

# 实行最严格水资源管理制度的科技支撑探析

王 浩 王建华 胡 鹏

(中国水利水电科学研究院,北京,100038)

实行最严格水资源管理制度是协调我国经济社会发展与水资源水环境承载能力关系,实现水资源可持续利用和促进经济发展方式转变的重要途径,是我国今后较长一个时期必须坚持的水资源管理基础性政策。与过去水资源管理制度相比,最严格水资源管理制度具有四个鲜明特点:一是实行水资源开发利用的全过程管理,制度系统更加严密;二是实行取用排水的三条红线管理,管理手段和奖惩措施更加严厉;三是实行水资源管理目标的定量考核,管理方式更加精细;四是实行水资源管理工作行政首长负责制,管理主体更加明确。要实现传统水资源管理制度向最严格水资源管理制度的转变,除了需大力完善政策法规,深化体制改革,强化投入机制以及健全社会监督等措施以外,也离不开科学技术的有力支撑。只有科学化的管理才是可信的管理,只有可信的管理才能严格。为了实现水资源管理的系统化、精细化和科学化,亟需开展顶层设计,加强水资源领域科技创新和应用推广,强化最严格水资源管理制度的科技支撑,切实提高制度实施绩效。

## 一、实行最严格水资源管理制度的科技需求分析

根据《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》(中发[2011]1号)和《国务院关于实行最严格水资源管理制度的意见》(国发[2012]3号)的要求,实行最严格水资源管理制度的核心就是要通过严格实行用水总量控制、全面推进节水型社会建设、严格控制入河湖排污总量以及建立水资源管理责任和考核制度,确立水资源开发利用控制、用水效率控制和水功能区限制纳污三条红线。依据上述红线确立的过程逻辑,实行最严格水资源管理制度主要有以下五方面的科技需求:

一是基础层面科技需求,包括认知基础、科学基础和实施基础3个方面,核心是对“自然-社会”二元水循环机理与过程规律的认识和描述。其中认知基础包括对最严格水资源管理制度的科学解释、最严格水资源管理各阶段的动态特征与理论系统构建、三条红线内在关联关系、水资源管理与经济社会间的

互动关系等；科学基础包括变化环境下水资源演变规律、生态需水机理与演变规律、中长期需水预测、分行业节水减污原理等；实施基础包括流域水循环及伴生过程模拟系统、水资源与生态环境状况评价方法、最严格管理的情景预测与反演等。

二是规划和设计环节科技需求，包括系统设计、定量核算及其他专项问题，核心是科学拟定红线控制目标及其管理指标。其中系统设计包括对最严格水资源管理制度的系统化设计和配套制度的创新、制度的区域化创新以及中/微观尺度的制度设计、水资源调控的社会管理机制、制度的实施协调机制等。定量核算主要是“三条红线”控制指标的系统设计与核算方法，如水资源开发利用控制指标拟定，需要统筹自然的水资源承载能力和经济社会发展的现实需求，合理确定耗用水总量控制的考核指标和管理指标；用水效率控制指标的拟定，需要统筹区域节水目标与节水措施及投入，科学拟定区域综合用水定额、行业与产品用水定额以及单元载体用水定额标准等。其他专项问题包括不同来水频率下的用水总量控制指标核算、供水能力与用水总量关系、用水总量控制与经济发展关系、粮食安全与农业用水、纳污能力季节性变化与动态纳污能力核算等。

三是实施和落实环节科技需求，服务于“三条红线”控制目标与指标的具体实现。其中水资源开发利用控制目标的实现，主要是通过江河水量分配、计划用水管理、水量实时调度等措施加以落实，需要水量优化配置调度、许可水量核算、断面水量复核、地下水位控制等相应的科学技术支撑；用水效率控制目标的实现，主要是输配水过程节水、各行业用水节水、非常规水资源合理开发等措施加以落实，需要实用经济行业节水技术、非常规水资源利用技术、输配水漏损检测与控制技术、层次化定额管理技术等相应的科学技术支撑；水功能区限制纳污目标的实现，主要是通过清洁生产、污染物处理减排和循环再生利用等措施加以落实，需要陆域点源和面源减污降排与循环利用、入河排污负荷监控与超标评价、水源地突发污染事件预警与处置技术、受损水生态系统修复等科学技术支撑。

四是考核和评估环节科技需求，包括目标考核、过程评估和绩效管理3个方面。其中目标考核科技需求包括基础信息统计、整理与甄别技术，考核目标实现度的测算方法，管理指标实现程度测算方法，目标实现综合评价方法，未达指标溯源方法等；过程评估科技需求包括组织过程评估方法、任务完成情况评估方法、制度实施与有效性评估方法、目标-任务关联评估方法、制度实施

过程缺陷的溯源方法等；绩效管理科技需求包括经济社会效益评估方法、生态环境效益评估方法、管理进步与示范推广评估方法、综合效益评估方法、制度系统实施有效性评估方法等。

五是保障层面的科技需求，包括信息支撑、经济调节、体制机制 3 个方面，核心是最严格水资源管理的实施过程监测。其中信息支撑科技需求包括地表地下取用水监测、水环境水生态监测、雨水情测报新技术、用水计量与统计技术方法、耗水总量核算方法、排污总量核算方法、水信息化管理技术等；经济调节科技需求包括水资源费核算技术与方案设计、分行业供水价定价技术与制度设计、水权转让交易定价技术与方案设计、生态补偿标准定量核算与方案设计等；体制机制方面科技需求包括深化依法治水研究、流域和区域水资源管理的责权明晰与体制改革创新、区域水务管理体制改革创新、多部门联合管理与公众参与体制与机制创新等。

## 二、实行最严格水资源管理制度的关键技术

综合上述实践需求，最严格水资源管理的技术支撑体系可归并为四大领域，即二元水循环与用水原理、水循环及伴生过程系统模拟、水资源系统综合调配和节水减排技术与调节机制。支撑最严格水资源管理的四大技术体系既自成体系，又相互融合，根据当前水资源科学技术发展现状，今后一个时期重点的关键技术主要有以下八项。

### 1、“自然-社会”水循环模式与社会水循环原理

最严格水资源管理的主要对象是经济社会用水过程，即社会水循环的过程。即以“取水—用水—排水”三个基本环节构成的水资源运动和转化过程。作为侧枝循环的社会水循环与自然水循环过程共同形成了“自然-社会”水循环模式。实行最严格的水资源管理制度，正是在水循环二元属性逐渐突显的情况下，加强对社会水循环的管理，促进社会水循环高效和自然水循环的良性互动所采取的有力措施。科学认知自然水循环与社会水循环的相互作用和关系，以及社会水循环自身的演化的机理与规律，是实行以“三条红线”为核心的最严格的水资源管理制度重要的实践基础。

### 2、全口径水资源层次化评价方法

水资源评价是水资源管理的基础性工作。随着变化环境和经济社会发展实践需求的不断发展，传统水资源评价以代表地下径流性水资源为对象，“还原”为基本手段的传统评价方法已不能适应水资源精细化管理的实践需求，特别是

在北方人类活动深度影响的缺水地区，需创新形成新一代的水资源全口径层次化动态评价方法。所谓水资源全口径动态评价方法，其中“全口径”是指以流域水循环全口径输入通量作为水资源评价的客观基础；所谓“层次化”，是从流域水资源评价的目标需求出发，提出了水资源评价的有效性、可控性和可持续性三大准则，由此界定出流域广义水资源量、狭义水资源量和国民经济可利用量；所谓“动态”通过将不同时期实际下垫面和取用水影响作为水资源评价模型的基本参变量，分别评价出流域水资源的“还原”量、“还现”量和“还未来”量。

### 3、二元水循环及其伴生过程综合模拟技术

用水总量控制红线和水功能区限制纳污红线是水资源和水环境承载力的体现，用水效率红线则是社会水循环支撑经济社会发展的定量标准，三条红线的制定均离不开“自然-社会”二元水循环过程的模拟，因此二元水循环及其伴生过程综合模拟技术是最严格水资源管理的重要支撑。因此，在实行最严格的水资源管理制度实践中，有必要以系统的思维和方法，充分考虑水循环、水环境和生态三大系统之间物质（含水分）与能量的交换关系，耦合气候模式、流域二元水循环模型、流域水质模型及流域生态模型，构建流域水循环及其伴生过程综合模拟系统，为相关管理和调控措施的出台提供有力的支撑工具。

### 4、水资源大系统多维分析技术

在现代二元“自然-社会”水循环的模式下，水资源具有资源、环境、生态、经济、社会五种基本属性，最严格的水资源管理制度目的就是为了上述五大属性功能与目标的均衡实现，其中在资源维，要水循环系统本身的稳定健康；在经济维，就是要不断提高水资源的利用效率和效益；在社会维，就是要维系社会发展在地区之间、不同阶层之间、行业之间的公平；在生态维，核心是要保护水资源自然生态服务功能；在环境维，调控的方向是维持水体功能。水资源与生态环境、经济社会系统构成了一个相互作用、相互依存的局系统，复杂大系统多维度分析技术也就成为了最严格水资源管理的重要支撑技术之一。

### 5、水资源量质联合配置技术

包括水量与水质在内的水资源配置是“三条红线”管理的基本途径。在具体管理实践中，为了保证用水总量控制、用水效率控制和入河排污限制目标的实现，需要分别制定更加具体的控制手段和子目标，统筹三条红线的关系，可

以将三条红线进一步分解为地表水取水量、地下水取水量、非常规水利用量、生态环境用水量、入海（湖）水量、经济社会耗水量、污染物排放量、污染物入河量八大分量，因此以八大总量为分环节控制核心的水资源量质联合配置技术，将能为“三条红线”的制定和管理提供有效的支撑。

## 6、复杂水资源系统多目标综合调度技术

水资源调度是落实水资源配置方案、实现水资源管理红线目标的基底途径，因此复杂水资源系统多目标综合调度技术是三条红线实施的重要技术支撑。通过水资源量质耦合配置确立的水资源开发利用控制红线、用水效率控制红线和水功能区限制纳污红线，为复杂水资源系统多目标综合调度提供了边界条件，复杂水资源系统要在该控制参数下运行。反过来，复杂水资源系统多目标综合调度技术则是三条红线的实施与落实的重要手段。复杂水资源系统多目标综合调度技术直接服务于水资源开发利用控制红线的水资源配置与水资源调度、用水效率控制红线的用水过程管理以及水功能区限制纳污红线的水域调度管理，具体由“模拟—预报—调度—评价”四大技术组成，其中难点在于中长期预报和多目标联合调度。

## 7、水资源信息管理与数字流域技术

水资源管理信息与数字流域技术是借助卫星遥感技术、全球导航定位系统、地理信息系统、无线传感网络等现代化量测技术和数据管理手段，快速有效获取并存储流域基础信息。在此基础上，建立流域水循环模拟与调控模型以及数据处理模式，将物理实验、理论研究和实验计算三种科学研究方法进行集成和统一，构建面向各级部门的水资源管理系统，实现对供水水源地的在线监测，对规模以上取用水的准确计量，对出入境水资源的总量监测，对地下水超采区的监测和管理，对入河排污口的在线监测。在准确把握水资源情况的基础上，将监测数据、统计数据、水循环模型、水资源调配模型等紧密耦合，实现对水资源的科学调配和精细管理，为实行最严格的水资源管理制度和“三条红线”管理提供技术手段和支撑工具。

## 8、水资源管理经济调节技术

合理的水价制定需要从供给和需求两方面达到平衡，在城市水价中逐步实现由资源成本、工程成本、环境成本、生态成本、机会成本和利润税收成本等组成的全成本水价。水权交易是水资源的使用权在不同主体间的有偿转换，体现了不同区域之间的平等，可以弥补水资源再分配的“政府失效”，从目前的发展来看，交易定价技术亟待突破。在生态补偿机制建立过程中，生态补偿标

准的制定是其关键技术，一是人际补偿标准，即发生补偿的双方之间的补偿标准，合理的人际补偿标准应使得补偿双方的整体利益达到帕累托最优，二是人地补偿标准，即人类经济社会对自然生态环境的补偿标准，体现在水土保持、水源涵养、污染治理、生态修复等措施上，合理的人地补偿标准应使得生态环境得到有效保护和修复。

### 三、完善科技创新和应用推广体系

为切实发挥科学技术对于国家和区域公共政策推行的支撑和引领作用，加快最严格水资源管理制度的建立和实施，需要大力完善科技创新和应用推广体系。

一是加大最严格水资源管理制度的科技创新力度。针对实施最严格水资源管理制度的基础问题、关键技术、核心工艺和重要设备，突出重点，集中攻关，形成有自主知识产权的关键技术；进一步加强已有技术和产品的集成创新，提高先进技术应用的综合效率；充分了解国内外行业科技发展动态，加大引进国际先进技术和工艺，实现引进消化吸收再创新。

二是建立和完善最严格水资源管理制度的技术标准体系。围绕总量控制和定额管理的实践需求，在进行顶层规划和设计的基础上，逐步建立和完善三条红线管理的技术标准体系，包括管理的基础标准（如河道生态用水标准）、管理标准（如定额标准、排水水质标准）、考核标准（如节水型单元载体标准）、设施和产品技术标准（如节水产品技术标准）、技术导则和规程规范等，以标准化促进最严格水资源管理制度实施的规范化。

三是加强最严格水资源管理制度的技术推广服务体系建设。进一步重视技术推广和服务在强化科技支撑能力中的作用，充分利用互联网等，搭建信息平台，建立专业技术信息库，提供相关技术资讯。组织开展技术交流、技术推广、技术咨询、信息发布、宣传培训等活动，及时将科学技术转化为实行最严格水资源管理制度的生产力。

实行最严格水资源管理制度是我国水资源开发利用方式的深刻转型，也是国家水资源公共政策体现和履行社会管理职能的基本途径，在此过程中，科技部门和科研人员要积极面向和主动适应实践需求，不断创新并加大应用推广力度，使科学技术成为推动水资源管理制度变迁的重要源动力。

**报告人简介：**王浩，男，1953年出生，博士，教高，博导，中国工程院院士，中国水科院水资源所所长，流域水循环模拟与调控国家重点实验室主任。

长期从事水文水资源研究，曾主持完成国家项目以及其他部门和地方项目数十项，世行、亚行以及其他国际合作项目多项。探索并坚持运用系统科学的思维和方法解决我国面临的复杂水资源问题，在流域水循环的基础认知模式与模拟技术、水资源评价与配置理论与方法、水资源工程系统规划方法、水资源调度与管理技术等方面取得了一系列的创新性突破，成果广泛应用于国家、流域和区域水资源及重大工程的规划与管理实践当中，有效提升了我国水资源评价与规划的科学性与规范性，取得了显著的社会、经济和生态环境效益，并引起了国际学术界的广泛关注和反响，对推动我国水资源学科的发展做出了重要贡献。

迄今，先后获国家科技进步二等奖 6 项，省部级科技奖励一等奖 10 项，二等奖 5 项，三等奖 3 项，全国优秀工程咨询奖 1 次，其余奖励多次。出版专著 20 余部，发表论文 200 余篇。被授予全国杰出专业技术人才、全国先进工作者、南水北调工程规划设计先进个人、“九五”国家重点科技攻关计划先进个人、全国水利系统奉献水利先进个人等荣誉称号。