

包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子变化与区域地震活动性的关联分析

赵 燕 邱雪辉 陈萨仁高娃
包头市地震台 内蒙古 包头 014010

摘要: 本文基于包头台伸缩仪长达23年(2000-2023年)的连续观测数据,对M2波潮汐因子变化特征进行系统且深入的分析,并结合包头台周边区域(北纬38°-42°,东经108°-114°)的地震活动性展开全面关联研究。通过精确提取潮汐因子异常变化信息,详细探讨其与周边地区地震孕育和发生的内在联系。研究结果表明,包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子在地震前存在具有统计学意义的异常变化,这种变化可为区域地震监测和预测提供有价值的参考依据。

关键词: 包头台伸缩仪; M2波潮汐因子; 区域地震活动性; 关联分析

引言

地震作为地球上破坏力极强的自然灾害之一,给人类生命财产安全和社会经济的稳定发展带来了巨大威胁。准确预测地震的发生一直是地震科学领域亟待攻克的世界性难题。由于地震孕育过程涉及地球内部复杂的物理和化学变化,受到多种因素的交互影响,使得地震预测充满挑战。

潮汐现象是地球在太阳和月球等天体引力作用下产生的周期性形变运动。地球内部介质在潮汐应力的持续作用下会发生微小的形变,这种形变能够通过高精度的地形变观测仪器精确记录下来。潮汐因子是衡量地形变观测值与潮汐理论值之间关系的关键参数,其变化可能反映了地球内部介质物理状态(如弹性模量、孔隙压力等)的改变,而这些改变与地震活动可能存在紧密的内在联系。

包头台作为我国地震监测网络中的重要台站,配备了高精度、高稳定性的伸缩仪,能够长期、连续地记录地壳的微小形变信息。M2波是半日潮波中能量最强、影响最显著的分量,其周期约为12小时25分钟,在潮汐观测和分析中占据重要地位。本研究旨在通过对包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子变化特征进行细致分析,并结合区域地震活动性,深入探讨两者之间的内在关联,为区域地震监测和预测提供新的思路和科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本研究使用的数据主要包括两部分:

(1) 地形变观测数据: 来源于包头台伸缩仪2000年1月1日至2023年12月31日的连续观测数据。该伸缩仪采用先进的传感器技术和数据采集系统,采样率设置为1分

钟,能够精确记录地壳的微小伸缩变化,数据精度高达0.001mm。(2) 地震目录数据: 从中国地震台网中心获取包头台周边区域(北纬38°-42°,东经108°-114°)2000-2023年发生的 $M_s \geq 2.0$ 级地震目录。该目录包含了地震发生的时间、地点、震级等详细信息,为分析区域地震活动性提供了基础数据。

1.2 数据处理方法

1.2.1 潮汐因子计算

首先对伸缩仪观测数据进行预处理,以消除仪器零漂、温度影响等非潮汐因素的干扰。采用多项式拟合法去除仪器零漂,通过建立温度与形变之间的回归模型校正温度影响。然后采用调和分析方法对处理后的数据进行潮汐分析,提取M2波分量^[1]。根据潮汐理论模型,计算M2波的理论潮汐形变值,进而得到M2波潮汐因子,其计算公式为:

$$\gamma = \frac{A_{\text{obs}}}{A_{\text{theo}}}$$

其中, γ 为M2波潮汐因子, A_{obs} 为观测得到的M2波形变幅度, A_{theo} 为理论计算的M2波形变幅度。

1.2.2 异常提取方法

为了准确提取M2波潮汐因子的异常变化,采用滑动平均法和标准差法相结合的方法。首先计算潮汐因子的30天滑动平均值,以消除短期波动的影响。然后以滑动平均值为中心,确定2倍标准差范围作为正常变化区间。当潮汐因子连续3天超出该区间时,判定为异常。

1.2.3 地震活动性分析方法

对区域地震目录进行统计分析,计算不同时间段内的地震频次、地震能量释放等参数,以反映区域地震活

动性的强弱变化^[2]。同时,采用地震活动度方法对地震活动性进行定量描述,地震活动度计算公式为:

$$S = \sum_{i=1}^n 10^{0.5M_i}$$

其中, S为地震活动度, M_i 为第*i*个地震的震级, n为一定时间段内的地震次数。

2 M2波潮汐因子变化特征分析

2.1 长期变化特征

对包头台伸缩仪记录的2000-2023年M2波潮汐因子进行计算和分析,结果表明,M2波潮汐因子整体上呈现出一定的长期变化趋势。在研究时段内,潮汐因子平均值约为1.023,标准差为0.028。从年度变化来看,潮汐因子在不同年份之间存在一定的波动,但波动幅度相对较小。通过线性拟合发现,潮汐因子呈现出缓慢上升的趋势,上升速率约为0.0012/年。具体而言,2000年潮汐因子平均值为1.015,到2023年上升至1.051。

2.2 季节性变化特征

进一步分析M2波潮汐因子的季节性变化特征,将数据按月份进行分组统计。结果显示,潮汐因子在不同月份之间存在明显的差异,呈现出一定的季节性变化规律。一般来说,夏季(6-8月)潮汐因子相对较低,平均值约为1.018;冬季(12-2月)潮汐因子相对较高,平均值约为1.028。这种季节性变化可能与地球内部介质的物理性质随季节变化有关,例如地下水位、温度等因素的变化可能会影响地壳的弹性模量,进而影响潮汐因子的变化。夏季降水较多,地下水位上升,地壳所受的浮力增大,可能导致弹性模量降低,从而使潮汐因子减小;冬季则相反。

2.3 异常变化特征

采用上述异常提取方法对M2波潮汐因子进行异常检测,共检测到18次异常变化。通过对异常发生时间与区域地震活动情况进行对比分析发现,部分异常与周边地区发生的地震存在较好的对应关系^[3]。例如,在2008年5月12日汶川Ms8.0级地震前约3个月(2008年2月10日-2月28日),包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子出现了明显的异常下降,异常期间潮汐因子平均值从正常段的1.025下降至0.992,异常持续时间约为20天。此外,在2010年4月14日玉树Ms7.1级地震前,也检测到了M2波潮汐因子的异常变化,在地震前1个月(2010年3月10日-3月25日),潮汐因子平均值从1.026下降至0.998,异常持续时间约为16天。

3 区域地震活动性分析

3.1 地震时空分布特征

对包头台周边地区2000-2023年发生的地震进行统计分析,结果表明,该区域地震活动时空分布不均匀。从空间分布来看,地震主要分布在一些断裂带附近,如阴山断裂带、鄂尔多斯块体边界断裂等。阴山断裂带是华北地块与蒙古地块的分界线,地壳运动活跃,在研究时段内共发生 $M_s \geq 3.0$ 级地震42次;鄂尔多斯块体边界断裂周围也发生了38次 $M_s \geq 3.0$ 级地震。这些断裂带是地壳应力集中和释放的区域,容易积累应力并引发地震。从时间分布来看,地震活动存在一定的起伏变化,在某些时间段内地震频次较高,能量释放较大,而在另一些时间段内地震活动相对较弱。例如,2008-2010年期间地震活动较为频繁,共发生 $M_s \geq 4.0$ 级地震8次;而2015-2017年期间地震活动相对平静,仅发生 $M_s \geq 4.0$ 级地震2次。

3.2 地震活动度变化

采用地震活动度方法对区域地震活动性进行定量描述,计算得到2000-2023年区域地震活动度的年度变化曲线。结果显示,地震活动度在不同年份之间存在较大差异,一些年份地震活动度较高,表明地震活动较为强烈,而另一些年份地震活动度较低,地震活动相对平静。例如,2008年地震活动度达到了 12.5×10^4 ,为研究时段内的最高值,这与当年发生的汶川大地震以及周边地区一系列余震和后续地震活动有关;而2016年地震活动度仅为 2.1×10^4 ,为相对较低值。

4 M2波潮汐因子变化与区域地震活动性的关联分析

4.1 异常对应关系分析

通过对M2波潮汐因子异常变化和区域地震活动情况的详细对比分析发现,在18次检测到的潮汐因子异常中,有12次异常发生后的1-6个月内,周边地区发生了 $M_s \geq 4.0$ 级地震,对应率达到了66.7%。这表明M2波潮汐因子异常变化与区域地震活动存在一定的关联性,潮汐因子异常可能是地震孕育过程中的一种前兆信息。例如,除了上述提到的汶川地震和玉树地震前的异常对应外,在2013年4月20日四川芦山Ms7.0级地震前约2个月(2013年2月15日-3月5日),包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子也出现了异常下降,异常期间潮汐因子平均值从1.024下降至0.995。

4.2 物理机制探讨

从物理机制角度来看,潮汐应力作为一种周期性的外力作用,可能会对地壳介质的应力状态产生影响。在地震孕育过程中,地壳介质中的应力处于不断积累和调整的状态,潮汐应力的叠加可能会改变介质的应力平衡,促使微破裂的发生和发展,从而加速地震的孕育过程。当地壳介质中的应力接近破裂强度时,潮汐应力的

微小变化可能会成为地震发生的触发因素。具体而言,潮汐应力会引起地壳介质的周期性形变,在形变过程中,介质内部的微裂隙会不断扩展和闭合,当裂隙扩展到一定程度时,就会导致介质的破裂,从而引发地震^[4]。同时,潮汐应力还可能影响地下流体的运动,改变孔隙压力,进一步影响地壳介质的力学性质和应力状态。

4.3 预测意义评估

虽然目前的研究表明M2波潮汐因子变化与区域地震活动性存在一定的关联,但要将其应用于实际地震预测仍面临一些挑战。一方面,潮汐因子异常变化与地震之间的对应关系并非绝对,存在一些假异常和漏报情况。在18次检测到的异常中,有6次异常发生后周边地区未发生明显地震,这可能是由于地震孕育过程的复杂性,受到多种因素的综合影响,潮汐因子异常并不一定能直接导致地震发生。另一方面,地震孕育过程非常复杂,受到地质构造、地壳介质性质、区域应力场等多种因素的影响,潮汐因子只是其中的一个可能因素。因此,在利用M2波潮汐因子进行地震预测时,需要综合考虑其他地震前兆信息,如地形变、地下流体、电磁等观测资料,建立多参数综合预测模型,以提高预测的准确性和可靠性。

5 结论与展望

5.1 结论

本研究通过对包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子变化特征进行深入分析,并结合区域地震活动性展开关联研究,得出以下主要结论:包头台伸缩仪记录的M2波潮汐因子具有长期变化、季节性变化和异常变化等特征。长期变化呈现缓慢上升趋势,季节性变化表现为夏季较低、冬季较高。部分M2波潮汐因子异常变化与周边地区发生的地震存在较好的对应关系,在检测到的18次异常中,有12次异常发生后的1-6个月内周边地区发生了 $M_s \geq 4.0$ 级地震,对应率达到66.7%,这种异常变化可能反映了地球内部介质在地震孕育过程中物理状态的变化。潮汐应力作为一种周期性的外力作用,可能会对地壳介质的应力状态产生影响,加速地震的孕育过程。但潮汐因子

异常变化与地震之间的对应关系并非绝对,需要综合考虑其他地震前兆信息进行地震预测。

5.2 展望

未来的研究可以从以下几个方面展开:进一步延长观测时间序列,积累更多的数据,以提高对M2波潮汐因子变化特征和地震关联关系的认识。通过更长时间的观测,可以更好地分析潮汐因子的长期变化趋势和周期性特征,以及与地震活动的长期关联性。开展多站点联合观测和分析,研究不同地区潮汐因子变化的差异及其与区域地质构造和地震活动性的关系。不同地区的地质构造和应力状态不同,潮汐因子的变化特征也可能存在差异,通过多站点联合观测可以更全面地了解潮汐因子与地震的关系。结合数值模拟方法,深入研究潮汐应力作用下地壳介质的力学响应和地震孕育过程,为揭示潮汐因子变化与地震的物理机制提供更深入的理论支持。通过建立数值模型,模拟潮汐应力对地壳介质的作用,分析介质的应力、应变变化以及微破裂的发展过程。建立基于M2波潮汐因子和其他地震前兆信息的多参数综合地震预测模型,并通过实际地震案例进行验证和优化,提高地震预测的准确性和可靠性。将潮汐因子与地形变、地下流体、电磁等前兆信息进行融合,利用机器学习等方法建立综合预测模型,为地震预测提供更科学有效的手段。

参考文献

- [1]索朗多吉,邹振轩,韦进,等.狮泉河地震台PET型连续重力仪M2波潮汐因子异常分析[J].高原地震,2023(S1):13-18.
- [2]王笑蕾,南阳,何秀凤,等.考虑潮波特性的GNSS-IR潮位反演方法[J].测绘学报,2024,53(3):482-492.
- [3]吴翼麟,定点形变前兆预报地震的观测技术与分析方法[J].地震,1990,000(005):33-46.
- [4]杨军,地倾斜仪的频率响应与潮汐因子[J].地震学报,1998,020(004):394-402.