

# Drinking Water Sources Assessment in Zhushuqiao Reservoirs

Yinghua Guo<sup>1</sup>, Li Fu<sup>2</sup>, Wanchao Gao<sup>2</sup>, Jie Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hunan Polytechnic of Water Resources and Electric Power, Changsha Hunan

<sup>2</sup>Changsha Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hunan Province, Changsha Hunan

Email: 305093038@qq.com

Received: Sep. 25<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

As an important drinking water source for Changsha city, the water quality before and after the comprehensive treatment of the Zhoushuqiao reservoir was evaluated by the Nemerow Pollution Index ( $I_p$ ), and the eutrophication of lakes and reservoirs were also evaluated. The results show the  $I_p$  value of the Zhoushuqiao reservoir in 2017 to 2019 declined steadily compared with the 2011, while the concentration of  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , TP and  $\text{NH}_3\text{-N}$  were falling. The emissions was effectively reduced into the typical drinking water source in lake reservoirs through the comprehensive treatment, the water eco-system restoration is increased significantly, the change of water quality tending to benign development has realized generally.

## Keywords

Zhoushuqiao Reservoir, Drink Water Sources, Water Quality Assessment, Nemerow Pollution Index

# 株树桥水库饮用水水源地水资源评价

郭英华<sup>1</sup>, 付莉<sup>2</sup>, 高万超<sup>2</sup>, 刘婕<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖南省水利水电职业技术学院, 湖南 长沙

<sup>2</sup>湖南省长沙水文水资源勘测中心, 湖南 长沙

Email: 305093038@qq.com

收稿日期: 2020年9月25日; 录用日期: 2020年10月13日; 发布日期: 2020年10月20日

## 摘要

株树桥水库饮用水水源地作为国家重要湖库型饮用水水源地, 是长沙市区的重要备用水源。为了评价株树桥水库水资源建设和保护工作情况, 以内梅罗污染指数( $I_p$ )来评价株树桥水库水源地综合治理前后的水质状况, 并作者简介: 郭英华, 1990年出生, 本科, 主要从事水资源研究。

进一步对其湖库营养化的整体情况进行分析。结果表明,与治理前2011年比较,2017年至2019年株树桥水库 $I_p$ 值逐年平稳下降,COD<sub>Mn</sub>、TP和NH<sub>3</sub>-N浓度也逐年下降。作为典型的湖库型饮用水水源地,水资源综合治理有效的控制了入湖排污,促进了库区水生态环境修复,水质总体上趋于良性发展。

## 关键词

株树桥水库, 饮用水源, 水质评价, 内梅罗污染指数

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

饮用水水源地是指提供城乡居民生活及公共服务用水和取水工程的水源地域。加强饮用水源地保护和达标建设,是关乎人们健康和生命安全的重大事情。当前,由于经济的发展,人类活动对许多“人工湖泊”的污染日趋严重,水库水源地水资源建设和综合治理已经刻不容缓。为贯彻《中共中央国务院关于加快水利改革发展的决定》(中发[2011]1号)关于水源地水资源保护的要求,全国从2011年开始陆续进行重要饮用水水源地安全保障达标建设,饮用水源地的水质研究工作也同步展开。洞庭湖水污染特征及水质评价[1]和湖南段长江干流排污口的水质污染研究[2]都为洞庭湖的水资源保护提供了科学依据,周晓铁等[3]研究了安徽省31个湖库型饮用水水源地水资源状况,李恒鹏等人以天目湖的水资源治理经验推动了中国东南山丘优质水库群保护工作[4],唐哲等人采用了内梅罗污染指数评价了湖南省铁山水库国家级饮用水水源地水资源建设前后的水质发展变化趋势[5],王智源等[6]从水资源量、富营养化指数等12项指标来综合评价江苏省13个湖库型饮用水源地的安全状况。现在,开展水源地水资源保护和研究是提高人民群众幸福生活指数的根本任务之一。

株树桥水库作为长沙的第二水源,是全国重要的饮用水源地。2011年后,政府开始组织编制了《湖南省株树桥水库饮用水水源地安全保障达标建设方案》并对株树桥水库开始了大规模综合治理。本文主要针对株树桥水库水源地治理前后的水资源进行水质分析和评价,以促进行政区内水资源有限开发和良性循环。

## 2. 株树桥水库概况

株树桥水库位于浏阳市境内、浏阳河南源小溪河下游,地处东经113°51'~114°19',北纬28°10'~28°29'之间,距长沙市东郊区约80 km,见图1。株树桥水库是一座大II型水库,坝址控制流域面积564 km<sup>2</sup>,占小溪河流域面积的75.30%,坝址多年平均径流量5.55 m<sup>3</sup>,多年平均流量17.8 m<sup>3</sup>/s,水库总库容2.78亿 m<sup>3</sup>。株树桥水库流域处于我省湘东暴雨区,出现暴雨的几率高,强度大,多年平均降雨量1601 mm,最大年降雨量达2165 mm。受季风环流影响,株树桥水库流域2~8月一般占全年的77%左右,连续最大3个月降水量一般出现在4~6月,占全年的44%左右[7]。根据长沙水环境监测中心提供的监测数据,株树桥水库监测断面汛期、非汛期、全年各项目监测指标值均可达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)II类水质标准,水质状况良好。

## 3. 水源地污染源分析

株树桥水库饮用水水源地污染源主要是工业污染源、农业污染源、城乡生活污染源以及三产污染源。其中工业污染主要包括张坊镇复膜纸厂的化工排污,中和镇的食品加工厂和保护区内各镇的木材加工工业排污;农业污染主要是使用农药化肥产生的污染,以及城乡生活污水排放污染、生活垃圾堆放等;三产污染则是包括餐

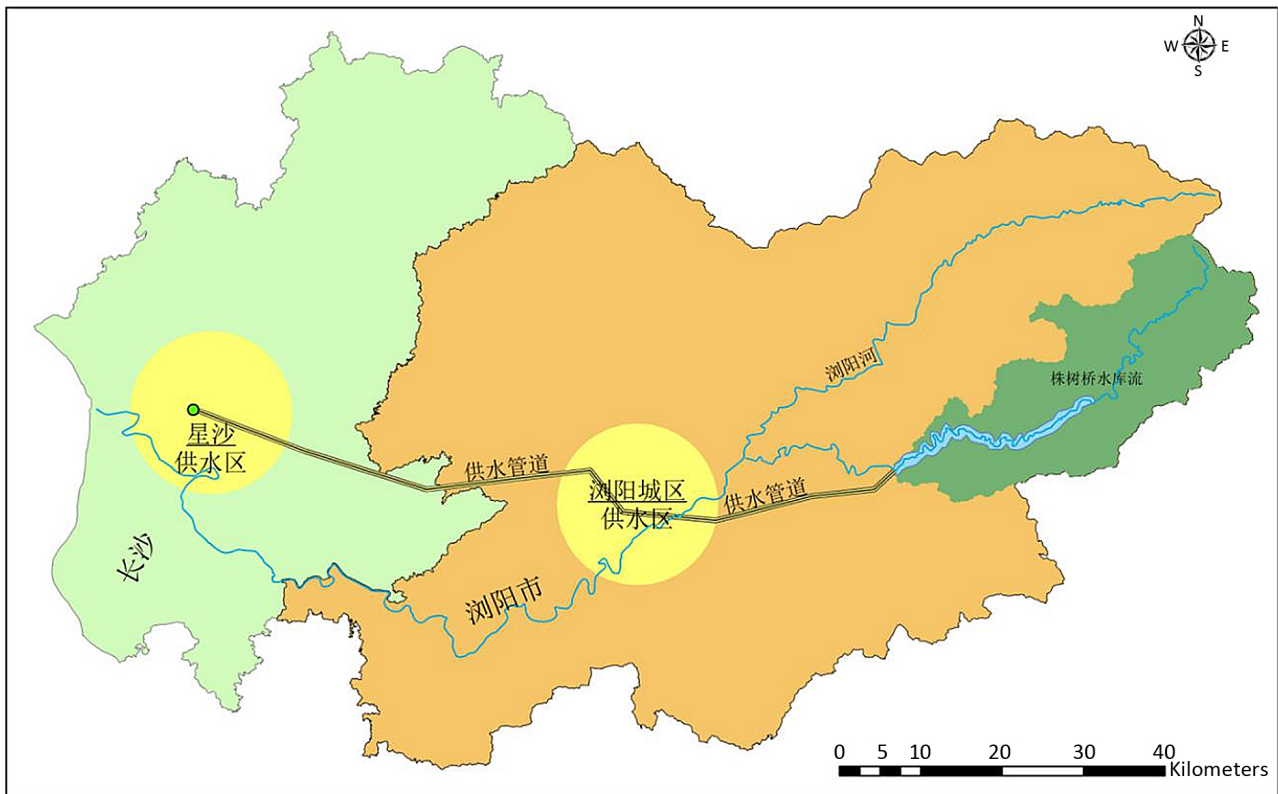


Figure 1. Location of the Zhushuqiao Reservoir

图 1. 株树桥水库位置图

馆、修理店、医疗卫生等特种污染情况。大部分的生活垃圾缺乏管理，大多直接堆放在保护区的周边，通过雨水淋溶和冲刷汇入地表径流流入水库。

根据《浏阳市污染源普查技术成果》及株树桥水库管理局 2012 年对株树桥水库水源保护区流域污染源情况调查报告，株树桥水库周边工业废水产生量及排放总量约为 4373 t，废水中 COD 排放量 35.89 t、氨氮排放量 3.51 t；库区禽畜养殖业造成的 COD 排放量为 21.53 t/年，氨氮排放量为 4.31 t/年；而株树桥水库流域乡镇生活污水和三产污染都是以化学需氧量、氨氮、总磷为主。

## 4. 水源地综合治理

### 4.1. 水源地饮用水水源保护区划分

株树桥水库属于 II 型水库，根据饮用水水源地生态系统结构，依照《饮用水水源保护区划分技术规范》(HJ/T338-2007)的要求[8]，2014 年，划分了三级株树桥水库饮用水水源地保护区：

一级保护区(对应《条例》中的核心保护区)：丁家湾水电站大坝至株树桥水库大坝水域及两岸至第一层山脊线以内的株树桥水库集水区域；

二级保护区(对应《条例》中的一级保护区)：张坊镇小河河口至丁家湾水电站大坝及两岸水平外延 500 米以内的株树桥水库集水区域；

准保护区(对应《条例》中的自然保护区)：小溪河源头(上洪七星岭)至张坊镇小河河口。

### 4.2. 生活污水、垃圾治理

株树桥水库饮用水水源地保护区加强对农村及城镇生活污水处理，处理后排放水质达到《污水综合排放标

准》(GB8978-1996)一级标准。农村生活污水采用“先收集、后处理”模式,收集系统主要分单户收集系统和集中收集系统两大类。生活污水收集后根据保护区内村庄分布呈现大分散、小集中的格局的特点和人口分布、土地条件等具体实际因素,采用分散 + 集中相结合的方式组合技术处理。因为株树桥水库区内土地资源较为丰富,具体组合技术采用预处理 + 人工湿地工艺,投资、运行成本较低,维护管理简单。

农村生活垃圾合理布局后,以“无害化、减量化、资源化”的原则处理废弃物。根据实际情况,株树桥水库保护区采用“户分类 - 村集中 - 乡镇处理”的技术模式,镇建设大型焚烧净化炉,将乡镇街道收集的垃圾集中起来,运送到焚烧净化炉进行焚烧,个别乡镇如张坊镇因焚烧不了的量,用专门的垃圾转运车辆运送至浏阳市填埋场处理。

### 4.3. 库区底泥污染治理

在水体没有大范围的外来污染源的情况下,水体污染主要来自于水体底泥中的污染物质释放[9]。所以,对株树桥水库水源地保护区的沉积物疏浚是保护水质的一项重要举措。清理对象主要是沿岸生活垃圾、入库口夹水流携带泥沙形成的污染底泥和养殖场产生的禽畜粪便。

### 4.4. 农田径流控制

株树桥水库饮用水水源地一级保护区内没有农田分布,二级保护区小河、田心至皇碑连片约 1200 亩耕地及张坊镇江口村洪沙组约 1000 亩耕地。农田径流控制主要包括结合农村生活污染源治理,综合利用农作物秸秆,农用残膜的集中回收再利用;削减农药使用量,提高农药利用率;推广应用有机肥,削减化肥使用量。

## 5. 结果与分析

### 5.1. 水质分析

#### 5.1.1. 内梅罗水质评价方法

采用内梅罗污染指数水质评价公式[10]:

$$I_p = \sqrt{\frac{(I_{\max}^i)^2 + (\bar{I})^2}{2}} \quad \bar{I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i, I_i = \frac{C_i}{C_{oi}} \quad (1)$$

式中:  $I_p$  代表内梅罗污染指数,其中  $I_{\max}^i$  是指污染指数最大值,而其中的  $\bar{I}$  指污染指数平均值;  $C_i$  是指第  $i$  项评价因子的实际测量值;  $C_{oi}$  是指参考标准中第  $i$  项评价因子的水质标准值;  $I_i$  是指关于第  $i$  项评价因子的污染指数值[9]。

对于评价因子中的溶解氧,我们这里采用的是金士博的修正公式[11]:

$$\text{溶解氧}(Ci/Li) = \frac{Cm - Ci}{Cm - Li} \quad (2)$$

式中:  $L_i$  是指溶解氧的评价标准,而  $C_m$  是指饱和溶解氧值。

采用内梅罗污染指数评价法,水质评价通常分为三类:当  $I_p \leq 1$  时候,表示评价水体是清洁;当  $1 < I_p \leq 2$  的时候,表示评价水体是轻度污染;当水体  $2 < I_p \leq 3$  的时候,表示评价水质是受污染的[9]。

#### 5.1.2. 评价因子与水质标准的选择

根据长沙市河湖水质监测中心历年来对株树桥水库饮用水水源地开展的每月水质监测成果,本文综合考虑株树桥水库作为国家级水源地实际情况和 2011 年建设前统计的污染状况,以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的 II 类标准来衡量水源地水质标准。本文选择溶解氧、高锰酸盐指数、阴离子表面活性剂、氨氮、总氮、总磷、五日生化需氧量、铜、锌、砷、汞、硒、铅、镉、氟化物、六价铬、石油类、氰化物和挥发酚等 21 个监测指标为评价因子。

### 5.1.3. 水质评价

根据历年来水质监测成果,株树桥水库饮用水水源地 2011 年的各月  $I_p$  值在 0.38~1.04 之间,平均值为 0.64,而 2017 年的各月  $I_p$  值在 0.37~0.73 之间,平均值为 0.58,2018 年的各月  $I_p$  值在 0.37~0.66 之间,平均值为 0.44,2019 年的各月  $I_p$  值在 0.37~0.74 之间,平均值为 0.48。对照水质污染分级标准,株树桥水库饮用水水源地经过 2014 年~2016 年的水质达标建设后,水质整体良好,趋于水体清洁的良性转变。相对于 2011 年,2017 年后各月  $I_p$  值逐年下降,月变化平稳,水质趋好(图 2)。

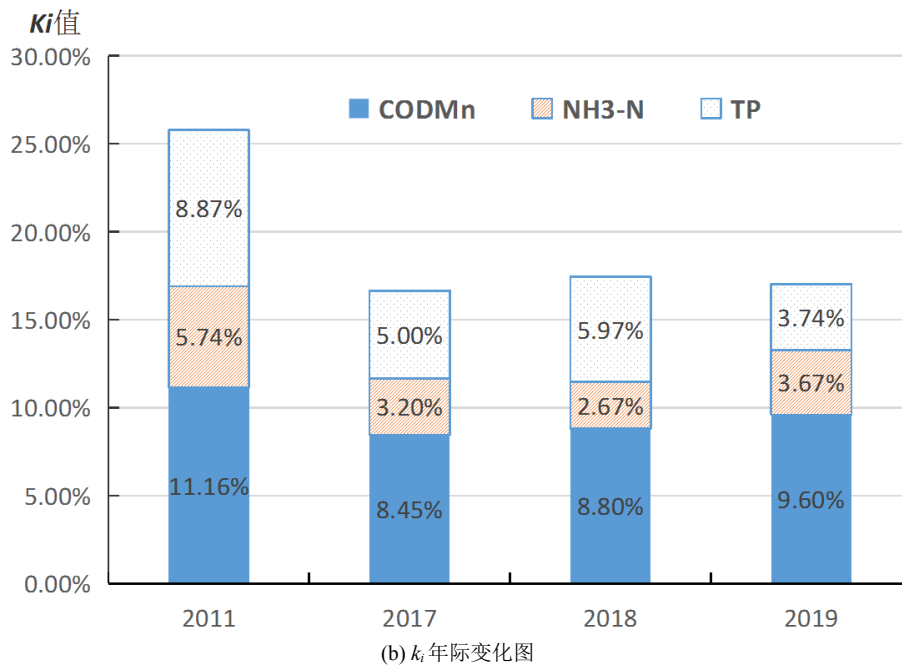
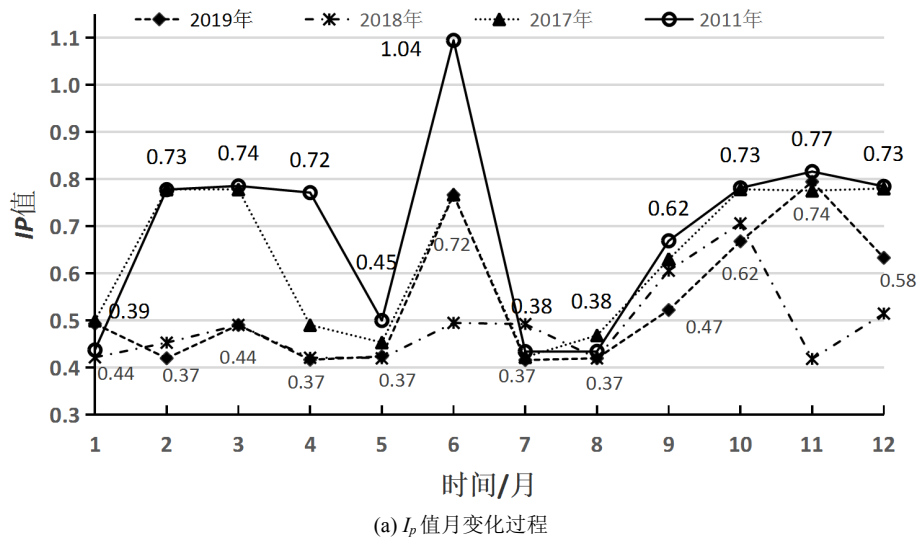


Figure 2. Inter monthly variations of  $I_p$  value and  $k_i$  evaluation factors in Zhushuqiao Reservoir in 2011 and 2017-2019

图 2. 2011 年和 2017~2019 年株树桥水库  $I_p$  值月际和  $k_i$  年际变化图

2011 年,株树桥水库的水质评价因子中,我们发现污染分担率比例排前的主要是高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>, 11.16%)、总磷(TP, 8.87%)和氨氮(NH<sub>3</sub>-N, 5.74%),具体单因子水质数据见表 1。株树桥水库进行水源地水质达标

建设后, 2019 年, 高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>)污染分担率下降到 9.60%, 氨氮(NH<sub>3</sub>-N)污染分担率年平均值达到了 3.67%, 总磷(TP)污染分担率年平均值下降到了 3.74%。

**Table 1.** Annual variations of factors for water quality in Zhushuqiao Reservoir

**表 1.** 株树桥水库水质多因子年度变化

| 年份   | COD <sub>Mn</sub> (mg/L) | TP (mg/L) | NH <sub>3</sub> -N (mg/L) | 水质评价 |
|------|--------------------------|-----------|---------------------------|------|
| 2011 | 1.86                     | 0.038     | 0.12                      | II   |
| 2017 | 1.25                     | 0.017     | 0.06                      | II   |
| 2018 | 1.22                     | 0.021     | 0.05                      | II   |
| 2019 | 1.35                     | 0.013     | 0.06                      | II   |

对比 2011 年, 图 2 中 2011 年和 2017 年至 2019 年株树桥水库  $I_p$  值月际和  $k_t$  年际变化表明, COD<sub>Mn</sub>、TP 浓度和 NH<sub>3</sub>-N 浓度都总体呈现下降趋势, 和同时间段的  $I_p$  值变化情况具有同向性。作为湖库型饮用水水源地的典型代表, 株树桥水库通过 2014 年至 2016 年的水源地水资源综合建设和治理后, 以高锰酸盐指数、总磷和氨氮为主要污染源情况得到明显好转, 整体污染物水体浓度呈现稳步下降趋势, 水资源水质建设得到良性的发展。

## 5.2. 水源地营养化分析

### 5.2.1. 综合营养状态指数

湖库型水源地株树桥水库的水质污染主要是富营养化, 根据《地表水资源质量评价技术规程》SL395-2007 中的湖库营养状态评价方法[12], 以氨氮、总磷、叶绿素 a 等 5 项指标因子综合考虑, 计算公式为:

$$EI = \sum_{n=1}^N En/N \quad (3)$$

式中:  $EI$  为综合营养状态指数; 其中的  $En$  是第  $n$  种指标因子的营养状态指数[12]。

湖泊水库营养状态分级通常以 0~100 的数值进行区分:  $EI$  指数越大, 湖泊水库的富营养程度越大; 其中当综合指数小于 20 时候, 湖泊水库处于贫营养状态; 当综合指数大于 20 小于 50 时候, 湖泊水库处于中营养状态; 当综合指数大于 50 的时候, 此时的湖泊水库处于富营养化状态[12]。

### 5.2.2. 湖库营养化状态评价

**Table 2.** Annual variations of eutrophication in Zhushuqiao Reservoir

**表 2.** 株树桥水库富营养状态年际变化

| 年份   | 营养状态指数 | 营养状态分级( $EI$ )   | 水质评价 |
|------|--------|------------------|------|
| 2011 | 41.90  | 中营养 20 < EI ≤ 50 | 良好   |
| 2017 | 34.60  | 中营养 20 < EI ≤ 50 | 良好   |
| 2018 | 34.75  | 中营养 20 < EI ≤ 50 | 良好   |
| 2019 | 32.85  | 中营养 20 < EI ≤ 50 | 良好   |

株树桥水库综合营养状况评价项目为: 高锰酸盐指数、透明度、总磷、叶绿素 a 和氨氮共 5 项指标[12]。2011 年、2017 年至 2019 年的评价对比表详见表 2。评价结果表明, 2011 年株树桥水库的综合营养状态指数接近 50, 经过 2014 年至 2016 年的水源地水资源达标建设和综合治理后, 2019 年株树桥水库的综合营养状态指数接近 30, 株树桥水库水体的营养状态整体良好, 处于中营养状态, 且营养状态指数逐年下降平稳, 水质趋于转好。

## 6. 结论

株树桥水库水源地经过 2014 年至 2016 年的水资源综合建设后, 污染物来源和治理得到有效的控制, 破坏的生态环境也在逐步有效的修复。以  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、TP 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  为主要污染源的株树桥水库通过水资源综合治理后, 水体污染物浓度近几年稳步下降, 营养状态指数也在逐年下降, 趋于水质总体良性发展, 水质得到进一步改善。为支撑长株潭一体化发展和人口的增长, 还需要进一步加强对水源地污染源的控制, 完善一级保护区的封闭隔离措施, 提高水源地的植被覆盖率和综合环境修复能力, 不断改善饮用水水源区的水质, 为社会经济发展和城市建设提供有力的水资源保障。

## 参考文献

- [1] 郭晶, 王丑明, 黄代中, 李利强, 连花. 洞庭湖水污染特征及水质评价[J]. 环境化学, 2019, 38(1): 152-160.  
GUO Jing, WANG Chouming, HUANG Daizhong, LI Liqiang and LIAN Hua. Characteristics and evaluation of water pollution in Dongting Lake. Environmental Chemistry, 2019, 38(1): 152-160. (in Chinese)
- [2] 唐哲, 肖少怀, 王琪. 长江湖南段入河排污口的调查和监测[J]. 人民长江, 2016, 47(S2): 34-36.  
TANG Zhe, XIAO Shaohuai and WANG Qi. Investigation and monitoring of sewage outlet in the Hunan section of Yangtze River. Yangtze River, 2016, 47(S2): 34-36. (in Chinese)
- [3] 周晓铁, 韩宁宁, 孙世群, 王晓辉, 何翔亮. 安徽省河流和湖库型饮用水水源地水质评价[J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 176-180.  
ZHOU Xiaotie, HAN Ningning, SUN Shiqun, WANG Xiaohui and HE Xiangliang. Assessment of water quality in river-based and lake/reservoir-based drinking water sources in Anhui Province. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(2): 176-180. (in Chinese)
- [4] 李恒鹏, 朱广伟, 陈伟民, 高荣平, 聂小飞, 虞左明, 刁亚芹, 李新艳. 中国东南丘陵山区水质良好水库现状与天目湖保护实践[J]. 湖泊科学, 2013, 25(6): 775-784.  
LI Hengpeng, ZHU Guangwei, CHEN Weimin, GAO Rongping, NIE Xiaofei, YU Zuoming, DIAO Yaqin and LI Xinyan. Current situation of good water quality reservoirs in hilly region of south-east China: protection practices of Tianmuhu Reservoir. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(6): 775-784. (in Chinese)
- [5] 唐哲, 王琪, 申亚兰, 肖少怀. 湖库型铁山水库饮用水水源地水资源评价[J]. 人民长江, 2017, 48(S2): 104-107+192.  
TANG Zhe, WANG Qi, SHEN Yalan and XIAO Shaohuai. Water resources assessment of drinking water sources in Tishan lake reservoirs. Yangtze River, 2017, 48(S2): 104-107+192. (in Chinese)
- [6] 杜云彬, 陈求稳, 王智源, 王冬梅, 刘俊杰, 陈诚, 杨延梅, 樊兆航. 江苏省典型湖泊饮用水源地安全综合评价[J]. 水资源保护, 1-13.  
DU Yunbin, CHEN Qiuwen, WANG Zhiyuan, WANG Dongmei, LIU Junjie, CHEN Chen, YANG Yanmei and FAN Zhao-hang. Safety evaluation of typical lake drinking water sources in Jiangsu Province. Water Resources Protection, 1-13. (in Chinese)
- [7] 长沙市地方志编纂委员会. 长沙年鉴(2018) [M]. 长沙: 方志出版社, 2019.  
The Changsha Municipal Government. Changsha Yearbook. Changsha: Fang Zhi Press, 2019. (in Chinese)
- [8] 汪林, 朱京海, 刘家斌. 饮用水水源保护区划分问题探讨[J]. 环境保护科学, 2005(5): 71-73.  
WANG Lin, ZHU Jinghai and LIU Jiabin. Discussion on the division of drinking water source protection areas. Environmental Protection Science, 2005(5): 71-73. (in Chinese)
- [9] 刘杰, 郑西来, 陈蕾, 武成成. 水库沉积物氮磷释放通量及释放规律研究[J]. 水利学报, 2012, 43(3): 339-343.  
LIU Jie, ZHENG Xilai, CHEN Lei and WU Chengcheng. Study on flux and release law of nitrogen and phosphorus of sediment in reservoir. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(3): 339-343. (in Chinese)
- [10] 关伯仁. 评内梅罗的污染指数[J]. 环境科学, 1979(4): 67-71.  
GUAN Boren. Evaluation of Nemerow's pollution index. Environmental Science, 1979(4): 67-71. (in Chinese)
- [11] 金士博, 张孟威. 内梅罗污染指数公式与漓江水质评价[J]. 环境科学, 1980(2): 1-7.  
JIN Shibo, ZHANG Mengwei. Evaluation of Nemerow's pollution index and evaluation of water quality of Lijiang River. Environmental Science, 1980(2): 1-7. (in Chinese)
- [12] SL 395-2007 地表水资源质量评价技术规程[S].  
SL 395-2007 technical specification for quality evaluation of surface water resources. (in Chinese)