

水库蓄水与地震活动的相关性研究

郭佳威

长江三峡勘测研究院有限公司（武汉） 湖北 武汉 430000

摘要：随着全球水资源开发与利用的不断深入，水库蓄水与地震活动之间的潜在联系日益受到关注。本研究通过综合分析国内外相关案例与数据，深入探讨了水库蓄水对地震活动的影响机制。结果表明，水库蓄水可能通过改变地层应力状态、孔隙水压力等因素诱发地震。研究还提出了针对性的减缓策略，旨在为水库建设和运营提供科学依据，确保水利工程安全，保障人民群众生命财产安全。

关键词：水库蓄水；地震活动；相关性

引言

水资源的合理开发与利用对于促进经济社会发展和保障人民生活具有重要意义。然而，近年来，随着大型水库的相继建设和蓄水量的不断增加，水库蓄水与地震活动之间的潜在相关性逐渐引起科学界的广泛关注。本研究旨在深入探讨水库蓄水与地震活动的内在联系，分析水库蓄水诱发地震的机制与影响因素，并提出有效的减缓策略。这对于保障水利工程安全、维护社会稳定和促进可持续发展具有重要价值。

1 地震与水库蓄水基础理论

1.1 地震基础知识

（1）地震的定义与分类：地震是地球内部运动引起的地表震动的一种自然现象，主要由板块之间相互挤压碰撞导致。天然地震主要分为构造地震、火山地震等。其中，构造地震最为常见，占全球地震数的90%以上，主要由地下深处岩层错动、破裂所造成。（2）地震的成因与发生机制：地震的成因复杂，主要包括板块运动、岩浆活动等因素。在构造力作用下，岩石圈某处岩层突然破裂、错动，释放长期积累的能量，形成地震波，向四周传播，造成地面震动。地震的发生机制与地层综合强度、内摩擦系数、孔隙水/裂隙水压力等因素有关。（3）地震的监测与预测方法：地震监测主要依靠地震仪等设备，记录地震波的传播特性。地震预测则是一个复杂的问题，虽然科学家已经能够通过研究地震活动规律、地质构造背景等方法，提出一定的地震预测模型，但目前仍然难以做到准确预测地震的发生时间、地点和强度。

1.2 水库蓄水原理与过程

（1）水库的功能与分类：水库是拦截江河渠道水流的水利工程建筑物，主要功能包括防洪、供水、灌溉、水力发电等。水库根据地理位置、气候条件、功能等因素进行分类，如山区水库、平原水库、季节性水库等。

（2）水库蓄水的过程与影响：水库蓄水主要通过大坝拦截河流上游来水，使水流在水库库区聚集。蓄水过程受流域降水、冰雪融水、水库库容、蒸发量和下渗量等因素影响。蓄水可以改变河流生态系统的连续性，扩大水生生物栖息地，同时可能对下游水生生物造成冲击，影响土壤肥力和局部小气候。（3）水库蓄水对地质环境的改变：大型水库蓄水后，会对地质环境产生显著影响，如诱发小型地震、滑坡等。此外，水库蓄水还会改变地下水位，影响岩石的物理力学性质，进而影响地震的发生机制。

2 水库蓄水与地震活动的相关性分析

2.1 水库蓄水与地震活动的历史案例

2.1.1 国内外水库蓄水引发地震的典型案例分析

在全球范围内，水库蓄水引发地震的案例屡见不鲜。例如，美国的雷克米德水库在蓄水后，地下震动频发，从1936年至1938年，震动次数从100次激增至1000余次，显示了水库蓄水与地震活动之间的明显关联。在中国，新丰江水库也是一个典型的案例。该水库于1960年蓄水后，频繁发生小震，其中1962年3月19日发生了一次6.1级地震，震中烈度达到8度，大坝右侧出现了82米长的裂缝。这些案例表明，水库蓄水确实可能诱发地震活动。此外，印度科伊纳水库、希腊克里马斯塔水库、赞比亚卡里巴水库等地也相继发生了由水库蓄水引发的地震。这些地震不仅造成了严重的人员伤亡和财产损失，还引发了广泛的社会关注。这些案例进一步证实了水库蓄水与地震活动之间的相关性。

2.1.2 地震活动的时空分布与水库蓄水的关系

地震活动的时空分布与水库蓄水的关系也备受关注。研究表明，地震活动往往集中在水库附近，特别是蓄水区域及其周边地区。随着水库蓄水量的增加和蓄水时间的延长，地震活动的频率和强度也可能随之增加。

此外,地震活动的发生还可能与水库蓄水的季节性变化有关,如在水库蓄水高峰期和泄水期,地震活动可能更为频繁。

2.2 水库蓄水诱发地震的机制探讨

(1) 水库蓄水对地层内部应力的影响。水库蓄水对地层内部应力的影响是诱发地震的重要因素之一。当水库蓄水时,水体对水库底层的压力增加,导致地层内部应力状态发生改变。这种应力的重新分布可能引发岩层错动或破裂,从而诱发地震。此外,水库蓄水还可能引起地壳内部的应力集中和释放过程,进一步增加地震发生的风险。(2) 水库蓄水对孔隙水/裂隙水压力的影响。水库蓄水对孔隙水/裂隙水压力的影响也是诱发地震的重要原因。当水库蓄水时,更多的水被压入地下,填充裂隙并增加孔隙水压力。这种压力的增加可能扩大裂隙甚至产生新的裂隙,造成地壳的不稳定运动。同时,孔隙水/裂隙水压力的增加还可能降低地壳之间的摩擦力,使原本就濒临饱和和应力边缘的地壳更容易发生错动和破裂^[1]。(3) 水库蓄水与地壳不稳定性之间的关系。水库蓄水与地壳不稳定性之间也存在密切的关系。地壳不稳定性是指地壳内部存在的潜在破裂或错动趋势。当水库蓄水时,水体对地壳的压力增加可能加剧这种不稳定性,导致地壳更容易发生破裂和地震活动。此外,水库蓄水还可能引起地壳内部的物理化学变化,如岩体崩解、溶蚀等,进一步加剧地壳的不稳定性。

2.3 水库蓄水诱发地震的影响因素

(1) 地层性质与地质构造条件。地层性质与地质构造条件是影响水库蓄水诱发地震的重要因素之一。不同的地层性质和地质构造条件对水库蓄水诱发地震的敏感性不同。例如,在断裂带或软弱岩层上修建的水库更容易诱发地震活动。这是因为这些区域的地层内部应力状态较为复杂且易于改变,对水库蓄水的响应更为敏感^[2]。(2) 水库规模与蓄水速度。水库规模与蓄水速度也是影响水库蓄水诱发地震的重要因素。一般来说,水库规模越大、蓄水速度越快,对地层内部应力和孔隙水/裂隙水压力的影响就越大,诱发地震的风险也就越高。因此,在水库设计和蓄水过程中需要充分考虑这些因素的影响,采取相应的工程措施来降低地震发生的风险。(3) 水库周边地质环境的稳定性。水库周边地质环境的稳定性对水库蓄水诱发地震也具有重要影响。如果水库周边地质环境存在不稳定因素,如滑坡、泥石流等自然灾害的威胁,那么在水库蓄水过程中这些不稳定因素可能进一步加剧并诱发地震活动。因此,在水库选址和设计过程中需要对周边地质环境进行全面的调查和分析,确保

水库建设在相对稳定的地质条件上。

3 水库诱发地震的特征与影响

3.1 水库诱发地震的特征

(1) 震中位置与震源深度的特点。水库诱发地震的震中位置通常集中在水库库区及其附近区域,尤其是水库蓄水初期或水位大幅变动时。这些地震的震源深度相对较浅,一般在几公里至几十公里范围内,这与天然地震的震源深度相比通常较浅。这是因为水库蓄水对地层内部应力和孔隙水/裂隙水压力的影响主要集中在近地表层,从而更容易引发浅源地震。(2) 地震活动的周期性与滞后性。水库诱发地震的活动往往具有一定的周期性和滞后性。在水库蓄水初期,地震活动可能较为频繁,随着蓄水量的稳定,地震活动会逐渐减少。然而,在某些情况下,水库蓄水对地壳的影响可能具有滞后效应,即在水库蓄水一段时间后,才逐渐显现出地震活动的增加。这种滞后性可能与地壳内部应力的逐渐累积和释放过程有关。(3) 地震烈度与破坏程度的分析。水库诱发地震的烈度和破坏程度通常取决于地震的震级、震源深度以及地震波的传播路径等因素。虽然水库诱发地震的震级一般较低,但由于震源较浅,地震波在地表附近的能量释放更为集中,可能导致地表建筑物的损坏和人员伤亡。此外,地震波的传播路径也会影响地震的破坏程度,如果地震波经过地质脆弱区域,可能会加剧破坏效应^[3]。

3.2 水库诱发地震对水利工程的影响

(1) 对大坝安全性的影响。水库诱发地震可能对大坝的安全性构成威胁。地震波对大坝的冲击可能导致大坝结构的损伤,如裂缝、位移等,从而影响大坝的稳定性和安全性。因此,在水库建设和运营过程中,需要加强对大坝的监测和维护,确保大坝在地震作用下的安全运行。(2) 对水工建筑物的破坏与防护。水库诱发地震还可能对水工建筑物造成破坏,如溢洪道、引水管道、发电厂房等。这些建筑物的破坏不仅会影响水利工程的正常运行,还可能对周边环境造成安全隐患。因此,在水库设计和建设过程中,需要充分考虑地震对水工建筑物的影响,采取相应的抗震措施和防护措施,确保水工建筑物的安全稳定。(3) 对库区环境与居民安全的影响。水库诱发地震还可能对库区环境和居民安全产生影响。地震可能引发山体滑坡、泥石流等自然灾害,对库区周边生态环境造成破坏。同时,地震还可能对库区居民的生命财产安全构成威胁。因此,在水库建设和运营过程中,需要加强对库区环境和居民安全的监测和保护,确保库区生态环境的可持续发展和居民的安全生活。

4 减缓水库诱发地震的策略与措施

4.1 工程措施

(1) 优化水库设计与选址。在水库的设计与选址阶段,应充分考虑地质构造、地层性质、地震活动历史等因素,避免在断裂带、软弱岩层等地质脆弱区域建设水库。同时,应通过科学计算和模拟分析,确定合理的水库规模和蓄水位,以减少对地层内部应力和孔隙水/裂隙水压力的影响。此外,还可以考虑采用先进的工程技术手段,如设置减震装置、加固大坝结构等,提高水库的抗震能力。(2) 加强水库周边地质勘查与监测。在水库建设和运营过程中,应加强对周边地质环境的勘查和监测工作。通过地质调查、勘探和测试等手段,掌握水库周边地层结构、地质构造和地震活动特点,为水库的安全运行提供科学依据。同时,应建立完善的地质监测网络,实时监测地层内部应力和孔隙水/裂隙水压力的变化情况,及时发现并预警潜在的地震风险^[4]。(3) 提高水库蓄水管理的科学性。在水库蓄水管理方面,应采取科学的调度策略和控制措施,避免蓄水速度过快、水位波动过大等情况的发生。通过合理调整蓄水计划和水库运行方式,减少对地层内部应力和孔隙水/裂隙水压力的冲击,降低地震发生的风险。同时,应加强对水库蓄水过程的监测和分析,及时发现问题并采取相应的调整措施。

4.2 非工程措施

(1) 建立地震预警与应急响应机制。为了有效应对水库诱发地震等突发情况,应建立完善的地震预警与应急响应机制。通过安装地震监测设备、建立预警系统等方式,实现对地震活动的实时监测和预警。一旦发生地震,应立即启动应急响应机制,组织专业救援队伍进行抢险救援,确保人员安全和减少财产损失。同时,应加强对地震预警信息的发布和传达,提高公众对地震灾害的认识和应对能力。(2) 加强库区居民的地震安全教育与培训。为了提高库区居民的地震安全意识和自救

互救能力,应加强地震安全教育与培训工作。通过举办讲座、演练、发放宣传资料等方式,向居民普及地震知识、逃生技巧和救援方法等内容。同时,应鼓励居民积极参与地震应急演练活动,提高应对地震灾害的实战能力和心理素质。(3) 制定地震应急预案与救援措施。为了有效应对水库诱发地震等地震灾害,应制定完善的地震应急预案与救援措施。预案应包括地震预警、应急响应、抢险救援、人员疏散、物资保障等方面的内容,明确各级政府和有关部门的职责和任务。同时,应建立专业救援队伍和志愿者队伍,加强培训和演练工作,提高救援能力和水平。在地震发生后,应立即启动预案并采取相应的救援措施,确保人员安全和减少财产损失。

结束语

综上所述,水库蓄水与地震活动之间的相关性是一个复杂而重要的科学问题。通过本研究,我们不仅深入了解了水库蓄水诱发地震的机制与影响因素,还提出了一系列有效的减缓策略与措施。然而,地震活动的复杂性和不确定性仍然对我们的研究提出了挑战。未来,我们将继续深化对这一领域的探索,加强跨学科合作,不断提高预测和防范水库诱发地震的能力,为水利工程的安全建设和可持续发展提供更加坚实的科学支撑。

参考文献

- [1]李家荣.贵州南盘江天生桥水电站水库地震预测[J].贵州地质,2020,(04):36-37.
- [2]李永莉,赵小艳,付红.小湾水库蓄水前后的水库地震波速比变化初探[J].地震研究,2021,(14):146-147.
- [3]李志祥,毛玉平,谢建斌,等.糯扎渡水电站水库诱发地震预测[J].地震研究,2020,(03):33-34.
- [4]毛玉平,艾永平,邵得盛,等.水库地震安全问题分析[J].地震研究,2021,(03):25-26.