

Study on Water Environmental Capacity of TN and TP in the Dutang Reservoir

CHENG Qihong, PAN Wenbin*

College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou, China

Email: WenbinPan@fzu.edu.cn

Abstract: By the support of RUSEL model, the load of TN and TP from non-point pollution in the Dutang Reservoir Watershed were estimated firstly in this paper. Secondly, we integrated the hydrology and water quality data into the research for establishing Kirchner-Dillon model of Dutang Reservoir. Finally, with the help of Kirchner-Dillon model, we estimated the environmental capacity of TN and TP in the Dutang Reservoir, and analyzed the two nutrient factors' residual environmental capacity. The research indicated that the load of TN and TP into Dutang Reservoir had exceeded their allowable environmental capacity, in order to improve the water quality, some countermeasures must be taken to control the nutrients into the reservoir. Based on the eutrofication status of the reservoir, the issue provided scientific and rational measures to improve water quality.

Keywords: the Dutang Reservoir; water environmental capacity; RUSEL model

杜塘水库总氮、总磷环境容量分析

程秋红, 潘文斌*

福州大学环境与资源学院, 福州, 中国, 350108

Email: WenbinPan@fzu.edu.cn

摘要: 本文首先运用 RUSLE 模型, 估算出云霄县饮用水源杜塘水库流域非点源产生的总氮、总磷负荷, 然后结合研究区域的水文与水质监测资料, 建立水库的吉柯奈尔-狄龙模型。最后通过该水质模型对杜塘水库总氮、总磷环境容量进行估算并分析水库的剩余环境容量。研究表明, 杜塘水库的总氮、总磷负荷已经超出水库的环境容量, 要改善水库水质, 必须控制总氮、总磷的入库负荷量。论文最后针对水库现状提出科学合理的水质保护措施。

关键词: 杜塘水库; 水环境容量; RUSEL 模型

随着经济的发展和用水量的迅速增加, 水资源的保护也越发迫切。水环境容量是以环境目标和水体稀释自净规律为依据, 在水环境功能不受损害的情况下, 水体所能容纳的污染物质或自身调节净化并保持生态平衡的能力。对水库的污染负荷以及水库环境容量的计算分析, 可以为水库水质保护措施的实施提供科学合理的依据。

1 水库流域概况

杜塘水库建成于 1958 年, 是一座以灌溉为主结合发电、供水等综合利用的中型水库; 其位于漳州市云

霄县境莆美乡马山村, 东经 $117^{\circ}18' \sim 117^{\circ}19'$, 北纬 $23^{\circ}53'$, 属漳江支流白银溪。该水库自身集水面积 25 平方公里, 同时还从其他流域通过干渠引水, 水库总库容 1621 万立方米, 正常库容 1500 万立方米, 灌溉面积 3.57 万亩。

2 研究区域非点源负荷估算

非点源污染负荷的计算方法有直接测定法和模拟算法两类。在进行非点源污染的量化研究、影响评价研究和污染治理时, 最为有效和直接的方法是建立模型, 进行时间和空间序列上的模拟。考虑到工作条件和工作时间的限制, 本研究拟采用“3S”技术支撑下的流域非点源污染模型, 模拟计算地表径流产生的氮、磷的污染负荷。

基金项目: 福建省环境监测站合作项目

作者简介: 程秋红 (1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事区域与流域环境规划与管理研究; *通讯作者, 副教授, 硕士生导师。

本研究选用目前应用最广、适用范围最大的RUSLE模型(Revised Universal Soil Loss Equation),对研究区域的土壤侵蚀量进行定量计算。然后结合泥沙输移SDR,计算出土壤的流失量,再乘以土壤的氮、磷含量即可估算出杜塘水库流域的非点源负荷量。

2.1 研究区域土壤侵蚀量估算

通用土壤流失方程USLE^[1]是由W.H.Wischmeier和D.D.Smith于1958年提出。RUSLE模型,即对通用土壤流失方程USLE模型的修正后得到的,是目前全球土壤侵蚀研究中运用最为广泛的一个模型。RUSLE模型的表达式为:

$$A=f \times R \times LS \times K \times C \times P \quad (1)$$

式1中, A 为年土壤侵蚀量($t/km^2/a$); f 为单位换算系数,为使 A 的单位(因 R 、 K 使用美习用单位)转换为 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 的常数, f 的值为 224.2^[2]; R 为降雨和径流因子; K 为土壤可蚀性因子; L 和 S 分别为坡长、坡度因子; C 为植被与经营管理因子; P 为水土保持措施因子(其中 L 、 S 、 C 、 P 为无量纲因子)。以上参数根据参考文献^[3]提及的方法计算得到。

2.2 研究区域土壤流失量估算

RUSLE 是小区域尺度的模型,由上述 RUSLE 模型计算出来的是土壤侵蚀量,并没有考虑到径流的输移能力问题。事实上,土壤颗粒被分离以后,只有一部分被地表径流带入沟道系统,另一部分在搬运过程中沉积下来,因此 RUSLE 不能直接用来估算被搬运到下游地区的土壤侵蚀量,在计算流域土壤流失量时,必须考虑坡面侵蚀的泥沙输移比(SDR)。本次 SDR 计算采用 Vanoni^[4](1975)提出的计算方法。

2.3 研究区域总氮、总磷流失量估算

土壤流失产生的总氮、总磷流失量的计算采用固态污染物负荷方程:

$$L_s = M_i \times CON_i \times 1000 \quad (2)$$

式2中, L_s 为固态污染物负荷量(kg/a); M_i 为某一土地利用类型的土壤流失量(t/a); CON_i 为某一土地利用类型土壤中总氮、总磷的含量(%). 土壤中的总氮含量采用半微量凯氏法测定,总磷含量采用钼锑抗比色法测定。流域2008年以及多年平均的总氮、总磷流失量如表1所示。

Table 1. 2008 and annual lost of TN and TP in study area

表1. 研究区域2008年以及多年平均的总氮、总磷流失量

年份	总氮流失量 (kg/a)	总磷流失量 (kg/a)
2008 年	10033.389	1987.27
多年平均	10540.537	2087.719

3 水库总氮、总磷环境容量估算

3.1 水库水质模型的建立

本研究考虑杜塘水库作为蓄水型水源地的特点、实际工作的需求以及具备的工作条件,根据计算得到的非点源负荷量,结合水文与水质监测资料,建立水库的吉柯奈尔-狄龙模型^[5],其基本表达为:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{I_C(1-R_C)}{V} - r \cdot C \quad (3)$$

式3中, C 为营养物的浓度, g/m^3 ; I_C 为营养物的总负荷 g/a ; R_C 为营养物在水库中的滞留系数; V 为水库的容积, m^3 ; r 为水库冲刷速度常数, a^{-1} ,其值为水库输出流量 Q_{out} 与水库容积 V 的比值。

若湖泊、水库的入流、出流与污染物的输入处在稳定状态时,当 $t \rightarrow \infty$ 时,可得式4的平衡浓度 C_P :

$$C_P = \frac{I_C(1-R_C)}{rV} = \frac{I_C(1-R_C)}{rA_S h} = \frac{L_C(1-R_C)}{rh} \quad (4)$$

式4中,水库平均水深 h 为水库容积 V 与水库水面面积 A_S 的比值, m ; L_C 为水库营养物的单位面积负荷 $g/(m^2 \cdot a)$ 。

滞留系数 R_C 可根据流入和流出的支流的流量和营养物浓度近似计算:

$$R_C = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m q_j^{out} C_j^{out}}{\sum_{k=1}^n q_k^{in} C_k^{in}} \quad (5)$$

式5中, q_j^{out} —第 j 条支流的出流量; C_j^{out} —第 j 条支流的营养物浓度; q_k^{in} —第 k 条支流输入水库的流量; C_k^{in} —第 k 条支流的营养物浓度; m —流入湖库的支流数; n —流出湖库的支流数。

3.2 水库总氮、总磷的环境容量计算模型

水库总氮、总磷环境容量可以根据吉柯奈尔-狄龙模型来计算,具体见式6,该式由式4转变而来。

$$L_P = \frac{P_S \times r \times h}{1 - R_C} \quad (6)$$

式 6 中, L_P 为水库氮、磷的允许负荷, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; P_S 为总氮、总磷的水环境质量标准, mg/L ; r 为水库的冲刷速度常数; h 为水库平均水深, m ; R_C 为水库总氮、总磷的滞留系数。

3.3 水质模型参数的确定

根据水库多年的水文资料统计, 杜塘水库多年库容为 1076.94 万立方米, 平均出流量为 4981.57 万立方米, 平均水面面积为 842764 平方米。输入水库的营养物有库尾支流的点源和水库周边流域的非点源两部分, 输出水库的营养物有坝前支流和水库渗漏损失两部分。水库输入与输出总氮、总磷浓度以 2008 年各支流的年均监测值计算, 计算得到的支流总氮、总磷的输入与输出量见表 3, 水库周边流域非点源输入水库的总氮、总磷负荷以 2008 年的估算值计算 (见表 1)。根据上述相关方程式计算得到水库的平均水深 h 为 12.78m, 水库冲刷速度常数 r 为 4.63, 总氮、总磷在水库中的滞留系数 R_{TN} 和 R_{TP} 分别为 0.144 和 1.566。

3.4 水库环境容量估算

杜塘水库为地表水源地一级保护区, 执行地表水环境质量标准 GB3838-2002 中的 II 类标准, 因此水库的总氮、总磷浓度以地表水环境质量标准 GB3838-2002 中的 II 类标准计算, 计算求得是水库单位面积的允许负荷量, 将其值乘以水库多年平均面积即可估算出水库总氮、总磷的环境容量, 详细数据见表 2。

Table 2. Environmental capacity of TN and TP

表 2. 杜塘水库总氮、总磷环境容量

项目	R_C	P_S (mg/L)	L_P ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	环境容量 (g/a)
总氮	0.144	0.5	34.53	29100641
总磷	0.566	0.025	3.41	2873825

4 水库剩余环境容量计算

4.1 水库水体总氮、总磷年均输入与输出负荷计算

目前进入杜塘水库水体的营养负荷包括库尾支

流、周边流域非点源、大气沉降以及水库底泥的内源释放, 输出水库的营养负荷包括坝前支流输出和水库渗漏损失两部分。本研究假定水库各支流输入以及输出的总氮、总磷的量保持不变, 为 2008 年的估算值 (见表 3)。水库周边流域非点源污染产生的营养物的量为 RUSLE 计算得到的多年平均值 (见表 1)。下面介绍水库水体大气沉降以及水库底泥沉积物总氮、总磷的估算方法。

4.1.1 水库大气干、湿沉降总氮、总磷负荷的估算

杜塘水库位处漳州市云霄县境内, 陈能汪^[6]等人通过对九龙江流域大气氮沉降的研究表明, 漳州市平和县 2004 年大气氮总沉降量为 16.1 kg/hm^2 , 因此可利用该研究成果来估算杜塘水库水体的年均大气氮沉降总量。杨龙元^[7]在对太湖大气氮、磷营养元素干湿沉降率研究中发现, 太湖水体大气氮、磷总沉降比为 13.81。因此本研究借鉴太湖的研究结果来推算杜塘水库水体年均大气磷总沉降量, 通过计算可得杜塘水库水体年均大气磷总沉降量为 1.17 kg/hm^2 。将大气总氮、总磷的年沉降量乘以水库平均水面面积, 得到大气沉降进入杜塘水库水体的总氮、总磷年均负荷分别为 1356850g 和 98603g。

4.1.2 水库底泥沉积物总氮、总磷释放量估算

苏玉萍^[8]等人通过对山仔水库沉积物营养盐对水体的贡献研究表明, 秋冬季节沉积物对水体的贡献量大于春夏两季, 因此本研究根据福建师范大学陈友震^[9]和钟厚璋^[10]等人 2009 年在杜塘水库各断面测得的春季沉积物营养盐的释放速率均值 (N 营养盐平均释放速率: $76.37 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$; P 营养盐平均释放速率: $1.00 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$) 来估算水库底泥沉积物总氮、总磷的年最低释放量, 并将该值作为水库底泥的总氮、总磷的年均释放量。假定水库库底的表面积与平均水面面积一致即 842764 m^2 , 估算出杜塘水库的氮年均释放总量为 23492089g, 磷年均释放总量为 307609g。

4.1.3 水库水体总氮、总磷年均输入与输出总量对比分析

杜塘水库水体总氮、总磷年均输入与输出总量如表 3 所示。

由表 3 可知, 水库 TN、TP 的总输入量大于总输出量, 进入水库的 TN、TP 以库尾的支流为主, 大气沉降对水库 TN 的贡献量最小。输出水库的 TN、TP 以坝前支流为主。水库库尾支流点源与非点源污染负

荷中的 N 元素输入比值为 6.46: 1, P 元素输入比值为 1.65: 1, 水库 TN 与 TP 总输入量的比值为 17.41: 1。

Table 3. Total amount of input and output of TN and TP

表 3. 杜塘水库水体总氮、总磷年均负荷总输入与输出量

水库输入 组成	TN 负荷 (g/a)	TP 负荷 (g/a)	TN 所占 比例/%	TP 所占 比例/%
库尾点源	68083300	3451000	65.80	58.05
非点源	10540537	2087719	10.19	35.12
大气沉降	1356850	98603	1.31	1.66
底泥释放	23492089	307609	22.70	5.17
总输入量	103472776	5944931	—	—
水库输出 组成	TN 负荷 (g/a)	TP 负荷 (g/a)	TN 所占 比例/%	TP 所占 比例/%
坝前支流	61997100	2164262	92.73	91.78
渗漏损失	4863936	193715	7.27	8.22
总输出量	66861036	2357977	—	—
TN 总输入量—TN 总输出量=36611740 (g/a)				
TP 总输入量—TP 总输出量=3586954 (g/a)				

4.2 水库剩余环境容量计算

水库的剩余环境容量为水库营养物的环境容量与水库营养物输入、输出总量三者之差。结果表明, 杜塘水库的总氮、总磷负荷均已超出水库的环境容量。具体如表 4 所示。

Table4. Residual environmental capacity of TN and TP

表 4. 杜塘水库总氮、总磷剩余环境容量 g/a

污染物	总输入量	总输出量	环境容量	剩余环境容量
TN	103472776	66861036	29100937	-7511099
TP	5944931	2357977	2872284	-713129

5 结论与讨论

通过对杜塘水库剩余环境容量的分析可知, 目前水库中总氮、总磷已经超过它们的环境容量, 因此, 要改善水库水质, 必须采取相应的营养物质控制措施。目前我国已完成了一些重要食鱼性鱼类的生物能量学研究, 具备了利用生物操纵技术控制水体富营养化的理论基础。武汉东湖围隔试验表明鲢、鳙鱼可以滤食消化大量的微囊藻^[1], 2007 年杜塘水库发生富营养化时的蓝藻主要种类是微囊藻, 因此, 可通过生态放养鲢、鳙鱼来改善杜塘水库的水质。此外, 研究表明, 进入杜塘水库的营养负荷中, 点源和非点源所占的比重较大, 所以可以通过建立人工湿地和植被缓冲带来

控制水库的点源和非点源污染, 对污染物进行源头控制, 消减进入水库总氮、总磷的量。

References (参考文献)

- [1] Wischmeier W H, et al. Predicting rainfall erosion loess- a guide to conservation planning. USDA, ARS[S]. Agricultural Handbook, Washington D.C. 1987, 537.
- [2] Bu Zhaohong, Sun Jinzhang, Dong Qinrui, et al. Study on quantitative remote sensing method for soil erosion losses and its application in shandong province[J]. Acta Pedologica Sinica. 1999, 36(1): 1-8.
卜兆宏, 孙金庄, 董勤瑞, 等. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 1-8.
- [3] Soil erosion estimation by using RUSLE, RS and GIS models in the Wubuxi Watershed, Fujian. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(5): 88-92.
曾慧娟, 潘文斌. 基于 RS/ GIS 和 RUSLE 的福建武步溪流域土壤侵蚀研究. 安全与环境学报, 2007, 7 (5): 88-92.
- [4] Kyoung Jae Lim, Joong-dae Choi, Ki-Sung Kim, et al. Development of sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control(SATEEC) in small Scale Watershed, 2005: 2-12.
- [5] Ye Shouze, Xia Jun, Guo Shenglian, et al. Simulation and evaluation of reservoir water environment[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1998.
叶守泽, 夏军, 郭生练, 等. 水库水环境模拟预测与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [6] Chen Nengwang, Hong Huasheng, Zhang Luoping. Preliminary results concerning the spatio-temporal pattern and mechanism of nitrogen sources and exports in the Jiulong River Watershed[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(4):830—839.
陈能汪, 洪华生, 张珞平. 九龙江流域氮的源汇时空模式与机理初探[J]. 环境科学学报, 2009, 29(4): 830—839.
- [7] Yang Longyuan, Qin Boqiang, Hu Weiping, et al. The atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus nutrients in Taihu Lake[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica. 2007, 38(2): 104-110.
杨龙元, 秦伯强, 胡维平, 等. 太湖大气氮、磷营养元素干湿沉降率研究[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 104-110.
- [8] Su Yuping, Lin Jia, He Ling, et al. Calculation of the contribution of the sediment phosphorus to the phosphorus concentration of the water body of Shanzai deep reservoir in Fujian Province[J]. Journal of Lake Sciences. 2008, 20(6): 748-754.
苏玉萍, 林佳, 何灵, 等. 福建省山仔水库沉积物磷对水体磷浓度贡献的估算[J]. 湖泊科学, 2008, 20(6): 748-754.
- [9] Chen Youzhen, Lin Wangzhen, Su Yuping, et al. Research of internal nitrogen loadings and releasing flux of ammonia in the sediment of the Dutang Reservoir in spring. Collected thesis of seminar on technical innovation and ecological construction of the Western Taiwan Straits Economic Zone.
陈友震, 林婉珍, 苏玉萍, 等. 杜塘水库春季表层沉积物氮含量与氨氮释放速率研究. 科技创新与生态海西建设学术研讨会论文集.
- [10] Zhong Houzhang, Su Yuping, He Ling, et al. Research of phosphorus froms and releasing fluxes of the sediment of the Dutang Reservoir in spring. Collected thesis of seminar on technical innovation and ecological construction of the Western Taiwan Straits Economic Zone.
钟厚璋, 苏玉萍, 何灵, 等. 杜塘水库春季沉积物磷含量与内源磷释放速率研究. 科技创新与生态海西建设学术研讨会论文集.
- [11] Xie Ping. Experimental studies on the role of planktivorous fishes in the elimination of microcystis bloom from Donghu Lake using enclosure method[J]. Chin J Oceanol Limnol, 1996, 14(3): 193-204.