

二、项目简介

项目简介（限1000字）

面向国家对气象预报和农业灾害信息高效获取的迫切需求，立足于高中低分辨率遥感卫星数据日益丰富的现状，创建了基于高一中一低分辨率遥感数据的关键农业气象参数反演技术，每个参数反演算法都具有原创性，具有全球监测业务应用能力。为国家农情监测服务，保障国家粮食安全。

通过利用同极化不同频率微波指数克服粗糙度的影响，建立了标准极化微波指数模型，提高了土壤水分反演精度。该方法克服了以往需要同步获得大尺度地表温度的困难，反演误差降低了10%。发明了一套利用GPS地面反射信号反演土壤水分的装置和方法，填补了国内在地面一定高度获得大面积土壤水分参数仪器的空白，解决了星上土壤水分验证时地面点观测难以匹配且缺乏代表性的难题。

首次提出利用地表温度和发射率作为先验知识，建立迭代优化的人工智能方法，从而使得直接从遥感数据大面积反演近地表空气温度的反演方法变得通用，误差大约1K；进一步利用大气水汽含量作为先验知识提高近地表空气温度反演精度；提出利用卡曼滤波迭代优化方法估算发射率及大气水汽含量，提高了反演精度。

通过利用近红外波段克服以往算法从气象站点获取水汽的困难，提出了地表温度反演的新劈窗算法，简化了反演过程，提高了反演精度。针对多热红外波段数据，通过建立邻近波段发射率之间的关系克服方程不足困难，提出了同时反演地表温度和发射率的多波段反演算法，并利用深度学习进行优化计算，提高了反演精度和算法适用性。

提出了针对风云卫星数据的积雪监测算法和冻融的降尺度算法，大大提升了现有冻融产品的空间分辨率和反演精度，并在此基础上提出了基于数据同化理论的地表蒸散发时间序列重建方法，填补了国内地表蒸散发时间连续估算的空白，为粮食估产和干旱监测提供了准确参数。

研究成果在国家重大自然灾害监测中发挥了重要作用，为防灾减灾提供了有力支撑，凸显了遥感在大尺度灾害监测中的作用，平均每年减少损失15600万元以上。在新的历史时期，通过利用本研究成果对全国农业灾害进行了长时间序列的时空变化分析，得到了全国灾害时空变化规律，为防止极端气候灾害等突发事件造成影响和夯实国民经济基础，我们重新提出的“藏粮于民”计划得到了社会各界人士的认同。发表相关研究论文260余篇（总引用次数超过7000次），获得授权发明专利14项，软件著作权18项。研究成果获得了显著的科学、社会与经济效益。

三、科技创新

科技创新（限5000字）

项目成果包括土壤水分、近地表空气温度、地表温度、积雪、蒸散发、大气水汽含量和发射率等关键参数理论和方法研究。这里主要介绍以下五方面的原创性科学发现和研究，成果在全国气象灾害预报和农业灾害监测中得到了充分转化和应用。具体科学发现和创新如下：

创新点1：通过利用同极化不同频率微波指数克服粗糙度的影响，建立了标准极化微波指数模型，提高了土壤水分反演精度；发明了一套利用GPS地面反射信号估算土壤水分的仪器和方法，填补了国内地面高空估算大面积土壤水分微波仪器的空白。旁证材料：【知识产权代表性发明专利见附件1和2；知识产权代表性软件著作权附件9；技术成果鉴定和查新检索证明见附件1和2；成果应用证明见附件1至5；其他代表性专著及论文见附件1至3。】

土壤水分不但是干旱监测中非常重要的参数，而且其变化影响热辐射和发射率变化，从而影响地表温度的反演精度。以往人们通过同一个频率不同极化建立微波指数与土壤水分建立统计关系计算土壤水分，同频率不同极化的微波指数受土壤粗糙度的影响很大。我们通过研究发现，不同频率V极化的微波指数能较好的消除粗糙度的影响，从而提出并建立了新的不同频率同极化标准化微波指数模型；同时提出了同频率不同极化的微波植被指数模型，在此基础上建立了被动微波土壤水分反演方法。该方法通过比值法克服了以往需要同步获得大尺度地表温度的困难，且分析表明通过标准化发射率指数和标准化微波指数建立土壤水分反演方法精度较高，反演误差降低了10%，得到国际同行认可。为了进一步验证和提高土壤水分反演算法精度和实用性，发明了一套利用GPS地面反射信号反演土壤水分的装置和方法，估算误差为 $0.02 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ，该装置和方法通过在地面一定高度架设信号接收器接受GPS地面反射信号，通过建立模型获得土壤水分与反射信号的关系全天候获得土壤水分参数，填补了国内在地面一定高度获得大面积土壤水分参数仪器的空白，解决了星上土壤水分验证时地面点观测难以匹配且缺乏代表性的难题。

创新点2：首次提出利用先验知识和人工智能方法直接从遥感数据大面积估算近地表空气温度反演方法，提高了空气温度反演的精度和时效性。旁证材料：【知识产权代表性发明专利见附件3；知识产权代表性软件著作权10；技术成果鉴定和查新检索证明见附件1和2；成果应用证明见附件1至5；其他代表性专著及论文见附件1和4。】

近地表空气温度不但是影响大气平均作用温度的关键参数，也是能量平衡和气候变化研究里一个非常重要的参数。由于近地表空气温度受时间和空间，以及地表情况的影响，至今还没有一种方法能够很好地估计近地表空气温度的空间分布。目前，在气候变化研究里公知的三种获得近地表空气温度的方法，一是基于能量平衡的物理方法。物理方法需要空气动力学阻抗，以及地表状态（包括水，土壤和植被的状态等），这几个参数难以获取；另外一个经验方法，利用GIS对气象站点获得的近地表空气温度进行插值得到近地表空气温度的分布图。当气象站点不是很多而且不是均匀分

布（特别是在山区）时，插值得到的结果不是很好；第三个是利用热红外波段与地面站点进行统计回归的经验算法，这种经验算法在时间和空间上不具备平移性，即需要在不同空间和时间重新采集数据进行统计修正系数。我们首次提出利用地表温度和发射率作为先验知识，建立迭代优化的人工智能方法，从而使得直接从遥感数据大面积反演近地表空气温度的反演方法变得通用，误差大约1K（同类国际刊物发表精度是3K，请参见成果查新和鉴定证明）。在此基础上，进一步利用大气水汽含量作为先验知识提高近地表空气温度反演精度。

创新点3：在晴空条件下，通过利用近红外波段估算大气水汽含量，克服了以往算法需要从气象站点获得水汽的困难，提出了地表温度和发射率分步反演的新劈窗算法，简化了反演过程，提高了反演精度；针对多热红外波段数据，通过建立邻近波段发射率之间的关系，克服方程不足的困难，提出了同时反演地表温度和发射率的多波段反演算法，并利用深度学习进行优化计算，大大提高了反演精度和算法适用性。旁证材料：【知识产权代表性专利见附件4；知识产权代表性软件著作权附件11和12；技术成果鉴定和查新检索证明见附件1和2；成果应用证明见附件1至5；其他代表性专著及论文见附件1，5和6。】

主要参与人覃志豪等提出了单窗算法（单篇引用超过1000次）和劈窗算法，得到了国际同行的广泛认同。针对两个波段的热红外数据，从热辐射传输方程出发，通过理论推导，提出了地表温度和发射率分步反演的新方法。第一步：在对不同热红外波段建立辐射传输方程组的基础上，对Planck函数进行线性简化，简化辐射方程组；第二步：利用可见光波段PV指数计算不同热红外地表发射率；第三步：利用近红外波段估算大气水汽含量，并计算热红外波段大气透过率；第四步：估算地表温度。该算法被国内外许多科研人员采用，理论精度为0.32K，提高了农情和草原长势气象参数监测精度。

针对多个波段的热红外数据，继续提出了同时反演地表温度和发射率的多波段方法。利用不同热红外波段发射率之间的关系建立邻近波段发射率之间的函数关系，从而得到与未知数相同的方程组数，解决了热红外地表温度和发射率同时反演方程不足的病态问题。该方法进一步利用大气辐射传输模型模拟保证了地球物理参数之间的物理关系，和神经网络内含分类信息和优化计算的能力，从而提高了地表温度和发射率同时反演精度。大气辐射传输模型与神经网络复合来反演地球物理参数是当前反演技术一个很大进步。具体针对高分辨率ASTER数据5个热红外波段的特征，提出了针对ASTER数据同时反演地表温度和发射率的反演算法，分析表明平均理论误差在0.25K以下，波段11/12/13/14 发射率的平均误差在0.001以下。日本产品算法精度是1.5K，发射率误差是0.015，参见成果查新和鉴定证明，而且算法中运用发射率比值关系使得算法普适性下降。针对中分辨率MODIS数据，利用了地表温度、近地表空气温度、大气平均作用温度、星上亮度温度之间的关系，以及透过率与大气水汽含量之间的关系，提出了针对MODIS数据同时反演地表温度和发射率的多波段算法，克服了美国NASA同时反演地表温度和发射率产品反演算法需要大量参数做复杂运算的缺陷，分析表明我们的算法理论精度平均误差在0.4K以内，发射率的平均误差在0.008以内。NASA发

表的理论精度为0.4—0.5K，发射率误差为0.009，而且NASA该产品算法需要同时运用白天和晚上的热红外数据，假定地表发射率不变，使得算法不够稳定（两次数据之间可能突然下雨或者降雪）。我们提出的算法只用同一景数据，减少了算法的复杂性，通过优化迭代运算使算法比较稳定。我们进一步对地表温度算法和产品进行了改进，生成了更加稳定的地表温度产品。

创新点4：提出了针对风云卫星数据的积雪监测算法和冻融的降尺度算法，大大提升了现有冻融产品的空间分辨率和反演精度，为雪灾和农情监测提供了可靠的参数。旁证材料：【知识产权代表性专利见附件7；知识产权代表性软件著作权附件13；技术成果鉴定和查新检索证明见附件1和2；成果应用证明见附件1至5；其他代表性专著及论文见附件7和8。】

现有遥感监测地表冻融状态精度及其空间分辨率均不能满足水文、气象、生态等应用需求。本研究首先通过发展的寒区植被介电模型，引入了中国森林生物量数据，改进了现有冻融辐射机理的解释和判识算法。通过时空融合方法，将微波与红外遥感各自的优势结合起来，获取了高质量时空完整的地表温度产品。并将其两者联合开展地表冻融监测，探讨了利用融合地表温度以及降尺度后微波亮温进行地表冻融监测的方法。通过将被动微波遥感观测降尺度后的冻融判识结果，则有效改善了现有冻融判识精度。该项工作的创新性主要体现在阐明了热红外遥感和被动微波遥感探测地表冻融状态的机理（见代表性论文附件8和9），并将两者结合发展了冻融的降尺度算法，大大提升了现有冻融产品的空间分辨率。积雪的空间异质性，尤其在微波辐射计卫星像元尺度上混合像元问题很严重，对星载雪水当量估计带来很大的难题和挑战。我们基于现有算法中存在问题，对积雪辐射机理模型进行了改进；针对混合像元问题，引入混合像元线性分解思路，考虑粗空间分辨率混合像元和不同下垫面地表特征对雪深反演的影响，发展了基于风云三号微波成像仪数据的中国地区雪深反演算法，在中国地区总体精度要优于国际同类传感器产品精度。该算法目前已作为风云三号气象卫星微波成像仪(FY3/MWRI)雪深业务化算法。该成果在我国风云三号卫星微波成像仪应用于中国地区雪深和雪当量监测等任务中发挥了重要作用，为我国多个区域的大范围积雪监测提供了有力保障。在卫星遥感数据应用领域具有广阔的应用前景，为雪灾和农业灾害监测提供了重要参数。

创新点5：发展了基于双源变分数据同化框架的地表蒸散发估算和分割方法，提高了地表蒸散发、土壤蒸发、植被蒸腾的估计精度；提出了基于数据同化理论的地表蒸散发时间序列重建方法，填补了国内地表蒸散发时间连续估算的空白，为粮食估产和干旱监测提供了准确参数。旁证材料：【知识产权代表性专利见附件5；知识产权代表性软件著作权附件13；技术成果鉴定和查新检索证明见附件1和2；成果应用证明见附件1至5；其他代表性专著及论文见附件7和8。】

地表蒸散发及其分量（土壤蒸发、植被蒸腾）是全球气候变化的重要变量，也是农业干旱的重要指示参数，对于农田水资源管理异常重要。传统的双源能量平衡方程（比如：美国农业部的TSEB模型）估算的地表蒸散发被认为是农业干旱监测的重要方法，但该类方法容易受到地表温度反演精度的影响，且反演的地表蒸散发是瞬时的。

我们构建了双源变分数据同化框架，将遥感地表温度同化到双源能量平衡方程中，对农田地表蒸散发进行了估算和分割，并利用稳定同位素观测数据对分割结果进行了评估。评估结果发现我们发展的数据同化框架取得了比TSEB模型更高的估算精度，同时模型稳定性和抗干扰能力远胜于TSEB模型，且可以得到时间连续的地表蒸散发及其分量。该方法发表在国际知名期刊上，并获得了美国农业部Bill Kustas (J. Hydrometeorol. 前主编，TSEB模型的发明人) 的高度认可。基于热红外遥感数据的地表蒸散发估算模型，通常只能得到瞬时地表蒸散发，且容易受到云等不利天气的影响，很难获得时间连续的地表蒸散发数据，不利于长时间序列的农情监测和分析。以往人们通过经验或者半经验方法将瞬时地表蒸散发数据扩展到时间连续数据。我们利用数据同化方法 (SCE-UA) 发展了地表蒸散发时间序列数据获取的机理模型，通过将遥感瞬时地表蒸散发同化到P-

M模型中、优化P-M模型的关键参数，获得了时间连续且精度满足需求的地表蒸散发数据，可用于地表蒸散发的时间序列估算与农业干旱的时间序列分析。该方法解决了遥感瞬间信息与地表过程连续变化之间的矛盾。

为提高农业气象遥感关键参数的反演精度，围绕以上这五个方面的研究，共发表相关论文260余篇，其中SCI论文70余篇（总影响因子超过200），EI论文40余篇，专著2部，获得相关授权发明专利14项，软件著作权18项，查新和成果应用证明见附件。研究成果在国内外学术界有较大影响，在国家重大自然灾害监测中做出突出贡献（平均每年减少损失15600万元以上），研究成果得到了相关部门的肯定，部分研究成果已经分别获得多项社会奖：茅以升科技奖—北京青年科技奖1项（北京市每年只评15名）、中国农业科学院青年科技创新奖1项（每年只评5项）、“施雅风冰冻圈与环境基金”青年科学家奖1项、中国农业科学院建院60周年卓越奉献奖1项、中国产学研合作促进个人奖1项和中国农业资源与区划学会科技进步一等奖1项。在新的历史时期，为防止极端气候灾害造成影响和夯实国民经济基础，我们重新提出的“藏粮于民”计划得到了社会各界人士的认同和支持。

四、推广应用情况

1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

面向国家对气象灾害和农情监测信息高效获取的迫切需求，立足于高中低分辨率遥感卫星数据日益丰富的现状，创建了基于高-中-低分辨率遥感数据的关键农业气象参数反演技术，为全球变化提供科学数据集，尤其是使用国产卫星数据生产的数据集。本研究成果提出了具有自主知识产权的农业气象卫星遥感关键参数反演方法，发展适合我国的灾害监测方法，减少对国外数据和方法的依赖，降低系统运行成本，提高了系统的稳定性与安全性，也为后续卫星平台及载荷的研制提供不断改进和完善的经验，以促进我国卫星和国产卫星数据应用产业的发展与壮大。

根据国家统计年鉴，21世纪以来，我国年均农业受灾面积达6.27亿亩，其中干旱和洪涝灾害造成的受灾面积占全国总受灾面积的73.7%，仅2011年直接经济损失就高达2329亿元。本项目针对高中低分辨率卫星研发关键气象遥感产品算法以及关键参数遥感产品，生产90 m、1 km和25 km三个尺度地表温度、土壤水分、积雪、蒸散发和干旱等农业气象灾害关键参数的数据产品，为气象和农业相关部门提供高精度的农业气象遥感数据。项目紧扣“理论创新—技术突破—应用服务”的主线，以农业灾害遥感关键参数监测的理论创新为切入点，重点突破了“农业气象关键参数信息快速获取、动态解析和灾损定量评估”三大技术瓶颈。发展和完善了农业气象灾害遥感综合监测评估的技术方法。创新性地在地面测量与农业遥感参数监测评估方法相结合，提出了基于地表站点的土壤水分和遥感反演参数融合算法，制定干旱致灾等级风险评估经验模型，实现了农业干旱致灾等级风险的遥感反演。开展农业气象灾害遥感综合监测评估技术在省级农业气象业务服务中应用推广。完成了省级农业干旱遥感综合监测评估气象业务系统的顶层设计，详细设计了系统的架构、技术路线和实施方案。与地方单位合作，建立了基于GIS的农业干旱遥感监测评估业务技术体系，并已在黑龙江、吉林、辽宁、安徽、陕西、湖南、四川、新疆、河南、河北等省级农业气象业务服务中应用推广，为省级农业干旱遥感监测评估气象业务服务的开展提供了科技支撑。为国内首个精度高、尺度大和周期短的国家气象遥感和农业灾害遥感监测系统提供了关键参数，实现了国家和区域尺度的业务化应用和信息服务。实现不同尺度旱涝灾情信息获取时间缩短到24小时内，较人工采集节约成本90%以上。全国土壤墒情监测精度提高到94%以上，周期缩短至10天，为全国省市区域农业生产的科学管理和防灾减灾提供了决策支撑，平均每年为国家减少农业直接损失3亿元以上，减少间接损失上200亿元以上。

研究成果在国家重大自然灾害监测中发挥了重要作用，得到国家相关部门认可，为防灾减灾提供了有力支撑，凸显了遥感在大尺度灾害监测中的作用，发表相关论文260余篇（总引用次数超过7000次，单篇引用最高超过1000次），其中SCI论文70余篇（总影响因子超过200），EI论文40余篇，专著2部，获得相关授权发明专利14项，软件著作权18项。部分研究成果已经分别获得了多项社会奖：茅以升科技奖—北京青年科技奖1项（北京市每年只评15名）、中国农业科学院青年科技创新奖1项（

每年只评5项)、中国农业资源与区划学会科技进步一等奖1项和中国产学研创新成果一等奖1项。由于研究成果在国家重大自然灾害监测中做出突出贡献,第一完成人毛克彪因此获得中国产学研促进个人奖1项、中国农业科学院建院60周年卓越奉献奖1项和被评为全国优秀科技工作者。为国家培养农业气象遥感研究人才,为国家农业气象灾害监测服务,保障我国粮食安全。

我们进一步利用农业气象关键参数和生产的灾害产品进行了时空变化分析,结合粮食估产和农情监测对我国粮食安全进行了深入分析。为防止极端气候灾害造成影响,在新的历史时期,我们重新提出的“藏粮于民”计划保障国家粮食安全受到政府部门和社会各界人士的高度认同和支持。本研究成果直中法国际“全球水循环观测卫星”的农业气象参数产品遥感反演算法。总的来说研究成果获得了显著的经济、科学和社会效益。

地理信息科技进步奖