

三峡库区汉丰湖流域水环境容量实证研究

何家军¹, 樊连生², 张慧³ (1. 武汉工程大学管理学院, 湖北武汉 430205; 2. 长江工程监理咨询有限公司, 湖北武汉 430072; 3. 武汉大学化学与环境工程学院, 湖北武汉 430205)

摘要 采用二维水质模型对三峡库区汉丰湖流域流量、水位、污染源排放、水动力和水质进行模拟, 依据国家标准和规范计算了2017年的三峡库区汉丰湖流域水环境容量。结果表明, 三峡库区汉丰湖流域 COD、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)的水环境容量分别为 30 596.93、2 795.97、2 882.35、144.12 t/a。目前三峡库区汉丰湖流域水体的 COD、TN、TP 已经达到水环境容量限值, 属于饱和运行状态; NH₃-N 污染负荷已基本接近维持现有水质功能下的水环境容量阈值。

关键词 水环境容量; 污染负荷; 二维模型; 汉丰湖流域

中图分类号 X26 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)01-0062-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.01.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Empirical Study on Water Environmental Capacity of Hanfeng Lake Basin in Three Gorges Reservoir Region

HE Jia-jun¹, FAN Lian-sheng², ZHANG Hui³ (1. School of Management, Wuhan University of Engineering, Wuhan, Hubei 430205; 2. Yangtze River Engineering Supervision Consulting Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430072; 3. School of Chemistry and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei 430205)

Abstract A two-dimensional water quality model was used to simulate the discharge, water level, pollutant discharge, hydrodynamics and water quality of Hanfeng Lake Basin in the Three Gorges Reservoir Region. The water environmental capacity of Hanfeng Lake Basin in Three Gorges Reservoir Region in 2017 was calculated according to the national standards and standards. The results showed that the water environmental capacity of COD, NH₃-N, TN and TP in the Hanfeng Lake Basin of Three Gorges Reservoir Region were 30 596.93 t/a, 2 795.97 t/a, 2 882.35 t/a and 144.12 t/a, respectively. At present, the COD, TN and TP of Hanfeng Lake Basin in Three Gorges Reservoir Region were close to the water environmental capacity, which belongs to the saturated operation state; the NH₃-N pollution load had basically approached the water environmental capacity threshold under the existing water quality function.

Key words Water environmental capacity; Pollution load; Two-dimensional model; Hanfeng Lake Basin

环境容量是环境目标管理的基本依据, 是环境规划的主要环境约束条件^[1]。研究水环境容量可以为水环境规划与管理提供技术支持, 对于水域污染物排放的总量控制, 保护和改善目前的水生态环境具有重要现实意义。水环境容量是指在满足水环境质量标准的前提下, 水体最大允许污染负荷量, 又称水体的纳污能力^[2-3], 反映了污染物在环境中的迁移、转化和赋存规律, 也反映了水环境在满足特定功能条件下对污染物的承受能力^[4], 其容量大小与水体特征、水质目标及污染物特性有关。水环境容量计算方法主要以水动力学水质模型为主^[5], 通常首先设定目标水质和一定保证率下的设计流量, 再建立一维或二维的水环境容量模型, 并在模型参数的率定基础上进行估算; 也有研究通过随机规划、概率模型和未确知数学法等方法探讨水环境容量计算^[6-7]。

三峡库区作为长江上游生态涵养区^[8], 库区重要支流的水资源保护和水环境治理直接关系到整个长江流域水安全和生态安全^[9], 对长江流域经济社会的可持续发展具有重要意义。汉丰湖是三峡库区内最大的库中湖, 同时也是生态环境问题集中反映区域^[10]。研究三峡库区汉丰湖流域水环境容量对长江流域社会经济发展具有重要意义。该研究根据2017年环境监测数据, 采用二维水环境容量模型对三峡库区汉丰湖流域的 COD、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、总氮(TN)的

水环境容量进行计算, 以期为该流域的水资源管理、水污染防治和总量控制规划提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 汉丰湖流域位于小江乌杨桥水位调节坝以上, 包括东河、南河 2 条河流。东起乌杨桥水位调节坝, 西南至开州区县境巫山镇; 北到东河源头白泉乡。流域位于 107°55'48"~108°53'00"E、30°52'31"~31°30'00"N, 涉及云枫街道、汉丰街道、文峰街道、镇东街道、丰乐街道、白鹤街道、大德乡、临江镇、竹溪镇、镇安镇、九龙山镇、郭家镇、温泉镇、和谦镇、谭家镇、关面乡、白泉乡、河堰镇、大进镇、满月乡、铁桥镇、巫山镇、中和镇、三汇口乡、义和镇、南雅镇、麻柳乡、敦好镇、天和镇、高桥镇、紫水乡, 共 31 个乡镇街道办。总面积 2 534.70 km²、人口数 97.93 万人。汉丰湖流域行政区划及水系见图 1。

1.2 研究方法

1.2.1 因子选择。 根据汉丰湖流域水污染现状调查和污染物特征分析, 选择影响汉丰湖水环境的最为敏感的指标因子 COD、NH₃-N、TN、TP。

1.2.2 模型选择。 污染物进入水体后, 在一定范围内经过平流输移、纵向离散和横向混合后达到充分混合^[11], 相对于污染物浓度仅在纵向上发生变化的一维模型, 当水中污染物浓度仅在一个方向是均匀的, 而在其余 2 个方向变化的条件下, 一维水质模型不再适用, 这时排入水中的污染物的分布用二维水质模型来计算^[12]。

二维水质模型通常假定污染物浓度在水深方向是均匀的, 而在纵向和横向上是变化的。二维水质模型的控制偏

基金项目 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJC840013, 15YJC840046); 武汉工程大学校内科学研究基金项目(K201818)。

作者简介 何家军(1981—), 男, 湖北石首人, 高级工程师, 博士, 从事经济技术与管理工作。

收稿日期 2019-07-09

严,计算量大,但是较之零维、一维水质模型,计算结果更为精确。因此,在汉丰湖水环境容量计算时,考虑到汉丰湖的

实际污染分布状况,同时为了保证计算的精确性,采用了二维水质模型。基本方程组为:

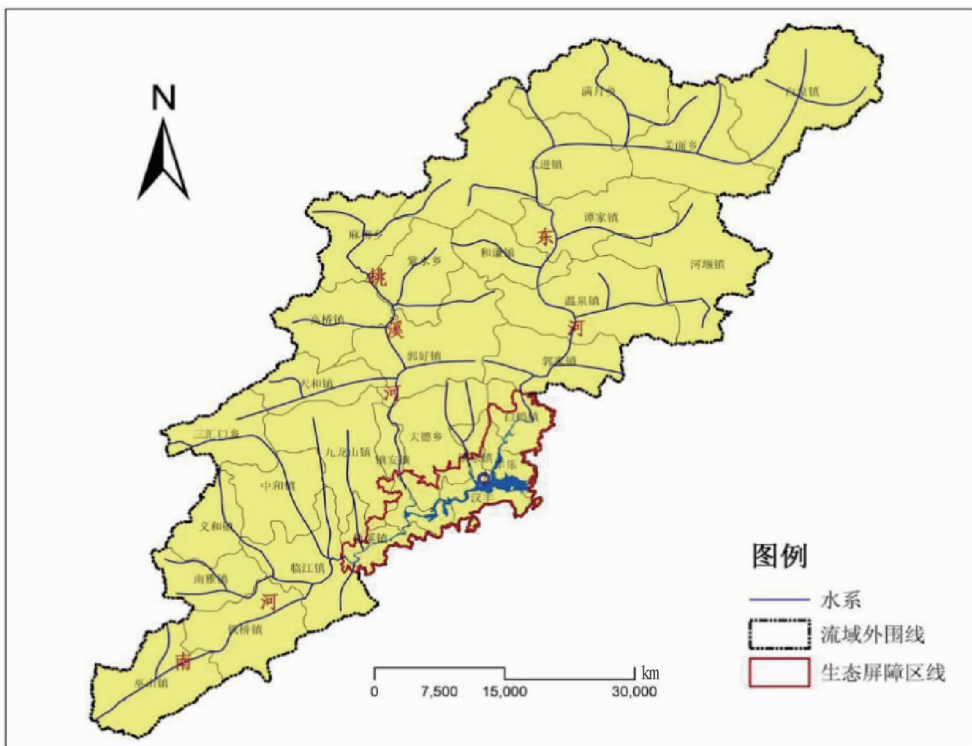


图 1 汉丰湖流域行政区划及水系

Fig. 1 Administrative divisions and water systems in Hanfeng Lake Basin

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} = S_{fx} + fv \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} = S_{fy} + fu \quad (3)$$

式中, Z 为水位(m); h 为水深(m), $h=Z-Z_B$; Z_B 为湖底高程(m); u 为 x 方向分速度(m/s); v 为 y 方向分速度(m/s); q 为湖面降雨、蒸发及湖底渗漏等水量源汇项(m/s); f 为柯氏加速度, $f=2\omega \sin \varphi$, φ 为纬度, ω 为地球自转速度(ad/s); S_{fx} 、 S_{fy} 分别为 x 方向和 y 方向的切应力,有床面阻力和水面风切应力两部分组成。

水质计算方程如下:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(hUC)}{\partial x} + \frac{\partial(hVC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (hE_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (hE_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{hS}{86400} + S_w \quad (4)$$

式中, h 为水深(m); C 为某种水质指标的浓度(mg/L); U 为 x 向沿垂向的平均流速(m/s); V 为 y 方向沿垂向的平均流速(m/s); t 为时间(s); E_x 为 x 方向扩散系数(m^2/s); E_y 为 y 方向扩散系数(m^2/s); S 为某种水质指标的生化反应项, $g/(m^3 \cdot d)$; S_w 为某种水质指标的外部源汇项(g/s)。

1.2.3 模型概化。根据汉丰湖流域长系列水文统计资料和风况资料,确定汉丰湖流域设计水文条件和设计风况,利用二维风生湖流数学模型,模拟太湖设计流场分布,作为汉丰

湖纳污能力计算的设计水力条件^[13]。采用模型概化湖泊型水(环境)功能区纳污能力计算采用湖(库)均匀混合模型,COD、 NH_3-N 采用计算公式如下:

$$W = Q_0 \times (C_s - C_0) \times 0.0864 + K \times V \times C_s \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中, W 为水环境功能区纳污能力(t/d); Q_0 为入湖(库)流量(m^3/s); C_s 为水质目标浓度(mg/L); C_0 为入湖(库)污染物浓度(mg/L); K 为污染物综合降解系数(d^{-1}); V 为湖(库)容积(m^3)。

对于较难降解的TN和TP,采用Dillon模型。依据物质平衡原理,考虑TN、TP负荷、滞留系数、湖水替换率、水库平均深度等因素在稳定条件下与水库中磷浓度关系,其计算方程可以概化为:

$$W_s = \frac{C_s \times \rho_w \times Z \times A}{1-R} \quad (6)$$

式中, W_s 为湖泊水体中氮、磷的环境容量(g/a); C_s 为湖泊水体中氮、磷的允许浓度(mg/L); Z 为湖泊水体平均水深(m); ρ_w 为水力冲刷系数(a^{-1}); A 为湖泊面积(m^2); R 为滞留系数。

1.2.4 参数率定。根据《GB/T 25173—2010 水域纳污能力计算规程》,通过资料收集情况及现场调查情况分析,采用汉丰湖入湖近30年月均流量($33.4 m^3/s$)为设计水文条件。根据水功能区区划,确定各计算单元COD、 NH_3-N 、TP、TN目标浓度值 C_s ,根据地表水环境质量标准(GB 3838—2002)Ⅲ类水水质标准。 C_0 根据汉丰2017—2018年湖乌杨大坝、巫

山乡、津关、赵家大桥4个监测断面污染物监测的平均值确定。降解系数,通过类比国内外部分河流降解系数的研究成果,以此来确定汉丰湖流域COD、NH₃-N、TP和TN的降解系数。

2 结果与分析

2.1 水环境容量 根据水环境计算模型,该研究选择影响汉丰湖水环境的最为敏感的指标因子COD、NH₃-N、TN、TP估算其环境容量。计算结果显示,三峡库区汉丰湖流域COD、NH₃-N、TN、TP的水环境容量分别为30 596.93、2 795.97、2 882.35、144.12 t/a。根据相关规划设计报告,三峡库区汉丰湖流域COD、TN、TP污染源入河量分别为41 743.15、3 710.16、344.48 t/a。模型计算结果表明,目前三峡库区汉丰湖流域水体的COD、TN、TP已达到水环境容量限值,属于饱和运行状态。NH₃-N的水环境容量为2 795.97 t/a,除去调查已知的污染源入河量1 880.58 t/a,目前最大允许排放量仅为915.39 t/a。但就NH₃-N的水环境容量而言,目前三峡库区汉丰湖流域NH₃-N污染负荷已接近维持现有水质功能下的水环境容量阈值,如不能及时对NH₃-N污染排放源进行控制和削减,则三峡库区汉丰湖流域水体也极易发生NH₃-N水环境容量超负荷现象。

2.2 水环境容量主要影响因素 影响水环境容量的主要因素有设计水文条件和上游来水水质等,设计水文条件变化对水环境容量计算结果产生显著影响,而设计水文条件变化可能与气候变化和人类活动干扰这2个因素有关。上游来水水质与上游汇水区生态系统特征和人为污染源有关^[5]。就汉丰湖流域水环境现状来讲,人为污染源是影响水环境容量的主要因素。根据开州区相关规划报告,COD、NH₃-N、TN、TP产生量最大的是城集镇生活污水污染,分别约占汉丰湖流域污染总产生量的32.83%、68.31%、51.94%和43.51%;其次还有城集镇生活垃圾污染、库底污染物质释放、工业污水污染、规模化畜禽养殖等。

三峡库区汉丰湖流域水质改善的重中之重是在汉丰湖流域进行污染排放源控制和削减,尤其是COD、TN、TP,通过对流域系统的污染物削减,使污染物总量控制在该流域环境容量范围内,以便达到水质改善的效果,保障三峡库区汉丰湖流域水域水质功能的正常发挥。同时需要注意的是,尽管

模型计算得出三峡库区汉丰湖流域COD、TN、TP、NH₃-N的水环境容量,但由于模型计算结果具有一定的不确定性,而且汉丰湖流域污染负荷也会有一定程度的增加,未来对汉丰湖流域的污染排放源进行严格的控制和削减,防止再次出现超负荷现象。

3 结论

汉丰湖流域COD、NH₃-N、TN、TP的水环境容量分别为30 596.93、2 795.97、2 882.35、144.12 t/a,其污染负荷已经达到水环境容量限值,NH₃-N的实际剩余有效水环境容量已基本接近负荷阈值,存在一定水环境安全风险。对汉丰湖流域水环境容量影响较大的因素主要有城集镇生活污水污染,其次还有城集镇生活垃圾污染、库底污染物质释放、工业污水污染、规模化畜禽养殖等。由于模型计算结果具有一定的不确定性,流域水环境容量管理与规划中还应充分结合目前主要污染物实际情况综合考虑。

参考文献

- [1] 张强,刘巍,杨霞,等.汉江中下游流域污染负荷及水环境容量研究[J].人民长江,2019,50(2):79-82.
- [2] 鲍琨,逢勇,孙瀚.基于控制断面水质达标的水环境容量计算方法研究:以殷村港为例[J].资源科学,2011,33(2):249-252.
- [3] 张永良.水环境容量基本概念的发展[J].环境科学研究,1992,5(3):59-61.
- [4] 姜佳丽.丘陵城市分散式污水处理系统布局研究[D].长沙:湖南大学,2015.
- [5] 肖尧,谭志卫,王俊松,等.南北河水环境容量研究[J].环境科学导刊,2018,37(6):10-12.
- [6] 靳甜甜,卢敏,刘国华,等.拉萨河干流城市段水环境容量[J].生态学报,2018,38(24):8955-8963.
- [7] 陆静芳.辽河盘锦段水环境容量总量控制[D].沈阳:沈阳理工大学,2015.
- [8] 董伟,舒俭民.长江上游水源涵养区生态安全评价研究[C]//中国环境科学学会.2010中国环境科学学会学术年会论文集(第一卷).北京:中国环境科学出版社,2010.
- [9] 张明举,周海军.长江流域的生态安全与对策研究[J].经济地理,2004,24(5):585-587.
- [10] 黄祺,何丙辉,赵秀兰,等.三峡库区汉丰湖水质的时空变化特征分析[J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(3):136-142.
- [11] 槐文信,梁爱国,杨中华.非对称复式断面渠中污染物混合输移的数值模拟(II)——二次流对异质扩散的影响[J].应用基础与工程科学学报,2007,15(4):445-449.
- [12] 袁利敏.拉萨市区地表水环境容量计算与分析[D].成都:四川大学,2004.
- [13] 马巍,禹雪中,翟淑华,等.太湖限制排污总量及其管理应用研究[J].科技导报,2008,26(18):49-53.
- [14] 康志雄,陈友吾,吕爱华,等.浙江省杨梅种质资源现状及优株选择研究[C]//浙江省第二届林业科技周科技与林业产业论文集.杭州:浙江省林学会,2005.
- [15] 蒋建华,戚小洪,蔡健华.洞庭山杨梅大果品种的引种选育与改良[J].福建果树,1998(2):31-32.
- [16] 梁森苗,郑锡良,陈新炉,等.早熟杨梅新品种——‘早佳’的选育[J].果树学报,2016,33(2):249-253.
- [17] 林旗华,张泽煌,钟秋珍.3个福建主栽地方杨梅品种果实香气成分分析[J].热带作物学报,2015,36(1):115-119.
- [18] 王涛,谢小波,戚行江,等.乌梅类杨梅大果型新品种“黑晶”的选育[J].中国南方果树,2008,37(1):29-30.
- [19] 缪松林,张跃建,梁森苗,等.杨梅优良新品种——早色[J].中国果树,1995(4):3-4.
- [20] 梁森苗,孙伟琴,宋文君,等.大果优质中熟杨梅新品种‘深红种杨梅’[J].果农之友,2006(8):11.
- [21] 许梅仙,芦奇娟,李三玉.杨梅早熟优良品种——临海早大梅[J].中国果树,1993(2):24,8.
- [22] 左登良,徐浩,程贵发,林银顺.浮梁县杨梅品种栽培性状浅析[J].现代园艺,2017(5):42-43.
- [23] 钟光鑫.杨梅引种观察及施肥方式改善品质技术研究[D].北京:中国农业科学院,2014.

(上接第56页)

参考文献