

文章编号: 1007-6301 (2003) 01-0038-07

官厅水库近三十年的水质演变时序特征

梁 涛¹, 王 浩², 丁士明¹, 薛金凤¹, 蔡春霞¹, 张秀梅¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875)

摘 要: 基于过去的研究成果, 综述了官厅水库近三十年来水质演变过程, 分阶段探讨了官厅水库水污染的来源和特征。与此同时, 从污染物的角度探讨了官厅水库典型污染物的时空变化规律。研究结果表明, 官厅水库的水质演变先后经历了四个阶段, 依次为 1972~1975 年以有机毒物和重金属污染为特征的水体污染, 1981~1992 年以有机污染为主体的水体再污染, 1992~1995 年增加了大肠杆菌污染的水体复合污染, 以及 1996 年至今以氮磷污染为明显特征的水体有机复合污染。从主要污染物的时间变化上看, 库区 COD 和主要重金属含量均在缓慢上升, 挥发酚的含量呈现波动趋势, 氨氮和总磷的含量持续大幅度上升。污染物在库区的空间分布规律相似, 入库处污染物浓度明显高于出库处的污染物浓度。

关 键 词: 官厅水库; 水质污染; 演变过程

中图分类号: P343

官厅水库是建国后修建的第一座大型水库, 设计总库容为 41.6 亿 m³, 现蓄水 4.2 亿 m³, 是北京最重要的水源地之一。官厅水库位于北京市西北的永定河上游, 入库水系有洋河、桑干河和妫水河, 流域面积约 4.6 万 km², 包括山西、内蒙古、河北和北京的 31 个区、县, 约占永定河流域总面积的 90%。其中洋河与桑干河在张家口地区汇合后称永定河, 东流 20km 进入官厅水库。在 20 世纪 50~60 年代, 官厅水库水质一直良好, 70 年代初期由于受到上游工农业污染, 开始出现水质恶化, 经治理后污染基本得到控制^[1]。但不久在上游排污量剧增和来水量减少的双重作用下, 在 20 世纪 80 年代中期遭受了前所未有的有机污染^[2]。随后又在水库的部分监测点发现细菌总数和大肠杆菌严重超标^[3]。进入 20 世纪 90 年代中期, 水库有机污染的进一步加重已使富营养化趋势日益突出, 枯水期水库水质甚至劣于地面水 V 类标准^[4]。1997 年 5 月, 官厅水库被迫退出了北京市生活饮用水源地的位置。近期, 为缓解北京市水资源供需矛盾, 北京市政府决定对官厅水库进行全面治理, 恢复其第二饮用水水源地的地位, 并计划在 2005 年达到地面水 II 类标准^[5]。尽管过去曾在官厅水库的洪水预报^[6,7]、三角洲演变^[8]、污染源调查^[9]、污染物分布规律^[4,10]、以及水质模型^[11]、水质评价^[12-15]、水质预报^[16]、防治对策和措施^[17-20]等方面开展过大量研究, 但迄今仍缺乏

收稿日期: 2002-10; **修订日期:** 2002-11

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (N K B R S F - G 1999045710); 中国科学院地理科学与资源研究所所长基金项目 (S J D G - A 00-03)

作者简介: 梁涛 (1970-), 男, 博士, 副研究员。主要从事水土环境地球化学研究工作, 已在国内外发表论文近 40 篇。E-mail: liangt@igsnr.ac.cn

对官厅水库水质演变规律的全面认识。

本研究在综合以往研究的基础上, 结合最新实测数据, 从水库污染的时序特征、典型污染物的时空变化规律入手, 探讨了近三十年来官厅水库的水质演化过程, 拟为水库的水质演变趋势预测和治理提供参考。

1 近三十年官厅水库水质演化的时序特征

根据官厅水库水体污染物的类型和出现顺序, 其水质演变过程可粗略划分为四个阶段。

1.1 以有机毒物和重金属污染为特征的水体污染 (1972~ 1975)

1972 年春, 由于上游工矿企业的大量排污, 官厅水库开始出现明显污染, 水中鱼类大量死亡, 当地居民饮用后出现头疼、恶心症状。国务院立即采取措施组织专家进行研究和治理。经过调查, 发现库水主要是受到了有机毒物和重金属污染, 主要污染物包括挥发酚、氰化物、DDT、六六六和砷、铬、汞等。此后经过三年的治理, 污染物浓度显著下降, 水库水质明显好转。表 1 给出了 1972~ 1975 年库区主要污染物浓度的变化^[1]。

表 1 1972~ 1975 年官厅水库库区水中主要污染物浓度 (mg/L)

Tab. 1 Concentration of pollutants in Guanting Reservoir between 1972 and 1975

污染物类型	挥发酚	氰化物	六六六	DDT	As	Cr	Hg ($\mu\text{g}/\text{l}$)
1972~ 1975 含量范围	0.0017 ~ 0.004	0.003 ~ 0.006	0.002 ~ 0.357	0.001 ~ 0.072	0.004 ~ 0.009	0.001 ~ 0.011	0.09 ~ 0.4
地面水 III 类标准	0.002	0.005	0.005	0.001	0.05	0.05	0.10

据 1973~ 1975 年官厅水系水源保护研究总结^[1], 库区各种污染物的浓度在空间分布上存在明显的水平差异。对于酚, 由于受妫水河和洋河的影响, 库东和库西含量都很高, 水库中段的含量较低; 对于氰化物, 西库明显高于东库, 从八号桥至入库后河口的氰化物浓度最高, 妫水河入口处亦为高氰化物带, 库区中段浓度较低。As 的水平差异不甚明显, 大致靠近河口地区含量稍高, 其余各点较低, Cr 的空间分布与砷相似。

1.2 以有机污染为主体的水体再污染 (1981~ 1992)

尽管经过三年治理, 官厅水库的水质一度好转, 但从 1981 年起, 由于上游工农业的迅速发展, 城镇生活污水的大量排放以及来水量的剧减, 官厅水库再次遭受有机污染。1986 年以来, 库区水表出现大量微囊藻形成的水华, 覆盖面积达到全库区的 70%。1990 年库区藻量仅 2.38 万个/L, 1991 年剧增为 786.3 万个/L。1993 年汛期 COD_{Mn} 为 4.6 mg/L, 氨氮 0.67 mg/L; 非汛期 COD_{Mn} 为 5.8 mg/L, 氨氮 0.87 mg/L, 已成为蓝藻、绿藻型的富营养水体。官厅水库 4 个主要监测点 1981~ 1992 年的污染物含量如表 2 所示^[2]。

从表 2 数据可以看出, 八号桥的各种污染物的浓度均为最高, 说明上游洋河来水有机污染严重; 河口污染次之, 因为库东妫水河水质较好, 对洋河和桑干河污染物有稀释作用, 坝前和坝后水质相对于八号桥要好很多, 表明水库对有机污染物有一定的自净能力。总体而言, 此时段官厅水库表现出明显的有机污染, 水体已呈富营养化趋势。

表 2 1981~ 1992 年官厅水库有机污染主要指标对比 (mg/L)

Tab. 2 Comparison of main organic pollutants in Guanting Reservoir between 1981 and 1992

地 点	年 份	COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	总 磷
八号桥	1981~ 1982	4.36	6.74	0.40	0.083
	1986~ 1987	16.64	5.40	2.39	0.145
	1991~ 1992	11.30	15.95	9.05	0.226
河 口	1981~ 1982	2.94	3.21	0.14	0.046
	1986~ 1987	4.38	3.10	0.38	0.050
	1991~ 1992	4.65	3.00	1.37	0.038
坝 前	1981~ 1982	2.96	2.57	0.09	0.008
	1986~ 1987	4.35	1.79	0.30	0.022
	1991~ 1992	5.00	2.80	1.20	0.038
坝 后	1981~ 1982	2.73	1.80	0.08	0.033
	1986~ 1987	2.00	2.00	0.04	0.054
	1991~ 1992	4.75	2.65	1.57	0.047

1.3 增加了大肠杆菌污染的水体有机复合污染 (1992~ 1995)

水库自 1981 年以来出现的有机污染为细菌的生长繁殖提供了良好的场所, 从 1992 年到 1994 年对官厅水库的细菌监测数据上看, 水库已遭受不同程度的细菌污染, 大肠杆菌和细菌总数都明显超出饮用水标准。究其来源主要是来自流域上游的沙城、宣化和延庆等城镇的生活污水和工业有机废水的大量排放。王永玲等在库区几个主要监测点进行细菌监测的结果如表 3 所示^[3]。

表 3 1992~ 1994 官厅水库各监测点细菌污染浓度

Tab. 3 Concentration of bacteria in Guanting Reservoir between 1992 and 1994

监测指标		八号桥	延庆桥	河 口	坝 前	生活饮用水标准 (GB 5749~ 85) ^[21]
大肠菌群 (个/L)	最大值	2.38×10^8	2.38×10^8	2.38×10^6	2.38×10^6	3
	最小值	2.3×10^6	2.3×10^6	2.3×10^3	230	
细菌总数 (个/ml)	最大值	1.8×10^9	2.1×10^5	7.4×10^4	340	100
	最小值	1.5×10^6	130	10	2	

表 3 的数据表明, 八号桥和延庆桥细菌污染最为严重, 属细菌污染多污带; 坝前由于水库自身的稀释和自净作用, 细菌浓度相对较低, 属细菌污染寡污带; 河口细菌浓度介于二者之间, 属细菌污染中污带。

1.4 以氮磷污染为明显特征的水体有机复合污染 (1996 至今)

在细菌污染尚未得到有效控制的同时, 以氮磷污染为主体的有机复合污染日益加剧。从 2000 年 10 月和 2001 年 4 月的实地监测结果上看, 整个库区氮、磷污染非常严重, 总氮含量高达 3.12 mg/L , 超出地面水 V 类水质标准 (1.2 mg/L) 1.6 倍; 总磷含量为 0.47 mg/L , 超出地面水 V 类水质标准 (0.12 mg/L) 3 倍, 库区水体已处于严重的富营养化状态。但库区大部分重金属 (Cu、Zn、Cr、Pb) 的含量仍低于地表水 III 类标准。官厅水库库区主要监测点的氮磷含量见表 4^[4]。

表 4 2000~2001 年枯水期官厅水库库区总氮和总磷含量 (mg/L)

Tab. 4 Contents of TN and TP in Guanting Reservoir between 2000 and 2001

监测项目	采样时间	八号桥	妨水桥	河口	坝前	地表水环境标准
						(GHZB1~1999) ^[22]
总氮	2001.04	3.880	1.433	2.068	3.342	IV类: 0.7
	2000.10	9.407	0.685	9.753	1.683	V类: 1.2
总磷	2001.04	0.640	0.427	0.604	0.533	IV类: 0.06
	2000.10	1.013	0.377	0.732	0.348	V类: 0.12

从表 4 可以看出, 总氮和总磷的含量存在一定的空间分异。八号桥的总氮和总磷含量最高, 其污染主要来自洋河下游的工业废水和生活污水, 但农田非点源污染也不容忽视。此外, 河口的总氮含量也很高。

2 近三十年官厅水库主要污染物的时序变化特征

2.1 COD 和有机毒物酚的时序变化特征

近三十年来库区 COD 和挥发酚的变化情况如图 1 所示。可以看出, 除个别年份有波动外, COD 的总趋势是逐年上升的, 这表明水库的有机污染在不断加重。有机毒物酚经过 1973~1975 年的治理, 曾在 1980 年前后一度得到控制, 但在 1990 年左右又有所上升, 近年来含量呈下降趋势, 总体上表现为波动。

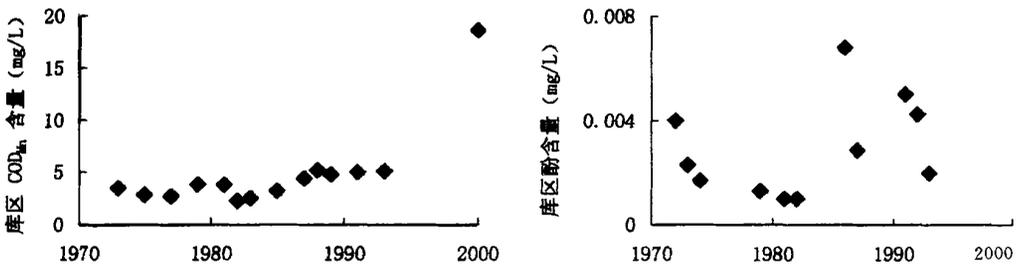


图 1 近三十年官厅水库库区 COD 和挥发酚的含量变化特征

Fig. 1 Characteristics of COD and phenol in Guanting Reservoir during the past three decades

2.2 重金属的时序变化特征

图 2 展示了库区六价铬、铅、铜、锌四种重金属平均浓度的时间变化。由图中散点的变化趋势可知, 除 Cu 外, 库区主要重金属的含量均呈现逐年上升趋势, 尽管各重金属总量均未超出地表水 III 类水质标准, 但其潜在上升势头不容忽视。

2.3 氮磷的时序变化特征

以氨氮和总磷为例, 图 3 分阶段显示了近三十年库区氮磷的含量变化总趋势。从图 3 可以明显看出, 过去三十年中, 官厅水库库区氮磷含量逐年上升, 且上升幅度很大。水体氨氮含量增加了近 9 倍, 总磷含量提升 10 多倍, 水库水体富营养化程度在不断加剧。

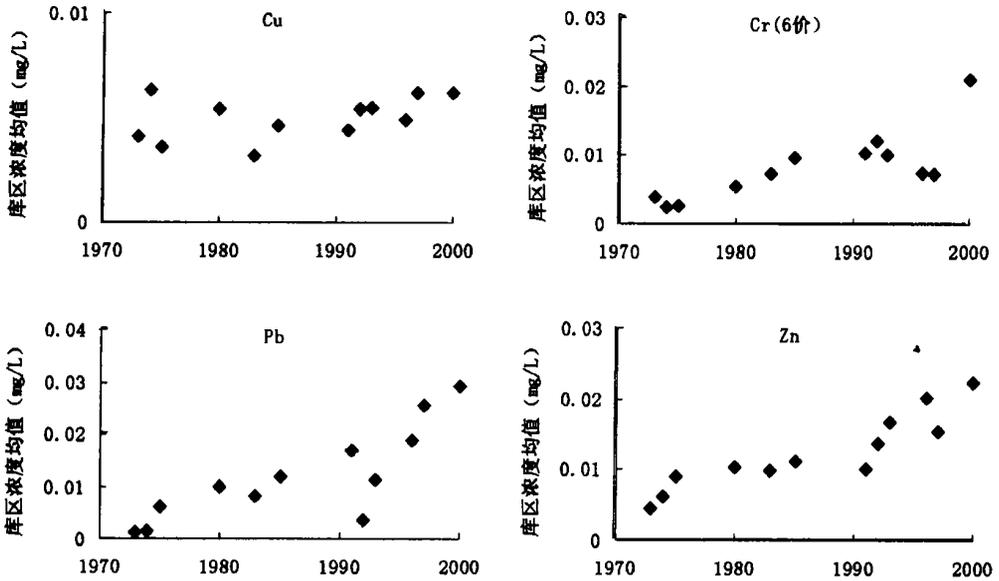


图 2 近三十年官厅水库库区主要重金属的含量变化特征

Fig. 2 Characteristics of heavy metals in Guanting Reservoir during the past three decades

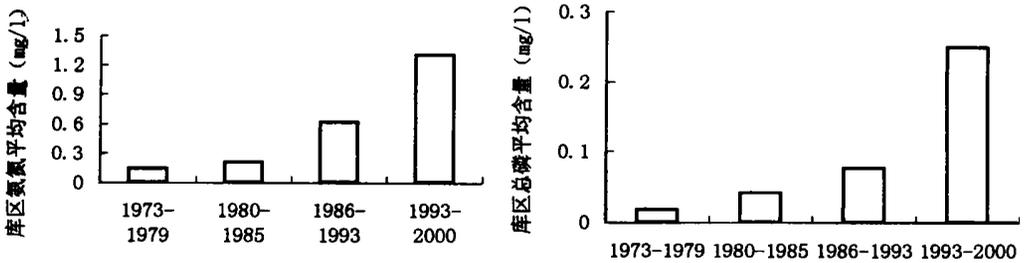


图 3 近三十年官厅水库库区氮氮和总磷的含量变化特征

Fig. 3 Characteristics of NH_4-N and TP in Guanting Reservoir during the past three decades

3 结论

在过去的三十年里，官厅水库的水质逐渐恶化，其演变过程可大致划分为四个主要阶段，依次为 1972~ 1975 年以有机毒物和重金属污染为特征的水体污染，1981~ 1992 年以有机污染为主体的水体再污染，1992~ 1995 年增加了大肠杆菌污染的水体复合污染，以及 1996 年至今以氮磷污染为明显特征的水体有机复合污染。库区各种污染物的含量空间分布呈现一定的规律性，具体表现在，八号桥附近各种污染物浓度最大，河口的污染物浓度界于八号桥和坝前之间，坝前、坝后的水质均优于入库水。主要污染物的时间变化表现为，库区 COD 和主要重金属含量均在缓慢上升，挥发酚的含量呈现波动趋势，氮氮和总磷的含量

一直持续大幅度上升。从三十年来官厅水库的水质演变规律可以推断, 官厅水库的主要污染源来自上游的排污和周边的农田非点源污染, 为尽快恢复其饮用水源地的职能, 必须限期有效治理。

参考文献

- [1] 官厅水系水源保护领导小组办公室. 官厅水系水源保护的研究 (1973~ 1975 年科研总结), 1977, 内部资料.
- [2] 赵伟纯, 李大明. 官厅水库有机污染现状及其评价初探. 环境保护, 1994, 1 (2): 27~ 30.
- [3] 王永玲. 官厅水库细菌监测及其分析. 北京水利, 1997, 1: 50~ 51, 56.
- [4] 梁涛, 张秀梅, 章申. 官厅水库及永定河枯水期水体氮、磷和重金属含量分布规律. 地理科学进展, 2001, 20 (4): 341~ 345.
- [5] 唐先武. 国务院批复首都水资源可持续利用规划. 科技日报, 2001 年 6 月 22 日.
- [6] 陈星银. 官厅水库 2000 年 7 月 3~ 4 日暴雨径流分析. 北京水利, 2000, 6: 10~ 11.
- [7] 陈星银. 官厅水库洪水预报. 北京水利, 1996, 3: 26~ 30.
- [8] 李运来. 官厅水库三角洲演变分析. 北京水利, 1996, 3: 21~ 25, 30.
- [9] 徐平. 官厅水系洋河段有机污染调查研究. 环境保护, 1994, 1 (2): 40~ 41, 33.
- [10] 康跃惠, 宫正宇, 王子健 等. 官厅水库及永定河中挥发性有机物分布规律. 环境科学学报, 2001, 21 (3): 338~ 343.
- [11] 黄国如, 芮孝芳. 官厅水库水质模型研究. 水科学进展, 1999, 10 (1): 20~ 24.
- [12] 高志发. 官厅水库渔业水质的水化学评价及鱼产力的研究. 水利渔业, 1993, 1: 11~ 14.
- [13] 冯伶亲. 官厅水库水质污染的初步分析. 北京水利, 1996, 3: 37~ 40, 56.
- [14] 张卫华, 武佃卫. 官厅水系水质评价及对策建议. 北京水利, 1997, 6: 11~ 15.
- [15] 袁博宇. 官厅水库水质现状及趋势分析. 北京水利, 2000, 5: 29~ 31.
- [16] 胡治飞, 张振兴, 郭怀成 等. 北京市官厅水库水质预报系统. 中国环境科学, 2001, 21 (3): 275~ 278.
- [17] 马才. 开发水产资源改善水质的研究. 北京水利, 1995, 4: 50~ 53.
- [18] 王立卿, 马增田. 官厅水库水污染及其防治对策. 水资源保护, 1999, 13: 30~ 32.
- [19] 赵伟纯. 洋河水系中下游有机污染的治理对策. 环境保护, 1995, 5: 11~ 13.
- [20] 郑宝丰. 张家口地区永定河流域水利、水保措施对减少官厅水库泥沙淤积的作用. 中国水土保持, 1992, 13 (10): 21~ 22.
- [21] 中国国家环境保护标准 GB 5749-85. 生活饮用水环境质量标准. 中国工程物理研究院, 1989.
- [22] 中国国家环境保护标准 GB 3838-1999. 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.

An Evolution of Water Quality in Guanting Reservoir During the Past Three Decades

LIANG Tao¹, WANG Hao², DENG Shiming¹,
XUE Jin-feng¹, CAI Chun-xia¹, ZHANG Xiumei¹

(1. Institute of geographic sciences and natural resources research, CAS, Beijing 100101;

2. Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: As the first large-scale reservoir, Guanting Reservoir plays a key role on water

supply for Beijing. The reservoir kept healthy in the first decade and water quality has deteriorated since 1972 gradually. In the following three decades, the water body undertook series pollutions, and dropped out from the source region of drinking water in 1997.

The evolution of water quality in Guanting Reservoir in the past three decades was summarized based on the previous studies. Sources and characteristics of the water pollution in Guanting Reservoir were discussed by stages. At the same time, variations of main pollutants were also discussed.

The results show that the evolution process of water quality in Guanting Reservoir could be roughly divided into four stages. The feature of first stage was organic toxicants and heavy metals pollution during 1972~ 1975. The following stage was from 1981 to 1992, in which organic pollution played a main role. The water pollution in third stage was a kind of complex pollution, which added bacteria pollutants during 1992~ 1995. From 1996 till now, nitrogen and phosphorous pollution were the key features in Guanting Reservoir. Contents of COD and main heavy metals increased slowly during the past three decades, while contents of phenol varied.

In addition, contents of nitrogen and phosphorous increased steadily and significantly. The contents distribution of pollutants in the reservoir represented that contents of pollutants in the entry of the reservoir were higher than those in the exit.

Key words: Guanting reservoir; Water pollution; Evolution of water quality