

项目名称：高光谱遥感信息机理与多学科应用

一、 提名者及提名意见

◆ 提名者：中国科学院

◆ 提名意见

高光谱成像技术是遥感技术最重大的突破之一。项目团队瞄准国际前沿，历经 20 多年，在解决高光谱遥感信息机理、图像处理和多学科应用中的世界性难题方面取得了多项重大成果，有效解决了高光谱遥感理论与多领域应用中的关键技术瓶颈，开创了农业、地矿、环境、文物保护等多领域的应用，产生了显著的社会经济效益。

创新发展了系列高光谱遥感基础理论、成像机理模型，实现了成像光谱地面测量与图像模拟技术的重大突破；创建了系列高光谱图像智能处理与信息提取方法，突破了高光谱数据混合像元分解、图像分类和目标探测等方面的多项核心关键技术；创新发展了系列地表参量反演模型，在先进技术与多领域应用间搭建起了一座桥梁。

项目发表论文 541 篇，其中 SCI 论文 243 篇、EI 论文 191 篇，授权发明专利 32 项、软件著作权登记 25 项，出版高光谱遥感专著 7 部；成果获得了国际同行的高度赞誉，国际遥感领域四大权威学术期刊主编一致认为该团队杰出的工作使得其成为国际高光谱遥感创新研究的引领者。鉴于在高光谱遥感领域的杰出贡献，获得了 2016 年度中国科学院杰出科技成就奖。

项目研究思路和技术路线先进、创新点突出，在我国高光谱遥感的起步开创、技术引领、人才培养、推广应用等方面发挥了核心作用，实现了中国遥感高技术向美日澳等发达国家的技术输出，引领了国际高光谱遥感的创新研究，得到了国内外学术同行高度认可。

提名该项目为国家科学技术进步奖二等奖。

二、项目简介

高光谱成像技术具有光谱分辨率高、图谱合一的独特优势，是遥感技术最重大的科技突破之一。项目团队历时 20 多年潜心研究，在我国高光谱遥感起步开创、技术引领、人才培养、推广应用等方面发挥了核心作用，实现了中国遥感高技术向美日澳等发达国家的技术输出，引领了国际高光谱学科的创新发展，得到了国内外学术同行的高度认可。

主要科技创新内容与技术指标：

➤ **创新发展了系列高光谱遥感基础理论与成像机理模型，实现了成像光谱地面测量技术与高光谱图像模拟技术的重大突破。**提出了涉及地物光学反射、吸收、散射、荧光特性的 20 多个光谱作用机理模型；研发了可见-近红外-短波红外地面成像光谱辐射计，实现了毫米级空间分辨率和纳米级光谱分辨率的地面成像光谱测量；创建了涵盖岩矿、农作物、水体等典型地物，包括 9500 多组光谱及完整配套参数的光谱数据库；研发了国内第一套全链路高光谱图像模拟系统，为我国 11 个航空航天高光谱载荷型号工程论证提供了技术支撑。

➤ **创建了系列高光谱图像智能处理与信息提取新方法，突破了高光谱遥感在图像噪声估计、混合像元分解、图像分类和目标探测等方面的多项核心关键技术。**建立了 30 多个高光谱信息处理模型，引入群智能算法实现了高光谱图像端元优化提取与混合像元分解，精度提高 10%、误差降低 22%；提出了基于自适应算法的高光谱图像噪声精确估计、融合空间信息的地物精细分类、目标精准探测识别等新方法，分类精度提高 15%、目标探测虚警率降低 70%，在国际高光谱遥感目标探测开放竞技中综合成绩排名第一。研发了自主知识产权的高光谱图像处理与分析通用软件（HIPAS），是国际六大顶尖高光谱图像处理软件之一；研制了高光谱图像星上实时处理硬件系统，响应时间提高 40%。

➤ **创建了植被、岩矿、水体等地表参数高光谱反演模型 30 多个，引领了高光谱遥感在精准农业、岩矿探测、生态环境监测、文物保护等多学科的应用，拓展了高光谱遥感应用领域，近三年共取得间接经济效益 6500 多万元。**提出了作物水分养分垂直分布、营养诊断、病虫害识别等系列农学应用模型，研发了全国农作物病虫害遥感监测系统，可减少化肥和农药使用量 20%~30%；开创了我国岩矿高光谱遥感应用并拓展到月球探测，制作了首幅基于嫦娥一号数据的全月表典型造岩矿物和太

空风化水平分布图；开拓了光谱成像技术在文物等领域的推广应用；提出了系列内陆水质参数高精度通用反演方法，研发了业务化运行的内陆水环境遥感监测系统。

自 2000 年以来发表论文 541 篇，其中 SCI 论文 243 篇、EI 论文 191 篇，授权发明专利 32 项，出版高光谱遥感专著 7 部。鉴于在高光谱遥感领域的杰出贡献，项目团队获得 2016 年度中国科学院杰出科技成就奖，成果鉴定认为：“创新点突出，成果已经在农业、地矿、环境、文物保护等多领域得到了成功应用，产生了显著的社会经济效益，项目成果处于国际领先水平”。

三、 客观评价

1. 获奖及成果鉴定

➤ 获 2016 年中国科学院杰出科技成就奖

鉴于项目申报团队“为我国高光谱遥感始终处于该领域国际前沿作出了不可替代的重大贡献”，项目获 2016 年中国科学院杰出科技成就奖。项目前 8 位完成人与杰出科技成就奖前 8 位获奖者排序一致。

2016 年中国科学院杰出科技成就奖（通用领域）评审委员会由白春礼院长为主任、36 位院士组成，该奖“突出科技成果的原创性、突破性和产生的显著经济社会效益，主要奖励近 5 年内完成或显示影响的重大成果的个人或集体”。

➤ 高光谱遥感特定领域应用方面获得军队科技进步一等奖

➤ “高光谱遥感信息机理与多学科应用”项目成果鉴定

由中国测绘地理信息学会组织的科技成果鉴定结论为：“项目研究时间长，难度很大，涉及了高光谱遥感理论、机理与技术验证及典型应用等领域。项目研究思路和技术路线先进、创新点突出，成果已经在农业、地矿、环境、文物保护等多领域得到了成功应用，产生了显著的社会经济效益。项目成果处于国际领先水平，实现了向美日澳等发达国家的技术输出，在我国高光谱遥感的起步开创、技术引领、人才培养、推广应用等方面发挥了核心作用，引领了国际高光谱遥感的创新研究，得到了国内外学术同行广泛认可”。

➤ “高光谱遥感信息机理与多学科应用”项目科技查新

查新结论为：“研发的地面成像光谱测量系统，在国内公开文献中未见其它相同技术方案的报道；研发了高光谱遥感图像模拟系统，首次实现了干涉型成像光谱仪的高光谱图像模拟，在国内公开文献中未见其它报道；提出的部分高光谱图像分类

新方法和群智能算法端元提取方法为国内外最早的公开报道；主持研发了我国第一个高光谱遥感图像处理与分析软件系统(HIPAS)；提出的系列叶绿素荧光和反射光谱协同的植被光合作用探测模型和农作物早期胁迫诊断方法为国内外最早的公开报道；国内未见其它同类规模的岩矿光谱数据库；建立了针对环境卫星高光谱数据在水体遥感监测中的自动化预处理流程，在国内公开文献中未见其它相同报道”。

➤ **“地面成像光谱辐射计”成果鉴定**

由中国科学院组织的地面成像光谱辐射计科技成果鉴定结论为：“该设备是成像光谱地面测量技术的重大突破和创新，总体技术居国内领先和国际先进水平，具有重要的社会效益和推广应用价值”。

2. 项目验收意见

➤ **863 项目《实用化成像光谱仪数据处理与分析技术系统》**

能满足用户从预处理到实际应用和成果输出的全过程需要，……具有创新性的突出优点，集成度高、运算速度快……同意通过验收。

➤ **863 项目《高光谱影像地物精细分类与原型系统开发》(附件 26)**

课题在高光谱遥感图像特征选择与提取、混合像元分解、分类器设计与优化、基于指令的目标探测方法方面具有一定创新性，……同意通过验收。

➤ **民用航天“十一五”预研《新一代环境污染定量化监测高光谱卫星载荷探测指标论证与应用模型的预先研究》(附件 27)**

该项目建立了“理论机理-模拟计算-验证分析”的高光谱遥感载荷探测指标的技术论证方法，形成了包括光谱、辐射和空间探测指标体系，对发展新一代环境污染定量化监测的高光谱遥感载荷具有重要的参考意义，……同意该项目通过验收现场审核。

➤ **中国科学院重大科研装备研制项目《地面成像光谱辐射计研制》(附件 28)**

创新地实现了地物的地面高分辨率成像光谱测量……，同意通过验收。

3. 国际同行公开评价

➤ HIPAS 软件被科技部评选为国产优秀推荐软件，在 2003 年欧盟遥感与 GIS 调研报告中，被评价为是国际 6 大顶尖(Top-quality)高光谱遥感图像处理软件之一(附件 32)。

➤ 团队研究工作获得了国际同行的高度赞誉，国际遥感领域四大权威学术期刊

主编一致认为：他们杰出的工作使得该团队成为国际高光谱遥感创新研究的引领者，也使得中国位于国际高光谱遥感科技发展的前沿(附件 35)。其中：

- (1) *Remote Sensing of Environment* 主编 Jingming Chen 称“他们在研究高光谱图像处理和多学科应用中的世界性难题方面取得重大成果”。
- (2) *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 主编 Antonio Plaza 称“他们在高光谱遥感技术方法和应用方面发表了大量重要学术论文，是高光谱遥感领域国际一流研究团队和学术标杆”，“他们杰出的研究成果给我留下了深刻的印象，达到了我们这个领域的最高水平”。
- (3) *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 主编 Jocelyn Chanussot 称“他们在先进理论技术与多领域实际应用之间搭建起了一座桥梁，在国际上产生了罕见又非常重要的影响”。
- (4) *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 主编 Paolo Gamba 称“他们在高光谱遥感图像处理和应用中均取得了重要成果，在国际高光谱遥感学术界获得高度评价”。

四、 推广应用情况

项目成果在农业、地矿、环境监测、文物保护等多个领域得到了广泛应用，近三年共取得间接经济效益 6500 多万元。项目成果还实现了对美国、意大利、日本、澳大利亚等国的技术输出，显著提升了国际影响力，澳大利亚当地报纸称“(中国)高技术赢得达尔文”。

主要应用单位情况

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
故宫博物院	地面成像光谱辐射计	2012.07~2015.12	雷 勇 /13910400119	对古字画隐藏信息揭露、底稿线提取、颜料分析等有良好的效果，为文物科技工作带来了新的有效的技术途径。
中国人民解放军海军潜艇学院	地面成像光谱辐射计	2009.11~2010.12	陶荣华 /13606426912	获取了近海岸海洋环境高分辨率成像光谱数据，具有重要的应用价值。
北京吉祥大地文化传播有限公司	地面成像光谱辐射计	2013.08~至今	王雪瑞 /13810352748	应用于唐卡等珍贵文物科学高效无损分析与鉴别，显著降低了文物收藏和保护的成本与风险。
中科院上海技术物理研究所	高光谱数据模拟	1995.01~2015.12	舒 嵘 /13818575510	应用于高光谱载荷指标论证和参数优化等，有力推动了我所航空和卫星高光谱载荷技术的发展。
上海微小卫星工程中心	高光谱模拟与星上实时处理	2012.01~2015.12	尹增山 /18621831835	提出了载荷参数优化设置建议，实现了数据星上实时处理与硬件系统开发，对推动我国高光谱卫星技术的发

					展具有重要的意义和价值。
航天科工集团二院二〇七所	高光谱模拟与目标探测	2000.01~2015.12	王俊 /18001359812		开展载荷参数论证分析与高精度目标探测，推动了我国目标光谱辐射特性分析技术的发展。
中科院空间应用工程与技术中心	高光谱辐射校正方法	2011.10~2014.12	张九星 /15810396300		实现天官一号高光谱成像仪系统辐射校正、光谱校正，提供了业务化数据处理系统。
中科院上海技术物所启东光电遥感中心	HIPAS 软件和特征波段分析技术	2014.01~至今	李震 /17712225916		生产了系列定制化的高光谱分析和应用系统，摆脱了对国外技术的依赖，产生了重要的应用价值和经济效益（近三年新增利润 138 万元）。
中科遥感科技集团有限公司	高光谱遥感信息处理模型方法	2012.01~至今	王畅 /13716423703		高光谱遥感信息产品为地质调查、环境保护等行业应用提供服务，近三年为我公司新增利润 1500 万元。
河北省农业技术推广总站	高光谱农业监测	2011.03~2015.09	蔡淑红 /13703315388		解决了作物生产过程中缺乏大面积、快速、无损监测的难题，减少化肥农药使用量 20%-30%。
新疆生产建设兵团第八师石河子总场	高光谱遥感监测模型	2012.01~至今	鲁淑英 /15309933222		实现棉花水肥药精准管理，近三年推广应用面积 47 万亩，节约成本共 3472.8 万元，棉花增产新增利润 1787.52 万元。
安徽省农亢农场	精准农业遥感技术	2013.03~至今	王永玖 /13865017619		应用于作物长势、病虫害监测与防治，减少了农药和化肥使用量，近三年新增利润 3108.5 万元。
环保部卫星环境应用中心	高光谱水环境监测	2009.02~2015.10	吴传庆 /18001179909		研发了水环境遥感监测业务系统，制作了内陆水体监测评价日报、周报、年报 1000 多期。
江苏省环境监测中心	高光谱内陆水体监测	2010.01~2015.10	李旭文 /13770785129		将高光谱遥感应用于太湖水体富营养化监测、预警和治理，提升了太湖生态环境监控预警能力。
中国国土资源航空物探遥感中心	高光谱地质应用	2000.01~2015.12	甘甫平 /13910581386		应用于遥感找矿、岩性填图等工作，减少了野外工作强度，较大提高了工作效率，节约了生产和科研成本。

五、主要知识产权证明目录

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	发明专利有效状态
发明专利	一种高光谱图像中目标地物检测方法及装置	中国	ZL201210056079.0	2013/10/2	第 1281575 号	中国科学院对地观测与数字地球科学中心	张兵、高连如、杨威、孙旭、吴远峰、李利伟	有效

发明专利	热红外高光谱发射率模拟方法和系统	中国	ZL201010582215.0	2014/8/6	第1456931号	中国科学院遥感应用研究所	张立福、王晋年、陈小平、杨杭、童庆禧	有效
发明专利	一种地面成像光谱测量系统	中国	ZL201010130916.0	2011/8/10	第821871号	中国科学院遥感应用研究所	童庆禧、薛永祺、方俊永、张立福、亓洪兴、刘学、郑兰芬	有效
发明专利	一种遥感反演精度检测方法及其装置	中国	ZL201210343165.X	2015/8/5	第1743960号	中国科学院对地观测与数字地球科学中心	黄文江、谢巧云、彭代亮、张兵、刘良云、申茜、孙刚	有效
发明专利	月表矿物的干涉成像光谱仪高光谱数据模拟方法	中国	ZL201210115484.5	2013/12/4	第1314924号	中国科学院遥感应用研究所	张霞、王晋年、帅通、童庆禧、赵冬	有效
发明专利	一种水环境遥感监测校正检验方法及装置	中国	ZL201210212643.3	2014/4/2	第1372701号	中国科学院对地观测与数字地球科学中心	张兵、吴远峰、李俊生、申茜、张方方	有效
发明专利	基于背景光谱去除的高光谱解混方法	中国	ZL201310256080	2015/4/1	第1621737号	中国科学院遥感与数字地球研究所	张立福、赵恒谦、吴太夏、岑奕、杨杭、王晋年	有效

计算机软件著作权	高光谱遥感器过程模拟软件	中国	2013SR001263	2013/1/6	第0507025号	中国科学院对地观测与数字地球科学中心	其他有效知识产权
计算机软件著作权	高光谱图像识别与分类软件	中国	2011SR058734	2011/8/19	第322408号	中国科学院遥感应用研究所	其他有效知识产权
计算机软件著作权	高光谱数据辐射定标软件	中国	2011SR059036	2011/08/20	第0322710号	中国科学院遥感应用研究所	其他有效知识产权

六、 主要完成人情况

1、 张兵，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。出版相关专著 5 部，发表相关 SCI 论文 82 篇，获得发明专利 15 项。主要创新贡献包括：高光谱遥感学科带头人。创建全链路高光谱图像模拟系统，填补国内空白；拓展高光谱图像智能处理与信息提取领域，首次将群智能优化引入混合像元分解等；创新系列高光谱数据处理分析模型与算法，研发了国内第一套高光谱图像处理与分析系统和星上实时处理系统；提出系列高光谱遥感应用模型与方法，推动了我国高光谱遥感的多领域拓展与应用。2007 年曾获国家科技进步奖二等奖“精准农业关键技术研究与示范”(排名第 7)，证书编号：2007-J-251-2-03-R07。

2、 张立福，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 57 篇，主要创新贡献包括：负责研发了中国首台基于高精度摆镜扫描成像的地面成像光谱辐射计 (FISS)，率先开展 FISS 在精准农业、岩矿探测、文物鉴定、食品安全等领域的多学科创新研究；创造性地提出了 UPDM 等系列光谱特征提取模型、岩矿比值导数模型、矿物丰度定量反演模型、全谱段植被指数 VIUPD 等，拓展了高光谱遥感技术的应用领域。

3、 童庆禧，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 40 多篇，主要创新贡献包括：我国高光谱遥感学科的创始人，在国内首次开展了遥感信息机理与地物波谱特征研究；率先组织开展了航空高光谱遥感科学、技术与应用实验；创新开展了高光谱遥感技术的多学科应用研究；培养了大批优秀高光谱遥感科技人才。1995 年曾获国家科技进步奖二等奖“高空机载遥感实用系统”(排名第 1)，证书编号为 01-2-004-01；1988 年曾获国家科技进步奖二等奖“黄淮海平原中低产地区治理和综合发展研究”(排名第 6)。

4、 刘良云，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 40 多篇，主要创新贡献包括：在植被叶绿素荧光和植被参数遥感机理、高光谱农业遥感应用有重要贡献。国际上首次提出主成分分析拟合的单波段和全波段叶绿素荧光模拟模型和反演新算法，首先实现叶绿素荧光动力学参数的高光谱测量；国际上首次发现叶片含水量对红边光谱的影响机制与幅度，首次提出叶片辐射等效水厚度 REWT 物理概念与模型。2007 年，曾获国家科技进步奖二等奖“精准农业关键技术研究与示范”(排名第十)，证书编号：2007-J-251-2-03-R10。

5、张霞，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 26 篇，主要创新贡献包括：提出端元组合约束的混合像元分解方法，制作了第一幅基于嫦娥一号高光谱数据的全月表典型造岩矿物与太空风化水平分布图；提出了喀斯特石漠化关键因子的高光谱遥感反演方法，有利于提高石漠化监测的客观性和效率；提出了时序和光谱信息融合的分类算法，显著提高了土地覆盖分类的精度。

6、高连如，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 38 篇，主要创新贡献包括：提出了均匀区域光谱去相关噪声评估、正态端元光谱解混、子空间支持向量机分类等新方法，并集成在高光谱遥感图像处理与分析软件以及高光谱图像星上实时处理硬件系统中；提出的自适应光谱匹配探测模型在国际开放竞技中针对多个目标的测试成绩排在第一位；合作出版专著《高光谱图像分类与目标探测》。

7、黄文江，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 30 多篇，主要创新贡献包括：国际上首次提出多角度和高光谱结合进行作物株型遥感识别方法，提高了叶面积指数反演精度，提出了多角度遥感进行作物叶绿素和氮素垂直分布方法；系统提出了作物病虫害遥感监测方法，出版了作物病虫害遥感监测方面的专著。2010 年曾获国家科技进步奖二等奖“数字农业测控关键技术产品与系统”（排名第四），证书编号：2010-J-251-2-02-R04。

8、陈正超，中国科学院遥感与数字地球研究所研究员。发表相关 SCI 论文 9 篇，主要创新贡献包括：参与研制中国首套全链路图像模拟系统，并开展了遥感器指标论证，遥感器定标与图像质量评价相关工作，为我国航空和航天成像光谱仪的研制提供技术支撑；并组织和开展多次综合遥感试验。

9、张文娟，中国科学院遥感与数字地球研究所高级工程师。发表相关 SCI 论文 7 篇，主要创新贡献包括：提出了基于邻近通道光谱相关性的地表发射率图像模拟方法，创建了基于四参数的大气辐射传输解析模型和入瞳辐亮度图像模拟方法，解决了中红外光谱图像模拟难题。自主实现了高光谱图像全链路成像过程模拟研究，参与研发了高光谱遥感图像模拟系统。持续开展航空航天遥感器数据模拟与论证工作，支撑了多个机载、星载高光谱遥感器的指标论证与研制任务。

10、黄长平，中国科学院遥感与数字地球研究所副研究员。发表相关 SCI 论文 12 篇，主要创新贡献包括：参与研制了中国首套地面成像光谱辐射计（FISS），负责 FISS 系统调试，光谱、辐射与空间特性定标算法模型研究等工作，提出了基于系统

可变成像参数的快速辐射定标模型，建立了地物成像光谱测量技术规范与成像光谱数据处理标准流程，并率先开展了植被参数定量反演等典型应用研究。

七、主要完成单位及创新推广贡献

中科院遥感与数字地球研究所（由中科院对地观测与数字地球科学中心、中科院遥感应用研究所整合组建而成）为项目成果唯一完成单位，为项目的设立、开展和推动工作提供了全部的技术、设备和人员条件。主要科技贡献包括：

1. 创建了系列高光谱遥感基础理论与成像机理模型，实现了成像光谱地面测量与图像模拟技术的重大突破。创建了岩矿、农作物、水体等典型地物光谱及完备配套参数的光谱数据库，为高光谱基础理论研究和多学科应用提供了重要科学数据和分析平台。构建了地物光学反射、吸收、散射、荧光等系列光谱作用机理模型 20 多个。

2. 攻克了高光谱数据噪声估计、混合像元分解、图像分类和目标探测等多项核心技术。创新引入群智能算法，实现了高光谱图像端元优化提取与高容错、高效率的混合像元分解；研制了高光谱图像星上实时处理硬件系统，参加国际高光谱遥感目标探测开放竞技综合成绩排名全球第一，研发了我国首个通用的高光谱图像处理与分析软件 HIPAS，被评价为国际 6 大顶尖高光谱遥感图像处理软件之一。

3. 提出了系列地表参数反演模型与方法，引领了高光谱遥感在精准农业、岩矿探测、生态环境监测、文物保护等多学科应用。提出系列作物水分、养分光谱诊断等农学应用模型，开创了我国岩矿和文物高光谱遥感应用，制作了首幅基于国产高光谱数据的全月表典型造岩矿物和太空风化水平分布图，研发了业务化运行的内陆水环境遥感监测系统。

八、完成人合作关系说明

中国科学院遥感与数字地球研究所（由中科院对地观测与数字地球科学中心、中科院遥感应用研究所整合组建而成）为项目成果唯一完成单位，为项目的设立、开展和推动工作提供了全部的技术、设备和人员条件，项目完成人均为遥感与数字地球研究所全职职工。

第 1 完成人张兵为高光谱遥感学科带头人，师从项目第 3 完成人童庆禧院士，二人自 1994 年至今已有 23 年科研工作合作经历，对项目成果和项目团队建设做出

了突出贡献，涉及的成果贡献见附件 1、7-12、16-18、20-23、25-27、29-42、44、46。

第 2 完成人张立福为遥感地球所高光谱研究室主任，师从第 3 完成人童庆禧院士，与第 1 完成人和第 3 完成人自 2005-2017 年长期合作，对项目成果做出了突出贡献，涉及的成果贡献见附件 2-6、12、14、18、20、22-24、28、35、39、47-49。

第 3 完成人童庆禧院士是中国高光谱遥感研究的开拓者，培养了大批优秀高光谱遥感科技人才，对项目成果做出了突出贡献，为第 1、2、4、5、6、8、9、10 完成人的导师，涉及的成果贡献见附件 2-6、12、18、20、22-25、28、29、31、35、38-40、44、46-48。

第 4 完成人刘良云师从第 3 完成人童庆禧院士，与第 1、3、7 完成人长期合作，合作时间 2001-2017 年，涉及的成果贡献见附件 10、12、15、20、22、23、29、35、39、43。

第 5 完成人张霞师从第 3 完成人童庆禧院士，与第 1、2、3 完成人开展了长期合作研究，合作时间 1998-2017 年，涉及的成果贡献见附件 12、18、20、22-24、27、29、31、33、35、44、46、49。

第 6 完成人高连如师从第 1、3 完成人，与第 1、3 完成人开展了长期合作研究，合作时间 2002-2017 年，涉及的成果贡献见附件 1、8、9、11、12、20、22、23、26、30、33、35、37、39、41、42、44。

第 7 完成人黄文江，与第 1、3、4 完成人开展了长期合作研究，合作时间 2003-2017 年，涉及的成果贡献见附件 12、13、15、20、22、23、31、35、39、45。

第 8 完成人陈正超师从第 3 完成人童庆禧院士，与第 1、3 完成人开展了长期合作研究，合作时间 2002-2017 年，涉及的成果贡献见附件 7、12、16-18、20-23、29、35。

第 9 完成人张文娟师从第 1、3 完成人，与第 1、3 完成人开展了长期合作研究，合作时间 2003-2017 年，涉及的成果贡献见附件 7-10、12、20、22、23、35、39、44。

第 10 完成人黄长平师从第 2、3 完成人，与第 2、3 完成人开展了长期合作研究，合作时间 2008-2017 年，涉及的成果贡献见附件 4-6、12、14、20、22-24、28、35、39、48。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1.	共同知识产权	张兵 高连如	2012	一种高光谱图像中目标地物检测方法 及装置	附件 1	共 6 位 贡献人
2.	共同知识产权	张立福 童庆禧	2010	热红外高光谱发射率模拟方法和系 统	附件 2	共 5 位 贡献人
3.	共同知识产权	童庆禧 张立福	2010	一种地面成像光谱测量系统	附件 3	共 8 位 贡献人
4.	共同知识产权	黄文江 张兵 刘良云	2015	一种遥感反演精度检测方法及装置	未列入附 件	共 7 位 贡献人
5.	共同知识产权	张霞 童庆禧	2013	月表矿物的干涉成像光谱仪高光谱 数据模拟方法	未列入附 件	共 5 位 贡献人
6.	项目鉴定意见	张兵 等	1990-2015	高光谱遥感信息机理与多学科应用	附件 22	报奖项 目全部 人员
7.	专著合著	童庆禧 张兵	2006	高光谱遥感—原理、技术与应用	附件 29	共 3 位 作者
8.	专著合著	张兵 高连如	2011	高光谱图像分类与目标探测	附件 30	共 2 位 作者
9.	专著合著	童庆禧 张兵	2006	高光谱遥感的多学科应用	附件 31	共 3 位 作者
10.	论文合著	张兵 童庆禧	2000	Hyperspectral Image Processing and Analysis System and Its Applications	附件 40	共 5 位 作者
11.	论文合著	张兵 高连如	2011	Adaptive Markov random field approach for classification of hyperspectral imagery	附件 41	共 5 位 作者
12.	论文合著	张兵 高连如	2011	Endmember extraction of hyperspectral remote sensing images based on the ant colony optimization (ACO) algorithm	附件 42	共 4 位 作者
13.	论文合著	高连如 张兵 张霞	2008	A new operational method for estima- ting noise in hyperspectral images	附件 44	共 5 位 作者

		张文娟 童庆禧				
14.	论文合著	张霞 张兵 童庆禧	2008	Land cover classification of the North China Plain using MODIS_EVI time series	附件 46	共 4 位作者
15.	论文合著	童庆禧 张立福	2014	Progress in Hyperspectral Remote Sensing Science and Technology in China Over the Past Three Decades	附件 47	共 3 位作者
16.	论文合著	张立福 黄长平 童庆禧	2011	Laboratory calibration of a field imaging spectrometer system	附件 48	共 5 位作者