

水利水电工程生态流量保障技术研究

范世锋

南昌中裕建筑工程监理咨询有限公司 江西南昌 330000

摘要：随着水利水电工程的快速发展，如何在满足人类社会经济发展需求的同时，保护和改善河流生态环境，已成为当前水利水电工程领域研究的重要课题。生态流量保障技术是实现水利水电工程可持续发展的重要手段之一。本文首先介绍了生态流量的概念及其重要性，然后分析了当前水利水电工程中生态流量保障存在的问题，接着探讨了生态流量保障技术的研究进展，最后提出了相应的技术措施和建议，以为水利水电工程的生态流量保障提供参考。

关键词：水利水电工程；生态流量；环境保护；可持续发展

引言

水利水电工程作为人类社会重要的能源和水资源开发方式，对促进经济社会发展具有重要作用。然而，水利水电工程的建设与运行往往会对河流生态系统产生影响，如改变河流的水文情势、破坏河流的自然流态等，从而对河流生态造成损害。因此，如何在水利水电工程中保障生态流量，维持河流生态系统的健康和稳定，是当前亟需解决的问题。

一、生态流量概念及其在水利水电工程中的重要性

（一）生态流量基本概念界定

生态流量是一个具有特定内涵的专业术语，其基本概念是指为了维持河流生态系统结构和功能的稳定与健康，所必需保持的河道内水量、水质以及水流状态（即水力情势）等关键水文要素的综合体现。它直接关系到河流生态系统的存续能力。需要明确区分生态流量与维持河流基本功能的流量、以及景观流量等概念。维持河流基本功能的流量通常侧重于保持河道不淤积、满足最基本的水运或排水需求，其标准可能低于生态流量。而景观流量则更多是为了满足人类视觉审美需求，对生态系统的支撑作用有限。生态流量则更强调对水生生物栖息地、生物多样性以及整个河流生态系统过程的支持作用，是一个更全面、更侧重生态效益的概念^[1]。

（二）生态流量组成与类型

生态流量并非一个单一的固定数值，而是由多个部分组成的动态概念。它通常包括几个关键组成部分：首先是维持河道基本形态所需的流量，这部分流量确保河道不至于因水流长期过小而严重萎缩、淤积或改变形态，

维持了河道的基本空间结构。其次是维持水生生物生命周期的关键流量，这部分流量对于特定生物阶段至关重要，例如，满足鱼类产卵场的水深和流速要求、保障特定物种洄游通道的水流连续性、提供越冬水域所需的水深和温度条件等。最后，还包括维持河道生态系统健康所需的脉冲流量，这种流量变化模拟了天然河流的季节性洪峰或较大流量过程，对于冲刷新生湿地、携带营养物质、刺激某些物种繁殖等具有不可替代的作用。

（三）水利水电工程对生态流量的影响机制

水利水电工程，特别是大型水库和水电站，其核心功能在于对河流径流过程进行调节。通过蓄水和放水，这些工程显著改变了天然河流原有的水文情势，包括流量的时间变化过程（如洪峰削减、枯水期流量增加或减少）、水位的高低及其变化速率、水流持续时间等。这种改变直接导致了下游河道生态流量的供需失衡。一方面，为了发电、灌溉或供水，水库可能会在枯水期大量引水，导致下游河道实际流量远低于维持生态系统健康所需的水平，造成生态流量不足。另一方面，即使有放水，其流量过程也可能被人为简化为稳定或周期性变化的模式，失去了天然河流中关键的脉冲流量和自然波动，导致生态流量的过程失真。无论是流量不足还是过程失真，都会对河流生态系统的健康产生不利影响，例如栖息地退化、生物多样性下降、物质循环受阻等^[2]。

（四）保障生态流量的工程必要性

在水利水电工程的规划、设计、建设和运行全过程中，保障生态流量具有极其重要的工程必要性。这首先是国家履行环境保护责任、遵守相关法律法规的基本要求，也是实现工程经济效益与生态环境效益协调统一、

可持续发展的必然选择。忽视生态流量可能导致严重的生态后果,进而引发工程效益的长期损失,甚至影响工程自身的安全运行(如河道淤积、堤防隐患等)。因此,在工程规划阶段就应将生态流量需求纳入考量,在运行调度中建立保障生态流量的机制,确保下泄流量能够满足河流生态系统的基本需求。这不仅是技术层面的考量,更是工程伦理和发展理念的体现,对于实现人水和谐、建设生态文明具有深远意义。

二、水利水电工程生态流量保障技术原理

(一) 水库调度优化技术

水库调度优化技术是保障生态流量的核心方法之一。其基本原理在于通过改进水库的运行调度规则,将生态需求纳入决策体系。具体实践中,这可以表现为在水...,如利用特定的闸门组合或专门的放水管路,在满足其他用水需求的同时,优先保证有足够的水量按照预定计划下泄。这种优化并非易事,它需要在满足发电、供水、防洪等多种工程目标的同时,兼顾生态目标,寻找一个多目标下的最优平衡点。调度规则可能需要根据季节、水文状况和下游生态监测反馈进行动态调整,以更精确地满足不同时期、不同生态过程的需水要求。

(二) 基于工程设施的技术措施

基于工程设施的技术措施,是通过在水利枢纽或引水工程中增设或改造特定结构物来实现生态流量保障。例如,设置专门的生态放水管或生态泄水渠,这些设施通常被设计成即使在水库低水位运行时也能保证有稳定的水流下泄,其出水口位置和结构也可能被优化,以改善下游近岸的水流条件,利于水生生物栖息。鱼道、堰坝过鱼设施等则是为了解决因挡水建筑物阻隔而形成的鱼类洄游障碍。鱼道通常利用水流形成一系列逐级下降的水池,为鱼类提供可穿越的通道;这些设施的基本功能是直接保障下游获得规定量的生态流量,或为受工程影响的水生生物提供必要的通行路径,从而维持或恢复河流生态连通性^[3]。

(三) 水力调控与河道形态改善技术

水力调控与河道形态改善技术侧重于改善下游河段的水生生物栖息环境,以此间接支持生态流量目标的实现。水力调控涉及对从工程下泄的水流的水力参数进行精细化管理,例如,通过控制闸门开启度或采用特定型式的消能工,调节下游河道的流速分布和水流形态(如形成回流区、缓流区等),以模拟更接近自然的水力条件,满足不同生物类群对生境的需求。河道形态改善则可能包括对河道局部进行改造,如采用透水材料或自然

材料建设生态护岸,增加岸线的不规则性;或者通过人工塑造河湾、建设浅滩深潭组合等方式,增加河道的多样性和复杂性。这些措施旨在提升河道生态系统的承载能力,使得即使在下泄流量满足最小需求的情况下,也能为水生生物提供更适宜、更多样化的生存空间。

(四) 多技术融合与集成应用

在复杂的河流生态系统和多样的水利水电工程条件下,单一的技术手段往往难以全面、有效地保障生态流量。因此,生态流量保障通常需要多种技术手段的融合与集成应用,形成一个综合性的解决方案。例如,可以将优化后的水库调度与专门的生态放水设施相结合,既保证了流量的稳定下泄,又能在调度规则中灵活应对多种需求;同时,辅以河道形态改善措施,提升下游生境质量。这种集成应用能够根据具体河流的特点、工程的具体情况以及生态保护的关键需求,进行有针对性的技术组合,取长补短,从而更全面、更可靠地实现生态流量保障目标,应对单一技术可能存在的局限性^[4]。

三、生态流量保障技术的适用性与挑战

(一) 不同技术方法的适用条件分析

各种生态流量保障技术并非万能,其有效应用受到具体条件的制约。水库调度优化技术主要适用于具备一定水量调节能力的水库工程。这类工程能够通过控制闸门启闭,在时间上重新分配径流,因此可以通过调整运行规则来满足下游生态需水要求。然而,对于径流式电站或调节能力极弱的水工建筑物,这种技术则难以实施。工程设施技术,如设置生态放水管或鱼道,其适用性取决于水利枢纽或引水工程的具体结构形式和位置。例如,生态放水设施需要在水工建筑物中预留或增设特定的管道系统,这要求在工程设计和建设阶段就有所考虑,或者在现有工程改造时具备实施条件。鱼道等过鱼设施则更适用于存在明显鱼类洄游阻隔的坝址,且其设计需考虑目标鱼类的生理特性和行为习性。水力调控技术,包括调节下泄水流参数和改造河道形态,对下游河道的物理条件有一定要求。例如,通过控制流速改善栖息地,需要河道具有一定的几何形态和水深,以便形成有效的水力梯度;河道形态改造则要求施工空间、地质条件以及后续维护管理的可行性。分析这些技术在不同河流类型(如山区河流、平原河流)、不同工程规模(大型水库、小型水坝)以及不同生态保护目标(如保护特定珍稀鱼类、维持河流整体生物多样性)下的适用性差异,是选择合适技术方案的基础。理解这些差异有助于避免技术错配,确保所选技术能够真正解决特定情境下的生

态流量问题^[5]。

（二）技术实施面临的主要挑战

尽管生态流量保障技术原理明确，但在实际工程应用中仍面临诸多挑战。首先，准确确定河流生态系统的需水量本身就非常困难。河流生态系统复杂且动态变化，其需水不仅与水量有关，还与水质、水温、水文过程（如洪峰、枯水期）等多种因素相关，且不同生物类群、不同生命阶段的需求各异，难以用单一指标精确量化。其次，在水库等工程的实际运行中，需要在发电、供水、防洪、航运等多重目标与生态目标之间进行复杂协调。这种多目标决策过程涉及众多利益相关方，平衡各方利益、制定科学合理的调度规则是一项复杂的管理和技术难题。再次，建设专门的生态放水设施、鱼道等工程设施，往往需要较高的初期投资，并且这些设施在长期运行中还面临着维护成本高、维护技术要求高等问题。此外，如何评价一项技术措施的实际生态效果，即它是否真正改善了河流生态状况，也具有很大难度，需要长期、系统的监测数据支持。最后，保障生态流量的实施还依赖于完善的管理体制机制，包括明确的法规政策、有效的监管措施、跨部门协调机制以及长期稳定的资金投入等，而这些方面在很多地区尚不完善，制约了技术的有效落地。

（三）技术效果的监测与评估要求

实施生态流量保障技术后，对其进行效果监测与评估是不可或缺的环节。这意味着需要建立一套系统、有效的监测体系，对实施技术措施前后下游河道的水文情势（如流量过程、流速分布、水位变化）、水质状况以及水生生物（包括鱼类、底栖动物、水生植物等）的响应进行长期跟踪。评估的目的是判断技术措施是否达到了预期的生态目标，例如，下游河道是否获得了足够的最小流量，水文过程是否得到一定程度的模拟，水生生物的栖息地质量是否改善，特定保护物种的数量或分布是否发生变化等。这种监测评估不仅是对技术有效性的验证，更能为现有技术方案的优化调整提供科学依据，指导未来更精准地实施生态流量保障。强调监测评估是技术成功应用的重要保障，意味着没有持续的监测反馈和基于证据的调整优化，生态流量保障措施可能无法持续发挥预期效果，甚至可能因实施不当而产生负面影响。因此，将监测评估纳入生态流量保障工作的常规流程，

是确保技术持续有效、不断提升管理水平的关键。

结语

水利水电工程生态流量保障技术的研究和应用具有重要的现实意义和长远价值。尽管目前已经取得了一定的进展，涵盖了从概念界定到技术原理、再到适用性与挑战等多方面的研究，但在实际应用中仍面临诸多问题和挑战。准确确定生态需水量、协调多目标调度决策、降低工程设施建设和维护成本、完善管理体制机制以及提高技术效果监测与评估的准确性等，都是亟待解决的关键问题。未来，应进一步加强跨学科的合作研究，整合水利工程学、生态学、环境科学等多学科的知识和方法，深入探究生态流量保障技术的内在机制和作用规律。同时，加大对新技术、新方法的研发投入，不断优化现有的技术措施，提高生态流量保障技术的科学性、有效性和经济性。此外，还需强化政策法规的支持和引导，完善相关的标准和规范，建立健全生态流量保障的长效管理机制。加强公众教育和宣传，提高社会各界对生态流量重要性的认识，形成全社会共同参与和支持水利水电工程生态流量保障工作的良好氛围。通过这些努力，有望实现水利水电工程建设与河流生态环境保护的协调发展，为人类社会的可持续发展奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 侯小波，何孟，余飞.保障引水式电站生态流量泄流的工程技术探讨——以姜射坝水电站为例[J].甘肃水利水电技术，2019，55（9）：5.DOI：CNKI：SUN：GSSJ.0.2019-09-003.
- [2] 本站讯.水规总院为水利部已建水利水电工程生态流量核定与保障先行先试工作提供技术支撑[J].水利规划与设计，2022（11）：137-137.
- [3] 王明疆，张锦堂，郭浩洋，等.水利水电工程蓄水期生态流量泄放措施研究[J].西安理工大学学报，2021，37（1）：4.
- [4] 周晓娟.绿色项目规划中的生态流量保障措施研究[J].区域治理，2020，000（017）：P.1-2.
- [5] 卢远锋.试论绿色水利水电工程规划建设中的生态流量保障措施[J].水电水利，2019，3（8）：2.DOI：10.32629/hwr.v3i8.2314.