

水文水资源管理在水利工程中的有效应用

田雨

河南省许昌水文水资源测报分中心，河南许昌，461000；

摘要：水文水资源管理是水利工程体系的重要组成，其科学水平的好坏直接影响到水资源开发利用的效率和可持续性。本文从现代水文水资源管理技术在水利工程全周期应用框架出发，对立体化监测体系、精细化模拟技术、智能化决策系统在水利工程的规划设计、建设施工以及运行维护等阶段如何结合使用展开论述。研究结果表明，以多源信息融合、模型仿真推演、人机协同决策为特点的现代化管理方法，可以明显提高水利工程在资源配置、风险防控、综合效益等各方面的工作。最后，针对目前所面临的技术瓶颈和管理挑战，本文从基础理论创新、技术融合应用、体制机制完善等角度提出了未来发展的建议。

关键词：水文监测；水资源配置；水利工程；智慧决策

DOI：10.69979/3060-8767.26.02.021

水利工程是支撑经济社会发展的基础性基础设施，它的规划建设、运行管理水平直接关系到水安全保障能力以及水生态健康状况。水文水资源管理对水循环过程进行系统的观测、分析、预测和优化调节，给水利工程提供科学依据和技术支撑。在全球气候变化与人类活动双重影响越来越明显的情况下，传统水文水资源管理模式对于极端事件频发、用水竞争加剧等新挑战已经暴露出很多不足。因此必须要在深刻认识水文规律的基础上，实现管理理念的创新和技术的进步。本文主要目的在于系统整理出现代水文水资源管理技术体系，并研究该体系在水利工程中的创新应用模式，给水利工程综合效能的提升提供理论依据和实践指导。

1 现代化水文监测技术体系的构建与应用

1.1 多维立体监测网络建设

当代水文监测已经形成了天、空、地三方面立体观测的局面。卫星遥感技术，尤其是合成孔径雷达和高光谱成像技术，实现了对大范围流域地表水文要素全天候、周期性的监测，可以很好地获得土壤湿度、水体范围、积雪覆盖等关键参数。无人机平台装有各种传感器，给局部重点区域和突发水事件应急提供灵活高效的高分辨率监测能力。地面监测网络采用自动化、智能化水文气象站、流量监测设备、水质在线分析仪等设备，长时间得到点尺度上准确的资料。北斗卫星导航系统高精度定位、形变监测的功能，又提高了重要水利设施安全状态的实时感知能力^[1]。多维、多尺度的协同观测体系，给水利工程建设及运行赋予了时空连续、要素完备的数据根基。

1.2 多源数据融合与质量控制

海量异构监测数据的价值挖掘要依靠高质量控制和深度融合的技术。对原始数据中噪声、异常、缺失等问题要建立标准化的质量控制流程，用统计分析、物理机制检验等方法综合对数据进行清洗和修复。数据融合技术利用时空插值、数据同化等方式把卫星遥感反演得到的面状信息、无人机获取的高分辨率信息和地面站点的点状实测信息融合起来，得到时空连续、精度更高的水文要素场。以卡尔曼滤波、集合卡尔曼滤波等算法为基础的数据同化技术，可以改善水文模型的状态变量和参数，提高模拟预报的准确性。在流域范围内创建统一的数据中台，把气象、水文、地质、生态、社会经济等各方面的信息整合起来，形成标准的数据资源池，是开展重大水利工程科学决策的前提。

2 水文水资源模拟与系统优化技术

2.1 分布式水文模型与水动力模型

基于物理机制的分布式水文模型，已经成了分析复杂下垫面条件下水文过程的主要手段。该类模型把流域单元划分得比较细，考虑地形、土壤、土地利用等下垫面要素的空间异质性，可以模拟降水入渗、产流、汇流等水文循环过程，评价气候变化和人类活动对水资源形成和转化的影响。水力学中一维、二维、三维水动力模型被广泛地用于河道整治、洪水演进模拟、溃坝分析等。HEC-RAS、MIKE、Delft3D 等商业或者开源的模型，可以对复杂的边界条件下的水流运动进行高精度的模拟，给堤防的设计、蓄滞洪区的规划等提供直接的技术支持。当前的发展趋势是构建气象、水文、水动力、水质、泥沙的集成模型系统，用数字孪生流域的形式实现

物理流域的虚拟映射,为水利工程调度提供“四预”能力。

2.2 水资源多目标协同配置与优化调度

水资源系统包含供水、灌溉、发电、防洪、生态、航运等多重目标,各种目标之间存在竞争关系。因此水资源的优化配置和水利工程的联合调度属于典型的多目标、多约束的复杂系统决策问题。以非支配排序遗传算法、强度帕累托进化算法为代表的多目标进化算法,可以求出这类问题的帕累托最优前沿,揭示不同目标之间的权衡关系。在此基础上,用多属性决策理论来决定满足的方案。系统优化方法在水库群联合调度、跨流域调水工程运行中起到关键的作用,利用建立起来的系统化仿真优化模型,在满足各种约束条件的基础上,可以达到最大化整体综合效益的目的^[2]。经过实践证明,科学的优化调度可以大大提高水资源系统的供水保证率、发电效益,还可以兼顾下游的生态用水需求,实现经济、社会、生态效益的协调统一。

3 智能决策支持系统与风险管理

3.1 数字孪生驱动的智慧管理平台

数字孪生技术给水利工程精细化、智能化的管理开辟了新的道路。该技术把建筑信息模型、地理信息系统、物联网传感网络、核心机理模型、数据分析算法融合在一起,创建起与物理实体动态同步、双向交互的虚拟映射系统。在工程管理实践当中,这类平台可以实时地汇集大坝结构安全、库区水文气象、流域用水需求等诸多动态的数据,并且促使水动力学、结构力学这些专业模型实施即时的仿真以及预测性推演。这就使管理人员可以对工程运行状态做持续的健康诊断、异常辨识、风险预警。大型水利枢纽依靠数字孪生综合管控系统,可以有效地实现防洪、兴利、生态等多目标调度,并且可以模拟预演极端灾害情景,从而大大提高决策的科学性、前瞻性、主动性。

3.2 水文风险的精细化量化评估

在全球气候变暖的大背景之下,极端水文事件发生的频率和强度呈上升趋势,因此系统性风险管理就变得非常重要。风险量化就是对灾害形成链条进行分析,考虑致灾因子发生概率、承灾体的空间暴露程度和固有的脆弱性水平。利用先进的概率统计的方法,例如 Copula 函数,可以刻画暴雨、洪峰等多种致灾因素联合分布的关系;借助蒙特卡洛等随机模拟方法,就可以得到大量的符合统计规律的可能极端事件情景集。这些工作给科

学复核水利工程设计标准、客观评价其目前和未来防洪抗旱能力提供定量分析的基础和依据。

3.3 基于预警预报的应急响应体系

建立高效的应急管理体系是风险防控的最后一环,它的实现要依靠准确的预警预报和科学的决策调度。现代预警系统把气象数值预报和分布式水文模型有机地结合起来,发展耦合预报技术,目的在于提高山洪、中小河流洪水和城市内涝等灾害的预见期,同时提高预报的时空精度。应急响应时的地理信息系统、物联网实时监测、多源信息融合、智能路径优化算法组成了指挥调度平台的主要部分。该类系统可以动态地评估灾情,并可视化展示出来,可以智能地生成出人员避险转移和抢险资源调配的最佳方案,极大地提高了灾害应对的协同效率和处置效果,最大程度地保障了人民生命财产安全^[3]。

4 水利工程规划阶段的水文水资源论证

4.1 水资源长期供需态势与承载阈值分析

规划阶段的水资源论证为工程合理性打下基础。论证工作要系统地评价规划水平年在气候变化、流域用水演变等众多因素共同影响下的来水情势,科学预测区域生活、生产、生态的需水总量及过程。根据分布式水文模型和未来气候情景,可以对水资源量的长期变化趋势进行预测。同时需要定量评估区域水资源承载力,确定工程取水量的上限,保证开发利用强度不超过水资源可持续利用阈值,论证时需要全面考虑丰水期、平水期、枯水期等不同来水频率情况下供需平衡的状态。

4.2 基于水文计算的关键工程参数确定

水文分析和计算是确定工程规模及主要参数的主要技术支撑。对长系列历史水文资料进行频率分析,可以得到满足设计标准的设计洪水和径流系列。在此基础上进行径流调节计算,就可以科学地确定水库的正常蓄水位、死水位、防洪库容、兴利库容等主要工程参数。施工期设计洪水、水库回水、泥沙淤积等专项水文计算直接关系到工程枢纽布置、施工导流方案和水库淹没处理范围,是工程设计不可缺少的输入。

4.3 多目标协同的选址与规模决策支持

工程选址和规模的最终确定要依靠多方案的综合比较。用水动力、泥沙、水质等数学模型来模拟不同的工程布局方案对上下游洪水位、流场结构、河床演变、生态环境的综合影响。建立包含经济、社会、生态环境等各方面指标的评价指标体系,用多目标决策分析的方

法,对各个方案效益、成本、风险及影响做量化权衡。最后从技术可行、经济合理、社会可接受、环境影响等各方面综合考虑,选择出综合效益最大、风险最小的推荐方案。

5 水利工程建设与运行期的水文水资源管理

5.1 施工期的水文安全保障

在工程建设的时期,水文预报和实时监测对保证施工的安全起着非常重要的作用。对施工导流、围堰防护等环节做精细化、短历时的高频次水文预报。建立施工区水情自动监测预警系统,随时掌握水位、流量的变化情况,给突发性洪水的应对提供决策支持,保证施工人员、设备的安全^[4]。同时要控制施工期废污水的排放,监测其对下游水质的影响,采取环境保护措施。

5.2 运行期的优化调度与适应性管理

工程投入使用以后,主要任务就是根据实时的水文信息以及预报进行优化调度。包括:根据中短期水文气象预报制定发电计划、供水计划和防洪预泄方案;在汛期根据雨情、水情发展动态调整防洪调度指令,在保证防洪安全的基础上尽可能实现洪水资源化利用。在枯水期需要协调各用水部门的矛盾,保证生活用水和基本生态用水优先。应对气候变化带来的不确定性,应该加入适应性管理理念,对调度规则进行滚动修订,根据长期水文情势的变化和新的需求来调整工程运行方式。

6 生态水文调控与工程可持续运行

6.1 生态流量保障与调度

维护河流健康属于水利工程可持续运行的重要内涵。确定并保证适合的生态流量(基流、脉冲性洪水等)。采用水文学法、水力学法、生境模拟法等确定各个河段、不同时期的生态流量过程线。在水库调度中把生态流量目标当作硬性约束或者优化目标,通过优化泄流过程,模拟自然水文情势,满足下游水生生物繁殖、迁徙、河道形态维持等基本生态需求^[5]。生态调度实践,如三峡水库进行生态调度试验促进鱼类自然繁殖已经取得较好的成效。

6.2 水环境效应调控

水利工程建设与运行会改变河流原有的水文情势,从而对水温、水质、泥沙输移、营养物质通量等造成复杂的影响。需要监测、模型模拟来评价这些影响。

在调度中可采取相应的措施来调节,分层取水设施可以缓解水库下泄低温水对农业灌溉、鱼类的影响,优化泄流时间和方式,促进库区水体交换、改善水质,多沙河流采用调水调沙等调度方式,协调水沙关系,减少库区淤积、冲刷下游河道。

7 结论与展望

7.1 结论

水文水资源管理现代化发展,把水利工程全生命周期的决策方式系统地重新构造起来。核心就是建立天地协同的立体化监测网络,实现水循环要素的全域实时感知,依靠机理模型和大数据驱动的融合模拟,提高对复杂水系统的解析预见能力,集成数字孪生和智能算法来建立决策支持系统,大大增强调度和风险应对的精准响应。经过实践检验,这一感知、模拟、决策的闭环技术体系,成为应对气候变化和高强度人类活动双重挑战、实现水资源综合效益优化的关键支撑,效能提高要依靠技术链路系统整合与深化。

7.2 展望

未来的水文水资源管理要从三个方面寻找突破,从理论上讲要攻克变化环境下极端水文、生态水文、地下水循环等关键过程的模拟机理难题,降低不确定性。从技术上来说,把人工智能、新型传感、数字孪生同传统水文模型深度融合,发展出新一代智能水管理工具。从机制上加快创建全要素的国家水网监测体系、标准化模型平台、开放的数据环境,同时推进适应智慧管理要求的专业人才培养、技术标准、协同机制建设,给水安全战略实施提供坚实支撑。

参考文献

- [1]唐成勇,胡家彬,汪洋.水文水资源管理在水利工程中的应用研究[J].水上安全,2025,(19):94-96.
- [2]臧冬伟,王璐,徐明,等.水文监测数据在水资源管理中的应用策略研究[J].水上安全,2025,(19):100-102.
- [3]冯文娟.河流水文过程变化对水资源调配的影响研究[J].水上安全,2025,(18):130-132.
- [4]高阳.水文水资源标准化管理在水利工程中的实践应用研究[J].水上安全,2025,(17):30-32.
- [5]高阳.水文水资源管理在水利工程除险加固过程中的应用分析[J].水上安全,2025,(15):141-143.