# 2019年度国家科学技术奖提名公示内容

## 一、项目名称

地表水热关键参数热红外遥感反演理论与方法

## 二、提名者及提名意见

**提名者：**农业农村部

**提名意见：**我部认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关信息均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。

地表水热关键参数热红外遥感反演与验证是遥感科学界公认的重大难题。针对这一难题，该项目首创了地表净辐射遥感反演方法、“通用分裂窗”地表温度反演方法、地表温度-植被覆盖度特征空间的“干湿边自动确定法”以及混合像元土壤蒸发/植被蒸腾分解的“两段分离法”。项目研究成果成功应用于中国风云卫星数据的地表温度反演和全国农业墒情监测。8篇代表性论文他引1217次，其中SCI他引888次。项目创新了地表水热关键参数热红外定量遥感反演理论与方法，推动了遥感科学的发展。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

## 三、项目简介

地表温度、净辐射、蒸散发等地表水热关键参数是研究地球表面能量平衡和水分循环的关键要素，也是水文学、气象学、农学、地学等研究领域广泛使用的基本物理量。项目以遥感辐射传输机理为基础，按照“机理揭示—方法创新—模型构建”的研究路线，系统开展了地表温度、地表净辐射及蒸散发的热红外遥感反演理论与方法研究，重点突破了“大气效应校正、病态反演、全遥感建模”三大瓶颈问题，在国际上引领了热红外遥感研究的发展方向，赢得了国际同行的广泛认可。主要发现点包括：

**1.** **率先提出了地表温度-植被覆盖度特征空间的“干湿边自动确定法”，首创了混合像元土壤蒸发与植被蒸腾分解的“两段分离法”全遥感模型。**摆脱了传统方法需要近地面气象数据辅助的束缚，解决了传统方法对表层与根区土壤水分变化的解译不合理的问题，实现了混合像元土壤蒸发与植被蒸腾的分离，降低反演误差约40%，且使蒸散发的遥感估算能力由地面资料充足地区拓展至资料缺乏或无资料地区。

**2.** **创建了地表温度遥感反演的“通用分裂窗”模型，已成功应用于我国新一代风云系列气象卫星数据地表温度产品的生产。**提出了将地表比辐射率和大气水汽含量分组估算出的地表温度初值代替空气温度作为模型输入参数，突破了国际上广泛使用的“局部分裂窗”法需要已知近地面空气温度的局限；在高水汽含量情况下，提出了利用非线性拟合代替已有的线性近似的思路，提高了地表温度的反演精度，将温度反演误差由2.5度降低到1 度以内。

**3.** **提出了仅利用大气顶部多波段遥感数据直接反演地表净辐射的新方法。**突破了已有地表净辐射遥感反演需要已知卫星过境时刻大气廓线数据的局限，创建了仅利用大气顶部遥感观测数据直接反演地表短波净辐射的“直接辐亮度法”和直接反演大气下行辐射的“热红外波段权重”法，显著简化了计算流程，减少了误差来源，提高了反演精度，使地表净辐射的遥感反演误差从～50 W/m2降低到～30 W/m2。

**项目取得了一批有重大国际影响力的原创性科研成果，并得到广泛应用。**8篇代表性论文均发表在本领域权威刊物上，迄今共被他引1217次，SCI他引888次。4篇代表性论文为基本科学指标（ESI）数据库高被引论文（Top 1%）。成果被国家卫星气象中心和农业部发展计划司采用，用于我国风云系列卫星数据地表温度遥感反演产品的生产和全国农业墒情遥感监测。同时，项目培养了一支国际一流的科研团队，其中第一完成人获国家杰出青年科学基金、法国功勋与奉献金质奖章和法国学术棕榈骑士勋章，2017年当选为欧洲科学院院士，被遥感权威期刊IEEE TGRS和Remote Sensing聘为副主编，并被《2015研究前沿》指明为地球科学领域新兴前沿“卫星反演地表比辐射率研究”方面影响最大的科学家。

## 四、客观评价

经中科院文献情报中心检索，项目列出的8篇代表性论文他引1217次，其中SCI他引888次。项目的代表性论文1、2、3、7为ESI（Essential Science Indicators）数据库中地球科学领域的高被引论文（1%）（附件19）。项目研究成果被国家农业部发展计划司采用，用于我国风云系列卫星数据地表温度遥感反演产品的生产和全国农业墒情遥感监测（附件26）。由中科院文献情报中心与汤姆森路透旗下的知识产权与科技事业部联合发布的《2015研究前沿及分析解读》指出，“卫星反演地表比辐射率研究”是地球科学领域的新兴前沿，并评价到：“特别值得一提的是，在该新兴前沿中华人科学家的表现特别抢眼，全部4篇核心论文的通讯作者都是华人科学家，其中又以来自中国科学院地理科学与资源所的李召良影响最大”（附件27）。

**1. 对重要科学发现点（1）的评价**

法国CESBIO研究中心主任研究员Merlin等诸多国际著名科学家撰文指出，“干湿边自动确定法”具有原创性，可精确确定地表温度-植被覆盖度特征空间的干湿边，显著提高了地表蒸散发的反演精度（表1）。

**表1. 对“干湿边自动确定法”的主要代表性评价**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **作者/机构** | **期刊** | **评价原文** | **评价译文** |
| Merlin/法国CESBIO研究中心（代表性引文1，附件9） | HESS, 2013, 17, 3623-3637 | “**original algorithms** have been proposed to ﬁlter outliers in the T–fvg space (Tang et al., 2010).” | **Tang等提出了原创的“干湿边自动确定法”**来剔除T–fvg特征空间的异常点 |
| Tomás等/西班牙IMDEA水研究所（代表性引文2，附件10） | RSE, 2014, 152, 493-511 | This last section analyzes **the improvement obtained when using the Tang algorithm** for establishing the dry edge on Landsat imagery. | **使用Tang的方法来确定干边改进了估算结果** |
| Zhao等/中科院成都山地所（附件28） | IEEE TGRS, 2017, 55, 6494-6504 | **Tang *et al.* [33], [39], [40] made a great contribution** to the triangle space by **innovatively developing** a method for automatically determining the dry and wet edge. | **Tang等创新性地提出了干湿边自动确定法，对三角空间做出了重要贡献。** |
| Moosavi等/伊朗亚兹德大学（附件29） | IJRS, 2016, 37, 5605-5631 | It was also shown that **the method proposed by Tang, Li, and Tang (2010) improved the final SM estimations**. | **Tang等的方法改进了土壤水分的估算** |
| Tagesson等/丹麦哥本哈根大学（代表性引文3，附件11） | RSE, 2018, 206, 424-441 | We used the algorithm proposed by Tang et al. (2010) to estimate the dry edge (LSTmax in Eq. 1) due to its **low sensitivity to outliers**. | Tang等的方法对异常点的**敏感性低**，被用来确定干边 |

**2．对重要科学发现点（2）的评价**

以西班牙巴利亚多利德大学热红外遥感专家Quintano教授为代表的国内外专家先后撰文指出，代表性论文4对地表温度遥感反演现状和未来发展趋势做了完美的总结（代表性引文7，附件15），其论述全面、见解深刻（附件30）。

**表2. 对地表温度反演方法的主要代表性评价**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **作者/机构** | **期刊** | **评价原文** | **评价译文** |
| Gao等/中科院光电研究院（代表性引文6，附件14） | IJRS, 2018, DOI:10.1080/01431161.2018.1460514 | “This method was **improved** by Tang et al. (2008) ……, and the LST retrieval error was **reduced from 2.50 to 1.00 K** under hot and wet atmosphere” | Tang等**改进了局部分裂窗方法**，在湿热大气条件下，**将温度反演误差由2.50K降低到1.0K** |
| Quintano等/西班牙巴利亚多利德大学(代表性引文7，附件15) | IJAEOG, 2015, 36, 1-12 | see the work of Li et al.(2013) for more information. They made an **excellent** review of the current status and perspectives of the satellite-derived LST. | Li等对地表温度遥感反演现状和未来发展趋势做了**完美的总结** |
| Sobrino等/西班牙瓦伦西亚大学（附件31） | RSE, 2016, 179, 149-161 | An **exhaustive** review can be found in Li et al. (2013a, 2013b). | Li等对地表温度和发射率的遥感反演做了**详尽的总结** |
| Bellisario等/英国帝国理工学院（附件32） | JGR, 2017, 122, 12152–12166 | Li et al. (2013) provide a **comprehensive** review of the numerous approaches that have been employed to  derive land surface emissivity from space. | Li等对已有的地表发射率反演方法做了**全面的总结** |

**3．对重要科学发现点（3）的评价**

美国橡树岭国家实验室定量遥感首席科学家Bisht研究员等诸多国际著名遥感专家撰文指出，“直接辐亮度法”为地表短波净辐射遥感反演开辟了新的方向，“热红外波段权重法”显著地简化了大气下行辐射的计算程序，减少了误差来源，提高了反演精度，完全满足高空间分辨率卫星数据地表净辐射的计算需求，引领了近年来地表净辐射遥感反演的发展方向（表3）。

**表3. 对地表净辐射反演方法的主要代表性评价**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **作者/机构** | **期刊** | **评价原文** | **评价译文** |
| Bisht等 /美国橡树岭国家实验室（代表性引文4，附件12） | IEEE TGRS, 2011, 49, 2448-2461 | “……estimate net surface shortwave radiation by Tang et al. [18]……has shown to have a **lower rmse**……, is one of the **avenues to be pursued**.” | Tang等的方法反演**误差小**，为地表短波净辐射反演**开辟了新的方向** |
| Inamdar 等/美国气候与卫星合作研究所（代表性引文5，附件13） | RS, 2015, 7, 10788-10814 | “……**bridge the gap** between coarse-resolution surface radiation products and point-scale ground measurements. A direct method …… at 1 km spatial scale was developed [24], …… **fulfill the high spatial resolution requirement**,…...” | Tang等方法**满足高空间分辨率**地表短波净辐射精确反演**需求**，**填补了**粗分辨率和台站尺度净辐射之间的**空白** |
| Peng 等/中科院南京地理与湖泊研究所（代表性引文8，附件16） | HESS, 2013, 17, 1431-1444 | “Several earlier studies…… (Tang et al., 2006; Wang et al., 2009), which **signiﬁcantly simplified** the procedure and introduced relatively **few sources of error**.” | Tang等的方法**显著地简化了**计算过程，**减少了误差来源** |

## 五、代表性论文专著目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文专著**  **名称/刊名**  **/作者** | **年卷页码**  **（xx年xx卷**  **xx页）** | **发表时间（年月 日）** | **通讯作者（含共同）** | **第一作者（含共同）** | **国内作者** | **SCI**  **他引次数** | **他引总次数** | **论文署名单位是否包含国外单位** |
| 1 | An application of the Ts-VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and Validation/ Remote Sensing of Environment/ R.L. Tang, Z.-L. Li and B.-H. Tang | 2010年114卷540-551页 | 2010年03月15日 | Li Zhao-  Liang | Tang Ronglin | 唐荣林，李召良，唐伯惠 | 144 | 210 | 是 |
| 2 | A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data/ Sensors/ Z.-L. Li, R.L. Tang, Z. Wan, Y. Bi, C. Zhou, B.-H. Tang, G., Yan and X. Zhang | 2009年9卷3801-3853页 | 2009年05月19日 | Li Zhao-  Liang | Li Zhao-  Liang | 李召良，唐荣林，周成虎，唐伯惠，阎广建，张霄羽 | 199 | 299 | 是 |
| 3 | Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives/ Remote Sensing of Environment/ Z.-L. Li, B.-H. Tang, H. Wu, H. Ren, G.J. Yan, Z. Wan, I.F. Trigo and J. Sobrino | 2013年131卷14-37页 | 2013年04月15日 | Li Zhao-  Liang | Li Zhao-  Liang | 李召良，唐伯惠，吴骅，任华忠，阎广建 | 306 | 380 | 是 |
| 4 | Generalized split-window algorithm for estimate of land surface temperature from Chinese geostationary FengYun meteorological satellite (FY-2C) data/Sensors/B.-H. Tang, Y. Bi, Z.-L. Li and J. Xia | 2008年8卷933-951页 | 2008年02月14日 | Li Zhao-Liang | Tang Bo-Hui | 唐伯惠，毕于运，李召良，夏军 | 48 | 87 | 是 |
| 5 | A direct method for estimating net surface shortwave radiation from MODIS data/ Remote Sensing of Environment/ B.-H. Tang, Z.-L. Li and R. Zhang | 2006年103卷 115-126页 | 2006年07月 | Li Zhao-  Liang | Tang Bo-  Hui | 唐伯惠、李召良、张仁华 | 49 | 65 | 是 |
| 6 | Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data/ Remote Sensing of Environment/ B.-H. Tang and Z.-L. Li | 2008年112卷3482-3492页 | 2008年09月15日 | Li Zhao-  Liang | Tang Bo-  Hui | 唐伯惠、李召良 | 49 | 67 | 是 |
| 7 | Land surface emissivity retrieval from satellite data/ Z.-L. Li, H. Wu, N. Wang, S. Qiu, J.A. Sobrino, Z. Wan, B.-H. Tang, and G.J. Yan | 2013年34卷3084-3127页 | 2012年10月22日 | Li Zhao-  Liang | Li Zhao-  Liang | 李召良，吴骅，王宁，邱实，唐伯惠，阎广建 | 84 | 100 | 是 |
| 8 | Derivation of daily evaporative fraction based on temporal variations in surface temperature, air temperature, and net radiation /Remote Sensing/J. Lu, R.L. Tang, H. Tang, and Z.-L. Li | 2013年5卷5369-5396页 | 2013年10月22日 | Tang Huajun | Lu Jing | 卢静，唐荣林，唐华俊，李召良 | 9 | 9 | 是 |
| 合 计 | | | | | | | 888 | 1217 |  |

## 六、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** | **对本项目贡献** |
| 李召良 | 1 | 无 | 研究员 | 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 对第（1）、（2）、（3）项科学发现做出了创造性贡献，是第1-8篇代表性论文的作者。具体表现在：提出了地表温度-植被覆盖度特征空间的“干湿边自动确定法”；提出了大气顶部“直接辐亮度法”和“热红外波段权重法”；提出了地表温度遥感反演的通用分裂窗模型。 |
| 唐伯惠 | 2 | 无 | 研究员 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 对第（1）、（2）、（3）项科学发现做出了创造性贡献，是第1-7篇代表性论文的作者。具体表现在：创建了大气顶部“直接辐亮度法”和“热红外波段权重法”；创建了我国新一代风云气象卫星数据的“通用分裂窗”模型；参与提出了地表温度-植被覆盖度特征空间的“干湿边自动确定法”。 |
| 唐荣林 | 3 | 无 | 研究员 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 对第（1）项科学发现做出了创造性贡献，是第1、2、8篇代表性论文的作者。具体表现在：提出了“存高去低”的像元地表温度筛选思路，发展了Ts-Fc特征空间的“干湿边自动确定法”，建立了基于地表温度-植被覆盖度特征空间干湿边自动确定的地表蒸散发全遥感反演模型。 |
| 周成虎 | 4 | 无 | 研究员 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 对第（1）项科学发现做出了创造性贡献，是第2篇代表性论文的作者。具体表现在：参与提出了地表蒸散发遥感反演方法，梳理了地表蒸散发遥感反演现状与存在问题，开展了地表水热关键参数的真实性检验。 |
| 吴骅 | 5 | 无 | 副研究员 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 对第（2）项科学发现做出了创造性贡献，是第3、7篇代表性论文的作者。具体表现在：开展了“通用分裂窗”遥感反演地表温度产品的真实性检验；梳理了地表温度/发射率热红外遥感反演的现状与存在问题，并总结了各种方法的优缺点。 |

## 七、完成人合作关系说明

本项目由李召良、唐伯惠、唐荣林、周成虎、吴骅共同完成。

李召良系本项目第一完成人，与其他完成人合作关系说明如下：

第二完成人唐伯惠于2004-2007年师从第一完成人，攻读定量遥感博士学位，毕业后继续留在第一完成人所在的定量遥感研究团队。与第一完成人共同提出了大气顶部“直接辐亮度法”和“热红外波段权重法”，实现了地表净辐射的全遥感高精度反演；创建了地表温度遥感反演的“通用分裂窗”模型，开展了遥感反演地表温度的真实性检验。共同署名代表性论文1-7。

第三完成人唐荣林于2007-2011年师从第一完成人，攻读定量遥感博士学位，毕业后继续留在第一完成人所在的定量遥感研究团队。与第一完成人共同解译了基于卫星遥感数据的观测干湿边与理论干湿边的差异，提出了“存高去低”的像元地表温度筛选思路，发展了Ts-Fc特征空间的“干湿边自动确定法”，建立了基于地表温度-植被覆盖度特征空间干湿边自动确定的地表蒸散发全遥感反演模型。共同署名代表性论文1、2、8。

第四完成人周成虎作为资源与环境信息系统国家重点实验室主任，2003年从国外引进第一完成人，并与第一完成人长期合作，共同开展遥感反演基础理论方法与应用研究，提出了蒸散发全遥感反演方法，梳理了地表蒸散发遥感反演现状与存在问题，开展了地表水热关键参数真实性检验等。共同署名代表性论文2。

第五完成人吴骅于2006-2010年师从第一完成人，攻读定量遥感博士学位，毕业后继续留在第一完成人所在的定量遥感研究团队。与第一完成人共同开展了“通用分裂窗”遥感反演地表温度产品真实性检验，梳理了地表温度热红外遥感反演现状与存在问题，并总结了各种方法优缺点。共同署名代表性论文3和7。