橡胶坝工程建设与生态水系协调发展研究

任治军
山西黄河水利工程咨询有限公司　山西　太原　030000

摘　要：橡胶坝凭借柔性可调、施工扰动小的独特优势，广泛应用于河道整治与水系优化工作，人工工程介入会持续改变河道原生水文、空间与生态状态。本文结合橡胶坝工程运行特质与生态水系存续规律，梳理工程建设与水系演化的耦合机理，剖析水文状态、空间布局、生态节律三个维度的适配矛盾。依托水系自然运行特性，从工程建设、空间布局、运行管控及协同体系层面提出优化路径，弱化人工干预带来的水系扰动，推动河道水利工程与水域生态环境形成良性共生的发展格局。

关键词：橡胶坝；河道工程；水系演化；生态节律；水生态协同

引言：河道橡胶坝工程能够规整水域形态、稳定河段水位，是现阶段水系治理与水环境提升的重要水利设施。人工坝体的布设与调度会持续干预自然河道的水流运动与空间结构，改变水系长期形成的水体循环与生态演替节奏。水系自然演化具备动态性与连续性特征，人工工程的固化调控模式容易与原生水系运行状态产生适配冲突，引发生境结构改变、水文节律失衡等各类水系问题。理顺工程设施与生态水系的内在关联，消解人工建设带来的负面干预，成为水系治理过程中需要持续推进的重要内容。

1 橡胶坝工程与生态水系的内在关联体系

1.1 橡胶坝工程建设的自身运行特质

橡胶坝依托柔性坝袋结构完成挡水与泄水功能，整体构筑形式区别于硬质闸坝的刚性建设模式。坝体可通过充水、充气状态的动态调整，改变坝体高度与挡水断面，形成可灵活调节的水域蓄水形态[1]。坝体启闭操作流程简单，结构组成相对轻便，现场施工无需大规模土石方开挖与硬质浇筑作业。施工周期更为紧凑，对原有河道基底的改造幅度更小，场地扰动范围可以得到有效控制。工程投入使用后，运行状态可根据河道水流变化做出动态调整。蓄水阶段能够平稳抬升河道水位，拓展上游水域覆盖范围。泄水阶段可快速排空坝袋，恢复河道原有过水断面，保障水流自然下泄。柔性结构的受力特性更为柔和，水流冲击作用下不会产生剧烈水力震荡，运行过程的稳定性更强，也能适配不同季节的河道水流状态变化。

1.2 生态水系系统的构成与运行规律

生态水系是依托自然河道形成的复合型水域系统，整体包含水文动态、水域空间、水生介质、水系连通通道多个核心组成部分。水文动态主导河道水流的涨跌、更替与水体更新节奏，维持水域内部的物质传输与能量流转。水域空间界定河道行水范围与滩地分布格局，塑造水系固有的空间形态结构。水生介质涵盖水体水质、水底基质、沿岸植被等环境要素，为水域生物生存提供基础条件。水系连通通道串联上下游河段与分支水系，搭建完整的水域流通框架。自然水系会随季节降水、径流变化形成规律性的水体循环模式。河道水域会在自然作用力下完成缓慢冲刷与淤积更替，持续调整自身空间形态。水系内部各类环境要素相互制约、相互支撑，形成可以自主调节、自我维系的自然运行机制，保障水域生态状态的持续存续。

1.3 橡胶坝工程与生态水系的耦合关系

橡胶坝工程的落地建设会改变河道原有水力条件，对水系自然运行状态产生深度介入作用。坝体挡水作业会改变上下游水流流速分布，重塑河段局部水文状态，改变原有水体更新节奏。蓄水形成的静水、缓水区域，会调整局部水域空间结构，改变河道原有滩槽分布格局。人工构筑的坝体结构会阻断河道原有贯通形态，改变水系自然连通的原始状态。生态水系的自然条件也会对橡胶坝工程运行形成直接约束。河道径流大小决定坝体调控的可操作空间，水域泥沙淤积状态会影响坝体使用状态与运行寿命。沿岸生态环境的变化，会间接改变坝体周边的水力环境与受力条件。工程运行状态的调整会持续作用于水系生态环境，水系环境的动态变化也会反向影响工程运行稳定性，形成相互作用、相互制约的联动关系。

2 橡胶坝工程建设对生态水系的影响机制

2.1 工程建设对水系水文格局的影响

橡胶坝落座于河道断面，直接干预天然河道原生的水流运动体系。坝体充水成型后，上游过流断面通行条件

受限，水流行进速度持续减缓，河道原本自然交替的水体流动节奏被重新改写。天然状态下上下游水体连贯过渡的水文特征被打破，坝体上下游形成截然不同的水力条件。上游水位持续抬升，水体在河段内停留时间大幅延长，天然径流快速下泄的水文特质彻底改变[2]。下游来水完全依托坝体调控释放，河道水位与水流涨跌完全脱离自然径流演变规律。局部河段会滋生大范围缓流与涡流区域，彻底颠覆天然河道均匀的水流分布状态。人工构筑物的持续介入，让河道水文演变脱离自然气象与径流的主导作用，完成天然水文格局的整体性调整与重塑。

2.2 工程建设对水系空间形态的影响

橡胶坝施工与常态化运行，会对河道原生空间结构产生深度重塑。蓄水工况启动后，上游整体水深稳步提升，河道浅层滩地被水体完全覆盖，水域横向宽度持续拓展。天然河道深浅交错、高低起伏的水深分布格局被抹平，水域竖向结构趋于统一规整。坝体实体结构横穿河道断面，切断河道全域贯通的空间特质，完整水系被分割为多个独立的分段水域。长期蓄水淤积会改造河道基底地貌，原本凹凸多变的河床逐渐趋于平整。自然发育形成的曲折岸线，会在长期蓄水冲刷与堆积作用下逐步规整化。人工干预持续叠加，让河道自然演化形成的空间形态，逐步转变为适配坝体运行的人工规整水系结构。

2.3 工程建设对水系生态环境的影响

橡胶坝的运行模式会深度干预水系内部各类生态要素的自然运转。水流速度降低会削弱水体内部物质交换效率，水体自净能力出现适应性变动，水域理化环境产生持续性的细微调整。缓流水域规模持续扩张，偏好激流环境的水生生物失去适宜生存载体，原有栖息分布格局发生偏移。分段式坝体结构阻断河道纵向通行通道，水生生物上下游迁徙活动受到阻隔，生存繁衍的活动范围被压缩。天然水系依托季节径流更迭形成的生态节律被打乱，水生植被生长周期、生物繁育节律都会产生适应性变动。水系内部各类生态要素不断自我调整，原生稳定的生态平衡逐步拆解重构，形成适配人工工程运行的全新生态存续形态。

3 橡胶坝工程与生态水系协调发展的现存矛盾

3.1 工程建设需求与水系水文自然性的矛盾

橡胶坝工程的核心功能围绕人工控水展开，通过可控的蓄水挡水方式稳定河段水位，塑造平稳的水域水力条件。这类人工调控方式以固定水域状态为建设目标，追求河段水力参数的稳定可控。自然水系依托天然径流完成水体更替，水流涨跌、水体更新均依靠降水与流域汇流自主完成。水系水文状态始终处于动态变化状态，水流速度、水域体量随季节更替呈现规律性波动。人工控水操作固化河段水文状态，削弱水体自然更迭的动态属性[3]。人工蓄水造成的水体滞留，改变河道原本的泄水节奏，让河段水文演化脱离天然径流的驱动规律。人工干预形成的稳定水文状态，与水系动态演变的原生属性形成长期对立，构成水文维度难以消解的发展矛盾。

3.2 工程结构布局与水系空间连续性的矛盾

橡胶坝坝体横跨河道断面布设，硬质结构直接占据河道行水断面，分割完整的河道空间体系。工程配套的基座、护岸等构筑物，进一步压缩河道原生空间范围，改变河道自然形成的空间格局。天然河道具备完整的纵向通行能力与横向漫滩条件，上下游河段保持连贯的空间整体，水系内部物质与水体可以自由通行。坝体构筑物的存在阻断河道纵向贯通通道，上下游水域形成物理隔断。岸边配套设施约束河道横向拓展空间，滩地与主河道的联动结构遭到拆分。河道原本连续完整的空间体系被拆解为独立区段，水系空间的整体性与连贯性大幅下降，暴露工程空间布局与水系原生结构的适配短板。

3.3 工程运行模式与水系生态节律的矛盾

橡胶坝根据运维需求开展充水、塌坝与水位调控操作，运行节奏遵循人工运维安排。调控操作具备人为干预的主观性，可随时改变河段蓄水状态与水流条件。自然水系拥有固定的生态运转周期，水体自净、植被演替、生物活动都依托自然径流节律有序推进。水位的频繁人为调整，打乱水体自然净化的循环进程，水域环境无法按照固有节奏完成自我修复。坝体状态的频繁切换，改变栖息环境的稳定状态，水生生物的活动与繁衍进程受到干扰。水系长期形成的生态运转节奏被人工调控节奏替代，生态要素的自然演化进程受到干预，逐步形成工程运行与生态自然发展的固有冲突。

4 橡胶坝工程与生态水系协调发展的优化路径

4.1 适配水文自然规律的工程建设优化方式

橡胶坝工程建设的优化调整，需要以流域原生水文运行特征为核心依据开展设计与施工调整。工程选址工作需要充分参考河段径流变化特征、汛期行水规律以及枯水期水体补给特点，避开水文动态敏感的核心河段[4]。减少对天然行水通道的占用与改造，保留河道原本的水体流转基础条件。坝体结构形制可以结合河段水流特性做出针对性调整，优化坝袋高度、坝体跨度以及过流断面设计。弱化人工结构对水流的阻挡作用，让河道水流涨跌、水体更替能够最大程度延续自然状态。施工工艺选择低扰动作业模式，缩减土石方开挖范围，减少施工阶段对河道基底水文条件的扰动破坏。针对不同季节的水文差异预留合理的过水与蓄水空间，弱化人工控水

对天然水文演变的硬性干预。通过建设环节的全方位优化，让工程布设与河道水文演化节奏保持统一，降低人工工程对水系水文系统的扰动强度。

4.2 维系水系空间完整的工程布局优化方式

水系空间结构的完整度，直接决定水域物质传输与水系生态存续质量。工程布局优化需要立足河道整体空间格局，调整坝体布设的整体形式。摒弃传统封闭式的断面拦截模式，优化坝体通透结构，为河道水体纵向流通预留基础通道。对坝体基座、岸边防护等配套构筑物进行精简优化，缩减构筑物占用的河道空间范围。弱化人工设施对河道横向空间的约束限制，保留滩地与主河道之间的联动通行空间。针对水系分支河段、上下游衔接区段的连通需求，增设辅助过水结构，打通局部堵塞的水系流通路径。规整人工构筑物的布设范围，避免零散设施割裂河道整体空间形态。持续维护河道水域宽窄错落的自然形态，保留原生水深分布结构。通过布局层面的系统性优化，修复水系空间的连续属性，保障河道空间结构的完整性与自然属性。

4.3 贴合生态节律的工程运行优化方式

橡胶坝常态化运行管控模式，需要依托水系生态固有演化节奏完成调整升级。结合流域水生生物繁衍周期、植被生长更替规律以及水体自净循环特点，重新规划坝体启闭与水位调度方案。避开生态关键节点开展大幅度水位调整，维持栖息环境的稳定状态。汛期适度放开坝体过流能力，恢复河道自然泄水状态，让水体完成充分更替与循环净化。枯水期依据生态蓄水需求微调坝体高度，维持适宜的水域水深与水域面积，保障基础生态用水供给。细化日常运行调度频次，减少无意义的坝体状态切换，降低人工操作对水域生态环境的频繁干扰。结合季节生态特征调整运行周期，匹配水系长期形成的生态演化规律。用精细化的运行管控替代固化人工调度模式，削弱工程运行对水系生态节律的干扰，维持生态系统稳定演化的基础条件。

4.4 构建工程与水系动态协同的适配体系

工程与水系的长效协调发展，需要依托全流程、动态化的适配体系作为支撑。统筹工程前期建设、中期运行以及后期养护的全部环节，建立完整的适配管控逻辑。结合水系逐年径流变化、空间形态演变以及生态要素更新的动态特征，持续调整工程运维标准与调控方案。针对水文、空间、生态各个维度的适配短板，制定针对性的动态优化策略，及时消解人工工程与自然水系的发展冲突。建立水系状态动态研判机制，捕捉水域环境的细微变化，为工程调控优化提供基础依据。完善工程养护作业模式，根据水系演化特点调整养护频次与养护内容，保障工程设备始终处于良好运行状态。平衡工程供水、蓄水的功能需求与水系自然发展需求，搭建人工工程与自然水系相互适配、良性互动的发展模式[5]。推动工程功能发挥与水系生态保护深度融合，实现河道人工治理与自然演化的共生发展。

结束语

橡胶坝工程对河道水文格局、水域空间形态与水系生态环境具备多层次的干预作用，人工建设与自然水系在水文动态、空间连通、生态节律方面存在明显适配冲突。从工程建设、布局规划、运行调度等维度开展精细化优化调整，可以有效削弱人工设施对自然水系的扰动影响。完善全流程动态适配机制，能够持续弥合工程功能需求与水系生态发展的差异，助力水利工程适配河道自然演化节奏，实现水系治理与生态保护的平衡发展。

参考文献

[1]张振勇.橡胶坝工程在幸福河湖建设中的作用[J].河南水利与南水北调,2023,52(12):8-9.

[2]陈畅.水利建设中橡胶坝工程质量控制及其围堰导流施工技术应用[J].地下水,2022,44(6):263-265.

[3]焦鹏.橡胶坝技术在水利工程中的应用[J].橡塑资源利用,2025(1):19-22.

[4]张世文.南阳市白河第三级橡胶坝重建工程设计[J].河南水利与南水北调,2026,55(4):26-27.

[5]毛玉增.水利枢纽工程中橡胶坝施工工艺研究[J].珠江水运,2024(14):85-87.