

水库泥沙淤积机理及清淤策略分析

开鑫

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 水库泥沙淤积是一个复杂且重要的自然过程,对水库的正常运行和生态环境产生深远影响。本文分析了水库泥沙淤积的机理,包括泥沙来源、特性及淤积形态,并探讨了其带来的危害。在此基础上,提出了多种清淤策略,包括入水库前的泥沙拦截、滞洪排沙、异重流排沙与泄空排沙以及机械清淤等,旨在减少水库泥沙淤积,保障水库长期稳定运行。这些策略的实施需综合考虑水库条件、流域特性及生态环境影响,确保科学性与合理性。

关键词: 水库;泥沙淤积机理;危害;清淤策略

引言

水库作为重要的水利设施,在防洪、灌溉、供水及发电等方面发挥着关键作用。然而,泥沙淤积问题一直是影响水库正常运行和效益发挥的重要因素。本文旨在深入分析水库泥沙淤积的机理,探讨有效的清淤策略,以为水库泥沙管理提供科学依据和技术支持,保障水库的长期稳定运行和生态环境的可持续发展。

1 水库泥沙淤积机理分析

1.1 泥沙来源与特性

水库泥沙淤积是一个错综复杂且至关重要的自然过程,其机理涵盖了泥沙的来源、特性及其在水库环境中的动态交互行为。泥沙主要由河流在广阔流域内对地表进行侵蚀以及上游河槽冲刷产生,这些松散固体颗粒,因其组成的多样性和特性的差异性,对泥沙在水体中的运输、沉降及沉积过程产生了深远影响。泥沙的来源广泛,上游流域的地表侵蚀是主导因素,其中气候因素如降雨量直接影响侵蚀强度,多雨气候加速土壤侵蚀,促使泥沙随雨水冲刷汇入河流,最终沉积于水库。土壤质地、植被覆盖状况及人类活动亦对泥沙产生和输移有显著影响:疏松土壤易于被水流剥离,植被覆盖不良加剧侵蚀,而过度砍伐、农业耕作等人类活动则进一步改变地表状况,增加泥沙来源。河流自身动态变化,如河床冲刷、河岸崩塌,亦是泥沙的重要来源。泥沙颗粒的粒径、密度和形状决定了其在水中的行为模式,大颗粒沉降迅速,细颗粒则可能长时间悬浮甚至随水流迁移。泥沙群体的干容重、孔隙率及群体沉速等特性,不仅反映了颗粒间的紧密程度和空隙分布,还共同决定了泥沙群体的沉积行为和压实程度,进而影响沉积物的堆积形态、稳定性以及水库库容的变化和淤积严重程度。

1.2 泥沙淤积形态

泥沙在水库中的淤积形态是水库淤积机理的重要外

在表现,其形成与演变受到水流动力条件、泥沙物理特性、水库运行策略及河床地质条件等多重因素的深刻影响,这些形态不仅直接关联着水库功能的正常发挥与库容的动态变化,还为后续的清淤工作提供了重要的参考依据。泥沙淤积在水库中主要呈现出三角洲形态、锥体形态以及带状淤积形态三种典型模式,在水库水位相对稳定的情况下,泥沙易于在靠近水库入口区域逐渐沉积,形成顶点指向上游、底部向下游延伸的三角洲形态,这是水库淤积的基础模式。而当水流条件变得更为复杂,如壅水曲线短、水流紊动强度大或含沙量极高时,泥沙颗粒在强烈的水流作用下倾向于在底部形成集中的堆积体,进而呈现出锥体淤积形态,其顶点直指水库底部,底部则广泛扩散。若水库水位在淤积过程中经历大幅度波动,且水流挟沙量相对较小,则会形成一系列微型三角洲,这些三角洲随着时间的推移逐渐叠加并连接,最终形成了平行于水库岸边延伸的带状淤积形态。在多沙河流水库中,由于水流携带的泥沙量大,淤积过程通常呈现均匀分布状态,库区横断面上难以观察到明显的滩槽分界;而在少沙河流水库中,由于水库泄洪能力强且常采用泄空方式运行,导致水库底部河床区域形成深槽,从而构成有槽的横断面形态^[1]。

2 水库泥沙淤积的危害

水库泥沙淤积问题构成了一个复杂且严峻的挑战,其深远影响不仅直接削弱了水库的正常运行能力和综合效益,更对周边生态环境和人类社会活动带来了连锁反应。淤积的泥沙显著降低了水库的调节能力,特别是在防洪、灌溉和供水方面。在防洪季节,淤积减少了水库的有效蓄洪空间,导致调节能力减弱,可能加剧洪峰流量和延长洪水持续时间,增加洪涝灾害的风险,同时淤积还导致上游洪水位上升,增加了淹没和浸没损失的风险,并可能破坏上游防洪设施,使防洪体系更加脆弱。

在灌溉和供水方面,调节能力的下降使得水库难以满足灌溉需求和城市供水的稳定供给,尤其在干旱季节,这种影响尤为显著,可能导致农业生产受损和居民生活用水紧张。泥沙淤积还影响了航运和发电。航道航深的减小影响了航运通行能力,增加了航运事故的风险。淤积的泥沙堵塞水电站进水口,加剧水轮机组磨损,降低发电效率和使用寿命,影响电力供应稳定性,增加运行成本和维修费用,对电力行业的可持续发展构成挑战。更为严重的是,泥沙淤积耗费大量清淤资源,不仅增加运行成本,还可能对周边生态环境造成破坏,导致水土流失和生态退化。

3 水库清淤的策略

3.1 入水库前的泥沙拦截

针对水库泥沙淤积问题,探讨有效的清淤策略显得尤为关键,在水库上游实施泥沙拦截措施被视为一种治本之策,旨在从源头上减少流入水库的泥沙量,从而减轻水库的淤积负担。泥沙的来源主要归因于上游流域内地表及河道两侧的冲刷与侵蚀作用,所以采取一系列上游治理措施显得尤为必要。植树造林与退耕还林还草是上游治理中的两项重要举措。通过在上游流域广泛开展植树造林活动,可以有效增加植被覆盖率,进而增强土壤的抗蚀能力,减少因雨水冲刷导致的地表侵蚀。植被的根系能够牢牢固定土壤,减少水土流失,从而减少泥沙的产生。同时,退耕还林还草政策的实施,意味着将原本用于耕种的土地转化为林地或草地,这不仅能恢复生态,还能进一步提升土壤保持水分和养分的能力,减少因农业活动引发的水土流失。这两项措施相辅相成,共同作用,可以显著降低上游流域泥沙的产生量,减缓其进入水库的速度,为水库的长远运行奠定良好基础。修建拦沙坝与淤地坝也是上游治理中的关键一环,这些水利设施通常被部署在上游河流的关键位置,它们的主要功能是拦截和沉积流经的泥沙。拦沙坝通过其独特的结构设计,能够有效减缓水流速度,使泥沙得以沉积,从而减少进入下游水库的泥沙量。淤地坝则更多地被用于治理小流域,通过拦蓄地表径流和泥沙,不仅减少了泥沙对下游的输送,还为当地提供了灌溉、养殖等综合效益。这些设施在发挥泥沙拦截作用的同时,也成了水资源合理开发和高效利用的重要组成部分,有助于促进上游地区的生态平衡与经济发展。但是植树造林、退耕还林还草以及修建拦沙坝和淤地坝等措施并非孤立存在,而是需要综合考虑流域的自然条件、社会经济状况以及生态保护需求,进行科学合理的规划与布局,在实施过程中也要注重生态与经济的双重效益,确保措施的

有效性和可持续性,并且还需加强对这些设施的日常维护和监测,及时发现并解决潜在问题,确保其长期稳定运行,为水库的泥沙管理提供坚实保障^[2]。

3.2 滞洪排沙策略

滞洪排沙作为一种创新的水库泥沙管理策略,其核心在于充分利用水库的滞洪能力,旨在高效排出部分泥沙,从而缓解水库的淤积问题,这一方法基于水库在面临超量来水时的滞洪现象,即当流入水库的水量超出水库设计的正常泄水能力时,水库会进入滞洪状态。在滞洪期间,库区内的水流速度相对减缓,这种缓慢的水流条件为泥沙的分离与排出提供了有利条件。滞洪排沙的效率并非固定不变,而是受到多种因素的复杂影响。排沙时机的选择至关重要。合理的排沙时机应基于对流域降雨、来水及泥沙输移规律的深入研究,确保在泥沙含量较高的水流进入水库前或初期即启动排沙程序,以最大化排沙效果。滞洪历时的长短也直接影响排沙效率。过长的滞洪历时可能导致泥沙颗粒在水库中过度沉积,降低排沙效果;而适度的滞洪历时则有利于泥沙颗粒的充分分离与排出。开闸时间的选择、泄量的大小以及洪水漫滩的程度同样对滞洪排沙效率产生显著影响。及时的开闸操作、较大的泄量以及适度的洪水漫滩能够增强水流携带泥沙的能力,提高排沙效率;反之,则可能导致排沙不畅,甚至加剧水库淤积问题。滞洪排沙策略的应用场景主要集中在汛期,这一时期由于降雨量大且集中,河流携带的泥沙量显著增加,给水库运行带来严峻挑战。在汛期采用滞洪排沙方法,能够有效应对泥沙集中的情况,减轻水库淤积压力。通过合理调控水库的滞洪过程,结合科学的排沙时机、滞洪历时、开闸时间及泄量控制,可以将部分泥沙顺利排出水库,从而保持水库的正常运行能力,延长水库的使用寿命,滞洪排沙策略的实施需综合考虑水库的具体条件、流域特性以及生态环境影响。在实施前还应进行详细的可行性研究与环境影响评估,确保策略的科学性与合理性,同时加强与气象、水文等部门的合作,实时监测流域降雨、来水及泥沙情况,为滞洪排沙策略的动态调整提供数据支持,此外还需建立完善的应急预案,以应对可能出现的极端天气与洪水事件,确保水库安全及下游地区的防洪安全。

3.3 异重流排沙与泄空排沙策略

在水库泥沙管理的广阔领域中,除了滞洪排沙这一经典策略外,异重流排沙与泄空排沙作为两种高效且创新的泥沙处理方法,正逐步展现出其独特的优势与广泛的应用潜力。这两种方法不仅有助于进一步减少水库中的泥沙淤积量,还能够不同情境下灵活应对,确保水

库的长期稳定运行。异重流排沙策略是利用密度不同于周围水体的水流——即异重流，来实现泥沙的有效排放。在水库的蓄水期间，当来自上游的洪水携带大量泥沙，以潜入库底并朝向大坝前方运动的形态形成异重流时，这为泥沙的排出提供了绝佳的时机。通过精确掌握洪水流量、含沙量、泥沙粒径、泄量以及库区地形等关键参数，并在适当的时间点打开排沙孔闸门，可以最大化地利用异重流的特性，将泥沙顺利排出库。这一过程不仅依赖于对自然条件的精准把握，还需要科学调控水库的运行状态，以确保异重流排沙的高效与安全。值得注意的是，异重流排沙的效果并非一成不变，它受到多种因素的共同影响，因此在实际操作中，需根据具体情况灵活调整策略，以达到最佳的排沙效果。泄空排沙则是一种更为直接且彻底的泥沙处理方法。该方法通过排空水库并在放水过程中利用水流冲刷作用，将水库中淤积的泥沙一并带走。在放水初期，随着水位的逐渐下降，回水的末端会不断向大坝前方移动，这一过程中，原本沉积于库底的泥沙会被水流冲刷起来。而当放水接近尾声时，如果突然增加排放量，可以进一步增强对泥沙的冲刷效果，使淤积的泥沙得以更彻底地清除。泄空排沙主要依赖于沿程冲刷和溯源冲刷两种机制的共同作用，前者是指水流在流动过程中不断冲刷河床或库底，后者则是水流在接近源头处形成的强烈冲刷作用^[3]。

3.4 机械清淤策略

机械清淤是通过使用专业的清淤机械设备，对水库中沉积的泥沙进行挖掘、转运和清除的过程。这些机械设备在设计上充分考虑了不同淤积环境的挑战，能够应对各种性质的淤积物，包括不同密度、粒径和分布范围的泥沙。挖泥船作为机械清淤的核心设备，其类型多样，包括绞吸式、抓斗式、链斗式等，各自适用于不同的淤积条件和作业需求。铲车和运输车则负责将挖掘出的淤积物转运至指定地点，确保清淤作业的高效连续进行。在制定机械清淤方案时，首要任务是全面评估淤积区域的特性，包括淤积物的性质、分布范围、厚度以及

周边环境等。这些信息对于选择合适的清淤设备、确定清淤工艺和制定作业计划至关重要。对于淤积物密度大、粒径粗的区域，可能需要采用挖掘能力更强的绞吸式挖泥船；而对于分布广泛、厚度不均的淤积区域，则可能需要结合多种设备和技术手段，以实现最佳的清淤效果。机械清淤的应用范围广泛，特别适用于那些淤积情况严重且对水库运行影响较大的关键区域，如主航道、支流入口以及泄洪道等。在主航道中，淤积物的积累会严重影响船只的通航能力和水库的水流条件，通过机械清淤可以迅速恢复航道的畅通，确保航运安全。在支流入口和泄洪道区域，淤积物的存在会阻碍水流的顺畅排泄，增加洪涝灾害风险，机械清淤能够迅速清除这些障碍，保障水库在极端天气条件下的正常运行和防洪能力。机械清淤在作业过程中还需特别注意作业安全和环境保护，清淤作业往往涉及水上作业、重型机械操作等高风险环节，因此必须严格遵守安全操作规程，确保人员和设备的安全，同时清淤过程中产生的废弃物和排放物需妥善处理，避免对水库水质和周边环境造成二次污染，所以在机械清淤方案的制定和实施过程中，应充分考虑环保因素，采取必要的防护措施和监测手段，确保清淤作业在保护环境的前提下高效进行。

结语

综上所述，水库泥沙淤积问题复杂且严峻，但通过科学合理的清淤策略，可以有效减少淤积量，保障水库的正常运行，未来应继续加强水库泥沙淤积机理的研究，优化清淤策略，提高清淤效率，同时注重生态环境保护，实现水库泥沙管理的可持续发展。

参考文献

- [1]张建国.水库清淤扩容的必要性、可行性及策略方法[J].河南建材,2021(12):154-156.
- [2]冯晓晨,李锦维.水库清淤策略与可持续发展探讨[J].水上安全,2024(9):88-90.
- [3]齐桐,石宝,朱思瑾.水库清淤工程规模分析方法初探[J].水利水电工程设计,2024,43(4):18-23.