

全球水循环的多频微波遥感观测及其后续卫星计划：第一年度进展

(龙计划五期项目 59312)

施建成, Yann Kerr, 赵天杰, 姚盼盼, Nemesio Rodriguez-Fernandez, 彭志晴, 李睿, 潘金梅

shijiancheng@nssc.ac.cn

在气候变化下对全球水循环的监测和预报需要增强卫星遥感的空间分辨率和准确性，为了提升被动微波遥感技术在全球水循环研究中的应用水平，并为后续卫星计划寻找新的机会，我们在第一年主要完成了以下研究内容：

(1) 联合 SMAP 卫星观测的 SMOS 多角度亮温优化

欧空局(ESA)的 SMOS 卫星第一次在全球尺度上提供了 L 波段的多角度亮度温度(亮温)，可用于地表土壤水分等参数的反演。受无线电射频干扰(RFI)和混叠效应(Aliasing)的影响，SMOS 观测的亮温在部分区域存在一定程度的不确定性，对科学研究及应用造成了阻碍。2015 年由美国 NASA 发射的 SMAP 卫星则提供了 40°的 L 波段亮温，同时其从软硬件设计上对 RFI 进行了检测和后处理。因此我们采用 SMAP 的观测来优化 SMOS 的多角度亮温，从而得到一致性与 SMAP 更强的 SMOS 多角度亮温。我们在两步回归方法的基础上提出三步非线性回归方法，使用预处理后的 SMAP 3 级 9km 亮度温度(SPL3SMP_E)，对 SMOS 1 级 15km 的亮温(SCLF1C)进行优化。三步回归方法的第一步使用二次方程拟合电磁场强度随角度的变化趋势；第二步分别对水平和垂直极化的亮温拟合其多角度特征；第三步包含两种方法，分别是调整拟合曲线使其经过 SMAP 的观测，以及调整第二步的拟合曲线使其与 SMAP 观测的差异最小。本文使用全球 12 个土壤水分观测网络(青藏高原 4 个：阿里、玛曲、那曲和帕里；西班牙 1 个：REMEDHUS；澳大利亚 2 个：Yanco 和 Kyeamba；美国 5 个：Walnut Gulch、Fort Cobb、Little Washita、South Fork 和 Little River)的 5cm 土壤水分观测进行比较，发现三步回归方法在强 RFI 地区与土壤水分的 R2 较 CATDS 官方 3 级产品有较大提高；在全球尺度上，三步回归两种方法的亮温结果的时空覆盖较 CATDS 更全面，特别是在亚洲与中东地区；此外在区域及全球尺度上，三步回归方法结果的累积密度分布(CDF)较 CATDS 3 级产品的累积密度分布与 SMAP 的观测一致性更好，本文的方法为未来发展 SMOS-SMAP 一致性亮温和土壤水分产品打下基础。本项工作已经投稿至 IEEE TGRS 期刊(修改中)。

(2) 一种适用于多种卫星传感器的土壤水分多通道协同反演算法

基于滦河流域土壤水分遥感专题试验，发现植被影响呈现明显的波段、角度和极化依赖性和各向异性特征，植被作用的假设条件是影响土壤水分反演结果的关键。①利用主反演通道构建待反演参数之间的物理关联，以形成参数间的相互约束以减少多解情况；②在零阶辐射传输模型框架下不进行任何假设，推导建立了不同通道(波段、角度和极化)亮温之间的物理关联，以引入更多协同通道观测信息，进而通过协同通道对主通道待反演参数进行遍历求解，实现了土壤和植被复合信号的有效解耦分离，形成了可用于多种卫星载荷配置的土壤水分多通道协同反演算法(Multi-channel collaborative algorithm, MCCA)。土壤水分反演结果表明，MCCA 在采用多角度反演策略时通常具有更好的性能，无偏方根均方差(ubRMSD)介于 0.028 cm³ / cm³ 至 0.037 cm³ / cm³ 之间，这归因于植被光学厚度对频率通道的依赖性比对角度通道的依赖性更大。可以肯定的是，增加观测通道的数量可以使土壤水分的反演更加稳定，但也可能会造成模型估计与观测值不匹配的可能性增加。这项研

究为设计未来的卫星任务提供了新的见解，并强烈建议一种同时具有多角度和多频率观测能力的卫星，文章发表于 2021 年 5 月 *Remote Sensing of Environment* 期刊。

(3) 长时序 (2002-) 的 AMSR-E/2 土壤水分数据集

稳定且连续的长时序地表土壤水分数据对于全球环境和气候变化的监测十分关键。近年来发射的 SMAP 卫星搭载的 L 波段辐射计能提供目前最为精确的土壤水分数据，而 AMSR-E 和 AMSR2 系列传感器能够提供 C、X 等波段长时序的观测。本研究将 SMAP 的优势传递到 AMSR-E 和 AMSR2，发展了一个稳定连续的全球日尺度的土壤水分数据集（命名为 NNsm），分辨率 36km，时间为 2002-2019。NNsm 能够精确地复现 SMAP 土壤水分产品，全球平均 RMSE 为 0.029 m³/m³。NNsm 与地面站点观测数据相一致，优于 AMSR-E/2 来自 JAXA 和 LPRM 的土壤水分产品。该遥感数据集目前将近覆盖 20 年时间，易于延续到在轨的 AMSR2 和后继的 AMSR3 任务，气候极端事件、趋势和年代际变化等长时序研究提供数据支持。本项工作已经被 *Scientific Data* 期刊接收发表。