

官厅水库污染及其调控

王华东 刘永可 王景华

(北京师范大学地理系) (中国科学院地理研究所)

官厅水库位于北京西北部,是我国解放后建成最早的大型水库之一.它是一个综合利用水库,可供发电、养鱼、灌溉和饮用,是首都用水的重要补给源.总库容 22.7 亿方,流域面积为 47000 平方公里.

官厅水库有三条入库河流,即洋河、桑干河与妫水河.其中桑干河最长,全长 350 公里,流域面积最大为 24000 平方公里,多年平均径流总量 8.04 亿方,约占官厅水库来水量的 50%,流域内主要工业城市偏居桑干河上游.污染物经过长距离输送自净,对官厅水库的污染影响大大减弱.洋河全长 250 公里,流域面积 14000 平方公里,多年平均径流量 5.6 亿方,占官厅水库来水量的 37%.洋河流域的主要工业城镇如张家口、宣化、下花园及沙城等都位于洋河下游,距水库较近,对水库的污染影响较大.妫水河全长 20 公里,补给水量仅占三条河来水量的 1% 左右,但由于延庆县几个工厂位于妫水河河口处,对水库的影响较大.官厅水库接受了三条水系带来的污染物,故水质受到污染.

为了解水库污染问题,自 1972 年开始,对官厅流域及水库环境质量进行了研究.本文仅就官厅水库水环境污染的研究方法及水库污染调控问题进行初步探讨.

一、官厅水库水环境污染研究

进行水系水源保护研究、建立研究程序方框模型是非常必要的.我们按下述程序对官厅水系进行了水环境污染的研究(图 1).

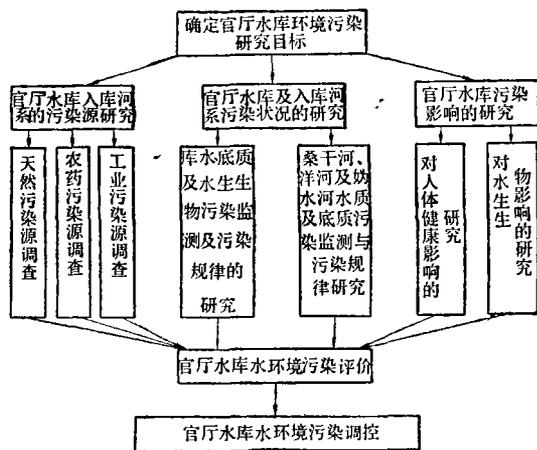


图 1 官厅水库水环境污染研究程序方框图

(一) 确定官厅水库水环境污染的研究目标,研究官厅水库污染状况及其生态学影响,主要污染物在流域内的迁移转化规律,提出官厅水库污染的调控措施和全面的水源保护措施.

(二) 进行流域内污染源的调查、评价及污染负荷比的研究.分别对流域内的天然污染源、农药污染源特别是工业污染源进行了调查,并按流域和地区对污染源进行了污染负荷比的研究.研究表明,洋河流域污染负荷比最高(56.21%),桑干河流域次之(24.84%),妫水河流域为 0.12%.按工业区比较,则宣化区最高(37.96%),大同市次之(19.71%),张家口占第三位(16.98%),怀来县为 15.15%,山阴县为 6.93%,涿鹿县为 3.68%,下花园区为 1.21%,延庆为 0.12%.

(三) 对官厅水库入库河流的水质、底质

进行监测,研究酚、氰、砷、汞、铬在河道中的迁移转化规律。以酚为例,酚类化合物由工厂排入河流中以后,迅速进行氧化分解过程,首先是酚的化学氧化过程。易挥发和氧化的部分在几小时内即可完成,以后是酚在微生物作用下的生物化学氧化过程,一般可延续几天的时间。以宣钢焦化厂为例,含酚废水在排水渠中自净能力很强,在几公里流程中,酚即可净化掉90%以上。以铬为例,六价铬在河流中的净化作用不明显,三价铬从工厂排出口排出后,在很短距离内(约几百米),水中三价铬的浓度就明显下降,表明三价铬在微酸性或微碱性介质中或呈 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀,或被悬浮泥沙及底质所吸附。

(四)对官厅水库水质、底质及水生生物进行监测,研究酚、氰、砷、汞、铬、滴滴涕、六六六及油的迁移转化规律。在官厅水库布设了九个断面,十五个采样点。官厅水库库区平均水深在10米以上,但水温和水体交换条件变化不明显,在水库坝前按固定水层深度取样,取样深度为0—0.5米、0.5—3米、3—6米、6—9米、12—16米共6层。

研究表明,水库中主要污染物含量范围与本流域水体的天然背景值范围相比较,总铬和汞大体与背景值相当,而酚、氰、砷的最高值略超过背景值上限。水库中有机毒物如酚、氰、滴滴涕、六六六、油、洗涤剂、硝基苯、氯苯和无机毒物如砷(个别点除外)、汞、铬(六价)、氰(个别点除外)、镉、铜、铅、锌、铁、钼、铍、磷、铀等都未超过地面水允许标准。在库区个别点上,酚、氰、砷、氟有时超过饮用水标准。

除汞在个别鱼体中超过食用标准外,其它各种污染物在鱼体内一般不超标。

(五)对长期饮用库水的北寨大队居民进行健康调查,对北寨居民尿中滴滴涕及其代谢产物的含量和居民发中砷进行了测定,还对食鱼哺乳水貂进行了一些试验研究。

(六)对官厅水库水环境污染进行综合

评价。研究表明,官厅水库水质的综合污染指数*大部分在0.1以下,只库区个别点个别层次有时大于0.1,库中水生生物生态正常,个别鱼体中某些污染物含量超过食用标准。底质中污染物略高于自然背景值,污染物的含量水平对底栖生物没有显著影响,因此官厅水库属于轻度污染。

(七)由于官厅水库蓄水排入永定河后,可直接补给北京西郊的地下水,特别是沿岸居民有的直接饮用库水,为此,必须不断改善官厅水库的水质,对官厅水库水质进行调控研究,对官厅水库的污染物实行总量控制。

二、官厅水库污染的调控

(一)污染物的总量控制 官厅水库上游工厂每年排放几亿吨废水进入河流,几乎占水库多年平均来水量的8.3%。近年来,随着工业污染源的治理,水质在一定程度上又趋于好转,所以,官厅水库污染形成取决于上游污染物的来量。污染物从工业污染源进入环境以后,除受环境条件的影响、在河流中净化一部分外,其它部分污染物随河水和河水中的悬浮物一起转移到水库中。

水库的污染物浓度与官厅水库的水量有一定关系。当进入水库中的污染物数量一定时,在不同水量条件下,造成水中污染物浓度不同。为了保护好官厅水库的水源,以达到饮用水的要求(水库沿岸居民直接饮用库水),官厅水库各种主要污染物含量都应在饮用水标准以下,这是官厅水库污染物总量控制的主要目标。

官厅水库各月的蓄水量随季节变化很大,一般变化于2—10亿立方米之间。根据多年平均蓄水量选择2、4、6、8、10、17亿立方米为代表,分别计算在这六种蓄水量情况

*:水质综合污染指数(K)可定义如下:

$$K = \sum \frac{CK}{C_{oi}} \cdot C_i$$

K值表示各污染物的总体对水质的综合污染程度

下,污染物达到饮用水标准时的总量控制值:

$$E_i = W_i \cdot X_i$$

式中, E_i 为污染物总量控制值(公斤), W_i 为水库蓄水量(立方米), X_i 为污染物 i 的饮用水标准(毫克/升)。

应用上式, 分别计算了官厅水库在不同水量条件下, 污染物酚、氰、砷达到饮用水标准时的总量控制值(见表 1)。

表 1 官厅水库酚、氰、砷的总量控制值

水库水量 (亿立方米)	酚(公斤)	氰(公斤)	砷(公斤)
2	400	10,000	8000
4	800	20,000	16,000
6	1,200	30,000	24,000
8	1,600	40,000	32,000
10	2,000	50,000	40,000
17	3,400	85,000	68,000

控制官厅水库的污染物总量的关键是控制上游的污染源。由于官厅流域污染特点和污染物来源不同, 不能不加区别地要求达到

某种标准。必须根据流域的地理环境特点, 进行区域划分。划分的原则是: (1) 根据官厅水库上游工业布局的特点、污染源的和污染物排放的情况; (2) 根据污染源距水库的远近程度及污染物在地理环境中迁移转化的特点。

从以上要求出发, 把官厅流域划分成三个水源保护区(见图 2), 这样, 就可以实行总量控制。我们把官厅水库在不同蓄水量时污染物达到饮用水标准的总量控制值, 按一定的比例分配给三个水源保护区。分配的原则是: 按官厅水库三个水源保护区的位置以及三个保护区污染物排放的大致比例。在三个保护区中, 第一保护区污染物排放量占流域总排放量的 10%, 第二区占 60%, 第三区占 30%。按同样比例, 把污染物总量控制值也分别分配给三个水源保护区。这样, 事实上就规定了各水源保护区污染物的具体排放指标。例如, 第一区分配给 40 公斤酚, 超过这个指标, 官厅水库就可能造成酚的污染。这

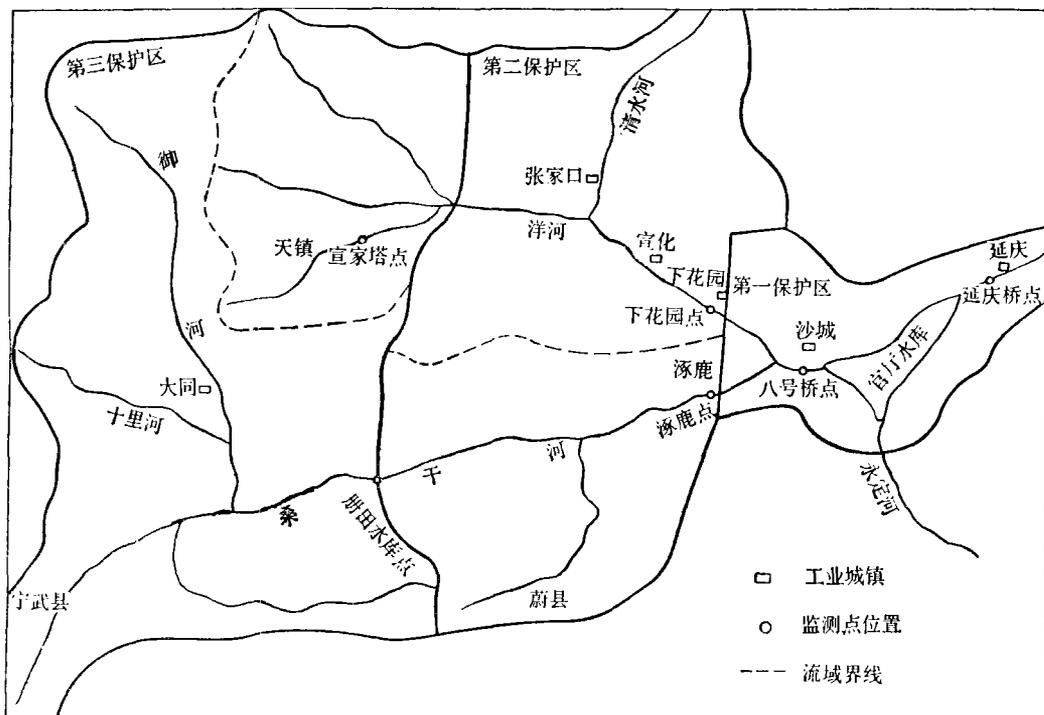


图 2 官厅水库三个水源保护区

40 公斤酚分配给第一区以后,还需要完成以下两个方面的工作: 首先,根据当前工厂污染物排放的数量和环境净化能力,提出工厂进行污染源治理的比例,以使工厂排放的污染物在总量控制的分配数量内。这是总量控制研究的最终目的,它直接为污染源治理服务。

工厂污染源治理比例是这样规定的,例如:分配给第一区 40 公斤酚,再平均给沙城和延庆两地(是第一保护区的两个主要工业城镇),分给沙城 20 公斤酚,加上酚在第一区有 70% 的自净量,那么沙城工业区的排酚量就不仅是 20 公斤,而是 66 公斤,即当沙城工业排放 66 公斤的酚进入河流,其中有 70% 被净化掉,余下来的不能超过 20 公斤。沙城工业区实际每月排酚量是 238.80 公斤,如果考虑 70% 的自净量,也有约 167.16 公斤的酚进入水库,显然超过规定要求,肯定会造成水库酚污染,因此必须对沙城工业区排酚工厂提出具体排放比例。通过计算得到,当要求沙城排酚工厂治理四分之三的含酚废水,排放四分之一时,每月沙城工业区排酚量为 59.70 公斤,经过河流自净一部分,进入水库不超过 20 公斤,符合总量控制的要求。

在水库的不同水量时期里,其结果是不一样的。譬如水库水量超过 8 亿立方米,工厂排酚量可以放宽。由于考虑到工厂的排酚量基本变化不大,我们以 2 亿立方米水为最低水量标准进行计算。

在要求治理四分之三含酚废水的基础上,对沙城工业区所有排酚工厂进行逐一的计算并提出工厂废水中应有的含酚量。例如,沙城一个工厂治理四分之三的废水后,废水中含酚量应该是 1.1 毫克/升。按这个数量排放,就符合总量控制的要求,超过这个数量,就是超量排放。

其次,要求建立监测点,提出控制标准,对各水源保护区污染物排放进行监测,以使各保护区不超过总量控制的指标,这是进行

总量控制的手段。仍以沙城第一保护区为例,当沙城的含酚废水按要求进入河流以后,在八号桥点必然含有一定的浓度。因此,依据其一年各月(按总量控制的要求排放时)河水的含酚浓度、及从第二区排入的含酚浓度,规定了第一保护区八号桥监测点每月的浓度控制范围(约 0.001—0.003 毫克/升)。这个浓度范围就是八号桥点的控制标准。各个保护区的废水量、排放浓度和河水径流量不同,控制标准也有差异(表 2)。

表 2 三个水源保护区各监测点控制浓度范围值 (毫克/升)

监测点位置	酚	氟	砷
延庆桥	0.01—0.015		
八号桥	0.001—0.003	0.001—0.01	0.002—0.01
下花园	0.01—0.015	0.01—0.05	0.003—0.01
涿鹿桥	0.001—0.005	0—0.1	0—0.01
册田水库	0.005—0.01	0—0.1	0.002—0.01
宣家塔	0.01—0.02	0.005—0.02	0—0.01

(二) 官厅水库水量的调控和管理: 一般污染物进入水库的数量超过一定限额就会产生污染并造成危害,应严格加以控制。其控制标准一般系指在用水部门对水质要求的允许范围内,水库能够承受污染物的最大可能数量,亦称为水库最大允许负荷,作为表征或衡量水库负载能力的指标。显然,供水目的不同,对水质要求不同,库水污染物允许限额也随之变化。

水库污染物负载能力与蓄水量成正相关,但水库蓄水量因诸年来水、用水以及水库运转情况各不相同而有很大差异,即使同一水文年度各个季节也不一样。因此在不同年份、不同季节,水库负载能力显著不同。为了保障水质安全,在水质标准允许范围内,接纳一定数量污染物时水库应该具备相应的蓄水容量,这个蓄水容量命名为环保库容。

计算环保库容时,首先要选择库水的主要污染物,即以入库量大、浓度高、毒性大、能左右水质污染程度的污染物为对象。官厅水

库主要污染物为酚类及其化合物。以入库河水年平均含酚浓度 (S_0) 与库年平均浓度 (S_{cp}) 求净化率 (p), 并以此净化率与相应年的水库年平均库容 (w) 绘制相关曲线 (图 1), 其曲线方程为: $W = Ae^{Bp}$, 式中 A、B 为经

表 3 水库环保库容 (WP)

入库含酚量 (毫克/升)	净化率 (%)	环保库容 (亿方)
0.0029	30	1.800
0.0033	40	2.000
0.0040	50	2.600
0.0050	60	3.600
0.0060	67	4.600
0.0070	72	5.400
0.0080	75	6.400
0.0100	80	8.000

饮水标准 0.002 毫克/升

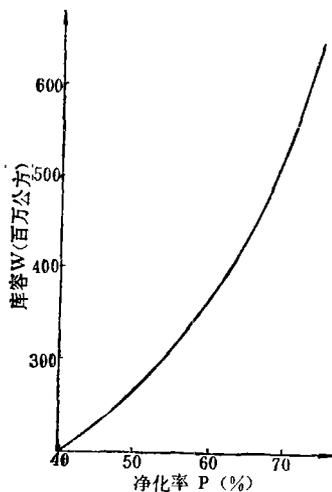


图 3 年平均库容—库水酚净化率关系曲线 ($W = Ae^{Bp}$, $A = 37$, $B = 0.04$)

验参数。官厅水库主要供城乡居民生活饮用, 故库年平均含酚浓度以饮水标准 ($S = 0.002$ 毫克/升) 为基准, 由入库河水浓度按上述方法即可推算出该水库的一组环保库容 (W_p)。从表 3 可以看出, 每个入库河流含酚浓度均有其相应的环保库容量。

如果环保库容很大, 就会影响水库的兴利事业, 应该缩小库容量。但为了保障水库水质安全, 不得超过允许标准, 这就势必要降低入库河水含酚浓度、加强对工业含酚污水

的处理。如降低环保库容量为 ΔW_p , 可通过下述联立方程组推求其相应的入库河水含酚浓度减少量 ΔS_0 。

$$\begin{cases} X = S_0 \ln \frac{W_p}{W_p - \Delta W_p} \\ \Delta S_0 = \frac{XS_0}{S + X} \end{cases}$$

式中, S_0 为原入库河水含酚浓度, 设 V 为多年平均入库径流总量,

$$P' = \frac{\text{水库年纳酚总量}}{\text{全流域工业年排酚量}}$$

则全流域增加的外酚量 $\Delta G = V \Delta S_0 / P'$ 。再通过水利经济计算, 提出缩小环保库容量 ΔW_p 所获得的兴利效益, 与增加处理酚量 ΔG 所产生的经济负担进行比较, 即可从中选择最佳方案。

当环保库容确定以后, 即可算出入库河水含酚浓度及总量, 作为入库河水水质标准。由酚的入库总量除以 P' 值即得全流域工业排酚总量, 作为全流域允许排放量。再按工厂规模及其对水库污染的影响程度, 应用上节估算办法拟订工业区或工厂排酚标准或分配方案。

随着流域内工厂含酚废水处理工程的实施及环境污染治理、入库酚量逐年减少, 对环保库容要求也随之降低。但因官厅水库诸年水文情况变化甚大, 库水对污染物的稀释能力及其它净化过程也要发生相应的变动, 特别是在枯水年或遭遇枯水年的形势下, 水量供求发生矛盾, 库水负载能力不断降低, 这时不仅要入库酚量加以严格控制, 而且要求水库尽可能保持较大的蓄水量。因此为了确保水质安全, 应根据水文预报及排污情况, 对年入库进行估算, 利用上述方法求出相应的年环保库容, 作为来年库水的运转控制指标。但年环保库容仅反映全年的纳污量对库容量的总体要求, 特别在枯水季节水库负载能力比较小时, 易于发生超载现象, 此时需要配合短期水质污染预报, 提出可能发生超过水质允许标准时的最小库容量 (即警戒库

容)。

库水迳流经过人工调节在时间上再分配,可服务于供水要求。库水迳流在其分配过程中也对入库污染物输送起再分配作用,但污染物分配过程受供水要求所制约,往往不一定适应水质要求。官厅水库在枯水季节,天然迳流供不应求,需要动用库存水量来补充,当库水量降低到不足以稀释入库污染物时,就会出现超标现象,而在丰水季节水库却有较大的潜在负载能力。因此需要对污染物输送过程加以适当调整,以便充分运用库水稀释能力,加速污染物输送过程,减少库水污染物含量以保障水质安全。

官厅水库原属多年调节水库,后因泥沙淤积、入库水量减少,目前只能起到不完全多年调节或者年调节作用。这样就可以把水

库中酚污染物质的数量平均关系近似地表示为:

$$W_{\lambda}S_{\lambda} - W_{\#}S_{\#} - R = W_{\text{出}}S_{\text{出}}$$

式中, W 、 S 分别为水量及污染物浓度,其注角入、存、出分别为入库、库存、下泄,而 R 为入库污染物净化总量。在库水运转过程中诸平衡要素均有其不同的时间变化过程。为使其适应水质要求需对诸要素加以调整,这就是库水污染物迳流调节的基本任务。在调节过程中要求:(1)库水污染物浓度在水质允许标准范围内;(2)年平均库容量不得小于年环保库容量;(3)在满足上述要求的前提下,尽可能加大污染物输送总量和输送速度。

按库水污染物平衡关系,列出逐月平衡方程式:

$$1 \text{ 月: } W_0S_0 + W_{\lambda 1}S_{\lambda 1} - W_{\# 1}S_{\# 1} - R_1 = W_{\text{出} 1}S_{\text{出} 1}$$

$$2 \text{ 月: } W_{\# 1}S_{\# 1} + W_{\lambda 2}S_{\lambda 2} - W_{\# 2}S_{\# 2} - R_2 = W_{\text{出} 2}S_{\text{出} 2}$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$12 \text{ 月: } W_{\# 11}S_{\# 11} + W_{\lambda 12}S_{\lambda 12} - W_{\# 12}S_{\# 12} - R_{12} = W_{\text{出} 12}S_{\text{出} 12}$$

$$\text{全年: } W_0S_0 + \sum_1^{12} W_{\lambda i}S_{\lambda i} - W_{\# 12}S_{\# 12} - \sum_1^{12} R_i = \sum_1^{12} W_{\text{出} i}S_{\lambda i}$$

由此可见, $\sum_1^{12} W_{\lambda i}S_{\lambda i}$ 、 $\sum_1^{12} W_{\text{出} i}S_{\text{出} i}$ 、 $\sum_1^{12} R_i$ 分别为污染物年输入、输出、净化过程及数量。净化量 R 取决于库水量及其化学、生物环境对污染物净化作用的影响程度,但化学及生物净化效果与库水的稀释作用相比较居于次要地位。为了计算简便,不考虑其净化过程的数量变化,而用历年统计资料,以月平均净化量来代替。

库水在下泄过程中,各种污染物均发生着不同程度的净化效果。官厅水库平均含酚浓度 S_{cp} 与坝下泄水含河浓度 $S_{\text{出}}$ 的数学模式为:

$$S_{cp} = C \cdot e^{DS_{\text{出}}} \quad (C \cdot D \text{ 为参数})$$

而入库河水含酚浓度 S_{λ} 与 S_{cp} 的数学模式为:

$$S_{\lambda} \left(\frac{1}{B} \ln \frac{A}{W} + 1 \right) = S_{cp}$$

所以,

$$S_{\lambda} \left(\frac{1}{B} \ln \frac{A}{W} + 1 \right) = C \cdot e^{DS_{\text{出}}}$$

至此不难看出,坝下泄水含酚浓度为入库河水含酚浓度与库水量的函数。若库水 $S_{cp} \leq 0.002$ 毫克/升,则坝下泄水必然会满足水质要求。丰水期库水量大,可以提高入库河水含酚浓度,反之枯水期应降低入库浓度。但工厂污水在自然排放条件下不能与此相适应,需加以控制调节。在排酚工厂集中地区设置污水库控制排放,调节入库浓度或数量,这样入库污水既可得到事前净化,又可充分利用库水稀释能力,扩大排污量,减轻污水处理负担,同样也可以减少环保库容量,缓和或

(下转第 77 页)

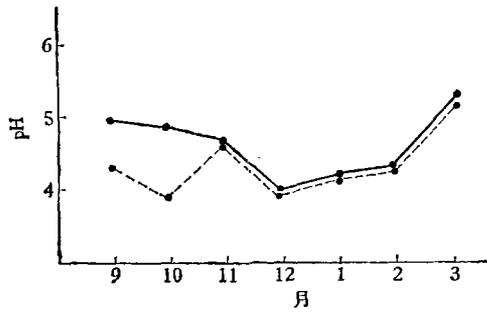


图1 降水酸度

—— 算术平均值 - - - - 几何平均值

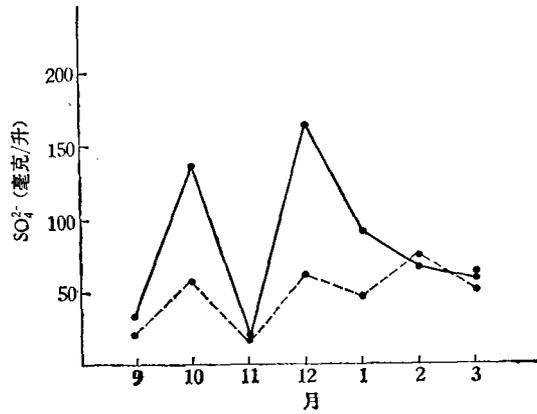


图2 降水中硫酸根

—— 算术平均值 - - - - 几何平均值

表1 降水酸度 单位: pH 值

时间(月)	9	10	11	12	1	2	3
检出范围	3.54—8.14	3.78—6.90	3.98—6.72	3.62—4.52	3.94—5.34	3.92—4.67	4.34—6.48
中位数	4.60	4.40	4.33	4.00	4.17	4.30	5.27
算术平均数	5.00	4.90	4.70	4.04	4.28	4.30	5.33
几何平均数	4.30	3.90	4.65	4.01	4.26	4.28	5.29

表2 降水中硫酸根 单位: 毫克/升

时间(月)	9	10	11	12	1	2	3
检出范围	2.7—162	15—800	10—25	5—560	5—400	45—100	10—120
中位数	17	25	22.5	60	45	70	65
算术平均数	35.2	139	20.8	178.7	89	71.0	67
几何平均数	20.7	58	19.9	63.3	49.9	78.8	51.9

可看出,硫酸根的变化与 pH 值缺乏高度的相关关系,影响 pH 值的因素除硫酸外,还与其他无机酸和硷性沉降物质有关。

从上述结果可以明显的看出,重庆市大

气和降水受到酸性物质的污染。至于污染的规律与气象条件的关系,以及酸性雨对地表水、土壤、植被等的影响,有待进一步研究和探讨。

(上接第 66 页)
者解决与水库兴利的矛盾。

应该指出,库水含酚污染物质迳流调节问题,仅是从保障水质安全角度出发,而官厅

水库是多目标的综合利用水库,因此,上述问题仅作为研制水库调节方案时的基本因素之一来加以考虑,或参照它对现行水库运转方案加以修正。