

水利工程运行管理与区域水资源可持续利用研究

阿卜力米提·赛麦提

新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心，新疆 喀什 844700

[摘要]在全球变化背景下，流域所在区域水资源系统的非均衡性日益凸显，水利工程的调度运用及可持续发展面临新的考验。文章围绕干旱半干旱地区如何合理调度水利工程以解决水资源时空分布极不平衡、生态环境需水保障难度加大的问题展开讨论。文章梳理了干旱半干旱地区水资源状况及其面临的困境，在此基础上指出了水资源短缺、供用水矛盾突出、管理制度等因素制约，并据此提出了工程联合调度，信息技术融合，生态友好型运行以及长效机制建立等多种举措，共同促进由传统的大水粗管向精准化智能化调控转变，这对于维护区域生态安全和实现高品质发展意义深远。

[关键词]水资源可持续利用；水利工程运行管理；生态用水；数字孪生

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18442 中图分类号: TV213 文献标识码: A

Research on the Operation Management of Water Conservancy Projects and Sustainable Utilization of Regional Water Resources

ABULIMITI Saimaiti

Xinjiang Yarkand River Water Conservancy Management Center in Tarim River Basin, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

Abstract: In the context of global change, the imbalance of water resources systems in the regions where river basins are located is becoming increasingly prominent, and the scheduling and sustainable development of water conservancy projects are facing new challenges. The article discusses how to reasonably schedule water conservancy projects in arid and semi-arid regions to solve the problems of extremely uneven spatial and temporal distribution of water resources and increased difficulty in ensuring water demand for ecological environment. The article summarizes the water resources situation and challenges faced in arid and semi-arid regions. Based on this, factors such as water scarcity, prominent water supply and demand contradictions, and management systems are pointed out as constraints. Based on this, various measures are proposed, including engineering joint scheduling, information technology integration, eco-friendly operation, and the establishment of long-term mechanisms, to jointly promote the transformation from traditional large-scale water management to precise and intelligent regulation. This has profound significance for maintaining regional ecological security and achieving high-quality development.

Keywords: sustainable utilization of water resources; operation and management of water conservancy projects; ecological water use; digital twin

引言

当前，我国经济发展已经迈上新的台阶，各方面均获得了较大的发展。水资源是人类赖以生存的重要资源，作为综合运用水资源的一项技术手段，水利工程在社会经济发展过程中起到了重要作用，在防洪、排涝、农业灌溉等领域，合理配置水资源发挥着重要作用。目前，水利工程运行管理已成为满足人们日常所需、推进社会稳定发展的重要工作内容之一，对实现生态环境的稳定和健康发展具有重要意义。因此，重新审视并创新水利工程运行管理策略，探索其与区域水资源可持续利用目标的协同路径，是一项紧迫的课题。

1 区域水资源概况与特征分析

研究区水资源存储及生成条件特殊。地表水主要靠山地降水、高山冰川积雪融水补给，内陆河水系河流径流来源于山区，然后过山前平原，流入盆地。冰雪资源是“固体水库”，对河流径流起着极其重要的调蓄作用。近几十年来由于全球气温升高该区域周围山地冰川覆盖面积大幅缩减，冰川萎缩短时间内会使河流径流量有所增加，长期

来看会危及河流持续稳定的供水量。从水资源时空分布情况分析，水资源分配不平衡问题严重。在空间方面水资源与其他自然资源、人口，以及经济社会活动等极不对称。时间方面径流年内分布相当集中，农作物生长季节春季时常缺水，年际间相差悬殊，增大了水资源预报与调度难度^[1]。从水资源之间相互转化关系来看，区内降水、地表水、地下水间的“三水”转化特点十分鲜明。河流出山以后大量侧渗补给地下水，地下水水平时溢出补给河流或者供给天然植物用水。

2 水利工程运行管理现状分析

2.1 水利工程类型与分布特点

针对水资源在时间空间上的不平衡问题，区域内已经形成了水利工程网。主要由蓄水工程——山地和平原水库组成，其任务是拦截储存洪水，调蓄径流，保证供水；引水和调水工程，是由各级引水渠首及其对应的干支渠道乃至跨流域调水工程组成的；还有提水工程，由一系列泵站将低处的水提升至高处；以及大量分散的机井形成地下水开采网。而从分布特征上看，整个工程都是紧随水资源“源

起高山，落于平原”的路线分布的，在每条河的出口处几乎都有大型的控制性水库，在每个绿洲灌区都延伸出去密密麻麻的沟沟渠渠，而在地表水匮乏的地方则是密布着一眼眼机井。近些年来，高效节水灌溉工程项目迅速推广，但与此同时，工程网的出现也使问题变得更加复杂，出现了多水源组合、多工程并联、多目标供水的情况，统一调度，联合调控难度加大。

2.2 运行管理模式及存在的问题

长期以来流域内水利工程管理体制实行的是行政区划和部门管理为主的体制。这种“碎片化”的管理模式弊端日趋凸显。主要体现在以下四个方面：一是管理碎片化，缺乏统一的流域管理。流域被不同的行政区隔断，造成同一流域上下游之间、同一河段左右岸之间对水资源开发利用的目标不同，争水现象时有发生。二是调控手段比较落后，缺乏智能化管理手段。调控措施主要依靠经验判断以及上级部门命令，不是建立在精确掌握实时水情及需水量的基础上，造成了水资源浪费。三是工程维修养护不到位。一些工程设施老化破损，渗漏情况严重，严重影响了工程效益发挥和工程运行安全。四是管理体制不能有效地调动节水积极性。水价机制不合理，缺乏有效的节水经济杠杆，全社会共同节约用水、自觉保护水资源的良好氛围尚未真正形成。

3 水资源可持续利用的挑战与制约因素

3.1 自然条件与气候影响

远离海洋的地理环境与干旱的气候背景，是流域水资源可持续开发的原始性和持久性的瓶颈。多数地区降水量远小于可能蒸散量，天然存在的水分赤字使水资源系统相当脆弱。而气候变化正进一步放大着这种脆弱性。温度的明显上升既直接增加了蒸散发耗水，又造成冰川、积雪等固态水体加快融化。已有证据显示，在过去的几十年中，周边主要高山冰川萎缩近20%，“固体水库”的调节效益在退化。降水也在经历复杂的调整：尽管一些地区年降水量有增多现象，但降水年际及年内波动幅度加大，严重干旱与极端暴雨的发生频度、强度“双升”。这意味着以往据以进行水资源规划与水利工程调控的设计准则的历史水文系列不再适用，水文过程已经由相对稳定的“稳态”变为“非稳态”，存在巨大的不确定性。气候变化的影响，是一种全面的、根本性的威胁，它瓦解着支撑水资源可持续利用的自然根基。

3.2 水资源时空分布不均

正如前述，水资源与经济社会发展的需求时空极不匹配是主要矛盾之一。空间方面，“水少地多”“水多地少”的倒置分布十分普遍。重要的绿洲经济带和人口密集区大多集中在水资源短缺的平原盆地，不得不采取远距离调水或者大量超采地下水予以支撑；时间层面，农业生产灌溉用水高峰期常常与河流行洪自然进程相脱节，春旱“卡脖子”现象严峻。一年之中丰水期的洪水不能得到充分利用，枯水时段生态基流又时常遭到生产生活用水挤占。如此这般极不平衡的局面决定了非得采取强有力的水利工程措施并结合精确化的管理调控来进行二次均衡。但若调控失

当，则上中游的过分取用将会直接造成下游河道干涸、尾闾湖盆干缩，酿成灾难性的生态环境后果。

3.3 供需矛盾与利用效率

伴随着人口增加、经济发展以及城市化进程加快，对水资源的需求刚性增强，供需矛盾突出。农业是用水的第一大户，它的灌溉面积、灌溉定额在很大程度上决定了一个地区的用水总量。有些地区为了保证粮食生产或者发展特色林果业，长期以来采用高耗水的种植结构和灌溉方式。工业万元产值的用水量也明显高于国内平均水平^[2]。另一方面，虽然水资源利用率有所提高，但仍然比较低。输水过程的跑冒滴漏、田间灌溉的大水漫灌、田间地头深层渗漏、无效蒸发和工业用水重复利用率低等情况同时存在。更深层次的原因还是产业结构与经济发展方式不适应水资源支撑能力。有些地方高耗水产业的发展并没有充分综合考虑当地的水资源状况，导致部分区域水资源严重超载。用水量的增多同时也意味着污水排放量的增长，一旦污水处理不到位，就会进一步污染有限的水资源，减少了可用的水资源数量，陷入恶性循环。

3.4 生态用水保障压力

在有限总的供水量下，随着其他净水需求越来越多，生态用水最易受到忽略与侵占。一直以来，在很多地区水资源分配计划里都没有为生态环境预留足够的“份额”，或者虽然有要求但在枯水年很难保证到位。而生态系统的存续又必须要有一个稳定水流量和水流过程，比如河流要有一定的基本流量保证水生生物存活以及河流自身的净化作用，自然植被依靠着地下径流和周期性的泛滥灌溉。但是通常生产水和生活水的需求全都排在生态水前面，在生产生活用水占用下常常发生间歇性的河流干涸、湖泊消失、湿地退缩、天然林草衰败等情况。近年来虽已开始进行生态调水、生态补水，但部分修复方式过于追求短期迅速扩大水域面积的这种“注水式”的修复模式，不能够有效的恢复地表水同地下水之间的水文关系，生态系统基本功能的修复成效甚微。怎样合理制定并且严格保证生态需水量，协调好生产用水、生活用水及生态用水三者之间的矛盾，这是区域水资源持续开发利用所面临的最难攻克的问题之一。

4 水利工程运行管理与水资源可持续利用的协同路径

4.1 工程调度优化与水资源合理配置

一定要站在整个全流域以及区域整体的角度考虑问题，突破行政区划以及工程项目限制，对水资源实施系统化的调度和优化配置。首先就是要加强流域统一管理，形成权威高效、集中统一的流域调度决策与管理体系，使复杂水系真正实现供水计划、治理、调度、管理的高度统一。然后才是在此基础上建立起以“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”为原则的水资源刚性约束制度。把区域用水总量作为一个不可逾越的红线，合理地分配给各个产业部门与不同片区，并由此倒逼产业结构调整与经济发展转型。在调度方案上，也要扭转那种单纯的目标调度的

做法，推行以防洪、供水、灌溉、发电、生态等多个目标为一体的综合最优调度。尤其是面对枯水年或者重要生态敏感期的时候，一定是要通过工程联合调度的方式来保障最基本生态流量泄放要求，守好生态安全底线。此外还需大力探索并试行水权交易制度，允许经过实际有效的节约手段节省出来的水权进行市场买卖。这样既可以将有限水资源调配至效益更大的地方去，又可以让节约用水一方得到经济补偿，进而形成“节约-受益-再投入”的良性循环。

4.2 节水技术与智能化管理应用

提升各环节水资源利用率是最直接、见效最快解决供需矛盾的方式，既要靠技术创新又要加强管理。技术上主要广泛运用推广高效节水技术。农业方面进一步扩大滴灌、喷灌、膜下滴灌等高效节水灌溉面积，同时推广配套水肥一体化技术，达到节水与节肥及增产的一举三得；工业及城市生活方面推广应用循环用水、分质供水、中水回用等技术工艺。管理上水利工程运行管理朝着数字化、网络化、智能化的方向转变是一场深刻的变革，而数字孪生技术的出现为其带来利器。通过建立随物理工程同步仿真运行、虚实交融的数字映射体，可对工程运行情况进行全景式观测、风险隐患智能预报、运行调度模拟推演决策等^[3]，如某先进的水利工程给泵站安装上了“智慧大脑”，其可以根据农作物种类、天气情况以及土壤湿度提前算出农作物所需用水量并像“人工调度员”一样精打细算配水，这就是精准的“以水定产”，跨流域调水工程借助数字孪生平台实现了多个水源地、多个水利工程之间的联合智慧控制，把调度指令精准落实到厘米量级、分钟级别，供水安全保障能力与管理水平得到极大提升。

4.3 生态保护与水利工程协调运行

必须要从思想上彻底扭转观念，把水利工程的生态环境效益摆在和经济效益一样重要的位置甚至更高的高度上来对待。工程调度运行应充分兼顾生态水文过程的要求。如关键物种种群繁殖季节维持合适的河流流量及水位，模拟天然洪水过程为河岸带及河漫滩湿地供水等。对那些已经给生态环境带来负面影响的一些工程举措，应该做些适应性调整或者补救。比如，那些因为全断面硬化而使得地下水补给完全中断的渠道，可以在特定河段采用生态透水性衬砌；水库调度过程中设置专项生态放水口保证下游河道不断流等。更为重要的是，我们必须跳出“就水论水”的局限，树立起“山水林田湖草沙冰”的生命共同体理念。水利工程的管理和调控必须放在更大的生态恢复计划之内。比如，在对下游尾闾湖泊实施生态补水的时候，必须同步开展河道整治、河岸植被恢复、地下水回补等一系列措施，重塑完整的健康水文—生态系统联系，而不是简单的扩大水面面积。要合理制定生态水位（流量）红线，并将其作为工程调度的刚性指标来考核评估。

4.4 管理体制与长效机制建设

科学的理念和技术必须有完善的制度和长效机制作为支撑。一是深化水务管理体制改革创新。设立由党委政

府主要负责同志担任主任的水资源管理委员会，统一协调涉水事务，破除部门壁垒，凝聚管理合力的做法，已经得到实践检验。要构建流域管理和区域管理相结合、水利部门牵头和生态环境等部门联动配合的水资源管理工作机制。二是建立健全市场化的水价机制和节水奖惩机制。有序推进农业水价综合改革，推行超定额累进加价制度，建立健全与精准计量到位、节水成效和水权交易挂钩的精准补贴和节水奖励良性机制，使节约用水者真正获益。对工业和服务业，实施阶梯式水价，倒逼产业转型升级。三是创新水利工程建管模式^[4]。大力鼓励社会资本投入，积极推广“投、融、建、管、服”五位一体的新型政企合作模式。在基层灌区，探索组建农民用水合作社或灌溉服务公司，实行专业化、物业化的末级渠系和田间用水管理，让政府“管不到边、管不到底”的末梢管水责任落地见效，由“政府孤军奋战管水”转变为“群众携手同心治水”。四是强化督查问责和公众参与。将水资源开发利用控制、用水效率、生态流量保障等重要指标纳入地方党政领导班子政绩考核目标。同时加大水资源状况、节水政策法规以及节水知识宣传力度，畅通公众参与和监督渠道，努力形成全民惜水、爱水、节水、护水的良好风尚。

5 结束语

面对日益严峻的气候变化形势和水资源瓶颈制约，水利工程运行管理与区域水资源可持续利用统筹问题是关系区域生态安全和高质量发展的战略性问题。研究区水资源系统的天然脆弱、极强敏感以及要素耦合决定了传统的管理模式难以适应变化的环境，在应对上面临很大挑战。挑战来自于越来越严格的自然边界限制、时空极化矛盾、供需紧张、生态用水短缺等多方面的压力。解决问题的关键在于要深刻变革，让水利工程成为真正的水资源系统综合调节者。必须要坚持“一盘棋”的流域整体观念，以统一调度盘活存量；必须要紧扣创新驱动，推广高效节水技术、发展智慧水利提高水资源利用率；必须要确立生态文明理念，协调好水利工程运行与生态过程的关系守住水生态红线；必须要打破体制束缚，建立市场机制和良性管护长效机制增添活力。

【参考文献】

- [1] 赵鹏志.水利工程运行管理及水资源可持续利用策略分析[J].农业灾害研究,2025,15(3):247-249.
- [2] 邱权新.水资源可持续利用背景下水利工程运行管理研究[J].珠江水运,2024(19):70-72.
- [3] 李德金.水利工程运行管理及水资源可持续利用对策[J].农业科技与信息,2022(16):81-83.
- [4] 郑淑德,郑德轩.水利工程运行管理与水资源可持续利用探讨[J].生态与资源,2024(1):80-82.

作者简介：阿卜力米提·赛麦提（1990.10—），当前就职单位名称：新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心，主要是从事水利工程运行或管理方面的工作，职称级别：中级职称。