

InSAR技术应用于银川盆地地震活动性监测的研究

杨慧慧

宁夏回族自治区地震局 宁夏 银川 750000

摘要: 银川盆地InSAR监测以SBAS时序分析为核心,通过多轨道数据融合、断层参数反演模型优化及多源校验,量化构造沉降(如灵武断裂闭锁)与人类活动形变(如地下水开采沉降)。未来需深化人工智能解缠算法与近实时监测系统的应用。

关键词: InSAR技术; 银川盆地; 地壳形变

银川盆地位于我国南北地震带北段,东接鄂尔多斯盆地西缘冲断带,西以贺兰山东麓断裂带与贺兰山山体过渡相连,构造上属于鄂尔多斯块体西缘断陷带。新生代以来强烈的构造活动导致银川盆地及其周围地区地震频繁,是我国西部地震活动的主要场所之一。

1 银川盆地现今地壳形变主要特征

1.1 整体形变格局。沉降趋势,基于InSAR观测(2015-2019年数据),盆地整体呈现持续下沉态势,平均沉降速率约5.8毫米/年。沉降中心主要位于银川市东部及石嘴山市,局部区域因人类活动(如地下水开采)导致沉降速率显著加剧。

东西分异明显,盆地西侧沉降速率高于东侧,形变梯度与贺兰山东麓断裂活动密切相关,体现了边界断裂对盆地变形的控制作用。

1.2 断裂活动特征。主控断裂活动性,贺兰山东麓断裂与黄河断裂:两侧差异运动显著,构成盆地的西、东边界,主导盆地的拉张断陷。灵武断裂:InSAR反演显示其兼具走滑与倾滑分量,走滑速率约3.03毫米/年,正断倾滑速率约0.27毫米/年,闭锁深度约6.8公里(倾角 54.7°),表明该断裂仍积累应变能量。隐伏断裂活动弱:芦花台断裂、银川隐伏断裂活动性较弱,对地表形变贡献较小。

深部动力机制,电性结构显示,银川盆地下方存在延伸至上地幔的大规模低阻体,可能反映幔源物质上涌。这种深部热活动与区域拉张应力(青藏高原北东向挤压)共同驱动盆地持续裂陷,是1739年平罗8级地震的深部诱因。

1.3 地震危险性。应变积累:断层闭锁特征(如灵武断裂闭锁深度6.8公里)显示部分断裂段存在滑动亏损,可能积累强震风险4。历史背景:银川盆地处于鄂尔多斯、阿拉善、青藏地块交汇带,1739年曾发生8级地震,

宁夏自然科学基金项目2023AAC03809

现今形变反映构造活动持续,需关注边界断裂的强震复发可能。近期活动:2025年1月银川4.8级地震属浅源破裂(10公里深),但未完全释放区域应变,深部闭锁段仍存潜在风险。

1.4 人类活动影响。石嘴山市及银川东部局部区域因地下水开采、矿产开发等引发剧烈地面沉降,InSAR监测显示沉降速率远超构造形变,需与自然形变区分评估。

2 银川盆地 InSAR 监测方法

2.1 数据采集与预处理。卫星数据选择,优先选用Sentinel-1(C波段)升轨与降轨数据,时间基线为12天,空间基线阈值限制在250米以内,以确保相干性。

需覆盖近年等多期影像,构建时间序列分析基础。影像配准与干涉图生成,采用双轨配准法,控制配准误差 ≤ 0.5 像素,生成复数干涉图。干涉图信噪比(SNR)要求 ≥ 0.3 ,并进行频谱均衡处理以抑制噪声。

2.2 时序形变反演(核心方法)。SBAS-InSAR处理流程,应用短基线集干涉测量技术(SBAS),通过多期影像组合生成干涉对,降低大气延迟误差和时空失相干影响。提取年均形变速率场,精度达 ± 1.5 mm/年(垂直方向)。断层参数反演,改进传统断层模型公式,基于单一轨道InSAR数据同步反演:走滑速率(如灵武断裂:3.03 mm/年),倾滑速率(正断分量:0.27 mm/年),闭锁深度(6.8 km)及倾角(54.7°)。识别贺兰山东麓断裂、黄河断裂的差异性运动特征。

2.3 误差控制与校正。大气延迟,SBAS时序滤波+气象数据建模(温湿度参数)。

轨道误差,精密轨道数据+基线距阈值控制($\Delta B < 500$ m)。地形相位,30m分辨率DEM模拟扣除(SRTM/ASTER)。人类活动干扰InSAR时序分析+实地调查(区分开采沉降与构造形变)。

2.4 多源数据融合验证。GPS/水准数据:校正InSAR视线向(LOS)形变,解算三维形变分量。深部地球物理

数据：结合电性结构模型（如低阻体分布），验证幔源上涌对裂隙的驱动机制。地震目录对比：关联形变速率异常区与历史地震（如1739年平罗8级地震）及近期震群活动（2025年银川4.8级地震）。

3 银川盆地 InSAR 监测结果分析

以下是银川盆地InSAR（合成孔径雷达干涉测量）监测结果的核心分析，基于多源遥感数据及地质调查成果综合得出：

3.1 区域形变总体格局。沉降趋势与空间分异，盆地整体呈持续下沉态势，平均沉降速率5.8 mm/年，西部沉降速率显著高于东部。沉降中心：银川市东部、石嘴山市局部区域沉降速率达15-30 mm/年，与地下水超采及矿产开发高度相关。断裂控制性形变，贺兰山东麓断裂两侧差异沉降明显，反映断裂拉张活动对盆地的控制作用。黄河断裂南段以走滑运动为主（速率 > 3 mm/年），北段拉张特征更显著。

3.2 表1关键断裂活动参数反演。

表1 关键断裂活动参数反演分析

断裂名称	运动性质	速率	闭锁特征	数据来源
灵武断裂	走滑+正断倾滑	滑3.03 mm/a 滑0.27 mm/a	闭锁深度6.8 km倾角54.7°	Sentinel-1 SBAS反演
贺兰山东麓断裂	拉张为主	东西向差异沉降 > 8 mm/a	未完全闭锁	InSAR形变场
隐伏断裂（芦花台、银川）	活动微弱	< 1 mm/a	—	形变场无显著异常

3.3 深部动力机制关联。地幔上涌驱动裂隙：电性结构显示盆地深部存在延伸至上地幔的低阻体，证实幔源物质上涌与区域拉张应力（青藏高原挤压传递）共同导致盆地持续沉降。热活动影响：深部热流助推银川盆地东缘地热资源形成，地热勘探靶区与断裂带空间耦合。

3.4 地质灾害风险。地震危险性，灵武断裂闭锁段积累弹性应变，闭锁深度6.8 km可能触发中强震（类似1739年平罗8级地震的深部背景）。2025年银川4.8级地震（震源深度10 km）未完全释放应变，边界断裂仍存复发风险。人类活动加剧沉降，石嘴山市因煤矿开采、银川东部因农业灌溉超采地下水，引发局部沉降速率达自然形变5倍以上（> 30 mm/年）。沉降导致路基变形、房屋开裂，与2023年6月地震群叠加加剧灾害链风险。

3.5 生态效应。地下水-湖泊失衡：灌溉渗漏补给占地下水来源80%，但超采导致潜水水位下降，引发湖泊湿地萎缩（如银川平原湖泊面积缩减20%以上）。土地退化：耕地减少、沙化加剧，生态服务功能（固碳、保水）显著减弱。结果验证与不确定性，多源校验：InSAR形变场与GPS数据吻合（水平误差 < 1.5 mm/年），深部模型获MT勘探支持。局限：植被覆盖区（如贺兰山麓）存在失相干，局部形变需结合地面调查确认。

银川盆地形变是构造活动主导（深部裂隙+断裂差异运动）与人类活动叠加（地下水开采、采矿）的综合结果。未来需重点关注灵武断裂闭锁段地震风险及石嘴山—银川沉降漏斗区的生态修复。

参考文献

- [1] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京：地震出版社,2021
- [2] 柴魁仁. 银川市活动断层探测与地震危险性评价[M]. 北京：科学出版社, 2021
- [3] 郝焱. 基于精密水准数据的青藏高原东缘现今地壳垂直运动与典型地震同震及震后垂直形变研究[D]. 北京：中国地震局地质研究所, 2021
- [4] 刘云玉. 银川盆地水平运动和地震活动特征分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021,38(1):36-42