水利规划与设计中的生态流量保障机制研究

陈夫超
新疆伊犁州水利电力勘测设计研究院有限公司　新疆　伊犁哈萨克自治州　835000

摘　要：生态流量是维系河流生态系统结构与功能完整性的关键水文变量，其在水利规划与设计中的有效保障直接关系到水资源开发利用的可持续性。本文从生态流量的科学内涵出发，深入分析当前水利规划实践中生态流量保障面临的制度缺位、技术分歧、目标冲突与运行脱节等现实制约，在此基础上构建了涵盖法规标准、规划程序、工程设计和调度管理全链条的生态流量保障机制框架。研究提出，生态流量保障不应作为规划完成后的附加环节，而应作为前置性约束嵌入水资源配置的全过程，通过目标设定—方案优化—设施配套—调度执行—监测反馈的闭环管理体系实现有效落地。本文进一步探讨了规划设计中保障生态流量的具体路径及机制的支撑条件，以期为完善水利规划生态影响评价体系和推动绿色水利发展提供理论参考。

关键词：生态流量；水利规划；水资源配置；生态调度；保障机制

引言

河流是生态系统核心载体，其水文节律变化维持着栖息地与物种繁衍。然而，传统水利规划长期以水资源开发利用为主导，侧重供水、发电等人类需求，致使生态需水被边缘化为“剩余水量”。大量工程改变了径流格局，引发河道脱水、湿地萎缩及生物多样性下降等严重生态问题。在生态文明建设背景下，如何在水利规划中有效保障生态流量成为重大课题。该问题具有复合性与跨学科特征：首先是科学问题，涉及生态水文指标（如流量大小、频率、时机）的量化确定；其次是技术问题，需在工程布局、规模论证及调度方案中预留生态空间与通道；最后是制度问题，要求将生态流量纳入水资源配置的法律法规与规划体系。因此，必须统筹科学量化、技术实现与制度保障，以实现水资源开发与生态保护协调发展。

1 生态流量的科学内涵与规划定位

1.1 生态流量概念的演进与内涵层次

生态流量概念历经从“枯水/最小流量”到“环境/生态流量”的认知深化。早期侧重维持河道不断流的“生存底线”，随着河流生态学发展，人们认识到流量大小、频率、时机、持续时间及速率等全要素水文情势对生态过程至关重要。目前公认的定义是：为维持水生态系统健康及支撑人类福祉，在特定时空需保留或提供的流量及其过程。其包含三个层次：一是防止干涸和物种灭绝的“最小生态流量”临界阈值；二是保障多数水生生物完成生命周期的“适宜生态流量”最优范围；三是模拟天然节律变化的自然水文情势，包括洪水脉冲。在水利规划中，通常将最小生态流量作为强制性底线，将适宜生态流量作为推荐性目标，以实现生态保护与水资源利用的平衡。

1.2 生态流量在水利规划中的角色转变

在传统水利规划中，生态流量长期被置于从属地位—— 在完成供水、发电等“刚性”需求分配之后，将剩余水量视为生态用水。这种“剩余水量”逻辑的本质是将生态需求视为弹性可压缩的变量，其水量和水位往往在干旱年份被优先挤占。近年来，随着最严格水资源管理制度的实施和“三红线”（水资源开发利用控制、用水效率控制、水功能区限制纳污）控制指标的建立，生态流量开始从“软约束”走向“硬约束”[1]。在规划定位上，生态流量应当从“可选项”上升为“前置项”—— 即在确定水资源开发规模和工程调度方案之前，必须先明确河流的生态需水底线，并以此作为可利用水量的上限控制条件。这一角色转变是生态流量真正得到保障的认识基础。

1.3 生态流量与其他规划目标的协调关系

生态流量保障并非以牺牲经济社会发展为代价，而是在水资源的多功能属性中寻求最优平衡。水利规划通常承载供水安全、能源生产、防洪减灾、航运畅通等多重目标，生态流量与这些目标之间既有矛盾的一面，也有协同的一面。在干旱季节，生态流量与供水需求之间的竞争最为突出；在汛期，生态洪水过程与防洪安全之间存在张力。但同时也应看到，维持合理的生态流量有助于河流自我净化功能的发挥，可减少水污染治理的外部投入；健康的河岸带植被能够增强河岸稳定性，间接有利于防洪；鱼类的可持续种群为渔业资源提供基础。因此，规划设计的任务不是将生态流量与其他需求简单

对立，而是通过科学配置和精细调度，在多元目标之间寻找帕累托改进空间。

2 水利规划与设计中生态流量保障的现实制约

2.1 生态流量确定方法的技术分歧与数据短板

生态流量计算方法的多样性和适用条件的不明确，是规划设计中难以形成统一技术依据的重要原因。目前国际上常用的方法可归为水文学法（如Tennant法、流量历时曲线法）、水力学法（如湿周法、R2CROSS法）、栖息地模拟法（如PHABSIM）和整体分析法（如BBM法）四大类。水文学法操作简便但生态机理薄弱，栖息地法生态依据充分但数据需求量大且建模复杂，整体分析法综合性强但实施成本高昂。不同方法对同一河流的计算结果可能相差数倍，而规划项目的时间与经费约束往往使得采用何种方法缺乏严格的论证。更根本的制约在于基础数据不足——多数中小河流缺乏长序列水文监测资料和生物栖息地调查数据，使生态流量的计算缺乏可靠的参数率定基础，导致规划中采用的生态流量值往往凭借经验判断，缺乏科学支撑。

2.2 规划目标多重冲突中的生态权重缺失

水利规划是一个多目标决策过程，不同目标通常由不同政府部门代表和推动，其权重分配本质上反映的是社会价值选择。在当前的发展阶段，供水安全和经济利益在规划决策中仍占据压倒性优势，生态效益由于缺乏直接的经济量化和考核压力，往往在目标冲突中被边缘化[2]。在规划方案比选阶段，优化算法通常以净效益最大化为目标函数，生态约束仅作为边界条件处理——这种处理方式决定了生态流量只能在不显著影响经济效益的方案空间中被动适应，而非主动引导规划方向。除非将生态流量保障程度纳入规划方案的否决性评价指标，否则其在多目标博弈中始终处于弱势地位。

2.3 规划与调度运行之间的制度性脱节

水利规划的成果主要体现为工程建设规模和设计运行参数，而生态流量的实现最终依赖于水库的实时调度操作。两者之间存在显著的制度性鸿沟。规划设计阶段给出的生态流量值往往是一个年平均值或特定时期的单一数值，缺乏对调度规则的具体指引——比如在不同来水条件下如何动态调整下泄流量、在满足生态最小流量的同时如何兼顾流量过程的丰富性。而在实际的调度运行中，水库管理单位以发电效益最大或供水保证率最高为主要目标，生态流量约束缺少法律效力和执行监督，往往在旱季被突破。更为棘手的是，许多已建水利工程未设置专门的生态流量泄放设施，在低水位运行时即使有调度意愿也难以释放足够的生态水量。这种“规划定值、调度无视”的状态严重削弱了生态流量的实际保障效果。

2.4 监督考核与责任追究机制的缺失

即便规划文件中明确规定了生态流量要求，在项目运行期的监管环节仍缺少有效的监督考核机制。生态流量下泄情况尚未被纳入常规的水资源监测体系，流域管理机构缺乏实时掌握下泄流量的技术手段和执法权限。对于不按规划要求泄放生态流量的行为，法律规定的处罚条款模糊且执行不力。责任主体不明确——是规划设计单位负责，还是项目建设单位负责，抑或运行管理单位负责？制度上的模糊使得生态流量保障成为“谁都该管、谁都不管”的真空地带。从激励角度看，保障生态流量缺乏正向激励，而违规下泄的短期收益可观，理性经济人逻辑下的行为选择必然偏向后者。

3 生态流量保障机制的体系化构建

3.1 法规制度与标准体系的完善

构建有效的生态流量保障机制，首先需要在顶层制度设计层面确立刚性约束。在法律层面，应当在《水法》和《水污染防治法》中明确生态流量的法定地位，规定河流生态流量底线必须纳入流域综合规划和水利工程可行性研究报告，并作为项目审批的前置条件。在标准层面，应加快制定全国统一的生态流量计算技术导则，针对不同类型河流（常年性、季节性、间歇性）和不同保护目标（珍稀物种、景观、水质改善）分别规定推荐的计算方法体系和参数选取原则，减少方法选用上的任意性[3]。同时，建立生态流量保障标准的动态调整机制——根据水文系列数据延长、生态监测资料积累和气候变化趋势，定期对已确定的生态流量值进行复核修正。

3.2 规划编制程序中的生态嵌入机制

将生态流量保障融入水利规划编制的全流程，是落实保障机制的关键环节。在规划启动阶段，应开展流域生态需水基础调查，明确重点保护目标和敏感期，作为后续方案制定的约束条件。在方案拟定阶段，应在水资源供需分析和多方案比选中将生态流量作为固定约束而非可变参数，即所有备选方案必须首先满足生态流量底线，然后再比较经济和社会效益。在规划环境影响评价中，应将对生态流量保障程度的定量评估列为专项内容，分析不同规划方案对生态流量的年际和年内变化影响。在规划审批环节，将生态流量保障措施的明确性和可行性作为审批决策的重要依据。此外，应编制专门的生态流量泄放设计方案作为规划报告的独立章节，明确工程运行期的下泄调度规则。

3.3 工程设计中生态流量泄放设施的技术保障

生态流量的物理实现依赖于工程设计层面的技术配套。对于新建水库和引水枢纽，应在工程设计阶段将生态流量泄放设施与发电引水系统统筹考虑，避免出现“有库无水可放”的尴尬局面。常见的工程措施包括设置专用生态泄水孔、安装生态机组、增设旁通管等，设计时需核算在不同库水位和运行工况下的泄流能力是否满足生态流量全过程需求。对于已建工程，应通过技术改造增设生态泄放设施，并安装在线流量监测设备。在坝下减脱水河段的恢复设计中，还应考虑泄放水量的入渗损耗和沿程衰减，确保到达重要保护河段时仍能满足生态目标。设施设计的技术保障是将生态流量从数字指标转化为实际水流的关键桥梁。

3.4 水库调度中生态流量的动态实现路径

生态流量的保障最终要在水库实时调度中落地，这就需要在常规调度规则中嵌入生态约束。具体而言，应在水库调度图中划定生态流量区，根据水库蓄水量和来水预测动态调整下泄流量—— 丰水期维持较高的生态流量以模拟自然洪水过程，枯水期保障最小流量但尽量减少断流持续时间[4]。对于梯级水库群，应建立联合调度方案，通过补偿调节使下游河段的生态流量在多库协同下得到保障。调度方案应明确不同来水频率（丰水年、平水年、枯水年）对应的生态流量下泄计划，并将其与供水计划、发电计划同等级别列入年度调度预案。在实时调度中，当生态流量与供水发生冲突时，应建立分级响应机制—— 在一般干旱条件下按比例压缩各类用水（含生态基流按同比例压缩但不得低于绝对下限），在极端干旱时启动应急补水预案，而不是让生态用水独自承担全部缺口。

3.5 监测评估与适应性反馈机制

保障机制的有效运行离不开对执行效果的监测和反馈。应在生态流量泄放点安装实时监测设备，数据接入流域水资源监控平台，实现下泄流量的在线监视和预警—— 当实际流量低于规定值时系统自动报警并记录违规信息。定期开展生态流量保障效果的评估，结合河道水生生物监测和水质变化数据，综合判断已设定的生态流量值是否达到了预期的生态保护效果。适应性管理是生态流量保障的内在要求，评估结果应当反馈至规划方案和调度规则的修订环节，形成“监测—评估—反馈—调整”的闭环管理。这种动态适应性机制能够弥补初始规划认知的不足，使生态流量保障水平在实践中持续优化。

结束语

生态流量保障是水利规划与设计回应生态文明建设要求的关键命题，其本质是水资源开发利用方式从单一经济导向向人水和谐共生的根本性转变。本文的分析表明，有效的生态流量保障不能寄希望于规划文本中的原则性表述，也不能依赖某一环节的局部优化，而是需要构建从法规标准、规划程序、工程设施到调度运行、监测反馈的全链条、闭环式保障机制。在这一机制中，生态流量从“可协商的变量”转变为“不可突破的底线”，从规划阶段的抽象数值转化为调度运行的具体操作指令，并通过持续监测和评估实现动态改进。实现这一转变，既需要技术层面的方法完善和设施配套，更需要在制度设计、部门协同和社会参与方面进行系统性创新。水利规划与设计的每一次改进，都是向河流健康迈出的一步，而生态流量保障机制的建立正是其中最为关键的一步。

参考文献

[1]董哲仁,张晶,赵进勇.河流生态流量理论与计算方法研究进展[J].水利学报,2022,53(6):651-663.

[2]王浩,王建华,胡鹏.我国水资源配置中的生态需水保障策略[J].中国水利,2021(15):1-6.

[3]陈敏建,王立群,李翀.生态流量与水资源开发利用红线的协调机制研究[J].水科学进展,2022,33(4):547-557.

[4]杨志峰,崔保山,尹心安.河流生态修复中的水文情势恢复方法[J].生态学报,2021,41(12):4613-4624.