

# 基于负荷历时曲线法的长江经济带 洩水水库纳污能力研究

叶 辉<sup>1,2</sup> 陈立斌<sup>1,2</sup> 邹开鹏<sup>3</sup>

- (1. 油气地球化学与环境湖北省重点实验室,湖北 武汉 430100;
2. 长江大学资源与环境学院,湖北 武汉 430100;
3. 湖北省荆州市水文水资源勘测局,湖北 荆州 434000)

**【摘要】** 本文依据沙溪坪水文站 2010—2020 年水文与水质数据,应用负荷历时曲线法(LDC)计算洩水水库对 TP、NH<sub>3</sub>-N 和 COD<sub>Mn</sub> 的纳污能力,并分析了纳污能力的变化特征。结果表明,洩水水库纳污能力季节变化明显,纳污量为夏季>秋季>春季>冬季;根据超标率的计算,TP 为主要超标污染物,2010—2020 年超标年份占比为 73%,超标月份占比为 91%;NH<sub>3</sub>-N 与 COD<sub>Mn</sub> 剩余负荷均为正数无须削减;TP 没有剩余负荷,需要严格控制,在高流量期、丰水期、平水期、枯水期和低流量期 TP 的削减量分别为 77.93kg/d、22.51kg/d、9.53kg/d、1.59kg/d、1.36kg/d。研究结果可为洩水水库流域水环境治理提供参考。

**【关键词】** 最大日负荷量;负荷历时曲线;长江经济带;洩水水库

中图分类号: TV524

文献标志码: B

文章编号: 2096-0131(2023)11-024-09

## Study on the Pollution Load Capacity of the Weishui Reservoir in the Yangtze River Economic Belt Based on the Duration Curve Method

YE Hui<sup>1,2</sup>, CHEN Libin<sup>1,2</sup>, ZOU Kaipeng<sup>3</sup>

- (1. Hubei Key Laboratory of Petroleum Geochemistry and Environment, Wuhan 430100, China;
2. College of Resources and Environment, College of Resources and Environment, Wuhan 430100, China;
3. Hubei Jingzhou Hydrological Water Resources Survey Bureau, Jingzhou 434000, China)

**Abstract:** Based on the hydrological and water quality data from Shaxiping Hydrological Station for the period 2010—2020, this paper employs the Load Duration Curve (LDC) method to calculate the pollution load capacity of the Weishui Reservoir for TP, NH<sub>3</sub>-N, and COD<sub>Mn</sub>. It also analyzes the variations in pollution load capacity. The results indicate that the pollution load capacity of the Weishui Reservoir exhibits significant seasonal variations, with pollution load being highest in summer, followed by autumn, spring, and winter. TP is identified as the primary pollutant exceeding the standards, accounting for 73% of the years and 91% of the months during the period 2010-2020. Both NH<sub>3</sub>-N and COD<sub>Mn</sub> have positive remaining loads and do not require reduction. However, TP has no remaining load and requires strict control. The

收稿日期: 2023-03-27

作者简介: 叶辉(1997—),男,硕士研究生,主要从事水资源水环境评价研究工作。

通信作者: 陈立斌(1981—),男,讲师,博士,主要从事流域水生态环境模拟与健康评价等研究工作。E-mail: lbchen@yangtzeu.edu.cn

reduction amounts for TP during high flow periods, flood periods, normal flow periods, low flow periods, and very low flow periods are 77.93kg/d, 22.51kg/d, 9.53kg/d, 1.59kg/d, and 1.36kg/d, respectively. This research can provide valuable insights for water environmental management in the Weishui Reservoir watershed.

**Key words:** maximum daily load; load duration curve; Yangtze River Economic Belt; Weishui Reservoir

长江经济带覆盖 11 个省(直辖市),人口和 GDP 总量在全国总量中占比均超过 40%,是我国综合实力最强、战略支撑能力最大的区域,也是生态文明建设的示范带<sup>[1]</sup>。水资源是长江经济带最重要的环境资源,因此研究其污染源,减少并控制点源污染进入水体非常重要。近些年,点源污染已逐渐得到控制,而面源污染的产生受流域特征、水文和地形等条件的影响,排放量难以量化,治理难度大,已成为当前我国水质恶化的主要原因<sup>[2]</sup>。

最大日负荷总量(Total Maximum Daily Load, TMDL)计划是目前控制面源污染较为完善的水质管理模式,该计划在制定时包括了点源和面源污染的负荷分配,并考虑了安全临界值和季节性变化的影响,能有效地改善受损水体<sup>[3-6]</sup>。负荷历时曲线法(Load Duration Curve, LDC)是美国环保署制定 TMDL 计划时所广泛采用的一项技术,是一种基于流量历时曲线(Flow Duration Curve, FDC)的水质图像分析方法,可以建立起水质目标与污染负荷之间的关系,能够初步识别污染区域和污染源,且具有所需数据少、计算简单和适用范围广的优点,能为点源和面源污染问题的综合管理提供合理依据<sup>[6-7]</sup>。近年来 LDC 在我国也逐渐被广泛应用,如嵇灵焯等<sup>[8]</sup>应用 LDC 分析了东苕溪纳污能力时间与空间及剩余纳污量的变化特征;王生愿等<sup>[9]</sup>将 LDC 法应用到梁子湖流域污染容量总量控制,并对 COD 负荷进行了估算和分配;赵雪霞等<sup>[10]</sup>将 LDC 运用到清渭河流域水质目标管理中,估算出不同水质目标下主要污染物的负荷;孟岑等<sup>[11]</sup>将 LDC 与灰度分析法相结合,分析了不同流域 TN 超标情况和影响削减率的因素;赵杰杰等<sup>[12]</sup>应用 LDC 从时间和空间的角度分析了永定河流域河北段的 TP 纳污能力特征。

目前国内的研究主要偏重于 LDC 在纳污能力分析和污染负荷核算中的直接运用,而对于污染负荷超标率的分析研究较少。为此,本文在应用 LDC 法分析

长江经济带典型水库洩水水库纳污能力和削减负荷量、削减率核算的基础上,分别计算出污染负荷在不同流量区间、年份、月份下的超标率,并在此基础上对污染源进行初步分析。

## 1 研究区域概况

洩水水库位于湖北省松滋市西南部,洩水发源于湖北五峰清水湾和湖南石门五里坪,流经湖南石门、澧县和湖北五峰、松滋、公安五县(市),全长 200 余 km,流域面积 2218km<sup>2</sup>,水库总库容 5.12 亿 m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>。该区域属于亚热带季风气候,年平均气温 17.6℃,平均最高气温 32.5℃(7—8 月),极端最高气温 39.0℃,年平均最低气温 1.3℃(1 月),极端最低气温 -10.0℃<sup>[14]</sup>。洩水水库是一座以灌溉、防洪为主,兼具航运、供水、养殖和发电等多种功能的综合大(2)型水库<sup>[15]</sup>。洩水水库流域位置见图 1。

## 2 研究方法数据来源

### 2.1 流量历时曲线

将水文站日流量数据按从大到小的顺序排列,计算全流量序列中大于或等于某一日流量的比例,以保证率为  $x$  轴,逐日流量数据为  $y$  轴,绘制流量历时曲线图。保证率计算公式为

$$P_f = m/n \quad (1)$$

式中: $P_f$  为流量值为  $f$  时的保证率; $m$  代表大于或等于流量值  $f$  的总数; $n$  为流量监测值的总数。

### 2.2 负荷历时曲线

LDC 是建立在 FDC 的基础上,相应流量的保证率仍为  $x$  轴, $y$  轴则是逐日流量与相应水质目标的乘积。计算公式为

$$L = QCK \quad (2)$$

式中: $L$  为对应保证率的允许最大日负荷,kg/d; $Q$  为相应保证率的日流量,m<sup>3</sup>/s; $C$  为水质目标值,mg/L; $K$  为单位转换系数,取  $K=86.4$ 。

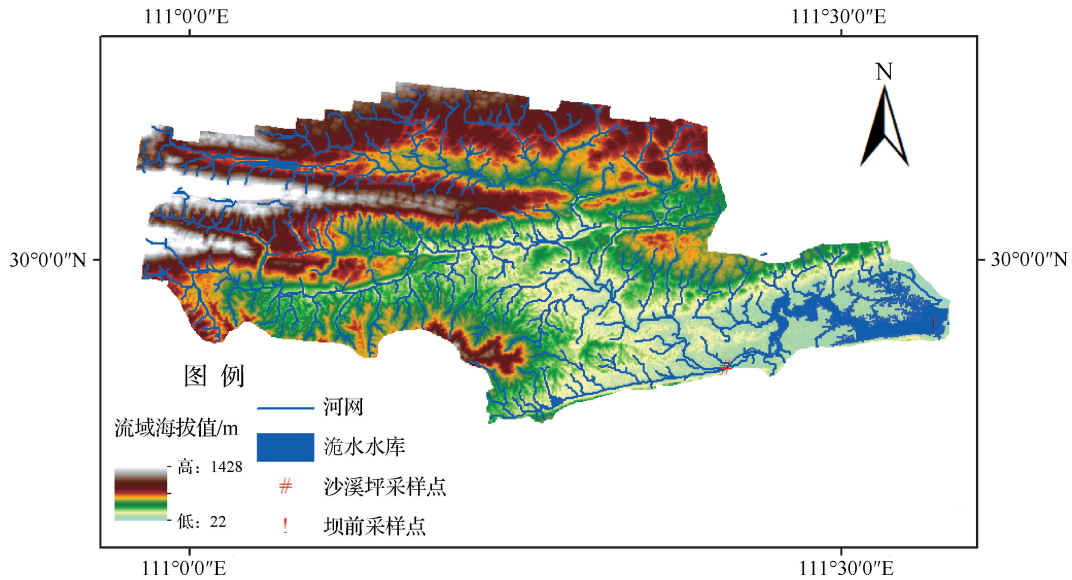


图1 洩水水库流域位置

### 2.3 负荷计算

通过各个流量区间实测负荷值计算出各区间的现状负荷,再以5%、25%、50%、75%、95%保证率下的最大日负荷代表各区间允许负荷,允许负荷与现状负荷的差值就是污染物的剩余负荷。计算公式为

$$\bar{C} = \frac{0.9}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (3)$$

$$\bar{L} = \bar{C} \bar{Q} K \quad (4)$$

式中: $\bar{C}$ 为各流量区间实测值均值的90%,mg/L; $C_i$ 为污染物实测值,mg/L; $n$ 为落入某流量区间的实测值个数; $\bar{L}$ 为现状负荷,kg/d; $\bar{Q}$ 为各区间中点流量,m<sup>3</sup>/s。

### 2.4 数据来源

水质数据为沙溪坪水文站(入库主要控制水文站)和大岩嘴水文站(坝前水文站)2010—2020年的实测数据,监测频率为每月一次;流量数据为沙溪坪水文站2010—2020年日均实测数据。

## 3 结果与分析

### 3.1 水质目标确定

洩水水库水质目标为地表水Ⅱ类,根据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),可确定NH<sub>3</sub>-N目标浓度为0.5mg/L,COD<sub>Mn</sub>目标浓度为4mg/L;但TP在河流

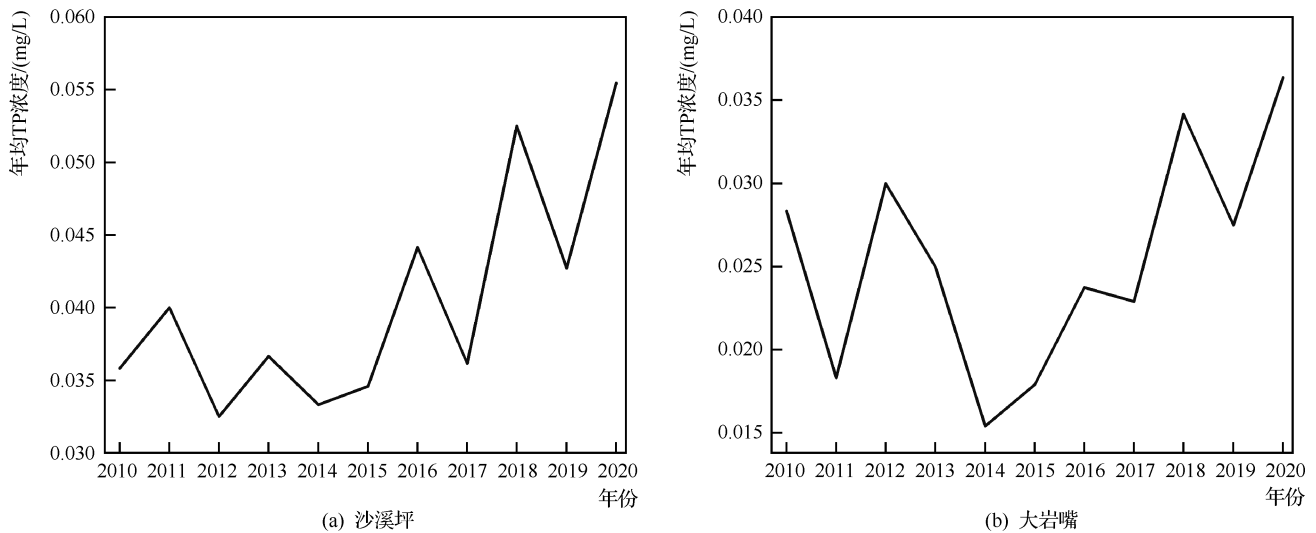


图2 沙溪坪与大岩嘴2010—2020年TP年均浓度

和水库(湖泊)存在不同浓度标准,入库河流目标浓度为0.100mg/L,湖、库为0.025mg/L。由沙溪坪和大岩嘴2010—2020年的TP年均浓度(见图2)可知,沙溪坪TP年均浓度均小于0.100mg/L,未超标,而大岩嘴(库内)TP年均浓度超标率为45.5%,本文以入库河流数据(沙溪坪)为基础建立负荷历时曲线,若是直接以河流标准0.100mg/L为目标浓度进行计算,会导致河流水质达标而水库内水质不达标。因此,为保证河流和库内水质均达标,本文中的TP目标浓度以地表水Ⅱ类中的湖、库标准0.025mg/L进行计算。

### 3.2 流量历时曲线和流量变化特征

将2010—2020年日均流量数据按顺序从大到小排序,并根据式(1)计算相应的保证率,绘制流量历时曲线图,见图3。将流量历时曲线划分为5个区间,即0~10%为高流量期,10%~40%为丰水期,40%~60%为平水期,60%~90%为枯水期,90%~100%为低流量期<sup>[16]</sup>。由图3可知,沙溪坪断面整体流量偏小,其中高流量期流量变化大,曲线呈垂直下降趋势;丰水期—低流量期流量变化小,曲线缓慢下降,尤其是低流量期曲线几乎水平。

为了解沙溪坪断面流量年内变化特征,根据流量

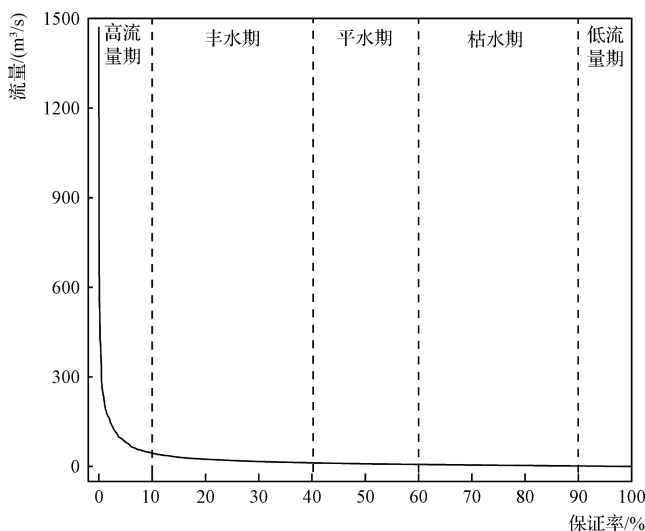


图3 沙溪坪流量历时曲线

频率绘制沙溪坪各月的日均流量频率分布箱线图(见图4)。由图4可知,各月流量从整体趋势来看,1—7月逐渐增大,8—11月先降后升,至12月迅速下降。从月均流量频率来看,5—8月位于丰水期,3—4月、9—11月位于平水期,12月至次年2月流量位于枯水期。其中月均流量和日均流量最大值均出现在7月,分别为59.8m³/s和138.0m³/s;月均流量最小值出现在1月,为4.2m³/s;日均流量在1—3月、6月、12月均出现过0值。

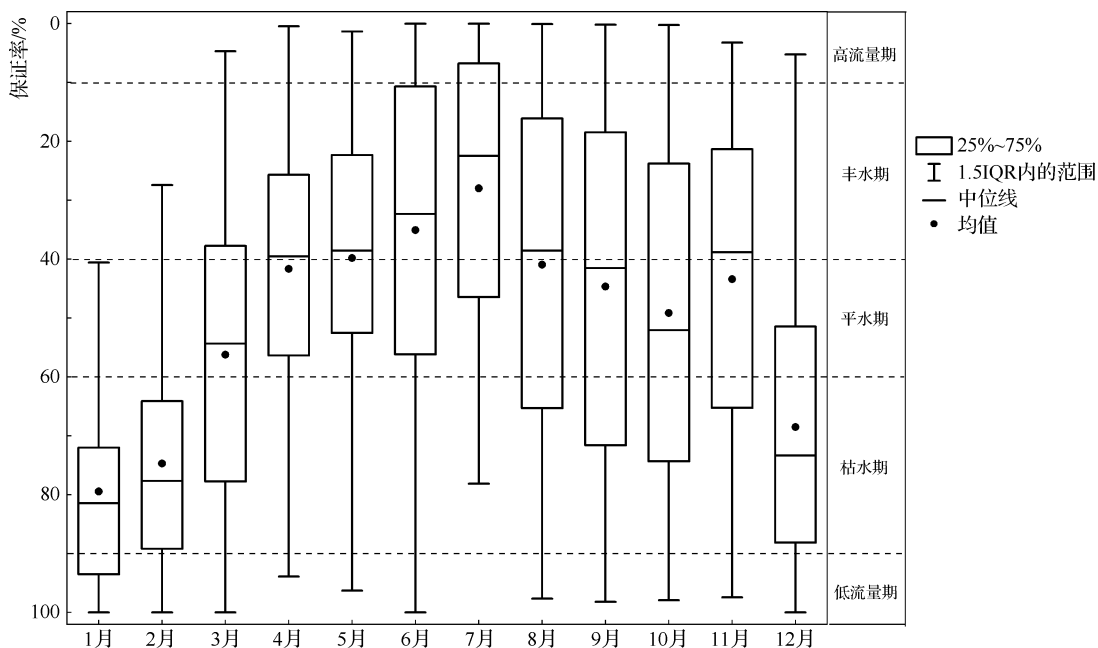


图4 沙溪坪流量频率分布箱线图

### 3.3 最大日负荷季节变化特征

美国《清洁水法》规定,流量的季节性变化是TMDL发展的关键内容,应有针对性地制定不同时期的水质控制目标,同时对水质不达标区域制定TMDL计划<sup>[10]</sup>。以3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月至次年2月为冬季,绘制沙溪坪污染物最大日负荷量季节变化箱线图(见图5)。由图5可知,漉水水库污染物最大日负荷量季节性变化明显。

从最大日负荷均值与中位线位置来看,各季节均值都在中位线之上,均值与中位线的位置偏离越多波动性越大,其中波动最大的为夏季,波动最小的为冬季。从各季节最大日负荷量均值来看,漉水水库纳污量为夏季>秋季>春季>冬季,夏季纳污量是春季的2.7倍、秋季的2.2倍、冬季的8.3倍。综合以上分析可知,春季与冬季纳污能力较弱,应加强管理。

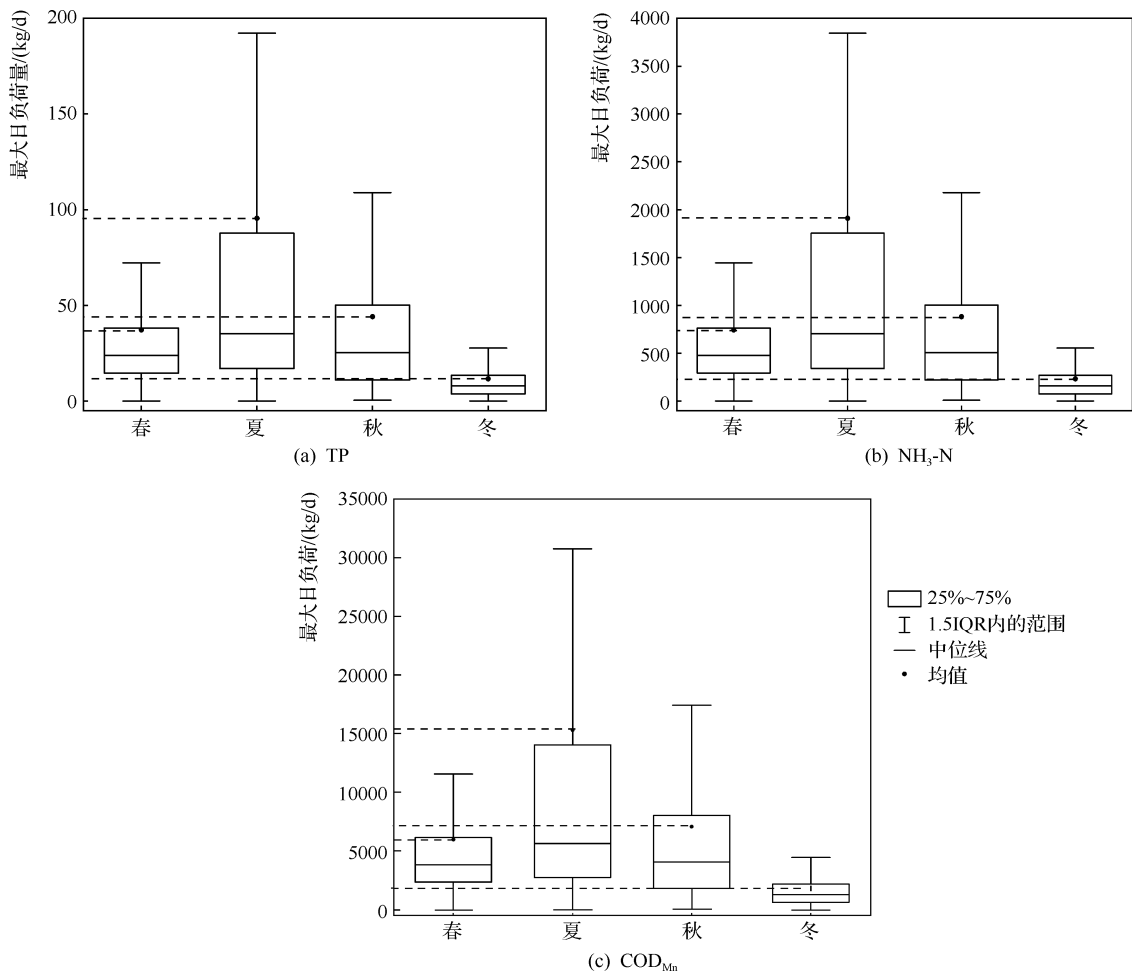


图5 沙溪坪污染物最大日负荷量季节变化箱线图

### 3.4 负荷历时曲线的应用和分析

应用负荷历时曲线分析水质特征时,通过观察实测负荷与曲线的位置来判断负荷是否达标,即位于曲线上的实测负荷超标,曲线下的实测负荷达标,当实测负荷超标率大于50%时水质超标,反之水质达标<sup>[17]</sup>。根据超标点所在区间可初步判断污染的主要来源,即当超标点位于保证率为10%~85%的区间时,主要污

染源为面源;当超标点位于保证率为85%~99%的区间时,主要污染源为点源;而保证率为0~10%及99%~100%的区间为极端流量条件,不予考虑<sup>[18]</sup>。

#### 3.4.1 流量特征分析

在沙溪坪流量历时曲线的基础上,结合式(2)进行计算,绘制负荷历时曲线,并将实测负荷绘制在图上,沙溪坪负荷历时曲线与污染物实测负荷见图6,并

整理数据(见表1)。结合图6和表1可以看出,TP在高流量期、丰水期、平水期、枯水期、低流量期的超标率分别为80%、85%、78%、63%、67%,在全流量时期超标率均大于50%,水质不达标,超标点主要位于10%~85%区间,所以面源污染是造成各流量时期TP超标

的主要原因;NH<sub>3</sub>-N在丰水期、平水期和枯水期存在超标点,超标率分别为5%、4%和5%,水质达标,超标点全位于10%~85%区间,面源污染影响大;COD<sub>Mn</sub>实测负荷均位于曲线下方,超标率为0,水质达标,但所有现状负荷距离曲线位置较近,剩余纳污量较少。

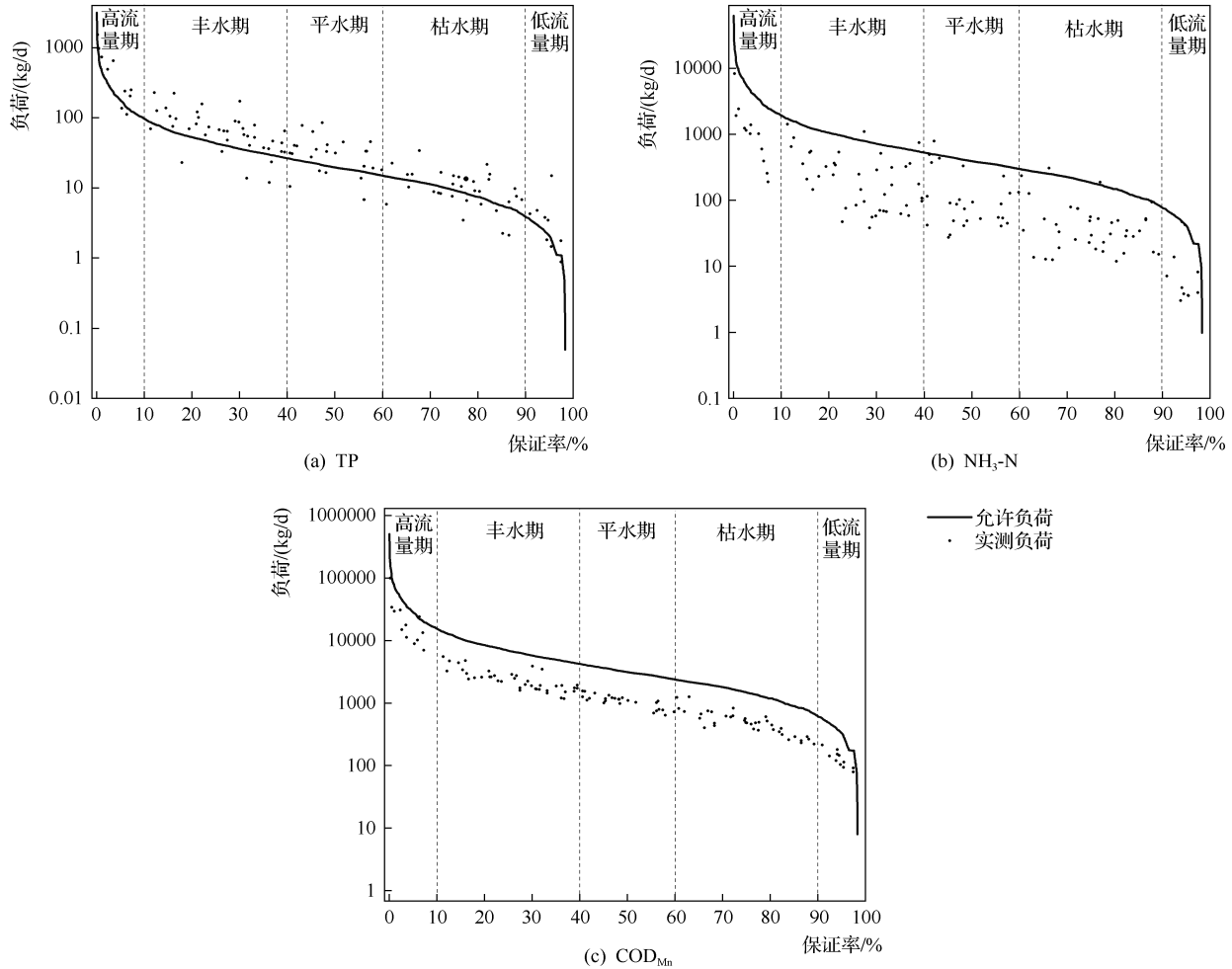


图6 沙溪坪负荷历时曲线与污染物实测负荷

表1 沙溪坪负荷历时曲线各时期超标率

污 染 物		高流量期	丰水期	平水期	枯水期	低流量期
TP	达标点	2	9	7	15	4
	超标点	10	33	18	23	10
	超标率/%	80	85	78	63	67
NH <sub>3</sub> -N	达标点	12	40	24	36	14
	超标点	0	2	1	2	0
	超标率/%	0	5	4	5	0
COD <sub>Mn</sub>	达标点	12	42	25	38	14
	超标点	0	0	0	0	0
	超标率/%	0	0	0	0	0

### 3.4.2 年变化特征

在图6的基础上,将实测负荷按年份分类绘制于图上,沙溪坪负荷历时曲线与年污染物实测负荷见图7,并分析结果(见表2)。结合图7与表2可知,TP在2010—2020年期间的超标率波动较大,波动范围为17%~100%,其中2011年、2014年和2015年,超标率分别为50%、50%和17%,均小于等于50%,水质达标;2010年、2012年、2013年和2016—2020年,超标率分别为83%、73%、83%和100%、83%、83%、75%、91%,均大于50%,水质超标;TP的超标点主要位于

10% ~ 85% 区间,所以各年份均受面源污染影响较大。  
 NH<sub>3</sub>-N 在 2010—2020 年期间,仅 2011 年、2012 年、  
 2017 年和 2018 年存在超标点,超标率分别为 17%、  
 8%、8% 和 8%,均小于 50%,水质达标;NH<sub>3</sub>-N 各年超

标点全部位于 10% ~ 85% 区间,主要受面源污影响。  
 COD<sub>Mn</sub> 在 2010—2020 年不存在超标点,超标率均为 0,  
 水质达标。

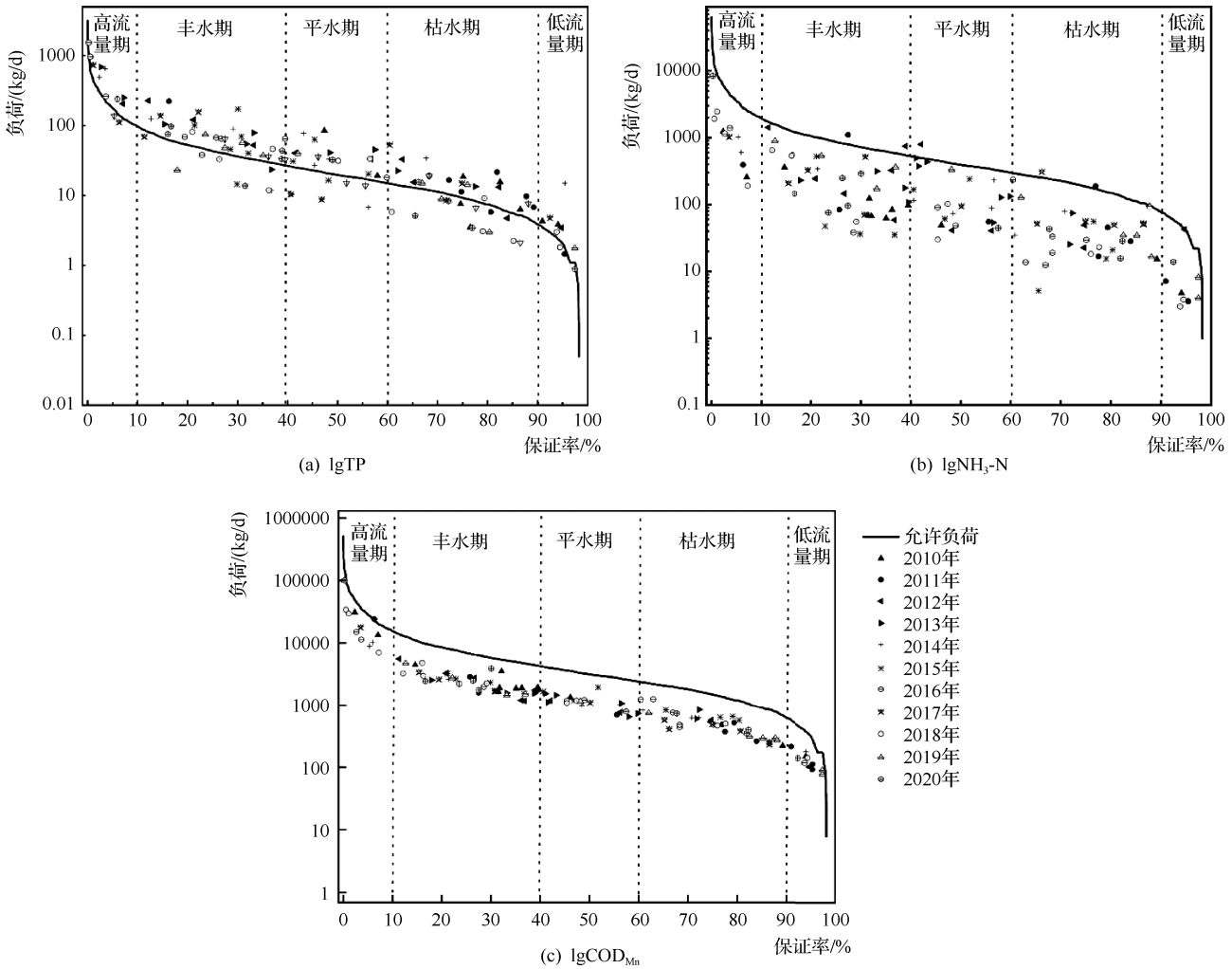


图7 沙溪坪负荷历时曲线与年污染物实测负荷

表2 沙溪坪负荷历时曲线各年超标率

污 染 物		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TP	达标点	2	6	3	2	6	10	0	2	2	3	1
	超标点	10	6	9	10	6	2	12	10	10	9	10
	超标率/%	83	50	75	83	50	17	100	83	83	75	91
NH <sub>3</sub> -N	达标点	12	10	11	12	12	12	12	11	11	12	11
	超标点	0	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	超标率/%	0	17	8	0	0	0	0	8	8	0	0
COD <sub>Mn</sub>	达标点	12	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	超标点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	超标率/%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4.3 月变化特征

在图6的基础上,将实测负荷按月份分类绘制于图上,沙溪坪负荷历时曲线与月污染物实测负荷见图8,并分析结果(见表3)。结合图8和表3可知,TP在1—8月和9月超标率为45%,小于50%,水质达标,在1—8月和

10—12月的超标率分别为82%、80%、91%、82%、82%、73%、82%、55%和73%、64%、55%,均大于50%,水质超标;TP各月超标点主要位于10%~85%区间,受面源污染影响较大。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 仅在10月和11月有超标点存在,超标率为18%和27%,均小于50%,

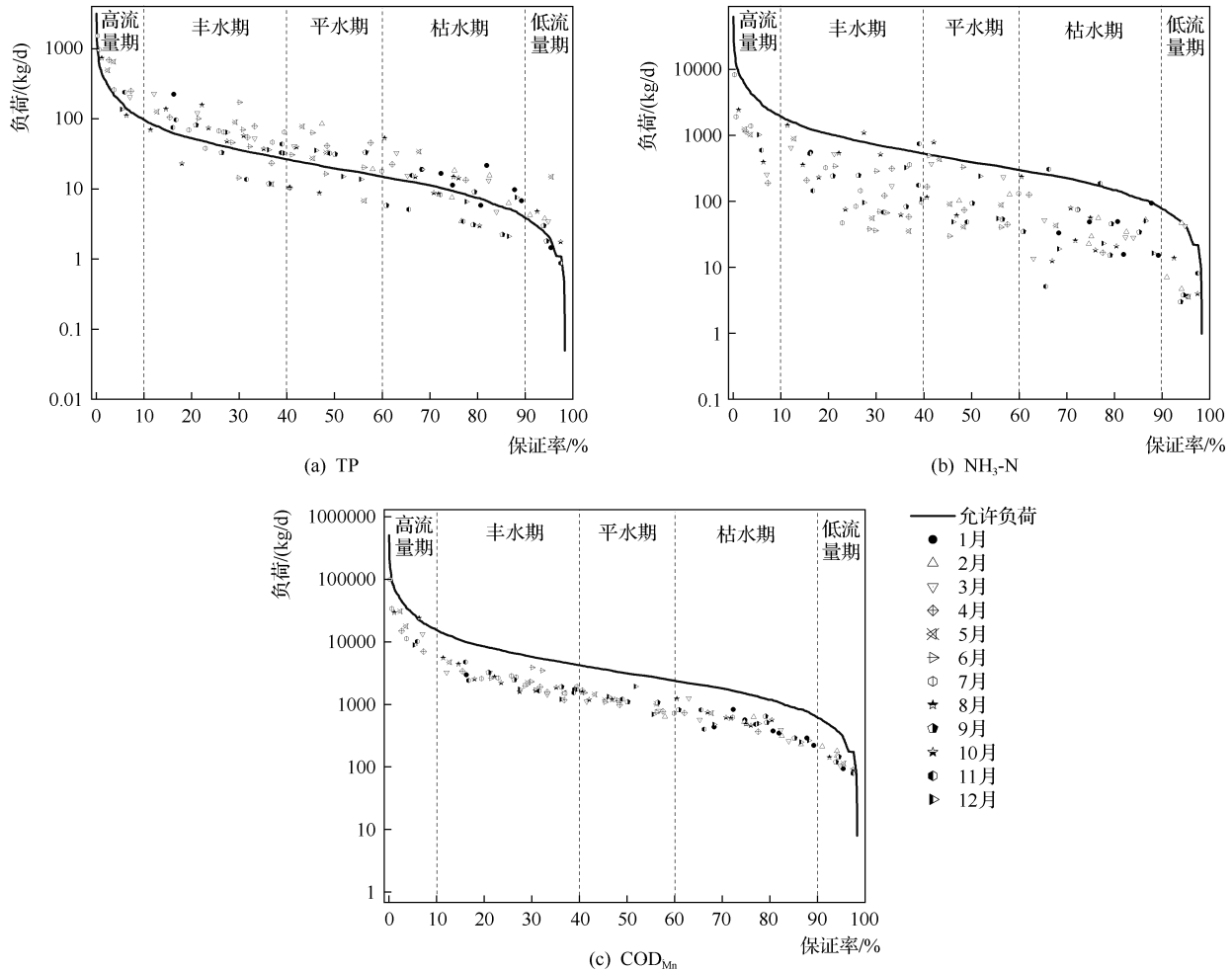


图8 沙溪坪负荷历时曲线图与月污染物实测负荷

表3 沙溪坪负荷历时曲线各月超标率

污 染 物		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
TP	达标点	2	2	1	2	2	3	2	5	6	3	4	5
	超标点	9	8	10	9	9	8	9	6	5	8	7	6
	超标率/%	82	80	91	82	82	73	82	55	45	73	64	55
$\text{NH}_3\text{-N}$	达标点	11	10	11	11	11	11	11	11	11	9	8	11
	超标点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0
	超标率/%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	27	0
$\text{COD}_{\text{Mn}}$	达标点	11	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	超标点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	超标率/%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

水质达标,其余月份超标率均为零;NH<sub>3</sub>-N 超标点全位于 10%~85% 区间,受面源污染影响。COD<sub>Mn</sub> 不存在超标点,各月超标率均为 0,满足水质目标。

根据以上分析可知,TP 和 NH<sub>3</sub>-N 主要污染源均为面源污染,滄水水库的面源污染主要是来自于农业面源污染,其中种植业和畜牧业是 TP 和 NH<sub>3</sub>-N 的主要来源<sup>[19]</sup>。所以在滄水水库的管理过程中需加强周边种植业和畜牧业污染物排放的管控,且减少含磷农药化肥的使用。

### 3.5 污染负荷削减核算

应用式(3)和式(4)计算出各流量区间在 90% 保证率下污染物的现状负荷,并以 5%、25%、50%、75% 和 95% 保证率下对应的最大日负荷为各流量区间的允许负荷,进而通过允许负荷与现状负荷确定污染物的削减量与削减率,计算结果见表 4。

表 4 沙溪坪污染负荷 单位:kg/d

污染物	项目	高流量期	丰水期	平水期	枯水期	低流量期
TP	允许负荷	177.12	42.98	19.66	9.27	2.05
	现状负荷	255.05	65.49	29.19	10.85	3.41
	剩余负荷	-77.93	-22.51	-9.53	-1.59	-1.36
	削减量	77.93	22.51	9.53	1.59	1.36
	削减率	30.55%	34.37%	32.65%	14.65%	39.93%
NH <sub>3</sub> -N	允许负荷	3542.40	859.68	393.12	185.33	41.00
	现状负荷	694.49	255.14	127.07	50.40	10.09
	剩余负荷	2847.91	604.54	266.05	134.93	30.90
	削减量	—	—	—	—	—
	削减率	—	—	—	—	—
COD <sub>Mn</sub>	允许负荷	28339.20	6877.44	3144.96	1482.62	327.97
	现状负荷	12699.50	2185.26	924.27	463.08	111.75
	剩余负荷	15639.70	4692.18	2220.49	1019.55	216.23
	削减量	—	—	—	—	—
	削减率	—	—	—	—	—

由表 4 可知,沙溪坪站点在各流量区间的 TP 的剩余负荷均为负值需要进行削减,高流量期、丰水期、平水期、枯水期和低流量期的削减量分别为 77.93kg/d、22.51kg/d、9.53kg/d、1.59kg/d 和 1.36kg/d,削减率分别为 30.55%、34.37%、32.65%、14.65% 和 39.93%,其中在各时期中削减量最大的是高流量期,削减量为

77.93kg/d;削减率最高的是低流量期,削减率为 39.93%。沙溪坪站点各流量区间的 NH<sub>3</sub>-N 与 COD<sub>Mn</sub> 剩余负荷均为正数,不需要进行削减。

## 4 结 语

本文以滄水水库流域水文与水质资料为依据,应用负荷历时曲线法分析了流域纳污能力变化特征及点源、面源对水质的影响,估算了污染负荷在不同流量时期的纳污能力和削减量。结果表明,滄水水库流域纳污能力季节性变化明显,尤其是夏季纳污能力远大于冬季。超标率结果显示,TP 是主要超标污染物且污染源为面源污染;同时,削减量结果显示,TP 在各流量时期均需削减,且随着流量的减少,削减量也逐渐减少。负荷历时曲线法能直观地反映流量与水质的关系,且具有计算简便、所需数据少的特点,能在数据缺乏的流域应用,可为我国水质管理工作提供一定的技术支持。◆

### 参考文献

[1] 张帆,林安妮,白鸽,等. 长江经济带流域水污染区域协同治理研究[J]. 合作经济与科技,2021(23):164-166.

[2] 高春泥. 妫水河流域面源污染特征及其典型控制措施研究[D]. 北京:北京林业大学,2022.

[3] 王正冉. 聊城市河流水质综合评价及污染源解析[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2023.

[4] WANG C, BI J, AMBROSE R B, et al. Development and application of mathematical models to support total maximum daily load for the Taihu Lake's influent rivers, China [J]. Ecological engineering, 2015, 83: 258-267.

[5] 沈逸,马天海,闫中月,等. 基于还原率法的河流系统毒害污染物的 TMDL 计划研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2021, 57(3): 437-444.

[6] LUO Y, ZHANG J. Application of a load duration curve for establishing TMDL programs upstream of the Tiaoxi River within the Taihu Watershed, China [J]. Journal of coastal research, 2017(80(10080)): 80-85.

[7] SERRANO L O, BORGES A C, PRUSKI F F, et al. A new approach to use load duration curves to evaluate water quality: a study in the Doce River Basin, Brazil [J]. Water, 2020, 12(3): 811.

(下转第 42 页)

连通指数的赋分内容。◆

参考文献

[1] 王健. 水资源管理法律制度创新研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.

[2] 贺玉晓, 苏小婉, 任玉芬, 等. 中国生态地理区城市水资源利用效率时空分异特征[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7464-7478.

[3] 刘园园, 阿依巧丽, 张森瑞, 等. 着生藻类和浮游藻类在三峡库区河流健康评价中的适宜性比较研究[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3833-3843.

[4] 彭文启. 河湖健康评估指标、标准与方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(5): 394-404, 416.

[5] FRYIRS K. Guiding principles for assessing geomorphic river condition; application of a framework in the Bega catchment, South Coast, New South Wales, Australia[J]. Catena, 2003, 53(1): 17-52.

[6] WILSON M A, CARPENTER S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States; 1971-1997 [J]. Ecological applications, 1999, 9(3): 772-783.

[7] 王晓刚, 王竑, 李云, 等. 我国河湖健康评价实践与探索[J]. 中国水利, 2021(23): 25-27.

[8] 王景豪, 宋刚福, 魏怀斌, 等. 河流健康评估研究及应用——以南排河为例[J]. 科技创新与应用, 2021(9): 186-190.

[9] 李云, 李春明, 王晓刚, 等. 河湖健康评价指标体系的构建与思考[J]. 中国水利, 2020(20): 4-7.

[10] 孙博, 马涛, 李伟. 辽宁省典型河流生态健康评价指标体系研究[J]. 人民黄河, 2015, 37(9): 81-84.

[11] 师刚. 气候变化对水文水资源影响问题分析[J]. 科学与财富, 2019(5): 70.

[12] 田元. 河流湖库型水源地保护区划分浅析——以宽城满族自治县清口水源地为例[J]. 河北水利, 2020(10): 38, 45.

[13] 董红, 吴计生, 魏春风, 等. 诺敏河河湖健康评估生态流量满足程度研究[J]. 东北水利水电, 2022, 40(3): 29-30, 38.

[14] 张凤春. 全力整治“四乱”顽疾 还河湖健康美丽[J]. 中国水利, 2018(22): 15-16.

[15] 张正栋. 广东韩江流域土地利用与土地覆盖变化综合研究[D]. 广州: 中国科学院研究生院(广州地球化学研究所), 2007.

[16] 李莹莹, 姜岩松, 闫明, 等. 打造水上安全命运共同体 共建“平安韩江”在潮州启动[J]. 珠江水运, 2019(22): 28-29.

(上接第32页)

[8] 嵇灵焯, 王飞儿, 俞洁, 等. 基于负荷历时曲线法的东苕溪纳污能力研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2018, 44(1): 59-66.

[9] 王生愿, 桂发二, 方纬. 负荷历时曲线法在梁子湖流域污染容量总量控制中的应用[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(5): 845-850.

[10] 赵雪霞, 于鲁冀, 王燕鹏. 负荷历时曲线法在清溪河流域水质目标管理中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2018(12): 54-58.

[11] 孟岑, 李裕元, 吴金水, 等. 亚热带典型小流域总氮最大日负荷(TMDL)及影响因子研究——以金井河流域为例[J]. 环境科学学报, 2016, 36(2): 700-709.

[12] 赵杰杰, 雷坤, 孙明东, 等. 基于负荷历时曲线法的永定河流域河北段磷纳污能力研究[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(3): 377-384.

[13] 曾平, 石自堂, 余晓敏. 浅谈可持续利用理念在涟水水库管理中的应用[J]. 水电与新能源, 2017(1): 72-75.

[14] 徐艺文, 陈浩, 赵洪波. 涟水国家湿地公园植物多样性、主要群落及数量特征[J]. 湖北林业科技, 2019, 48(4): 13-18, 68.

[15] 毕研新. 涟水水库中长期优化调度研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.

[16] CHO J, KIM H, CHO B, et al. Estimation of pollution using load duration curves at streams in Sapgyo Watershed [J]. Journal of Korean society on water environment, 2021, 37(3): 175-189.

[17] NOH C, KWON P S, JUNG W S, et al. Analysis of load duration curve using long time flow measurement data of Kyeongancheon [J]. Journal of environmental impact assessment, 2019, 28(1): 35-48.

[18] 杨国华, 陈小兰, 刘慧丽. 污染负荷历时曲线法在赣江流域水污染物总量监控中的应用[J]. 江西科学, 2007(6): 726-729.

[19] 申璐, 刘伟玲, 邓陈宁, 等. 长江流域总磷污染治理相关政策、问题与对策[J]. 环境保护, 2022, 50(17): 37-40.