

利用多源遥感数据协同监测重工业活动和自然现象造成的灾害和环境影响

C. Tolomei¹, C. Bignami¹, S. Salvi¹, E. Trasatti¹, G. Ventura¹, L. Wei², M. Ao², S. Liu², G. Liu³

(1) 国家地球物理与火山研究所, 罗马, 意大利

(2) 东北大学, 沈阳, 中国

(3) 长白山火山监测研究站, 吉林省地震局, 长春, 中国

摘要

自 2020 年起, 在 ESA-MOST Dragon-5 项目的支持下, 意大利国家地球物理与火山研究所 (INGV)、东北大学 (NEU) 和中国吉林省地震局利用时间序列 SAR 图像, 对中国东北地区采矿引起的地质灾害及长白山活火山 (吉林省, 距沈阳东部约 300 公里) 进行了合作研究, 取得了一系列丰硕的研究成果。

我们的第一个研究区是抚顺西部露天煤矿 (FWOCM), 它位于中国抚顺市的西南部, 是亚洲最大的露天煤矿。自 20 世纪 20 年代以来, 抚顺西露天煤矿已发生了 90 多次滑坡, 特别是南坡的千台山滑坡, 是西露天矿规模最大的滑坡体。千台山滑坡在 2013 至 2016 年间经历了一个快速滑移期, 滑坡体累计滑移了约 90 米。然而, 自 2017 年以来, 千台山滑坡已趋于稳定, 其最大位移速率低于 150 毫米/年。为了分析西露天矿滑坡及周围城区的时空演化规律, 我们同时进行了 MT-InSAR 和多时相像素偏移跟踪分析。基于 2013 年 7 月 3 日至 2016 年 12 月 18 日采集的 53 幅 Cosmo SkyMed SAR 降轨图像, 我们进行了多时相像素偏移跟踪, 以监测千台山滑坡快速滑移期的位移。结果显示, 千台山滑坡在 2014 年期间移动速度非常快, 在 2015 至 2016 年期间移动速度有所减慢。基于收集的 2017 至 2022 年期间的 Sentinel-1 图像, 进行 MT-InSAR 分析以跟踪千台山滑坡的缓慢滑移过程, 发现千台山滑坡的最大位移速率不超过 150 毫米/年, 已经基本趋于稳定。同时, 监测结果显示: 2018 年西露天矿北坡东部附近城区出现沉降盆地, 沉降中心位于 E3000 与 F1 断层交汇处。此外, 我们还将地面测量数据与月降水数据进行小波变换交叉互相关分析, 以探究抚顺西部露天煤矿 (FWOCM) 位移受降水的影响情况。

第二个研究区是大孤山铁矿, 它位于中国鞍山市, 是亚洲最深的露天铁矿之一。铁矿采坑位于矿区西部, 随着开采深度的不断增加, 矿坑边坡高度以及边坡角不断增大, 边坡稳定性下降, 从而影响到矿山的安全生产。在经历 2017 年和 2018 年夏季持续降水后, 大孤山铁矿于 2018 年 9 月发生了大规模滑坡。针对露天铁矿的边坡稳定监测, 我们采用了 SBAS 技术处理了多轨道 Sentinel-1 SAR 数据, 并提出基于地形特征的雷达视线向 (LOS) 形变到坡向形变的解算方法, 得到了采坑西北帮的坡向形变结果。同时结合降水数据与地质条件, 对变形条件进行分析, 以探究岩体结构、岩性与降水的影响对边坡稳定的影响。

第三个研究区是受滑坡、地震、脱气和地面变形多因素影响的长白山火山, 其形变主要发生在 2002-2006 年的火山扰动时期和 2020-2022 年的低水平扰动期。由于距长白山火山 50 公里范围内居住着大约 13.5 万中国人和 3.1 万朝鲜人, 因此对长白山的多种灾害开展研究是至关重要的。基于 2004-2010 年间

的 33 景 Envisat ASAR 降轨数据,利用改进的多时相 InSAR 方法提取了长白山天池火山的精确表面形变参数,该方法在处理过程中利用归一化植被指数 (NDVI) 辅助选点,来降低植被失相干问题的影响。然后,根据火山地表形变场与 LOS 向变形之间的三维几何关系,开展了 Mogi 点源模型反演,揭示 2002-2005 年扰动期结束前后岩浆房的“膨胀-收缩-稳定”过程。此外,我们还通过 SBAS 技术分析了 2018-2022 年期间长白山火山的变形情况,该数据集由 23 幅 ALOS-2 升轨图像 (L 波段,条带模式) 组成,揭示了 2020 年 12 月至 2021 年 6 月期间发生的火山低水平扰动现象。我们还处理了 Sentinel-1 数据,但由于使用 C 波段存在大量相干性损失,无法获得可靠的结果。因此,只有 ALOS-2 结果被用于建模的输入。地球物理模拟结果表明,有三个活动源对观测到的地表形变速率有影响:一个较深的板状收缩源、一个较浅的 NW-SE 膨胀型椭球源和一个 NW-SE 走向的倾滑断层,推断的震源深度和几何形状与岩石学和地球物理探测数据基本一致。

致谢

Sentinel-1 的数据是由欧洲航天局免费提供的。

COSMO-Sky Med 的数据由意大利航天局通过 ASI-ESA Dragon5 (ID.58029) 项目提供。

ALOS-2 数据由日本宇宙航空研究开发机构 (JAXA) 提供 (nr.PER2A2N173)。