

智能水网工程概念辨析及建设思路

尚毅梓, 王建华, 陈康宁, 刘淼, 赵勇

(中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038)

摘要: 智能水网工程包括由各类水流调控基础设施组成的水物理网建设, 符合智能化技术特征趋势的水信息网建设以及以体制机制建设和调控决策形成实现体系为主要内容的水管理网建设, 是治水实践工作的集成性平台和综合载体。目前智能水网在工程建设思路方面仍存在争议, 但智能水网代表着水务管理的未来发展趋势, 正逐步受到重视。本文在水网和水网工程概念辨析的基础上, 阐释了水网智能化的概念, 积极探索了我国智能水网工程的建设思路, 提出了建设智能水网拟解决的科学问题和亟需掌握的核心技术。

关键词: 水网工程; 建设思路; 智能化; 概念辨析

中图分类号: TN911; TV21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0534-04

Discussion on concept analysis and construction idea of smart water network engineering

SHANG Yi zi, WANG Jiann hua, CHEN Kang ning, LIU Miao, ZHAO Yong

(State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Smart water network engineering includes the water physical network construction which is composed of all the water regulation infrastructure, water information network construction which characterizes the intelligent technology trend, and water management network construction which consists of the institutional mechanism construction and regulation decision making. Smart water network provides the integrated platform and comprehensive support for water management and control. There are controversies in the engineering construction idea of smart water network; however, smart water network represents the future development trend for water management and has received more attention. In this paper, the concept of water network engineering is analyzed, water network intellectualization is illustrated, the construction idea of smart water network is discussed, and the crucial scientific issues and core technology for the construction of smart water network are proposed.

Key words: water network engineering; construction idea; intellectualization; concept analysis

由于人类目前对于大气水和土壤水等非径流性水分调控的能力、程度和范围还相当有限, 以径流性水资源为基本对象的各类水事活动, 均以“自然-社会”二元水循环网络系统为物理依托展开^[1], 其中自然水循环网络包括江、河、湖泊以及水文地质单元系统, 社会水循环网络包括“供水-输水-配水-排水-回用”水网络体系^[2], 如依托自然河湖水系实施防洪减灾和水资源开发利用, 依托人工渠系管网进行供水、用水和排水, 等等。因此一个地区的水网, 是不同时期治水实践的物质基础和客观载体, 其系统的完善与否、功能发挥的好坏, 会直接影响人们生活质量、经济社会发展和生态环境状况^[3]。正因为如此, 水网和电网、交通网、信息网(包括通讯

网和互联网等) 并列为社会四大基础性网络。目前, 智能电网、智能交通工程建设等已取得长足发展, 相比之下, 水网智能化建设却比较落后。智能水网建设意义十分重大。开展智能水网研究能够促进江河湖库水系的科学规划, 有效指导各级水系联通连通; 协调各级水行政管理机构, 保障最严格水资源管理制度的实施; 建立水权交易机制, 利用市场经济机制优化配置水资源等。

1 智能水网概念浅析

1.1 水网和水网工程

各类水问题不管其表现形式如何, 均可以归结为水循环

收稿日期: 2014-05-27 修回日期: 2015-04-23 网络出版时间: 2015-05-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150514.0850.010.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51109112); 中国水利水电科学研究院科研专项“十二五”重点科研项目(筹集1221); 水利部公益性行业科研专项经费(201301005)

作者简介: 尚毅梓(1983-), 男, 河南清丰人, 高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: shangyz@iwhr.com

通讯作者: 陈康宁(1981-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源可持续利用与保护研究。E-mail: chkn@iwhr.com

演变与调控的失衡。水力网络作为水循环的载体,是水循环过程调控的对象。通常把水力网络简称为水网。水网和水网工程是完全不同的两个概念。水网指的是由自然的江河湖库与人工供用排水管网设施所组成的连通水系。水网工程则是指建设水利工程有效联通江河湖库水系,搭建决策支持平台管理各类水利设施,发展水循环调控理论实施水循环调控的过程。随着现代治水理念和信息化技术的不断发展,水网工程正在朝着智能化方向发展,逐步融合了由各类水流调控基础设施组成的水物理网建设,符合智能化技术特征趋势的水信息网建设以及以体制机制建设和调控决策形成实现体系的水管理网建设,发展成为以“坚强友好”为特征的水利设施建设、以“智能感知”为目标的现代信息技术和以“科学决策”为核心的水管理活动^[4]。智能水网代表着水务管理的未来发展趋势,是“自然·社会”二元水循环理论与多维智能化现代信息技术的深度整合,在水事管理,水利设施、信息系统建设,水资源配置与调控等方面都体现着先进性和科学性。

1.2 智能水网工程

“智能水网”主要由三大基本网络组成^[5],智能水网工程框架与建设内容见图1。

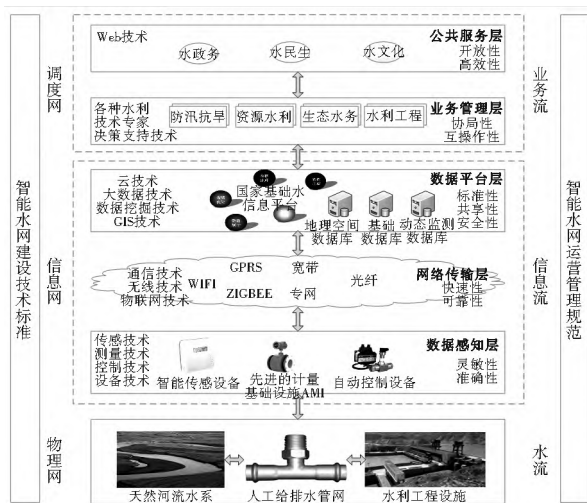


图1 智能水网工程框架与建设内容

Fig. 1 Framework and engineering content of the smart water network engineering

一是实体网。从属性上可分为自然水网和社会水网,前者是自然的河湖水网,后者是人工的取、供、输、排水渠系或管道网络系统;从范围上可分为跨流域水网、流域水网和区域水网;从使用功能角度可分为防洪抗旱系统、城乡供排水系统、农业灌溉系统、航运系统、水力发电系统和水土保持系统等;二是信息网。即水在自然系统和社会系统流动过程中相关属性信息采集、传输、存储、处理的基础设施和数字化系统,包括智能感知、智能仿真、智能诊断、智能预警、智能调度、智能处置、智能控制在内的全过程调控基础信息网络;三是管理网。包括水网的调控规则、水管理公共政策与制度以及智能化决策平台等,按层级划分包括国家管理网络、流域管理网络和区域管理网络等。在上述三大组成中,实体网是智能水网的物质基础,信息网是智能水网的决策支持,管理网是智能水网的中控枢纽。三大网络通过国家级、流域级和

区域级(覆盖省、市、县)的层次化系统平台,实现相互之间的有机集成和系统支持,促进水流、信息流和业务流一体化融合,保障水资源统一调配和管理。

1.3 水网智能化在三个分支的具体体现

国家水网工程的智能化可以从水物理网、水信息网、水调度网三个分支网络的智能化建设来阐述^[6]。水物理网建设包括自然河流水系整治、蓄引提水工程建设、供排水设施体系建设等,基本涵盖水利基础设施建设的内容,而智能化要求在工程建设中既要考虑宏观系统结构与布局的科学性,也要注重单体设计与材料选取的合理性,工程建设应能够体现当代水利基础设施体系规划、设计水平的提高和工程建设技术与材料工艺的进展。水信息网建设涵盖了“自然·社会”二元水循环及相关信息的采集、传输、处理的整体建设内容,其智能化建设则对于通信传输的可靠性和有效性、自动化设备的先进性、系统的兼容性和可拓展性等方面具有更高的要求,要求工程建设应与当今时代信息化建设和发展趋势相符合^[7]。实施的难点在于配套水利监测、控制设备的研发。水调度网建设主要是以水循环预报和调配控制为核心的管理决策能力建设,其智能化要求是,既要能够使水资源多目标的科学决策与实时调控能力得到全面提升,又要与现代水利决策与管理体制改革框架相吻合。

2 智能水网工程建设思路的探索

我国智能水网工程拟以“四横三纵”的国家水网为骨干网架,各等级江河湖库连通互济的区域水系为基础网络(水物理网),将现代先进的传感测量技术、通讯技术、信息技术、计算机技术和控制技术(水信息网)与调度组织管理(水调度网)高度集成,而形成的新型水利现代化建设的综合性载体。它应以保障国家水安全,建设水生态文明社会为终极目标,在满足生态环境需水、保证供水安全等强制约束下,协调管理、科学规划江河湖库水系连通工程建设,适应水权交易制度发展,利用市场经济机制优化配置水资源,保障最严格水资源管理制度的实施,极大地满足各部门对水资源需求,实现对用户安全、可靠、经济、互动的水供应和增值服务,进而促进水生态文明社会建设。

2.1 建设智能水网的理论基础

“自然·社会”二元水循环调控理论是国家智能水网工程建设的理论基础^[8]。“自然·社会”二元水循环调控和实施的主要步骤包括:(1)模拟。利用“水循环模拟模型”模拟计算远期、中期、近期三个时间尺度的上水资源供需匹配情况,对水资源供需失配区域在宏观、中尺度和微观三个空间尺度上进行水资源合理配置。(2)预报。基于人类社会经济发展和水动态循环过程认知,预报自然界供水和人类经济社会需水变化,为实施调控提供依据。(3)调度。调度过程与模拟预测尺度相对应。包括长期调度,短期调度和实时调度。(4)控制。实施监测水流程和流形态,基于调度计算结果实时控制闸门群和泵站群,达到合理调控水流程和改变流形态的目的。(5)评价。对实施效果进行评价,并根据评价结果,对框架、模型进行反馈改进。“自然·社会”二元水循环调控的技术框架见图2。

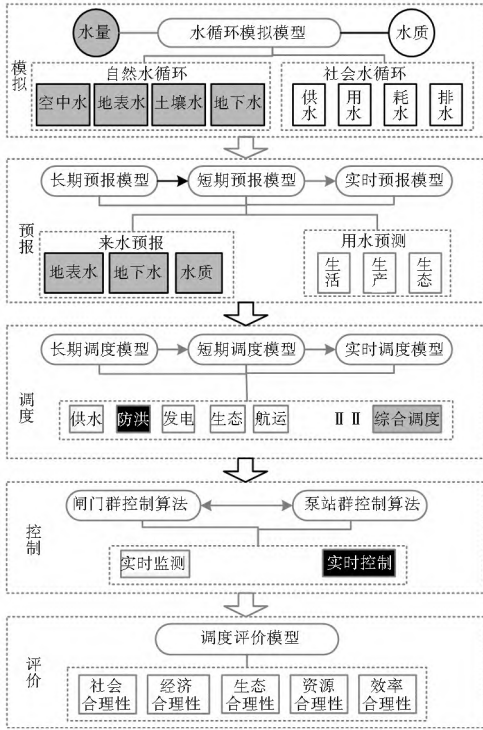


图 2 “自然社会”二元水循环调控的技术框架

Fig. 2 Technical framework of “natural social” dual water cycle

2.2 建设智能水网的手段和目标

节约用水、水价杠杆、定额管理、总量控制、水权分配、节水型社会和水生态文明城市建设等是我国实施水资源调控多种手段。智能水网与以往调控的不同,它是更强调决策的科学性和决策、调控一致性。它将基于大数据的“自然社会”供水分析,制定调控方案,采用综合的调控方案,对现存的水短缺、水污染和水生态系统退化等问题进行系统治理。

智能水网工程将有步骤推进实施水循环过程调控所依存的软硬件系统建设,通过打造一个基础平台,建设国家流域(行政区域)两级控制中心,理顺国家流域地方三层管理关系,实现防汛抗旱类、水资源管理类、生态环境类和工程管理类四类业务的智能化应用,推动实现全国大水网、水利信息网和调度管理网的有序融合,逐步改变现有资源分散、重复建设、重建轻管现象。

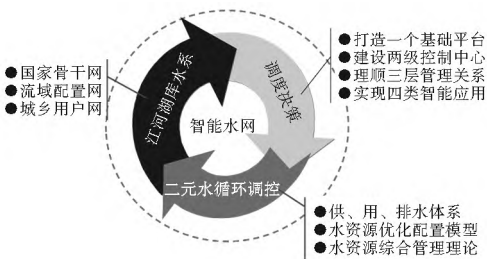


图 3 智能水网工程建设内容与理论基础

Fig. 3 Construction content and theory base of the smart water network engineering

3 科学问题和核心技术辨析

3.1 我国国家水网建设推进中存在的问题

调研^[9-10]发现,我国经济发达地区和水利改革发展需求

迫切的地区,针对当地洪涝灾害、水资源供需矛盾突出、水体污染和水生态退化严重等水问题,率先启动“智慧水务”相关工作,并将其作为推动水利公共管理服务的重要抓手和新时期区域水利基础设施建设、信息化建设、管理制度建设的综合平台,同时也引领着我国智能水网建设。目前,我国水网建设存在以下三方面的问题。

(1) 各地都从自身水资源特点和实践需求出发建设各具特色的智能水网,因此建设理念、建设目标、建设思路、建设内容、建设路径各异。具体表现在名称提法上不同,上海市和北京市建设“智慧水网”,无锡市建设“感知太湖,智慧水利”,山东省建设“现代水网”,山西省建设“大水网”,海南省建设“水网体系”;还表现在智慧水网建设的侧重点不同,北京市重点是为了解决水资源调度管理问题,上海市重点是为了提供更好的社会化水务服务,山西省和山东省重点是为了提高水资源时空调配能力应对极端事件,无锡市重点是为了实现太湖生态治理目标,海南省重点是为了促进河湖连通实现“生态大城市”建设。

(2) 各地智能水网建设缺乏统一认识和标准模式指导,有些地区对智能水网的内涵理解和建设任务认识还有偏差,表现在偏重于强调实体网建设,忽视信息网和管理网建设;偏重于强调实施监测与数据传输等“感知”建设,忽略“智慧”调度管理建设等。

(3) 缺乏系统的规划设计理论。无论是北京市的“智慧水网”还是山东省的“现代水网”等,都是对当地水问题的一种具体解决策略,智能水网工程在国家层面上,还没有形成有效的顶层设计和系统性的学术成果。

因此迫切需要在实践探索的基础上,总结各地智能水网建设经验,从战略高度、全局视野开展顶层设计,在国家层面对水网工程进行整体布局和长远规划,全面带动农田水利、防汛抗旱、水资源配置、江河治理、水生态与环境保护的各项工作,提升国家水安全保障能力和现代化水平,实现水利全面跨越式发展。

3.2 建设国家智能水网亟需解决的关键科学问题

开展顶层设计,在国家层面对水网工程进行整体布局和长远规划,全面推进建设我国智能水网需要解决的关键科学问题如下。

(1) 江河湖库水系连通规划理论与方法。国家智能水网主要通过江河湖库、枢纽调蓄工程和蓄滞洪区的合理布局,降低洪涝灾害潜在风险,增强工程调蓄能力,形成保障国家防洪安全的物理基础。因此,研究人工输配水工程理论体系与实践方法,有效联通江河湖库水系,形成与国家水资源优化配置目标相适应的水流通道体系,对于提升区域间水资源互调互济能力和区域内水资源开发利用水平至关重要。

(2) 二元水循环模拟理论与仿真控制模型。水网智能化一个十分重要的方面就是水安全风险预测和感知。国家智能水网主要基于二元水循环模拟和水网工程运行控制平台,预测潜在的水安全风险,提高水资源调度决策的针对性和系统性,从决策环节支撑水安全保障目标。因此,完善水循环及其伴生过程模拟与仿真理论模型,发展超大流域水资源合理配置技术方法体系,对于智能水网实施精细化水资源管理和调度,至关重要。

(3) 智能化监测、控制体系规划理论与方法。国家智能水网使用水情、工情监测站点数据做出决策,并通过远程化、自动化、智能化的水利枢纽进行决策实施。因此,合理布局水情工情监测、控制站点,形成完备的智能化监控体系,事关智能水网工程成败。

(4) 智能水网运行管理体系建设。以国家智能水网工程平台为载体和依托,开展以水资源管理制度、管理模式建设和水资源优化配置及科学调度实践为主要内容的水管理网体系构建和改革,完善管理理念、决策形成机制及规范制度保障等水管理要素,对于强化水资源科学配置和优化调度技术在水资源管理中的应用,增强决策指令形成环节的科学性和系统性至关重要。

3.3 建设国家智能水网的关键核心技术

对“水物理网”、“水信息网”和“水调度网”三个课题的核心技术进行总结和提炼。共提出了如下14项关键核心技术。

第一课题:水物理网应用基础研究。主要包括复杂输水网络的水动力学问题,江河湖库联通条件改变对水资源演变影响,江河湖库联通可行性判定研究。主要包括如下几个方面。

- (1) 超大泛流域水资源合理配置整体模型研究。
- (2) 节点水体容纳能力及区域供水能力研究。
- (3) 水系联通汉点水力特性研究。
- (4) 水网节点布局方法与通道连结体系建设。
- (5) ArcGIS技术及其在水网布局中的应用研究。

第二课题:水信息网应用基础研究。主要包括流域水循环过程模拟与仿真,安全监测高新技术与自动化监控系统,大型通用水网结构系统分析原理与设计方法。

- (6) 水循环及其伴生过程模拟与仿真。
- (7) 安全监测及信息分析理论与方法研究。
- (8) 自动化控制系统架构与方案优化。
- (9) 配套设备标准体系建设与研发。

第三课题:水调度网应用基础研究。主要包括:长距离输水工程的优化调度技术,梯级水库群的联合调度和面向生态补偿的水网工程综合调度。

- (10) 高含沙、含盐河流水沙平衡调度技术研究。
- (11) 多水源联合补偿机制与实时调度研究。
- (12) 流域水资源量、质、效多目标调控技术。
- (13) 梯级水库群中长期优化调度技术。
- (14) 梯级水电站厂内经济运行与实时发电控制。

4 思考与认识

我国长期的水利建设和发展已为智能水网工程的建设奠定了良好的基础,但制约智能水网工程全面推进和快速发展的瓶颈问题依然存在。主要包括如下问题。(1) 智能水网尚未形成完备成熟的理论体系和配套完善的框架结构,我国进行智能水网建设没有现成蓝本可供遵循,需要探索。(2) 智能水网工程涵盖了水利科学、环境科学、系统工程等多个学科,包含了大量水利水电工程建设的核心关键技术,而且蕴藏了复杂的前瞻性理论。亟需联合政府、行业主管部门、科研单位、高校、企业针对有效社会需求进行系统设计,协同开展产业技术研发。(3) 工程实践对理论探索的回馈作用不显著,应清醒认识到建设国家层面的智能水网是一个长期、

艰巨、复杂、系统的过程,理论探索需要在长期的工程实践过程中进行完善,不能一蹴而就。水网工程智能化既需要工程建设和信息技术的进步,也需要与水利管理体制、机制创新相统一。智能化与信息化、现代化一样,是一个动态变化的过程,要科学分析智能化方向的发展进程及变化趋势,加深对智能化发展阶段的认识,明确重点工作任务,克服盲目性,不断推进国家水网智能化健康发展,为我国水资源配置与城乡安全、防洪除涝减灾、水生态文明建设、大型水利水电工程建设、国家河湖联通工程等水利事务的建设和决策提供强有力的科技支撑。

参考文献(References):

- [1] 王浩,王建华,秦大庸,等.基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J].水利学报,2008,37(12):1496-1502.(WANG Hao, WANG Jianhua, QIN Dayong, et al. Theory and methodology of water resources assessment based on dualistic water cycle model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 37(12): 1496-1502. (in Chinese))
- [2] 王浩,龙爱华,于福亮,等.社会水循环理论基础探析Ⅱ:定义内涵与动力机制[J].水利学报,2011,42(4):379-387.(WANG Hao, LONG Aihua, YU Fuliang, et al. Study on theoretical method of social water cycle: Definition and dynamical mechanism[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(4): 379-387. (in Chinese))
- [3] 秦大庸,陆垂裕,刘家宏,等.流域“自然-社会”二元水循环理论框架[J].科学通报,2014(59):419-427.(QIN Dayong, LU Chuiyu, LIU Jiahong, et al. Theoretical framework of dualistic nature-social water cycle[J]. Chinese Science Bulletin, 2014(59): 419-427. (in Chinese))
- [4] “国家智能水网工程框架设计”项目组.智能水网国际实践动态报告[R].2012.(“Framework Design of National Smart Water Grid” Project Group. National Smart Water Grid Report from International Practice[R]. 2012. (in Chinese))
- [5] “国家智能水网工程框架设计”项目组.水利现代化建设的综合性载体—智能水网[J].水利发展研究,2013(3):1-8.(“Framework Design of National Smart Water Grid” Project Group. An approach to water industry modernization—Smart water Grid[J]. 2013(3): 1-8. (in Chinese))
- [6] 匡尚富,王建华.建设国家智能水网工程提升我国水安全保障能力[J].中国水利,2013(19):27-31.(KUANG Shangfu, WANG Jianhua. Construct national intelligent water network for securing water safety in China[J]. China Water Resources, 2013(19): 27-31. (in Chinese))
- [7] 万超,潘安君.信息资源管理—信息化建设的新阶段[J].北京水务,2007(4):50-52.(WAN Chao, PAN Anjun. Information resources management—new stage of informatization construction[J]. Beijing Water, 2007(4): 50-52. (in Chinese))
- [8] 鲍淑君,王建华,刘森,等.智能水网国际实践动态及启示[J].中国水利,2012(12):27-29.(BAO Shujun, WANG Jianhua, LIU Miao, et al. Trend and inspiration of international practice of intelligent water network[J]. China Water Resources, 2012(12): 27-29. (in Chinese))
- [9] 贾宝真,禹雪中.国内外水电环境及可持续评价标准的比较[J].水力发电,2013,29(4):13-16.(JIA Baozhen, YU Xuezhong. Comparative analysis on assessment criteria of hydropower environment and sustainability at home and abroad. Water Power, 2013, 29(4): 13-16. (in Chinese))
- [10] “国家智能水网工程框架设计”项目组.我国智能水网建设调研分析报告[R].2012.(“Framework Design of National Smart Water Grid” Project Group. National Smart Water Grid Report from Domestic Practice[R]. 2012. (in Chinese))