

密云水库及其流域营养物集成模拟的情景分析研究

王建平¹, 苏保林^{1*}, 贾海峰¹, 程声通¹, 杨忠山², 武佃卫², 孙峰²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京市水文总站, 北京 100038)

摘要: 在密云水库水环境模拟预测集成模型的支持下, 考察了不同点源、非点源污染负荷控制措施对水库水质的影响和作用, 制定了 4 个情景方案。基础情景分析表明, 密云水库 TN 超标严重, TP 相对较好, 叶绿素浓度超过 10 $\mu\text{g/L}$ 的区域主要集中在潮河库区, 而且面积较大。情景 1、情景 2 和情景 3 是考虑了不同点源、非点源管理措施后的密云水库水质状况。结果表明, 营养负荷的下降能显著地改善水体水质, 尤其是磷负荷的降低可有效地制约藻类生长, 叶绿素浓度显著降低, 超过 10 $\mu\text{g/L}$ 的区域缩小甚至消失。这一结论说明了加强密云水库流域及周边地区工业、生活和畜禽养殖等点源和农业非点源污染控制对改善密云水库水质的有效性和必要性。

关键词: 密云水库; 营养物; 集成模型; 情景分析

中图分类号: X192; X143 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)08-1544-05

Scenario Analysis of Integrated Model of Nutrients in the Miyun Reservoir and Its Watershed

WANG Jian-ping¹, SU Bao-lin¹, JIA Hai-feng¹, CHENG Sheng-tong¹, YANG Zhong-shan², WU Dian-wei², SUN Feng²

(1. Department of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Hydrographic Station of Beijing, Beijing 100038, China)

Abstract: Supported by the integrated model of nutrients for the Miyun Reservoir in part I, effects of different control measures were studied on the water quality of the reservoir. Four scenarios were assumed and analyzed. Results of the base case scenario showed that TN concentration of the Miyun Reservoir had highly exceeded the environmental quality standard for surface water, and TP was relatively better. Furthermore, there were many regions that chlorophyll-a concentration exceeded 10 $\mu\text{g/L}$ in the reservoir, and centralized in the reservoir area of Chaohe River. Scenario 1, 2 and 3 investigated effects of different pollution control measures on the water quality of the reservoir. Results showed that the control of nutrient input loads could improve the water quality greatly, especially control of TP loadings would limit algae growth effectively, and regions that chlorophyll-a concentration exceeded 10 $\mu\text{g/L}$ even disappeared. The results indicated that some control measures, such as changing farming style, part treatment on stockbreeding pollution and reducing point source pollutant loadings were very effective and essential to decrease the eutrophic level of the reservoir.

Key words: Miyun Reservoir; nutrient; integrated model; scenario analysis

文献[1, 2]开发了以流域非点源模型、水体生态动力学模型、河流模型为基础的, 在 GIS、RS 技术支持下的密云水库水环境模拟预测集成模型, 并利用观测数据进行模型验证和参数率定, 在此基础上, 本文进行了流域营养物集成模拟的情景分析研究。

1 情景设计

在集成模型系统的支持下, 考察不同点源、非点源污染负荷控制措施对水库水质的影响和作用, 为此, 研究制定了 4 个情景方案。

1.1 基础情景

基础情景是为对比不同点源、非点源污染削减情景方案的效果而设计的, 水动力学模拟条件(水文数据和气象数据)和水质模拟条件(水质监测数据和负荷数据)采用现状值。白河流域和潮河流域污染负

荷量见表 1。污染负荷量来自流域非点源模拟, 下同。

表 1 基础情景污染负荷量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

Table 1 Pollutant loads of the base case scenario/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

日期/年	白河流域		潮河流域	
	TN	TP	TN	TP
1998	1 177.93	20.93	2 577.15	47.42
1999	366.30	7.22	633.23	13.26
2000	197.13	2.74	436.53	9.84
2001	731.17	11.98	1 102.44	24.28
2002	424.62	13.75	449.34	11.66

由非点源专题污染源调查和估算可知^[1, 3, 4], 流域内的氮磷污染主要是来源于畜禽养殖、农用化肥

收稿日期: 2005-05-25; 修订日期: 2005-07-08

基金项目: 北京市重大科技项目(H012110010119)

作者简介: 王建平(1977~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为环境模拟和水利政策, E-mail: wangjp@tsinghua.org.cn

* 通讯联系人, E-mail: sbl@tsinghua.edu.cn

的流失和乡镇生活污染源排放. 针对这一特点, 本研究设计以下 3 个污染削减情景方案.

1.2 畜禽养殖污染物排放削减 50% (情景 1)

鉴于流域内畜禽养殖排放的氮、磷总量很大, 削

减畜禽养殖非点源的污染显得尤为重要. 因此特设计情景 1, 希望通过模拟和分析确定畜禽养殖排放量削减对整个潮、白河入库氮、磷负荷的影响. 非点源污染负荷量模拟结果见表 2.

表 2 情景 1 污染负荷量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

Table 2 Pollutant loads of scenario 1 / $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

日期/年	白河流域				潮河流域			
	TN	削减比例%	TP	削减比例%	TN	削减比例%	TP	削减比例%
1998	1 133.78	3.75	17.34	17.16	1 985.57	22.95	31.12	34.36
1999	356.85	2.58	6.25	13.44	571.11	9.81	12.51	5.68
2000	195.61	0.77	2.57	6.24	347.50	20.40	8.03	18.38
2001	702.79	3.88	9.70	19.03	888.20	19.43	17.07	29.68
2002	411.16	3.17	11.63	15.37	399.03	11.20	10.93	6.26

1.3 表层施肥比例由 50% 降低为 10% (情景 2)

改变化肥施用方式, 减少表层土施肥所占比例. 基准年度表层土施肥比例假定为 50%, 假设改变施肥方式后该比例降低为 10%. 非点源污染负荷量模

拟结果见表 3.

1.4 大阁镇和赤城县城生活点源入河量分别削减 50% (情景 3)

考虑到大阁镇和赤城县城非农业人口所占比例

表 3 情景 2 污染负荷量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

Table 3 Pollutant loads of scenario 2 / $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

日期/年	白河流域				潮河流域			
	TN	削减比例%	TP	削减比例%	TN	削减比例%	TP	削减比例%
1998	1 160.34	1.49	15.07	28.01	1 889.90	26.67	19.73	58.40
1999	363.70	0.71	5.57	22.88	626.31	1.09	12.03	9.26
2000	196.50	0.32	2.42	11.50	402.65	7.76	6.98	29.09
2001	714.46	2.29	8.71	27.31	908.82	17.56	12.94	46.70
2002	424.43	0.04	9.97	27.50	441.03	1.85	10.52	9.80

较高(分别为 50.4% 和 44.2%), 其排放的生活污水会直接进入河道系统, 对污染的贡献率较高. 因此,

设计此情景以考察 2 个城镇生活污水对入库负荷的影响. 非点源污染负荷量模拟结果见表 4.

表 4 情景 3 污染负荷量/ $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

Table 4 Pollutant loads of scenario 3 / $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$

日期/年	白河流域				潮河流域			
	TN	削减比例%	TP	削减比例%	TN	削减比例%	TP	削减比例%
1998	1 168.53	0.80	19.71	5.81	2 547.45	1.15	43.79	7.66
1999	362.67	0.99	6.72	6.95	604.86	4.48	9.47	28.59
2000	197.12	0.00	2.74	0.03	420.40	3.70	7.78	20.97
2001	723.47	1.05	11.01	8.10	1 081.84	1.87	21.63	10.92
2002	408.64	3.76	11.56	15.90	423.80	5.68	8.26	29.11

2 情景模拟

2.1 水动力学模拟

情景 1~ 3 的水动力学模拟条件和基础情景相同, 水位模拟如图 1 所示.

2.2 水质模拟

不同情景的负荷见表 2~ 4, 利用上节的水动力学模拟结果即可进行水质模拟. 水质模拟结果有 2

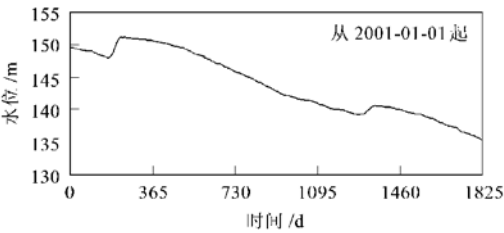


图 1 密云水库水位变化

Fig. 1 Water level simulation of the Miyun Reservoir

种表达方法: ①指定某一单元格, 观测不同情景方案下的水质模拟结果与基础情景相比的时间变化规律; ②指定某一时间, 观测不同情景方案下水质模拟结果的空间分异规律.

以潮河主坝站点为例, 基础情景、情景 1~3 的水质变化规律如图 2, 该图反映的是 TN、TP 和 Chl-a 3 个水质变量在潮河主坝站点 1998~2002 年的浓度变化, 潮河主坝位置见文献[2] 的图 5. 以叶绿素(Chl-a)浓度为例, 基础情景、情景 1~3 的空间分布如图 3 和图 4. 图 3 为 1998 年 9 月不同情景的 Chl-a 平均浓度分布(9 月是密云水库叶绿素生长的高峰期, 故选择此月进行空间分布表达). 图 4 为 2002 年 9 月不同情景的 Chl-a 平均浓度分布.

3 情景分析

3.1 基础情景

基础情景的水质模拟结果如图 2~4. 分析结论如下:

(1) 潮河库区水质明显比白河库区要差, 这可从 Chl-a 浓度空间分布图中反映出来. 同时库区和入库河流水质监测数据也可支持本结论.

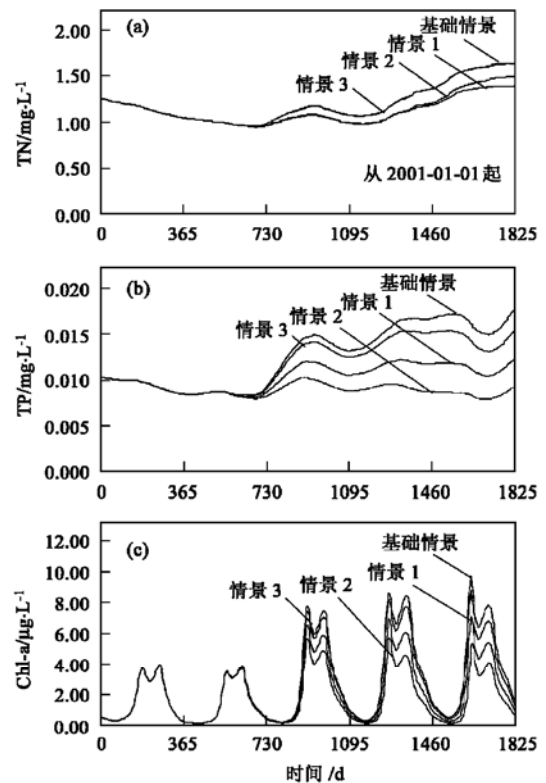


图 2 潮河主坝不同情景方案下的水质浓度时变图

Fig. 2 Water quality variation at the point in front of Chaohe dam

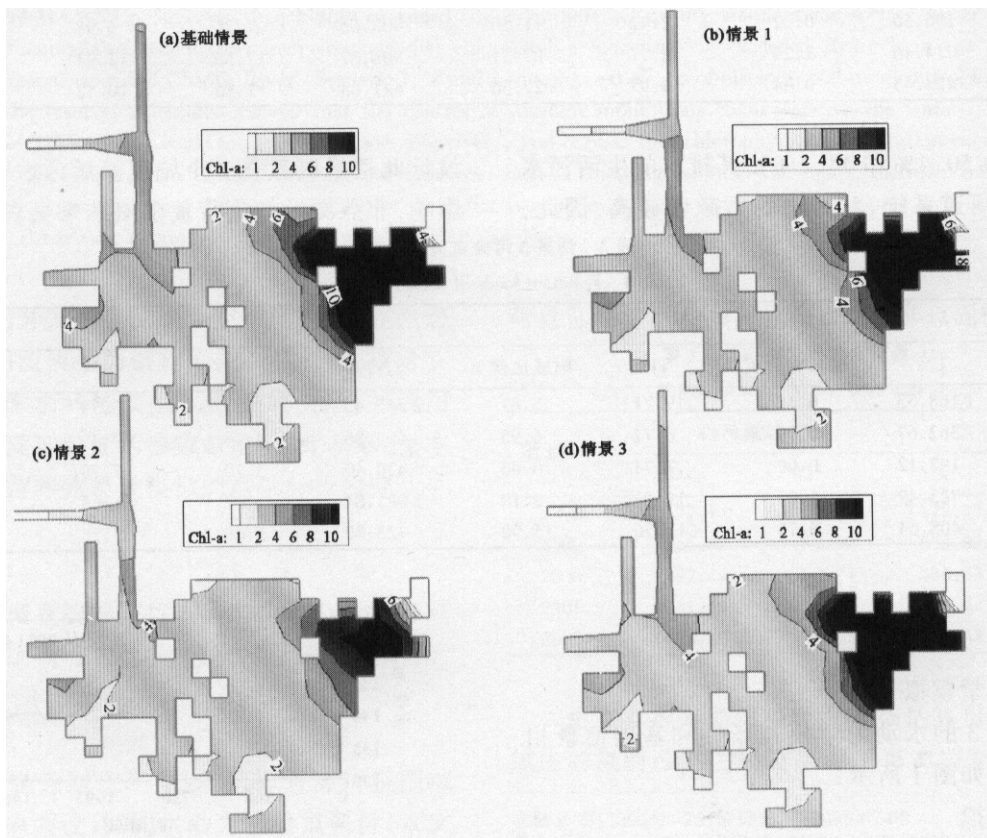


图 3 1998-09 不同情景的 Chl-a 平均浓度分布/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$

Fig. 3 Spatial distributions of Chl-a concentration of different scenarios in September, 1998

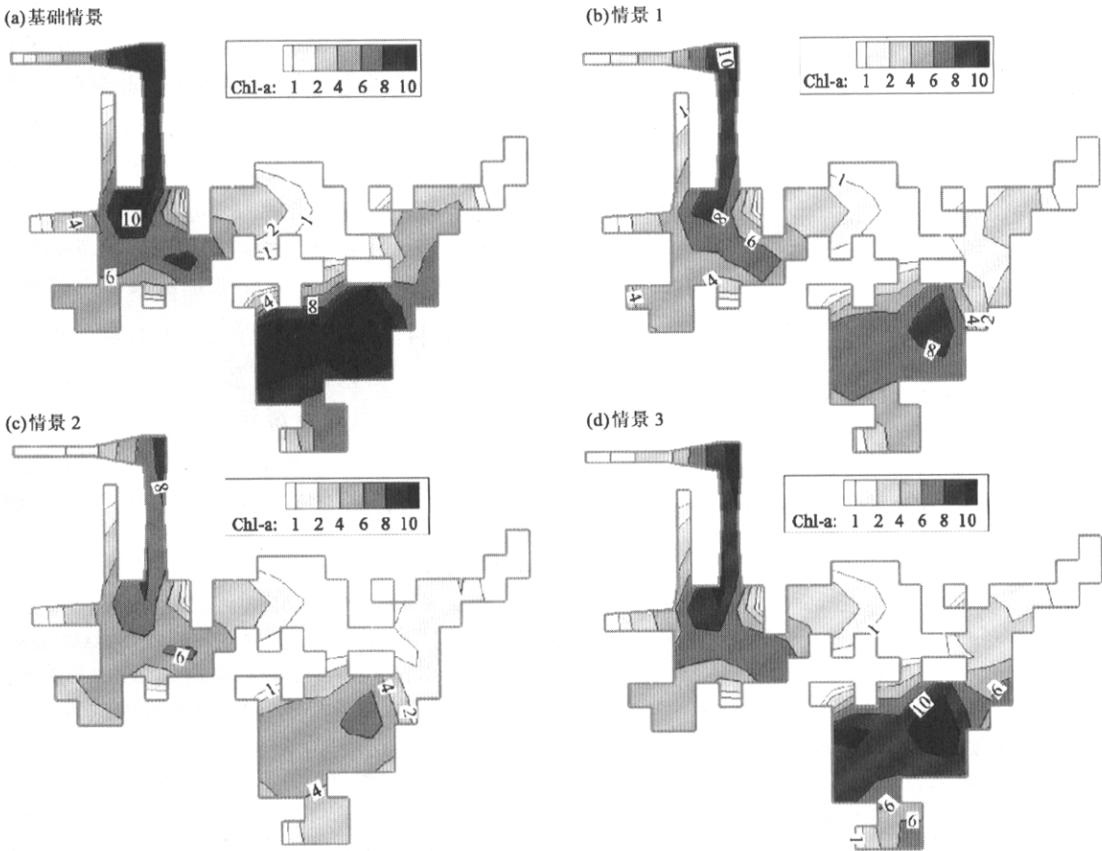


图 4 2002-09 月不同情景的 Chl-a 平均浓度分布/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
Fig. 4 Spatial distributions of chlorophyll-a concentration of different scenarios in September, 2002

(2) 对比地表水环境质量标准 GB3818-2002(部分指标列入表 5), TN 超标严重; TP 相对较好, 除入库口附近超标外, 大库水体基本能满足 II 类水的功能要求; Chl-a 是反映水体富营养化的一个综合指标, 模拟结果显示, 基础情景中叶绿素浓度超过 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 的区域主要集中在潮河库区, 而且面积较大。

表 5 水环境质量评价标准^[5]

Table 5 Environmental quality standard for surface water						
序号	分类标准值项目	I 类	II 类	III类	IV类	V类
1	TP/mg•L ⁻¹	≤0.01	≤0.025	≤0.05	≤0.1	≤0.2
2	TN/mg•L ⁻¹	≤0.2	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤2.0
3	Chl a ¹⁾ /μg/•L ⁻¹	≤1	≤4	≤10	≤60	≤65

1) Chl-a 分类标准参见文献[6]

(3) 1998 年和 2001 年密云水库来水相对其它年份较多, 入库营养负荷也随之增加, 水库入库口区域水质明显较差. 受丰水年影响, 其它年份水质都不同程度地恶化. 对比 1998 年和 2001 年 2 次来水, 1998 年来水量及污染负荷量均超过 2001 年来水 (1998 年 TN、TP 负荷量均约为 2001 年的 2 倍, 见

表 1), 但水质模拟结果表明, 2001 年来水对水库水质影响更显著, 分析原因主要是: 1998 年水位在 150m 左右, 库容较大, 水体稀释、缓冲和自净能力较强, 而 2001 年水位已下降到 140m 左右, 库容大大减少, 导致水体稀释、缓冲和自净能力降低。

3.2 情景 1~ 3

情景 1~ 3 是考虑了不同的点源、非点源管理措施后密云水库水质状况, 从图 2 和图 3 可以看出, 水体水质有不同程度地改善. 图 5, 图 6 给出不同削减措施的污染物削减量对比。

对比不同情景方案下 TN 和 TP 负荷与水质模拟结果的响应关系, 发现模型系统对外界输入负荷的响应非常灵敏, TN 和 TP 负荷的下降能显著改善水体水质, 尤其是磷负荷的降低可有效地制约藻类生长, 叶绿素浓度显著降低 (超过 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 的区域缩小甚至消失), 这一点从图 3, 图 4 中可清楚地反映出来. 这一结论也说明了加强密云水库流域及周边地区工业、生活和畜禽养殖等点源和农业非点源污染控制对改善密云水库水质的有效性和必要性。

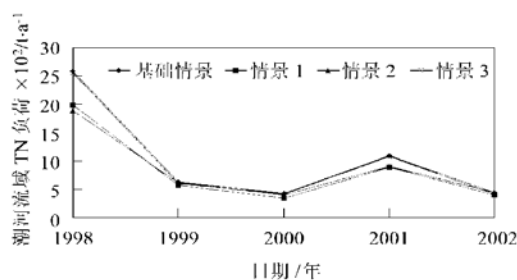


图5 潮河流域不同情景方案 TN 负荷对比

Fig. 5 Comparisons of TN loads among different scenarios in the Chaohe watershed

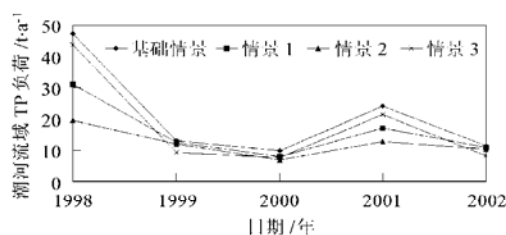


图6 潮河流域不同情景方案 TP 负荷对比

Fig. 6 Comparisons of TP loads among different scenarios in the Chaohe watershed

4 结论

(1) 基础情景分析表明, 密云水库 TN 超标严

重, TP 相对较好, 叶绿素浓度超过 $10 \mu\text{g/L}$ 的区域主要集中在潮河库区, 而且面积较大. 情景 1、情景 2 和情景 3 是考虑了不同点源、非点源管理措施后的密云水库水质状况. 结果表明, 营养负荷的下降能显著地改善水体水质, 尤其是磷负荷的降低可有效制约藻类生长, 叶绿素浓度显著降低, 超过 $10 \mu\text{g/L}$ 的区域缩小甚至消失.

(2) 建议加强库区和入库河流的水质监测, 尤其在汛期. 目前库区水质监测点相对靠下游深水区, 应加强水库上游地区的水质监测. 非点源污染负荷不容忽视. 应加强非点源污染的调查、监测和控制. 密云水库属于磷营养控制型水库, 全流域尤其是库区周边采取更严格的磷控制和削减措施是必要的.

参考文献:

- [1] 苏保林, 王建平, 贾海峰, 等. 密云水库流域非点源模型系统[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(3): 355~359.
- [2] 王建平, 苏保林, 贾海峰, 等. 密云水库及其流域营养物集成模拟的模型体系研究[J]. 环境科学, 2006, 27(7): 1286~1291.
- [3] 王晓燕, 王一岷, 蔡新广, 等. 北京密云水库流域非点源污染现状研究[J]. 环境科学与技术, 2002, 25(4): 1~3.
- [4] 王晓燕, 郭芳, 蔡新广, 等. 密云水库潮白河流域非点源污染负荷[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(1): 31~33.
- [5] GB3838-2002. 水环境质量评价标准[S].
- [6] GB3838-99. 水环境质量评价标准[S].