文章编号:1000 - 582X(2004)10 - 0138 - 04

三峡水库氮磷污染贡献率估算*

孙 阳,王里奥,袁 辉
(重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400030)

摘 要:氮磷是三峡库区水质的决定因素。在分析三峡水库中氮磷污染现状和特点的基础上,运用统计法、通量法和模型法估算了三峡水库氮磷污染物的上游来量和库区产生量,以及库区点源负荷、面源负荷,得出了库区氮磷污染主要来自库区上游和库区面源污染的结论。

关键词:三峡水库;氮磷;污染;估算
中图分类号:X3 **文献标识码**:A

1 三峡水库氮磷污染现状

1.1 水质概况

长江三峡库区干流目前总体水质(断面平均)基本良好,可满足国家地面水Ⅱ类标准,仅在部分城市江段部分水期水质有超标现象。三峡库区流域面积大于 100 km^2 的次级河流有 40 条,其中较大的有嘉陵江、乌江、小江、香溪河等。其中 15 条河流流经城镇。库区支流相对于干流而言,水质较差。支流中氨氮指标超过地表水标准 III 类的有 20 条,总磷指标超过地表水标准 III 类的有 23 条;如果按 V 类水标准评价,氨氮超标的有 4 条,总磷超标的有 16 条。在这严重超标的支流中,基本上均为流经城镇的河流,而且特别是在枯水期。显然,三峡库区水体污染以有机污染为主,主要污染指标有 COD_{Cr}、悬浮物、总磷、总氮。

1.2 水库氮磷特性

氮、磷污染对水库水质是决定性因素,故备受关注。三峡水库总磷、总氮浓度变化有 3 个特点:一是各断面的总磷年平均浓度值基本接近,总磷浑样值约为 0.3 mg/L,清样约 0.1 mg/L;各断面总氮年平均浓度基本保持一水平线上;二是总磷、总氮的浓度变化与水期有关,其高浓度均发生在长江丰水期;三是总磷浓度(浑样)与泥沙悬浮物浓度变化有密切关系,在含沙量大的汛期,总磷浓度(浑样)非常高,超过了地表水 V 类标准。

2 三峡水库氮磷贡献率估算

三峡水库氮磷污染负荷量的估算方法有 3 种:污染源统计法、通量计算法和模型计算法。

2.1 统计方法

统计方法包括点污染源统计和面源统计。点源统计可通过对点源监测获得数据,面源统计相对较复杂。

面污染源主要包括农田地表径流污染源和城镇地表径流污染源。农田地表径流污染源主要指农田耕作中施用的化肥和农药通过径流、淋溶、农田排水等途径进入水体的污染源;城镇地表径流污染源是指城镇生活垃圾、车辆轮胎磨损、建筑施工等人为活动受暴雨作用引起城市地表径流的污染源。农田地表径流主要与降雨量有很大关系,国内外研究表明,若雨强小于 12.7 mm/h时,一般不会产生径流负荷,若大于此值时,则会产生径流污染负荷[1]。三峡库区由于山高坡陡,产生径流的最小雨强为 10 mm/h 以上。因此,根据库区降雨特性,农田地表径流污染只有在丰水期(5 ~9 月)内存在,在其它时间由于雨强小,不足以形成径流。根据这个规律,将支流河口处的丰、枯 2 个水期的负荷相减,即把枯水期的负荷作为点源和河流背景负荷,把丰水期河流增加的负荷作为降雨形成的农田地表径流污染负荷的方法估算农田地表径流污染。

城镇地表径流污染负荷计算采用美国佛罗里达大学 Heaney 在 1977 年提出的城市地表径流年均污染负

* 收稿日期:2004 - 05 - 22
作者简介:孙阳(1973 -),女,重庆大足人,重庆大学博士研究生,主要从事库区环境管理和国土资源管理的研究。

荷计算方法，该方法充分考虑了与降雨径流污染密切相关的降雨、人类活动、土壤利用、街道清扫情况及街道地表物的累积统计成分等因素，具有较高的科学性[2]。重庆市环境科学研究院采用了上述2 方法对城镇地表径流和农田地表径流进行了估算，三峡库区的面污染源中总氮负荷值为 12.2 万 t/a，总磷负荷值为 0.66 万 t/a，而且面污染源中来自于农田径流污染占总面污染源量的 98% 以上。

笔者除以重庆环科院估算的农田径流污染作为农业面污染源的统计依据外，还根据农田径流污染的来源主要是农田化肥的过量施用，造成农田化肥的损失率，得出农业面污染源的量，进行结果比较。分析表明，总磷负荷计算值比较接近，总氮负荷相差稍大些，这是因为按农田径流方法统计中含有点源影响的那部分污染物所致。这 2 种农业面源的统计方法均能反映面源污染的量级。

2.2　通量方法

该方法是利用三峡库区江段长系列的水文、水质资料，将库区考虑为一整体，按入库、出库的通量对氮磷物质进行估算。计算公式如下：

某一断面的物质通量公式

$$W_i = C_i \times Q_i \tag{1}$$

式中：W_i——i 断面污染物质的通量，g/s；C_i——i 断面的浓度，mg/L；Q_i——上游断面平均流量，m^3/s。

某一江段的物质通量公式

$$\Delta W = (C_j \times Q_j) - (C_i \times Q_i) \tag{2}$$

式中：ΔW——江段污染物质的通量，g/s；C_i、C_j——分别为上、下游断面浓度，mg/L；Q_i、Q_j——分别为上、下游断面平均流量，m^3/s。

2.3　模型方法

该法运用河流水质模型进行估算，即对库区干支流及主要支流出口段的枯水期及丰水期水质分别进行模拟，计算库区各江段氮磷浓度变化情况。用枯水期的入库污染负荷值作为点源的贡献值，而丰水期与枯水期的入库污染负荷值之差，作为面源的贡献值。

一维河流水质模型的基本方程为[3]：

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial\left(A_c D_L \frac{\partial c}{\partial t}\right)}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_c \overline{U}_x c)}{A_x \partial x} + \frac{dc}{dt} + \frac{S}{V} \tag{3}$$

式中：c—污染物浓度，mg/L；x—河流的纵向坐标，m；t—时间，s；A_x—河流的过水面积，m^2；D_L—河流的纵向离散系数，m^2/s；$\overline{U}_x$—河流的纵向断面平均流速，m/s；S—外部源与汇，g/s；V—计算单元体积，m^3。

方式(3)是采用有限差分方法求解的。首先将式(3)化为有限差分形式，并将差分方程系数重新整理后，得一线性联立方程组，写成矩阵形式用追赶法求解。

3　估算结果

3.1　统计法估算结果

3.1.1　点源负荷量

以 2002 年三峡库区工业污染源、生活污染源的现状值作为点污染源负荷量统计结果，库区污染源主要分布在重庆主城区、涪陵区和万州区，3 个区工业污染源个数占总数的 75%。

三峡库区工业废水排放总量为 2.80×10^8 t/a，其中重庆主城区、长寿县、涪陵区和万州区的废水排放量均大于 1.0×10^7 t/a。这 4 个地区的废水排放量总和为 2.65×10^8 t/a，占废水排放总量的 94.8%。重庆市主城区工业废水排放量排放最大，为 1.78×10^8 t/a，占排放总量的 63.73%；涪陵区排放 4.28×10^7 t/a，占排放总量的 15.26%；长寿县排放 3.38×10^7 t/a，占排放总量的 12.05%；其余 9 个区县排放为 2.51×10^7 t/a，占排放总量的 8.96%[4-6]。

库区废水氨氮和总磷排放量分别为 1 674 t/a 和 94.5 t/a。氨氮的主要排放区域为重庆、涪陵、万州，三个城市的排放量分别占总排放量的 45.20%、28.05% 和 1.86%。城市生活污水中总氮年排放量 1.68×10^4 t，总磷年排放量为 2 295.85 t。

3.1.2　面污染源负荷量

根据上述统计方法对城镇地表径流和农田地表径流进行了估算，三峡库区的面污染源中总氮负荷值为 12.2 万 t/a，总磷负荷值为 0.66 万 t/a，而且面污染源中来自于农田径流污染占总面污染源量的 98% 以上。

由此可见，三峡库区氮磷污染负荷主要来源于点污染源和面污染源(见表 1)。其中，点源污染主要来源于工业废水和生活污水，面污染源主要来源于农田地表径流和降水形成的城市地表径流等。这些污染源产生的大量废污水，对库区水质造成了严重影响。三峡库区由点源产生的污染负荷总氮为 1.7 万 t/a，总磷为 0.24 t/a；由面源产生的污染负荷总氮为 12.2 万 t/a，总磷为 0.66 t/a。

在各项污染物中，面源污染负荷占总负荷 80% 左右。由此表明，三峡库区的面源污染负荷大于点源污染负荷，面源污染的影响是不容忽视的。

表 1 库区氮磷污染负荷调查统计结果表 t/a

污染物	点源			面源			总计
	工业污染源	生活污染源	小计	农业地表径流	城镇地表径流	小计	
T-N	-	16 808	16 808	121 549	587	122 136	138 944
T-P	94.5	2 296	2 390	6 502	79	6 581	8 971

3.2 通量计算结果

根据资料收集与实际情况,选定重庆寸滩断面和宜昌黄陵庙断面作为通量计算的入库和出库控制断面,选定 1997 ~ 1999 年各月水量与水质的同期监测资料作为通量计算基础值。

根据所选定的入、出库断面月均流量及水质指标的断面月均值,利用通量公式,分别计算了 1998 年和 1999 年,月平均流量条件下,库区典型断面总氮、总磷负荷值。计算出三峡库区氮磷负荷的年输入量和库区产生量统计见表 2。

从以上 2 年的计算结果可知,三峡库区总氮的年输入量约 63 万 t/a,总磷的年输入量约为 19 万 t/a;在库区段的产生量总氮约为 43 万 t/a,总磷约为 3 万 t/a 左右。

表 2 库区氮磷负荷年输入量和库区产生量统计表 t

统计值	上游来量		库区产生量	
年 份	总氮	总磷	总氮	总磷
1998	726 774	211 942	474 368	28 232
1999	525 991	165 136	388 408	39 318
平均	626 383	188 539	431 388	33 775

3.3 模型计算结果

将整个三峡库区干流从上游入口控制断面江津至三峡坝址,主要支流为嘉陵江、乌江、小江、大宁河、香溪河等 5 条支流出口段作为模型计算域。并根据模型计算要求和河道水文特性,将整个计算域范围划分为 56 个计算河段和 315 个计算单元,每个计算单元长度为 3 km。

根据资料收集情况,进行长江干支流丰水期、枯水期 2 个不同水期的水质模拟,由此确定点源、面源的入江负荷。计算流量分别取 1998 年 3 月份平均流量代表枯水期设计流量,1998 年 8 月份平均流量代表丰水期设计流量,计算因子确定为 COD_{Mn}、总氮、总磷。

根据计算输入条件,进行长江干支流丰、枯方案的组合计算,共计算 2 组数据。计算结果比较见表 3。

表 3 一维计算结果统计表 mg/L

地 区	丰水期				枯水期			
	废水排放量/m^3/s	COD_{Mn}	总氮	总磷	废水排放量/m^3/s	COD_{Mn}	总氮	总磷
重庆主城区	16.92	7 317.11	6 120.90	843.58	12.92	3 490.21	2 340.50	202.81
长寿县	1.05	374.93	292.25	43.12	1.05	164.52	122.25	11.57
涪陵区	6.11	4 271.02	470.03	32.20	3.11	3 505.63	239.70	11.65
万州区	7.49	5 213.15	1 932.30	304.64	4.49	4 102.95	1 287.45	42.07
小 江	0.43	390.60	336.70	3.52	0.43	223.90	86.70	1.05
奉节县	1.31	320.08	61.30	20.06	0.31	173.88	38.00	3.79
巴东县	1.38	1 031.53	32.05	15.06	0.38	281.33	15.55	2.70
秭归县	1.67	721.70	210.00	21.21	0.67	341.70	110.70	11.21
合 计	36.36	19 640.12	9 455.50	1 283.40	23.36	12 284.12	4 240.85	286.85

可见,长江干支流丰、枯水期的入江污染负荷是不相同的,丰水期的负荷值比枯水期大,也说明丰水期的负荷除由点源产生外,还有一部分是由非点源产生的。三峡库区氮磷负荷的年输入量和库区产生量的统计计算结果见表 4。

表 4 三峡库区年输入量及产生量统计表 t

污染物	上游输入量	库区产生量
总 氮	568 840	260 490
总 磷	111 160	24 234

对于库区产生量中,由于枯水期降水少,形成的地表径流少,可粗略认为枯水期的产生量主要是点源产生的。因此,面源就可根据丰、枯水期两个水期的负荷相减,即把丰水期河流增加的负荷作为降雨形成的农田和城镇地表径流污染负荷。估算结果见表 5。

表 5 三峡库区点源和面源产生量统计表 t/a

污染物	点 源	面 源	面源/点源
总 氮	39 891	220 599	5.53
总 磷	7 200	17 220	2.40

4 贡献率分析

4.1 氮磷入库与库区贡献率比较

将以上 2 种方法的估算结果进行汇总,结果见

表 6。

表 6　三峡水库氮磷入库与库区贡献率比较　t/a

估算方法	上游入库输入量		库区产生量	
	总氮	总磷	总氮	总磷
通量法	626 383	188 539	431 388	33 775
模型法	568 840	111 160	260 490	24 234
平　均	597 612	149 850	345 939	29 005

由表(6)可见,两种方法所计算的氮磷负荷量级基本一致,总氮的入库输入量为 57 ~ 63 万 t/a,库区产生量为 26 ~ 43 万 t/a,总磷入库输入量为 11 ~ 19 万 t/a,库区产生量为 2.5 ~ 3.3 万 t/a。将上游入库量与库区产生量之比可得,上游入库总氮负荷占总负荷的 70% 左右,总磷占总负荷的 80% 左右。由此可见,库区上游氮磷负荷来量对库区影响很大。

4.2　库区氮磷点源与面源贡献率比较

库区氮磷点源与面源贡献率结果比较主要为模型计算与污染源统计值比较,结果见表 7。

表 7　库区氮磷点源与面源贡献率比较　t/a

污染物	统计方法			模型方法		
	点源	面源	比值	点源	面源	比值
总　磷	2 390	6 581	2.80	7 200	17 220	2.4
总　氮	16 808	122 136	7.27	39 891	220 599	5.5

说明:比值是指面源与点源之比

由表(7)可见,计算所得的库区面源与点源的比值与统计值的量级基本一致,总磷为 2.6 倍,总氮为 6.4 倍左右;面源的负荷值要比点源大得多,由计算所得的库区面源的产生量占库区总负荷的 85%,此比例与统计值 87% 基本接近。

综上所述,三峡水库总磷负荷贡献值的各种计算结果虽不能完全相同,但趋势大致相似。三峡库区来自于点源的磷贡献量在 2 000 ~ 7 000 t/a 之间,而来自于库区上游和农业面源的磷贡献量为 10 000 ~ 20 000 t/a 之间。上游入库的氮磷负荷占总负荷的 70% ~ 80%。库区内点源与面源负荷比约为 1 : 5 左右。库区点源影响仅占 10% ~ 30%。由此看来,三峡库区氮磷污染主要来源于库区上游和库区面源影响。

参考文献:

[1] 李清河. 土壤侵蚀与非点源污染预测控制[J]. 水土保持通报,1999,(2):123 - 126.

[2] 李怀思. 流域非点源污染模型的建立与应用实例[J]. 环境学报,1997,(5):123 - 126.

[3] 鲍全盛. 密云水库非点源污染负荷评价研究[J]. 水资源保护,1997,(8):55 - 60.

[4] 重庆环境监测中心. 污染源(工业和生活污染)监测重点站技术报告(1996 - 2001 年)[R]. 重庆:国务院三峡建委办公室,2002.

[5] 重庆环境监测中心. 污染带及城市水质监测站技术报告(1996 - 2001 年)[R]. 重庆:国务院三峡建委办公室,2002.

[6] 孙阳,王里奥,叶闽,等. 三峡蓄水后开县城区污水排放对小江水质的影响[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2004,27(5):115 - 118.

Estimation of the N and P Contributions to the Water Quality of the Three Gorges Reservoir

SUN Yang, WANG Li' ao, YUAN Hui

(College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The elements N and P are crucial to the water quality of Three Gorges Reservoir. After the present situation and characteristics of N and P pollutions analyzed and statistical method, flux method and modeling method adopted to estimate the quantity of N and P from upstream and reservoir area, the pollution loads of point and no-point pollution source, the conclusion that the main source of N and P pollutants are from both upstream of Reservoir and non-point pollution.

Key words: Three Gorges Reservoir; N & P; pollution; eEstimation

(编辑　姚　飞)