

利用 Sentinel-1 数据监测青藏高原人类活动引起的地表形变

田云锋, 张景发, 罗毅, 李永生

中国地震局地壳应力研究所, 地壳动力学重点实验室

北京市海淀区安宁庄路 1 号 100085

tel(O) 86-10-62842646 zhangjingfa@hotmail.com

1. 引言

InSAR 已经成为地壳形变监测的重要手段之一。然而, InSAR 探测到的地表形变信号中也包含各种非构造成分, 例如人口密集的城镇地区抽取地下水造成的地面沉降。这些人类活动造成的局部地表形变往往掩盖了地壳表层的真实运动, 在分析活动断裂或地壳块体的运动时将带来误差。本文利用 2014 年底至 2018 年初收集的 Sentinel-1 卫星 C 波段 SAR 数据, 来分析青藏高原地区与人类活动密切相关的形变信息, 以便于充分认识 InSAR 速率图中的各种形变信号。

2. 数据和处理方法

我们同时处理了升轨和降轨的数据, 并利用二者进行相互验证。在 2014 年底至 2017 初, 重复观测周期为 24 天; 此后, 观测周期缩短至 12 天。

我们利用 GMTSAR 软件(Sandwell et al., 2011)来进行数据处理。首先, 确定一个主图像, 并把其他影像配准到主图像。然后, 利用两两组合的方式来生成干涉图。由于 Sentinel-1 卫星影像间较小的空间基线和青藏高原干旱的气候, 干涉处理时的失相干现象一般并不严重, 除了一些季节性冻土形变较大的地区。基于干涉对, 我们利用考虑相干性大小的 SBAS 方法来获得各点 LOS 向的位移时间序列。与一些传统方法相比, 该方法为相干性较低的像素赋给较小的权重、能够获得较连续的形变场。最后, 利用线性拟合来计算各点的年平均位移速率(位移时间序列的斜率)。

3. 结果

(1). 矿区沉降

Sentinel-1 数据清楚地显示了西藏南部桑日-错那裂谷东侧断裂扎西康矿区的地面沉降(图 1), LOS 向最大沉降速率可达~10 mm/yr。在 Google Earth 高分辨率多光谱影像上, 施工场地和建筑等清晰可见, 并与 InSAR 观测到的形变场的空间范围较好地吻合。

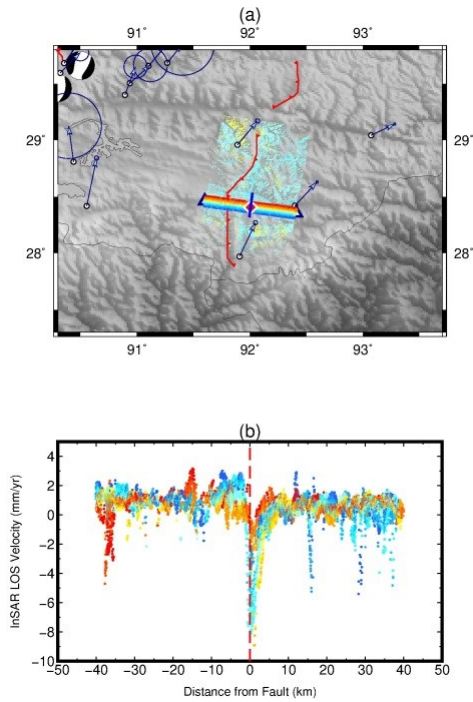


图 1. 桑日-错那裂谷扎西康矿区附近的 InSAR LOS 向速率（降轨）。（a）空间分布图。（b）速率剖面图。生成速率剖面图时考虑了剖面线两侧各 5km 范围以内的区域。剖面图中点的颜色表示点所在的位置与剖面线的距离。

(2). 油田开采区的地面抬升

沿青海省境内的茫崖-花土沟逆冲断裂带分布着一些油田。油田开采时通常需要往地下注水，以维持开采处的压力。我们基于 Sentinel-1 数据的干涉分析显示沿着这个带分布着若干个局部快速抬升的区域（图 2），最大抬升速率在 10mm/yr（LOS 向）以上。

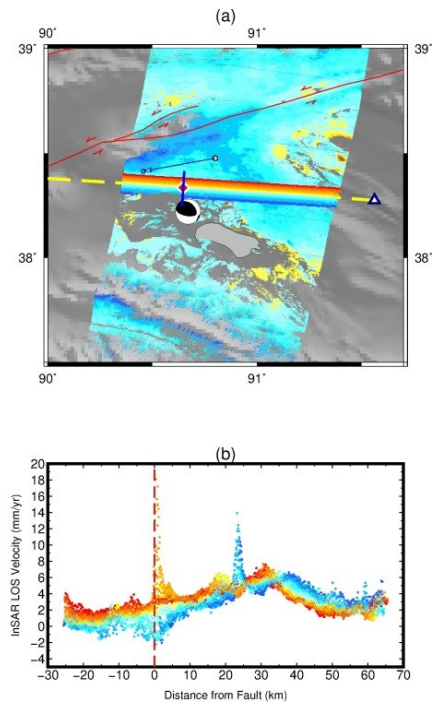


图 2. 青海省花土沟镇北侧油田的 InSAR LOS 向速率（降轨）。（a）空间分布图。（b）速率剖面图。

(3) 其他起因的小尺度形变或误差

地表形变也可能由其他人类活动造成，例如为农业灌溉和城区居民用水服务的地下水抽取。通过对比空间分布范围，这一类地面沉降的成因能够较好地识别。

然而，一些地区的沉降现象并没有相应的人类活动与之对应。这些区域通常位于河流盆地或高山之间的峡谷，而且也经常沿活动断裂带分布。在没有其他数据佐证的情况下，往往难以分辨造成这些地区异常形变的起因。因此，在定量地分析这些地区的断裂活动时应加以注意。

此外，InSAR 速率图中的沉降或抬升也有可能是一种虚假的“形变”信号，尤其是在地形崎岖的高山地区，这些信号可能来自于剧烈的地形起伏或大气延迟等效应，而非真实的地表形变。在一些同时存在较大地形变化和逆冲断裂运动的地区，这种现象变得非常复杂，难以区分构造和非构造部分。

4. 结论

我们基于 Sentinel-1 卫星 C 波段雷达数据的工作表明，InSAR 技术可以可靠地监测毫米级的地壳形变。我们监测到了若干发生在青藏高原地区由于人类活动造成的局部沉降或抬升形变。在一些地区，由于缺乏明显的人类活动迹象，类似的局部形变的起因仍有待解释。在利用 InSAR 技术研究青藏高原的地壳运动或断层滑动时，要注意区分这些形变的产生机制，避免仓促地给定结论。

致谢

本文的工作由国家自然科学基金(41104001)、中国地震局(Y201711)和地壳应力研究所(ZDJ2017-29)共同资助。

参考文献

Sandwell, D., R. Mellors, X. Tong, M. Wei, and P. Wessel (2011). Open radar interferometry software for mapping surface deformation, *Eos Trans. AGU* **92**(28) 234, doi:10.1029/2011EO280002.