

水库泥沙淤积问题的传统治理思路与新理念探索

展宏达

第八师石河子市水利工程管理服务中心 新疆 石河子 832000

摘要: 水库作为现代水利工程体系的核心组成部分,在防洪、供水、灌溉、发电及生态调节等方面发挥着不可替代的作用。然而,泥沙淤积作为水库运行过程中普遍存在的“顽疾”,严重威胁其功能寿命与综合效益,已成为全球性水管理难题。本文系统梳理了以“拦、排、清”为核心的传统泥沙治理思路,深入剖析了其在可持续性、生态影响和经济成本等方面的局限性。在此基础上,文章重点探讨了以“全流域系统治理”、“泥沙资源化利用”、“仿自然动态平衡”和“智慧化精准管理”为代表的新理念。研究表明,未来水库泥沙治理必须超越单一工程思维,转向流域尺度、多目标协同、人水和谐的综合治理范式,通过技术创新与制度创新的深度融合,实现从“被动防御”到“主动适应”乃至“价值创造”的根本性转变,为保障国家水安全和推动生态文明建设提供坚实支撑。

关键词: 水库泥沙;淤积治理;传统思路;新理念;全流域治理;智慧水利

引言

自古以来,人类逐水而居,兴水利、除水害。进入现代社会,水库大坝作为调控水资源时空分布的关键工程,极大地提升了人类驾驭自然的能力。然而,硬币总有两面。河流携带的泥沙在水库这一相对静水环境中迅速沉降,形成难以逆转的淤积,如同“动脉硬化”般侵蚀着水库的生命力。在中国,这一问题更突出,三门峡水库曾因泥沙几近丧失功能,小浪底水库每年需巨资调水调沙,长江上游梯级水库群也面临泥沙累积压力。泥沙淤积削减库容、削弱调蓄能力,还带来诸多危害,威胁国家水、能源和生态安全。长期以来,工程界以“工程对抗”治理泥沙淤积,但随着生态文明理念深入,传统思路弊端显现。在此背景下,学术界和工程界探索新治理理念。本文将回顾传统治理思路,反思局限,阐述新兴理念内涵、技术路径与应用潜力,为构建新时代治理体系提供参考指引。

1 传统治理思路:“拦、排、清”三位一体的工程对抗范式

1.1 “拦”——源头控制与拦截

“拦”的思路着眼于泥沙的源头,试图在泥沙进入水库之前就将其拦截或减少。这主要包括两大类措施:

(1) 上游水土保持工程:这是最根本、最长远的“拦”沙策略。通过在流域上游实施植树造林、封山育林、修建梯田、谷坊、淤地坝等生物与工程措施,增加地表植被覆盖度,减缓坡面径流速度,从而有效减少土壤侵蚀和入河泥沙量。例如,中国在黄土高原地区大规模实施的退耕还林(草)工程和淤地坝建设,显著降低了黄河输沙量。这种措施具有生态效益好、可持续性强的优

点,但其见效周期长,且受气候、地质等自然条件制约较大,短期内难以解决已建水库的淤积问题。(2) 库尾沉沙池/拦沙坝:对于含沙量特别高的河流,在水库入口处设置沉沙池或修建低矮的拦沙坝,利用水流扩散、流速骤减的原理,使大部分粗颗粒泥沙在进入主库区前先行沉降。三门峡水库初期就曾尝试过此类措施。这种方法针对性强,能快速减少进入主库的泥沙量,但需要占用大量土地,且沉沙池本身会很快淤满,需要频繁清淤,维护成本高昂。

1.2 “排”——异重流排沙与泄空冲沙

“排”是传统思路中应用最广泛、技术最成熟的手段,其核心是利用水流动力学原理,将已进入水库的泥沙重新带出库外。(1) 异重流排沙:当高含沙水流(密度大于清水)进入水库后,会潜入库底形成一股沿底部向坝前运动的浑水流,即异重流。通过科学调度,在异重流到达坝前时,及时开启位于水库底层的排沙孔(如底孔、排沙洞),可以将高浓度的浑水直接排出库外,实现“浑水出库、清水入库”^[1]。小浪底水库的调水调沙就是异重流排沙的经典案例,通过人造洪峰,有效冲刷了下游河道并带走了部分库区泥沙。该方法效率高、成本相对较低,但对水库调度精度要求极高,且依赖于特定的水沙条件,适用范围有限。(2) 泄空冲沙:在枯水季节或非汛期,将水库水位降至死水位以下甚至完全放空,利用较大的下泄流量和流速,对库尾和坝前的淤积体进行冲刷。这种方法冲刷力量大,效果直观,但代价巨大。它意味着水库在此期间完全丧失兴利功能(如供水、发电),对区域经济社会运行造成严重影响,且频繁泄空可能对下游生态系统产生剧烈扰动。

1.3 “清”——机械疏浚与人工清淤

当“拦”与“排”无法完全解决问题时，“清”便成为最后的兜底手段。这主要指采用机械设备对库区淤积的泥沙进行人工挖掘和清除。（1）机械疏浚：使用挖泥船、抓斗、吸泥泵等设备，在库区进行水下作业，将淤泥挖出并输送至指定地点。这种方法可以直接、定量地恢复库容，适用于局部严重淤积区域。然而，其成本极其高昂，每立方米泥沙的疏浚费用远超新建水库的单位库容投资。此外，疏浚作业效率低、周期长，且会产生二次污染（如扰动底泥释放污染物），处置疏浚物本身也是一个难题。（2）干地清淤：结合水库检修或泄空，对露出水面的淤积体进行陆上挖掘和运输。这种方式虽然避免了水下作业的复杂性，但同样面临功能丧失和成本高昂的问题，且仅适用于死水位以上的区域。

2 传统思路的局限性反思

尽管“拦、排、清”三位一体的传统思路在特定历史时期和具体工程中取得了一定成效，但其固有的局限性在新时代背景下愈发凸显：（1）高成本与不可持续性：“排”和“清”都是高能耗、高投入的对抗性措施，长期运行维护费用惊人，经济上难以为继。特别是机械疏浚，其成本往往让管理者望而却步。（2）生态负外部性显著：泄空冲沙、大规模疏浚等措施会剧烈改变下游水文情势，破坏水生生物栖息地，导致生物多样性下降。上游大规模水土保持工程若规划不当，也可能改变局地小气候和生态系统。（3）系统割裂，治标不治本：传统思路多聚焦于水库本身，将水库视为一个孤立的工程单元，忽视了泥沙问题本质上是流域尺度的系统性问题。它未能有效协调上游、库区、下游之间的水沙关系，往往是“头痛医头，脚痛医脚”。（4）被动响应，缺乏韧性：传统措施多为被动应对已发生的淤积，缺乏对泥沙运动全过程的主动引导和适应性管理，面对气候变化带来的极端水沙事件，其脆弱性暴露无遗。

3 新理念探索：迈向系统、协同与价值创造的综合治理

面对传统思路的困境，国际社会和国内学界开始倡导一种全新的治理哲学：从“对抗泥沙”转向“管理泥沙”，从“工程中心”转向“系统中心”，从“成本负担”转向“资源价值”。这一深刻的范式转变催生了四大相互关联、相辅相成的核心新理念。

3.1 全流域系统治理理念

该理念从根本上认识到，水库泥沙问题并非孤立的工程病灶，而是整个流域自然-社会复合系统失衡的外在表征，因此，任何有效的解决方案都必须跳出水库自身

的物理边界，在全流域的宏大尺度上进行统筹谋划与协同行动。其核心思想在于牢固树立“山水林田湖草沙”是一个生命共同体的整体观，打破行政区划和部门壁垒，通过跨区域、跨部门的协同治理，实现流域内水、沙、生态等要素的优化配置与和谐共生。在这一理念指导下，治理路径呈现出清晰的上下游联动特征：在上游，不仅要继续加强生态保护与修复，精准实施水土保持措施以减少入河泥沙，更要着眼于涵养水源、提升水质，实现从单纯“拦沙”到综合生态服务功能提升的转变；在中游，即水库所在区域，则需优化水库群的联合调度策略，灵活运用“蓄清排浑”、“蓄水拦沙”等模式，对进入水库的水沙进行科学的时空再分配，最大化其综合效益；在下游，则要注重维持河道的基本生态流量和必要的输沙能力，防止因上游过度拦截泥沙而导致河床下切、海岸侵蚀等新的生态灾难^[2]。长江流域近年来大力推行的“共抓大保护、不搞大开发”战略，正是全流域系统治理思想的生动实践。通过建立和完善流域生态补偿机制，用经济杠杆激励上游地区保护生态环境，从而为下游的水库群减轻泥沙压力，实现了保护者受益、使用者付费的良性循环。

3.2 泥沙资源化利用理念

此理念彻底颠覆了长期以来将淤积泥沙视为无用废物甚至环境负担的传统观念，转而将其定位为一种潜在的、可再生的宝贵资源。通过材料科学、环境工程等领域的技术创新，探索将水库淤泥转化为高附加值产品的可行路径，从而变废为宝，化害为利，构建起一条“治理-利用-反哺”的可持续产业链。经过适当处理的水库淤泥，因其物理化学性质相对稳定，完全可以作为优质的原材料用于制砖、生产水泥、烧制陶粒或充当路基填料，荷兰、日本等发达国家在这方面已积累了丰富的成功经验。此外，疏浚出的大量泥沙还可用于土地整治与生态修复工程，例如吹填造地、修复受损的滨海滩涂、营造人工湿地，或是对废弃的矿山进行复垦，此举不仅能妥善解决泥沙的最终出路问题，还能同步改善区域生态环境，实现一举两得。对于那些富含有机质和多种微量元素的淤泥，在经过严格的无害化处理后，还可以作为高效的土壤改良剂或有机肥料，用于改良贫瘠的耕地，助力农业绿色发展。更有前瞻性的探索则着眼于从淤泥中提取磷、稀土等有价值元素，或将其加工成新型环保功能材料，如高效吸附剂或催化剂载体，进一步提升其资源价值。这种将治理成本转化为潜在收益的模式，为泥沙治理注入了强大的内生经济动力，使其从一项沉重的财政负担转变为一项具有市场前景的绿色产业。

3.3 仿自然动态平衡理念

这一理念主张尊重并顺应河流固有的自然属性和演变规律,摒弃过去那种试图完全控制和改造自然的强硬姿态,转而通过模拟和引导自然过程,帮助水库-河道系统趋向一种新的、可控的、富有韧性的动态平衡状态,而非不切实际地追求绝对的“零淤积”^[3]。其具体实践体现在多个层面:例如,通过科学设计和调度,定期制造可控的人造洪峰,模仿自然洪水的脉冲过程,既能有效冲刷库区和下游河道的淤积物,又能为依赖洪水信号进行繁殖的鱼类等水生生物提供关键的生态触发条件,小浪底水库的调水调沙调度正是这一理念的成功典范。在水库取水口的设计上,采用多功能分层取水技术,可以根据不同时段的用水需求和生态目标,灵活调度不同高程的水体,这不仅能够保证供水水质,还能辅助实现排沙和生态流量保障的双重目的。同时,在水库和大坝的规划设计中,主动融入生态要素,如建设近自然的鱼道、营造多样化的栖息地,为洄游鱼类等生物提供必要的通道和生存空间,从而最大限度地维持河流生态系统的纵向连通性与整体完整性。这种强调人水和谐、寻求工程效益与生态效益最大公约数的治理路径,显著增强了水库系统的生态韧性和长期可持续性。

3.4 智慧化精准管理理念

智慧化精准管理理念为水库泥沙治理提供了前所未有的技术赋能。其核心目标是构建一个覆盖“天空地”一体化的智能感知网络和决策支持系统,实现对泥沙从产生、输移到淤积全过程的实时、精准、高效管理。具体而言,通过构建高保真的流域-水库数字孪生体,集成来自气象卫星、地面水文站、水下传感器等多源异构数据,可以实现对全流域水沙情势的全景式、动态化、可视化监测与模拟。在此基础上,利用机器学习等先进算法,基于海量的历史数据和实时信息流,AI驱动的智能调度模型能够自动寻优,生成在满足防洪、供水、

发电、生态等多重约束条件下,排沙效率最高或淤积速率最低的水库调度方案^[4]。与此同时,无人机和无人船等智能装备的应用,也极大地革新了传统的监测手段。无人机可以高效完成库区大范围的地形测绘和岸线变化巡查,而搭载了多波束声呐等先进设备的无人船,则能对水下地形和淤积量进行厘米级精度的测量,彻底改变了过去依赖人工、效率低下、精度不足的局面。智慧化精准管理不仅是实现上述三大新理念不可或缺的技术基石,更是推动水库泥沙治理从经验主义走向科学化、从粗放式走向精细化的关键跃迁。

4 结语

水库泥沙淤积是一个复杂的系统性难题,其治理之道亦需与时俱进。传统的“拦、排、清”工程思路虽功不可没,但其高成本、高生态代价和系统割裂的弊端已难以适应新时代高质量发展的要求。以全流域系统治理、泥沙资源化利用、仿自然动态平衡和智慧化精准管理为核心的新理念,为我们描绘了一幅更具韧性、更富智慧、更可持续的治理蓝图。这条新路,不仅是技术路径的革新,更是发展理念的升华——它要求我们从征服自然转向顺应自然,从索取资源转向创造价值,最终实现人水和谐共生的美好愿景。这既是保障国家水安全的战略需要,也是建设美丽中国的必然选择。

参考文献

- [1]余欣,王仲梅,来志强,等.水库淤积风险与治理研究[J].水利发展研究,2026,26(1):50-58.
- [2]孙书琪,董占地,王志国.新疆和田玉龙喀什水库排沙效率影响因素研究[J].水电能源科学,2025,43(12):73-77.
- [3]刘保卫,丁凡.陕西省三门峡库区泥沙淤积分析[J].黑龙江水利科技,2026,54(1):165-168.
- [4]开鑫.水库泥沙淤积机理及清淤策略分析[J].工程学研究与应用,2025,6(16).