

水电工程规划设计的水文泥沙技术研究

孙丹阳

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i2.6111

[摘要] 水电工程作为重要的清洁能源开发项目,在规划与设计阶段需充分考虑水文泥沙因素的影响。本文旨在探讨水电工程规划设计中涉及的水文泥沙关键技术,以期工程的安全、高效运行提供理论支撑。研究内容包括水文数据的收集与分析、泥沙运动规律的研究以及如何将这些技术应用于实际工程设计中,确保水电工程的长期稳定运行。

[关键词] 水电工程; 规划设计; 水文泥沙技术

中图分类号: TV7 **文献标识码:** A

Research on Hydrological and Sedimentation Technology in Hydroelectric Engineering Planning and Design

Danyang Sun

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] As an important clean energy development project, hydropower engineering needs to fully consider the influence of hydrological and sediment factors in the planning and design stages. This article aims to explore the key hydrological and sediment technologies involved in the planning and design of hydropower projects, in order to provide theoretical support for the safe and efficient operation of the projects. The research content includes the collection and analysis of hydrological data, the study of sediment transport laws, and how to apply these technologies to practical engineering design to ensure the long-term stable operation of hydropower stations and environmental sustainability.

[Key words] hydropower engineering; Planning and design; Hydrological and sediment technology

引言

在水电工程的规划设计过程中,水文泥沙技术的运用为工程提供了科学依据和数据支持。通过对流域的水文特性、泥沙运动规律以及河流的冲刷和淤积情况的深入分析,工程师能够设计出既经济又高效的水电工程。这项研究不仅包括对现有水文数据的收集和分析,还涉及到对未来气候变化趋势的预测,以及这些变化对水电工程可能产生的影响。

1 水文泥沙基本理论

1.1 水文循环与泥沙来源

水文循环是地球上生命得以延续的重要过程,它涉及到降水、蒸发、径流和地下水的动态平衡。在这一过程中,降水是泥沙来源的主要驱动因素,特别是在山区和侵蚀强烈的区域。例如,黄河流域的泥沙主要来源于青藏高原的侵蚀,据估计,黄河每年携带的泥沙量高达16亿吨,这在很大程度上受到流域内降雨事件的影响。同时,人类活动也显著改变了水文循环和泥沙来源。过度开垦、森林砍伐以及不恰当的土地产权管理导致地表侵蚀加剧,增加了河流中的悬浮物含量。例如,长江上游的三峡水库

在建设前,由于土地利用变化,泥沙含量显著增加,对水库设计和运行提出了巨大挑战。

1.2 泥沙运动规律与输沙机制

泥沙运动规律与输沙机制是水文泥沙研究的核心内容,它涉及到河流中颗粒物的搬运、沉积和再悬浮过程。在水电工程规划设计中,理解这些机制至关重要,因为它们直接影响到水库的淤积速度、下游河道的稳定性以及对生态环境的影响。例如,黄河因富含泥沙而闻名,据历史资料记载,某些河段年输沙量高达16亿吨,这要求水电工程规划设计时必须考虑如何有效应对如此大规模的泥沙运动。通过建立物理模型和数学模型,可以预测在不同工况下泥沙的运动状态,从而为工程设计提供科学依据。在三峡大坝的建设中,就充分考虑了泥沙运动规律。研究人员利用先进的数值模拟技术,对上游来沙量、泥沙粒径分布以及水流动力条件等因素进行了综合分析,以评估泥沙可能对大坝运行和库区淤积造成的影响。通过调整泄洪方式和定期冲淤调度,有效减缓了泥沙在水库中的沉积速度,保障了电站的长期稳定运行。这一案例表明,深入理解输沙机

制并结合现代技术手段,可以为大型水电工程的可持续发展提供强有力的技术支撑。

1.3 水文统计与洪水频率分析

水文统计是水电工程规划设计中不可或缺的一环,它涉及到对历史洪水数据的收集、分析和解释,以确定设计洪水的频率和规模。例如,通过统计分析,可以发现每百年一遇的洪水可能在特定流域内具有显著的破坏性,因此在设计大坝和泄洪设施时必须考虑这种极端事件。洪水频率分析则采用诸如皮尔逊分布或Gumbel分布等统计模型,来估算在不同置信水平下的设计洪水位,确保工程安全。在长江三峡大坝的设计过程中,就运用了这些统计方法,以确保大坝能够抵御可能遇到的历史上最大洪水。此外,水文统计还涉及到降雨径流关系的建立,以及降雨频率的分析。例如,通过分析过去几十年的降雨记录,可以推算出未来可能出现的极端降雨事件,这些事件可能触发山洪暴发或河流泛滥。在印度的克里希纳河水电项目中,就利用了这样的统计技术来优化水库的防洪调度策略,有效减少了潜在的灾害风险。

2 水电工程对水文泥沙的影响

2.1 库区泥沙淤积预测

在水电工程规划设计中,库区泥沙淤积预测是一个至关重要的环节。泥沙淤积不仅影响水库的蓄水能力,还可能对水库的安全运行构成威胁。因此,需要采用科学的方法对库区泥沙淤积进行预测。常用的预测方法包括沙量平衡法、剖面法和地质沉积界面法等。这些方法各有优缺点,应根据实际情况选择合适的方法进行预测,以确保预测结果的准确性和可靠性。

为了更准确地进行库区泥沙淤积预测,研究人员和工程师们不断探索和改进现有的预测技术。他们可能会结合多种方法,利用计算机模拟技术来模拟泥沙运动和沉积过程,从而提高预测的精度。此外,历史数据的收集和分析也是不可或缺的,因为它们可以为预测模型提供重要的参考依据。通过这些综合手段,可以更好地评估泥沙淤积对水库长期运行的影响,并为水库的维护和管理提供科学依据。

2.2 下游河道形态变化

水电工程的建设会对下游河道形态产生显著影响。一方面,水坝的拦截作用显著减少了上游泥沙向下游的输送,导致下游河道输沙量的减少,进而影响河道的形态变化和河床稳定性。另一方面,水电工程的泄流过程可能会对下游河道产生强烈的冲刷作用,改变河道的深泓和河底高程。这些变化可能会对河道的通航能力和防洪能力产生重大影响,因此需要在水电工程规划设计中充分考虑这些因素,并采取相应的措施。

2.3 对生态环境的影响

水电工程对生态环境的影响是多方面的,涉及多个层面和领域。首先,水电工程的建设会改变河流的水文条件,如水位、流速和流量等,这些改变可能会对河流生态系统的平衡产生深远的影响。具体来说,水位的升降可能会淹没或暴露河岸植被,影响生物多样性;流速的变化可能会改变沉积物的分布,进而影响

鱼类和其他水生生物的繁殖和栖息地;流量的波动则可能对下游的水生生态系统造成压力,影响物种的生存和繁衍。其次,泥沙作为河流生态系统中的重要物质,其减少可能影响河床生物的栖息地和河流生态系统的稳定性。泥沙的减少可能导致河床侵蚀,改变河流的自然形态,影响水生生物的产卵地和食物来源。此外,水电工程建设还可能对气候、水质、土壤环境以及水生生物和陆地生物产生影响。例如,大型水库的形成可能会改变局部气候,影响周边地区的降水和温度模式;水电工程的运行可能会改变水体的化学成分,影响水质;施工和运营过程中可能会对土壤造成侵蚀,影响土地的生产力;同时,水电工程可能会对水生生物的迁徙路径造成阻碍,对陆地生物的栖息地造成破坏。因此,在水电工程规划设计中,需要充分考虑生态环境保护的要求,采取相应的措施减少对生态环境的不利影响。

3 水文泥沙技术在水电工程规划设计中的应用

3.1 水库容量与泄洪设施设计

水库容量与泄洪设施设计是水电工程规划设计中的核心环节,直接影响到工程的安全运行和生态环境的保护。在考虑水库容量时,需要综合分析流域的水文特性、泥沙输移量以及可能的极端气候事件,如根据历史洪水记录推算百年一遇甚至更大频率的洪水,以确保水库有足够的库容来蓄洪防灾。例如,三峡大坝在设计时,就考虑了上游流域的大量泥沙和洪水风险,设计库容达到了393亿立方米,有效平衡了泥沙淤积与防洪需求。泄洪设施的设计则要求在保证工程结构稳定的同时,减少对下游河道的冲击。这通常涉及到复杂的水力学计算和模型试验,如采用溢洪道、泄洪隧洞或泄洪闸门等多种方式组合,以控制泄洪过程的流速和流量。例如,法国的加尔德桥水电站,其泄洪系统采用了创新的“马其顿”泄洪方式,通过调整泄洪口的开启数量和大小,实现了对洪水的精细调控,有效保护了下游的生态环境和人类活动。在实际操作中,现代设计还会结合先进的数值模拟技术,如使用HEC-RAS等软件,模拟不同泄洪策略下的洪水传播和消退过程,以优化设计方案。此外,随着智能监测与预警系统的进步,泄洪设施可以与实时监测数据相结合,实现动态调整,进一步提高防洪决策的科学性和时效性。因此,水库容量与泄洪设施设计不仅是技术问题,也是涉及多学科交叉和风险评估的复杂过程,需要在确保水电工程经济效益的同时,充分考虑到其对社会和环境的长期影响,实现可持续发展的目标。

3.2 引水系统防沙保护

引水系统在水电工程中起到至关重要的作用,它负责从水源地将水引至发电厂房,确保电站的稳定运行。然而,水中的泥沙颗粒会对引水渠道造成严重的侵蚀和堵塞,降低引水效率,甚至威胁到发电设备的安全。因此,引水系统防沙保护是水电工程规划设计中不可忽视的一环。例如,在黄河小浪底水电站的设计中,就采用了先进的防沙技术,包括设置沉沙池和采用耐磨材料,有效减少了泥沙对引水系统的影响,保证了电站的长期稳定运行。

为了更精确地预测和控制泥沙对引水系统的影响,工程技

术人员会运用数学模型和物理模拟手段。这些模型可以模拟泥沙的悬浮、沉积过程,预测不同工况下的泥沙负荷,从而优化设计参数,如渠道的坡度、断面形状以及防护结构。例如,运用“泥沙运动三元理论”可以更科学地计算泥沙在引水渠道中的运动状态,减少设计中的不确定性。此外,现代技术如遥感和GIS也被整合到防沙保护策略中。通过遥感监测,可以定期获取河流泥沙含量的变化信息,GIS则帮助整合多源数据,进行空间分析,为动态调整防沙措施提供决策支持。例如,三峡工程在运行期间,就利用这些技术动态调整了泥沙管理策略,确保了引水系统的安全。在设计阶段,还可以通过引入智能监测设备,实时监测泥沙浓度和渠道磨损情况,及时进行维护和修复。例如,安装在引水系统中的传感器可以实时传输数据,通过人工智能算法预测潜在的侵蚀风险,实现预防性维护,大大延长了引水设施的使用寿命。总的来说,引水系统防沙保护是一个综合了工程设计、科技应用和持续监测的复杂过程。通过不断的技术创新和科学管理,可以确保水电工程在利用水资源的同时,有效抵御泥沙危害,实现水资源的可持续利用。

3.3 施工期泥沙管理策略

施工期的泥沙管理策略是水电工程建设中的重要环节,旨在保护工程安全、降低环境影响并确保施工进度。在这一阶段,需要综合考虑河流的泥沙特性、施工活动对河流动力学的影响以及可能的灾害风险。例如,三峡大坝在建设过程中,就采用了先进的泥沙预测模型,结合上游来沙量和施工活动,预测泥沙对坝体的潜在危害,并据此制定疏浚和防护措施(如设置沉沙池、调整施工时段等)。此外,施工期的泥沙管理还包括对河流流态的控制,以防止下游河道的过度淤积。这可能涉及调整临时导流设施的设计,如导流槽的坡度和糙率,以引导泥沙在预定区域沉积。例如,黄河小浪底工程在施工期间,通过精确计算和实时监测,成功地将大部分泥沙导向了设计的淤积库,减少了对下游河道形态的影响。同时,采用环保施工技术和方法也是管理施工期泥沙的关键。这可能包括采用低影响开发(LID)原则,减少临时设施的占地面积,以及采用湿法作业减少扬尘污染。例如,某南亚水电项目中,施工单位采用了创新的水力冲刷技术,通过

水力而非机械力量清理施工场地的泥沙,显著降低了泥沙悬浮物对周边水体的影响。在施工过程中,持续的监测和调整策略同样必不可少。这可能涉及设置监测断面,定期采集泥沙样本,以及利用遥感和GIS技术实时评估泥沙动态。通过这些数据,项目团队可以及时调整疏浚频率或改变施工方法,以适应河流条件的变化。

4 结束语

综上所述,随着科技的进步和工程实践经验的积累,水电工程规划设计中的水文泥沙技术研究将不断深入和完善。未来,我们期待更多创新的理念和技术方法涌现,以应对复杂多变的水文泥沙问题,确保水电工程的安全、高效运行,同时最大限度地减少对自然环境的负面影响。通过持续的研究与实践,将为水电工程的可持续发展贡献智慧和力量,共同守护绿水青山,推动人与自然和谐共生。

[参考文献]

- [1]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.
- [2]王青峰,周琪,刘晓光.水库清淤及淤积泥沙处理技术[J].科技创新与应用,2023,13(04):162-165.
- [3]钟丹,张民曦,俞梅欣,等.基于泥沙流变特性的吸力式沉箱减阻技术[J].海洋工程,2022,40(06):31-40.
- [4]姚晨明,姚磊.基于历史数据的港区泥沙疏浚标高预测技术研究[J].中国水运,2022,(15):122-124.
- [5]刘晓哲.无人机航测技术在河道泥沙沉积量监测的改进研究[J].水利技术监督,2022,(08):66-69.
- [6]陈建.桩基泥沙分离处理及再利用技术分析[J].江西建材,2022,(06):207-208+211.
- [7]赵建华,王露,阮哲伟,等.新型透射测量技术在泥沙含量监测中的应用[J].水利信息化,2022,(03):57-61.

作者简介:

孙丹阳(1996--),女,新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人,硕士,中级工程师,研究方向:水文泥沙。