

泥石流多发区的多沙河流水库泥沙淤积特征与淤积库容分析

冯伯杨

上海勘测设计研究院有限公司四川分公司 四川 成都 610040

摘要: 泥沙淤积是泥石流多发区水库面临的关键问题之一,直接影响水库的寿命、库容保持及水资源的合理利用。随着泥石流频发,泥沙大量进入水库,导致库容逐年减少,甚至可能威胁坝体稳定性和水质安全。本文深入探讨了泥沙淤积的主要特征,包括淤积形态、物质组成、淤积速率、空间分布及影响因素,重点分析了淤积对水库库容、坝体稳定性和水质的影响,并提出了有效的泥沙防治措施和库容管理策略,以保障水库的长期安全运行。

关键词: 泥石流; 水库泥沙淤积; 淤积特征; 防治措施

引言: 泥沙淤积是泥石流多发区水库面临的严峻挑战,尤其是在山区和丘陵地区,泥沙以高速进入水库,影响水库的有效库容,缩短水库寿命,甚至威胁坝体安全与水质稳定。泥沙淤积的特征主要体现在以下几个方面: (1) 淤积形态,包括三角洲淤积、带状淤积和锥体淤积等; (2) 淤积物质,涉及粒径分布和矿物组成; (3) 淤积速率,即泥沙进入水库的速度; (4) 淤积空间分布,即泥沙在水库内的沉积位置; (5) 影响因素,包括来沙量、水流条件、水库调度及植被情况等。

1 泥沙淤积现状分析

1.1 泥石流多发区地形地质与气候特征

随着人类活动的加剧及全球气候变暖,水土流失及暴雨、泥石流等气象与地质灾害频发,多沙河流水库泥沙淤积问题日益显著,直接影响水库的运行效率,对水库的长远管理提出了严峻挑战。泥石流是山区特有的一种突发性地质灾害现象,是地质地貌、水文、气象和植被等自然因素和人为因素综合作用的结果^[1]。山区尤其是西南地区水库所处的区域地形复杂,通常为高山或丘陵地带,这种地形在大暴雨和强烈降水的影响下,更易引发泥石流。

泥石流多发区的地质特征通常较为松散,岩石风化严重,土壤含水量高,这些因素都大大提高了泥石流的发生频率^[2]。尤其是在一些岩层较为松散的地区,如砂岩、页岩等,泥沙更容易被雨水冲刷下山。气候的变化对泥石流的发生也起到了催化作用。典型的泥石流多发区常常位于季风气候区,这里降水量大,夏季雷雨频繁,暴雨骤降导致水流迅猛,容易引发泥石流。此外,这些地区往往缺乏有效的植被覆盖,山体易于滑坡和塌陷,进一步增加了泥石流的发生概率。

1.2 泥石流诱发的泥沙来源与成因分析

泥石流的发生通常伴随着大量的泥沙产生,而这些泥沙的来源是多方面的,泥沙的来源与水库所在区域的地质构造紧密相关。泥石流多发区的土壤和岩石的风化程度较高,导致大量的松散物质积存于坡面和山谷中。这些松散的物质在暴雨冲刷下容易被水流带走,从而形成泥沙进入水库。特别是在一些陡坡地区,水流下切作用使得泥沙积累在河道内,随着水流的加速,这些泥沙被进一步携带到水库中。

降水量大、降水强度强的暴雨,尤其是在夏季雨季期间,更容易引发泥石流。暴雨时,大量的水流汇聚在坡面和沟谷中,迅速下冲,造成泥沙的大规模搬运。在这种情况下,积存的松散土石和岩屑被大量带入河流中,进而进入水库。特别是短时间内的强降水,会使得水流超出常规流量,造成泥石流的迅猛下滑,增加泥沙进入水库的几率。泥沙的成分不仅包括土壤、碎石、沙粒,还有一定量的有机物和矿物质,这些成分的混合物在水库内沉积后,形成了淤积层^[3]。

植被的缺乏会导致水土流失的加剧。在一些泥石流多发区,由于植被覆盖率低,降水后的水流无法通过植物根系的吸附作用有效地减少土壤的流失,导致大量的泥沙进入水体。尤其是水库上游流域内森林砍伐、农业活动过度开发等人类活动,破坏了植被覆盖,进一步加剧了泥沙的流失,增加了入库泥沙的来源。

1.3 泥石流引起的泥沙淤积空间分布特征

泥石流引起的泥沙淤积具有明显的空间分布特征,这种分布特征与泥石流的流动路径、地形坡度、河道形态以及流域面积等因素密切相关。在泥石流多发区,泥沙的沉积往往集中在水库的上游、河道缓坡区和水流汇

聚处。由于泥石流的速度较快，带来的泥沙颗粒往往较大，因此，在水流减速区域，泥沙沉积现象尤为明显。水库的库尾往往是泥沙积聚的主要区域。随着水流进入水库，流速逐渐减缓导致泥沙沉积，这种沉积会逐渐减少水流的有效流量，影响水库的蓄水能力。

在不同的河道形态中泥沙的沉积分布也有所差异，比如在平原及宽浅的河道中水流速度较慢，泥沙更容易沉积，主要呈三角洲淤积形态，淤积在库尾；而在山区及丘陵地区等狭长型河道中，水流速度较快，泥沙沉积速度较慢，主要淤积到坝前。泥石流引发的泥沙沉积也受到地形的影响。在陡峭的山区，泥沙的沉积往往集中在河床的低洼处；而在较平缓的地区，泥沙则呈现出较为均匀的分佈状态，水库内部的泥沙分布呈现出明显的纵向和横向差异^[5]。在纵向上，泥沙的沉积主要集中在水库的上游和中游，而下游地区的泥沙沉积相对较少。这是因为水流在上游和中游区域的流速较慢，泥沙有足够的时间沉积下来。而在横向上，由于水库的岸线形态和水流分布不同，泥沙沉积的程度也有所不同。水库的弯道和水流汇聚处通常是泥沙沉积的重点区域，这些区域的泥沙沉积较为集中，形成较厚的淤积层。

2 泥沙淤积对水库运行的影响

2.1 泥石流泥沙对水库库容的影响

水库库容是决定水库蓄水和供水能力的重要指标，泥沙的不断积累直接导致水库的有效库容逐年减少，在泥石流多发地区，由于强降雨和地质条件的综合作用，泥沙以较高的速度进入水库，水库中的泥沙沉积会逐渐填满死库容并侵占兴利库容，使得水库的蓄水能力逐年下降，最终无法满足下游供水、灌溉等需求。泥沙淤积的速度和规模受多种因素影响，包括降水量、泥石流发生的频率、流域的土壤侵蚀程度等。

水库库容的减少不仅影响水库的日常供水，还可能影响洪水调节能力。汛期水库需要腾空防洪库容以调节上游的洪水，若防洪库容被泥沙淤积及泥石流堆积体占据，会导致水库的泄洪能力降低，影响水库防洪能力。此外，库容的减少还可能使得水库的水质管理变得更加困难。随着库容的减少，水体流动性下降，水质的自净能力变弱，尤其是在水库的上游和浅水区域，容易出现水华和其他水质问题。

2.2 泥石流泥沙对坝体稳定性的影响

坝体的稳定性是水库安全运行的基础。泥沙的不断淤积会对坝体的稳定性产生直接威胁。泥沙在水库中的积累不仅会增加坝体周围水流的冲击力，还可能改变坝体周围的水文地质条件，进而影响坝体的结构稳定性。

泥沙的沉积增加了水库内水的重量，造成坝体下游水位升高，长期处于这种压力下，坝体的稳定性可能出现问題，尤其是一些设计和建造过程中未能充分考虑正常输沙模式以外的泥石流泥沙淤积的水库坝体，更容易出现风险，泥沙的冲刷和侵蚀作用对坝体基础的影响也不容忽视。水流带来的泥沙颗粒会对坝体表面产生磨损作用，尤其是在水库的进水口、坝体周围等区域，长时间的磨损可能导致坝体结构的弱化，甚至可能引发坝体渗水或滑坡等事故。泥沙的堆积还可能对坝体的排水系统构成威胁。

2.3 泥石流泥沙对水质的影响

水库水质的优劣关系到饮用水安全、生态环境保护及水库管理的整体效果。泥石流多发区水库的泥沙淤积问题不仅影响水库的库容及结构安全，还会对水库水质造成严重影响。多沙河流汛期泥沙的沉积会导致水质浑浊，严重时甚至可能使得水库水体无法使用。泥石流堆积物常夹带有重金属、污染物和有机物等有害物质，这些物质随着泥沙的沉积进入水体，会导致水质变差，对水生生态造成威胁^[4]。

泥沙的淤积还可能加剧水体的富营养化过程，泥石流堆积物中往往含有大量的磷、氮等营养元素，这些物质进入水体后，极易促使水库发生富营养化，造成水质的恶化。在某些情况下，水库水中的有机物质可能会被水体中的微生物分解，产生大量的有害气体，进一步污染水源。此外，泥沙的堆积还可能导致水库水体的分层现象，使得水库的水温和溶解氧含量发生变化，进一步影响水生生物的生长繁殖，泥沙淤积对水库的运行产生了复杂且多维的影响，从库容的减少、坝体的稳定性问题到水质的恶化，泥沙的积累使得水库的正常运行和管理面临严峻挑战。

3 淤积库容分析及控制管理措施

3.1 淤积库容分析

泥沙淤积是泥石流多发地区水库运行的重大隐患，直接影响库容保持和水库寿命。为科学管理水库库容，首先需要对泥沙的淤积量进行分析和预测，淤积库容分析通常包括以下几种方法：

水流量与泥沙来量关系分析法：通过分析河流的水流量和泥沙的来量关系，结合泥石流发生的频率、强度及其泥沙含量，估算水库每年或某一特定周期内泥沙的积累量。

水库沉积物监测与模型模拟：通过对水库沉积物的长期监测，采集水库内不同层次的泥沙数据，结合沉积物的物理特性（如粒径分布和矿物组成）以及水库水流

的速度场,进行三维模型模拟分析。

泥沙沉积速率算法:根据水库的历史淤积数据,采用沉积速率公式对泥沙淤积进行定量计算。通常,根据泥沙颗粒在水中的沉降速度、流速、和水深等因素来推算不同时间尺度内水库的泥沙积累量,进而计算出每年的库容损失。

地质勘探法:在一些复杂的泥石流多发区,可以通过钻探和地质勘探工作,对水库底部和周围的泥沙沉积层进行详细调查,获取准确的泥沙分布和堆积数据。根据这些数据,结合地质模型,评估泥沙淤积对库容的长期影响^[5]。

3.2 泥石流灾害防治与泥沙来源控制

泥沙淤积的源头往往与泥石流密切相关,控制泥石流的发生和减缓泥沙源头的侵蚀,是解决泥沙淤积问题的关键。泥石流的防治涉及到多个方面,包括山体滑坡、岩土松动、植被破坏等因素,加强对流域的植被恢复和土壤保持工作,植被能够有效地固土防风,减少雨水的冲刷,抑制泥石流的发生,应该采取多种方式进行植被恢复,如人工种植和自然恢复相结合,优先选择适应当地气候的植被种类。

针对泥沙源头的控制,可以采取工程治理与生态治理相结合的方式,工程治理包括对危险区域的加固,如山体挡土墙和排水系统的建设,防止泥石流的发生,通过加固山体,能够有效阻止泥土和岩石的松动,降低泥沙的来源。对于极易发生泥石流的区域,应根据地质勘探结果实施分级管理,加强对高风险区域的监控和预警。同时,通过改善流域的土地利用结构,减少过度开垦和破坏性开发,减轻人为活动对生态环境的负面影响。

3.3 泥石流多发区的多沙河流库容管理与监测体系建设

除了加强泥沙清除工作外,建立有效的库容管理和监测体系也是应对泥沙淤积的一个重要方面。在泥石流多发区,水库的库容变化直接关系到水库的运行安全,实时监测水库库容的变化,及时评估淤积情况,是确保水库正常运行的前提,必须建立完善的库容管理制度,这包括对库容变化进行定期检查和评估,尤其是在泥石

流频发季节,需要加强库容变化的监测。定期的库容测量可以帮助管理者掌握水库的蓄水状况,并预测泥沙淤积的趋势。

随着科技的进步,现代化的遥感技术、地理信息系统(GIS)以及无人机等技术已经在水库监测中得到广泛应用。这些技术可以实时获取水库的水位、库容和淤积情况,提供准确的监测数据,帮助管理者科学判断库容变化的趋势。通过数据的积累和分析,管理者可以在泥沙淤积严重前采取措施,避免水库容量的过度压缩,另外,监测系统还可以用于泥石流灾害的预警和应急响应,通过对流域内降水量、土壤湿度、坡度等因素的监控,可以及时识别泥石流的发生条件,从而为水库的应急调度和泥沙清理提供科学依据。

结论:泥沙淤积对泥石流多发区的水库运行造成了极大影响,主要表现为库容的逐年减少、坝体的稳定性下降以及水质的恶化。由于泥石流带来的泥沙量庞大,且淤积过程具有一定的不可逆性,采取有效的防治措施显得尤为重要,控制泥石流的源头是解决泥沙淤积问题的根本措施,包括植被恢复、土壤保持和工程治理等手段的结合,针对已发生的泥沙淤积问题,应加强泥沙清除技术的应用,定期开展泥沙清理和水库维护,建立健全的库容监测体系,确保水库的运行安全。

参考文献

- [1]王周萼,王英奎.刘家峡水库大寺沟泥石流基本特征与防治对策[J].水利水电快报,2021,42(3):18-22.
- [2]中国科学院水利部、成都山地灾害与环境研究所.中国泥石流[M].北京:商务印书馆,2000:1-5.
- [3]周文婷,邵瑞华,张雅洲,等.台风强降雨及雨后泥石流对广东高州水库生态环境的影响[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(3):60-69.
- [4]刘鹏宇,田立平,刘成程,等.密云水库上游集水区土地利用类型对泥石流敏感性分析[J].林业资源管理,2014(1):140-145,163.
- [5]张成潇,米博宇,吕超楠,等.高洪水期运行水位对三峡水库泥沙淤积的影响[J].长江科学院院报,2024,41(6):10-17,35.