

复杂构造环境下水库地震活动性研究

徐宗谓

湖北省人才发展集团有限公司 湖北 武汉 430000

摘要: 复杂构造环境具多组交错断层、褶皱发育、地壳运动活跃等特征,影响水库地震活动性,其活动性有频次变化、强度分布不均、时空分布复杂等表现。研究方法包括地质调查、监测技术应用、数值模拟等。目前研究面临成因机制难把握、监测受限、预测精度低等挑战,需多学科交叉、提升监测技术、完善模型应对。

关键词: 复杂构造环境; 水库地震; 活动性研究

引言

在水利工程建设中,复杂构造环境下的水库地震活动性研究至关重要。复杂构造环境以其多组交错断层、褶皱发育及活跃地壳运动等特征,深刻影响着水库地震的发生、发展及活动特征,使其在频次、强度和时空分布上呈现出复杂性与多样性。然而,当前研究在地震成因机制把握、监测数据质量提升以及地震预测精度提高等方面面临诸多挑战。因此,深入探究该环境下水库地震活动性,并寻求有效应对思路,对保障水库安全运行意义重大。

1 复杂构造环境的特征及其对水库地震的影响

复杂构造环境作为地质领域中极具特殊性与挑战性的存在,通常展现出多组相互交错的断层、显著发育的褶皱以及活跃的地壳运动等一系列典型特征,这些特征相互交织、彼此影响,共同塑造了复杂且动态的地质格局,并对水库地震的发生、发展以及活动特征产生着深远影响。(1)多组相互交错的断层是复杂构造环境的显著标志之一。这些断层犹如大地的伤痕,其规模大小不一、走向错综复杂,有的断层可能延伸数公里甚至数十公里,而有的则相对较短且分散。它们不仅切割了地壳的岩石层,还破坏了地壳的完整性,形成了众多不规则的块体。在长期的地质演化过程中,这些断层经历了多次活动,积累了大量的应变能。当水库蓄水后,巨大的水体荷载施加于库区地壳,使得原本就处于不稳定状态的断层所承受的应力发生重新分布。水体的重量增加了断层一侧的垂直荷载,改变了断层面上的正应力和剪应力大小,可能导致原本处于临界稳定状态的断层突然失稳,发生错动,从而引发地震。而且,交错断层的存在使得应力传递和释放的路径变得极为复杂,一个断层的活动可能会引发相邻断层的连锁反应,进一步增加了地震发生的可能性和复杂性。(2)褶皱发育也是复杂构造环境的重要特征。褶皱是地壳岩石在水平挤压作用下

产生的弯曲变形,其形态多样,包括背斜、向斜等。褶皱的形成改变了岩石层的原始产状和应力分布,在褶皱的核部和翼部,岩石所承受的应力状态存在明显差异。水库蓄水后,水体荷载的作用会进一步加剧这种应力差异,使得褶皱部位的岩石更容易发生破裂和错动。特别是在褶皱转折端,由于应力集中程度较高,岩石的破碎程度较大,更容易成为地震的震源区。此外,褶皱的存在还会影响地震波的传播路径,使得地震波在传播过程中发生反射、折射和散射等现象,从而改变地震波的能量分布和衰减规律,导致水库地震的活动性表现出更强的复杂性和多样性。(3)地壳运动活跃是复杂构造环境的内在动力。在复杂构造区域,地壳板块之间的相互作用、地幔物质的上涌等因素都会导致地壳处于不断的运动和变形之中。这种活跃的地壳运动使得地壳内部的应力不断积累和调整,为水库地震的发生提供了持续的动力来源。当水库蓄水引起的应力变化与地壳运动产生的应力相互作用时,可能会触发原本处于稳定状态的断层或岩石体发生破裂,进而引发地震。而且,地壳运动的活跃程度还会影响地震的频次和强度,在地壳运动剧烈的时期,水库地震的发生频率可能会增加,强度也可能更大^[1]。

2 水库地震活动性的主要表现形式

2.1 地震频次变化

在复杂构造环境这一特殊地质背景下,水库地震的频次变化并非毫无规律可循,而是往往呈现出较为明显的阶段性特征。当水库开始蓄水,进入蓄水初期阶段,巨大的水体荷载会在短时间内突然施加于库区地壳。这种急剧的应力变化容易打破原本相对平衡的地壳应力状态,从而诱发大量微小地震。这些微小地震就像是地壳应力调整的“信号弹”,反映出地壳在适应新应力环境过程中的动态变化。随着时间的推移,地壳逐渐适应了水体荷载带来的应力改变,地震频次通常会逐渐减少,

并最终趋于一种相对稳定的状态。然而,在某些复杂构造条件下,情况并非如此简单。由于复杂构造环境中断层众多且相互交错,应力积累和释放的过程极为复杂,可能会出现地震频次突然增加的现象。通过运用先进的地震监测设备,对地震频次变化进行持续、精准的监测和深入分析,我们能够初步判断水库地震活动的活跃程度,为防震减灾提供重要依据。

2.2 地震强度分布

在复杂构造环境这一特定地质条件下,水库地震的强度分布呈现出显著的不均匀特征。由于复杂构造环境中断层分布错综复杂,那些断层发育密集且活动性强的区域,地壳内部的应力集中程度更高,能量积累更为迅速且规模较大。当水库蓄水这一外部因素触发时,这些区域就更容易发生强度相对较大的地震,释放出巨大的能量。相反,在构造相对稳定的区域,地壳应力状态较为平衡,能量积累和释放的过程相对平缓,因此地震强度通常较小。此外,地震强度还与断层的规模、错动幅度等关键因素密切相关。大型断层具有更大的破裂面和更强的能量释放能力,当其受到水库蓄水影响而发生错动时,可能会引发具有一定强度的地震,这种地震产生的强烈震动和破坏力,会对水库大坝及周边设施的安全构成严重威胁,必须引起高度重视。

2.3 地震时空分布特征

在复杂构造环境这一独特地质背景下,水库地震的时空分布展现出极为显著的复杂性。(1)从时间维度来看,地震活动并非均匀持续,而是可能呈现出明显的阶段性。在蓄水初期、中期和后期等不同阶段,由于水体荷载对地壳应力的影响程度不同,地震活动的强度和频次存在较大差异。比如蓄水初期,应力急剧变化可能引发较多地震;而随着时间推移,应力逐渐平衡,地震活动可能减弱。(2)在空间方面,地震并非随机分布,而是多集中在断层带、岩体破碎带等构造薄弱区域。这些区域地壳稳定性差,更容易在应力作用下发生破裂和错动。同时,复杂的地质结构会严格制约地震的分布范围。深入研究水库地震的时空分布特征,通过分析历史数据、监测实时动态,能够精准确定水库地震的危险区域和活跃时段,为防震减灾提供科学依据^[2]。

3 复杂构造环境下水库地震活动性的研究方法

3.1 地质构造调查与分析

地质构造调查与分析是精准评估水库地震活动性的关键基础性工作。在实际操作中,需综合运用多种先进且科学有效的手段,对水库库区及其周边区域展开全面且深入的地质构造调查。地质测绘作为首要步骤,能够

直观呈现地表的地质特征,通过详细描绘地层产状、褶皱形态等信息,为后续工作搭建宏观框架。钻探则可深入地下,获取宝贵的岩芯样本,直接了解地下不同深度岩层的结构、性质以及断层破碎带的发育情况,明确断层在垂直方向上的延伸规模。物探利用物理方法,依据地下地质体的物理性质差异,如电性、磁性等,精准探测隐伏的地质构造,进一步揭示断层的空间展布。在查明断层的分布、规模、活动性以及岩体完整性等关键信息后,还需紧密结合区域地质演化历史,深入剖析复杂构造环境的形成过程。探究不同地质时期的地壳运动、岩浆活动等因素如何相互作用,塑造现今的地质格局,并确定现今地壳应力状态的成因和分布规律。这些详实准确的基础地质资料,为科学、合理地评估水库地震活动性提供了不可或缺的依据,有助于提前预判地震风险,保障水库的安全稳定运行。

3.2 地震监测技术应用

地震监测技术应用是深入探究水库地震活动性、保障水库安全运行的核心环节。为实现对水库区域地震活动的全方位、实时精准监测,需构建一套完善且布局合理的地震监测网络。该网络应科学分布地震仪、测震台网等先进设备,确保覆盖水库库区及周边可能受影响的区域。地震仪如同敏锐的“感知器官”,能够捕捉到微弱的地震波信号;测震台网则通过多个台站的协同工作,精准定位地震发生的位置。通过对监测数据进行专业处理和深入分析,可精确获取地震的发生时间、位置、震级等关键参数,清晰掌握地震活动性的动态变化趋势,为判断地震活动的强弱、频次等提供量化依据。在复杂构造环境这一特殊背景下,常规监测手段有时难以满足需求。此时,可采用高精度的监测技术,如全球定位系统(GPS),它能以厘米级甚至更高的精度测量地壳各点的三维位移变化;合成孔径雷达干涉测量(InSAR)可监测大面积地壳形变和断层运动情况,获取高分辨率的地壳形变信息。这些数据为深入研究水库地震的成因机制提供了坚实有力的数据支撑。

3.3 数值模拟与理论分析

在水库地震活动性研究体系中,数值模拟与理论分析是深入探究地震机制、实现精准预测评估的核心手段。借助先进的数值模拟技术,构建契合复杂构造环境的地质力学模型至关重要。该模型需精准刻画多组交错断层、褶皱发育等地质特征,模拟水库蓄水时水体荷载作用下地壳应力的动态变化过程,清晰呈现断层在不同阶段的受力状态,进而预测可能发生地震的位置与强度范围。同时,紧密结合岩石力学、地震学等多学科理

论,深入分析水库荷载对地壳岩石的力学作用,以及孔隙水压力变化如何影响断层内部的应力平衡和摩擦特性,从本质上揭示其对断层稳定性的作用机理。通过这种数值模拟与理论分析的深度融合,能够全面揭示水库地震发生的力学机制,为科学评估和准确预测水库地震活动性提供坚实可靠的理论依据。

4 复杂构造环境下水库地震活动性研究面临的挑战与应对思路

4.1 面临的主要挑战

在复杂构造环境下开展水库地震活动性研究,正面临着多重严峻挑战。(1)从地震成因机制研究层面来看,复杂的地质结构犹如一张错综复杂的网,其中包含多组相互交错的断层、发育程度不一的褶皱以及活跃的地壳运动等。这些地质因素相互交织、彼此影响,使得地震的发生并非由单一因素主导,而是多种因素共同作用的结果。这种复杂的相互作用关系极大地增加了准确把握地震成因机制的难度,让研究人员难以精准剖析地震产生的根源和演化过程。(2)在地震监测方面,监测数据的准确性和完整性受到诸多限制。监测技术和布设条件是关键制约因素,在复杂地形环境中,如高山峡谷、深山密林等,监测台网的布设面临巨大困难。不仅建设成本高昂,而且部分区域难以到达,导致监测台网无法实现全面、合理的布局。这就容易造成数据缺失,或者因环境干扰等因素使数据产生较大误差,进而影响对地震活动情况的准确判断。(3)目前水库地震的预测精度仍处于较低水平,难以精准判断地震发生的时间、地点和强度。这给水库的安全运营带来了极大的潜在风险,一旦发生较强地震,可能对水库大坝及周边地区造成严重破坏^[3]。

4.2 应对思路

在应对复杂构造环境下水库地震活动性研究面临的挑战时,需采取系统且具有针对性的应对思路。(1)加强多学科交叉研究是关键。地质学能揭示复杂构造环境的形成与演化,地震学可剖析地震的产生机制与传播规律,水文学则有助于理解水库蓄水与地壳应力变化的关联。整合这些学科的理论和方法,能形成多维度的研究

视角,从不同层面深入解析复杂构造环境下水库地震活动性的内在规律,为全面认识地震活动提供坚实的理论基础。(2)提升地震监测技术水平势在必行。优化监测台网布局,根据复杂地形和地质条件合理设置监测站点,确保监测无死角。采用先进的传感器,提高对地震波的捕捉精度;运用高效的数据传输技术,实现数据的实时、准确传输,从而提升监测数据的质量和时效性,为地震活动的及时预警和分析提供可靠依据。(3)完善数值模拟模型不可或缺。充分考虑更多复杂的地质因素和环境条件,如断层的三维结构、岩体的非均质性等,使模型更贴近实际情况,提高模型的准确性和可靠性。同时,建立水库地震风险评估体系,将研究成果有效应用于工程实践,为水库的抗震设计和安全管理提供科学、精准的指导。

结束语

复杂构造环境下的水库地震活动性研究意义重大且极具挑战。其独特的地质特征深刻影响着地震的发生、发展及表现形式,从频次、强度到时空分布均呈现出复杂态势。当前研究虽运用地质构造调查、地震监测、数值模拟等多种方法,但仍面临成因机制难把握、监测数据受限、预测精度低等困境。未来,加强多学科交叉融合,提升监测技术,完善数值模拟模型,建立科学的风险评估体系,是突破研究瓶颈、提升对水库地震活动性认知水平的关键。这将为保障水库安全运营、降低地震灾害风险提供坚实支撑,推动该领域研究不断迈向新高度。

参考文献

- [1]李潇.地震资料全三维精细构造解释技术研究[J].石化技术,2024,31(03):196-198.
- [2]刘玉国,李欢,郑涵,等.中国活动构造与地震及地质灾害的关系研究进展及展望[J].自然灾害学报,2022,31(01):1-14.
- [3]刘晓东,张杨,李涛,等.华北板块南缘及邻区地震活动性与构造模式演化的关系[J].地震地磁观测与研究,2023,44(02):42-49.