

夏军, 翟金良, 占车生. 我国水资源研究与发展的若干思考[J]. 地球科学进展 2011 26(9): 905-915. [Xia Jun, Zhai Jinliang, Zhan Chesheng. Some reflections on the research and development of water resources in China[J]. Advances in Earth Science 2011 26(9): 905-915.]

我国水资源研究与发展的若干思考^{*}

夏 军¹, 翟金良², 占车生^{1*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室 北京 100101;

2. 中国科学院资源环境科学与技术局 北京 100864)

摘 要:我国水资源具有人均占有量少、时空分布不均、水土资源不匹配、人类活动影响显著等特点,加上经济社会快速发展造成水资源供需矛盾突出,水资源态势十分严峻。切实实行最严格水资源综合管理、提高水资源利用效率、建设水资源安全保障的科技支撑体系,关系到我国全面建设小康社会的大局。分析了当前水资源研究的发展趋势,总结了国内研究现状与不足,阐述了我国“十二五”水资源科技发展思路与战略目标,提出了具体的对策、建议以及需要进一步加强研究的重大水资源科学问题,对我国今后相当长时期的水资源发展方向进行了展望。

关 键 词:水资源; 中国“十二五”; 发展战略

中图分类号:TV213.4;X143

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2011)09-0905-11

1 引 言

水资源是基础性的自然资源 and 战略性的经济资源。随着我国经济和社会快速发展,水资源问题成为我国可持续发展的主要瓶颈。我国水资源供需矛盾突出,发展态势十分严峻,面临着“水多(洪涝灾害)、水少(干旱缺水)、水浑(水土流失)、水脏(水污染)”等多重问题。因此,切实加强水资源保护、提高水资源利用效率、加大水污染治理和海洋水资源开发利用,建设水资源安全保障的科技支撑体系,关系到我国社会经济可持续发展的大局^[1]。国家“十二五”科技发展战略规划应将水资源定位为限制国家未来发展的战略性资源,立足国家社会经济持续稳定发展,制定中国水资源安全保障规划,推动我国资源节约和环境友好型社会建设。为此,本文在讨论我国当前主要的水资源问题的基础上,系统分析了水资源研究的发展趋势,总结了国内研究不

足,并针对我国“十二五”水资源科技发展思路与战略目标,提出了具体的对策、建议以及需要进一步加强研究的重大水资源科学问题,对我国今后相当长时期的水资源发展方向进行了展望。

2 我国水资源面临的主要问题

伴随着社会经济的快速发展和全球气候变化的影响,我国乃至全球均面临着愈来愈紧迫的水资源问题的挑战。我国的水资源问题主要表现在^[1~5]:

(1) 人均水资源量少,时空分布不均匀,水资源配置难度大

我国水资源总量 2.8 万亿 m^3 , 人均 2 173 m^3 , 仅为世界人均水平的 1/4。降水年际变化大,且多集中在 6~9 月,占全年降雨量的 60%~80%。空间分布总体上呈“南多北少”,长江以北水系流域面积占全国国土面积的 64%,而水资源量仅占 19%,水资源空间分布不平衡。由于水资源与土地等资源

* 收稿日期:2010-11-01;修回日期:2011-08-05.

* 基金项目:国家重点基础研究发展计划项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”(编号:2010CB428406);水利部公益性项目“气候变化对我国水安全影响及对策研究”(编号:20080100107)资助。

作者简介:夏军(1954-),男,湖北孝感人,研究员,主要从事水文水资源研究。E-mail: xiaj@igsnrr.ac.cn

* 通讯作者:占车生(1975-),男,湖北黄冈人,助理研究员,主要从事水文水资源研究。E-mail: zhanches@igsnrr.ac.cn

的分布不匹配,经济社会发展布局与水资源分布不相适应,导致水资源供需矛盾十分突出,水资源配置难度大。

(2) 水资源短缺及利用率低,供需矛盾突出

我国水资源短缺的状况仍然相当严重,正常年份全国每年缺水量近 400 亿 m^3 ,北方地区尤甚。且存在水资源利用率偏低,我国农业灌溉水的利用效率只有 40% ~ 50%,而发达国家可达 70% ~ 80%。全国平均单方水实现 GDP 仅为世界平均水平的 1/5; 单方水粮食增产量为世界水平的 1/3; 工业万元产值用水量为发达国家的 5 ~ 10 倍。同时由于用水结构的不合理和浪费严重,以及水管理体制不顺,多龙治水、条块分割、利益冲突、管理落后等原因导致主要流域的水资源供需关系矛盾日益突出。

(3) 全球变暖和人类活动加剧了我国水资源的脆弱性

我国水资源系统对气候变化的适应能力十分脆弱^[6,7],全球变暖可能加剧我国年降水量及年径流量“南增北减”的不利趋势,在气候变暖背景下,区域水循环时空变异问题突出,导致的北方地区水资源可利用量减少、耗用水增加和极端水文事件,加剧了水资源的脆弱性; 影响我国水资源配置及重大调水工程与防洪工程的效益,危及水资源安全保障^[8]。另一方面,经济和人口增长、河流开发等人类活动进一步加剧,不仅增加需水量,也加剧了水污染,显著改变流域下垫面条件,对水资源的形成和水循环多有不利影响。未来我国水资源发展态势不容乐观,水资源脆弱性将进一步加大。

(4) 水污染日益加剧和水资源过度开发导致生态环境恶化

污染和过度开采导致的水质和环境恶化对我国水资源安全的影响非常严重。目前全国多数河流湖泊都存在不同程度的水污染情况,其中黄河、辽河为中度污染,海河为重度污染。西北内陆河流域因水资源过度开采导致荒漠化面积扩大,华北地区和部分沿海城市地下水超采形成地下水漏斗和地面沉降,导致区域生态环境状况恶化。近 20 年来,我国水污染从局部河段到区域和流域,从地表水到地下水,从单一污染到复合型污染,水污染的扩展速度加快,水污染和水环境破坏程度加重,危及水资源的可持续利用,成为当前我国水危机中最严重、最紧迫的问题。

为了有效解决上述水问题,2011 年中央一号文件强调了水利在国家的核心地位,明确指出水利不

仅关系到防洪安全、供水安全、粮食安全,而且关系到经济安全、生态安全和国家安全,有着深刻的历史背景、现实意义,对国家未来发展具有重要的战略意义。纵观全球尤其是发展中国家,水资源短缺、水环境污染、水生态退化、水旱灾害已经严重威胁到全球经济发展、人群健康、人类生存环境和国家安全,也成为社会关注的热点和理论研究的重点,为此,本文将围绕上述问题对当前我国的水资源研究展开讨论。

3 水资源研究发展趋势

水资源安全问题已引起科技界广泛关注,本文结合当前国际水资源问题的诸多关注热点,重点针对水资源监测、水资源转化、水资源综合管理和水资源开发利用等方面做了深入细致的研究。加强对水文过程与能量循环过程的理解,在对其持续观测的基础上,提高地球水循环变化的监测能力,提高水资源利用效率和改善水资源管理模式,是减轻与水有关的灾害和保持人类可持续发展的关键。

3.1 水资源监测

伴随全球定位系统、遥感、地理信息系统、对地观测、同位素示踪、定点观测和监测、现代通信等高新技术的兴起,水资源监测领域得到长足发展。通过天地一体化的立体观测网络,对全球水资源形成和转化进行监测,了解人类河流、地下水管理导致的陆地水循环格局的变化,是各国宇航机构水资源部门发展计划的主要内容。

目前,美国宇航局 NASA 已建成了水循环观测网络,可以利用降雨雷达和微波辐射计观测降雨量,利用重力卫星 GRACE 观测百公里尺度的地下水月变化量,利用气象卫星获得大气参数和地表辐射平衡参数。未来 NASA 还将继续加强土壤含水量、冰雪和河川径流的观测。通过地表能量和水循环联合观测,将提高全球气候系统模式的预报能力,更好地揭示水资源和水循环的空间演变规律。欧空局发射的对地观测科学试验卫星 SMOS,采用对植被有很强穿透能力和对土壤水分更为敏感的 L 波段,有望提供近期内精度最可靠的全球土壤水分观测数据。预计 2013 年发射升空的国际联合全球降雨计划 GPM 中心星,将携带全新的双频降雨雷达以及多频微波辐射计,与其他卫星形成的微波辐射计观测星群联合提供全球范围每 3 小时的降雨观测结果^[9]。

近年来,同位素技术在水资源监测方面被广泛应用,国际原子能机构和世界气象组织一直致力于推动全球降水同位素站网(GNIP)的建设,现在

GNIP 的测验工作在研究环境和天气变化时越来越重要,2002 年又组建了全球河流同位素站网(GNIR),目前已在世界 17 条大江大河设立了常年观测站,其中 2003 年开始在我国长江设立河流同位素常年观测站。

大空间尺度水资源形成、转化研究,取决于是否能够在各种尺度上获得模型改进和标定所需的充分数据,上述卫星遥感监测活动,在此过程中扮演着关键角色。为有效利用这些先进监测系统和传统监测手段获得的数据,分析和模拟不同尺度水循环过程,需要具有对复杂陆地—大气—海洋数据进行耦合同化的能力。因此,未来全球水循环变化监测研究,将重点发展同化方法以实现卫星观测数据与地面观测数据的融合,将水量和水质监测结合起来,发展具有可方便存取节点的高性能的数据分发管理系统和存档系统。

3.2 水资源形成转化研究

在大气水方面,世界气象组织于 1988 年启动了全球能量与水循环实验(GEWEX),旨在观测和实验的基础上,研究气候变化条件下海洋—大气—陆面间能量与水分相互作用与转化及其对气候变化的反馈。其成果将用于改善对于蒸散发和降水的模拟能力,提高对大气辐射和云雾模拟的精度,最终达到改进气候模型的目的。全球能量与水循环实验现已在 5 个实验区(密西西比河流域、亚马孙河流域、马更些流域、波罗的海区域、亚洲季风区)完成了观测和试验,获得了能量与水循环领域的研究成果^[10]。

在作物与森林水文方面,国际科学联盟理事会(ICSU)于 1990 年正式启动水文循环的生物圈过程(BAHC)专项,主要研究植被在水循环中所起的作用。BAHC 着重进行以下 2 方面工作^[11]:一方面通过野外观测实验,研究确定植被在水循环中的作用,研发不同时空尺度的土壤—植被—大气模式,模拟地表的能量和水汽通量,最终实现与大气环流模式的耦合;另一方面建立必要的生态、气象和水文数据库,试验和验证模拟的结果。

在地表水方面,对过去 50 年地表径流变化的研究表明,众多河流来源于高山冰川冰雪融水和山区降水,由于冰川对气候变化反映十分敏感,气候变化对水资源的最大影响表现在对河流源头冰雪储量的影响,进而影响出山河川径流量。因此,寻求新的理论和方法进行冰川融雪径流变化预测和对未来水资源影响的研究显得十分紧迫。

在水循环过程模拟方面,陆面水文过程涉及到

生物、土壤等一系列复杂的子系统及其相互作用的过程,较之大气过程更为复杂。BAHC 计划通过野外观测实验研究,确定了土壤—植物—大气系统水循环中的生物控制作用,建立了各种时间和空间尺度的土壤、植物、大气系统能量和水分通量模型。

从联合国教科文组织牵头实施的国际水文计划(UNESCO/IHP)第六阶段(2002—2007 年)起,主题集中在水问题带来的危机与挑战。主要解决 5 个问题,即:气候变化和水资源、地表和地下水转化、陆地栖息地水文学、社会与水、水知识的传播与教育。同时,从 IHP 第六阶段开始,由 IAEA 主持设立了“国际同位素水文学合作计划(JIHP)”。其目标是将同位素结合到水文研究中去。JIHP 计划支持对于特殊水文过程和水资源管理方法的研究,并研究气候变化和人类活动对水资源的影响。事实上,同位素水文学是干旱半干旱地区水文学与水资源研究中不可或缺的手段。

近年来,UNESCO/IHP、IGBP 等大型国际科学研究计划研究中越来越注重气候变化和人类活动对水循环和水资源的影响,以期水资源形成转化及合理利用提供科学依据。如 UNESCO/IHP 目前已执行到第七阶段(2008—2013 年),其核心目标是:供需压力和社会响应下的水系统,计划提出了以全球变化背景下的流域和地下水系统管理为核心的系列焦点科学问题,包括供需压力下的水文过程及其反馈;气候变化对于水资源水循环的影响;洪水、水文极端事件和与水相关的灾害预警以及干旱与半干旱区的全球变化和气候分异。

3.3 水资源综合管理

世界各国主要采用 3 种水资源管理体制。一是按行政区管理为主的水资源管理体制;二是按流域管理为主的水资源管理体制;三是流域管理与行政区管理相结合的水资源管理体制。虽然世界各国的政治体制、经济结构、自然条件和水资源开发利用程度不尽相同,但各国政府在水资源管理方面却有一系列很相似的做法,包括强调水资源的公共性、实行流域水资源统一管理、实行水权登记和用水许可制度、将节水和水资源保护工作放在突出位置 and 加强水的立法。目前,国外通过改变水资源管理措施,如从供给管理到需求管理、实行累进制水价和季节价格政策、水权交易等,在工农业生产和日常生活需水量调节方面取得了显著效果。

水资源综合管理在 20 世纪 80 年代被提出,提倡水资源综合管理模式,以改变局部、分散和脱节的

供给驱动管理模式,统筹考虑流域经济社会发展与生态保护要求,实现可持续发展的目标^[12]。在全球水伙伴 GWP 的倡导和推广下,得到各国的认同和有效实施。流域综合管理是水资源综合管理的一个子系统,是水资源综合管理在流域尺度上的应用,被定义为一个综合、系统的决策和管理流域内包括水资源在内的各种资源,运用多种综合手段,在流域尺度上实现为生态环境以及人类服务功能最大化的新型管理模式^[13]。目前“环境—经济—社会—水文”耦合系统的综合研究已经成为趋势,多目标决策方法、模型模拟技术、专家评判的综合决策支持系统得到发展和应用,促进水资源综合管理。当前国际特别重视水资源需求管理的研究,以水足迹为参考依据,兼顾社会经济—生态—环境效应,尤其是研究如何将市场机制(如水价和水权交易制度)引入水资源管理和分配中,通过发挥价格杠杆和激励机制的作用调节水资源的需求。

近年来,我国政府也在积极致力于推动水权理论研究与实践探索,加强水权制度建设,先后制定和出台了一系列与水权制度建设相关的政策法规和指导性文件,初步建立了水权管理的基本制度框架。

3.4 水资源开发利用

在水资源开发利用方面,越来越多地关注海水和苦咸水淡化、农业节水、雨洪利用等非常规的水资源开发利用。美国 2003 年通过的“脱盐与水净化研究计划”,总结了美国到 2020 年的供水将要面临的挑战,并针对这些挑战制定了《脱盐与水净化技术路线图》,指导美国今后的水资源开发利用的途径,进而指出支撑下一代污水处理厂发展的 5 个主要技术领域,分别是膜技术、替代性技术、热技术、浓缩处理技术和再循环再利用技术^[14]。我国 2005 年在《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020 年)》中,提出在水资源优化配置与综合开发利用方面,重点研究开发大气水、地表水、土壤水和地下水的转化机制和优化配置技术,污水、雨洪资源化利用技术,人工增雨技术,长江、黄河等重大江河综合治理及南水北调等跨流域重大水利工程治理开发的关键技术等;同时提出在综合节水方面,重点研究开发工业用水循环利用技术和节水型生产工艺;开发灌溉节水、旱作节水与生物节水综合配套技术,重点突破精量灌溉技术、智能化农业用水管理技术及设备;加强生活节水技术及器具开发。目前,国际水资源协会(IWRA)、国际水文科学协会(IAHS)、国际水利与环境工程学会(IAHR)、国际水协会

(IWA) 致力于开展一系列科学计划推动水资源的高效利用。

4 国内研究现状与不足

4.1 现有工作和研究基础

我国分别在水循环监测、水资源规划管理、水利建设、农业节水、水土保持、水生态环境保护、水科学基础研究和开发利用技术等方面,开展了大量工作,做出了重要成绩。

在水循环监测方面,我国在“十五”和“十一五”期间加强了与水相关的气象、水文观测系统的建设,并在科研系统新增了大量的自动气象观测站。在水循环要素遥感监测方面,也发展了大量的反演模型,取得了重要进展,尤其是在蒸散和土壤含水量遥感监测方面取得了一系列重要成果。除了水利和气象部门的观测监测系统外,中国科学院建有中国生态系统研究网络(CERN),包括诸多水平衡观测与试验的野外站,并建有水分分中心,专门开展不同类型生态系统的水分观测数据积累和质量管理。

在水资源规划管理方面,基于多年治水实践和经验教训,“十五”和“十一五”规划逐步提出了新时期的治水思路,从传统水利向现代水利、可持续发展水利转变的治水新思路。2002 年,由国家发展和改革委员会与水利部牵头,国土资源部、建设部、农业部、国家环保总局、国家林业局以及中国气象局等八部委局联合成立了全国水资源综合规划编制工作领导小组,全面启动了水资源综合规划的编制工作。该工作为实现水资源可持续利用的重大战略目标,为今后一个时期我国水资源开发利用、配置、节约、保护和管理提供了重要基础和依据。

在水利建设、农业节水和水土保持方面,在不同流域或区域,如黄土高原水土流失区、黑土区、南方红壤丘陵区等,开展了大量水土保持的研究。“九五”、“十五”和“十一五”科技攻关计划、国家“863”、“973”计划等重大科技项目,取得了一批重要研究成果,如“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”、“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”等。2005—2007 年,国家水利部、中国科学院、中国工程院共同发起了“中国水土流失与生态安全综合科学考察”,是新中国成立以来水土保持领域规模最大、范围最广、参与人员最多的一次综合性科学考察行动,取得了丰硕的成果。

在水生态环境保护方面,“九五”以来,结合经济结构调整,积极推行清洁生产,加快城市污水处理

厂建设。重点流域水污染防治取得了阶段性成果,淮河、太湖、巢湖水体中有机污染逐步降低。“十五”计划的前两年,国家组织编制并开始实施重点流域、海域、区域水污染防治“十五”计划。建立了跨省界水污染纠纷协调机制,制定了突发性水污染事件应急预案。以水环境功能区划和排污许可证发放为基础的水环境管理工作得到了强化。与此同时,国家环保部建立并完善了长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河、太湖、巢湖及滇池十大流域环境监测网络。我国在250条河流上设立了497个国控断面,在29个湖(库)设立了263个国控断面。2008年国家正式实施水体污染控制与治理科技重大专项,主要分为3个阶段,第一阶段目标主要是突破水体“控源减排”关键技术,第二阶段目标是突破水体“减负修复”关键技术,第三阶段主要突破流域水环境“综合调控”成套关键技术。水专项是建国以来投资最大的水污染治理科技项目。

水科学基础研究方面,我国从“六五”开始在区域或流域尺度上开展了水资源研究,相继开展了华北水资源、黄河水资源、西北水资源等国家攻关研究项目。国家重点基础研究发展计划对“黄河流域水资源演化与可再生性维持”进行了立项支持。“十一五”期间,国家支持了一大批与水资源相关的部门支撑计划、行业水专项和“973”、“863”等重大科学计划。如投资额度达100多亿的“水体污染控制与治理科技重大专项”、“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”、“东北地区水资源全要素优化配置与安全保障技术体系研究”和“南水北调工程若干关键技术研究与应用”等科技支撑计划;国家“973”项目“黄河流域水资源演化与可再生性维持机理”、“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”和“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”及国家“863”计划项目“雨水资源利用技术”等。上述研究为在更深的层面和更广泛的领域解决国家经济与社会发展中与水资源相关的重大基础性科学问题,提高我国自主创新能力和解决重大问题的能力,提供了技术和理论支撑。

水资源开发利用技术方面,我国在水资源开发利用的众多领域积极开展了技术研发的探索,并且越来越重视和强调技术的研发,在农业节水、海水淡化、污水资源化利用以及雨水利用等方面开展了大量技术研究。《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》中特别指出了水资源

优化配置与综合利用的重要地位,强调重点研究治污技术、雨洪资源化利用技术、综合节水技术。

综上所述,我国当前对于水资源问题的研究已经形成初步规模,但是其仍存在不足,需要在今后一段时间乃至相当长的时间内,在现有的基础上进行深入研究,且当前的水资源危机及水问题也必须被重视,从而为社会经济发展提供源源不断的动力。

4.2 存在的问题和差距

目前,我国水资源的综合研究水平仍有待提高,在今后的工作中需要加强以下方面的研究:

(1) 流域尺度的多元水循环过程研究。虽然流域水循环的大气、地面、土壤和地下过程分项研究都较为深入,但由于尺度转化、界面耦合等方面的困难,多元多尺度流域水循环系统研究相对仍较滞后,需要进一步开展流域水循环系统综合研究。

(2) 气候变化和人类活动影响研究。在当前开展的工作和研究中,多数考虑自然状态下水资源问题,对于气候变化和人类活动影响的定量评估还没有有效开展并形成一套良好的评价方案。如我国水利水电建设,特别是跨流域调水等特大型工程,对大尺度的水循环系统及自然生态系统产生极大的扰动,天然水循环规律有很大的改变,其中许多科学问题需要深入研究,一些深层次的影响和后果亟待科学论证,而目前这方面的基础研究比较薄弱,国家投资和支持不够,重大水利水电工程的科学论证也不够。

(3) 基于水循环的综合水资源研究。目前多针对单项调控研究,未能综合考虑水循环系统过程进行联合调控研究。如在节水调控研究中,常常忽略节水对于生态系统的影响研究。如在华北地区海河流域、西部地区石羊河流域开展了大量的农业节水工程措施,很大程度提高了农田渠系利用系数,增大了农田灌溉保证率,但这些节水措施并没达到实现“建设节水型社会”的目标,区域和流域的地下水位持续下降,生态环境问题依然存在。此外,在流域水资源实时调度研究与实践方面,以往的工作主要集中于部分河系、区域或部分工程,主要研究对象是地表水资源,决策目标相对单一,时空尺度相对较小,对于旱区基于生态安全的地表水、地下水资源联合运用技术与理论方面的研究相对较少,缺乏对全流域社会经济发展用水和生态系统需水的综合考虑和对高山区冰雪融水、山区森林带降水、地表水、地下水和土壤水资源之间关系的深刻认识,对流域尺度的水循环过程与水资源配置缺乏有机联系和深入

研究。

(4) 加强水资源管理体制和模式研究。我国涉水的管理和研究部门众多,包括水利部、农业部、环境保护部、国土资源部、住房和城乡建设部、中国气象局以及高等院校和中国科学院的涉水研究力量等。在管理上,“多龙治水”、水资源的多部门管理已无法解决我国跨部门、跨地区、影响多个利益主体的水资源冲突与矛盾,水资源可持续利用及水安全缺乏可靠的制度保障。政出多门导致科学研究缺少统筹和协调,水资源观测数据与资料分散在各有关部门和行业,部门间存在着低水平重复研究的状况,更缺乏国家层面的陆地水系统和水资源变化监测、水危机的预警预报及风险管理系统,不能满足国家和重点区域水资源安全保障的基础信息支撑与预警预报要求。

5 “十二五”水资源研究的战略重点和重要方向

面向国家水资源战略需求和未来环境变化严峻的形势,未来 5 年,我国“十二五”水资源研究的科技发展思路以及战略重点和重要研究方向,应包括以下方面:开展全国尤其北方水资源研究、长江流域以及西南河流等的水资源研究,开展冰冻圈及国际河流等特殊水资源问题的研究,加强水资源工程的监测与评价技术体系研究,加强中国水资源安全预警预报服务平台的建设与综合集成研究,加强水资源与环境、生态学科的交叉研究,全面提升我国水资源研究和自主创新的能力,提高为国家水资源安全提供知识、技术支撑和决策服务的能力。

(1) 中国北方地区水循环与水资源高效利用及调控研究

随着经济社会高速发展和环境变化,近 20 年来,中国北方黄河、淮河、海河和辽河水资源总量减少 12%,地表水资源减少 17%,华北海河流域地表水减少 41%,北方水资源短缺和供需矛盾十分尖锐,成为制约 21 世纪国家经济社会可持续发展的瓶颈。在全球变化条件下,如何平衡有限的水资源与区域社会经济发展和生态—环境保护对水资源的需求的矛盾已成为重要和紧迫的国家战略需求。

我们认为需要重点研究变化环境下(人类活动与气候变化影响)流域水循环演变和转化规律(降水—地表水—土壤水—地下水)、经济社会发展和生态保护的耗(用)水及其需求规律和支撑区域可持续发展的水资源优化配置与科学调控机理。为解决

我国北方地区水资源制约下的产业调整、南水北调重大工程实施后的科学调度和区域水资源可持续利用与管理提供科学依据。

(2) 长江流域水系统演化与水灾害调控及西南河流研究

长江是我国第一大河,其地理分布跨度大、支流湖泊多、可利用的水资源丰富。但是,水土流失、洪水灾害、水污染已成为长江流域突显的三大水问题。长江的水沙产输强度大、未来水资源开发强度大、存在潜在威胁及危害大,维系健康长江成为国家大江大河治理最为关切的问题。西南河流是我国水资源的主要战略储备区,西南河流已经进入快速开发期,未来 20 年主要河流将全部成为梯级化的人工渠道或人工湖泊,天然河流原来的径流变化规律被打破,有可能会破坏原来的自然平衡,严重干扰现有的生态链,处理不当还可能威胁环境安全。

需要重点研究自然环境变化和人类活动双重影响下的长江流域水系统演变规律、基于长江流域水系统演变规律的水灾害调控、西南梯级开发河流系统的水资源变化规律、有利于西南河流水生态健康和上下游供需平衡的水资源配置方案。以便有效解决自然变化和人类活动影响下长江流域的防洪系统、水环境保护及生态环境效益等诸多问题,促进长江河流健康与流域可持续发展,为西南河流水资源优化管理提供理论依据。

(3) 全国水污染动态监测方法研究及系统建设

水污染加剧带来的水质型缺水使中国南方的供水能力受到挑战,北方水资源短缺更加严重。由于工业化和城市化迅速推进的过程中缺乏有效的污染治理,大量工业和生活废水未经合格处理就排入水体,大面积的水质破坏使水丧失使用的价值,造成有水却不能用的状况。经济发展中的工业化和城市化也产生了大量污水,发展速度较快的区域往往也是排污最多的区域。为了实时动态获取全国水污染形势,协助环境保护部门加强水污染防治监督管理,减少水污染造成的可用水资源减少趋势,亟需开展全国尺度水污染监测方法研究和监测系统建设工作。

需要进行不同类型水体污染光谱特征差异及其对水生动植物的影响和大江大河污染分布及运动规律研究。从而建立基于国产资源环境卫星遥感数据源的全国尺度水污染监测方法体系和无线传感器网络的全国水污染监测系统,提高全国水污染、可用水资源实时动态监测和评估能力。

(4) 冰冻圈及国际河流水资源研究

环境变化导致冰冻圈的水资源发生变化,将直接影响我国江河以及西部绿洲地区水资源格局,并可能引发一系列生态与环境问题。自第三次世界水论坛及各国部长会议后,国际河流水资源问题已经提到十分重要的位置。各个国家加速国际河流水资源的研究,为维护国家利益提供科学依据。目前我国水利部门等在冰冻圈的水资源研究、国际河流水资源开发利用方面的研究较少。

今后工作重点应包括西部冰川资源现状评估、冰冻圈变化与全球变化的相互关系及作用机理、冰川资源减少对我国大江大河源生态环境的影响、国际河流水资源开发与境内外水生态环境和生物多样性及局地气候变化的综合性研究。应针对影响国家安全的我国新疆、云南、东北地区等的重要国际河流,研究分析我国上游水资源开发可能对下游国家的生态、经济、工程带来的影响,提出联合开发国际河流水资源的依据、方案、对策和建议,为国家谈判服务。

(5) 中国河流开发与生态保护

河流水电能源是可再生清洁能源。但当前我国水电能源开发不足,一些关键问题有待解决。其主要问题是:开发建设周期长、生态—环境影响与保护成为焦点。缺乏协调生态保护的中国河流水电开发科学基础与支撑技术研究,因此应开展河流开发的水循环及地表过程变化、水电能源开发对生态—环境的影响与作用和河流开发的地理过程变化与适应性机理研究,为我国水电开发利用提供支撑,破解水电能源开发的生态约束。

(6) 重大调水工程的水系统基础及支撑技术研究

我国水资源时空分布不均,跨流域调水是宏观水资源配置的重要手段。但是,涉及到生态—环境影响、调水效益与管理以及国际河流开发等问题。目前,南水北调重大工程仍有争议,特别是针对条件复杂的南水北调西线工程可行性问题。西水东调(引怒济金)工程可行性的科学基础研究,以西水东调(引怒济金)为例,从怒江上游引水约150亿 m^3 ,补充金沙江的河川径流,这是在现有的南水北调方案之外,增加了一种西水东调的选择性。需要解决复杂基岩山区的径流形成规律与水资源开发利用模式、跨流域调水的水文—生态—经济复合系统分析理论与方法、多流域水资源联调的优化技术和关键理论与方法、区域水安全调控机制和优化配置对策等关键问题。

(7) 全球气候变化对水循环与水安全的影响研究

进入新世纪以来,气候变化或全球变化对水文水资源系统的影响越来越引起水文、气象等诸多领域学者的关注^[15~20]。全球变化必然引起全球水分循环的变化,导致水资源在时间和空间上的重新分配和引起水资源数量的改变,从而进一步影响地球的生态环境和人类社会的经济发展,因此研究气候变化对水循环过程和水资源安全的影响,对于解决水文水资源系统的规划管理、开发利用、运行管理、环境保护和生态平衡等问题具有至关重要的理论意义和现实意义。尽管国内外的科技工作者已开展大量关于气候变化对水文水资源影响的研究工作,并取得了一定进展,但研究中仍存在一些与不足,今后需进一步加强两者关系和相互影响研究,将改进目前气候模型和水文模型单向耦合为紧密双向耦合,实现动态响应变化,同时应考虑人为因素的影响,提高气候模型和水文模型之间不同时空尺度的转换和模拟精度。尤其应关注气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策。

(8) 水量—水质—水生态耦合集成研究

水的资源属性与其生态属性和环境属性密不可分,在水资源的研究中不应忽视对水生态和水环境问题的研究。应该在“十二五”水资源科技战略中进一步强调水生态和水环境问题的研究,致力于水资源量、水生态和水质研究的耦合,在今后的发展中必须有效解决水生态和水质问题,才能更好地实现水资源的可持续开发利用。应关注湿地、湖泊、河流、绿洲、海岸带等生态系统的生态过程和环境问题研究,并与其水资源效应结合起来。应进一步完善全国各大流域水文水质环境监测网络,建立全国尺度的水污染监测方法体系和水污染监测系统,开展水资源开发与水环境和生态的相互影响研究,特别是针对大型水利水电工程对水环境及生态环境的不利影响,如三峡工程、南水北调工程等,需要进行进一步的环境影响评估。重点完成流域或区域水资源开发对水环境及生态的影响研究,为我国实现合理的水资源开发与配置提供可靠依据。

针对以上问题,我们认为“十二五”期间应关注的重要研究方向包括:

(1) 水循环要素的多源遥感监测技术研究。开展降雨、蒸散、土壤湿度、地表水资源、地下水蓄变量等水循环要素的遥感监测技术与反演模型研究,数据间的同化、协同、尺度效应以及交叉验证技术研

究,以及水循环要素的集成应用技术研究。

(2) 土壤水资源与生态水资源研究。深入开展土壤水资源分布与转化规律,生态水消耗与调控机理的研究,提出保障生态水安全、提高土壤水资源利用效率的措施。

(3) 水资源转化与可再生性研究。围绕水资源利用与保护的基础科学问题,选择不同类型典型实验流域,研究水资源产生、转化、循环、再生规律,开展长期监测与分析的研究工作,提出系统的基础数据与理论方法。

(4) 水资源价值与管理研究。围绕水资源利用效率,开展水资源开发与保护的价值体系研究,从管理和水权角度,提出中国水资源管理的咨询建议。

(5) 水资源高效利用、科学配置与水系统综合模拟。在继承和集成已有成熟技术的基础上,开发研制一批适合我国不同地域特点的水资源高效利用、科学配置与水循环系统综合模拟成套创新性技术,以及研究开发大气水、地表水、土壤水和地下水的转化机制和优化配置技术,污水、雨洪资源化利用和海水淡化技术。

(6) 综合节水技术研究。开发工业用水循环利用技术和节水型生产工艺;开发灌溉节水、旱作节水与生物节水综合配套技术,重点突破精量灌溉、智能化农业用水管理技术及设备;加强生活节水技术及器具开发。

(7) 水资源工程生态环境效应监测和评估方法研究。结合 3S 技术和传统监测方法手段,建立水资源工程生态环境效应的遥感监测与评估方法体系,客观监测和评估水资源工程(如流域治理工程)的生态环境效应。

(8) 水资源观测监测平台体系建设。平台建设包括研究型平台和技术支撑平台 2 个方面。在研究型平台方面,应重点建设“中国水资源安全信息共享、服务平台”,包括数据库、模型库、预测库和决策库等;在技术支撑平台方面,应重点建设水循环监测体系建设、地面—遥感结合的水循环观测体系建设、陆地水循环与水安全国家重点实验室建设、水分析仪器设备平台建设和数据—模型—决策支持平台建设等。

6 展 望

水资源问题直接关系到国计民生和社会经济可持续发展的基本需求,水资源的时间和空间变化又直接取决于对水文循环规律的认识。一直以来,全

球变化和高强度的人类活动及社会经济发展与生态环境之间存在不可避免的冲突,需要寻求一个共享的协调途径来实现共同发展。可持续发展的理念为解决这个问题提供了基本准则^[21],生态经济学的价值观为构建可持续发展模式提供了可能,为此开展多方面的水资源安全研究是解决我国水资源问题的重要内容。“十二五”乃至未来更长一段时间的水资源研究领域,需要在以下方面开展工作:

(1) 水资源开发利用、生态环境保护与修复新技术研究

水资源开发利用技术水平决定了当地水资源与社会经济发展的可持续能力,为此,在今后相当长的时间内需要加强水资源开发利用技术研究,同时提高水资源利用效率,采用新手段和新技术处理利用空中水、土壤水、海水、苦咸水、污水和雨洪等。

节水农业是新时期水资源保护的重要举措,重点开展深层土壤水分利用技术研究,提高土壤水分利用效率,成为节水农业的重要内容^[22]。海水和苦咸水淡化处理利用技术将为沿海地区和苦咸水地区解决部分水资源短缺问题,目前主要是蒸馏法和反渗透法进行淡化处理,但是处理效率低和利用率低成为主要难题,今后需要向开发智能型、处理效率高、符合技术经济要求的集成性工艺技术努力^[23]。另外还应该加强污水处理新技术、雨洪资源化利用手段等的研究,从而更有效地利用水资源。在增水同时还要实施节水技术和节水管理,进行工业节水技术集成和整合,在农业上实行节水灌溉制度,在生活中研发应用新型生活节水器具,加强虚拟水战略研究率定,重点包括虚拟水的理论方法、核算方法和技术、虚拟水战略和区域经济结构关系,基于虚拟水战略的区域政策体系等。

在未来时期水资源领域科技发展方面,应将水生态安全作为国家重大战略需求之一,在节水、治污等方面科技方程的基础上,大力推进水文水循环与生态环境变化耦合机理方面的基础研究,以及水土保持、生态需水、水生态监测和水生态保育等方面应用技术的不断创新和发展。同时进一步完善水资源保护法律法规,开展河流生态保护和修复技术研究^[24],制定详细的水环境保护和生态修复的相关标准,建立健全生态修复的长效机制。

(2) 水资源综合管理与集成和水资源安全保障体系研究

深化水循环理论研究是实现水资源综合管理的科学理论依据^[25],在此基础上加强全国范围或流域

范围的水资源整体评价和综合管理及集成研究,为综合调度水资源、合理配置和高效利用提供基本保障。要开展水资源综合管理决策支持系统研究,建立综合管理决策系统,提高决策和管理水平,更好地服务于国民经济和社会的发展。重点是加强流域综合管理体系建设,其中包含众多的科技问题,如流域水环境监测体系与信息平台建设、流域综合规划的指导原则与技术规程、典型流域污染减排的总量设定和目标分解以及配套政策、国家饮用水安全的预警与应急管理技术体系、开展流域水质水量联合调度与水利设施的生态调度、气候变化背景下水资源与流域管理的适应对策和流域生态补偿政策与机制等,需要进行跨学科的综合研究。

水资源安全保障体系是指人类社会针对某一特定区域、特定历史时期和特定经济技术条件下所面临的一系列水危机问题的理性响应策略集,在对水安全态势进行科学分析预测的基础上,采取各种手段对水资源系统畸形优化调控配置,以实现区域可持续发展的方略体系^[26],为解决水资源安全提供有力支撑和根本依据^[27]。主要由水资源安全供给、需求、贸易、政策、技术和法律保障体系组成的基本框架,需要克服观念、体制、技术和经济方面障碍,这是一个长期艰巨的任务,同时需要构建政府机制、市场机制和社会机制共同驱动作用的制度架构^[28],为真正实现“政府主导、市场推动、公众参与”水资源保障新局面和加快水资源合理利用提供有效保障。

(3) 水系统科学基础理论与创新研究

随着经济社会发展和全球环境变化,我国水短缺、水污染、水生态、水灾害、水管理5个问题复杂交叉,是一个复杂的水系统问题。解决上述水问题的核心是水循环研究,需要以流域为基本单元,阐明以水循环为纽带的流域水系统的物理、生物与生物地球化学、人文等三大过程的联系及其反馈机制,发展多要素、多过程、多尺度流域水循环综合模拟科学平台,建立水系统的调控模式和良性水循环维持途径。这不仅是当前国际水科学研究的前沿,也是破解我国复杂水问题的科学基础与核心。

流域是水系统的基本单元。由于人类活动和气候变化的影响,流域水系统的三大过程交互作用,具有多要素、多过程和多尺度联系与反馈的特点。国家在水的安全保障战略方面,特别强调水的可持续利用、人水和谐,重视流域水的生态—环境效应和水的综合管理,最大限度改善和维系健康水循环。由于流域水循环的复杂性以及高强度人类活动和气候

变化的多重影响,水循环系统时空变化的量级与机理、水循环系统各部分作用与反馈、环境变化下社会经济发展的水系统承载能力与适应性,成为水问题研究亟待解决的三大关键科学问题。面对变化环境下复杂的水问题,需要通过水系统的三大过程机理研究与多个环节的综合调控,维系流域健康水循环,支撑社会经济可持续发展。

全球变化和水资源是当前国际水科学与水资源研究的前沿,也是我国水资源可持续利用面临的新的难点课题。我国重大水利工程,包括三峡工程、南水北调等,在国家、区域、流域的决策规划中,需要考虑到全球变化(气候变化和人类活动)因素的影响。气候变化和人文因素对中国水资源问题的发展变化影响显著,加剧了多方面的水资源问题,并具有显著的不确定性特征,为此应该在水文水资源基础研究领域加强全球变化与人类活动对水循环系统的影响研究。同时在定性研究的基础上,要基于量化的研究方法,研究物理气候系统、经济社会系统和水资源与水循环系统之间的相互关系、相互影响与演变趋势。针对不同时空尺度气候—经济—水资源耦合系统模拟研究,需要地球系统科学、复杂系统科学、全球气候变化、对地观测技术、信息技术和模型模拟技术进行集成研究和跨学科交叉研究。

总而言之,在今后的时间里,需要加强上述方面的研究,这也是新时期水科学基础与应用研究面临的重大挑战,应该抓住中央一号文件强调水利科学在国家战略发展中核心地位的机遇,积极开展针对国家重大需求(水资源安全问题等)和国际科学前沿基础问题(水系统科学问题等)的知识创新研究。

参考文献(References):

- [1] Xia Jun, Su Renqiong, He Xiwu *et al.* Advancement and scientific issues in research on biological process of water cycle[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2008, 23(2): 116-120. [夏军, 苏人琼, 何希吾, 等. 中国水资源问题与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2008, 23(2): 116-120.]
- [2] Wang Shucheng. Living with nature in harmony: Water resource problem and countermeasures in China[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2009, 45(5): 441-445. [汪恕诚. 人与自然和谐相处——中国水资源问题及对策[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2009, 45(5): 441-445.]
- [3] Song Jianjun, Zhang Qingjie, Liu Yingqiu. Analysis of safety factor of water resources in China in 2020 and strategy suggestion[J]. *China Water Resources*, 2004, 9(9): 14-17. [宋建军, 张庆杰, 刘颖秋. 2020年我国水资源保障程度分析及对策建议[J]. 中国水利, 2004, 9(9): 14-17.]

- [4] Xia Jun. A perspective on hydrological base of water security problem and its application study in north China[J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(6): 517-526. [夏军. 华北地区水循环与水资源安全: 问题与挑战[J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 517-526.]
- [5] Zhang Yu, Deng Wei, Yang Jianfeng. Study on problems of water resources supply and demand and countermeasures in northeast of China[J]. *Economic Geography*, 2005, 25(4): 565-568. [张郁, 邓伟, 杨建峰. 东北地区的水资源问题、供需态势及对策研究[J]. 经济地理, 2005, 25(4): 565-568.]
- [6] Qin Dahe. Climate and Environment Changes in China (II) [M]. Beijing: Science Press, 2005. [秦大河. 中国气候与环境演变(下卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2005.]
- [7] Liu Chunzhen. The issues in the impact study of climate change on the terrestrial hydrological cycle [J]. *Advances in Earth Science*, 2004, 19(1): 115-119. [刘春蓁. 气候变化对陆地水循环影响研究的问题[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 115-119.]
- [8] Ren Guoyu, Jiang Tong, Li Weijing *et al.* An integrated assessment of climate change impacts on China's water resources[J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(6): 772-779. [任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 772-779.]
- [9] Wang Yi. The development of the Earth observation system [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(9): 980-989. [王毅. 国际新一代对地观测系统的发展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 980-989.]
- [10] Lu Guihua, He Hai. View of global hydrological cycle [J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(3): 419-424. [陆桂华, 何海. 全球水循环研究进展[J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 419-424.]
- [11] Yu Guirui, Wang Qiufeng. Advancement and scientific issues in research on biological process of water cycle [J]. *Progress in Geography*, 2003, 22(2): 111-117. [于贵瑞, 王秋凤. 我国水循环的生物学过程研究进展[J]. 地理科学进展, 2003, 22(2): 111-117.]
- [12] Pang Jingpeng, Zhang Wang, Wang Haifeng. Discussion on the concepts of integrated watershed management and integrated water resources management [J]. *China Water Resources*, 2009, (15): 21-24. [庞靖鹏, 张旺, 王海峰. 对流域综合管理和水资源综合管理概念的探讨[J]. 中国水利, 2009, (15): 21-24.]
- [13] Du Peng, Fu Tao. Comment on integrated river basin management research [J]. *Water Resources Protection*, 2010, 26(3): 68-72. [杜鹏, 傅涛. 流域综合管理研究述评[J]. 水资源保护, 2010, 26(3): 68-72.]
- [14] Strategic Research Group on Water Resources in CAS. Science & Technology on Water Resources in China: A Roadmap to 2050 [M]. Beijing: Science Press, 2009. [中国科学院水资源领域战略研究组. 中国至 2050 年水资源领域科技发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [15] Ding Yihui. Human activity and the global climate change and its impact on water resources [J]. *China Water Resources*, 2008, (2): 20-27. [丁一汇. 人类活动与全球气候变化及其对水资源的影响[J]. 中国水利, 2008, 2: 20-27]
- [16] Xia Jun, Tan Ge. Hydrological science towards global change: Progress and challenge [J]. *Resources Science*, 2002, 24(3): 1-7. [夏军, 谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学, 2002, 24(3): 1-7.]
- [17] Shao Chun, Shen Yongping, Zhang Jiao. Recently progress in climate change impact on water cycles of cold regions [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(1): 72-80. [邵春, 沈永平, 张皎. 气候变化对寒区水循环的影响研究进展[J]. 冰川冻土, 2008, 30(1): 72-80.]
- [18] Zhang Liping, Chen Xiaofeng, Zhao Zhipeng *et al.* Progress in study of climate change impacts on hydrology and water resources [J]. *Progress in Geography*, 2008, 27(3): 60-67. [张利平, 陈小凤, 赵志鹏, 等. 气候变化对水文水资源影响的研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 60-67.]
- [19] Wang Shunjiu. Impacts of global climate change on hydrology and water resources [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(5): 223-227. [王顺久. 全球气候变化对水文与水资源的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(5): 223-227.]
- [20] Tao Tao, Xin Kunlun, Liu Suiqing. Summarization of climate changing effect on water resources management [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2007, 18(6): 7-12. [陶涛, 信昆仑, 刘遂庆. 全球气候变化对水资源管理影响的研究综述[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(6): 7-12.]
- [21] Liu Changming. Discussion on some problems for water resource of China in the twenty-first century [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2002, 33(1): 15-19. [刘昌明. 二十一世纪中国水资源若干问题的讨论[J]. 水利水电技术, 2002, 33(1): 15-19.]
- [22] Li Quanqi, Liu Mengyu, Dong Baodi *et al.* Present situation and study progress on the deep soil moisture [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(9): 599-602. [李全起, 刘孟雨, 董宝娣, 等. 农田深层土壤水利利用现状与研究趋势[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 599-602.]
- [23] Liu Bin. Application of continuous membrane filtration system in seawater desalination further treatment [J]. *Journal of Tianjin Polytechnic University*, 2008, 27(3): 85-88. [刘彬. 连续膜过滤系统在海水淡化深度处理中的应用[J]. 天津工业大学学报, 2008, 27(3): 85-88.]
- [24] Qian Zhengying. New conception in Chinese water conservancy—Harmonious coexistence of humanity with nature [J]. *Journal of Hehai University (Natural Sciences)*, 2004, 32(3): 243-247. [钱正英. 中国水利工作的新理念——人与自然和谐共处[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(3): 243-247.]
- [25] Liu Changming. Studies on water recycling is the theoretical base for integrated water resources management [J]. *Water Resources Planning and Design*, 2009, (19): 27-28. [刘昌明. 水循环研究是水资源综合管理的理论依据[J]. 中国水利, 2009, (19): 27-28.]
- [26] Sun Caizhi, Yang Jun, Wang Hui. Research on water security guarantee system for a well-to-do society [J]. *Journal of China U-*

- niversity of Geosciences (Social Sciences Edition)* ,2007 ,7(1) : 52-56. [孙才志 杨俊 ,王会. 面向小康社会的水资源安全保障体系研究[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版 ,2007 ,7(1) : 52-56.]
- [27] Qiu Dehua. Research advances in regional water security strategy [J]. *Advances in Water Science* ,2005 ,16(2) : 305-312. [邱德华. 区域水安全战略的研究进展[J]. 水科学进展 ,2005 ,16(2) : 305-312.]
- [28] Shen Manhong. Constructing the safety guarantee system of water resources in China [J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)* ,2006 ,6(1) : 30-34. [沈满洪. 中国水资源安全保障体系构建[J]. 中国地质大学学报: 社会科学版 ,2006 ,6(1) : 30-34.]

Some Reflections on the Research and of Development Water Resources in China

Xia Jun¹ , Zhai Jinliang² , Zhan Chesheng¹

(1. *Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes , Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research , CAS , Beijing 100101 , China;*

2. Bureau of Science and Technology for Resources and Environment , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100864 , China)

Abstract: Water resources has the characteristics of less average per capita possession , uneven regional distribution , great variation in a year and between years , unmatched water and land resources and obvious effect of human activities in China. Contradiction between water supply and water demand in China is significant , and the developing trend is very serious due to the rapid development of the society and economy. Actually enhancing integrated management of water resources , improving utilization efficiency of water resources , and building science and technology supporting system to guarantee water resources security will be directly related to the whole situation of China's future development to build a well-off society. In this paper , the development tendency of water resources research was analyzed , the research status and shortage of water resources in China was summarized , and the development ideas and strategic objectives of water resources in Twelfth Five-Year were expounded. And then the particular countermeasures , suggestions and the important issues , which need to be further studied , were presented. Finally , the outlook on the development direction of water resources over a fairly long period in China was also provided.

Key words: Water resources; China; Twelfth Five-Year; Development strategy.