

利用大地测量和水井水位数据探究华北平原地下水文系统及南水北调工程的改善效果

李明佳¹ 孙建宝² 薛莲³ 沈正康^{3,4}

1, 南方科技大学, 中国

2, 中国地震局地质研究所, 中国

3, 北京大学, 中国

4, University of California, Los Angeles, United States

在过去的半个世纪中, 华北平原地下水过度开采与地表沉降一直是国家水资源战略安全的重大威胁。但自 2015 年南水北调工程竣工通水以来, 该问题已逐步得到缓解。本研究使用 2015 年至 2019 年期间的干涉合成孔径雷达数据 (InSAR)、全球卫星定位数据 (GPS) 和地下水井水位数据来监测华北平原地表变形, 并反演含水层的水文地质参数。

我们处理了 Sentinel-1A/1B 卫星在 4 年内 5 个连续帧的 92 景升轨数据, 使用 StaMPS 软件生成共主景时间序列, 并通过并行算法和群集作业管理系统来提高计算效率。最终, 我们获得了华北平原全分辨率 InSAR 时间序列, 并有效节约了计算时间。其中大气噪声采用联合方法进行估算和去除, 其中一阶噪声使用 ERA5 全球大气模型进行估算, 残余噪声使用共景叠加法 (Common Scene Stacking) 进行估算。

通过大地测量结果分析, 我们揭示了华北平原存在的广泛且显著的地表沉降信号, 平均沉降速率约为 30 毫米每年, 最高可达 100 毫米每年。基于时间序列分析, 我们提取出由不同物理机制产生的季节性形变项和长期形变项。通过对季节性形变项和水井水位数据的联合分析, 我们获得了华北平原含水层贮水系数和黏土透镜体等效厚度的空间分布结果, 分别为 $0.07 \sim 12.04 \times 10^{-3}$ 和 0.08~2.00 米, 并将其差异性归因于华北子水文系统的冲积沉积作用。本研究还揭示了南水北调工程近些年在缓解地下水短缺方面的成效。在 2015 年至 2019 年期间, 华北平原约 57% 的区域经历了沉降减缓, 其中大部分位于南水北调线路沿线, 平均沉降减缓 37.0 毫米。全华北平原的沉降平均减缓 4.1 毫米, 这表明尽管华北平原的整体沉降仍在持续, 但趋势已被逆转, 尤其是位于南水北调线路沿线的城镇区域。此外, 在河北和山东的行政边界上, 我们发现了由地下水管理政策导致的显著沉降速率差异性空间分布。研究表明, 大地测量和水井水位数据的联合分析可有效地对地下水文系统进行监测, 并为地下水管理和相关政策制定提供有效的数据支持。