

## 遥感技术在地表形变监测与农业用水管理中的应用：龙计划六期 95369 项目第一年成果摘要

在项目的第一年中，研究团队开展了一系列卫星遥感应用，目标是监测地质灾害和支持农业用水评估。这些工作涵盖了巴西、葡萄牙、中国和巴基斯坦的多个研究区，综合使用了合成孔径雷达（SAR）、光学遥感数据、地面观测以及人工智能建模方法。

在巴西马塞约（Maceió），通过分析 2019 年 6 月至 2024 年 4 月获取的 145 景 Sentinel-1A 图像，评估了盐矿开采引发的地表沉陷。初步采用的永久散射体干涉技术（PSI）能够揭示区域性形变趋势，但在低相干区效果受限。为解决这一问题，研究团队引入了准永久散射体（QPS-InSAR）方法，将监测点密度提高了超过 400%（监测点数从 4,494 增加至 23,460），监测到的累计垂直形变量在-1,750 毫米至+10 毫米之间。2023 年，有 17 个散射点出现振幅稳定性下降，其中 11 个发生在 12 月，与 18 号盐矿的坍塌时间一致，表明振幅变化可作为潜在灾害的前兆指标。

在巴西亚马逊的贾马里（Jamari）国家森林，应用 Sentinel-1 SAR 数据评估选择性采伐对森林冠层的影响。研究区包括两片分别在 2017 年和 2020 年采伐的区域，以及一片未受扰动的对照区。检测到的冠层损失率分别为 6.90% 和 4.11%，对照区仅为 0.16%。检测变化与已知采伐基础设施的空间重叠率分别为 60.94% 和 51.65%，验证了该方法在中等强度干扰监测中的适用性。

在葡萄牙维拉里萨山谷（Vilariça Valley），开展了橄榄种植区的土壤湿度估算研究，旨在优化灌溉管理。结合 Sentinel-1 双极化 SAR 图像与 2020 年 7 月至 2021 年 12 月每 30 分钟获取的 10cm 深度上的土壤湿度数据，构建了人工神经网络（ANN）模型。使用 161 景升轨图像训练的模型（D1）获得了较好性能（RMSE: 2.78%， $R^2$ : 0.69，MAPE: 8.26%），相比之下，混合 246 景升轨与降轨图像训练的模型（D2）性能较差（RMSE: 3.96%， $R^2$ : 0.59，MAPE: 12.41%），表明观测几何一致性对于模型精度具有重要影响。

中方合作团队在中巴公路吉尔吉特段和华北平原也开展了地表形变研究。利用 2015 至 2019 年期间的 InSAR、GNSS 及水位数据，揭示了华北平原含水层的动态特性及地面沉降规律。结果显示，最大季节性垂直形变幅度可达 25 毫米，长期沉降年均为 29 毫米，局部峰值达 120 毫米/年。不同区域的沉降速率差异反映了地下水管理方式及南水北调工程的影响。

这些结果证明了将地球观测数据、地面观测数据和人工智能模型相结合来监测环境变动过程的有效性。第一年开展的工作有助于建立变形风险检测的可运行工作流程、灌溉优化的支持工具，以及进一步发展预警系统和异构数据源整合方法。