

水利工程中的泥沙问题与治理技术研究

孙思¹, 顾浩然², 李毅³, 孙新⁴, 朱营⁵

1. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

2. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

3. 淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223000

4. 江苏淮阴水利建设有限公司, 江苏 淮安 223000

5. 山东元鸿勘测规划设计有限公司, 山东 济南 250014

摘要： 水利工程中的泥沙问题对工程安全和水资源利用具有重要影响。泥沙的沉积会导致水体阻塞、坝体冲刷及设备损坏，进而影响水利工程的正常运行与长期稳定。针对泥沙问题，需采用有效的治理技术，包括泥沙捕捉与排放、疏浚作业、流域管理以及水土保持措施。这些技术旨在减少泥沙对工程的负面影响，保障水利工程的功能与安全。泥沙问题的治理不仅依赖于单一技术的应用，还需综合考虑地质条件、水文特征以及工程设计等因素，以实现最佳的治理效果和经济效益。

关键词： 泥沙问题；水利工程；治理技术；泥沙捕捉；水土保持

Research on Sediment Problems and Control Techniques in Water Conservancy Projects

Sun Si¹, Gu Haoran², Li Yi³, Sun Xin⁴, Zhu Ying⁵

1. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

2. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

3. Huaian Water Conservancy Survey and Design Research Institute Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

4. Jiangsu Huaiyin Water Conservancy Construction Co., Ltd. Huai'an, Jiangsu 223000

5. Shandong Yuanhong Surveying and Planning Design Co., Ltd. Jinan, Shandong 250014

Abstract： Sediment problems in water conservancy projects have significant impacts on project safety and water resource utilization. Sediment deposition can lead to water body blockage, dam scouring, and equipment damage, further affecting the normal operation and long-term stability of water conservancy projects. To address sediment issues, effective management techniques are needed, including sediment capture and discharge, dredging operations, watershed management, and soil and water conservation measures. These techniques aim to reduce the negative impact of sediment on the project and ensure the functionality and safety of water conservancy projects. The management of sediment problems not only relies on the application of a single technology but also requires comprehensive consideration of geological conditions, hydrological characteristics, and engineering design factors to achieve optimal management effectiveness and economic benefits.

Keywords： sediment problems; water conservancy projects; management techniques; sediment capture; soil and water conservation

引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，其安全性和运行效率直接影响水资源利用和生态环境保护。然而，泥沙问题长期困扰工程师与管理者，泥沙沉积不仅威胁坝体稳定，还可能导致水流阻塞和设备故障。随着水利工程规模和复杂性增加，泥沙治理技术的研究变得尤为重要。有效应对泥沙挑战、优化处理方案是提高水利工程综合效益的关键。因此，深入探讨泥沙问题及其治理技术对确保水利工程的稳定运行至关重要。

一、泥沙问题对水利工程的影响分析

1. 泥沙对水利工程结构的影响

泥沙问题在水利工程中首先表现为对工程结构的直接影响。泥沙的沉积会导致坝体、渠道和其他关键结构的积垢，进而引发结构稳定性问题。例如，泥沙在坝体基础或坝体内部的积累可能导致坝体失

稳，增加了坝体滑坡和渗漏的风险。泥沙沉积还会加剧坝体的冲刷作用，尤其是在水流冲刷区域，长时间的泥沙侵蚀可能削弱坝体的抗压强度，从而威胁到工程的整体安全性^[1]。此外，泥沙沉积还会影响水库的容量，减少有效容积，影响水资源调配与洪水控制能力。

2. 泥沙对水流与水质的影响

泥沙对水流特性和水质的影响也不可忽视。泥沙的沉积会改

变河流的流动状态，影响水流的速度和方向。这种变化不仅可能导致水流的阻塞，增加水流的阻力，还可能引发河床的变形，从而影响水流的稳定性和均匀性^[2]。泥沙对水质的影响则更加显著。泥沙中的悬浮颗粒会增加水体的浑浊度，减少光透过率，从而影响水生生物的生长和生态平衡。

3. 泥沙对工程运营与维护的挑战

泥沙问题还对水利工程的运营和维护带来挑战。泥沙的积累需要定期进行清理和疏浚作业，这不仅增加了工程的运营成本，还可能导致工程运行的中断。清理和疏浚作业不仅费时费力，还要求专业技术和设备的支持。频繁的维护和修复工作可能对工程的长期稳定性造成影响^[3]。为了应对这些挑战，必须制定有效的泥沙治理方案，包括定期监测泥沙情况、采用先进的治理技术以及优化工程设计，以降低泥沙对工程运营的负面影响。

二、泥沙形成与沉积机制研究

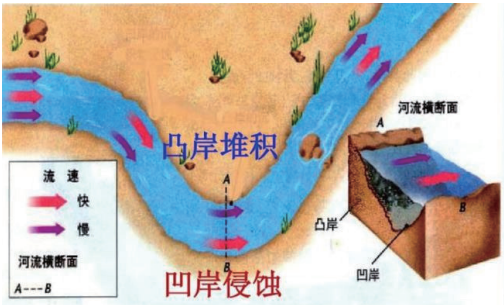
1. 泥沙的形成机制

泥沙的形成机制与土壤侵蚀、河流动力学以及地质环境密切相关。土壤侵蚀是泥沙形成的主要过程之一，雨水冲刷和地表径流会将土壤颗粒从原始位置带离，形成泥沙。这一过程在降雨量大、土壤结构松散的地区尤为明显。河流动力学中，水流速度、流量和流动状态对泥沙的形成起到关键作用。水流在河床上冲刷和搬运泥沙，使得原本沉积的泥沙颗粒悬浮在水中，从而形成悬浮泥沙。地质环境也对泥沙的形成起着重要作用，不同类型的岩石和土壤在物理化学风化过程中会产生不同性质的泥沙。例如，粘土矿物的风化产物易于形成细粒泥沙，而砂岩的风化则会产生粗粒泥沙^{[4][5]}。

2. 泥沙的沉积机制

泥沙的沉积机制涉及到泥沙在水流中的沉降过程及其与河床的相互作用。泥沙沉积通常发生在水流速度降低的区域，例如河流的弯道、沉积区或水库的静水区。水流速度降低会导致泥沙颗粒的沉降，沉降速率与泥沙颗粒的大小、密度及水流的特性有关。细小的泥沙颗粒在水流中悬浮时间较长，沉降速率较慢，而较大的泥沙颗粒则较快沉降。沉积过程中，泥沙颗粒会在河床上形成沉积层，这些沉积层随着时间的推移逐渐增厚，可能影响河床的地形和水流的分布。此外，泥沙的沉积受到河床形变化、洪水事件以及人工干预（如水利工程建设）的影响，这些因素共同决定了泥沙沉积的分布特征和厚度。如图1所示。

> 图1 泥沙沉积的分布图



3. 泥沙形成与沉积的影响因素

泥沙的形成与沉积受到多种因素的综合影响，包括气候条件、

地形地貌、土地利用以及人类活动等。气候条件中的降水量、降雨强度和风速等对泥沙的形成具有直接影响。降水量大和降雨强度高的地区，土壤侵蚀加剧，泥沙形成量增加。地形地貌对泥沙的沉积有重要影响，高山和丘陵地带的陡坡区域更容易发生土壤侵蚀，而平坦的区域则更容易发生泥沙沉积^[6]。土地利用的变化，如农业开发和城市化，会改变地表的植被覆盖和土壤结构，进一步影响泥沙的形成和沉积过程。人类活动，特别是水利工程建设、采矿和建设活动，也会改变水流的流态和泥沙的输送特征，影响泥沙的形成与沉积。

三、主要泥沙治理技术及其应用效果

1. 泥沙捕捉与排放技术

泥沙捕捉与排放技术是应对泥沙问题的主要手段之一。这些技术旨在捕捉和排除水体中的泥沙，防止其沉积在水利工程结构中。常见的泥沙捕捉技术包括沉砂池、过滤网和分离器。沉砂池利用水流速度的降低，使泥沙颗粒在池底沉降，从而实现泥沙的去除。过滤网则通过物理筛选来捕捉悬浮在水中的泥沙颗粒，适用于较小规模的泥沙治理任务。分离器则结合了多种分离技术，如离心分离和气浮分离，以提高泥沙去除的效率。这些技术在实际应用中需要根据具体的泥沙颗粒特性、水流条件和工程规模进行选择 and 调整。

2. 疏浚作业技术

疏浚作业是治理泥沙沉积的传统方法之一，主要用于清理水体中已经沉积的泥沙。疏浚作业包括机械疏浚和水力疏浚两种主要方式。机械疏浚利用挖泥船、抓斗等设备直接从水底挖掘泥沙，将其运送到指定的排放区域。这种方法适用于大规模的沉积区，能够有效清除大量泥沙。然而，机械疏浚作业对环境的扰动较大，需要精确控制作业区域，以避免对水生态系统造成负面影响。水力疏浚则利用高压水流将泥沙悬浮并输送到疏浚船或管道中，这种方法对环境的扰动较小，适用于细粒泥沙的清除^[7]。

3. 流域管理与水土保持措施

流域管理和水土保持措施是长远解决泥沙问题的策略，旨在从源头减少泥沙的产生和输送。流域管理包括土地利用规划、植被恢复和水土流失控制。通过合理规划土地使用，减少对土地的扰动，降低土壤侵蚀。植被恢复通过种植和修复植被增强土壤固定性，减少降雨引起的土壤冲刷。水土保持措施如梯田、护坡和排水沟，能够有效防止水土流失和泥沙产生。这些措施从根本上减缓泥沙的形成和输送，对水利工程长期保护具有重要意义。尽管实施需要时间和高投入，但其环境和经济效益显著。如表1所示。

表1 泥沙治理技术及其应用效果

序号	技术类型	主要工具 / 方法	应用场景和效果描述
1	泥沙捕捉与排放技术	沉砂池、过滤网、分离器	根据泥沙特性和水流条件选择，适用于防止水体沉积，效果受泥沙特性和维护限制
2	疏浚作业技术	机械疏浚（挖泥船、抓斗）、水力疏浚	适用于大规模沉积区，机械疏浚可能对环境扰动大，水力疏浚环境扰动小
3	流域管理与水土保持措施	土地利用规划、植被恢复、梯田、护坡、排水沟	从源头减少泥沙产生，通过减少土壤侵蚀和水土流失来保护水利工程

四、泥沙治理技术的实施案例与经验总结

1. 沉砂池技术的应用案例

沉砂池技术在国内外多个水利工程中得到广泛应用，尤其是在大型水库和河道治理中具有显著效果。例如，在中国的某大型水库工程中，通过设置沉砂池来处理进入水库的泥沙。该沉砂池采用了多级沉降设计，以提高泥沙的沉降效率。在实际运行过程中，沉砂池有效地减少了水库中泥沙的沉积量，保持了水库的有效容积。此外，沉砂池的设计与运行管理也经过不断优化，通过调整水流速度和沉砂池的尺寸，提高了泥沙处理的效率^[8]。然而，该技术的实施也暴露出一些问题，如沉砂池的维护需求高，需要定期清理沉积的泥沙，以保持系统的正常运作。

2. 疏浚作业的成功经验

疏浚作业作为传统的泥沙治理手段，已经在多个水利工程中积累了丰富的经验。例如，在某大型港口的疏浚项目中，采用了机械疏浚和水力疏浚相结合的方式，以高效清除港口沉积的泥沙。机械疏浚通过挖泥船将泥沙直接挖出并转移到远离港口的排放区域，而水力疏浚则用于清除难以到达的区域和细粒泥沙。这种组合方式显著提高了疏浚效率，缩短了工程周期。值得注意的是，疏浚作业中还加强了环境保护措施，如设置沉砂池以处理疏浚过程中产生的泥浆，减少对水生态系统的影响。尽管疏浚作业效果显著，但其高成本和对环境的潜在影响仍然是需要关注的问题^[9]。

3. 流域管理与水土保持的综合实践

流域管理和水土保持措施在防治泥沙问题上取得显著成效。例如，在某山地流域项目中，实施了全面的流域管理方案，包括植被恢复、梯田建设和水土流失控制工程。植被恢复和草坪种植有效减少了土壤侵蚀，降低了泥沙产生。梯田建设在坡地上形成了水土保持屏障，减少了雨水冲刷对土壤的影响。水土流失控制工程通过修建排水沟和护坡结构进一步减少泥沙流失。这些措施不仅改善了水土保持状况，还提高了农田生产能力和生态环境质量。尽管效果显著，但实施过程中需要协调多个部门和长期投入，以实现持续治理。

五、未来水利工程泥沙治理技术的发展趋势与挑战

1. 智能化泥沙治理技术的应用前景

未来水利工程的泥沙治理将趋向智能化发展，引入智能监测系统和数据分析技术实现精确管理。先进传感器和无人机监测将高效采集泥沙实时数据，数据分析和模型预测将帮助制定科学治理方案。人工智能算法可优化泥沙捕捉设备的运行，调整沉砂池排放策略，从而提升治理效果。智能化技术不仅能提高泥沙治理的效率和准确性，还能减少人为误差，降低成本。然而，这些技术的普及面临技术复杂性高、设备投资大和数据安全等挑战，需要在技术创新与成本控制之间寻求平衡^[10]。

2. 生态友好的泥沙治理技术发展

未来泥沙治理技术将更加注重生态友好性，旨在减少对环境的负面影响并恢复生态系统。生态工程技术，如植物修复和湿地

建设，将成为治理泥沙问题的重要手段。植物修复通过种植本地植物，利用植物的根系稳定土壤，减少水土流失，并为泥沙提供自然沉积的条件。湿地建设则通过构建人工湿地，利用植物和微生物的过滤作用，去除水中的泥沙和污染物。这些生态友好的治理措施不仅能有效控制泥沙，还能改善水质，恢复生态平衡。然而，这些技术的实施需要较长的时间来显现效果，并且涉及到生态系统的复杂性和多样性，需要在设计和维护中充分考虑生态环境的适应性和可持续性。

3. 多学科协同与综合治理的挑战

泥沙治理的复杂性要求未来的发展中更多地依赖于多学科协同与综合治理。泥沙治理不仅涉及水利工程，还涉及地质学、生态学、环境工程等多个领域。多学科的协同能够提供更全面的治理方案，综合考虑泥沙的形成机制、输送特性及环境影响。例如，结合地质勘察数据和水文模型，可以更准确地预测泥沙的行为，并制定针对性的治理措施。同时，综合治理需要协调各方面的资源和政策，包括政府部门、科研机构和地方社区的合作。然而，多学科协同和综合治理面临协调难度大、利益冲突和资源整合等挑战，需要通过建立有效的沟通机制和合作平台来解决。

六、结语

未来水利工程中的泥沙治理技术将朝着智能化、生态友好和多学科协同的方向发展。智能化技术将提高治理的精准度和效率，生态友好的措施将促进环境恢复与水质改善，而多学科协同将提供综合治理的全新视角。然而，这些发展趋势也面临着技术复杂性高、环境适应性差和协调难度大的挑战。应对这些挑战需要持续的技术创新、有效的资源整合和科学的政策支持。通过不断优化和调整治理策略，未来泥沙治理技术将能够更好地保护水利工程的安全和生态环境，实现可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 韩悦. 张瑞瑾治理长江泥沙和培育水利英才 [D]. 福建师范大学, 2018.
- [2] 卫筱筱. 林秉南与长江治理理论探 [D]. 福建师范大学, 2018.
- [3] 唐日长. 长江水利工程中的泥沙问题 [J]. 人民长江, 1956(11):1-2.D01:10.16232/j.cnki.1001-4179.1956.11.001.
- [4] 刘新华. 多泥沙河流水利工程固定资产及折旧年限问题的探讨 [J]. 水利经济, 1993(04):49-52.
- [5] 泥沙运动引起的环境问题及环境泥沙学 [J]. 水科学进展, 1998(04):2-7.
- [6] 何根寿, 陈五一, 朱鉴远. 水电水利工程泥沙设计研究的几个问题 [A]. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第六届学术讨论会论文集 [C]. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会: 中国水力发电工程学会, 2005:8.
- [7] 张艳婷. 无人机航测技术在水利工程河道泥沙沉积量监测中的应用 [J]. 水利技术监督, 2023(08):31-35+99.
- [8] 庄杨, 杨超, 张兴, 李一如. 基于泥沙动力学分析水利工程调度对改善河道淤积的影响 [J]. 江苏水利, 2021(10):56-58.D01:10.16310/j.cnki.jssl.2021.10.017.
- [9] 温馨, 苗广霖. 水利工程泥沙的危害及应对措施 [J]. 河南科技, 2013(09):35.
- [10] S-阿拉姆, 黄苗. 水利工程的泥沙影响及其对策 [J]. 水利水电快报, 2000(01):20-23.D01:10.15974/j.cnki.slsdkb.2000.01.006.