

实施飞机人工增雨对密云水库 水质中 Ag^+ 影响研究

赵习方 张 蔷 秦长学 赵淑艳

(北京市人工影响天气办公室, 100089)

提 要: 针对2004年6月—2005年7月汛期(5—9月)在密云水库上游汇水区开展以飞机播撒AgI催化剂为主的人工增雨试验,对水库与白河入口处2个采样点水质进行定期连续监测,分析了作业期间汇水区降水量增加对水库水质 Ag^+ 及化学组分的影响,发现水库水体所测组分浓度值作业期小于非作业期; Ag^+ 有明显的月变化,即作业期为低值区,非作业期为高值区。得出人工增雨后,降水量的增加未影响到水库中 Ag^+ 离子浓度的增加。

关键词: 人工增雨 水库水质 Ag^+ 月变化

Effect of Aircraft Precipitation Enhancement on Ag^+ Concentration in Miyun Reservoir

Zhao Xifang Zhang Qiang Qin Changxue Zhao Shuyan

(Beijing Weather Modification Office, 100089)

Abstract: The AgI seeding experiments using seeding aircraft were carried out to enhance precipitation at the upriver catchments of the Miyun reservoir from June 2004 to July 2005. According to the regular and continuous measurements at two sampling spots located at the entrance of the Bai River and the reservoir, the effects of seeding precipitation on Ag^+ and other chemical compositions of the water in the Miyun reservoir are studied. It is shown that the constituent concentrations of the water in the reservoir during the seeding period are lower than those during non-seeding period. There is obvious monthly change of the Ag^+ con-

资助项目: 国家科学技术委员会项目“人工增雨技术研究及示范”(2001BA610A-06-03) 资助

收稿日期: 2005年8月30日; 修定稿日期: 2006年2月15日

centration. It shows that the minimum occurred during seeding period and the maximum during non-seeding period. The results suggest that the enhancing precipitation by seeding does not effect the Ag^+ concentration in the Miyun reservoir.

Key Words: seeding experiment water quality of reservoir Ag^+ monthly change

引言

密云水库是北京市城市饮用地表水主要水源。自1999年以来,北京地区持续多年干旱少雨,水库水量急剧减少,而城市用水量逐年增加。为缓解北京市水资源短缺,抗旱增雨,北京市政府在2003年7—9月启动了以密云、官厅2大水库蓄水为目的的人工增雨应急方案,在水库上游进行了大规模的飞机、火箭蓄水型人工增雨催化作业,到目前为止,已连续开展3年。在实施人工增雨作业中,所用碘化银催化剂产生降水是否会对水库水质产生影响,这是政府及公众所一直关注的问题。

从20世纪60年代开始,美国、加拿大、前苏联等国家先后对人工增雨催化作业后降水中的 Ag^+ 及化学组分进行监测分析^[1,2];1980年代我国湖南、福建等省相继开展人工降水中 Ag^+ 分布研究^[3];但关于人工增雨影响区域地表水中 Ag^+ 及化学组分变化特征研究报告相对少得多。因此,从2004年汛期(5—9月)开始对密云水库和白河入口处水质进行定期、定点监测,主要是以飞机播撒 AgI 催化剂为主的水库蓄水型增雨试验,利用收集的样品序列资料,对水库中 Ag^+ 浓度变化、化学特征进行了分析研究。

北京地区位于华北平原的西北端,其东北部、北部和西部三面环山,东临渤海,西北高、东南低,属温带大陆性气候。由于受地形的影响年降水量分布极不均匀,多集中在夏季6—9月,冬季稀少。因此飞机人工

增雨时间为每年5—9月,区域位于38—42°N、113°30′—118°30′E之间。主要集中在北京地区西北—北—东北,即延庆、怀柔、昌平、密云、平谷及与此紧邻的河北省境内地区。同时利用密云、延庆白河流域6个流动火箭点,延庆等区(县)15个固定火箭发射点和河北省承德、张家口地区丰宁、赤城、怀来、涿鹿和宣化5个县,开展区域合作进行火箭增雨作业。

1 水质测定

1.1 水样采集

对水库定期取样,了解水库水质现状及变化,尤其是催化作业后 Ag^+ 浓度增加与否,是否会对水库水质、周边环境产生影响,是进行人工影响天气实施催化作业首先需要考虑的问题。本次对水库南坝(代表水库水质)、黑龙潭桥下(代表水库上游白河入口处水质,文中以入口处表示)2个采集点水质进行连续监测。水样使用经过严格洗涤处理后聚乙烯贮样盒取样。

1.2 检测项目、测试设备

化学组分测定除 Ag^+ 外,还进行 pH 值、电导率等共16种检测项目。其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 F^- 由离子色谱法测定, Ag^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、用原子吸收光谱法、氨氮则用紫外分光光度法测定。使用 SB-24 电感耦合等离子体质谱仪、SB-01 原子吸收光谱仪 AAS、SB-03 离子色谱仪 DX-100 Ion 等测试设备。 Ag^+ 检出限为

$1 \times 10^{-12} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

1.3 采样时间与监测频率

5—9 月为飞机人工增雨作业期，其余月份为非作业期。2004 年作业期每月监测 2 次，其它月份每月监测一次；从 2005 年 5 月开始每月均监测 2 次。每个监测点一次同时取 2 个水样（除个别月份），取其均值。2004 年 6 月—2005 年 7 月，共取水样 40 个。所取样品送交北京市理化中心测试。

2 评价依据

根据国家及有关部门对生活饮用水水源、水质有关标准和规定，评价依据选用《生活饮用水水质卫生标准》（GB 5749—85）、《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）^[4,5]。生活饮用水水质中 Ag^+ 卫生标准为 $50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3 测试结果分析

通过 2 个采样点 2004 年 6 月—2005 年 7 月时段内 16 项测定结果见表 1。总体上看，作业期大多数监测结果要低于非作业期间（氨氮除外），但每项测定结果在空间分布上差异不很大，只有钙、铁变化较明显。2 个采样点比较，作业期和非作业期，水库中各项测定值都基本略低于入口处，说明水库水质好于入口处。主要原因在于：水库水域面积大，流速小，使进入水库的各种物质得到稀释，同时水体中悬浮颗粒逐渐沉积，致使水库水质组分浓度降低。分析表明：（a）2 个采样点的 pH 值均在正常值范围内（7.4~8.5 之间），水体无酸度或碱度过高现象，符合地表水环境质量标准；（b）水中重金属离子、阴离子含量较低，符合文献

[4] 标准；（c）氨氮在水库水量多的 7、8 月份含量高，为三类水体，水量少的月份低^[6]符合一类水体标准；（d）水库水体中 Ag^+ 月变化情况（见图 1）分析表明：作业期（5—9 月）为低值区，非作业期为高值区。作业期间所测 Ag^+ 一次浓度最大值 $0.90 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、最小值 $0.48 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，均未超过 $50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生活饮用水水质卫生标准。在非作业期所监测的 Ag^+ 一次浓度最大值 $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ （11 月份）高出作业期。（e）作业期间，水库 Ag^+ 浓度值降低与入口处

表 1 水库水质组分测定结果

水质组分	水库		入口处	
	非作业期	作业期	非作业期	作业期
pH	8.3	8.3	8.4	8.2
电导率 $\mu\text{s}/\text{cm}$	375	333	429	339
Ca/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	48.9	37.7	60.7	42.6
Mg/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	14.6	13.5	15.9	13.8
Na/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	12.6	11.8	13.4	11.9
K/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	3.09	2.62	2.65	2.62
Ag/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.86	0.69	0.82	0.70
Pb/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.87	0.61	1.05	0.64
Fe/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	7.02	6.10	117.0	23.84
Hg/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.16	0.12	0.21	0.14
Cd/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	0.76	0.59	0.75	0.57
$\text{SO}_4^{2-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	32.10	31.44	34.30	33.32
$\text{Cl}^{-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	10.40	9.18	11.90	9.58
$\text{F}^{-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.17	0.13	0.17	0.11
$\text{NO}_3^{-}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	4.01	4.09	11.61	6.18
$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	0.18	0.26	0.25	0.31

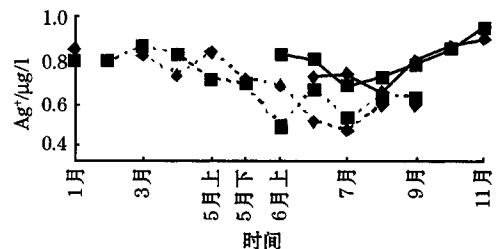


图 1 水库 Ag^+ 浓度值月变化

—◆—2004 年入口处；—■—2004 年水库；
---◆---2005 年入口处；---■---2005 年水库

不是同步而是滞后；而非作业期间，2 个采样点的 Ag^+ 变化趋势基本一致。

4 影响水库中 Ag^+ 变化分析

飞机作业区域为水库上游汇水区，取其上游及周边 5 个站点（延庆、佛爷顶、汤河口、上甸子、密云）月降水量与当月的增雨率得出汇水区月增雨量。增雨量的求算方法是依据长序列历史资料和较长作业资料，分别对飞机和火箭增雨效果进行统计分析，以其分析结果为基础，使用催化覆盖面积加权法分析综合增雨率，得出 2004 年汛期密云水库流域增雨作业可增加降水量 13% 左右，有关上述增雨量计算已在相关文章中介绍^[7]。图 2 给出了汇水区月降水量、增雨量与 AgI 播撒量间的变化关系，其月变化趋势是一致的，即作业区月 AgI 播撒量增加时相应月降水量也增大。7 月份降水量、增雨量和播撒量均为最大值表明 AgI 催化剂有很好的增雨效果。

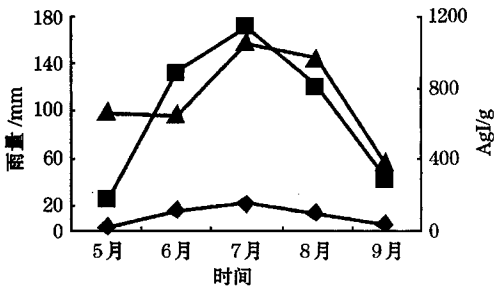


图 2 汇水区月降水量、增雨量与 AgI 播撒量对应关系

■：降水量 (mm)；◆：增雨量 (mm)；▲：AgI

4.1 AgI 播撒量

图 3 展示了水库、水库上游白河河口处 2 个采样点 Ag^+ 月变化与作业区中 AgI 月播撒量相互间的对应关系。AgI 播撒量与水库中 Ag^+ 月变化呈反相关、与上游河口处

Ag^+ 月变化呈正相关。AgI 播撒量 7 月份最大，而水库中 Ag^+ 月变化则是 7 月份为最小值，不播撒作业的月份 Ag^+ 浓度反而高。据统计资料表明：作业期间 AgI 播撒总量为 16494g，增雨量约为 66.9mm^[7]，影响面积以 $1.5 \times 10^4 km^2$ 计算得到增加降水量约为 $100350 \times 10^4 m^3$ ；据水利部门计算水库在此间增加水量 $1929 \times 10^4 m^3$ ，相当于约有 317g AgI 进入水库，与 $16504 \times 10^4 m^3$ 水库入库水量相比其浓度为 $0.01921g/10^4 m^3$ ，相当于 $1.921 \times 10^{-6} mg \cdot L^{-1}$ ，其浓度是极低的。因此，作业后水库入库水量越大，稀释作用越强，使得 Ag^+ 浓度值相对降低。由于河流水体的更新速度比水库来得快，对水体稀释自净能力也相对较高^[8]。所以水库上游入口处水体 Ag^+ 月变化与播撒量变化趋势基本相同。

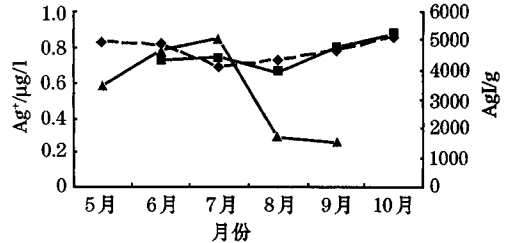


图 3 水库中 Ag^+ 月变化与 AgI 月播撒量的关系
■：入口 Ag^+ ；◆：水库 Ag^+ ；▲：AgI 总量

4.2 降水量

增雨作业后汇水区月降水量增加（见图 4）对水库、上游河口处 2 个采样点 Ag^+ 月变化影响可从图 4 上看到，对降水量最明显的 6、7、8 月份，水库上游白河河口处 Ag^+ 月变化幅度虽然不很大，但趋势与其相同；而水库中 Ag^+ 月变化却与其相反。降水量最大 7 月份，水库 Ag^+ 浓度值最低。

4.3 水库增水量

由水利部门提供资料来看，7、8 月份

水库增水量最大,但并未引起水库中 Ag^+ 浓度值的突增,相反7、8月 Ag^+ 降到最低(见图5)。对于作业期间径流进入水库的水量中 Ag^+ 远小于水库中原有 Ag^+ 含量,并不足以使水库中 Ag^+ 含量提高,水库水量的增加起到稀释其 Ag^+ 含量的作用。另外,由于水库水域宽广,水体本身具有较好的自净能力,使得水库中 Ag^+ 浓度降低,并未随着水库水量的增加而增加,相反基本呈下降趋势。

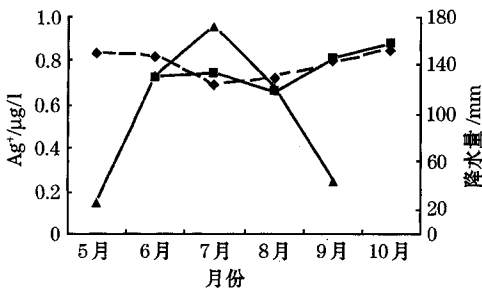


图4 2个采样点 Ag^+ 与降水量的关系

■: 入口 Ag^+ ; ◆: 水库 Ag^+ ; ▲: 降水量 (mm)

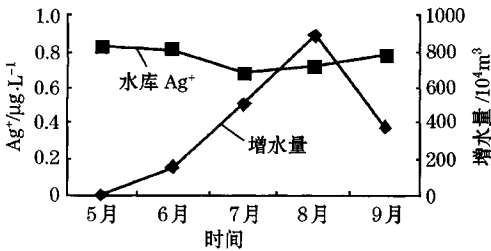


图5 水库中 Ag^+ 与水库增水量的关系

5 个例分析

为表明作业期间,水库与入口处在作业前后水体中 Ag^+ 浓度变化情况,特选2004年一个例过程。

6月18日—7月9日此期间只进行过一次飞行作业(6月30日),当天2个架次的飞行9:26—11:12、14:00—15:25共作

业3小时11分。飞行区域为河北丰宁、怀来、赤城及延庆、怀柔、密云、昌平,共使用烟条13根。在上述日期及地区内共施放增雨炮弹78发、火箭弹158枚, AgI 播撒量为1801g。此期间降水量约为134.9mm,降水中所含 Ag 约为 $1.6197 \times 10^{-5} \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 同时水库日入库量由原来 $25 \times 10^4 \text{m}^3$ 增加到 $84 \times 10^4 \text{m}^3$,这对水库及白河入口处水中 Ag^+ 变化产生不同程度影响(图6中,作业前指6月18日、作业后指7月9日)。由图6可发现:在作业前6月18日,水库中 Ag^+ 浓度值明显高于白河入口处,其差值为 $0.11 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。经过6月30日进行飞机人工催化增雨作业后,由于水库水量的增加,作业后7月9日 Ag^+ 监测结果,水库 Ag^+ 浓度值作业后比作业前下降 $0.13 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,而白河入口处水质中 Ag^+ 浓度增加了 $0.04 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,但作业后白河入口处水质中 Ag^+ 浓度仍低于作业前水库 Ag^+ 浓度值,其差值为 $0.07 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。说明入库水 Ag^+ 要低于作业前水库 Ag^+ 原有浓度值。

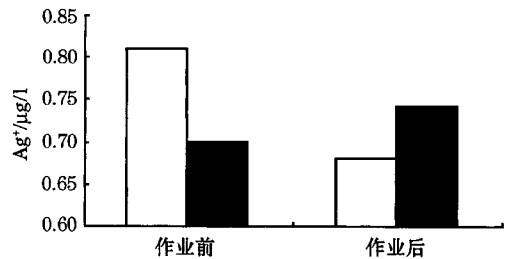


图6 水库、入口处作业前后银离子变化

□ 水库 ■ 入口处

6 结语

因对资料的占有量不够充分,以上的分析结果也只是初步的。就目前观测结果而言,经过实施飞机人工催化增雨作业后,水库、白河入口处水质pH值均在正常值范围内;虽然水库中水量增加,但所测组分浓度

值均比作业前有所下降(氨氮除外);尤其是水库中 Ag^+ 有明显的月变化,最低值出现在水库增水量最多的7、8月份,与水库增水量基本呈反相关;且作业期间水库 Ag^+ 浓度值低于非作业期间;在全年监测中, Ag^+ 一次浓度最大值未超过 $50\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 生活饮用水水质卫生标准。尽管水库中 Ag^+ 月变化的原因目前并不清楚,但这些监测资料表明,实施飞机人工催化增雨作业期间,降水量的增加并未影响到水库中 Ag^+ 离子浓度的增加。

参考文献

- 1 申忆铭. 云中催化剂的扩散 [M]. 北京: 气象出版社, 1994. 120-134.
- 2 王雨增, 李风声, 伏传林. 人工防雹实用技术 [M]. 北京: 气象出版社, 119-121
- 3 曾光平, 郑淑贞, 胡敬雍等. 福建省古田水库地区人工降雨试验雨水中 Ag^+ 分布研究 [J]. 热带气象, 1989, 5 (1): 63-71.
- 4 生活饮用水水质卫生标准 [S] (GB 5749—85). 北京: 中国标准出版社, 1992.
- 5 地表水环境质量标准 [S] (GB 3838—2002). 北京: 中国标准出版社, 2003.
- 6 乔光建. 朱庄水库水质时空变化规律 [J]. 河北水利水电技术, 2003, 1: 38-39.
- 7 秦长学, 张蓄, 李书严等. 密云水库蓄水型增水作业效果分析 [J]. 气象科技, 2005, 33 (增刊): 74-77.
- 8 李福明, 李宁, 傅金祥等. 白石水库水质现状与评价分析 [J]. 沈阳建筑工程学院学报, 2004, 20 (1): 139-142.