

文章编号: 1672 3031(2009) 02 0081-08

水文学及水资源学科发展动态

贾仰文, 王浩, 彭辉

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 基于近几年国内外相关学术期刊、学术会议论文集、专著与研究报告, 进行了水文学和水资源学科发展动态调研。研究表明, 面对全球气候变化、强烈人类活动影响等新问题, 水文学和水资源学科近年来产生了一批新的研究热点领域, 在新的理论与现代技术手段的支撑下取得了较大进展。日益明显的与其他学科的交叉合作现象, 是当前水文学和水资源学科发展的重要特点。根据学科发展动态, 建议加强科学试验、学科交叉等方面的研究, 以推动我国水文学与水资源学科的创新与发展。

关键词: 水文学; 水资源; 变化环境; 人类活动; 学科交叉

中图分类号: TV213

文献标识码: A

1 学科概述

水文学及水资源学科包括水文学和水资源学两个方面, 是研究水的性质、循环运动规律、水与环境相互关系以及水资源可持续利用的学科。水文学是研究地球水圈的存在与运动的科学, 它主要研究地球上水的形成、循环、时空分布、化学和物理性质以及水与环境的相互关系, 为人类防治水旱灾害、合理开发和有效利用水资源、不断改善人类生存和发展的环境条件提供科学依据^[1]。水文学同属于地球科学和水利科学两个范畴, 与科学探究和工程建设实践均密切相关。随着现代量测技术和计算机技术的发展, 以及人类活动对自然环境和生态系统影响的日益加剧, 现代水文学的研究对象涵盖了水文循环的物理过程、伴随水文循环过程的生物化学过程, 以及植物生态过程等。目前, 水文学学科方向包括: (1) 水文学基础理论或理论水文学的研究, 如流域水循环的各要素过程、产汇流原理、水文变量及参数的空间变异与尺度问题、分布式流域水文模拟方法、水文模拟与预测的不确定性分析等; (2) 应用水文学的研究, 如工程水文学(水文计算、水文统计、水文预报等)、城市水文学、农业水文学和森林水文学等; (3) 水文量测与水信息技术, 如遥感水文学、同位素水文学、水文数据同化和数字流域与水信息技术; (4) 学科交叉研究, 如水文循环过程与物质循环过程的相互作用(环境水文学)、水文循环过程与大气过程的相互作用(水文气象学)、水文循环过程与生态过程的相互作用(生态水文学)及生态需水研究、流域自然水循环系统与社会水循环系统之间的相互作用(二元水循环)等。

水资源学是对水资源的量与质进行评价, 制定水资源综合利用和保护规划, 解决水资源供需矛盾, 并对水资源实行科学管理的知识体系。但在相当长的一段时间里, 有关水资源的知识经验和经验常融合在其他已建立的学科如水文学、水利学中, 没有形成水资源的专门学科。从20世纪中期以来, 水资源问题日益突出, 专门以水资源为对象的研究和实践在很大范围内有了发展, 逐渐形成了自成体系的水资源学。其研究对象主要可归结为: (1) 水资源的形成、演化、运动的机理, 评价地球上与不同区域上的水资源的数量与质量及其时程变化; (2) 在人类经济及其社会发展中为适应用水的需要而开发利用水资源的科学途径; (3) 在人类开发利用水资源过程中引起的环境与生态变化, 以及这种变化对水资源自然规律的影响, 探求在变化的环境中如何保持水资源的可持续开发利用的科学途径等^[2]。

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403404); 国家自然科学基金项目(50721006; 50779074)

作者简介: 贾仰文(1965-), 男, 山东成武人, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: jiaYW@iwhr.com

2 学科发展动态

2.1 水文学发展动态 水文学近年来出现了以下几个重点研究领域和发展新方向。

2.1.1 变化环境下的水文循环机理和演变规律研究 由于全球气候的变化和人类活动的加剧,地球上的水文循环和水资源状况发生了深刻的改变,为研究新的环境下的水文循环演变规律,解决日益严重的全球水问题,国际水文界实施了许多研究计划,如国际水文计划(IHP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)的“水文循环的生物圈方面(BAHC)”以及地球系统科学联盟(ESSP)的“全球水系统计划(GWSP)”等。在气候变化对水文循环影响的研究方面,主要集中在气候变化对水文水资源的影响、对需水量的影响以及对水文极端事件的影响等。研究热点是气候变化下的水文水资源响应,包括应用全球或区域气候模式和分布式水文模型、地下水模型分析气候变化下的河川径流响应问题^[3]、地下水和地表水相互作用^[4]、潜在水资源量的季节动态预测问题^[5]。在下垫面变化对水文循环和洪水影响的研究方面,森林、城市、水土保持和水利工程的水文效应等受到较多的关注。围绕城市规模不断扩大带来的水文问题形成的城市水文学已成为新的水文学研究热点。在城市水文响应定量分析、计算模型模拟、雨水利用等方面,已取得了不少成果^[6-8]。随着工农业的发展,大量引用地表水和抽取地下水,改变了大气水-地表水-土壤水-地下水的转换机制。利用水库调节河川径流,大幅减小了河川径流丰枯差值,引起一系列水文及环境生态效应。中国水利水电科学研究院提出了“天然-人工”二元水循环演化模式及各项人类活动包括水利措施对水循环的定量影响分析成果^[9,10]。

2.1.2 基于物理机制的分布式流域水文模型研究 基于物理机制的分布式流域水文模型,又称分布式物理模型^[10]或物理性流域水文模型^[11],从水循环的动力学机制来描述流域水文问题,能够清晰反映地表土地特征如地形高程、坡度、形态和地貌,以及气象因素如降水、气温和蒸发等,将土地地表特征和模型参数建立直接联系,分析气候变化和流域下垫面变化后的产汇流变化规律,并为其他专业应用模型提供流的流场情报,具有广阔应用前景。Freeze和Harlan 1969年提出分布式物理模型的蓝图至今,涌现出欧洲水文系统^[12]、TOPMODEL^[13]、SWAT^[14]、WEP^[10]等许多模型。其真正发展得益于近20年来空间遥感技术(RS)、地理信息系统(GIS)技术的不断完善以及计算机技术的进一步发展。分布式物理模型将水循环的各要素过程联系起来进行详细模拟。地理信息系统将图形显示、空间分析与数据库管理技术相结合,为分布式水文模拟的大量空间信息数据处理及管理提供了强有力工具。遥感技术不但能够提供土地覆盖及地形等基本空间数据,也为模型参数如叶面指数(LAI)等的估算提供信息,同时还能对蒸发量、土壤含水率及地表温度等进行演算,为模型的验证创造了条件。由于水文变量的空间变异和资料缺乏问题,流域水文尺度问题与建模新方法成为研究热点。Muleta等^[15]应用SWAT模型,研究了分布式流域模拟模型对空间尺度的敏感性;Hansen等^[16]研究了基于物理过程的农业流域模型的空间变异问题,研究发现,最重要的参数不均匀问题是土壤物理参数在网格内的变化、植被参数的变化和地下水位。

2.1.3 水文循环过程与水生态及水环境演变相互作用机制研究 流域水文循环系统与生态系统相互作用机制研究已成为当前新兴交叉学科—生态水文学(EcoHydrology)的核心内容。生态水文学是20世纪80年代以后逐步发展的一门新兴交叉学科,其研究内容是水文过程与植物分布、生长相互作用,它重点研究陆地表层系统生态格局与生态过程变化的水文学机理,揭示陆生环境和水生环境植物与水的相互作用关系,回答与水循环过程相关的生态环境变化的成因与调控^[17]。近几年,生态水文学成为研究热点,Pauwels等^[18]通过应用卡尔曼滤波法同化土壤观测数据和叶面积指数,提出了水文模型(TOPLATS)-作物生长(WOFOST)模型的耦合模型的参数优化方法。Bertuzzo等^[19]研究了生态走廊和河流水系的关系:探索了有偏反应-扩散模型(反应率采用对数方程)的特性,预测了水文控制在流域物种入侵过程的作用。Mtahiko等^[20]针对坦桑尼亚Great Ruaha River流域的东部Usangu湿地过渡放牧对Ruaha国家公园的破坏和对下游经济社会的严重影响,开展了基于生态水文学的Usangu湿地修复研究,提出该湿地必须退牧、农业灌溉至少需要向河流退水25%,以保证Great Ruaha River四季不断流。在我国,生态水文学方面研究起步较晚,2000年以后才开始受到我国学者的重视,并将其介绍到国内来^[21]。

国家自然科学基金委员会已将其列为其重大研究战略之中。目前国内关于生态需水计算方法开展了大量研究^[22-26]。流域水文循环演变同样改变了污染物迁移转化的载体条件和动力机制,从而对伴生的水环境过程产生显著影响。当前国内外相关研究主要从环境学的角度着手,如进行面源污染物预测和水体水质演化模拟,而在水文循环的演变对流域尺度水环境的影响研究方面较薄弱。Ocampo等^[27]在西澳大利亚的Susannah Brook农业流域,实地调查了水文过程与生物地球化学过程的耦合反应,分析了坡度以及高地与河岸地区浅层地下水对氮循环的影响,在此基础上建立了耦合水文过程与生物地球化学过程的“统一智能模型”;Schoonover和Lockaby^[28]采用流域尺度调查取样和回归分析模型,研究了美国西乔治亚低山地带由于城市化引起的土地利用变化对河流营养物和排泄物大肠菌的影响。

2.1.4 大气过程-陆地水文过程耦合研究 大气过程-陆地水文过程耦合研究主要意义体现在以下两方面:预测大气环境的变化对水资源和生态环境的影响,对实现可持续发展具有重要价值;短期降雨等气象预报和分布式水文模型相结合,能够延长洪水预报的预见期,对防洪减灾事业具有重要价值。大气过程-陆地水文过程耦合研究,多通过耦合全球大气环流模型(GCM)、区域环流模型(RCM)或小尺度大气模型(暴风雨模型)等与陆面过程模型或分布式水文模型,并结合地面观测与遥测来实现。然而,各类大气模型计算网格单元大小差别较大,并远大于分布式水文模型的网格单元,因此需采用降尺度(downscaling)方法。降尺度方法分为镶嵌法、统计法以及两者并用的方法。国际上,Anderson等^[29]曾将美国陆军工程师兵团(USACE)的HEG-HMS水文模拟系统与MM5大气模型相耦合应用于美国北加州Calaveras河流域的预报洪水,是水文气象耦合模拟的一个代表性研究示例。在国内,王庆斋等^[30]曾在黄河流域开展暴雨-洪水预报耦合研究,陆桂华等^[31]采用加拿大区域性中尺度大气模式MC2和新安江模型单向耦合模型系统,对2005年7月4-15日发生在淮河流域的暴雨洪水进行了实时预报。

2.1.5 缺乏观测资料流域的水文预测(PUB) 国际水文科学协会(IAHS)于2003年7月在日本札幌召开的IUGG暨第六届IAHS科学大会期间,通过了IAHS PUB(Predictions in Ungauged Basins)10年(2003-2012)科学与实施计划^[32]。PUB是IAHS对国际水文科学界及国际社会提出的最新行动建议,经过了IAHS会员在互联网和一系列IAHS会议(如2001年7月荷兰Maastricht第5届IAHS科学大会,2002年3月日本Kofu会议和2003年11月Brasilia会议等)上的广泛讨论,可以说,PUB是一项挑战性水文科学研究计划,也涵盖了分布式水文模型研究及应用的所有问题。

IAHS PUB 10年科学与实施计划分为基础研究(enabling research)计划和目标性研究(targeted research)计划两部分。基础研究计划涉及6大科学问题:(1)限制我们在缺乏观测资料流域进行可靠预测的关键知识缺口是什么;(2)未来减小预测不确定性的信息需求是什么;(3)支撑新知识需要哪些实验;(4)在改进预测方法上如何应用新的观测技术;(5)如何改进水文过程的表述使其包含能减小不确定性的关键知识;(6)如何在改进预测上发挥已有软硬数据的最大科学价值。目标性研究计划的着重点是减小“预测的不确定性”,分为2大中心研究目标:(1)根据在缺乏观测资料流域的预测能力,合理评估预测不确定性,检查和改进现有模型;(2)为开展在缺乏观测资料流域的水文预测并减少预测的不确定性,开发能够捕捉水文过程时空变异性的新的创新性模型。

2.2 水资源学发展动态 水资源学是随着人类社会形成而形成的学科,其主要研究领域包括水资源评价、水资源价值核算、水资源高效利用评价和水资源合理配置与综合管理。

2.2.1 水资源评价 水资源评价是对某一流域或区域水资源的数量、质量、时空分布特征、开发利用条件、开发利用现状和供需发展趋势做出的分析估价,是合理开发利用和保护管理水资源的基础工作,为水利规划提供基础依据^[1]。1968年和1978年,美国完成了两次国家水资源评价,第一次侧重于天然水资源本底状态的评价,并开展了水资源分区工作,第二次侧重于水资源开发利用评价与供需预测,两次评价实践初步形成了以统计为主的水资源评价方法与技术。1975年,西欧、日本、印度等国家相继提出了自己的水资源评价成果。1988年,联合国教科文组织和世界气象组织在澳大利亚、德国、加纳、马来西亚、巴拿马、罗马尼亚和瑞典等国家开展实验项目的基础上,以及在非洲、亚洲和拉丁美洲进行专家审定的基础上,共同制定了《水资源评价活动——国家评价手册》,促进了不同国家水资源评价方法趋向一致,同时有力地推动了水资源评价工作的进程。1997年,UNESCO和WMO再次对《水资源评价活动——

国家评价手册》进行了修订,出版了《水资源评价——国家能力评估手册》。1980年我国开展了第一次全国水资源评价工作,当时主要借鉴了美国提出和采用的水资源评价方法,同时根据我国实际情况做了进一步发展,包括提出了不重复的地下水资源概念及其评价方法等,最后形成了《中国水资源初步评价》和《中国水资源评价》等成果,初步摸清了我国水资源的状况。2000年,国家发展改革委员会和水利部联合开展了“全国水资源综合规划”工作,在制定的技术大纲和技术细则中,对水资源评价的技术和方法做了进一步的修正和完善。

从水资源评价方法的发展来看,水资源评价方法经历了水量平衡法到借助于GIS工具进行平衡分析,从集总式水文模型到分布式水文模型,从单一水量评价到水量水质并重。王浩等^[19,33]提出了现代环境下的流域水资源评价方法,评价对象从径流性狭义水资源扩展到广义水资源^[34],既包括径流性水资源又包括土壤水资源。随着人类活动影响的加剧,以及计算机技术的迅猛发展,借助于分布式水文模型,建立新的水资源评价方法,反映变化环境下的水资源量是未来发展的方向。

2.2.2 水资源价值核算 近些年来,世界人口激增、生态破坏、环境恶化、资源短缺,更使人们感受到资源危机的严重性。1993年国民核算体系(SNA)已明确把自然资源纳入资产负债表和积累账户,形成了综合环境经济核算体系(SEEA),旨在研究资源环境和经济活动之间的相互关系,注重寻求良性经济运行的环境承受能力,并将水资源核算列为主要核算内容之一。自20世纪80年代中期以来,世界上许多国家陆续开展了水资源核算理论和方法的研究,并通过制定实施方案进行探索和试验。目前,联合国正在制定“水资源核算手册”,确定水资源核算方法。同时,国际上一些国家已经实施了若干案例研究,包括挪威、德国、加拿大、法国、荷兰、西班牙、丹麦、芬兰、智利、新西兰、澳大利亚、韩国、菲律宾、摩尔多瓦和纳米比亚等国家,已在水资源核算方面取得了较为丰富的经验和成果。从各国研究情况看,发达国家开展水资源核算的主要特点是:资源和环境核算并重;核算方法总的来讲是实行实物量核算,对价值量核算多数尚处于探索性阶段;强调可持续发展,强调政府决策的影响和政策的影响及改善。发展中国家水资源核算研究工作的特点是:大多数是受发达国家或国际组织援助,作为典型案例和合作研究而展开的;研究工作一般尚处在方法性探索阶段;侧重于提供一些资料和数据。我国作为发展中国家,虽然也曾进行过一些水资源核算研究,但仍处于起步和摸索阶段。

2.2.3 水资源高效利用评价 目前关于水资源高效利用评价的研究,学术界并没有一套公认的评价理论体系和统一的评价方法。已有的国内外文献表明,早期的水资源高效利用评价研究更主要的是集中于从单一工程单项效益分析入手研究其水资源利用综合效益,但随着资源、环境和生态问题日益突出,水资源高效利用评价更加重视综合效益的评价。目前,水资源高效利用评价包括经济效益评价、社会效益评价和生态效益评价。

2.2.4 水资源合理配置与综合管理 从20世纪80年代后期以来,国际上从单纯的水量配置研究发展到水量水质统一配置研究,从追求流域经济效益最优的目标发展到追求流域整体效益最优为目标的合理配置研究,更加重视生态环境与经济社会的协调发展。90年代以来,欧美等发达国家水资源管理和合理配置的研究更加集中于社会公平、市场调节和体制方面,主要体现在:(1)政府调控与市场机制相结合;(2)公众积极参与水资源配置;(3)政府通过水法律法规保证生态环境用水;(4)流域民主协商分配水资源。1998年美国陆军工程师兵团资深的水资源专家Whipple提出,水资源开发、配置和管理进入了一个以“沟通与协调”为特征的新时期^[35]。1999年Tony Allan对世界水资源可持续利用的科学研究和实践应用问题进行了比较研究^[36],结果表明:致力于提高水资源利用效率又不失公平地使有限的水资源发挥最大的效益,已成为科学家建议层次和实际政策操作层次的折衷点,符合水资源利用的经济学原理。Ioslovish认为应用市场机制的力量实现各种水资源的有效分配得到了广泛的研究,价格机制是当前研究和应用的重点。Tisdell研究了澳大利亚Border河Queensland地区水市场的环境影响,研究结论是水权交易有可能使生产需水和天然流量情势之间矛盾增加,因为生产用水集中于有高利润的作物种植,水市场有可能限制恢复自然流量情势的水政策的有效性,因此需要在生产需水和环境需水间平衡^[37]。Kecman和Kelman针对经济用水超过了水资源的承载能力的干旱地区,讨论了水分配机制,提出了基于不同用水户的机会成本的水量分配^[38]。

全球水伙伴(GWP)2000年提出了水资源综合管理(IWRM)的概念:水资源综合管理是在不危及重要生态系统可持续性的同时,促进水、土及相关资源的协调开发和管理,以公平的方式实现经济效益和社会福利最大化的一个过程。GWP强调,水资源综合管理不是目的,而是实现下述3个重要战略目标(3E目标)的手段:(1)效率(Efficiency)-尽可能高效利用水资源;(2)公平(Equity)-保证水在各经济部门和社会团组之间的公平分配;(3)环境可持续(Environmental sustainability)-保护水资源的基础和相关生态系统。流域水资源综合管理最成功的例子有美国的田纳西流域(Tennessee Valley)、澳大利亚的墨累-达令流域(Murray Darling Basin)、贯穿西欧的瑞士、法国、德国、卢森堡和荷兰的莱茵河流域(River Rhine Basin)、非洲乍得、尼日尔、尼日利亚、喀麦隆等国交界处的奥兰治-瓦尔河流域(Orange Vaal Basin)和乍得湖流域(Lake Chad Basin)等。目前,水资源配置和综合管理是水资源学的重要发展方向,研究热点包括集成经济、环境、生态、水文与水资源管理的综合模型、水资源分配系统的水质安全与公共健康、地下水含水层保护修复、水资源管理决策的不确定性和风险分析以及流域管理中的公众参与等。

3 与其他学科的交叉合作

水文学及水资源学科当前发展的特点是:水文学及水资源学科在继续为水利工程学科和水资源可持续利用提供科学基础的同时,与大气科学、环境科学、生态科学、信息科学、经济学、管理学、社会学和遥测技术等关系日益密切,学科交叉发展现象明显,并逐渐拓展为对广泛的资源、环境与生态问题研究的支撑。重点表现在以下几个方面。

3.1 与大气科学和遥测技术交叉合作解决水文资料缺乏和水文预报问题 人类活动引起的温湿气体排放增加,导致全球气候变暖,改变了大气海洋环流和天气系统,并对河川径流和流域水循环产生重要影响,而下垫面的变化和流域水循环又反过来影响天气系统。由于大气系统是流域水文水资源的主要输入来源,无论是长期气候变化和短期气象特点变化,均对水文过程和水资源产生重大影响。目前气候变化对区域水文水资源影响的研究常采用所谓的What-if模式,即如果气候发生某种变化,水文循环各分量将随之发生变化,这种方法的缺陷就是没有实现气候过程和水循环过程之间的反馈作用。

水文科学与大气科学交叉合作研究或称气陆耦合研究,结合遥感、雷达等遥测技术,开发集成“气候/气象模式-水文模型-地面观测-遥测”四维数据同化技术,不但对预测全球及区域天气系统变化具有重要意义,同时对预测大气环境的变化对水资源和生态环境的长期影响、实现可持续发展具有重要价值,对解决水文资料缺乏问题、提高水文预报的精度并延长预见期、对防洪减灾事业具有重要价值,因此成为当今国内外关注焦点和研究前沿。

3.2 与环境科学交叉发展研究流域水环境保护和饮水安全保障问题 水是物质传输的重要媒介,流域水文循环过程则是物质运移的关键动力。流域水文循环过程的改变,将产生显著的水环境效应。降水的强度和历时直接影响到面源污染物的产生量;坡面汇流过程直接影响到面源污染物的传输路径和归宿。从河川径流对污染物的运移来看,因河川径流的变化,一方面改变了河川的纳污能力;另一方面还影响到污染物的降解。此外,河川径流的改变,还直接影响到水域污染物的传输距离和空间分布。从国内外的相关研究来看,在上述几个方面均开展了不同程度的研究,近年来又进一步融入了现代观测和模拟技术,使得上述研究取得了长足的进步。目前国内外开展了大量的分布式水质水量联合模型的开发研究,但在面源污染物产生过程模拟、不同环境条件下的水化学模拟参数的获取、水质模拟与水文模拟的尺度问题等方面仍然需要开展大量的基础研究。国际上发达国家对水源地和供水系统的水质优化管理十分重视,建立了三维水动力学模型、生物化学模型、疾病传播模型、污染实时监控与预警系统以及危机管理决策支持系统等。我国这方面的研究还比较少,是今后的研究重点之一。

3.3 与生态科学交叉发展研究流域生态系统修复和维持河流健康生命问题 水文循环过程与生态过程的相互作用机制是水资源短缺地区生态系统修复关键性科学问题之一。综观国内外的相关研究,流域水文与生态过程耦合模拟研究仍然较为薄弱,主要体现在以下几个方面:(1)目前的研究多局限于微观群落尺度,在流域景观尺度上还大都停留在空间统计分析上,综合模拟理论和方法尚未形成,无法满

足我国缺水地区水土平衡战略、水资源高效利用、受损生态系统修复等方面的国家重大科学需求;(2) 已开展的耦合模拟研究也是处在松散耦合模拟阶段,模型之间只是进行了简单机械的参数传递,尚不能在深刻明晰相互作用机制的基础上,进行紧密耦合型的系统模拟,以制定满足客观需求的合理生态与环境目标;(3) 由于缺乏系统的耦合模拟分析平台,使得人类各项水资源开发利用及调控措施的生态与环境效应不能得到有效揭示,也难以制定出科学的、适应性的生态水文综合对策。

3.4 与经济学、社会学及管理学交叉发展解决水资源综合管理问题 实现流域资源、环境、生态和经济、社会的和谐发展,成为当今国内外科学界和各国政府的共识。2000年12月生效的《欧洲水框架指令》是水资源综合管理理念的一个具体体现。我国目前水资源管理模式的实质是,在统一管理的前提下搞好综合管理,实行流域管理和区域管理相结合的模式。统一管理和综合管理的结合点是政府推动和公众参与,在供水和用水之间建立起密切的伙伴关系,在利益相关者之间建立起公开、透明的协商、协调机制,确保水资源的综合开发、优化配置、有效保护和高效利用,共同建设节水防污型社会,力争取得最大的经济、社会和生态、环境效益。

3.5 与信息科学交叉发展提高水资源调度管理的效率 现代信息科学在水资源的调度与管理中发挥着越来越重要的作用。水利科学与信息科学的交叉诞生了水信息学(Hydroinformatics)。M. B. Abbott 1991年首次提出了水信息学的概念,将它定义为在水的范围内运用知识的新途径、元知识。水信息学是一门新兴学科,它的许多概念体系和内容范畴尚未正式形成,但它从诞生之初就受到人们的广泛关注。目前,3S等现代高新技术、人工智能、数据挖掘、数据仓库等信息科学理论方法已经在水利科学中得到许多应用。水信息学将在提高水资源调度管理的效率方面有着广阔应用前景。

4 结论与建议

根据学科的国际发展动态,对我国水文学和水资源学科发展提出如下建议:(1) 加强水文学和地下水科学研究。水文学不但是水资源学和水利学科的基础,而且与广泛的资源、灾害、环境、生态、经济和社会问题密切相关,是目前水利学科中最具生命力和发展潜力的学科领域之一。当今的水文学已不在局限于为工程规划设计和运行服务的工程水文学,而是已逐渐发展成为研究范围更为广泛的水文科学。地下水的超采和污染问题影响是深远的,地下水的修复比地表水体的修复更困难、过程更漫长。国际发达国家几十年前就开始对地下水的保护和修复进行了大量投入,而我国目前投入的科研人力和经费还很不够;(2) 加强水文水资源科学实验和遥测技术应用研究。近年来,我国水文水资源科学实验方面十分薄弱,过去的许多野外实验基地逐渐荒废,而新的实验基地建设缺乏系统规划,与20世纪90年代以前相比形成较大反差,亟待加强。遥感和雷达等遥测技术应用是水文水资源研究的重要数据来源,目前虽然有一些研究,但与国外相比还相差甚远,也需要加强;(3) 开展与大气科学的交叉合作,发展水文预报科学技术。随着我国国力增强和遥测技术的发展,气陆耦合研究方面孕育着重大突破的机遇。目前一些院校和科研机构已着手这方面研究,但与国际发达国家的差距很大;(4) 开展生态水文学研究,为流域生态系统修复服务。生态水文学的研究目的不只是为流域生态需水分析服务,而更重要的是通过研究水文循环过程变化对植被生长、生态演替的影响,为流域生态系统修复服务,通过研究生态系统变化对水文水资源演变的影响,为维持流域河流系统健康生命服务。我国在生态需水方面取得了一些成绩,但系统地开展生态水文学研究尚需加强;(5) 开展城市水文学研究,为解决我国快速城市化进程中水问题提供支撑。我国目前城市化带来的水问题越来越突出,城市水文学的研究亟待加强。欧美国家从20世纪60、70年代已重视这方面的研究,日本从70、80年代也开始了大量研究和实验,并提出“都市再生”和“都市水循环保全”等计划。我国的北京、上海等城市以及建设部等从90年代开始也搞了一些研究试点,但城市水文学的系统研究体系尚未形成;(6) 在水资源配置、调度和管理研究中重视水环境问题。在水资源配置、调度和管理研究方面,我国已取得不少优秀研究成果,具有一定研究优势,但对水环境问题的考虑不够,需要加强水量水质统筹考虑的水资源配置和水资源调度研究;(7) 加强与经济学、管理学及社会学研究的交叉合作,支撑水资源综合管理。水资源综合管理(IWRM)的理念是高效、公平和环境可

持续, 强调政府调控与市场机制相结合、法律保障、公众参与和民主协商。因此, 水资源综合管理研究需要加强与经济学、管理学及社会学研究的交叉合作, 特别是在流域管理体制与机构发展规划、流域管理法规、水权水市场研究和公众参与等方面; (8) 加强水信息技术研究, 推出我国的模拟与管理软件包。我国目前自主开发的成熟的模拟与管理软件包极少, 与欧美发达国家的同行相比有很大差距。由于自然地理环境、气候特点、人口密度和人类活动强度以及经济社会的差异, 加上专业软件通用性差的限制, 国外的现成软件可以参考, 但直接应用往往存在很大风险, 因此需要自主开发适合国情的软件。应用水信息和计算机技术, 建立水文水资源模拟与管理软件包, 既便于推广应用又可以提高工作效率。但目前科研体制上还存在着许多不利于软件开发的因素, 需要研究解决, 以推动这项工作。

致谢 本文得到了仇亚琴、游进军、许凤冉、高辉、丁湘毅、郝春洋等人的协助, 何少苓、杨小庆、陈敏建、甘泓、秦大庸、于福亮、裴源生等教授也给予了许多指导, 在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献:

- [1] 陈志恺. 中国水利百科全书 水文与水资源分册[M]. 北京: 水利水电出版社, 2004.
- [2] 陈家琦, 王浩, 杨小柳. 水资源学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] Kang B, Ramfrez J A. Response of streamflow to weather variability under climate change in the colorado rockies[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2007, 12(1): 63- 72.
- [4] Jacek S, Allen D M. Groundwater surface water interaction under scenarios of climate change using a high resolution transient groundwater model[J]. Journal of Hydrology, 2007, 333: 165- 181.
- [5] Nakaegawa T, Kusunoki S, Sugi M, et al. A study of dynamical seasonal prediction of potential water resources based on an atmospheric GCM experiment with prescribed seasurface temperature[J]. Hydrological Sciences Journal, 2007, 52(1): 152- 165.
- [6] Dougherty M, ASCE M, Dymond R L. Quantifying long-term hydrologic response in an urbanizing basin[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2007, 12(1): 33- 41.
- [7] Xiao Q, et al. Hydrologic processes at the urban residential scale[J]. Hydrological Processes, 2007, 21: 2174- 2188.
- [8] Schneider L E, McCuen R H. Assessing the hydrologic performance of best management practices[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2006, 11(3): 278- 281.
- [9] 王浩, 王建华, 秦大庸, 贾仰文. 基于二元水循环模式的水资源评价理论方法[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1496 - 1502.
- [10] 贾仰文, 王浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京: 中国水利水电科学出版社, 2005.
- [11] 胡和平, 田富强. 物理性流域水文模型研究新进展[J]. 水利学报, 2007, 38(5): 511- 517.
- [12] Abbott M B, Bathurst J C, Cunge J A, et al. An Introduction to the European Hydrological System Système Hydrologique Européen, SHE; 1. History and philosophy of a physically based distributed modeling system[J]. Journal of Hydrology, 1986, 87: 45- 59.
- [13] Beven K, Lamb R, Quinn P, et al. Computer models of watershed hydrology [M]. Colorado: Water Resources Publications, 1995.
- [14] Arnold J G, Williams J R, Srinivasan R, et al. SWAT-Soil and Water Assessment Tool: Draft UsersManual[Z]. USDA-ARS, Temple, TX, 1995.
- [15] Muleta M K, Nicklow J W, Bekele E G. Sensitivity of a distributed watershed simulation model to spatial scale[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2007, 12(2): 163- 172.
- [16] Jeppe Bølmer Hansen, Jens Christian Refsgaard, et al. Problems with heterogeneity in physically based agricultural catchment models[J]. Journal of Hydrology, 2007, 342: 1- 16.
- [17] 夏军, 丰华丽, 谈戈. 生态水文学- 概念、框架与体系[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(1): 4- 10.
- [18] Pauwels V R, Verhoest N E, Lannoy D, et al. Optimization of a coupled hydrology crop growth model through the assimilation of observed soil moisture and leaf area index values using an ensemble Kalman filter[J]. Water Resources Research, 2007, 43(4): 4421- 1- 4421- 17.
- [19] Bertuzzo E, Maritan A, Gatto M, et al. River networks and ecological corridors: Reactive transport on fractals, migration fronts, hydrochory[J]. Water Resources Research, 2007, 43(4): 4419- 1- 4419- 12.
- [20] Mtshiko M G, Gereta E, Kajuni A R, et al. Towards an ecohydrology based restoration of the Usungu wetlands and the Great Ruaha River, Tanzania[J]. Wetlands Ecology and Management, 2006, 14: 489- 503.

- [21] 赵文智,王根绪.生态水文学[M].北京:海洋出版社,2002.
- [22] 李丽娟,李海滨,王娟.海河流域河道外生态需水研究[J].海河水利,2002(4):9-11,16.
- [23] 王西琴,刘昌明,杨志峰.生态及环境需水量研究进展与前瞻[J].水科学进展,2002(4):507-514.
- [24] 杨志峰,崔保山,等.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.
- [25] 陈敏建,王浩,王芳.内陆干旱区水分驱动的生态演变机理[J].生态学报,2004(10):2108-2114.
- [26] 陈敏建,王浩,等.“十五”国家科技攻关计划重大项目研究报告《中国分区域生态用水标准研究》[R].2005.
- [27] Ocampo C J, Sivapalan M, Oldham C E. Field exploration of coupled hydrological and biogeochemical catchment responses and a unifying perceptual model[J]. Advances in Water Resources, 2006, 29(2): 161-180.
- [28] Schoonover J S, Lockaby B G. Land cover impacts on stream nutrients and fecal coliform in the lower Piedmont of West Georgia[J]. Journal of Hydrology, 2006, 331: (3-4): 371-382.
- [29] Anderson M L, Chen Z Q, Kavvas M L, Feldman A. Coupling HEG-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff[J]. ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 2002, 7(4): 312-318.
- [30] 王庆斋,等.黄河小花间暴雨洪水预报耦合技术研究[J].人民黄河,2003(2):17-19.
- [31] 陆桂华,等.陆气耦合模型在实时暴雨洪水预报中的应用[J].水科学进展,2006(6):847-852.
- [32] Sivapalan M, Schaake J. IAHS decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB) [CB/OL]. http://www.cig.enscm.fr/~iahs~pub/PUB_Science_Plan_Version_5.pdf, 2003-09-30.
- [33] 王浩,秦大庸,陈晓军.水资源评价准则及其计算口径[J].水利水电技术,2004,35(2):1-4.
- [34] 贾仰文,王浩,仇亚琴,周祖昊.基于流域水循环模型的广义水资源评价(I)-评价方法[J].水利学报,2006,37(9):1051-1055.
- [35] Whipple W. Water Resources; a new era for coordination[M]. Reston: ASCE Press, 1998.
- [36] Allan T. Productive efficiency and allocative efficiency: why better water management may not solve the problem[J]. Agricultural water Management, 1999, 40(3): 71-75.
- [37] Tisdell J G. The environmental impact of water markets: an Australian case study[J]. Journal of Environmental Management, 2001, 62: 113-120.
- [38] Kecman J, Kelman R. Water allocation for production in a semi arid region[J]. Water Resources Development, 2002, 18(3): 391-407.

A review on international development trend in the field of hydrology and water resources

JIA Yang-wen, WANG Hao, Peng Hui

(Department of Water Resources, IWHR, Beijing 100038, China)

Abstract: An investigation study on the development trend of hydrology and water resources was carried out by means of surveying related academic journals, proceedings, books and reports published in recent years. The study shows that the impacts of global climate change and strong human activities have become confronting new issues, and a number of new hot study topics have occurred in the field of hydrology and water resources, which have made comparatively great progresses by applying new theories and modern techniques. The multi-discipline crossing and collaborating is becoming an important feature of hydrology and water resources evolution. Based on this review, the authors suggest that scientific experiments should be enhanced and subjects of crossing and merging should be intensified for the purpose of promoting a continuously innovation and progress in the field of hydrology and water resources in China.

Key words: hydrology; water resources; changing environment; human activities; multi-discipline crossing

(责任编辑:王成丽)