

水资源研究新进展与发展方向

水资源专业委员会

关键词：中国；水资源；研究进展；取得成果；发展方向

1 开展的主要研究与实践

水资源研究的中心任务是在摸清水资源形成与演化规律的基础上,以采取合理的调控措施,协调和保障生活、生产和生态用水需求。1999年以来,伴随人口增长、经济发展和社会进步,国民经济和生态环境引水需求进一步不断增长,受水资源宏观稀缺的约束,水资源供需矛盾等问题更加突出,驱使水资源研究和实践不断推进和深入。

1.1 相关科学研究

水资源问题一直是我国资源环境研究重点的领域,20世纪80年代以来,在国家“六五”到“九五”连续四期国家科技重点攻关项目中都对水资源问题设立了专项研究。20世纪90年代末期以来,针对我国水资源面临的严峻现实和重大需求,国家将水资源问题提高到“安全保障”战略高度,一方面继续深入研究全国水资源合理开发利用的战略布局 and 解决重点地区主要水资源问题的对策,同时加强了水资源研究的科学基础、调控手段和管理技术,以促进我国水安全保障的科学与技术支撑体系的初步形成。

具体研究上,我国水资源可持续利用战略研究最具代表性项目是中国工程院于2000年开展的重大咨询项目“中国可持续发展水资源战略研究”,从水资源评价和供需趋势、农业需水和高效节水、城市水资源可持续利用、江河湖海防污与减灾、生态建设和水资源保护、北方水资源合理配置与南水北调、西北地区水资源开发利用等多方面对我国水资源合理开发利用战略进行了整体研究。2001年,在完成了上述研究的基础上,针对西北突出的水资源问题以及西部大开发战略的需要,中国工程院又启动了“西部地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究”,专门针对西北地区水资源及其供需发展趋势、生态环境需水量、农牧业发展和节水、城镇发展和水务对策、工矿资源开发及用水对策以及水资源重大工程布局等方面进行了深入研究,取得一系列有价值的研究成果,对于西北地区水资源合理开发、利用与高效调控,以及生态环境建设有着重要的指导。

在科学基础研究方面,受愈来愈强烈的人类活动的影响,原生天然水循环过程及规律发生了深刻演变,从而相应引起了水资源形成、转化和演变过程和规律的变化。1999年科技部在国家重点基础研究发展规划项目中设立了“黄河流域水资源演变规律与可再生性维持机理研究”,该项目以黄河流域为典型,在统一的流域水循环平台上,

对不同时空尺度水资源演变过程及规律、可再生性维持机理与途径、水循环的多维临界调控阈值进行了整体系统研究,目前已取得系列成果。此后,科技部仍将大陆水循环与水资源可持续利用列为 973 项目在“十五”后三年主要攻关方向。另外人类活动对于水循环及水资源演变的定量影响也成为目前研究水资源基础研究的重点,如在国家自然科学基金委在近年来设立了“城市水文循环降水入渗条件调控及修复模型”、“环境变化条件下干旱区内陆河流域水资源可持续利用研究”、“潮白河流域土地覆被变化的水文水资源效应”、“塔里木河流域冰川变化、趋势及对水资源变化的研究”等一系列重点研究项目。

在应用基础和技术研究方面,国家“九五”科技攻关设立了“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护项目”,将水资源开发利用、生态环境保护和社会经济发展纳入到统一框架下进行综合协调。该项成果在对区域水资源及其开发利用、生态环境现状和演变过程进行评价的基础上,系统提出了西北水资源合理配置格局、承载能力和可持续利用对策,该项目相关专题研究成果获国家科技进步二等奖、新疆自治区科技进步一等奖和大禹科技进步一等奖等多项奖励。在国家“十五”科技攻关中,设立了“水安全保障关键技术研究”重大研究项目,对水资源合理配置与调控、人工增雨、水体面源污染控制、海水资源利用和城市污水再生利用等方面进行技术攻关和工程示范,通过对上述常规水资源调配技术和非常规水资源开发利用技术进行整体攻关。该项目的设立突破了传统水资源开发利用与调配的框架,极大地丰富和提升了我国水资源技术研究水平。

近一个时期来,国家还从经济、管理和制度和制度等多个层面积极推进水资源科学调配所需的外部环境建设的相关研究,为水资源合理调控和高效利用提供市场、管理、政策和技术等多方面技术保障,如国家自然科学基金委员会设立了“面向可持续发展的水价理论与实践”、“流域水资源冲突管理”、“跨境共享水资源法制化管理研究”、“干旱区水权转移效应及其水资源可持续利用规划应用基础”等,国家“十五”攻关水安全项目中设立了流域水资源调配信息系统建设研究课题。

1.2 主要应用实践

1999 年至今,我国水资源开发利用的指导思想及水资源规划、开发、利用、节约、保护与管理等一系列实践都取得了重大突破。

指导思想方面,国家水行政主管部门在总结历史经验,深入分析现状和未来客观形势的基础上,提出了新的治水思路,即:从工程水利向资源水利转变,从传统水利向现代水利、可持续发展水利转变,通过水资源的优化配置,满足经济社会发展的需求,以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展。具体可持续利用战略包括:开源节流并举,节流优先,建立可靠的水资源供给与高效利用保障体系;协调生活、生产、生态用水,建立维护生态环境安全的水资源保护保障体系;人与洪水协调共处,建立完善的防洪减灾安全保障体系等。

在法制建设方面,2002年8月29日第九届全国人民代表大会常务委员会第29次会议通过《中华人民共和国水法》,包括总则、水资源规划、水资源开发利用、水资源水域和水工程的保护、水资源配置和节约使用、水事纠纷处理与执法监督检查和法律责任等内容。修改后的《水法》出台,为水资源开发利用与管理提供了法律依据和行为规范。

南水北调工程是缓解我国北方地区缺水矛盾,实现水资源合理配置的重大战略性工程。东、中、西三条线路与长江、黄河、淮河和海河相互联接,形成“四横三纵”的水资源配置总体格局,三条调水线路年调水总量约380~480亿 m^3 ,可基本改变我国黄淮海地区水资源严重短缺的状况,达到南北调配、东西互济的配置目标。本着先节水后调水,先治污后通水,先环保后用水的原则,对调水量、工程配套、筹资方案、建设管理体制、水价政策、运营模式等进行了系统论证的基础上,2002年水利部完成了《南水北调工程总体规划》,以及包括节水、治污、配置、工程、管理等在内的13个附件规划,上报国家并获批准通过。2002年底东线一期工程开工兴建,标志着这一宏伟的工程正式由规划阶段转入实施阶段。

通过节水、治污和优化配置,提高水资源的利用效率和效益,减少废污水排放,建设节水防污型社会是水利部一项基本任务。水利部按照“两步两个层次”的基本步骤,在全国开展节水型社会试点建设。2001~2003年水利部先后选取了甘肃省张掖市、四川省绵阳市和辽宁省大连市作为全国节水型社会建设试点,目前张掖试点已取得阶段性成果,绵阳和大连的试点建设工作也正在有序展开。试点目的方面要使试点地区达到“城乡一体,以水定产,配置优化,用水高效,污水回用,技术先进,制度完备,水权明晰,水价合理,宣传普及”,同时也希望通过试点建设,摸索一套较为完整的理论和实践经验,继而在全国范围内全面铺开节水型社会建设。

为进一步加强水资源保护,水利部于2000年全国范围内开展了水资源保护规划的编制工作,并着手制定中国水功能区划,并于2002年水功能区划成果开始在全国试行,目前相关部门建议并酝酿出台《水功能区管理办法》。

为认真贯彻中央关于新时期治水的方针政策,全面落实国家实施可持续发展战略的要求,适应经济社会发展和水资源形势的变化,着力缓解水资源短缺和生态环境恶化等重大水问题,2002年水利部和国家发展改革计划委员会部署开展全国水资源综合规划工作,并完成了《全国水资源综合规划任务书》和《全国水资源综合规划技术大纲》的编制。全国水资源综合规划的主要内容包括水资源及其开发利用情况调查评价、节约用水和水资源保护、需水预测和供水预测、水资源配置和水资源调配的总体布局与实施方案。目前各流域和省级行政区的水资源综合规划主体工作已基本完成,正在进行全国汇总工作。另外根据全国水资源综合规划需要,水利部还启动了水资源综合规划一系列专项研究工作。

2 取得的重大研究进展

通过上述不同层面研究和实践,我国水资源研究在水资源的基础科学理论、水资源评价、水资源合理配置、生态需水、水权与水价、统一调配与管理技术等方面取得一系列重大突破。

2.1 流域水循环的基础理论

传统流域水资源的评价和调控,均是基于“实测—还原—建模—调控”的一元静态模式,即通过将实测水文要素通过“还原”到流域天然“本底”状态,以此为基础进行流域相关水事活动。在人类活动影响剧烈区及水循环通量较小地区,一元模式难以描述“天然—人工”二元驱动力下的流域水循环及水资源演变规律。针对一元模式的局限,国家“九五”攻关项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护”提出了显式考虑人类活动影响的“天然—人工”二元动态水循环模式。研究的视角拓展为“实测—分离—耦合—建模—调控”的二元动态水循环模式,其中通过分离来识别实测水量自然要素与人类活动影响各自的贡献,通过耦合来保持分离后各项参量间的动态联系。流域二元水循环模式系统解构了人类活动的流域水循环效应,同时保持了天然主循环与人工侧支循环之间的全部动态联系,是符合现代水循环过程的原创认知模式。该模式的提出是我国水资源基础理论研究的重大突破。

2.2 水资源评价

近些年来,我国在水资源基础评价研究也有所突破,一是根据水资源评价的有效性、可控性和可再生性准则,提出了水资源评价的层次化口径,包括广义水资源、狭义水资源、国民经济可利用量和生态环境需水量,并针对西北地区进行了实际评价;二是重视了变化环境下的水资源评价,如在全国水资源综合规划中,将水资源演变形势分析列入水资源调查评价的范畴,要求近20年来水资源情势变化较大的流域或区域,要利用已有资料分析成因和主要影响因素。重点分析包括土地和水资源开发利用等人类活动对水资源情势的影响;三是水资源评价方法与手段的更新,目前在国家973项目“黄河流域水资源演变规律与可再生性维持机理研究”中,就采用了利用分布式二元水循环模型进行流域水资源评价。

2.3 水资源合理配置

在“八五”国家攻关基于宏观经济的水资源合理配置的基础上,“九五”国家攻关项目“西北地区水资源合理开发利用及生态环境保护研究”中,水量配置的对象也发展到同时配置国民经济用水和生态环境用水,并衍生出具有可操作性的生态需水计算方法。在中国工程院“西部地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究”项目中,根据西北水资源突出的生态属性,提出了面向生态的水资源配置理论与方法;在“十五”国家攻关课题“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”中,在对流域水资源的原生与次生属性功能进行系统分析的基础上,提出了面向水资源全属性功能的水资源配置方法,将水资源配置问题转为维护水资源自然、生态、环境、社会和经济

等全属性维护的多目标决策问题，并提出了基于全属性功能的水资源配置操作性准则与实践途径，是目前我国水资源配置研究的最新进展。

2.4 生态需水计算

流域水资源在其形成与演化过程中，抚育和支撑了纷繁复杂的社会经济系统和丰富多样的生态环境系统，因此合理的水资源配置应在流域水循环平台上对生态需水和社会经济需水进行全口径的统一配置，而生态需水则是实现这种合理配置的必要前提。近年来，国内生态需水计算方法与实践发展的极为迅猛，包括河道内生态需水和河道外生态需水，一种途径是引入国外相关的理念和计算方法，另一种是根据我国区域水资源本底，综合国民经济用水需求，面向有限生态目标的生态需水计算方法。如“九五”国家攻关西北水资源项目，综合微观生态耗水机理和宏观水分生态驱动关系基础上，提出了与区域发展模式及生态环境保护准则相适应的生态环境需水量的计算方法；“十五”国家重大攻关项目“水安全保障关键技术研究”中设立了“中国分区域生态用水标准研究”，初步提出了全国各流域典型类型的生态用水标准。另外在全国水资源综合规划也分别立项对河道内和河道外生态用水开展研究。

2.5 水价与水权

新中国成立以来，我国水价经历了三个阶段，即无偿供水阶段（1949~1965），国家按需无偿配置；第二阶段是低价收费阶段（1966~1978），这一阶段水资源所有权益和经营权益有所体现，但仍属于计划经济下的水资源低价配置模式；第三阶段（1979年至今），是我国水价制度改革和政策变迁时期，国家开始将经济杠杆作为宏观调控手段之一，新《水法》规定国家实行取水许可制度和有偿使用制度。水利部和国家自然科学基金重点项目“面向可持续发展的水价理论与实践”中，提出了三重水价构成理论和计算方法，即全成本水价由资源水价、工程水价和环境水价三部分组成，该项成果被鉴定为“总体国际先进，部分国际领先”，具体计算方法已被应用于广东向香港供水水价的确定中，并取得良好效果。

水权是在水资源稀缺条件下有关水资源的权利的总和，包括所有权、使用权、经营权、转让权等。新《水法》中规定，水资源属国家所有，且国家对用水实行总量控制和定额管理相结合的制度，这表明水资源所有权和其他权利可以分离，从而为水权转让和交易提供了法律依据。近年来，我国对于水权方面的探索研究和实践发展很快，在实践方面，已经出现多种形式的水权转让，包括行政区之间的水权有偿转让，如东阳-义乌水权转让案例，行业之间有偿转让，如内蒙古自治区农业水权向工业方面转让案例，用水户之间的水权有偿转让，如甘肃省张掖节水型社会建设试点中的农户之间的水权有偿流转。

2.6 水资源统一调配与管理技术

流域水资源调配是水管理的一项主要内容，针对北方突出的水资源问题，我国目前高度重视水资源调配研究和实践，并取得显著成效，2000年通过流域水资源统一调

度实现了“黑河分水成功，黄河大旱之年全年不断流，博斯腾湖两次向塔里木河输水”三大标志性成效，被誉为“一曲绿色的颂歌”。在水资源调配管理信息系统方面，黄河非汛期水量调度决策支持系统已经投入运行使用，2003年在国家“十五”科技攻关项目“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”通过阶段性验收，实现了流域水资源合理配置与水资源统一调度的有机结合，其软件系统已顺利通过专家审查，标志着我国水资源调配系统的研制发展到一个新的阶段。另外塔里木河和疏勒河等流域水资源管理信息系统也正在开发研制过程中。

2.7 水资源开发利用战略

水资源开发利用战略方面，中国工程院重大咨询项目“中国可持续发展水资源战略研究”提出我国水资源总体战略是以水资源的可持续利用支持社会经济的可持续发展，具体包括建立人与洪水协调共处的防洪减灾战略、以建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业为目标的农业用水战略、节流为本、治污为先、多渠道开源的城市水资源可持续利用战略、以源头控制为主的综合防污减灾战略、保证生态环境用水的水资源配置战略、以需水管理为基础的水资源供需平衡战略、解决北方水资源短缺的南水北调战略措施和与生态环境建设相协调的西部地区水资源开发利用战略。

3 今后一个时期主要研究方向

根据我国面临的主要水资源问题与实践需求，结合水资源研究现状，未来一个时期我国水资源研究主要方向主要集中在以下六大方面。

3.1 人类活动作用下的流域水循环基本模式研究

水资源在流域水循环过程中形成和演化，流域水循环是水资源调配的科学基础，因此水循环基本认知模式的建立是水资源研究的前提。受多方人类活动影响，流域水资源演变过程和特征发生了明显变异。由于流域水循环认知模式研究的目的是要为人类活动影响的水资源演变次生效应的描述与定量分析提供一个集成型的理论平台，因此流域水循环基本模式应当充分概括“天然-人工”二元驱动下水循环结构与全过程的共性特征，而“九五”攻关西北水资源项目提出并经“十五”攻关水安全项目进一步完善的二元水循环模式理论具有良好的适普性，今后流域水循环基本模式研究应在此基础上进一步完善和提高。

3.2 流域水循环及其伴生过程的模拟

流域水循环模拟是相关水资源研究和活动的基础，今后流域水循环模拟将向着两个方向发展，一是模拟手段的提高，即随着人们获取水循环过程信息手段的不断提高，水循环模拟逐渐由黑箱走向白箱。在现代空间信息手段的支持下，构建有物理机制的流域分布式水循环模型，在统一的GIS平台上描述人类活动对于流域水循环过程的影响已经成为可能；第二个方向是模拟对象的全面化，模拟的对象不仅面向流域水循环过程，而且包括与流域水循环过程相伴生的水沙过程、水盐过程、水化学过程、水生态过程等，伴生过程的模拟将为相应泥沙问题、盐渍化问题、水污染问题和生态退化

等问题的解决提供相应技术支撑。

3.3 流域水资源全口径评价

流域水资源评价仍然是未来水资源研究的主要内容之一，未来流域水资源评价研究将集中在两方面，一是水资源评价口径，即水资源评价不仅要评价传统径流性水资源量和质进行评价，而且要系统评价流域水分在其循环过程中的有效和无效、高效和低效、生态效用和经济效用等；另外一项内容就是变化环境下的流域水资源评价问题，即“天然-人工”二元驱动力作用下的水资源演变评价，如水资源演变的周期性和趋势性分析，下垫面改变、人工侧支水循环通量变化等人类活动对不同口径流域水资源演变的影响等。

3.4 基于全属性的水资源合理配置与调度

现代环境条件下，水资源具有自然、环境、生态、社会和经济五重基本属性。“八五”攻关提出的基于宏观经济的水资源配置，突出了水资源经济属性维护和实现，“九五”攻关将生态需水纳入到水资源统一配置范畴，即是对水资源的生态属性的体现和维持。目前越来越多的研究强调在水资源开发利用过程中必须充分重视水资源再生性的维持、水体自净功能维护和水环境保护，等等。由于水资源是具有符合功能和多重属性的可再生性资源，各项功能和属性之间相互依存，未来的水资源调配行为应当为以维护和实现水资源的全属性功能为基本准则，因此今后一个时期一方面加强水资源各属性功能的调控标准的建立，同时实现水资源调度方案与合理配置方案的紧密耦合。

3.5 节水型社会建设的技术支撑体系

建设节水防污型社会是我国水安全保障的基本内容，建立和完善节水型社会建设的技术支撑体系是我国未来水资源研究的主要目标之一。节水型社会建设的技术支撑体系包括四个层面的内容，一是基础层面，主要是对流域水循环过程的精细模拟，包括农村和城市两部分内容；二是技术层面，包括产业布局和结构调整、生态友善的多水源高效用水配置模式、水资源优化调度技术、水资源使用权的初始分配和排污总量的定量核算技术、非常规水源开发和利用技术以及跨流域调水技术等等；三是保障层面，建立节水型社会相适应的管理体制、运行机制、法制体系参与机制等；四是产业层面，将在目前零星研究的基础上，通过创新和集成，形成成套装置，为节水型社会建设提供必要的产业基础。

3.6 数字流域

“数字流域”是全面实现流域信息化，实现流域综理和管理现代化的重大措施。“数字流域”要求在全流域电子化、网格化的基础上，从流域的基底实现数字化，宏观上分为流域模拟、调控、评价与调度等四个层次，并通过多目标群决策会商机制，实现综合会商决策。系统的数字流域应在标准化基础上，建设信息采集系统、通信及计算机网络系统、数据中心、综合决策支持系统、电子政务系统与黑河网以及其他专业应用系统，如水资源调度管理、生态建设与环境保护、水利工程建设管理、水资源保护、

防洪等业务应用系统等,从而为流域水资源的统一管理和调度提供信息和决策支持。

(执笔人:王浩 王建华 秦大庸)

参考文献

1. 钱正英 张光斗主编,中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告,中国水利水电出版社,北京,2001.3.
2. 中国工程院“西北水资源”项目组,中国工程院重大咨询项目,西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究项目综合报告,2003.
3. 陈家琦,王浩,杨小柳,水资源学,科学出版社,2002.
4. 中华人民共和国水法,2002.
5. 中国水利水电科学研究院,中科院地理与资源研究所,国土资源部水文地质工程地质研究所,“九五”国家重点科技攻关报告(96-912-01-04):西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究,西北地区水资源合理配置和承载能力研究,2000.
6. 王浩等,面向可持续发展的水价理论与实践,科学出版社,北京,2003.
7. 王浩等,黄淮海流域水资源合理配置,科学出版社,北京,2003.
8. 中国水利水电科学研究院,国家“十五”重大科技攻关项目“水安全保障关键技术研究”,课题一阶段性研究报告“中国分区域生态用水标准研究”,2003.12.
9. 中国水利水电科学研究院,国家“十五”重大科技攻关项目“水安全保障关键技术研究”,课题二研究报告“黑河流域水资源调配管理信息系统研究”,2003.12.
10. 刘昌明 陈效国 主编,黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理研究和进展,黄河水利出版社,郑州,2001.4.