

# 在“龙计划”五期雷达遥感考古项目中用合成孔径雷达支持考古勘探和遗址保护

Timo Balz<sup>1</sup>, Francesca Cigna<sup>2</sup>, Deodato Tapete<sup>3</sup>, Gino Caspari<sup>4</sup>, Bihong Fu<sup>5</sup>, Haonan Jiang<sup>1</sup>

- 1) 测绘遥感信息工程国家重点实验室，武汉大学，中国
- 2) 国家研究学院大气和气候科学研究所，意大利
- 3) 意大利航天局，意大利
- 4) 考古系，悉尼大学，澳大利亚
- 5) 空天信息创新研究院，中国科学院，中国

我们利用卫星 SAR 数据在“龙计划”五期雷达遥感考古项目中开发支持考古勘探和文化遗址保护的方法。SAR 在该领域具有独特的优势，但也存在一些挑战。在“龙计划”五期项目中，我们的工作到目前主要集中在中国、俄罗斯、意大利、挪威和土耳其等地。然而，由于对俄罗斯实施的制裁，我们与该研究区的合作停滞不前，因此以该地区为研究的团队成员（例如悉尼大学）目前正在将注意力转向其他地区。就所采用的方法而言，重点在于使用长期多基线 SAR 干涉测量方法对文化遗产遗址进行连续的地表运动稳定性分析，以及变化检测方法。在变化检测方面，我们正在开发各种方法，包括基于 PSInSAR 的城市扩张检测、用于掠夺制图的自动相干性和振幅变化检测，以及用于损害评估的相干性变化检测。此外，我们还对高分辨率 SAR 图像中土耳其和叙利亚于 2023 年 2 月 6 日遭受的毁灭性地震后的损害进行了多传感器/多角度图像分析，该地区受损面积广泛，造成了巨大的人员损失。该地区也以其丰富的文化遗产而闻名，不幸的是，广泛的文化遗产受损现象已经被证实。为了支持对考古遗址损害的识别，团队使用了“龙计划”五期项目的数据以及几个第三方任务(TPM)的数据源。并非所有对文化遗产的破坏都能从遥感图像中清晰地看到，而使用 SAR 数据时，情况变得更加严重。即使使用非常高分辨率的 TerraSAR-X 凝视聚束模式数据集，损害通常也很难在没有灾前相似图像的情况下识别，而这些图像却是缺失的。这证明了像 Sentinel-1 这样的连续观测任务的重要性，尽管空间分辨率非常低，但可以通过相干变化检测分析生成损害地图，这可以作为对高分辨率光学图像或非常高分辨率的 SAR 图像进行目视解译的起点。对于光学图像，天气条件在损害的可

探测性中起着核心作用，而对于 SAR 图像，图像配准，例如轨道方向和视角，可以确定损害在给定图像中是否可见。

抢夺对文化遗产构成全球威胁，但在自然灾害或人为灾害后，抢夺活动更加猖獗。遥感技术可以检测到抢夺活动，但小规模抢夺坑/洞并不总是被识别出来。我们在中国武汉进行了一项实验证明了合成孔径雷达（SAR）数据中抢夺活动的可检测性。团队在武汉创建了两个不同尺寸的实验性抢夺场地，并通过 SAR 数据在“抢夺”前后对该区域进行监测。根据生成的数据，我们分析了 TerraSAR-X 图像在不同分辨率下对抢夺活动的可检测性，并分析了极化、视角和其他 SAR 采集参数的影响。

在武汉的实验区域内，我们也对武汉快速的城市扩张对城市内外文化遗产地的威胁感兴趣。武汉城区的快速扩张导致了建筑对文化遗产地的侵占，尽管这些地点通常受到保护，但由于房地产价格上涨而面临危险。此外，城市的发展还会导致地面沉降，这也可能对遗址的稳定性构成威胁。通过长期的合成孔径雷达干涉技术，我们可以识别受地面下沉影响的文化遗产地，并评估城市侵占可能造成的威胁。

采用类似的方法，团队对意大利首都罗马及其周边乡村景观中的文化遗产资产的威胁进行了描述。我们使用 2018 年至 2022 年期间获取的 Sentinel-1 图像，采用 SBAS 方法进行处理，识别出更加广泛的省内受地面不稳定影响的一系列城市区域，例如菲乌米奇诺国际机场区域（代表相对年轻的城市扩张和相关土地转换阶段）以及涉及到文物和文化遗产资产的台伯河冲积平原。鉴于在 InSAR 形变监测中使用多极化数据集的研究较少，我们还尝试了使用 Sentinel-1 VV 和 VH 交叉极化通道的 SBAS 链的性能，以确定该方法能够使用检测和跟踪的相干目标的数量和质量。

目前，团队的工作主要集中在利用长期多基线合成孔径雷达干涉技术对文化遗产遗址进行连续表面运动稳定性分析，和变化检测方法。此外，该项目还展示了持续观测任务（如 Sentinel-1）在土耳其地震背景下，尤其在损害检测和制图方面的重要性。团队对 SAR 数据中盗掘活动的可检测性的实验将对考古学和文化遗产保护领域做出重要贡献。通过进一步的发展和合作，雷达遥感考古项目将继续对全球文化遗产遗址的保存和保护做出重要贡献。