

# 外源污染对山美水库总氮和总磷的影响分析

李燕<sup>1,2</sup>, 马晓婷<sup>1,2</sup>, 焦键<sup>1,2</sup>, 贾尔恒·阿哈提<sup>1,2</sup>

(1 新疆环境保护科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆环境污染监控与风险预警重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 基于有限体积法建立了山美水库二维水量-水质耦合模型,就2010年8-10月份流域外源污染负荷对山美水库总氮与总磷的影响机理进行分析。结果表明:外源污染负荷总氮和总磷进入水库后不断迁移扩散至整个水库约经历20 d,水质整体上从Ⅲ类水降为Ⅳ~劣Ⅴ类;水库Ⅰ区总氮与总磷浓度分别增加0.16~1.32和0.12~0.34 mg/L,Ⅱ区受外源影响较小,总氮与总磷浓度增加0.05和0.075 mg/L;自入库区至出库区不同区域总氮与总磷浓度变幅较大且依次递减,并在时间上呈现一定的滞后性。研究表明:在较短时间内山美水库水质恶化主要由外源污染所致。最后结合流域内水环境现状,提出改善山美水库水环境质量的工程措施。

**关键词:** 外源污染;水环境模型;总氮;总磷;山美水库

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2015)04-0093-06

## Influence of exogenous pollution on total nitrogen and total phosphorus in Shanmei reservoir

LI Yan<sup>1,2</sup>, MA Xiaoting<sup>1,2</sup>, JIAO Jian<sup>1,2</sup>, JIA Erheng · Ahati<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Academy of Environmental Protection Science, Urumqi 830011, China;

2. Xinjiang Key Laboratory for Environmental Pollution Monitoring and Risk Warning, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** The paper established 2D coupling model of water quality and water quantity based on the finite volume method, and analyzed the influence mechanism of exogenous pollution on total nitrogen and total phosphorus of Shanmei Reservoir from August to October 2010. The results showed that it cost 20 days for the exogenous pollution to spread from outside of the reservoir to the whole reservoir by transportation and diffusion, and the water quality of reservoir also dropped from Ⅲ class to Ⅳ class, even inferior V class correspondently; the total nitrogen and total phosphorus concentration of area I increased by 0.16-1.32mg/L and 0.12-0.34mg/L, while area II had little influence of exogenous pollution, that of area II just increased by 0.05mg/L and 0.075mg/L; the total nitrogen and total phosphorus in different areas from reservoir entrance to reservoir exit changed greater and showed a decreasing trend and presented certain lag in time. The results indicated that the water deterioration of reservoir is mainly caused by exogenous pollution in a short time. Last, the paper put forward corresponding engineering measures to improve the water environment of reservoir basin in accordance with combining the situation of water environment in Shanmei reservoir basin.

**Key words:** exogenous pollution; model of water environment; total nitrogen; total phosphorus; Shanmei Reservoir

## 1 研究背景

随着水源地水资源量短缺与日益增加的需水量之间的矛盾不断加剧,地表水资源集中地水库已成

为区域水资源存储调配的首选。水库既是调节区域水资源时空分布的主要手段,也是满足区域生产、生活用水的可靠保证<sup>[1]</sup>。山美水库位于福建省晋江东溪中游,是“泉州市人民的生命库”和“泉州的生

收稿日期:2015-03-16; 修回日期:2015-04-27

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2013211B44)

作者简介:李燕(1989-),女,宁夏固原人,硕士研究生,助理工程师,主要从事环境流体力学及水环境污染防治方面的研究。  
通讯作者:马晓婷(1988-),女,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事生态环境保护方面的研究。

态调节器”,承担着下游 400 万人口的生产生活和农业灌溉用水,同时还兼顾跨流域调水调蓄与水力发电<sup>[2]</sup>。近年来,随着流域内社会经济的迅速发展,进入山美水库的污染物负荷逐年增加,水库水环境质量不断下降,进出口区水质超标现象频繁出现,水体富营养化显现<sup>[3]</sup>。为确保下游居民的饮用水安全和水源地水资源可持续开发利用,保护与防治山美水库水环境污染问题势在必行。目前,对水库水质变化研究多限于流域基本水环境问题调研,如林文娇<sup>[4]</sup>研究了山美水库流域农业非点源污染规律,郑彦莺<sup>[5]</sup>总结分析了山美水库水环境质量年际变化趋势,林志杰<sup>[6]</sup>研究了水库水体富营养化趋势及防治对策等,周真明等<sup>[7-8]</sup>对山美水库流域表层沉积物中的农药以及总氮和总磷的分布特征进行研究。但鲜有就山美水库流域外源污染负荷对其水质的影响程度进行研究。为此,本文建立山美水库二维水环境数值模型,有效模拟了水库外源污染负荷对其水环境质量变化的影响作用,并根据研究结果提出改善水库水环境质量的有效措施<sup>[9]</sup>。

## 2 流域环境质量现状

### 2.1 山美水库水环境现状分析

根据《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002),通过单因子评价法对山美水库流域 2010 年 5 - 7 月份水环境状况评价。主要支流桃溪与胡杨溪水质均为 IV ~ 劣 V 类,其中总氮严重超标,其浓度基本高于 2.00 mg/L。利用水体综合指数法对山美水库水体营养状态进行评价得,水库综合营养状态指数在 40 ~ 55 之间,即水库水体处于中营养状态。分析表明,主要由水质指标总氮和总磷严重超标所致,特别的库区总氮浓度在 2.30 ~ 4.02 mg/L 之间,均为劣 V 类水质标准。水库总氮、总磷浓度从上游入口至出库区总体上呈递减趋势。

### 2.2 流域污染负荷分析

山美水库水质恶劣的主要原因为其支流桃溪、胡杨溪流域的工业废水、城镇生活污水、城镇径流、农村生活、畜禽养殖以及农田径流等生产生活排污所致。据统计估算,2010 年流域内总氮与总磷的入库量分别为 1143.85 和 176.90 t,其中,总氮主要源于畜禽养殖、城镇生活污水、农田径流以及工业废水,分别占 27.91%、21.56%、15.53% 和 12.57%;总磷主要源于工业废水与畜禽养殖,分别占 33.21% 和 25.56%。分析流域内各地区入库污染负荷量,永春县为流域内主要工业及养殖业集中分布区,即

经桃溪进入山美水库的外源污染负荷较多。

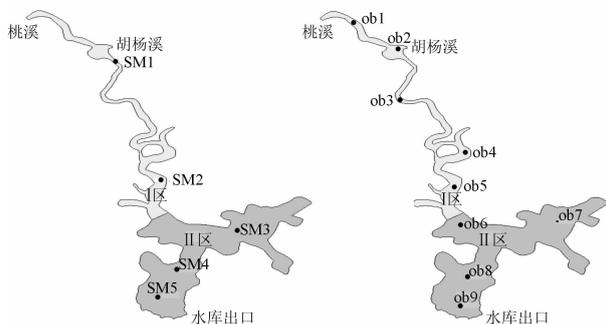
## 3 水库水环境模型建立

基于非结构有限体积法的 RBFVM - 2D 模型建立水动力模块,参考 WASP 模型体系中各水质指标间的反应动力学关系确定水质模块,并将水动力模块耦合到水质模块中建立山美水库水量 - 水质耦合模型<sup>[10-11]</sup>。其中水动力模块以二维水动力学基本方程为主程序,采用非结构有限体积法求解<sup>[12]</sup>,非结构网格可很好地模拟自然水体边界及复杂的水下地形,对网格的密度限制较低,利于水库模型复杂边界条件的建立。山美水库水下地形较复杂多变,库中岛屿暗礁较多,且上游水域窄而流急,中下游至坝前水域宽而水流平缓,为此利用 SMS8.1 采用非结构三角形网格对模拟区域进行剖分,在不影响模拟经度的基础上修正局部网格密度及水下地形。

## 4 外源污染负荷对水库水环境影响模拟分析

### 4.1 水库水环境模型验证

根据山美水库流域 16 个雨量站 1975 - 2010 年长系列降雨资料,通过降雨水文频率计算,选取保证率为 75% 左右的 2010 年降雨资料。结合 2010 年流域水气候特征及环境统计资料,确定利用 2010 年 5 - 7 月份水文、水质数据对水库模型进行验证率定。如图 1(a) 所示,选择库区 SM1 ~ SM5 共 5 个典型水质监测点对其水动力场及主要水质指标总氮、总磷的模拟情况进行率定。



(a) 模型验证水质监测点分布图 (b) 山美水库水质模拟分析点分布图

图 1 山美水库水环境模拟分析点分布图

验证表明,水库水位模拟的相对误差在 1.0% 内,最大绝对误差为 0.57 m,即模型可较好地模拟山美水库水位变化情况,且具有较高的精确度。总氮、总磷的率定情况如图 2 所示,水质指标总氮、总磷的浓度变化过程(图中连续曲线)与其实测值(图

中方形散点)的拟合程度总体上较好。5月份总氮的模拟结果与实测值基本一致,除个别实测数据散点外,其他的均落在相应的模拟曲线上,总磷的率定效果则稍差;6、7月份总氮的模拟精度相对低于总磷。根据库区各监测点总氮的率定分析得,模拟值

与实测值之间的相对误差在1.0%~33.0%之间,即所建水库水环境模型可基本模拟水库总氮、总磷的时空变化过程,相应的模型参数选取合理,模拟精度基本符合要求。

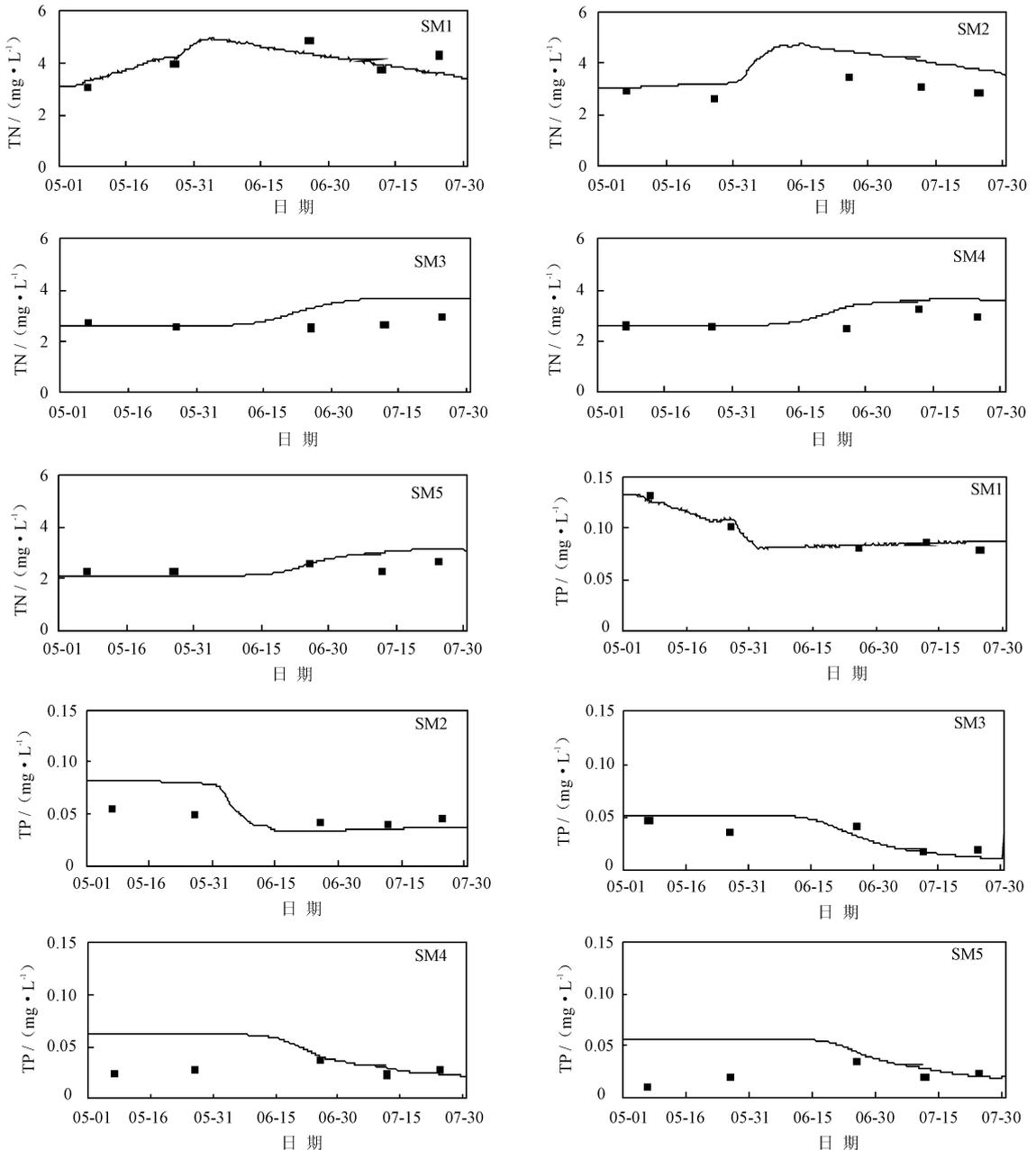


图2 山美水库总氮和总磷率定

#### 4.2 外源污染负荷对水库水质影响模拟

在山美水库水环境模型参数率定基础上,就2010年8~10月份流域内城镇生活、农田径流、畜禽养殖等外源污染负荷对山美水库主要水质指标总氮和总磷的影响作用进行模拟分析。为便于结果分析,简化外源污染负荷经其上游的支流桃溪与湖洋

溪进入水库,模拟库区初始水位取2010年7月31日的平均水位(83.22 m),初始流速为0,水质指标总氮和总磷的初始值分别取1.50和0.036 mg/L,水温取山美水库流域夏季最热平均温度(26~29℃)。如图1(b)所示,在计算区域选择ob1~ob9共9个典型点,对其总氮、总磷的变化情况进行模拟

分析。

流域内污染负荷进入水库后随水流不断迁移扩散至水库各区域,从入库区 ob1 点至出库区 ob9 点总氮、总磷浓度变化在时间上依次呈现一定的滞后性。受不同区域水域面积、水下地形以及水深、流速等因素的影响。计算结束时(10月24日)水库各区域的水质指标总氮、总磷浓度均有不同程度的升高,其中总氮浓度基本在 1.51 ~ 2.82 mg/L 之间(IV ~ 劣V类水),总磷浓度在 0.11 ~ 0.38 mg/L 之间(IV ~ V类水),受影响最大的水库上游水面宽度较小区域总氮、总磷浓度高达 6.79、1.07 mg/L。

流域内各种外源污染物随水流自水库上游入口区流至下游出库过程中,由不同位置观测点水质的影响时间各有差异(图3)。对图3(a)可知,I区中的 ob1 ~ ob3 的总氮浓度变化过程总体上呈双峰形式,受水库入口总氮边界条件的影响,从开始至8月10日的计算过程中,水库上游总氮浓度变化很大。8月7日总氮浓度出现明显的峰值,最大峰值为 6.79, 1.5 ~ 6.79 mg/L, 此后变化呈总体下降趋势。8月20 ~ 27日期间,总氮浓度亦有较大的变化。从时间上分析,3个观测点的总氮浓度变化依次滞后 12 h 左右。从空间上分析,随着各观测点距水库入口距离的增大,其总氮浓度逐渐降低。ob1 ~ ob3 的总氮浓度峰值均在 8月5日前出现,最大峰值浓度分别为 6.09、4.06、6.79 mg/L。计算结束时,水库入口区观测点 ob1 ~ ob3 的总氮浓度在 1.66 ~ 2.82

mg/L,即水质维持在IV ~ 劣V类水。

距离水库入口区较远,受进入水库总氮浓度影响较小,I区中点 ob4 与 ob5 处总氮浓度变化明显滞后于 ob1 ~ ob3 点,且总氮浓度峰值大幅降低。计算开始几日并无变化,之后各观测点的总氮浓度峰值按照观测点所在位置从水库上游至下游依次出现,由于水流扩散稀释及水体自净作用,最大峰值浓度沿程减小。在8月5日至9月10日期间,总氮浓度变化呈双峰形式,2个观测点的峰值浓度差在 0.98 mg/L,观测点距离入库口越远,其峰值差越小。9月中旬以后,各观测点的总氮浓度基本同步变化,总氮浓度稳定在 1.75 mg/L 左右。

距离水库进口较远的II区 ob7 ~ ob9,见图3(b)。氮浓度变化过程曲线呈矮而宽的单峰形式,且无明显峰值。开始计算的 20 d 内总氮浓度基本没有变化,从8月21日起才有所增加。距离出口较远的 ob7 附近水流流动缓慢,水深较小,总氮在水体中浓度增加相对较快,即总氮浓度变化曲线较陡(峰值浓度为 1.87 mg/L),10月24日总氮浓度约为 1.52 mg/L。在水库出口区的点 ob8、ob9 处流速相对较大,但因水深大,水体交换缓慢,且距入库区最远,因此受上游入口总氮排入的影响相对最小,影响时间相对最长。在整个计算过程中,总氮浓度先增后减,最后趋于稳定,计算 20 d 左右时,水库出口处总氮浓度开始上升,最大值在 1.79 mg/L 左右,即污染物中总氮进入水库 20 d 左右影响至整个水库。

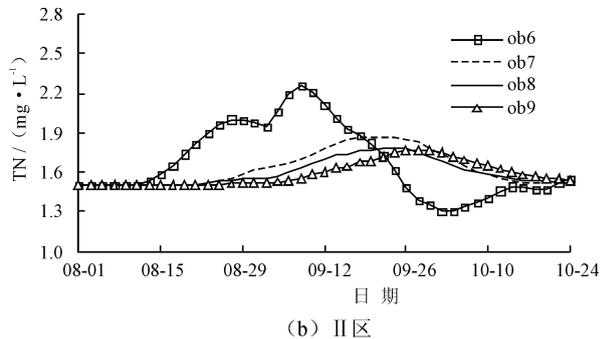
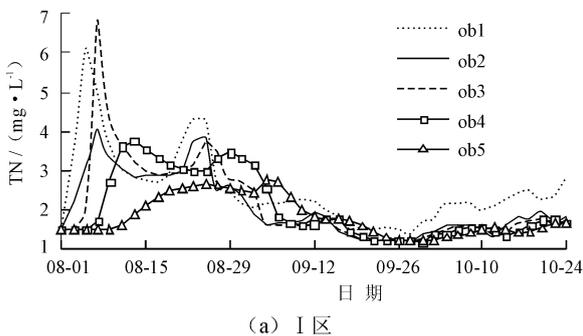


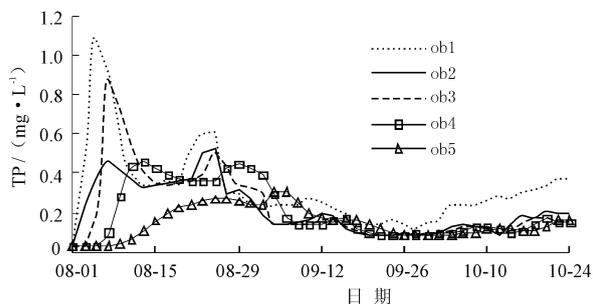
图3 山美水库总氮变化模拟分析

山美水库 2010 年 8 - 10 月份总磷时空变化规律同总氮的变化规律总体一致,外源污染物进入水库库区,对沿途不同区域水质指标总磷的影响各不相同。如图 4(a)所示,I区(图1)的点 ob1 ~ ob4 的总磷浓度变化过程曲线总体上呈双峰形式,且最大峰值随着各观测点距离水库入口的远近而相对滞后出现,最大峰值浓度分别为 1.07、0.53、0.87 和

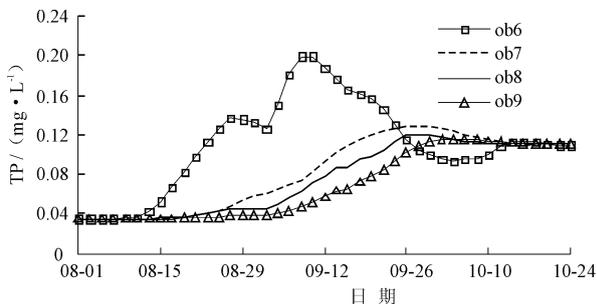
0.46 mg/L,除桃溪入库区点 ob1 总磷变化较不稳定外,点 ob2 ~ ob4 总磷浓度的变化最终趋于稳定后基本维持在 0.16 ~ 0.37 mg/L 之间,即属 IV ~ 劣V类水。点 ob5 的总磷浓度变化相对较滞后,开始一周内并无变化,之后总磷浓度先增后减最后基本趋于稳定(0.16 mg/L)。由于水体的稀释与自净作用,I区点 ob1 ~ ob5 总磷的最大峰值浓度沿程逐渐减

小,总体在 0.31 ~ 1.07 mg/L 之间。

水库 II 区(图 4(b))的点 ob6 总磷浓度较 I 区中 5 点的变化滞后,其总磷浓度变化过程曲线总体上呈先增至最大限值后降低至较稳定状态。位于水库相对最为封闭区域的点 ob7 及出库区的点 ob8 和 ob9 总磷浓度变化过程基本呈“S 形”,总磷浓度先保持不变,随后受上游来水影响逐渐增加至一定值后保持平衡状态。因为距离水库入口最远,且水深大、流速小,故该 3 个观测点的总磷受上游入库污染



(a) I 区



(b) II 区

图4 山美水库总磷变化模拟分析

## 5 山美水库流域外源污染防治措施

根据 2010 年山美水库流域水环境现状及水库外源污染对其水质指标总氮与总磷变化的影响作用,结合流域水环境污染源特征,拟从如下几个方面采取污染防治措施,严格控制外源污染物进入水库。

(1) 畜禽养殖 山美水库流域内畜禽养殖主要有规模化养殖和散养两种方式,其中规模化养殖共计 21 家,主要集中分布在桃溪中下游的永春县。目前养殖场的生产工艺均为湿清粪,废水经稀释后直排,粪渣经简单堆置后,作为果树肥料。为控制畜禽养殖排污,应强化规模化畜禽养殖粪便处置控制,所产生的养殖污水须进行处理达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596-2001)后再行排放。对养殖场生产工艺与污水处理工艺进行改造,减少污水产量,并建设相应的污水处理设施,实行先处理后排放。

(2) 城镇生活污水 目前流域内城镇生活污水主要来源于桃溪和湖洋溪沿线乡镇,由于各城镇污水处理能力有限,多数城镇生活污水处理未达标即排放。针对各个乡镇的具体情况,以乡镇为单位进行污水处理。根据山美水库流域内各乡镇的实际经济水平,适当选用雨污分流制管网,以确保在有限的污水处理能力下,最大限度的处理污水。

(3) 工业废水 对于流域内工业污染严格按照《饮用水水源保护区污染防治管理规定》相关规定,

物中总磷的影响相对最小,影响时间最长。

II 区各观测点的总磷浓度变化过程曲线表明,8 月 19 日起总磷浓度开始增加,经过一段时间到 10 月中旬时,其浓度基本趋于稳定。在整个计算过程中,总磷浓度总体变化比较平稳,模拟结束时(10 月 24 日)总磷浓度约为 0.11 mg/L,说明水库外源污染负荷对出库区水质指标总磷的影响较大,总磷浓度约增加 0.08 mg/L,即水库出口区水质介于 IV ~ V 类水之间。

研究制定出水库饮用水源保护区的工业污染控制方案,特别是污染型工业企业、违规建筑物和建设项目等。目前流域内有 4 家企业设有简易废水处理设施,但废水仍未做到达标排放,建议桃溪永春县段的工业企业产生的废水须经处理达三级排放标准后方可进入相应的污水处理厂。

(4) 水库入口生态工程 山美水库主要支流桃溪和湖洋溪两岸基本为原始生态河岸,在两河汇合处前 2km 至山美水库的入库段,总长约 5km 的河道水量大、水流急,两岸受水流冲击和人为破坏,水土流失尤为严重,导致入库前水中泥砂和氮、磷增加,一定程度上影响入库水质。建议选取水库入库前的该段河道为亲水护岸工程,以消减泥沙和氮、磷入库的入库量,改善入库水质,优化河流两岸景观,并对整个流域河道的整治起到积极的示范作用。

## 6 结语

本文基于二维水量模型,参考 WASP 模型体系中水质因子相互作用原理,建立了山美水库水量-水质耦合模型。根据 2010 年 8-10 月份山美水库流域的水环境资料,利用率定的二维水量-水质耦合模型模拟了流域内外源污染负荷总氮、总磷对水库水质的影响作用。

山美水库水质短期内恶化主要由于其支流桃溪与胡杨流域排污所致,水库外源污染物入库后至对

整个库区水质产生影响历时约 20 d, 水库水质亦从Ⅲ类水恶化至Ⅳ~劣Ⅴ类, 相应的对出库区水质影响相对最小。水库不同区域总氮与总磷浓度变化在时空上呈现一定的滞后性。分析流域内各类污染物排放情况, 致使山美水库水质差、水体营养化的主要原因是流域内畜禽养殖、城镇生活污水以及工业废水超标、超量排污所致。为防止水质进一步恶化, 针对外源污染对山美水库水质的影响分析, 提出了相应的防治措施, 以改善水库水源地水环境质量。

#### 参考文献:

- [1] 哈欢. 广东省大中型水库可持续发展条件下农业水价的建议[J]. 中国农村水利水电, 2007(7): 78-80.
- [2] 陈冬平. 基于 CE-QUAL-W2 模型的山美水库水质模拟[D]. 福州: 福建师范大学, 2012.
- [3] 陈剑峰. 山美水库水污染防治研究[J]. 引进与咨询, 2005(8): 48-50.
- [4] 林文娇. 晋江东溪流域农业非点源污染模拟分析[D].

福州: 福建师范大学, 2009.

- [5] 郑彦莺. 泉州市山美水库流域水环境调查与评价[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(9): 24-26.
- [6] 林志杰. 泉州山美水库水质富营养化评价分析与防治对策[J]. 大坝与安全, 2014(2): 31-34.
- [7] 周真明, 涂帆, 沈春花, 等. 山美水库流域表层沉积物中 DDTs 农药的残留特征及风险评估[J]. 中国环境监测, 2009, 25(2): 22-25.
- [8] 周真明, 沈春花, 赵志领, 等. 山美水库流域表层沉积物中总磷、总氮分布特征及污染分析[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 608-612.
- [9] 林加兴. 山美库区水环境问题分析与探讨[J]. 水利科技, 2010(2): 19-20.
- [10] 吴琼. 大型浅水湖泊生态动力学特性的数值研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [11] 安莉娜. 城市浅水湖泊二维水量、水质耦合模型应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [12] 汪德燿. 计算水力学理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011.

(上接第 92 页)

#### 参考文献:

- [1] Das D, Veziroglu T N. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2001, 26(1): 13-28.
- [2] Munster M, Lund H. Use of waste for heat electricity and transport - challenges when performing energy system analysis [J]. Energy, 2009, 34(5): 636-644.
- [3] Murphy J D, McKeogh E. The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy [J]. Energy, 2006, 31(2-3): 294-310.
- [4] Kanagachandran K, Jayaratne R. Utilization potential of brewery waste water sludge as an organic fertilizer [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2006, 112(2): 92-96.
- [5] Braeken L, Van der Bruggen B, Vandecasteele C. Regeneration of brewery waste water using nanofiltration [J]. Water Research, 2004, 38(13): 3075-3082.
- [6] Geoffrey S S, John Cluett, Sunny E I, et al. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art [J]. Desalination, 2011, 273(2-3): 235-247.
- [7] 金蓓, 李琳, 李冰, 等. 啤酒工业废水处理的研究概况

[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 569-573.

- [8] Parawira W, Kudita M I, Nyandoroh M G, et al. A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge [J]. Process Biochemistry, 2005, 40(2): 593-599.
- [9] 张军, 王里奥, 林衍. 颗粒活性炭对 UASB 处理垃圾渗滤液促进作用的研究 [J]. 云南环境科学, 2005, 24(2): 20-22.
- [10] Mahoney E M, Varangu L K, Cairns W L, et al. The effect of calcium on microbial aggregation during UASB reactor start-up [J]. Water Science and Technology, 1987, 19(1/2): 249-260.
- [11] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [12] Lettinga G, van Velsen A F M, Hobma S W, et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological waste water treatment especially for anaerobic treatment [J]. Biotechnology and Bioengineering, 1980, 22(4): 699-734.