

文章编号: 1673-1719 (2008) 04-0215-05

## 气候变化对中国水资源影响的适应性评估 与管理框架

夏 军<sup>1</sup>, Thomas Tanner<sup>2</sup>, 任国玉<sup>3</sup>, 程晓陶<sup>4</sup>, 王金霞<sup>1</sup>,  
王忠静<sup>5</sup>, 严茂超<sup>1</sup>, 刘晓洁<sup>1</sup>, Ian Holman<sup>6</sup>

(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 Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, BN19 RE, UK; 3 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 4 中国水利水电科学研究院防洪减灾研究所, 北京 100038; 5 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084; 6 Natural Resources Department, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, MK43 OAL, UK)

**摘要:** 通过论述气候变化对中国水资源影响的适应性评估与管理框架, 提出一个气候变化影响决策评估工具, 它包括: 未来气候变化对中国水资源潜在影响的定性描述分析、半定量与定量分析以及适应性对策评估。由于不同气候区域所面临的水资源问题不同, 选择中国4个典型案例区域, 并确定不同的目标进行气候变化适应性管理综合研究, 提出了甄别气候变化影响和适应性管理的新的思路、框架与方法论。该项研究为应对未来气候变化影响的水资源规划与风险管理提供了途径与方法。

**关键词:** 气候变化; 水资源; 适应性管理

**中图分类号:** P467/TV21 **文献标识码:** A

### 引言

随着人口的增长和经济社会的发展, 人类对水资源的需求急剧增加, 水资源不足、旱涝灾害以及水环境和生态问题已成为全球经济和社会发展的主要制约因素。中国是水资源相对短缺的发展中国家, 人均水资源占有量只有世界人均水平的1/4, 且在时间和空间上分布极不均匀, 加上经济社会的快速发展与水环境恶化, 使得中国水资源短缺的矛盾十分突出。干旱缺水、洪涝灾害、水环境恶化和水土流失是当前中国水资源面临的主要问题<sup>[1]</sup>。受全球气候变化和人类活动的影响, 未来我国水资源问题面临更大的不确定性, 这为水资源的可持续利用和管理带来新的挑战<sup>[2-3]</sup>。

### 1 气候变化对水资源的影响与挑战

已有证据表明<sup>[4-7]</sup>, 中国气候在过去50 a发生了显著变化, 这些变化包括平均温度升高, 海平面上升, 冰山退缩, 东北和华北地区年降水量减少而华南和西北地区的降水量却显著增加等。预计在未来极端气候事件会变得更频繁, 而水资源的短缺将会在全国范围内持续, 沿海和三角洲地区将会面临更加严峻的洪涝以及由海平面上升引起的暴雨和台风的威胁。气候变化将会降低经济发展的效率, 增加投资的风险。同时, 在某些情况下气候变化也可能会产生有利的影响, 为经济增长和人类社会提供机遇。面对气候变化的潜在影响, 加强适应性管理, 趋利避害, 是我们唯一的选择。

收稿日期: 2008-04-09; 修订日期: 2008-05-14

基金项目: 2007年国家发展和改革委员会“中-英气候变化”国际合作项目; 科技部中澳合作项目(2006DFA21890); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-126)资助

作者简介: 夏军(1954-), 男, 研究员, 从事水文水资源研究工作。E-mail: xiaj@igsnr.ac.cn

气候变化对水资源工程和水资源规划的影响成为气候变化影响评估项目中最为重要的一个方面,也是中国水资源规划、投资和管理面临的新挑战。但是,在我国实际水资源规划和管理中却较少考虑未来气候变化的影响,因此,需要根据气候变化情况完善和改进现有工程和规划。其中的关键问题是,适应性管理需要发展一套能够科学认识气候变化的程序,从而不断监测并评估气候变化的影响,提出科学评估与适应性管理的对策。

## 2 气候变化对水资源影响的适应性管理综合评估框架

气候变化对水资源影响的适应性管理评估工具是指用一套系统性评估方法,确定未来气候变化对水资源规划、水工程项目的影响,同时确定适应性措施以减少气候变化导致的不利影响并抓住发展的机遇。本研究开发的水资源适应性管理综合评估工具,帮助评估气候变化对水资源的影响并综合研究项目的适应性管理问题。为了使其能够在更多项目和部门中广泛应用,该评估工具不仅仅局限于提供单一的模型、方法和工具,而且采取逐步评估气候变化的影响及适应性管理的策略,共分为3个阶段(图3):1)定性描述分析;2)半定量与定量分析;3)适应性对策评估。在内容上包括确立框架、分析和决策,即对整个发展投资进行快速定性分析,确定由于气候和(或者)社会经济变化对发展规划所造成的潜在的影响;对气候变化可能给投资发展带来的影响进行半定量或定量分析,提出可能需要采取的适应性对策以确保投资达到预期效果,包括对适应性对策进行经济成本效益分析;根据一系列适当的决策标准对不同适应性对策进行分析评估,以确定优先对策,其中包括经过气候变化影响评估后认为没有影响的情况(即“无变动”方案)。在这种对策下,需要对气候的影响进行持续监测,同时要维持水资源部门内部的灵活性以便应对潜在的变化。

### 2.1 定性描述分析

第1阶段简要描述和分析正在考虑的开发项目

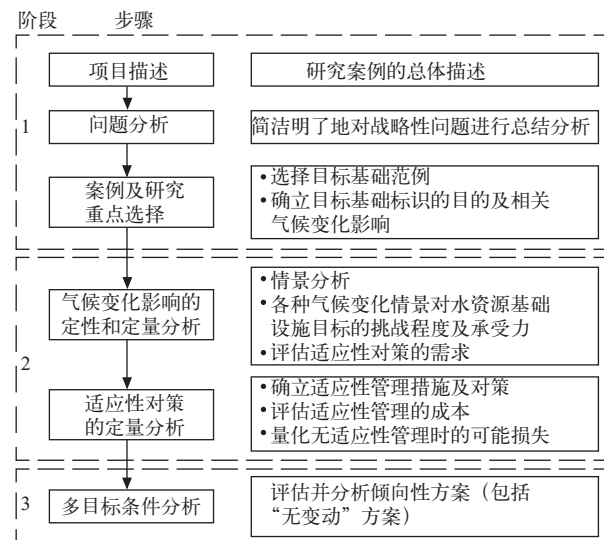


图1 评估框架及基本步骤

Fig. 1 Framework for the impact assessment and adaptation management of climate change

可能面临的主要气候影响,以及这些项目对气候变化响应的敏感程度。主要包括3点:

(1) 项目描述。对各项目的地理区位、目标、目的及相关活动进行简要描述。

(2) 问题分析。简要描述案例研究区的开发项目,主要包括:目前影响开发项目的气候相关灾害及其潜在影响,如干旱、洪水、水质变差、流量下降等对作物、人民生命财产等所造成的损失;开发项目现有的和计划的基础设施、管理系统及支撑体系;生态系统脆弱性;气候变化趋势及气候变化对开发项目的可能影响;社会经济变化;等等。

(3) 开发项目对气候变化敏感要素的识别。主要包括:气候变化对水资源规划和工程影响比较敏感的问题以及有关部分的分析,如水库污水处理工作、防洪工作、灌溉计划、水资源管理实践等;关键要素的量化目标,如防洪标准、污水处理的水质标准等;相关的气候变化次生影响指标,如地表水供灌溉的满足程度、污水处理后的流量等;人类活动及相关指标,如污水处理工作所惠及的人口数、水资源竞争加剧等;对开发项目适宜的分析,或开发项目及有关修复计划的寿命等。

### 2.2 半定量与定量分析

第2阶段主要评估在一定条件下气候变化对发

展项目的影响,探讨发展项目适应性管理的必要性及适应性管理战略选择。借助相关研究成果,运用现有的模型对气候变化及影响进行情景分析。这一阶段的工作包括两个方面的内容。

(1) 气候变化影响的半定量分析。这项工作旨在探讨未来气候变化的程度及其对项目目标实现的影响程度,以便评估适应性管理的必要性。主要包括:根据气候变化确立其次生影响指标(如用来灌溉的地表水可利用量在 $-20\% \sim 10\%$ 的变幅),以便根据气候变化的幅度选择研究的时间跨度;探讨人类活动的影响程度(如在人口数量变幅为 $-5\% \sim 20\%$ 时,污染物处理工作的工程规模);评估分析现有的和新提出的基础设施和管理系统对达到项目预期目标的贡献;比较气候变化对基础设施目标的胁迫程度,以便根据不同情景变化提出适应性管理对策。

(2) 适应性管理策略的定量分析。定量分析的目的在于评估适应性管理对策的经济效益。该分析将为第3阶段的工作奠定基础,为决策过程提供充足的信息。主要包括:针对项目中可能达不到预期目标的情景,判别适应性管理对策可以减少或避免不必要的影响和损失;根据现价估算适应性管理对策的成本;估算适应性管理措施实施情况下可能产生的经济效益及可能避免的损失(如作物损失、发电损失等),均以现价表示;计算适应性管理措施的收益-成本比(B/C),确定提出的适应性管理项目是否在经济上有效益,以便有关部门进行决策,若各项措施的收益-成本比具有可比性时,要适当考虑收益量;对于那些现在缺少的成本数据,可根据现有的知识进行估算。

### 2.3 适应性对策评估

适应性对策通常选择多种方案进行评估,以便确定最优方案,并提出相应的对策建议。这一阶段的目标是提供一个综合性的简单框架,为选择适应性方案提供决策信息。这一阶段工作主要包括两方面。

(1) 多指标分析。决策是基于一系列指标基础上产生的,因此对指标分析的过程比其结果更重要。根据一系列可能的决策指标,利用多指标分析工具对

适应对策进行分析讨论,然后依据其重要性进行加权处理。第2阶段中所作的经济分析结果只是选择适应对策时的指标之一。理想情况下,多指标分析应该是让利益有关方广泛参加,充分交流。

(2) 案例评估。各案例的评估过程是按如下步骤进行的:1) 提出一系列决策指标,并对相应的适应性方案进行评估,包括成本效益、意外后果(如为满足灌溉需要,增加地下水的开采量补偿地表水等)、发生的可能性及方案的可操作性;2) 对选择方案(包括“无变动”方案)进行评价以确定最优方案,并将其纳入实施过程;3) 当某个项目选择“无变动”方案作为最终决策时,应该给出理由和指导建议,说明在项目设计方案中是否应该为将来可能采取的适应性措施留出余地。

## 3 适应性管理与应用

适应性管理是指有效利用气候变化预估结果,协调和优化发展战略,使其得到有效实施和提升的过程。为了减少气候变化的负面影响,增加更多的发展机会,需要通过各种预估技术估计未来气候的可能变化趋势,采用适应性管理措施,调整发展计划和规划<sup>[8-9]</sup>。

气候变化影响下的水资源适应性管理主要遵循以下原则。

(1) 全面性:气候变化可能不是发展目标中最重要限制因素,但将其纳入规划过程,便于全面考虑所有风险。

(2) 一致性:适应未来气候变化的根本在于提高应对气候变化的能力。因此,只有对未来气候变化的准确预估才能确保正在实施的对策与未来的气候变化协调一致。

(3) 实用性:适应性管理要对目前的灾害提出解决措施,减少灾害风险;同时要适应未来变化,避免新的灾害发生。

(4) 灵活性:由于未来气候变化存在极大的不确定性,管理措施应根据未来潜在的气候变化幅度留有余地,并能做出灵活的应对。

(5) 可量化性:对气候变化影响的适应性管理要



进行量化或半量化分析,以确定能够降低气候变化脆弱性的发展规模。

由于不同气候区域所面临的水资源问题不同,本研究选择4个典型案例区域(见表1),并设定不同的目标,开展气候变化适应性管理研究。对淮河流域,主要分析气候变化与洪水灾害问题;对海河流域,主要分析气候变化与农业水资源及政策问题;对密云水库,主要分析气候变化与城市供水问题;对石羊河流域,主要分析气候变化与流域水资源综合规划问题。

**案例1. 淮河流域防洪排涝管理:**世界银行支持这一旨在通过防洪排涝,保护财产安全等措施提高农业生产能力,增加农民收入的项目。本项目提出了改进抗洪排涝工作的建议,并加强机构能力建设。在未来气候变化条件下,降雨增加对于这样一个有洪水历史和不良排水设施的盆地而言,将会加重该地区的洪涝灾害。本研究提出并评估了3项可能的适应性对策:加强低洼农田改造的基本建设,增加雨洪调蓄水面积和容积,提高排涝能力;分区排水,高水高排;加强洪水监测、预报、预警和调度系统的建设。

**案例2. 海河流域密云水库的管理:**由于降水变化和人类活动的影响,近年来密云水库入库流量持续减少。对未来气候变化的预测表明:从长期看入库流量可能会增加,但中、短期内还会继续减少,有必要采取适应性对策以保证北京的水资源供应。适应性对策包括:密云水库上游地区实行水田改旱地,同时对上游地区农民进行经济补偿;建设160 km水渠从河北省的滦河引水到潮河,增加入库流量;污水处理及其他水源保护工程,促进污水再利用。

**案例3. 海河流域农业水资源研究项目:**海河流域是我国最缺水的区域,干燥的气候和地下水的过度开采,已导致地下水位下降,地面下沉,水质退化。该案例研究论述了通过改善灌溉和排水系统、增加对农业的支持和服务、改善农业管理、加强对森林和环境的监测、促进制度发展等措施,提高水资源灌溉效率。尽管预测显示出未来没有明显的降水趋势,但预计未来气温升高很可能会导致灌溉量的增加,从而加剧水资源的供需矛盾。项目中提出了2个适应性管理对策:提高水价,包括提高工业水价及农业灌溉水价;增加投资,改善排灌设施。

**案例4. 石羊河流域水资源综合规划与管理:**该计划总体目标是防止民勤绿洲由于环境恶化而退缩。节水战略和生态恢复计划的实施将会减少对地下水的过度开采,从而提高民勤流域的地下水位。在未来气候变化情景下,增加的降水可能会被气温升高引起的冰川退缩以及灌溉、工业和生活用水的增加量所抵消,这会进一步加剧该地区的缺水问题。该项目提出3个主要的适应性措施:增加投资,实施节水工程;增加投资,外流域(黄河)调水;对由于限制开采地下水造成的损失进行财政补贴。

## 4 讨论

本研究通过案例研究提供了一个清晰的框架,可用于指导确定水资源开发与工程建设规划的优先次序,分析影响,检查适应性管理效果,并进行决策。气候变化对水资源的影响存在许多不确定性,因此,未来需要加强气候变化对水资源问题的基础研究与实践:结合中国系列流域,综合规划,针对各

表1 适应性评估管理工具应用的4个案例

Table 1 Case studies for testing the adaptation assessment and management framework

案例区	目标	合作者
淮河流域	减少洪涝灾害	世界银行, 中国水利部
海河流域(密云水库)	北京水资源的持续供应	中国环境保护部, 中国水利部, 世界银行, 全球环境基金会, 北京市政府
海河流域	农业水资源与政策	中国水利部, 世界银行
石羊河流域	流域可持续水管理	石羊河流域管理局

个流域气候变化对水资源影响的问题，进一步加强研究，为综合规划提供政策依据；关注气候变化对流域生态系统的影响，共同探讨影响的关键阈值问题；中国流域众多，且特点各异，加强重点区域和综合性研究，分析研究气候变化对各流域水资源影响的历史过程，探讨其中的规律，以减少对未来预估的不确定性。 ■

#### 参考文献

- [1] 钱正英, 张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究 [M]. 北京: 水利水电出版社, 2001
- [2] Xia J, Zhang L. Climate change and water resources security in North China[M]// Wagener T. Regional Hydrological Impacts of Climatic Change: Impact Assessment and Decision Making. Wallingford: IAHS Publication No. 295, 2005: 167-173
- [3] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [4] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变 (上卷): 气候与环境的演变及预测 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [5] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 中国气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007

## Potential Impacts of Climate Change on Water Resources in China: Screening for Adaptation and Management

Xia Jun<sup>1</sup>, Thomas Tanner<sup>2</sup>, Ren Guoyu<sup>3</sup>, Cheng Xiaotao<sup>4</sup>, Wang Jinxia<sup>1</sup>, Wang Zhongjing<sup>5</sup>, Yan Maochao<sup>1</sup>, Liu Xiaojie<sup>1</sup>, Ian Holman<sup>6</sup>

(1 Key Laboratory of water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, China Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2 Institute of Development Studies, University of Sussex, Brighton, BN19 9RE, UK; 3 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 4 Flood Control and Disaster Reduction Department, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 5 State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 6 Natural Resources Department, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, MK43 0AL, UK)

**Abstract:** Based on the project “Screening for Climate Change Adaptation”, an adaptation assessment and management framework applied to impacts of climate change on water resources in China was developed. It includes the qualitative description and analysis, semi-quantitative and quantitative analyses of the potential impacts of future climate change on water resources, and the assessment of adaptation options. According to different climatic regions and different problems on water resources, four case studies have been processed in the projects. By setting up different objectives and problems, a comprehensive research on climate change adaptation management is demonstrated. The principles, framework and methodology of assessing climate change impacts and adaptation are developed. This research provides an effective framework tool and methodology for the planning and risk management of water resources under impacts of future climate change.

**Key words:** climate change; water resources; adaptation management