究资源条件。

五、完成单位合作关系说明：

西北大学光纤传感课题组与西安石油大学光纤传感课题组共同组建了光纤测井科研团队，由乔学光教授带领长期从事光纤传感基础研究及应用技术研究，已取得了创新性研究成果。西北大学与西安石油大学充分发挥在基础光学科学研究、光纤传感应用技术、勘探测井领域的研究力量、技术水平、成果积累及人才资源平台优势，为科研团队的项目顺利完成在人力、物力、专业技术基础等方面均为该项目提供了良好的研究资源条件。主要合作形式为：

(1) 科研项目合作。科研团队成员共同申请并参与了国家自然科学基金重大科研仪器项目（No:61327012）、国家自然科学基金重点项目（No:61735014）、国家自然科学基金仪器专项及面上项目（No:61275088, 61077060, 60727004, 60654001）、国家863计划项目（No:2009AA06Z203, 2006AA06Z21），科技部国际科技合作项目（No:2009DFB1305G），中国石油天然气集团公司项目（No:2014A-3609, 2008D-5006-03-08, 2011A-3907）等国家级科研项目研究。

(2) 科研平台建设合作。科研团队共同参与建设西北大学：“光电子技术与功能材料省部共建国家重点实验室”，“光电技术与功能材料及应用国际联合研究中心”；西安石油大学：教育部光电油气测井与检测重点实验室、陕西省油气资源光纤探测工程技术研究中心（13115 工程技术中心）、中国石油天然气集团公司测井重点实验室油藏光纤动态监测重点研究室等科研平台，为项目研究提供了良好的科研平台保障。

(3) 项目分工实施合作。西北大学课题组负责地震波与声波传播规律、传感器研制、激光光源研制、解调系统研制、仪器样机研制联调、国内外学术交流、学术会议组织、研究实验测试资料汇总、项目年报、结题验收、专利申报、论文撰写发表等。西安石油大学课题组负责传感器、光源、信号解调器等器件结构加工，封装材料研究及器件加工与封装，与油田现场联络及现场实验等研究内容。

(4) 高层次人才培养合作。两校均重视科研团队的人才培养，目前已有 10 名教师专业技术人员，20 名在读博士、硕士，均为该项目研究的主要骨干力量。科研团队共同署名已发表 SCI 论文 120 篇，EI 论文 40 篇，授权国家发明专利 21 项，知识产权归属科研团队所在单位共有。

六、项目简介：

针对复杂地层能源精细描述、精准探测、科学开采的迫切急需，开展了井中地震波勘测光纤三维矢量检波，地震物理模型光纤高空间分辨率超声波成像，以及两种技术结合的地层油气资源勘测新方法、新技术、新仪器的应用研究。重点攻克了宽频带（地震模型成像：100KHz-5MHz，井中地震勘测：5Hz-2.2KHz）、高密度（地震模型成像：>100 万道采集，井中地震勘测：>160 道采集）、高维度（三维空间动态采集）井中地震波勘测的技术难题。对于促进我国面向地层能源结构探测的新技术发展，提升油气资源勘测的能力和信息化水平具有十分重要的科学技术意义。

1. 科学技术特色优势

（1）光纤传感测井技术基础研究积累。科研团队多年来一直从事纤维光学、光纤传感、光信息处理、光纤传感测井的研究工作，坚持基础研究与实际应用相结合、与人才培养相结合、与学科建设相结合，在基础与应用技术研究，高层次人才培养，科研平台建设等方面均取得了创新性研究成果。在国家相关科研项目支持下，完成的科研成果“油气管线分布式光纤光栅智能传感系统研究”获 2005 年度陕西省科学技术一等奖，“高温高压分布式光纤光栅传感技术”获 2007 年度国家技术发明二等奖，科研创新团队“光纤光栅传感技术研究课题组”荣获 2008 年度全国“五一”劳动奖状。本次申报的油气井中地震波勘测光纤矢量检波技术是在前期光纤传感测井、油气管线检测的基础上开展的地层能源及油气资源勘测新方法、新技术、新仪器的研究成果积累，是前期研究基础的承接、延续和拓展。

（2）井中地震波勘探光纤矢量检波技术。重点研究突破了井中地震波传播规律研究、新型光纤三维矢量传感器研制、振动加速度矢量检波、下井光缆研制、网络化信息复用与传输等科学技术难题，实现了单一光纤传感单元的三维振动矢量加速度检测，并利用光纤检波器及光缆在井中“永久”铺设、传感与传输的功能，突破了传统三分量地震检波器低均匀度、低密度、低信噪比、小容量的瓶颈，拓展了光纤传感仪器的优势及先进性。核心技术授权国家发明专利。

（3）地震物理模型光纤超声成像技术。重点突破了声波在地震模型中的传播规律、微型化光纤传感器制作、稳定高频声波信号解调、多通道复用等科学技术难题，并利用逆时偏移算法，重构地质模型内部结构，实现了复杂地震物理模型的高空间分辨率成像。光纤超声采集方法具有极高的空间分辨率与采集效率，是一种地震物理模型高效信息获取的新方法，在原理和技术上均具有原创性。核心技术申请受理国家发明专利。

（4）实验模拟（正演）与现场勘测（反演）相结合。重点突破了地震物理

模型光纤超声成像（实验模拟）与井中地震波勘探光纤矢量检波（现场勘测）资料解释和数据分析对应关系、实验模拟超声波与井中地震波传播规律的对应关系、实验模拟光纤超声波感测方法与井中地震波勘探光纤振动加速度感测方法的技术互补等关键科学难题，深入探索研究地层油气资源即新能源的分布规律的新特征，在方法与技术上创新特色明显。核心技术发表了 SCI 论文。

（5）弹性波逆时偏移及全波形反演技术。重点突破了地震波勘探资料数据的海量采集，地层物理数值参数的高效处理，稳健的目标函数建立、噪声污染抑制，反演成像的精度及储层与流体识别精度等地震资料解释、处理能力的提高，油气储藏二维、三维图像的高精度、高分辨率地质模型重构与再现，大大提高了油气资源勘测效能。是油气资源勘探数值分析处理的新方法。核心技术发表了 SCI 论文。

2. 知识产权成果

以上研究获国家自然科学基金重大科研仪器项目（No:61327012）、国家自然科学基金重点项目（No:61735014）、国家自然科学基金仪器专项及面上项目（No:61275088, 61077060, 60727004, 60654001）、国家 863 计划项目（No:2009AA06Z203, 2006AA06Z21），科技部国际科技合作项目（No:2009DFB1305G），中国石油天然气集团公司项目（No: 2014A-3609, 2008D-5006-03-08, 2011A-3907）等科研项目资助。近10年内，在光学及传感器领域高水平期刊上发表SCI收录论文120篇，EI 收录论文40篇，授权国家发明专利21项。

3. 产学研合作

充分利用高校与企业的基础光学科学研究、光纤传感应用技术、勘探井领域的研究力量、技术水平、成果积累及人才资源平台优势，以科技项目合作研发、高层次人才培养、专业技术培训等合作方式与中石油测井公司、东方物探公司、长庆油田、延长石油集团等企业完成测井仪器的现场测试与应用，在油田现场成功采集了井下高温、高压、窜槽声波、三维地震波，以及地震物理模型反射超声波等地震勘测信息。在现场应用的基础上，研究团队也与这些企业积极接洽，进行技术推广应用与成果转化。

七、主要论文专著目录和主要知识产权证明目录：见下页

主要论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	影响因子	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间	通讯作者	第一作者	国内作者	SCI他引次数	他引总次数	知识产权是否归国内所有	对应附件编号
1	光纤超声传感器及应用研究进展	物理学报	乔学光、邵志华、包维佳、荣强周	0.624	2017年66卷074205(1-20)页	2017年4月8日	乔学光,荣强周	乔学光	乔学光、邵志华、包维佳、荣强周	0	0	是	2-1
2	Fiber Bragg Grating Sensors for the Oil Industry	Sensors	乔学光、邵志华、包维佳、荣强周	2.677	2017年17卷429(1-34)页	2017年2月23日	乔学光,荣强周	乔学光	乔学光、邵志华、包维佳、荣强周	3	3	是	2-2
3	Off-axis ultraviolet-written fiber Bragg gratings for directional bending measurements	Optics Letters	乔学光、冯定一、Jacques Albert	3.416	2016年41卷1201-1204页	2016年2月8日	冯定一	冯定一	乔学光、冯定一	6	7	是	2-3
4	Integrated in-fiber coupler for microsphere whispering-gallery modes resonator excitation	Optics Letters	乔学光、王若晖、李佳成、王安波、Michael Fraser	3.416	2015年40卷308-311页	2015年1月19日	王若晖	王若晖	乔学光、王若晖、李佳成、王安波	6	8	是	2-4

5	Highly sensitive fiber-optic accelerometer by grating inscription in specific core dip fiber	Scientific Reports	乔学光、荣强周、郭团、包维佳、邵志华、彭刚定	4.259	2017年7卷11856(1-9)页	2017年9月19日	荣强周	荣强周	乔学光、荣强周、郭团、包维佳、邵志华、彭刚定	0	0	是	2-5
6	Compact Optical Fiber 3D Shape Sensor Based on a Pair of Orthogonal Tilted Fiber Bragg Gratings	Scientific Reports	乔学光、冯定一、周伟军、Jacques Albert	4.259	2015年5卷17415(1-7)页	2015年11月30日	冯定一	冯定一	乔学光、冯定一、周伟军	8	8	是	2-6
7	Fringe Visibility Enhanced Fabry-Perot Interferometer and its Application as Gas Refractometer	Sensors & Actuators B Chemical	乔学光、王若晖、刘章稳	5.401	2016年234卷498-502页	2016年5月6日	王若晖	王若晖	乔学光、王若晖、刘章稳	0	1	是	2-7
8	Ultrasonic imaging of seismic physical models using fiber bragg grating fabry-perot probe	IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	乔学光、荣强周、尹逊莉、刚婷婷、邵志华、刘甫、孙安	3.971	2017年23卷5600506页	2016年10月3日	荣强周	荣强周	乔学光、荣强周、尹逊莉、刚婷婷、邵志华、刘甫、孙安	0	0	是	2-8

9	Mode-locked Soliton Fiber Laser Using an Intracavity Polarization Maintaining Photonics Crystal Fiber	IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	乔学光、荣强周、杨杭州、邵志华、王若晖、苏丹	3.971	2014年20卷 1100605页	2014年 1月23日	荣强周	荣强周	乔学光、荣强周、杨杭州、邵志华、王若晖、苏丹	0	0	是	2-9
10	Higher-order micro-fiber modes for Escherichia coli manipulation using a tapered seven-core fiber	Biomedical optics express	乔学光、荣强周、周一、尹逊莉、邵志华	3.337	2017年8卷 4096-4107页	2017年 8月14日	荣强周	荣强周	乔学光、荣强周、周一、尹逊莉、邵志华	0	0	是	2-10
11	Temperature-independent refractometer based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer	Optics & Lasers in Engineering	乔学光、李佳成、王若晖、荣强周、包维佳、邵志华、杨婷婷	2.769	2016年79卷 16-21页	2015年 12月14日	荣强周	李佳成	乔学光、李佳成、王若晖、荣强周、包维佳、邵志华、杨婷婷	6	7	是	2-11
12	In-fiber quasi-Michelson interferometer for liquid level measurement with a core-cladding-modes fiber end-face mirror	Optics & Lasers in Engineering	乔学光、荣强周、杜彦英、孙浩、王若晖、冯定一、忽满利、冯忠耀	2.769	2014年57卷 53-57页	2014年 1月31日	乔学光	荣强周	乔学光、荣强周、杜彦英、孙浩、王若晖、冯定一、忽满利、冯忠耀	11	13	是	2-12

13	UW imaging of seismic-physical-models in air using fiber-optic Fabry-Perot interferometer	Sensors	乔学光、荣强周、郝永鑫、周瑞祥、尹逊莉、邵志华、梁磊	2.677	2017年17卷397(1-10)页	2017年2月17日	乔学光	荣强周	乔学光、荣强周、郝永鑫、周瑞祥、尹逊莉、邵志华、梁磊	0	0	是	2-13
14	A Compact Fiber Inclinometer Using a Thin-Core Fiber with Incorporated an Air-Gap Microcavity Fiber Interferometer	Sensors	乔学光、李佳成、荣强周、孙安	2.677	2016年16卷92(1-9)页	2016年1月12日	乔学光 荣强周	李佳成	乔学光、李佳成、荣强周、孙安	1	1	是	2-14
15	Double cantilever beams accelerometer using short fiber Bragg grating for eliminating chirp	IEEE Sensors Journal	乔学光、刘钦朋、贾振安、傅海威、禹大宽、高宏	2.512	2016年16卷6611-6616页	2016年7月7日	刘钦朋	刘钦朋	乔学光、刘钦朋、贾振安、傅海威、禹大宽、高宏	2	3	是	2-15
16	Large Frequency Range and High Sensitivity Fiber Bragg Grating Accelerometer Based on Double Diaphragms	IEEE Sensors Journal	乔学光、刘钦朋、贾振安、傅海威、禹大宽、高宏	2.512	2014年14卷1499-1504页	2014年1月2日	刘钦朋	刘钦朋	乔学光、刘钦朋、贾振安、傅海威、禹大宽、高宏	14	14	是	2-16
17	Fiber-optic magnetic	Sensors &	乔学光、	2.499	2017年261	2017年	荣强周	邵志华	乔学光、	0	0	是	2-17

	field sensor using a phase-shifted fiber Bragg grating assisted by a TbDyFe bar	Actuators A Physical	邵志华、荣强周、孙安		卷 49-55 页	5 月 2 日			邵志华、荣强周、孙安				
18	Intrinsic Fabry-Pérot interference based on concave well on fiber end	IEEE Photonics Technology Letters	乔学光、王若晖	2.375	2014 年 26 卷 1430-1433 页	2014 年 5 月 19 日	王若晖	王若晖	乔学光、王若晖	5	7	是	2-18
19	High temperature properties of a thin-core fiber MZI with an induced refractive index modification	IEEE Photonics Technology Letters	乔学光、包维佳、胡乃非、荣强周、王若晖、杨杭州、杨婷婷、孙安	2.375	2016 年 28 卷 2245-2248 页	2016 年 7 月 13 日	乔学光 荣强周	包维佳	乔学光、包维佳、胡乃非、荣强周、王若晖、杨杭州、杨婷婷、孙安	2	2	是	2-19
20	Sensing Characteristics for a Fiber Bragg Grating Inscribed Over a Fiber Core and Cladding	IEEE Photonics Technology Letters	乔学光、包维佳、荣强周、胡乃菲、杨杭州、冯忠耀、忽满利	2.375	2015 年 27 卷 709-712 页	2015 年 1 月 12 日	乔学光	包维佳	乔学光、包维佳、荣强周、胡乃菲、杨杭州、冯忠耀、忽满利	3	3	是	2-20
合计										67	77		
补充说明													

主要知识产权证明目录

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	专利有效状态	对应附件编号
1	发明专利	波纹管式三分量光纤光栅地震检波器	中国	ZL2015 1 0134149.3	2017 年 7 月 4 日	2541225	西北大学	乔学光、高宏、忽满利、冯忠耀、刘钦朋、邵敏	有效	3-1
2	发明专利	包层光纤光栅振动传感仪	中国	ZL2014 1 0627882.4	2017 年 8 月 29 日	2600578	西北大学	乔学光、荣强周、包维佳	有效	3-2
3	发明专利	基于组合式悬臂梁结构的光纤光栅地震加速度检波器	中国	ZL2013 1 0263441.6	2015 年 10 月 4 日	1813484	西北大学	乔学光、冯定一、荣强周、杜彦英、忽满利、冯忠耀	有效	3-3
4	发明专利	一种温度不敏感光纤光栅加速度传感器	中国	ZL2014 1 0078604.8	2015 年 9 月 2 日	1777036	西安石油大学	乔学光、刘钦鹏、贾振安、傅海威、高宏、禹大宽、邵敏	有效	3-4
5	发明专利	一种光纤光栅三维振动传感器	中国	ZL2014 1 0751923.0	2017 年 11 月 3 日	2679485	西安石油大学	乔学光、刘钦鹏、傅海威、贾振安、禹大宽、高宏	有效	3-5
6	发明专	光纤微结构位移传感器	中国	ZL2014 1	2017 年	2471866	西北	乔学光、包维佳、	有效	3-6

	利			0630832.1	5月3日		大学	荣强周		
7	发明专利	基于U型悬臂梁结构的光纤光栅加速度传感器	中国	ZL2011 10088846.1	2012年7月4日	990921	西北大学	乔学光、翁银燕、忽满利、冯忠耀、张敬花、张菁、周锐、杨杨	有效	3-7
8	发明专利	光纤迈克尔逊干涉液位传感器	中国	ZL2012 10488369.0	2015年9月9日	1783247	西北大学	乔学光、荣强周、杜彦英、冯定一、忽满利、冯忠耀	有效	3-8
9	发明专利	外压式温度补偿高温高压光纤光栅传感器	中国	ZL200810150476.8	2011年12月21日	882047	西安石油大学	乔学光、冯德全、王宏亮、周红、王向宇、樊伟、兆雪、李娟妮	有效	3-9
10	发明专利	保偏光纤布拉格光栅液位传感器	中国	ZL2013 10206911.5	2015年11月4日	1835419	西北大学	乔学光、荣强周、苏丹、杜彦英、冯定一、忽满利、冯忠耀	有效	3-10

八、客观评价

项目主要内容为光纤三维矢量检波和地震物理模型光纤超声成像结合的井中地震波勘测新方法、新技术、新仪器的研究成果积累。项目核心技术指标已达到国内领先、国际先进水平。该技术对采集新的地质科学数据、揭示新的地质自然现象、发现新的油气藏规律、满足油气藏精细描述、科学开采的需要具有十分重要的科学技术意义。该技术是项目负责人乔学光教授带领的科研团队在光纤传感基础研究及应用技术研究领域历经近30年艰苦奋斗，坚持基础研究与实际应用相结合、与人才培养相结合、与学科建设相结合，取得的创新性研究成果。该团队在基础与应用技术研究，高层次人才培养，科研平台建设等方面均做出了积极的贡献，产生了显著的社会经济效益，在国内外同行领域享有较高学术声誉，整体学术研究处于国内外先进水平。

1. 相关技术验收与鉴定

(1) 2007/01-2009/12承担了国家自然科学基金面上项目《超高温高压光纤光栅传感器结构封装及偶联材料研究》”(61077060)。研制了一套油气井下高温高压光纤传感检测系统，包括光纤传感器、封装增敏材料、地面光源与解调仪器，可实现井下高温400 °C，高压100 MPa的实时监测，研究成果在结题验收中评为“特优”。

(2) 2012/01-2016/12承担了国家自然科学基金面上项目《井中地震波勘探光纤检测关键技术研究》(61275088)。研究解决新型光纤光栅写制与品质优化、检波器封装材料选用与结构设计、信号解调方案设计与效率提升、方法研究与技术研究关系构建等关键科学技术问题，可实现5Hz-2KHz宽频带、三维矢量地震检波。

(3) 2014/1-2017/12承担了国家自然科学基金国家重大科研仪器项目《地震波勘探光纤测井仪器关键技术研究》(61327012)。研究地震勘探光纤检测先进仪器装备，包括光纤地震波检波器，地震波信息处理系统和井下高温高压光缆的研制及检波器阵列的组网、安装、连接及保护技术。研究成果在结题验收中评为“优秀”。

(4) 2014/1-2015/12承担了中国石油集团天然气集团公司科技项目《弹性波地震成像与速度建模方法研究》(2014A-3609)的光纤超声采集课题研究，研制了系列光纤超声传感器，响应频带为50KHz-10MHz，灵敏度为-120dB；研发了四通道地震物理模型光纤采集与CT扫描成图仪器。

(5) 2011/01-2013/12承担了中国石油天然气集团公司科技项目《光学测井基础方法研究》(2011A-3907)的子课题研究,研制了光纤加速度检波器,并应用于噪声信号测量(10Hz-2000Hz),灵敏度达到 $1.8 \times 10^{-4}g$;研制了配套解调系统与耐温200°C,耐压60MPa,防水抗腐蚀的铠装光缆。

(6)2010/06-2012/06承担了国家863计划项目《光纤地震波勘探技术研究》,(2009AA06Z203),研制了一套具有自主知识产权的油气勘探光纤地震检波系统,解决了高品质光纤检波器研制、解调系统研发、系统集成等技术难题。

(7) 2009/01-2010/12承担了科技部国际科技合作项目《光纤地震波监测技术研究》(2009DFB1305G),研究了地面地震波、井间地震波、剖面地震波传播规律,光纤振动加速度感测机理,检波器研制与性能优化,解调系统搭建与振动加速度测试等技术。

(8) 2014/01-2016/12承担了高等学校博士学科点专项科研基金项目《井中地震波光纤检测关键技术研究》(20136101110018)。研究了一维至三维高灵敏度井下光纤地震检波器,检波器增敏封装设计,三维地震波解调方法。

(9) 2008/06-2009/12承担了中国石油天然气集团公司创新基金项目《光纤地震波勘探传感技术研究》(2008D-5006-03-08)。研究了系列光纤光栅振动加速度检波器,及配套光纤光栅动态波长寻址解调技术,适用于井中主频地震波检测。

(10)2008/01-2010/12承担了国家自然科学基金科学仪器基础研究专款项目《光纤传感测井仪关键技术研究》(60727004)。研究了基于井下光纤光栅传感器阵列、信息传输光缆、地面光源与信号解调仪器的全光纤传感测井系统,实现井下高温 350°C、高压 100MPa同时区分测量。

(11) 2007/01-2009/12承担了国家自然科学基金专项基金项目《高温高压光纤光栅网络测井仪研究》(60654001)。研究了光纤光栅高温高压传感器制作、封装材料与封装技术、集成化解调系统。

(12) 2007/01-2009/10承担了国家863计划项目《高温高压光纤传感测井关键技术研究》(2006AA06Z21)。研究了光纤光栅耐高温高压特性,光纤光栅高温高压传感器研制,性能测试与结构优化,高温高压增敏封装材料与封装方法。

2. 国内应用典型评价

(1) 2012年7月6日至2012年7月17日,课题组与西安石油大学、中石油随钻测井中心、长庆油田采油院赴榆林市靖边县长庆油田采油四厂——天123井场田11-29井进行井下温度、液位现场测试。传感器封装在特制油管中,光缆

采用喉箍扎在油管与套管中的环空中随油管下井。第一次测量，下井油管 26 根，对应井深 255m，测试系统测得温度 18.4oC，压力为 0MPa，对应液位为 0m，表明传感器未进入液体区。第二次测量，下井油管 55 根，对应井深 549m，测试系统测得温度 19.1oC，压力为 0MPa，对应液位为 0m，表明传感器还未进入液体区。第三次测量，下井油管 102 根，对应井深 1000m，测试系统测得温度 29.8oC，压力为 1.87MPa，对应液位为 199m。测试验证了自制解调仪、传感用光源、下井光缆以及传感器的应用可靠性。

(2) 2011 年 6 月至 2012 年 6 月，课题组携带自制的温度、压力、液位传感测试短节、光缆、解调仪、光源在在中国石油集团测井有限公司随钻测井中心的标准模拟井（1 号注水井）进行下井试验。井下探测短节集成光纤温度、压力、液位传感器，完成直线电机工作环境参数的采集。探头部分与信号通道为一体化设计，全光纤传输。光源与解调设备，完成井下信号的有效提取，并还原为实时测量的温度、压力和液位信息。光缆为自主研发的 3 芯 2000m 铠装光缆。测试过程中每下放 10m 记录一次数据，经试验验证，地面解调设备能够实时准确的显示传感器所处井下深度及温度数据，并具备报警、停机、重启功能，井下机械密封部分密封良好，整套系统工作正常。

(3) 2006 年 11 月，课题组研发的分布式 FBG 智能传感系统在庆阳-咸阳输油管道成功铺设应用，管线全长 250 km，分布有西一联、西二联 2 个输油站，上庄等 10 个截断阀室，中间清管站 1 个，以及咸阳输油末站等 14 个输油站和截断阀室。实现了温度、压力和应变数据采集与检测。2016 年 10 月，课题组在长庆油田第二输油处数字化与科技信息中心的大力支持下，再次对系统进行了维护与检查，结果表明在咸阳末站、泾河一号阀室和口镇阀室安装的光纤传感器已经超过了十年，所安装的压力、温度、应变传感器中 FBG 的粘接、封装与连接均正常与解调设备连接后均能正常工作。

(4) 目前以本申请项目研究成果的主要技术思想、方法与内容，负责在研国家级项目有：国家科技重大专项大型油气田及煤层气开发项目《高精度油气测井技术与装备研发及应用》（2016ZX05019007-01）中的“光纤测井探测器”专题研究；国家重点研发计划战略性先进电子材料重点专项《光纤传感材料与应用》（2017YFB0405502）中的“高精度光纤压力传感器件”专题研究；国家自然科学基金重点项目《面向地层能源的光纤传感基础研究》（61735014）。

3. 论文引述报道

课题近十年内在《Optics Letters》、《Optics Express》和《Scientific Reports》等光学及传感器领域高水平期刊上发表 SCI 收录论文 120 余篇，EI 收录论文 40

篇，授权国家发明专利 21 项。例如，《Optics Letters 2017, 42(10)》一文中分别引述报道了课题组的两篇论文，在引述中表述光纤光栅振动传感器在石油工业具有重要意义，并表示光纤光栅振动传感器是目前最先进的振动检测技术。

《Electronics 2017, 6 (92)》一文中引述了课题组在 Sensors 期刊发表的综述性论文，充分肯定了课题组光纤光栅传感器在工程应用中高灵敏感测高温、高压及声波的特性。此外，课题的组的相关研究成果也分别被《Laser Focus World (February 28, 2012)》、《Sensors and Actuators B: Chemical 2016, 243》、《Journal of Lightwave Technology 2017, 35(11)》等国际权威期刊引述报道。

九、应用情况及效益

1. 应用情况

科研团队研发的地震波光纤三维矢量检波和地震物理模型光纤超声成像相结合的新型光纤井中地震波勘测技术，以及配套传感光源、解调系统和辅助监测用压力、温度传感器技术，在国内外同类技术中处于先进水平。科研团队长期与中国石油集团测井有限公司、长庆油田、东方地球物理公司等企业进行产学研合作，并进行了光纤传感系统的现场应用，主要情况如下：

(1) 科研团队在中石油集团公司“测井前沿技术与应用基础研究”项目的支持下，基于上述光纤地震检波技术，研发了新型光纤井下套管外监测仪器，对完井质量及窜槽噪声信号实时检测。2015 年 11 月，科研团队在江苏南通珂地石油仪器有限公司利用自制光纤检波器样机进行水泥柱压裂振动检测实验，进行了水压和气压窜槽振动信号探测。发生水窜后，传感器实时采集到了噪声的幅频信息，实验验证了光纤超声波传感检测系统的检测精度、响应灵敏度、仪器安全可靠等技术指标符合井中完井套管质量及窜槽噪声信号实时检测的要求，同时也证明该光纤传感器作为井中地震波超声检波的可行性。

(2) 科研团队在中石油集团公司“弹性波地震成像与地层物理模型分析方法研究”项目的支持下完成了地震物理模型光纤超声成像技术研究。研制的光纤超声采集系统样机已于 2015 年 4 月 25-30 日在石油大学（北京）地震物理模型平台上完成了试验，实现了地震物理模型反射超声波的实时高分辨采集。实验验证了光纤超声传感器的宽频带、高信噪比、高空间分辨率超声采集能力，完成符合地震物理模型超声采集与高分辨成像的需求。

(3) 科研团队于 2017 年在杭州中船重工 715 所水声一级计量站进行了光纤检波器的灵敏度标定测试。配套贝塞尔函数比较法解调，提取光纤检波器拾取的声波引起的振动信号。对 50 Hz—2000Hz 振动的进行了测试，声压引起的振动灵敏度分别达到-120.5dB。实验验证了检波器对低、中、高频振动的高灵敏响应，

相关技术指标优于传统动圈式、压电式检波器技术。

(4) 科研团队于 2012 年 7 月 6 日至 2012 年 7 月 17 日，与西安石油大学、中石油随钻测井中心、长庆油田采油院赴榆林市靖边县长庆油田采油四厂——天 123 井场田 11-29 井进行井下温度、液位现场测试。传感器封装在特制油管中，光缆采用喉箍扎在油管与套管中的环空中随油管下井。测试验证了自制解调仪、传感用光源、下井光缆以及传感器的应用可靠性，其相关技术指标温度、压力、液位等检测优于目前使用的热电偶、机械指针式、电容式技术。

(5) 科研团队于 2011 年 6 月至 2012 年 6 月在中国石油集团测井有限公司随钻测井中心的标准模拟井(1 号注水井)进行了下井试验。测试过程中每下放 10m 记录一次数据，经试验验证，地面解调设备能够实时准确的显示传感器所处井下深度及温度数据，并具备报警、停机、重启功能，井下机械密封部分密封良好，整套系统工作正常。现场实验验证了光纤光栅温度压力传感器作为井下温压检测的可行性及套管环空下井、与光缆配件连接、地面光源与信号解调系统的性能可靠性。

(6) 科研团队研发的分布式 FBG 智能传感系统已在庆阳-咸阳输油管道成功铺设应用，管线全长 250 km，分布有西一联、西二联 2 个输油站，上庄等 10 个截断阀室，中间清管站 1 个，以及咸阳输油末站等 14 个输油站和截断阀室。实现了温度、压力和应变数据采集与检测，并且长期使用可靠。现场实验验证了光纤光栅应力、应变、温度、压力传感器在长输气管线监测、安全预警的技术优势及信息传输与信号解调的可靠安全性。

在这些现场应用的基础上，研究团队也与中国石油测井公司、延长石油等企业积极接洽，通过项目合作等方式完成项目成果转化及市场应用。

2.主要应用单位情况表

应用单位名称	应用起始时间	应用截止时间	应用单位联系人	联系电话	对应附件编号
中国石油集团测井有限公司随钻测井中心	2011年6月	2012年6月	徐韧	13060391686	4-1
长庆油田第二输油处数字化与科技信息中	2016年10月	2017年1月	苏永刚	15339005088	4-2

心					
长庆油田采油院	2012年 7月6日	2012年 7月17日	黄伟	1360929673 3	4-3

3. 社会效益

本项目技术是项目负责人乔学光教授带领的科研团队在光纤传感基础研究及应用技术研究领域历经近 30 年艰苦奋斗，坚持基础研究与实际应用相结合、与人才培养相结合、与学科建设相结合，取得的创新性研究成果。项目主要内容为光纤三维矢量检波和地震物理模型光纤超声成像结合的井中地震波勘测新方法、新技术、新仪器的应用研究，核心技术指标已达到国内领先、国际先进水平。该技术对采集新的地质科学数据、揭示新的地质自然现象、发现新的油气藏规律、满足油气藏精细描述、科学开采的需要具有十分重要的科学技术意义。目前已取得了良好的社会效益。

(1) 地震勘测技术创新

地震物理模型光纤超声成像与井中地震波光纤三维矢量检测有效结合的油气资源勘测新技术。解决了海量采集地震波勘探资料数据，高效处理地层物理数值参数，提高反演成像的精度及储层与流体识别精度等地震资料解释处理能力，高精度、高分辨率地重构与显示油气储藏二维、三维图像，大大提高油气资源勘测效能。在方法与技术上创新特色明显。在此基础上，以先进光纤传感技术在石油工业应用研究为导向，实现光纤勘探井技术的产业化，开发性能指标具备国际市场竞争力的光纤测井仪器。该技术推广应用，将会产生重大社会与经济效益。

(2) 平台建设与人才培养

促进了我省唯一面向地层能源应用的光纤传感技术研究平台的发展，提升了我省在光纤传感技术及其在地层能源领域应用的研究水平。有助于提升陕西光纤传感技术研究水平，并将带动陕西光电子技术、新型材料、精密加工等相关配套产业发展，形成光电子产业带。此外，光纤传感研究平台也成为物理学专业学生专业技能实习实训的基地，培养了学生的相关职业技能和就业能力，培养出具有光纤光学、光信息处理、光纤测井技术等多学科交叉背景的高素质人才，使其服务于我省光纤传感技术产业化可持续发展。目前在各类国家级项目的资助下，共培养出硕士研究生 20 人，博士研究生 6 人，其中 1 人获陕西省优秀博士论文。

培养青年教师 5 人，其中 3 人晋升副教授职称。项目促进了西北大学“光电技术与纳米功能材料国际联合研究中心”，“省部共建光电技术与功能材料国家重点实验室培育基地，以及西安石油大学“光电油气测井与检测教育部重点实验室”，“光电测井陕西省重点实验室”，“陕西省油气资源光纤探测工程技术研究中心”等实验室及平台的建设工作。

(3) 国内外合作交流

促进了光纤测井技术的国内外合作交流，扩展了研究国际化视野，多方光纤传感技术互补，提高了光纤传感技术的深入发展，对内吸引新技术、高素质人才服务于我省光纤传感产业，对外输出我省光纤传感先进技术，提升国际知名度，获得更高的社会效益。目前，课题组 5 位博士生分别前往美国弗吉尼亚理工学院、意大利帕多瓦大学、英国阿斯顿大学、加拿大卡尔顿大学等联合培养、博士后工作。6 位教授、博士生受邀来团队交流学习。2017 年 10 月与意大利帕多瓦大学签订了学术交流、人才培养及合作研究协议。2015 年 10 月，受国家自然科学基金委信息科学部委托承办的“光纤传感关键技术基础问题研讨会”；2017 年 11 月，受国家自然科学基金委信息科学部委托承办的“光纤传感关键技术基础研究”重点项目群启动暨学术交流会。

4. 应用证明：见下页

试验证明

项目名称	直线电机井下压力、温度实时测量与传输技术研究
应用单位	中国石油集团测井有限公司随钻测井中心
单位注册地址	西延路 72 号
应用起止时间	2011 年 6 月-2012 年 6 月

具体应用情况：

为保证作为采油核心部件的井下直线电机能够正常、稳定、长时间地工作，采取光纤光栅传感技术实现井下直线电机工作状态参数的检测与传输，2011 年 7 月，西安石油大学光纤传感实验室携带实验室自制的温度、压力、液位传感测试短节、光缆、解调仪、光源在中国石油集团测井有限公司标准井试验井场的 1 号实验井进行了井下温度、压力、液位测量实验。

井下探测短节利用光纤光栅传感技术，集成温度、压力、液位传感器完成直线电机工作环境参数的采集。探头部分与信号通道为一体化设计，全光纤传输。光源与解调设备，完成井下信号的有效提取，并还原为实时测量的温度、压力和液位信息。光缆为自主研发的 3 芯 2000m 铠装光缆。

利用标准井模拟井场条件，选取 1 号井进行下井试验，1 号井为深 100m 的注水井。2011 年 7 月进行了模拟井下温度压力液位测试，测试过程中每下放 10m 记录一次数据，经试验验证，地面解调设备能够实时准确的显示传感器所处井下深度及温度数据，并具备报警、停机、重启功能，井下机械密封部分密封良好，整套系统工作正常。



庆咸管道线路光纤光栅检测系统使用情况证明

长庆油田庆咸（庆阳至咸阳）输油管道线路全长 260 公里，于 2006 年 11 月建成投入使用。是当时长庆油田设计最先进，新工艺应用最广，自动化程度最高，库容最大的一条跨省（区）输油大动脉，是长庆油田第一条全新的数字化输油管道。由乔学光教授带领的西安石油大学光纤传感技术课题组负责了该输油管道工程中光纤光栅检测系统的研制与敷设任务，经过一年多的施工，在庆咸输油管线的 10 个截断阀室和 2 个输油站、1 个清管站、咸阳末站等 14 个点分别敷设一套压力、温度、应变传感阵列的实时在线传感监测系统，实现温度测量范围 10-70℃，分辨率达到 0.5℃；压强测量范围 0-10MPa，分辨率达到 0.1MPa；应变测量范围 2500 $\mu\epsilon$ ，分辨率 10 $\mu\epsilon$ 。2009 年 11 月，经课题组人员对光纤光栅检测系统的检查，光纤光栅检测系统的各项参数在使用两年后均工作正常。

2016 年 10 月，光纤传感技术课题组在庆咸管道线路光纤光栅检测系统目前的管理部门——长庆油田第二输油处数字化与科技信息中心的大力支持下，再次对系统进行了维护与检查，得到以下结论：

1. 在咸阳末站、泾河一号阀室和口镇阀室安装的光纤传感器已经超过了十年，所安装的压力、温度、应变传感器中光纤光栅的粘接、封装与连接均正常，与解调设备连接后均能正常工作；
2. 原安放在咸阳末站的信号解调出现了光电探测器老化问题，虽能正常启动，但波长检测不准确，数据读出与显示不清楚。需更换器件后故障才可排除；
3. 部分自制光源中的电路部分出现故障，如延时启动模块、激光器驱动电路等，进行更换与维修后仍可工作；
4. 自制光源的光功率出现不同程度的下降，说明泵浦二极管出现老化，经适当增大驱动电流后，功率能恢复到原设计状态；

特此证明。

长庆油田第二输油处数字化与科技信息中心

2017 年 1 月 11 日



现场使用证明

2012年7月6日至2012年7月17日，西安石油大学光纤传感实验室携带实验室自制的温度、压力、液位传感器、光缆、解调仪、光源与中石油测井公司随钻测井中心、长庆油田采油院赴榆林市靖边县长庆油田采油四厂，对天123井场田11-29井试井压力恢复期井下温度、压力和液位进行了测试。传感器封装在特制油管中，光缆采用喉箍扎在油管外壁，利用油管与套管间的环空随油管一起下井。

测试井田11-29井井深1638m，射孔段位于1415m，采油段为1240m，测试时该井为试井压力恢复第三天，下井过程中实际下井深度通过下井油管根数及每根长度计算而得。在地面将传感器、光缆、解调系统连接好后，测试得温度为29.0℃，压力为0.00MPa，对应液位0m。第一次测量，下井油管26根，对应井深255m，测试系统测得温度为18.4℃，压力为0.00MPa，对应液位0m，表明传感器尚未进入液体区。第二次测量，下井油管56根，对应井深549m，测试系统测得温度为19.1℃，压力为0.00MPa，对应液位0m，表明传感器还未到液体区。第三次测量，下井油管102根，对应井深1000m，测试系统测得温度为29.8，压力为1.87，对应液位199m，表明传感器进入了液体区，进入液体深度为199m。第三次测量后，因意外光缆卡在2根油管中间，严重扭曲，导致测试无法进行。将传感器起出后，对传感器单独进行测量，显示温度27.1℃，压力为0.00MPa，对应液位0m。与下井前数据吻合良好。在发生意外前，传感器与光缆连接良好，系统能够正常显示井下的温度、压力和液位变化情况。



长庆油田采油院

十、知情同意证明

申报 2018 年陕西省科学技术奖 知情同意证明

陕西省科学技术厅：

西北大学乔学光老师主持申报的项目(面向油气资源勘测的光纤地震检波技术)，拟申报 2018 年度陕西省科学技术奖，报奖成果 20 篇论文(专著)中，有 2 篇本人为第一作者及通讯作者，本人同意不作为本次申报奖励的主要完成人，没有异议。

特此证明。

附：(本人为第一作者或通讯作者的论文)

1. Dingyi Feng, Xueguang Qiao, and JACQUES ALBERT, Off-axis ultraviolet-written fiber Bragg gratings for directional bending measurements, *Optics letters*, 2016, 41, 1201-1204.
2. Dingyi Feng, Wenjun Zhou, Xueguang Qiao, and JACQUES ALBERT, Compact Optical Fiber 3D Shape Sensor Based on a Pair of Orthogonal Tilted Fiber Bragg Gratings, *Scientific Reports*, 2015, 5: 17415.

签名：冯懿一

2018年3月26日

申报 2018 年陕西省科学技术奖 知情同意证明

陕西省科学技术厅：

西北大学乔学光老师主持申报的项目（面向油气资源勘测的光纤地震检波技术），拟申报 2018 年度陕西省科学技术奖，报奖成果 20 篇论文（专著）中，有 2 篇本人为第一作者，本人同意不作为本次申报奖励的主要完成人，没有异议。

特此证明。

附：（本人为第一作者或通讯作者的论文）

1. Jiacheng Li, Xueguang Qiao, Ruohui Wang, Qiangzhou Rong, Weijin Bao, Zhihui Shao, and Tingting Yang, Temperature-independent refractometer based on fiber-optic Fabry-Perot interferometer, *Optics & Lasers in Engineering*, 2016, 79,16-21.
2. Jiacheng Li, Xueguang Qiao, Qiangzhou Rong and An Sun, A Compact Fiber Inclinator Using a Thin-Core Fiber with Incorporated an Air-Gap Microcavity Fiber Interferometer, *Sensors*, 2016, 16: 92.

签名：李佳成

2018 年 3 月 26 日