

# 东风水库径流区污染负荷分布特征及治理措施分析

李艳艳<sup>1</sup>, 程智龙<sup>2</sup>, 刘龙志<sup>1</sup>, 杜 焱<sup>2</sup>, 蒲 伟<sup>2</sup>, 杨召波<sup>2</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

**摘 要:** 为探究玉溪市东风水库径流区污染负荷的分布特征,对东风水库径流区总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、化学耗氧量(COD)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)等污染物排放负荷多年平均值进行了分析。结果表明,入库河流水质超标,需进行综合治理并加强水源涵养和生态保护;造成点源污染的主要原因是大量餐饮污水直排入河;造成面源污染的主要原因是径流污染严重,沿岸村庄散养畜禽粪便随降雨径流入河,水土流失严重,部分河段淤积严重,生活垃圾较多,影响水质。据此确定了水库径流区污染重点治理的区域及污染治理策略。此研究结果可为国内水库径流区污染防治提供案例依据。

**关键词:** 东风水库; 污染负荷; 空间分布; 污染治理

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0007-06

## Analysis of Pollution Load Distribution and Pollution Control Measures in Dongfeng Reservoir Runoff Area

LI Yan-yan<sup>1</sup>, CHENG Zhi-long<sup>2</sup>, LIU Long-zhi<sup>1</sup>, DU Yao<sup>2</sup>, PU Wei<sup>2</sup>, YANG Zhao-bo<sup>2</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

**Abstract:** In order to explore the distribution characteristics of pollution load in the runoff area of Dongfeng reservoir in Yuxi City, the multi-year average pollutant discharge loads of TN, TP, NH<sub>3</sub>-N, COD and BOD<sub>5</sub> in the runoff area of Dongfeng reservoir were analyzed. The results showed that the water quality of the inflow rivers exceeded the requirement level so that it was urgent to carry out comprehensive treatment to strengthen water conservation and ecological protection. The main causes of point source pollution were rural restaurant sewage discharged directly, and the main causes of non-point source pollution were serious runoff pollution. The factors including scattered livestock and poultry excrement in coastal villages with rainfall runoff into the river, serious soil and water loss, serious deposition of some river sections, and much domestic garbage affected the water quality. Based on this, the key areas of pollution control in reservoir basin and the pollution control measures were determined. The results of this study could provide a case basis for the prevention and control of pollution in domestic reservoir runoff area.

**Key words:** Dongfeng reservoir; pollution load; space distribution; pollution control

流域生态环境恶化引起的湖泊、水库富营养化,严重影响着生态、经济的可持续发展以及人类自身

的安全,城市供水水源地水库水体的污染后果极其严重<sup>[1]</sup>。为了缓解流域水环境问题,促进流域水资

源合理利用,实现社会经济与环境资源的和谐发展,对流域实施污染物总量控制刻不容缓<sup>[2-3]</sup>。

目前已有学者对不同流域内的污染负荷模拟进行了研究<sup>[4-8]</sup>,提出的治理方案在后期均取得了良好的效果。

在前人经验的基础上,研究了东风水库径流区污染的分布特征,对总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮( $\text{NH}_3 - \text{N}$ )、化学耗氧量(COD)、生化需氧量( $\text{BOD}_5$ )的排放负荷多年平均值进行了分析,并确定了水库流域污染重点治理的区域及污染治理策略。此研究结果可为其他水库径流区污染负荷分析及综合防治措施制定提供参考。

## 1 研究区概况

东风水库是玉溪市的主要城市供水水源地,其径流面积为 $309.5 \text{ km}^2$ ,总库容为 $9\,060 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,实际供水量为 $6\,970 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,随着东风水库径流区人口的不断增长,周边村社城镇化速度不断加快以及流域内农牧业的增长,流域内人均排污量以及各种农牧业污染物的排放量也不断增加,大量的农药、化肥、牲畜粪便、垃圾等进入库区,致使水库水质不断恶化,严重影响城市供水安全。

目前东风水库水质处于中度富营养化状态,并且呈现进一步恶化趋势。部分水质指标没有达到源水水质标准,使玉溪市主城区面临水质型缺水问题。东风水库径流区地势东北高西南低,境内较大支流主要有赵元河、九溪河和董炳河,如图1所示。

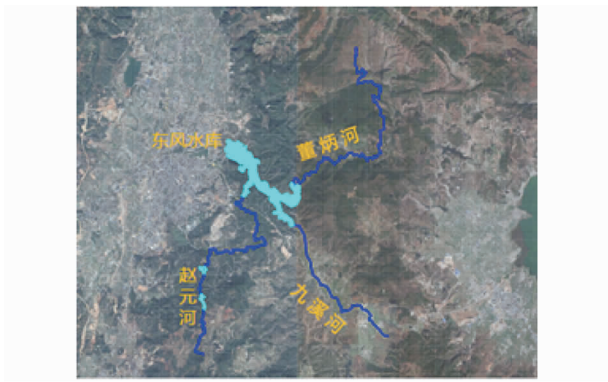


图1 东风水库径流区及主要支流

Fig. 1 Runoff area and main tributaries of Dongfeng reservoir

为探究东风水库径流区污染分布特征,选取2007年—2017年东风水库径流区TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、COD、 $\text{BOD}_5$ 等污染物排放负荷平均值进行分析,不同月份下污染物含量如图2所示。

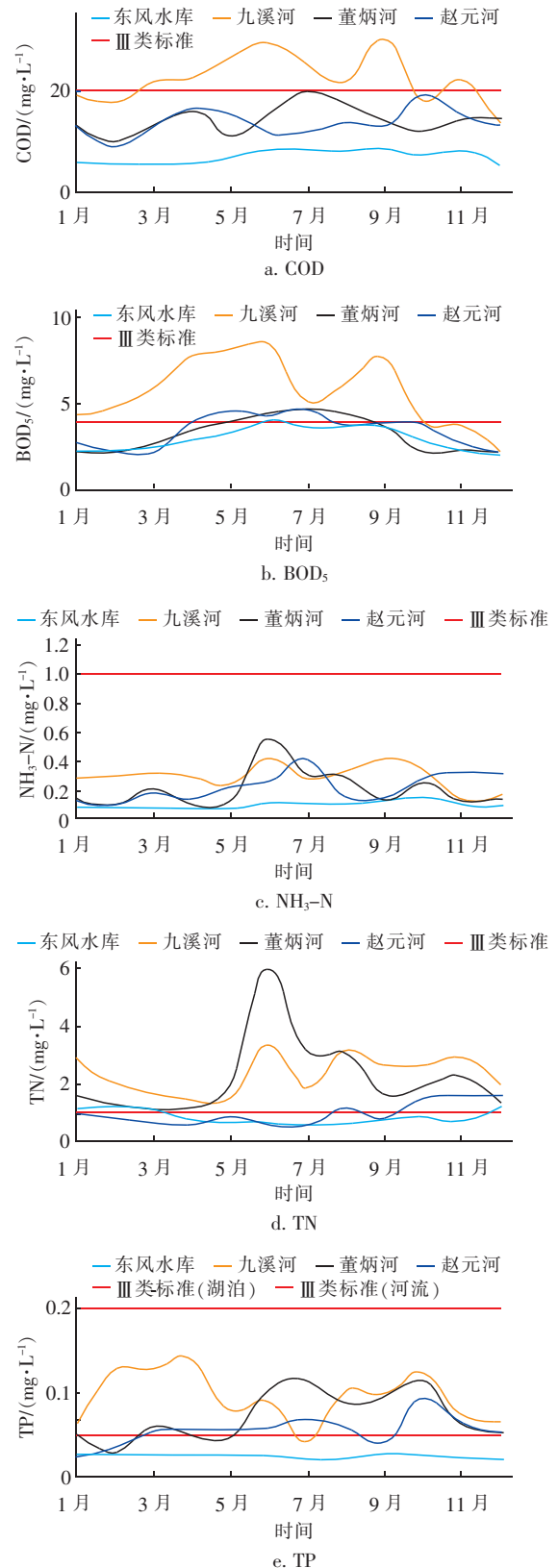


图2 库区及主要支流水质多年平均变化趋势

Fig. 2 The average change trend of water quality in reservoir area and main tributaries

由图 2(a)可知,东风水库库区 COD 含量全年在 3.0 mg/L 左右,波动幅度不大,其状态低于地表水Ⅲ类标准(COD 限值为 20.0 mg/L)。三条支流的 COD 含量差别比较明显。三条支流的 COD 含量在 2 月份较低,九溪河 COD 含量整体明显高于董炳河和赵元河。与地表Ⅲ类水标准相比,董炳河和赵元河全年处于达标状态。九溪河在 3 月—11 月基本处于超标状态,且波动幅度较大,其中 6 月和 9 月超标严重。

由图 2(b)可知,东风水库库区 BOD<sub>5</sub> 含量平均为 0.29 mg/L,低于地表水Ⅲ类标准(BOD<sub>5</sub> < 4 mg/L)。赵元河 BOD<sub>5</sub> 含量在 4 月—7 月超标,董炳河在 5 月—9 月超标,但超标程度比较轻微。九溪河在 10 月—12 月基本处于达标状态,其余月份均处于超标状态,且波动幅度较大。

由图 2(c)可知,东风水库库区 NH<sub>3</sub>-N 含量为 0.08~0.16 mg/L,处于稳定达标状态(地表水Ⅲ类水质标准 NH<sub>3</sub>-N 限值为 1.0 mg/L)。另外,三条支流水体 NH<sub>3</sub>-N 含量全年处于达标状态。董炳河 NH<sub>3</sub>-N 含量在 6 月达到峰值(0.56 mg/L),赵元河 NH<sub>3</sub>-N 含量在 7 月达到峰值 0.42 mg/L,九溪河 NH<sub>3</sub>-N 含量普遍较高,但其峰值为 0.43 mg/L,低于董炳河,但略高于赵元河。

由图 2(d)可知,东风水库库区 TN 含量在 0.54~1.2 mg/L 范围内波动,与Ⅲ类水质标准(TN 限值为 1.0 mg/L)相比,1 月、2 月及 12 月水体 TN 处于超标状态,其余月份处于达标状态。董炳河 TN 含量(1.0~6.1 mg/L)波动幅度最大,在 6 月达到峰值(6.1 mg/L),严重超标。赵元河 TN 含量在 10 月—12 月处于超标状态,其峰值为 1.65 mg/L,其他月份波动范围不大。九溪河 TN 含量处于整体超标状态,其峰值为 3.46 mg/L。

由图 2(e)可知,与Ⅲ类湖泊水质标准(TP ≤ 0.2 mg/L)相比,东风水库库区和三条支流总磷含量全部达标。

通过以上分析可知,三条主要支流入库水部分水质超标,需进行综合治理并加强水源涵养和生态保护。

2 污染源分析

在 GIS 支持下,依据污染源形成特点,将东风水库研究区域划分为服务业污染、生活污水、固体废弃物、人畜粪便、化肥流失、生活垃圾、农业固废和水土流失。各污染负荷的计算基础数据来自于乡镇年鉴及收集统计资料,根据输出系数法统计了污染源的污染物排放量和污染负荷排放总量,结果如表 1~3 所示。

表 1 九溪河流域污染负荷排放总量

Tab. 1 Total discharge of pollution load in Jiuxi River basin

项目	污染源	排放量	COD/ (t·a <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (t·a <sup>-1</sup> )	TN/ (t·a <sup>-1</sup> )	TP/ (t·a <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (t·a <sup>-1</sup> )
点污染源	服务业	10.09 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /a	131.19		3.30	0.45	1.64
面污染源	生活污水	62.4 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /a	162.23	39.57	49.46	4.35	34.62
	人畜粪便		182.72	116.96	23.37	4.71	
	化肥流失				186.63	9.74	
固体	生活垃圾	1 485.2 t/a			5.94	1.34	
废弃物	农业固废	2 817.56 t/a			13.10	2.96	
水土流失	水土流失	14.84 × 10 <sup>4</sup> t/a			25.52	19.29	

表 2 董炳河流域污染源污染负荷排放总量

Tab. 2 Total discharge of pollution load in Dongbing River basin

项目	污染源	排放量	COD/ (t·a <sup>-1</sup> )	BOD <sub>5</sub> / (t·a <sup>-1</sup> )	TN/ (t·a <sup>-1</sup> )	TP/ (t·a <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> -N/ (t·a <sup>-1</sup> )
点污染源	服务业	427.05 m <sup>3</sup> /a	0.92		0.016 7	0.002 75	0.007 6
面污染源	生活污水	22 × 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /a	56.36	13.75	17.18	1.51	12.03
	人畜粪便		82.04	52.53	10.50	2.13	
	化肥流失				184.22	9.61	
固体	生活垃圾	515.53 t/a			2.06	0.46	
废弃物	农业固废	2 224.82 t/a			20.69	4.67	
水土流失	水土流失	12.11 × 10 <sup>4</sup> t/a			20.83	15.74	

表3 赵元河流域污染源污染负荷排放总量

Tab.3 Total discharge of pollution load in Zhaoyuan River basin

项目	污染源	排放量	COD/ ( $t \cdot a^{-1}$ )	BOD <sub>5</sub> / ( $t \cdot a^{-1}$ )	TN/ ( $t \cdot a^{-1}$ )	TP/ ( $t \cdot a^{-1}$ )	NH <sub>3</sub> -N/ ( $t \cdot a^{-1}$ )
面污染源	生活污水	$4.1 \times 10^4 m^3/a$	10.49	2.56	3.20	0.28	0.96
	人畜粪便		10.47	6.73	1.86	0.34	
	化肥流失				10.88	0.57	
固体	生活垃圾	95.92 t/a			0.38	0.09	
废弃物	农业固废	164.26 t/a			1.53	0.34	
水土流失	水土流失	26 200 t/a			4.51	3.41	

由表1可知,九溪河的服务业、生活污水和人畜粪便是COD污染的主要污染源,人畜粪便所占比重最大;生活污水和人畜粪便是BOD<sub>5</sub>的主要污染源,人畜粪便占74.72%,生活污水占25.28%;在TN污染负荷中,化肥流失是主要污染源,其比例占60.74%,生活污水占16.09%,水土流失占8.31%,农业固废占4.26%,人畜粪便占7.60%,生活垃圾站1.93%,服务业占1.07%。在TP污染负荷中,水土流失是主要污染源,其比例占45.04%,化肥流失比例占22.73%,生活污水占10.16%,农业固废占6.91%,人畜粪便占10.99%,生活垃圾站3.12%,服务业占1.05%。服务业和生活污水是NH<sub>3</sub>-N的主要来源。

由表2可知,董炳河流域的生活污水和人畜粪便是COD污染的主要来源,人畜粪便所占比例为58.89%,生活污水占40.45%,服务业占0.66%。生活污水和人畜粪便是BOD<sub>5</sub>污染的主要来源,生活污水占20.74%,人畜粪便占79.26%。在TN污染负荷总量中,化肥流失是主要污染源,其比例占72.10%,水土流失占8.15%,农业固废占8.10%,生活污水占6.73%,人畜粪便占4.11%,生活垃圾占0.80%,服务业占0.01%。在TP污染负荷总量中,水土流失是主要污染源,其比例占46.12%,化肥流失比例占28.16%,农业固废占13.69%,人畜粪便占6.23%,生活污水占4.43%,生活垃圾占1.36%,服务业占0.01%。生活污水和服务业是NH<sub>3</sub>-N污染的主要来源,二者所占比例分别为99.94%和0.06%。

由表3可知,赵元河流域的生物污水和人畜粪便是COD污染的主要来源,二者所占比例基本一致。生活污水和人畜粪便是BOD<sub>5</sub>污染的主要来源,人畜粪便占72.45%,生活污水占27.55%。在TN污染负荷总量中,化肥流失是主要污染源,其比

例占48.65%,水土流失占20.18%,生活污水占14.30%,人畜粪便占8.32%,农业固废占6.83%,生活垃圾占1.72%。在TP污染负荷总量中,水土流失是主要污染源,其比例占67.85%,化肥流失占11.29%,人畜粪便占6.68%,农业固废占6.86%,生活污水占5.60%,生活垃圾占1.72%。此外,生活污水是NH<sub>3</sub>-N的主要来源。

结合GIS地形图,可知造成点源污染的主要原因是镇域餐饮污水通过沟渠排入河道。造成面源污染的主要原因是农村污水管网敷设不完善,生活污水随降雨径流入河,沿河两侧有大范围农田,径流污染严重;沿岸村庄散养畜禽粪便随降雨径流入河;九溪河、董炳河下游两岸坡度较大,水土流失严重;部分河段淤积严重,生活垃圾多,影响水质;村庄入河排水沟生活垃圾堆积较为普遍,严重影响下游水质。

### 3 污染治理措施

根据东风水库径流区域水质现状及污染负荷削减目标,本着重点治理、防治结合的原则,削减入河污染物主要通过一级拦截和二级拦截两种方式。一级拦截包括了农村生活污染综合治理及面源污染治理。二级拦截主要通过末端人工湿地实施。总体治理思路如图3所示。

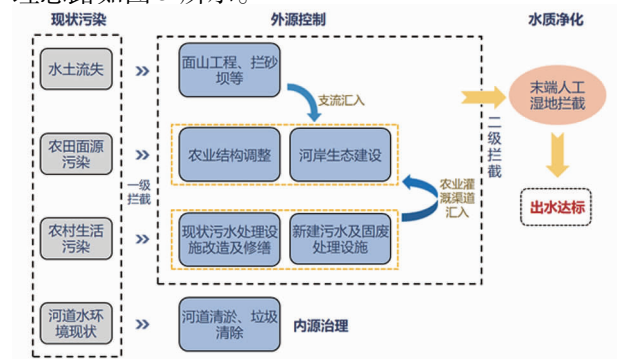


图3 流域污染治理总体思路

Fig.3 General idea of watershed pollution control

① 农村生活污染治理。对已建污水管网及污水处理设施的村落进行管道清淤和污水处理设施改造;对需要新建污水管网及污水处理设施的村落的现有沟渠进行改造,并新建主干管和一体化污水处理设施;对于人口稀少的偏远村庄,利用现有沟渠建设自然净化系统;在居民相对较为集中的地区,集中建设生活污水处理设施,处理工艺采用一体化生物接触氧化、曝气生物滤池等技术。流域内共有15个行政村、1个社区、60个自然村,改造及新建污水管渠约26 km,新建一体化污水处理设备34套,合计污水处理规模约4 000 m<sup>3</sup>/d。针对农村生活垃圾,建立完善垃圾收集、运输及处理系统,采用“户集中、村收集、(乡)镇转运、县处理”的城乡一体化处置模式。

② 面源污染治理。主要包含农田面源污染及水土流失污染,其中农田面源污染采用源头控制结合末端治理的方式。源头控制主要是通过政府引导调整种植模式、科学施肥、减少农药用量,使农田中的养分保持平衡,减少氮磷等营养物质的积累量与流失量;末端治理采取滨河绿带、生态缓冲带、生态塘及末端湿地相结合的方法。根据农田分布和流域地形条件,在九溪河下游建设九溪湿地,设计处理量为 $6 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,湿地占地面积为 $12 \times 10^4$  m<sup>2</sup>。在董炳河末端建设大矣资湿地,设计处理量为 $3 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,湿地面积约为 $10 \times 10^4$  m<sup>2</sup>。水土流失污染通过在河道支流末端设置拦砂坝,在九溪河及董炳河主要支流上已共建12座拦砂坝,预计拦砂量约为 $15.5 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/a,在赵元河上游干流上拟建1座拦砂坝,拦砂量约1 200 m<sup>3</sup>/a。

③ 内源治理。河道内共清除淤泥约12 000 m<sup>3</sup>,采取自然干化方式,干化后的淤泥用于绿化种植。为避免降雨期河水携带垃圾进入东风水库,在河道末端设置清污闸拦截收集河道垃圾,九溪河末端已建1#拦污闸,在董炳河末端相对平缓的地段新建1座拦污闸,采取合页坝结合清污机的布置型式拦截清理河面垃圾。

④ 河道生态修复。按照海绵城市理念对河道岸线进行生态修复,利用岸线空间建设植草沟、卵石沟、雨水花园等LID设施,截留净化河道周边雨水径流,生态护岸主要采用生态护垫、生态石笼、生态连锁砖、土工袋及草皮等形式。九溪河拟建生态护岸3.8 km,董炳河拟建生态护岸22.5 km,赵元河拟建

生态护岸3.7 km。根据地形地势,建议河道主要断面选择梯形断面、堆石断面及复合型断面三种,如图4所示。

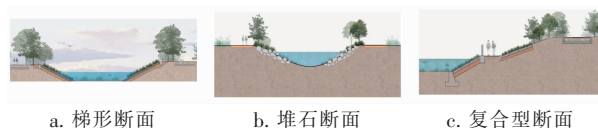


图4 河道断面形式

Fig. 4 Channel profile

#### 4 结论

对东风水库径流区总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、化学耗氧量(COD)、生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)的污染物排放负荷多年平均值进行了分析,研究了东风水库径流区污染的分布特征,发现入库主要三条河流水质不同程度超标,亟需进行综合治理并加强水源涵养和生态保护。通过实测数据分析,发现造成东风水库径流区点源污染的主要原因是餐饮污水直接排入河流;造成东风水库径流区面源污染的主要原因是沿河两侧有大范围农田,径流污染严重;沿岸村庄散养畜禽粪便随降雨径流入河;九溪河、董炳河下游两岸坡度较大,水土流失严重;部分河段淤积严重,生活垃圾较多,影响水质;村庄入河排水沟生活垃圾堆积较为普遍,严重影响下游水质。根据分析结果确定了水库流域污染重点治理的区域、污染治理总体思路及治理方案,并给出了具体治理措施和河道改造形式,此研究结果可为水库径流区污染负荷分析及综合治理提供案例依据。

#### 参考文献:

- [1] 杨林章,冯彦房,施卫明,等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报,2013,21(1): 96-101.  
Yang Linzhang, Feng Yanfang, Shi Weiming, et al. Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 96-101 (in Chinese).
- [2] 张丹,杨洪霞,段慧,等. 我国非点源污染的基本特征与时空分布规律研究综述[J]. 四川环境,2014,33(4):140-145.  
Zhang Dan, Yang Hongxia, Duan Hui, et al. Study on the basic characteristics and spatial and temporal distribution regularities of non-point source pollution in China [J].

- Sichuan Environment, 2014, 33 (4): 140 - 145 (in Chinese).
- [3] 戴会超,毛劲乔,张培培,等. 河道型水库富营养化及水华调控方法和关键技术[J]. 水利水电技术,2015,46(6):54-58,66.
- Dai Huichao, Mao Jinqiao, Zhang Peipei, *et al.* Key technologies and methods for regulation and control of eutrophication and algal blooms in channel-type reservoirs [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015,46(6):54-58,66 (in Chinese).
- [4] 马广文,王圣瑞,王业耀,等. 鄱阳湖流域面源污染负荷模拟与氮和磷时空分布特征[J]. 环境科学学报,2015,35(5):1285-1291.
- Ma Guangwen, Wang Shengrui, Wang Yeyao, *et al.* Temporal and spatial distribution characteristics of nitrogen and phosphorus and diffuse source pollution load simulation of Poyang Lake basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015,35(5):1285-1291 (in Chinese).
- [5] 和晓荣,王秀英,和武. 金沙江中游库区水污染综合防治措施研究[J]. 水利水电技术,2015,46(12):71-76.
- He Xiaorong, Wang Xiuying, He Wu. Study on comprehensive water pollution control measures for reservoir areas along mid-reach of Jinshajiang River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2015,46(12):71-76 (in Chinese).
- [6] 康启燕,张富,陈瑾,等. 安家沟流域面源污染空间分布特征[J]. 四川农业大学学报,2015,33(4):415-421.
- Kang Qian, Zhang Fu, Chen Jin, *et al.* Spatial distribution characteristics of non-point pollution in the Anjiagou watershed [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2015,33(4):415-421 (in Chinese).
- [7] 薛亚东. 松华坝水库上游牧羊河氮、磷主要来源研究[J]. 水生态学杂志,2009,2(6):132-134.
- Xue Yadong. Main source of nitrate and phosphate pollutant in Muyang River of Songhuaba Reservoir [J]. Journal of Hydroecology, 2009, 2 (6): 132 - 134 (in Chinese).
- [8] 冯建社,凌绍华. 洋河水库污染现状及防治对策探讨[J]. 环境与发展,2014,26(3):109-111.
- Feng Jianshe, Ling Shaohua. Discussion on Yanghe reservoir pollution and control measures [J]. Environmental and Development, 2014,26(3):109-111 (in Chinese).



作者简介:李艳艳(1988-),女,河南民权人,硕士,工程师,主要从事水利工程、黑臭水体综合整治设计工作。

E-mail:ttklly@126.com

收稿日期:2018-10-22

为了幸福家园,请节约身边水资源