

# 朱庄水库面源污染计算及控制技术研究

康彦付, 乔光建

(河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

**摘要** 在对朱庄水库流域污染源现状调查的基础上, 研究面源污染的形成机理, 对总污染物输入量进行调查, 结合点源污染的排污状况, 确定该流域的污染源构成, 对水库水体进行富营养化评价, 分析面污染对水库水体供水安全存在的潜在危险性。最后, 在强化流域点源污染控制的同时, 研究和制定面源污染控制技术的管理措施。

**关键词** 面污染源, 水质评价, 面污染控制技术, 饮用水水源地

中图分类号: X524      文献标识码: A      文章编号: 1004-693X(2008)S1-0016-04

## 1 朱庄水库基本概况<sup>[1]</sup>

朱庄水库位于河北省邢台市西部太行山浅山区(邢台县与沙河市交界处), 属滏阳河上游沙河流域, 距邢台市区 35 km, 河道发源于太行山东麓内丘县北沟, 水库控制流域面积 1 220 km<sup>2</sup>, 主要涉及邢台县 7 个乡镇和内丘县侯家庄乡等, 入库主要支流有宋家庄川、将军墓川、浆水川和路罗川。朱庄水库总库容 4.162 亿 m<sup>3</sup>, 正常高水位 251 m, 相应库容量 2.625 亿 m<sup>3</sup>。设计死水位 220 m, 有效库容 2.285 亿 m<sup>3</sup>。

水库为具有多年调节、以防洪灌溉为主、兼顾发电等综合利用功能的大型水利工程。调节方式为多年调节, 因受下游引水、灌溉配套能力的限制, 建库以来实际灌溉面积 0.93 万 km<sup>2</sup>, 多年平均供水量 0.403 亿 m<sup>3</sup>。朱庄水库径流计算采用 1953~1993 年共 41 年连续系列(其中 1974~1993 年为水库反推系列), 求得朱庄水库以上天然径流系列, 其统计参数见表 1。

表 1 朱庄水库天然径流分析结果

| 统计参数  |       |       | 不同保证率下的年径流量/亿 m <sup>3</sup> |       |       |       |
|-------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|-------|
| 均值    | $C_v$ | $C_s$ | 25%                          | 50%   | 75%   | 95%   |
| 2.380 | 0.95  | 2.10  | 3.210                        | 1.695 | 0.784 | 0.311 |

按朱庄水库不同水平年耗水后的供水量, 计算出不同水平年调节水量。朱庄水库供水量调节计算见表 2。

2004 年以前, 地下水是邢台市区工业和生活用

表 2 朱庄水库供水量调节计算结果

| 项 目   | 不同保证率下的水量/亿 m <sup>3</sup> |       |       |
|-------|----------------------------|-------|-------|
|       | 50%                        | 75%   | 95%   |
| 毛调节水量 | 1.39                       | 0.839 | 0.370 |
| 蒸发损失量 | 0.065                      | 0.055 | 0.032 |
| 净调节水量 | 1.325                      | 0.784 | 0.338 |

水唯一的供水水源地, 随着城市建设和工业快速发展, 市区水资源的供需矛盾日益突出, 市区地下水长期处于超采状态, 地下水位以平均 1.43 m/a 的速度下降, 在工业用水大户水源地和城市供水井群区已形成严重的地下水漏斗区, 部分水井干枯报废, 对用水量大的工矿企业和居民生活造成了很大的影响。为解决市区水资源短缺状况, 保障市区国民经济快速可持续发展, 邢台市政府实施了“引朱济邢”调水工程, 实现地表、地下水资源统一调度、科学管理、有效利用, 从 2004 年开始向邢台市区供水, 朱庄水库地表水资源成为邢台市新的水源地。因此, 加强朱庄水库水源地的保护和研究, 对保证邢台市供水安全有重要作用。通过对朱庄水库面污染分析, 找出影响水环境质量的因素, 为当地政府部门保护、管理水源地提供决策依据。

## 2 农业面源污染计算

农业面源污染是在农业生产过程中不合理施用化肥、农药以及灌溉水、工农业废弃物、生活垃圾等对农田生态环境所造成的大面积污染。随着农业生产

作者简介: 康彦付(1978—), 男, 河北隆尧人, 助理工程师, 从事水文分析计算和水资源保护工作。E-mail: zhbtqgj@163.com

水平的提高,化肥、农药等的大量施用,虽对农业发展起到促进作用,但也导致土壤理化性状失衡、地下水水质恶化、农田土质下降等一系列环境问题。近年来,农业面源污染问题日益突出,不仅造成资源浪费,而且破坏农业生态环境,影响人们身心健康。防治农业面源污染已成为农业可持续发展亟须解决的问题。

由于农业面源污染分布面积广,污染的产生在空间、时间上的不确定性,造成研究工作非常困难,我国在农田面源污染对地表水环境的影响研究方面基础薄弱,在控制管理研究方面基本上处于空白状态。针对这些问题,在对污染源背景状况调查的基础上,在农业面源污染对地表水环境的影响方面进行重点研究。

2.1 污染源调查

朱庄水库流域内污染源主要分为工业污染源、面污染源和生活污染源等。

工业污染源主要涉及金属矿采选,分布于内丘县的侯家庄和邢台县的龙泉寺、城计头、浆水等 4 个乡镇内。流域内工业废水排放量 73.6 万 t/a,工业废水中主要污染物为 NH<sub>3</sub>-N、COD,其排放量分别为 5.56 t/a、3.47 t/a。

面源污染物产生于整个流域,以分散的形式间歇地向水体排放,这种时间上的间歇与天气降水过程有关,并经过汇流进入水库。施用于农作物的化肥、农药会由于降雨径流的携带部分进入水库水体,造成水库水质污染。根据 2003 年调查资料统计,水库流域内化肥施用量折纯量为 2 050 t/a,平均为 470.84 kg/hm<sup>2</sup>,农药施用量为 73.78 t/a,平均为 16.7 kg/hm<sup>2</sup>。流域内农业污染情况调查见表 3。

表 3 朱庄水库流域内农业污染源统计

| 县名 | 乡镇名 | 农作物<br>播种面<br>积/hm <sup>2</sup> | 化肥使用量(折纯) |                               | 农药使用量    |                               |
|----|-----|---------------------------------|-----------|-------------------------------|----------|-------------------------------|
|    |     |                                 | 总量/<br>t  | 平均/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 总量/<br>t | 平均/<br>(kg·hm <sup>-2</sup> ) |
| 内丘 | 侯家庄 | 324                             | 124.3     | 383.64                        | 1.26     | 3.9                           |
| 邢台 | 路 罗 | 508                             | 286.44    | 563.86                        | 14.43    | 28.4                          |
| 邢台 | 城计头 | 297                             | 45.98     | 154.81                        | 2.02     | 6.8                           |
| 邢台 | 白 岸 | 360                             | 375.54    | 1043.17                       | 16.31    | 45.3                          |
| 邢台 | 将军墓 | 555                             | 212.19    | 382.32                        | 4.55     | 8.2                           |
| 邢台 | 宋家庄 | 819                             | 354.75    | 433.15                        | 9.50     | 11.6                          |
| 邢台 | 浆 水 | 912                             | 285.78    | 313.36                        | 21.25    | 23.3                          |
| 邢台 | 龙泉寺 | 743                             | 365.86    | 492.41                        | 4.46     | 6.0                           |
| 合计 |     | 6559                            | 2050      |                               | 73.78    |                               |
| 平均 |     |                                 |           | 470.84                        |          | 16.7                          |

流域内生活污染源主要为居民的生活用水排污,流域内现有人口 11.59 万,根据当地居民的生活习惯和生活条件,其排污系数按 30% 考虑,人均用

水量按 40 L/d, COD 产生量为 24 g/(人·d),悬浮物产生量为 35 g/(人·d)。经计算 2003 年流域内生活排污量为 50.78 万 t, COD 排放量为 304 t/a,悬浮物排放量为 445 t/a。

粪便中含的大量营养物是对该水域自然生态平衡及地面水水质的最大威胁。农业废水,除了农产品加工间接水污染外,作物种植和家禽饲养等农业生产活动,对水环境也产生重要影响。本流域内没有大规模养殖场,但分散在各户养殖的牲畜,对流域污染也是一个不可忽视的因素。

2.2 面污染输出量计算

面源污染是伴随着地表水文过程而发生的,具体表现为污染物质在降雨所产生的径流冲刷下最终达到受纳水体的过程,对降雨—径流—侵蚀—水污染负荷间的关系的探讨,是研究面源污染的基础工作。面源污染的输出与降雨径流的发生紧密相关,同时也受到众多因素的影响。

受气候条件影响,朱庄水库流域径流量的 60% 以上集中在汛期(6~9 月),暴雨洪水的产生使流域上的营养物质随地表水汇入水库,形成污染。在水库上游的路罗川,坡底水文站是小流域实验控制站,控制流域面积 283 km<sup>2</sup>,有较长系列的水质水量监测资料。采用坡底站实验资料,计算单位面积(每平方公里)污染物输出量,然后计算整个流域面污染量。

根据当地汛期降水量大且集中的特点,采用 1995~2004 年坡底小流域实验站资料,计算每年汛期(6~9 月)污染物输出量,和非汛期(1~5 月,10~12 月)污染物输出量,得到污染物质输入量,然后根据小流域面积,计算单位面积面污染负荷。计算公式如下:

$$W_d = \frac{\alpha(\rho_X Q_X t_1 + \rho_F Q_F t_2)}{A} \tag{1}$$

式中:W<sub>d</sub> 为实验站污染物单位面积输出量,t/(km<sup>2</sup>·a);ρ<sub>X</sub> 为汛期实验站水质监测值,mg/L;Q<sub>X</sub> 为实验站汛期平均流量,m<sup>3</sup>/s;ρ<sub>F</sub> 为非汛期实验站水质监测值,mg/L;Q<sub>F</sub> 为实验站非汛期平均流量,m<sup>3</sup>/s;t<sub>1</sub> 为汛期历时,s;t<sub>2</sub> 为非汛期历时,s;A 为实验站流域面积,km<sup>2</sup>;α 为单位换算系数。

朱庄水库流域控制面积 1 220 km<sup>2</sup>,流域内植被和土地利用情况基本相似,利用实验站单位面积污染负荷,分别计算整个流域的不同污染项目的污染总量,计算公式为:

$$W_z = W_d \cdot A_z \tag{2}$$

式中:W<sub>z</sub> 为流域某项污染物总输出量,t/a;W<sub>d</sub> 为某项污染物单位面积污染负荷,t/(km<sup>2</sup>·a);A<sub>z</sub> 为流域总面积,km<sup>2</sup>。

富营养化过程是自养性生物(浮游藻类)在水体中建立优势的过程。它包含着一系列生物、化学和物理变化的过程,与水体化学物理性状、水库的形态和底质等众多因素有关。国际经济合作与开发组织对水质富营养化的研究表明:N、P等营养物质的输入和富集是水体发生富营养化的最主要原因。根据对藻类化学成分的分析研究,提出了藻类的“经验分子式”为 $C_{106}H_{236}O_{110}N_{16}P$ ,利贝格最小值定律指出,植物生长取决于外界提供给它的所需养料中数量最小的一种。由此可见,在藻类分子式中所占的重量百分比最小的两种元素N和P,特别是P是控制水体藻类生长的主要因素。对于入库污染物计算,根据资料情况和水库现状污染状况,考虑TP、TN和高锰酸盐指数三项指标<sup>[2]</sup>。朱庄水库流域污染物输入量计算结果见表4。

通过对朱庄水库流域面污染计算,氮类污染物多年平均输入量为777.14t,该流域内工业企业氮类污染物排放量为5.65t,农业面污染氮类污染物占总量的99.3%。所以,农业面污染是该流域的主要污染源。高锰酸盐指数污染主要来自流域内居民生活污水的排放,占污染物总量的84.5%,遇到暴雨随地表径流汇入水库。

表4 朱庄水库流域不同污染物输入量计算结果

| 污染物名称             | 单位面积污染负荷/<br>( $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ) | 总输入量/<br>( $t \cdot a^{-1}$ ) |
|-------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
| TP                | 0.0016                                          | 1.95                          |
| TN                | 0.637                                           | 777.14                        |
| COD <sub>Mn</sub> | 0.295                                           | 359.90                        |

3 水库水体富营养评价

以透明度、高锰酸盐指数、TP、TN、Chla评价水库水体富营养化状态。评价采用百分制,首先根据监测点项目的实测平均值,对照评价标准,求得各单项的评分值,然后根据下式计算水体的总分值。

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \tag{3}$$

式中:M为水体富营养状态的评价值; $M_i$ 为第*i*项目的评分值;*n*为评价项目个数。

根据评价标准和评价方法,对朱庄水库水体富营养化状态进行评价。水库富营养化评分与分类方法参考《全国水资源综合评价技术细则》的标准<sup>[3]</sup>,见表5。

对富营养化评价,通常所使用的理化指标主要有营养物质浓度、藻类所含叶绿素、水体的透明度等。虽然判别标准很多,评价指标各有不同,但TP和TN营养物质浓度是最基本的两个指标。通过对

朱庄水库2003~2006年水库水体富营养化评价,富营养化程度为中营养状态。朱庄水库富营养化评价结果见表6。

表5 湖泊水库富营养化控制指标

| 营养程度 | 评分值 | $\rho(\text{Chla})$<br>( $mg \cdot m^{-3}$ ) | $\rho(\text{TP})$<br>( $mg \cdot m^{-3}$ ) | $\rho(\text{TN})$<br>( $mg \cdot m^{-3}$ ) | $\rho(\text{COD}_{Mn})$<br>( $mg \cdot L^{-1}$ ) | 透明度/<br>m |
|------|-----|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|
| 贫营养  | 10  | 0.5                                          | 1.0                                        | 20                                         | 0.15                                             | 10.0      |
|      | 20  | 1.0                                          | 4.0                                        | 50                                         | 0.4                                              | 5.0       |
| 中营养  | 30  | 2.0                                          | 10                                         | 100                                        | 1.0                                              | 3.0       |
|      | 40  | 4.0                                          | 25                                         | 300                                        | 2.0                                              | 1.5       |
|      | 50  | 10.0                                         | 50                                         | 500                                        | 4.0                                              | 1.0       |
| 富营养  | 60  | 26.0                                         | 100                                        | 1000                                       | 8.0                                              | 0.50      |
|      | 70  | 64.0                                         | 200                                        | 2000                                       | 10.0                                             | 0.40      |
|      | 80  | 160.0                                        | 600                                        | 6000                                       | 25.0                                             | 0.30      |
|      | 90  | 400.0                                        | 900                                        | 9000                                       | 40.0                                             | 0.20      |
|      | 100 | 1000.0                                       | 1300                                       | 16000                                      | 60.0                                             | 0.12      |

表6 朱庄水库富营养化评价结果

| 年份   | 透明度/<br>m | $\rho(\text{COD}_{Mn})$<br>( $mg \cdot L^{-1}$ ) | $\rho(\text{TP})$<br>( $mg \cdot L^{-1}$ ) | $\rho(\text{TN})$<br>( $mg \cdot L^{-1}$ ) | $\rho(\text{Chla})$<br>( $mg \cdot L^{-1}$ ) | 评价分<br>值 | 评价结果 |
|------|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|----------|------|
| 2003 | 1.50      | 1.9                                              | 0.01                                       | 4.41                                       | 1.36                                         | 32.6     | 中营养  |
| 2004 | 1.55      | 1.9                                              | 0.02                                       | 6.21                                       | 1.30                                         | 34.8     | 中营养  |
| 2005 | 1.40      | 2.2                                              | 0.02                                       | 4.98                                       | 1.40                                         | 34.8     | 中营养  |
| 2006 | 1.50      | 1.8                                              | 0.02                                       | 4.54                                       | 1.28                                         | 34.2     | 中营养  |

对于富营养化评价,TN和TP的负荷值,国际通用标准为,贫营养状态: $\rho(\text{TN}) < 0.2 \text{ mg/L}$ ; $\rho(\text{TP}) < 0.02 \text{ mg/L}$ 。富营养状态: $\rho(\text{TN}) > 0.2 \text{ mg/L}$ ; $\rho(\text{TP}) > 0.02 \text{ mg/L}$ 。水库水体中, $\rho(\text{TN}) < 0.2 \text{ mg/L}$ ,而 $\rho(\text{TP}) < 0.02 \text{ mg/L}$ 时,水体不会发生富营养。朱庄水库水体 $\rho(\text{TN})$ 任何时期都大于0.2 mg/L,而 $\rho(\text{TP})$ 一直小于或等于0.02 mg/L。

在研究N、P物质与水质富营养化过程中,N、P浓度的比值与藻类增殖有密切关系。日本湖泊科学家研究指出,当湖水的 $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 的比值在10:1~15:1的范围时,藻类生长与N、P浓度存在直线相关关系。随着研究的深入,确定出湖水的 $\rho(\text{TN})$ 和 $\rho(\text{TP})$ 的比值在12:1~13:1时最适宜于藻类增殖。若比值小于此值时,则藻类增殖可能受到影响。

通过对N、P比和N、P最低标准值约束条件分析,两个条件都制约了水质发生富营养状态。由分析结果可以看出,朱庄水库营养物质TN比较充足,富营养化程度依赖P的含量,朱庄水库属于P限制型水库,因此,该水库在N营养物质充足的条件下,一旦P营养物质增加,就会发生严重的富营养化,影响供水安全。防治水库富营养化的根本措施是控制水库流域内N、P营养物质的排入量。

## 4 面源污染控制技术

由于地理地貌、地质、土地利用等条件的差异,面源污染的负荷在空间上的分布也不尽相同,确定面源重点控制区,进行重点管理,对面源污染的控制非常重要。将土地规划与地表水水质管理相结合,根据不同的目标和要求对管理区域进行有层次的合并或分解,认识农业面源污染的空间分布规模,辨识和提取出农业面源管理的关键区,揭示农业面源在空间上的轻重缓急,从而制定出相应的对策。

根据农业面源污染的组成,其解决措施主要从两大方面入手:①减少源头污染量,即减少化肥、农药的施用量,合理科学处理养殖场畜禽粪便及有效控制其他有机或无机污染物质;②减少湖泊流域污水流入量,即减少地表径流和地下渗漏量,有效措施有减少农田排水、进行流域水土保持和其他生态治理。

面源污染不同于点源污染,对于点源污染,国家制定了污水排放标准,并实行总量控制,但对面源污染的控制,还没有行之有效的措施。因此,确立适合当地情况的面源污染控制技术与政策显得非常必要。

### 4.1 工程措施

控制非点源污染的主要工程设施包括沉沙池、渗滤池、集水设施和水处理设施等。

山坡水土保持工程的作用在于改变小地形,防治坡地水土流失,将雨水一部分拦蓄下渗,减少坡面径流,增加作物、林果等可利用的土壤水分。同时,将未能就地拦蓄的坡面径流引入小型蓄水工程集中使用。山坡水土保持工程主要有梯田、拦水沟埂、水平沟、水平阶、山坡截流沟等。沟道治理工程的作用在于防止沟头前进、沟床下切、沟岸扩张,减缓沟床纵坡,提高侵蚀基准面,调节洪峰流量,减小山洪或泥石流的固体物质的含量。沟道治理工程主要有沟头防护、谷坊、拦沙坝、沟道护岸等。为防止水土流失,在生态沟内因地制宜建设山坡水保工程和沟道治理工程。水库上游的邢台市前南峪村,通过对生态沟治理,流域土壤侵蚀模数降低到  $200 \text{ t}(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  以下,防洪拦沙效率达 86.00% 以上,林木覆盖率达 90.70%,植被覆盖度达到 94.60% 以上,流域生态环境得到彻底改善。

### 4.2 加快缓控肥的研究和推广

面源污染的控制是一个难题,其治理既需要具

体的工程措施,也需要采取综合的整治对策。面对日益突出的农业大规模施用化肥造成土壤和水等环境污染的问题,开发复合高效、缓释控释和环境友好的肥料将是我国化肥产业的必然选择。

2006 年 2 月颁布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》明确提出,重点研究开发环保型肥料。据介绍,采用长效缓释技术的复合肥料是近年来研制开发的一类新型绿色环保肥料,它能有效促进作物养分吸收,提高作物产量,实现农业增产增收。我国正在推广使用这样的新型绿色环保肥料。经过对比试验,新型环保肥料的肥效提高了 30%,小麦、玉米等大田作物产量提高 20% 以上,是今后化肥的发展方向。

### 4.3 推广农业实用新技术,减轻农业自身污染

推广平衡配套施肥技术,其内涵就是实行三个“平衡”,即有机肥与无机肥平衡施用,氮、磷、钾素平衡施用,大量元素与中微量元素平衡施用。针对现在的施肥状况:①要增加有机肥的投入,培肥土壤地力;②要控制和减少氮肥总量,协调氮磷钾施用比例,达到 1:0.45:0.35,增加施用硅肥、硼肥、锌肥等;③化肥品种上要淘汰易挥发流失品种,推广高浓度的复合肥及作物专用配方肥(BB肥),提高化肥利用率,达到 35%~40%。

朱庄水库流域主要分布在邢台县域的山区,结合邢台市生态农业建设,大力实施农田林网工程、以沼气为纽带的生物链生态养殖工程、农业废弃物综合利用工程、太阳能等可再生资源利用(包括日光温室)工程、农作物病虫草鼠害综合防治和生物防治工程、耕地质量建设和平衡配套施肥工程等生态农业建设工程,大力发展有机食品、绿色食品和无公害农产品,推广无公害标准化生产技术,按照优质、高产、高效、安全、生态和可持续发展的要求组织农业生产,加快打造绿色农业进程。

### 参考文献:

- [1] 乔光建,张均玲.朱庄水库水环境质量状况分析[J].水资源保护,2003(2):44-46.
- [2] 刘春广,乔光建.朱庄水库水体富营养化机理分析及治理对策[J].南水北调与水利科技,2003(5):44-46.
- [3] 刘建江.蘑菇湖水库水环境现状及保护对策[J].水资源保护,2005(3):19-21.

(收稿日期 2008-03-21 编辑 徐娟)