

文章编号: 1673-1719 (2008) 06-0319-05

气候变化对密云水库水资源的影响及其适应性管理对策

夏军¹, 李璐^{1,2}, 严茂超¹, 褚健婷^{1,2}

(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 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 密云水库近 30 a 入库水资源量日益减少, 严重影响城市供水和可持续发展, 其中气候变化对水资源的影响成为最受关注的问题之一。以海河流域密云水库的水资源供应为例, 研究了气候变化对入库水资源的影响。结果表明: 除 SRES A2 情景下在 2025 年入库流量减少外, 其他情景均表现为入库流量增加。对入库流量增加的情景, 采用“零调整方案”, 即不采取调整措施是可以的, 但由于未来北京水资源压力较大, 有必要采取一些综合对策。通过多目标条件分析, 为解决北京的饮用水供应问题, 建议采用开源 (跨河流调水)、节流 (水田改旱地) 及污水治理三管齐下的方案。

关键词: 气候变化影响; 密云水库; 水资源; 适应性管理

中图分类号: TV213.4/P467 **文献标识码:** A

引言

密云水库控制的流域是目前首都北京最主要的地表生活用水水源保护地, 该流域是由注入密云水库的潮白河水系组成, 流域面积为 15788 km²。境内西北部多以海拔 1000~2293 m 的中山为主, 东南部多为低山、丘陵, 部分平原、河滩地分布在河流的两侧, 山地面积占总面积的 2/3 以上。密云水库以上的潮白河流域 1/3 面积在北京市境内, 2/3 面积在河北省境内 (图 1, 其中阴影部分为潮白河流域)^[1-3]。流域具有大陆性季风气候特点, 寒暑交替, 四季分明; 流域内北京地区平原区年平均气温为 11~12℃; 无霜期山区短, 平原长; 多年平均年降水量为 610 mm,

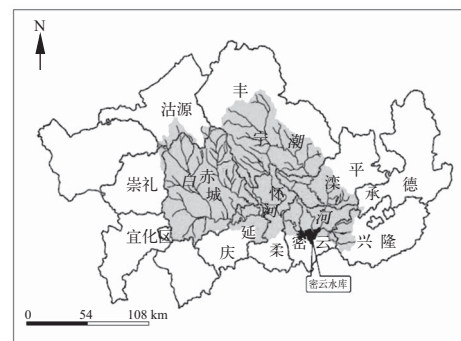


图 1 密云水库流域示意图

Fig. 1 The catchment of Miyun reservoir

多集中在汛期 (6—9月), 约占年降水量的 85%。密云水库供水量占北京市饮用水供水量的 2/3,

收稿日期: 2008-04-21; 修订日期: 2008-06-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-126); 科技部中澳合作项目 (2006DFA21890); 国家自然科学基金项目 (40671035) 资助

作者简介: 夏军 (1954-), 男, 研究员, 从事水文学与水资源科学研究。E-mail: xiaj@igsrr.ac.cn

所以稳定密云水库水质和水量是关系到北京经济社会发展的大事。长期以来，海河流域的降水量不断减少，并且在1999—2003年连续5 a发生旱灾，造成北京地区严重的供水危机^[1]。由于北京水资源紧张，白河堡水库自从2003年以来先后5次向北京供水，累计供水量达2亿 m³。

近30 a来，由于降雨量变化和人类活动导致密云水库入库流量不断减少，使得北京生活用水供给日趋紧张(表1)。为此，我们应用气候变化的适应性评价管理工具，分析气候变化对密云水库入库径流变化的影响，为城市供水风险及水资源管理提供应对措施。

表1 密云水库年平均来水情况
Table 1 Annual average water inflow to Miyun reservoir

阶段	年平均来水量/10 ⁸ m ³
1960—1969	12.00
1970—1979	12.70
1980—1989	7.00
1990—1998	7.00
1999—2003	1.69

1 气候变化对密云水库入库径流影响的情景分析

密云水库入库径流的减少有多种原因，其中包括下垫面变化和气候变化引起降水的减少^[1-6]。为了客观反映气候变化的影响，采用流域水循环分布式模型(DTVGM)方法，分离出下垫面影响，识别气候变化对径流影响的贡献^[7-8]。然后，基于海河流域气候变化的情景^[2-3]，评价气候变化对密云水库入库径流的影响(基本思路框架如图2)。

研究表明^[1,6-7]，在过去30 a密云水库入库径流变化过程中，潮白河流域气候变化对入库径流的影响贡献率潮河为25%，白河为45%。根据未来气候变化的情景分析(表2)，2025年A2和B2情景下该流域降雨变化分别为-1%和3%，采用流域水循环DTVGM模型计算得到潮白河流域2025年径流量的变化分别为-1.2%和7.8%；到2050年气候持续变暖，A2和B2情景下潮白河流域降雨量将分别增加4%和5%，潮白河径流量将分别增加10.2%和13.0%，2050年密云水库的入库水量将分别增加0.515亿和0.641亿 m³。

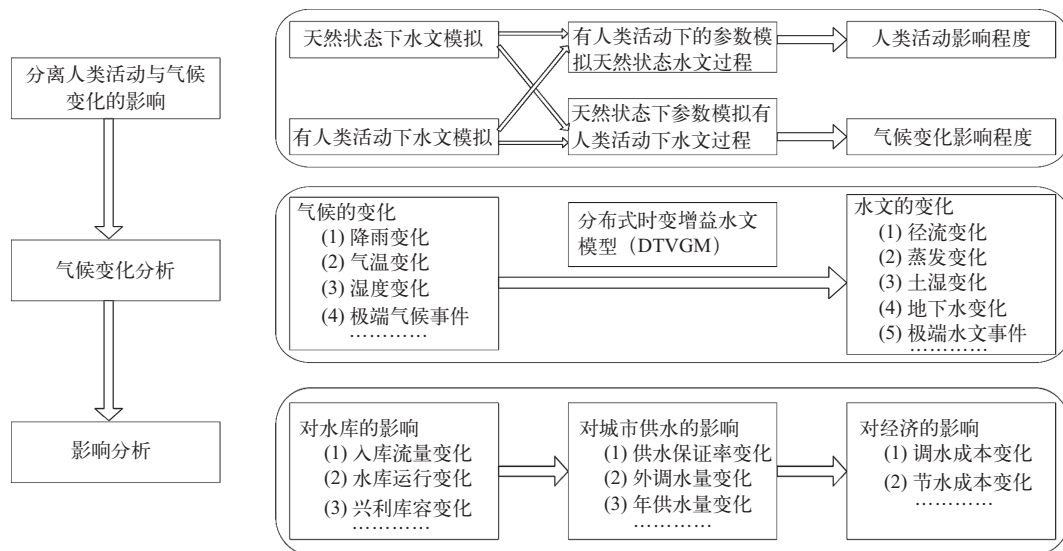


图2 北京密云水库潮白河流域气候变化影响的评估方法示意图

Fig. 2 The framework for assessing the impact of climate change in the Chaohe and Baihe River basin on inflow of Miyun reservoir

表 2 潮白河流域 A2 和 B2 情景下降雨、温度和径流的变化
Table 2 Changes in temperature, rainfall and runoff in the Chaohe and Baihe River basin under the SRES A2 and B2 scenarios

情景	年份	温度变化/℃	降雨变化/%	径流变化/%
SRES A2	2025	+1.5	-1%	-1.2%
	2050	+2.6	+4%	+10.2%
SRES B2	2025	+1.3	+3%	+7.8%
	2050	+2.4	+5%	+13.0%

2 适应性管理措施及入库流量增量估算

由于在A2情景下,未来密云水库入库流量将减少,因此有必要采取适应性管理措施,以应对气候变化对北京水资源的不利影响。根据研究结果,我们提出如下3项关键的适应性管理措施,并对投资、成本以及入库流量的增量进行了估算。

措施1: 将4245.3 hm²水田改旱地,每年可增加入库流量1140万m³。这一措施的实施需要每年向经济受损的上游地区农民提供3200万元的经济补偿。考虑通货膨胀的因素,建议每年按10%比率递增。

措施2: 建设160 km水渠,从河北省的滦河引水到潮河,水渠总投资约16亿元,加上其他节水措施、附属设施建设及移民安置费用,总投资约30亿元,每年可向密云水库输水3亿m³。

措施3: 污水处理及其他水源保护工程,总投资

约18亿元,主要用于城市污水处理及其他附属设施的建设。

3 适应性管理的投资及经济效益分析

通过总体分析,3项适应性管理措施在30 a内的静态总投资为221.50亿元,分年度投资动态见图3。由表3可见,所有投资的收益净现值为135.96亿元(按12%折现率计算),静态总收益为620.99亿元,内部收益率为49%。由于适应性工程的寿命远高于30 a,因此,实际的效益将高于上述经济分析的结果。可见,适应性管理措施在经济上具有可行性。

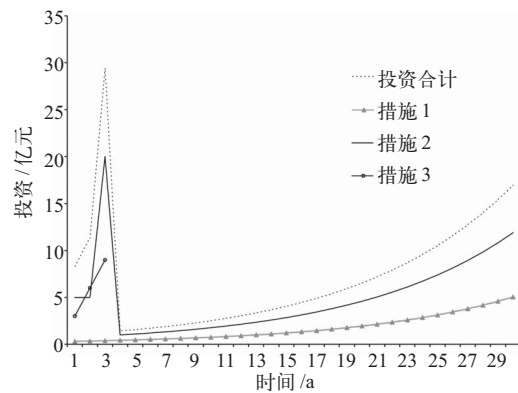


图3 适应性管理的投资动态分析

Fig. 3 Investment dynamic evaluation for adaptation management

表 3 适应性管理的成本效益分析
Table 3 Cost-benefit analysis for adaptation management

时间	增加量		投资额/亿元	运行费增加量/亿元			净收益/亿元	收益成本比	净现值/亿元
	流量/亿m ³	收益/亿元		合计	措施2	措施3			
第5年	3.314	31.483	1.57	0.4	0.16	0.24	29.51	17.20	18.76
第10年	3.314	31.483	2.52	0.4	0.16	0.24	28.56	11.66	10.30
第15年	3.314	31.483	4.06	0.4	0.16	0.24	27.02	7.69	5.53
第20年	3.314	31.483	6.54	0.4	0.16	0.24	24.54	4.96	2.85
第25年	3.314	31.483	10.53	0.4	0.16	0.24	20.55	3.16	1.35
第30年	3.314	31.483	16.97	0.4	0.16	0.24	14.12	1.99	0.53
30 a 合计	89.82	853.29	221.50	10.8	4.32	6.48	620.99	1.81	135.96

注: 投资额中包括措施1的投资; 由于措施1没有运行费增量, 因此表中只列出措施2和3的运行费增量

4 敏感性分析

对适应性管理措施的经济分析和风险评估（表4）表明，当收益下降40%、成本增加40%时，内部收益率仍然高达19.5%，净现值为28.54亿元。因此，上述3项适应性管理措施具有很强的抗风险能力，实施后可取得较好的经济效益和社会效益，有利于促进北京的经济社会发展，具有可行性。

5 多目标分析

采取何种措施应对气候变化，还需进行多目标分析，该分析包括4个步骤。1) 确定决策人员。建议决策人员将包括北京水务局、密云水库管理局、河北省承德地区水利部门及水利部等部门的决策者。2) 确定决策目标。目标的最后确认还需和国家发展和改革委员会及河北省、天津市的相关部门管理人员商议。3) 确定各目标的重要程度。按目标的重要性权重赋分。4) 依据权重和目标，为各种措施打分。在解释栏，由被调研者给予解释，最后汇总。

目前主要通过跨区域的相关部门人员进行初步调研及从会议上获得有关数据，最终决策尚需更高层面的决策者参与。根据打分情况，可以看出，水田改旱地、治污减排、跨河流调水三管齐下，得分最高，为35分；其次是只采用水田改旱地或治污减

排措施，得28分；增加投资，外流域调水，得26分；不采取任何措施得分最低，为20分。由此看来，有关被调研人员对水田改旱地、治污减排、跨河流调水三管齐下的适应性管理对策有更强的倾向性。

6 结论与政策建议

(1) 气候变化对密云水库水资源供应存在潜在影响。在SRES A2情景下，与基线相比，2025年密云水库的入库流量可能下降1.2%，2050可能增加10.2%；在SRES B2情景下，2025年入库流量可能增加7.8%，2050可能增加13.0%。因此，在SRES A2情景下，2025年前气候变化可能对北京水资源的供应产生不利影响，入库流量可能减少，故而需要采取重大适应性管理措施，增加北京的水资源供应。

(2) 实施关键性适应管理措施。措施包括水田改旱地，河北省的滦河引水到潮河和污水处理及其他水源保护工程。

(3) 适应性管理措施的经济评估结果表明，以30 a的项目受益期进行计算，采取适应性措施后的净态收益成本比为1.81。事实上，适应性措施受益期远远高于30 a，因此，3项关键性适应性措施将对北京的经济做出更大的贡献。对关键适应性措施的敏感性分析结果表明，重大适应性措施具有很强的抗风险能力，总体效益可观，若有关部门能协调

表4 在A2情景下适应性管理对策效益的敏感性分析
Table 4 Sensitivity analysis of adaptation management under the SRES A2 scenario

方案	收益/亿元	收益成本比	净现值/亿元	内部收益率/%
基本方案	621	1.81	135.96	49.00
收益下降10%	536	1.63	115.73	44.50
收益下降20%	450	1.45	95.51	39.60
收益下降30%	365	1.27	75.28	34.70
收益下降40%	280	1.09	55.06	29.50
收益下降10%，成本增加10%	512	1.48	109.10	40.50
收益下降20%，成本增加20%	404	1.21	82.25	33.00
收益下降30%，成本增加30%	295	0.98	55.39	26.10
收益下降40%，成本增加40%	187	0.78	28.54	19.50

注：净现值按12%折现率计算

落实,则可以应对气候变化对北京饮用水源的影响,保障北京的水源供应,促进北京经济社会的可持续发展。 ■

致谢: 本研究的完成得益于2007年国家发展和改革委员会气候办和英国国际开发署(DFID)合作项目的支持以及李丽艳、Thomas Tanner、Daniel Kull、Liz Wilson和John Warburton等的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Xia Jun, Zhang Lu, Liu Changming, *et al.* Towards better water security in North China [J]. *Journal of Water Resources Management*, 2007, 21: 233–247
- [2] Dong Wenfu, Li Xiubin. Analysis of Miyun reservoir in Chaobai River basin [J]. *Journal of Environmental Science and Technology*, 2006, 2: 56–60
- [3] Dong Wenfu, Li Xiubin. Policy implication of land conversion from paddy field to dry farming land upon local farmers, livelihood over the upper reaches of Miyun reservoir [J]. *Journal of Resources Science*, 2007, 2: 21–27
- [4] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 五十年来中国大陆近地面气候变化的基本特征 [J]. *气象学报*, 2005, 63 (6): 942–956
- [5] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等. 中国十大流域近40多年降水量的时空变化特征 [J]. *自然资源学报*, 2005, 20 (5): 637–643
- [6] Yuan Fei, Xie Zhenghui, Liu Qian, *et al.* Simulating hydrologic changes with climate change scenarios in the Haihe River basin [J]. *Pedosphere*, 2005, 15 (5): 595–600
- [7] Xia Jun, Wang Gangsheng, Tan Ge, *et al.* Development of distributed time-variant gain model for simulating nonlinear hydrological systems [J]. *Science in China (Series D)*, 2005, 48 (6): 713–723
- [8] Xia Jun. A nonlinear system approach and distributed hydrological modeling [C]// *The 6th International Conference on Hydroinformatics (ISBN 981-238-787-0)*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2004: 246–253

Impacts of Climate Change on Water Resource of Miyun Reservoir and Adaptation Managements

Xia Jun¹, Li Lu^{1,2}, Yan Maochao¹, Chu Jianting^{1,2}

(1 *Key Laboratory of Water Cycle and Related Surface Process, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: A screening framework for assessing impacts of climate change on water resource of Miyun reservoir is briefly introduced. It is a systematic step-by-step scheme for assessing the impact of climate change and its adaptation responses. The assessment shows that water inflow to Miyun reservoir has been decreasing in recent years due to rainfall change and human activities. Climate change is projected to increase the reservoir's inflow in the long term (2050), but the inflow may continue to decline in the medium term (2025) under the SRES A2 scenario, necessitating adaptation measures to assure water supply to Beijing. Suggested comprehensive measures for adaptation management include: 1) converting paddy fields in the upper reaches to rain-fed farming land, with compensation paid to farmers; 2) constructing a water diversion channel of 160 km from the Luanhe River to the Chaohe River, which feeds Miyun reservoir; 3) constructing sewage treatment plants to increase effluent re-use.

Key words: impacts of climate change; Miyun reservoir; water resource; adaptation management