

东圳水库水质影响预测及对策

李莉¹, 蔡金傍^{2*}, 陈梅², 陈玉东², 刘臣炜²

(1. 福建省莆田市环境监测中心站, 福建莆田 351100; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏南京 210042)

摘要 根据污染源现状调查结果与污染源预测方法, 预测了水平年东圳水库流域污染负荷。结果表明, 流域污染负荷主要来自农业面源、生活污水和生活垃圾, 其中农业面源是流域最大污染源, 而农业面源中主要是果园径流污染。在构建东圳水库水域二维水流水质数学模型的基础上, 基于流域污染负荷预测结果, 模拟分析库区水环境变化趋势, 结果为库区总氮和总磷将难以满足Ⅲ类水质标准要求。根据污染源调查及水质影响预测结果, 建议加强对东圳水库水环境保护, 重点开展果园面源污染控制、生活污水收集处理及生活垃圾收集转运处置等项目。

关键词 东圳水库; 污染负荷; 水质模型; 水质预测

中图分类号 X524 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)05-0047-04

Water Quality Prediction of Dongzhen Reservoir and Countermeasures

LI Li¹, CAI Jin-bang^{2*}, CHEN Mei² et al (1. Putian Environmental Monitoring Station of Fujian Province, Putian, Fujian 351100; 2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing, Jiangsu 210042)

Abstract Based on the status of pollution load and its prediction methods, the pollution load of level year of Dongzhen Reservoir basin was predicted. The results showed that the pollution mainly came from agricultural non-point source pollution, domestic sewage and domestic garbage, of which orchard non-point pollution was the major source. Based on the prediction results of pollution load Dongzhen Reservoir basin, a two-dimensional water quality mathematical model was constructed for the purpose of evaluating the change trend of water quality. The results showed that total nitrogen and total phosphorus can't meet Grade III of Surface Water Quality Standard. Consequently, it was suggested to strengthen environmental protection of Dongzhen Reservoir, focusing on orchard non-point source pollution control, domestic sewage and garbage disposal.

Key words Dongzhen Reservoir; Pollution load; Water quality model; Water quality prediction

为贯彻落实党中央、国务院“让江河湖泊休养生息”和十八大及十八届三中全会关于“生态文明建设”的战略部署, 加快对水质较好湖泊(含水库)的保护, 避免众多水质较好湖泊走“先污染、后治理”的老路, 环境保护部、国家发改委、财政部印发了《水质较好湖泊生态环境保护总体规划(2013—2020年)》^[1], 将莆田市东圳水库列入开展生态环境保护工作的湖库中。2015年东圳水库被纳入中央财政资金支持范围的湖库。

东圳水库担负着为莆田市居民生活供水和保证莆田市工农业生产用水的任务, 是莆田市的生命之水。但是自20世纪90年代以来, 流域大面积开垦山地建果园, 造成了水土流失和化肥、农药等面源污染, 库区水体水质受到一定程度的影响, 生态系统有退化的趋势^[2]。笔者分析了东圳水库流域主要污染物入库通量, 构建了水库二维水动力水质模型, 对库区水质变化趋势进行预测分析, 并提出相应的水库污染控制对策和建议, 以期莆田市开展东圳水库生态环境保护研究提供科学依据。

1 研究区概况

东圳水库位于木兰溪支流延寿溪上, 是一座集供水、灌溉、防洪和发电等功能于一体的综合性大型水利枢纽工程。水库于1958年6月兴建, 1960年4月竣工并投入运行。水库流域总面积321 km², 多年平均降雨量1 710~1 970 mm/a, 多年平均入库水量3.13亿 m³/a, 水库总库容4.35亿 m³^[3-4]。东圳

水库已成为莆田市城厢区、荔城区、秀屿区和湄洲岛管委会等辖区150余万人口的生活饮用水源, 同时也是该辖区工农业生产用水主要水源^[5]。

东圳水库流域涉及常太镇、钟山镇的大部分村庄和游洋、榜头、盖尾、华亭、凤办、西天尾、白沙9个乡镇53个村及九鲤湖国家水利风景区、九龙谷国家森林公园景区、东圳水库省级水利风景区(图1)。

根据2010—2014年东圳水库例行水质监测数据, 库区总磷、总氮基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准要求, 高锰酸盐指数、氨氮等指标达到Ⅱ类水质标准要求。

2 流域水污染现状调查分析及预测

2.1 污染源现状 采用文献查阅与经验公式相结合的方式对东圳水库流域污染源现状调查^[6], 调查范围为水库流域的9个乡镇。据调查, 流域范围没有工业和规模化养殖场, 污染源主要来自农业面源污染、城镇生活污水、分散畜禽养殖、生活垃圾等。

由表1和图2可知, 东圳水库流域污染负荷主要来自农业面源、城镇生活污水、农村生活污水和生活垃圾等。农业面源中化学需氧量(COD)、氨氮、总磷和总氮入库量分别占流域污染负荷总入库量的56.40%、65.35%、66.59%和67.85%, 成为流域污染物的主要来源。这是由于流域内分布5 733 hm²果树林, 主要种植枇杷, 主要施用氮、磷、钾等化肥及农家肥, 据统计, 果园平均施用化肥量为3 075 kg/hm²(不包括农家肥)^[7]。施肥大部分采用挖坑浅埋的传统方式, 使得肥料存留于土壤表层, 且果园土壤类型为红壤或赤红壤, 土层较薄, 结构疏松, 极易引起水土流失^[8], 造成大量肥

基金项目 “十二五”国家科技支撑计划(2014BAL02B04-02)。
作者简介 李莉(1986—), 女, 福建莆田人, 工程师, 硕士, 从事环境监测、饮用水源保护、生态保护研究。*通讯作者, 副研究员, 博士, 从事湖库水环境保护研究。
收稿日期 2016-12-31

动方程^[9-10],即 1 个连续方程、2 个运动方程和 1 个污染物守恒方程,基本方程如下:

表 2 2018 年(预测年)东圳水库流域污染负荷入库量

Table 2 Pollution load in Dongzhen Reservoir basin in 2018(prediction year)

t/a

污染源 Pollution source	COD	氨氮 Ammonia nitrogen	总磷 Total phosphorus	总氮 Total nitrogen
城镇生活污水 Urban domestic sewage	120.290	10.030	2.410	18.040
农村生活污水 Rural domestic sewage	60.350	14.720	1.620	18.400
农业面源 Agricultural non-point source	400.520	80.100	18.420	136.180
农村生活垃圾 Rural domestic garbage	55.050	8.110	2.800	14.010
城镇径流 Urban runoff	1.330	0.020	0.010	0.170
景区生活污水 Scenic domestic sewage	59.850	4.990	1.200	8.980
畜禽养殖 Livestock breeding	42.270	7.560	1.890	13.700
合计 Total	739.660	125.530	28.350	209.480

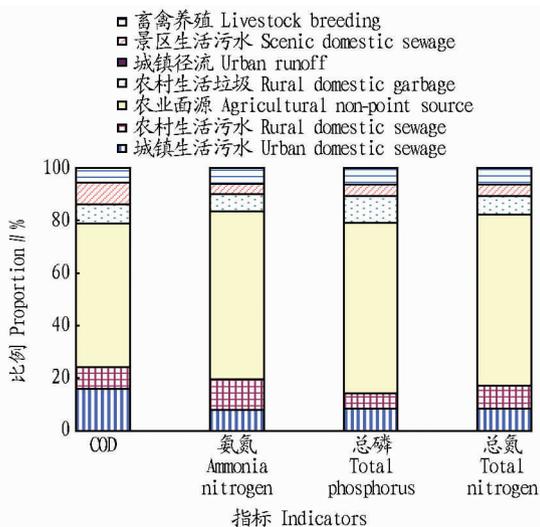


图 3 2018 年(预测年)东圳水库污染负荷入库量百分比

Fig.3 Proportion of pollution load in Dongzhen Reservoir in 2008(prediction year)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{g \nu n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \gamma_a^2 \rho_a w^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \varphi = 0 \quad (2)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) + gh \left(\frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{g \nu n^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \gamma_a^2 \rho_a w^2 \sin \psi + 2h\omega u \sin \varphi = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + kC \pm S = 0 \quad (4)$$

式中, h 为水深(m); x 、 y 为正交坐标(m); u 、 v 为 x 、 y 方向的流速分量(m/s); ρ 为水的密度(kg/m^3); ρ_a 为空气的密度(kg/m^3); E 为涡黏性系数; xx 为 x 轴面的法线方向; yy 为 y 轴面的法线方向, xy 和 yx 分别为 x 和 y 方向的剪切方向($\text{Pa} \cdot \text{S}$); g 为重力加速度(m/s^2); z 为库底的高程(m); n 为

糙率系数; γ_a^2 为风剪切应力系数; ψ 为风的方向与 x 方向的逆时针夹角($0 \sim 360^\circ$); ω 为地球自转的角速度(rad/s); φ 为当地的纬度; C 为库中污染物的浓度(mg/L); D_x 、 D_y 为 x 、 y 方向的扩散系数(m^2/s); k 为有机物的生物化学降解系数(d^{-1}); S 为源汇项; t 为时间(s)。

3.2 计算范围、网格及地形 模型上游边界条件分别为延寿溪、院里溪、东太溪、西太溪等入库断面,模型下游边界位于东圳水库出口。采用三角形网格对模型进行剖分,地形复杂区域及工程临近区域网格布置较密,网格间距 $50 \sim 100 \text{ m}$,网格数 8 348 个,采用三定点六节点网格,网格节点 17 590 个,地形插值如图 4 所示。

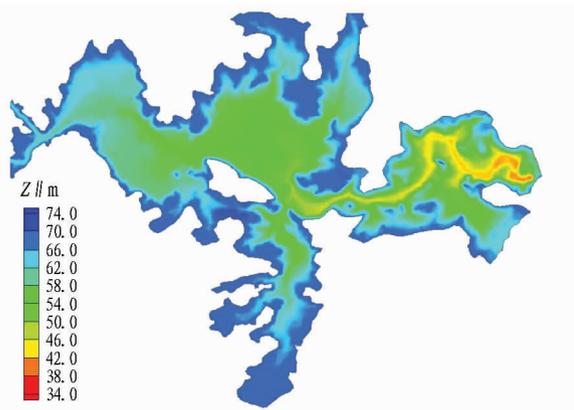


图 4 东圳水库水下地形概化

Fig.4 Underwater terrain generalization of Dongzhen Reservoir

3.3 模型参数选择 初始条件:水位初始值取计算常水位 80.5 m ,流速取为 0 ,水质初始值根据现状监测情况取平均值输入,初始值不同,计算中迭代次数不同,但不会影响最终模拟计算结果。边界条件:水库的边界条件有 2 类,即开边界和闭边界。水库入流及出流边界为开边界,陆地边界为闭边界。

流场计算时,在闭边界上: $U_n = U_n^*$ (通常 $U_n^* = 0$)或者 $q_n = q_n^*$ (通常 $q_n^* = 0$)。在开边界上:对于入流边界,有以下几种情况:① $U_n = U_n^*$,且 $U_s = U_s^*$;② $q_n = q_n^*$,且 $q_s = q_s^*$;③ $H = H^*$,且 $U_s = U_s^*$;④ $H = H^*$,且 $q_s = q_s^*$ 。对于以上 4 种情况的入流边界,通常 $U_s = q_s = 0$;出流边界, $H = H^*$ 。式中, U_n 、 U_s 为边界上的外法向及切向速度分量; U_n^* 、 U_s^* 为边界上的外法向及切向速度分量给定值; q_n 、 q_s 为边界上的单位宽

流量分量; q_n^* 、 q_s^* 为边界上的单位宽流量分量给定值; H 为边界上的水深; H^* 为边界上水深给定值。

浓度场计算中,对于闭边界,污染物浓度通量为0,即:

$$D_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (5)$$

对于入流边界条件,采用边界点浓度控制边界。对于出流边界条件满足:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \bar{V}_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

式中, n 为固边界的外法矢量; D_n 为垂直固边界的扩散系数 (m^2/s); \bar{V}_n 为流速在外法向方向的分量 (m/s); 东圳水库入流边界采用流量界,出流边界采用水位边界。

计算参数:糙率系数,根据调试,在不同区域取不同糙率系数,在主槽 n 值取 0.011 ~ 0.016,在滩地 n 取 0.020 ~ 0.030;综合扩散系数 D 取值根据艾尔德的理论推导:

$$D = 5.73u_* h \quad (7)$$

式中, u_* 为摩阻流速 (m/s); h 为平均水深 (m)。

3.4 预测结果 基于2018年污染负荷计算结果,预测水平年东圳水库水质变化情况,结果见图5~8。结果表明,2018年库区高锰酸盐指数和氨氮满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II类水质标准要求,但是总氮和总磷浓度不满足 III类水质标准要求,受入库河流来水影响,水库水体中总磷浓度最大值出现在东太溪和西太溪入库口区域,而总氮浓度最大值出现在延寿溪入库口区域。

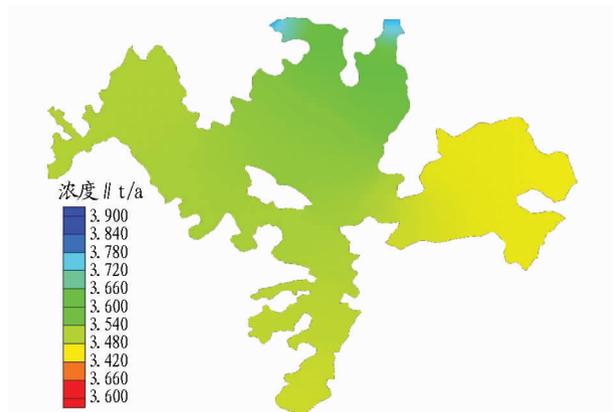


图5 东圳水库高锰酸盐指数分布

Fig.5 The distribution of permanganate index concentration in Dongzhen Reservoir

4 东圳水库保护对策

4.1 实施退果还林 建议对流域内坡度大于 25° 的陡坡果园逐步还林还草,其中一级保护区内 677.13 hm^2 果园全面退果还林,种植其他阔叶树种,改造成非桉树阔叶林或针阔混交林,形成环库缓冲带。减少果园的面源污染和增加水源涵养能力,同时对入库的水起到过滤、净化吸收和拦截泥沙的作用,减少污染物入库。

4.2 对果园进行改造,建设生态果园 流域内果园面积大,普遍存在着开垦混乱、水土保持措施不完善等问题,致使水土流失现象严重,因此,必须对现有的果园进行改造。针对果园现状实施坡改梯、园面与梯壁生草及排水系统建设等水

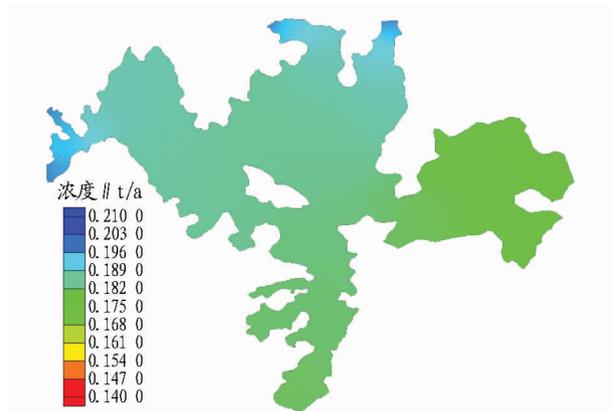


图6 东圳水库氨氮浓度分布

Fig.6 The distribution of ammonia nitrogen concentration in Dongzhen Reservoir

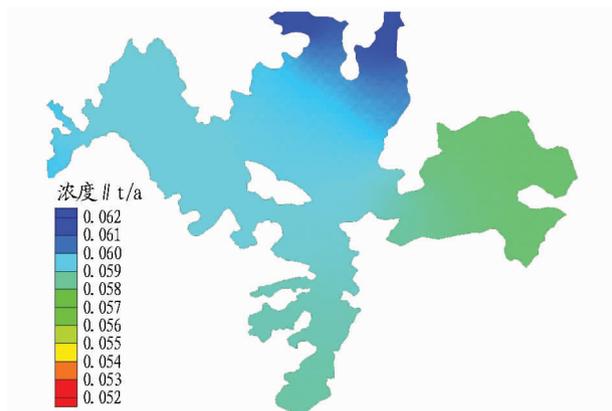


图7 东圳水库总磷浓度分布

Fig.7 The distribution of total phosphorus concentration in Dongzhen Reservoir

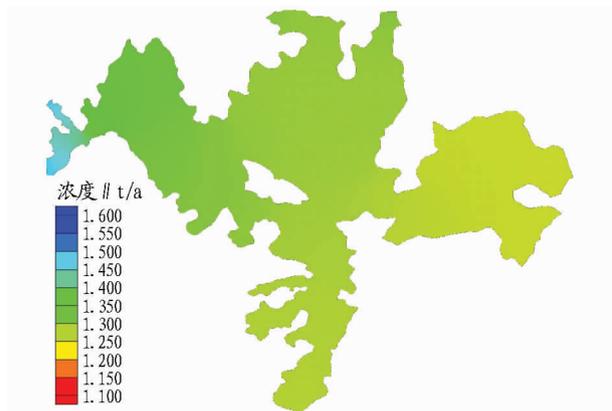


图8 东圳水库总氮浓度分布

Fig.8 The distribution of total nitrogen concentration in Dongzhen Reservoir

土保持综合治理措施,同时严禁在 25° 以上的陡坡地开垦建果园。

4.3 开展农村环境综合整治,减少生活污染 实施流域生活污水治理,推行农户改厕,加快镇村生活污水处理设施及收集管网建设,做到达标排放或综合利用,并加强对生活污水处理设施的运营管理。实施生活垃圾清运保洁工作,彻底

(下转第64页)

确内部职责分工,加强人员培训,建立沟通程序、应急响应程序、召回程序,并定期验证防护计划的有效性。而对于已建立 HACCP 体系的企业,防护小组应组织人员对原有人力资源控制程序、沟通程序、应急响应程序和召回程序等进行修订和完善,以满足防护计划的要求。

4.6 食品防护计划的验证和改进 食品防护计划在运行前和变更后应实施确认,确保防护计划建立的科学性、充分性和有效性。对于 HACCP 的确认应涵盖的内容,部分举例如下:①制定了食品防护计划,所有薄弱环节都制定了针对性的控制措施;②明确了实施食品防护相关人员的职责;③食品防护小组成员和其他企业员工进行了食品防护的培训。同时要确认措施进行情况,从而得出确认结果。

5 结语

HACCP 体系和食品防护计划都是为了控制生物、物理和化学危害,为人类提供健康安全的食品。它们与所针对食品的安全性密切相关,但所针对的引起食品安全问题的原因各有侧重。美国作为 HACCP 理论的创始者,FDA 对它的评价是“一种艺术级的食品安全控制方法”。虽然近年来,为了突出食品防护侧重的食品安全问题的非传统性和重要性,FDA 将其列为与食品安全并列的概念,但从根本上来说,食品防护没有脱离食品卫生安全领域,具体理论和方

(上接第 50 页)

清除流域内历史堆放垃圾,配置垃圾箱、保洁车及运输车等设施,逐步推行垃圾保洁市场化运作模式,彻底解决垃圾乱堆乱放、随意倾倒等问题。

4.4 科学施用化肥和农药,减少农业污染 采用“最佳管理措施”发展生态农业,改进施肥技术,实施精准施肥、测土施肥、平衡施肥,增施有机肥^[11],提倡使用生物菌肥,减少现有农家肥尤其是猪粪使用量。同时,应注意施肥方法,采用环状沟施、条状沟施或管灌液肥的办法,减少肥料流失,从而降低对东圳水库水体的有机污染。

坚持“预防为主、防治结合”的方针,严禁销售或使用高毒、剧毒和高残留农药,提倡使用广谱、高效、低毒、低残留农药和生物农药。建设果树病虫害测报站,及时掌握病虫害发生期,保证准确、适量用药,也可以使用点灯诱杀等生物措施,减少农药的施用量。

5 结论

该研究根据污染源现状调查结果与污染源预测方法,预测了水平年东圳水库流域污染状况,结果表明流域污染负荷主要来自农业面源、城镇生活污水、农村生活污水和生活垃圾,其中农业面源中 COD、氨氮、总磷和总氮入库量分别占流域污染负荷总入库量的 54.15%、63.81%、64.97% 和 65.01%,成为流域污染物的主要来源,而农业面源中主要是果园径流污染。

在构建东圳水库水域二维水流水质数学模型的基础上,基于 2018 年污染负荷计算结果,模拟预测水库水环境变化

法也基本没有超出 HACCP 原理的范围。这些非传统食品安全危害与传统食品安全危害的区别在于起因的人为性,因此对它的控制方法有独特性,但不可能完全脱离原有的体系^[6]。因此,将食品防护作为 HACCP 体系的补丁嵌入其中,从而可解决非传统食品安全危害问题,扩大 HACCP 的危害分析范围,完善 HACCP 的危害控制体系。笔者认为,这是已经建立实施 HACCP 体系的生产企业引入食品防护计划的较优方式。探索将食品防护与现有管理体系,特别是与 HACCP 体系的有机融合,是对 HACCP 原理的丰富和发展,有助于提高食品防护的适用性和有效性,提高我国食品安全卫生的整体水平。

参考文献

- [1] 吕青,吕婕,黄斌,等. 食品防护计划在食品企业中的建立与实施[J]. 安徽农业科学,2009,37(13):6225-6226.
- [2] 吕青,顾绍平,张明,等. 美国食品防护计划与 HACCP [J]. 食品科技,2009(1):232-235.
- [3] 吕青,顾绍平,张明,等. 美国食品防护计划与危害分析及关键控制点[J]. 中国食品卫生杂志,2008,20(4):343-345.
- [4] 田晶. 浅谈食品防护计划与 HACCP 体系对食品安全的控制[J]. 黑龙江科技信息,2009(23):4.
- [5] 黄斌,顾绍平,秦红,等. 食品防护计划的实践与思考[J]. 中国渔业质量与标准,2011,1(1):75-78.
- [6] 王和敏. HACCP 体系中如何有效导入食品防护计划[J]. 认证技术,2011(12):54-55.

趋势,结果表明 2018 年水库高锰酸盐指数和氨氮能满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅱ类水质标准要求,但是总氮和总磷将不满足Ⅲ类水质标准要求。

根据污染源调查及水质影响预测结果,建议加强对东圳水库水环境保护,重点开展果园面源污染控制、生活污水收集处理及生活垃圾收集转运处置等项目。

参考文献

- [1] 环境保护部,发展改革委,财政部. 关于印发《水质较好湖泊生态环境保护总体规划(2013-2020年)》的通知[A/OL]. (2014-09-26) [2016-09-23]. <http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwi/201409/t20140930-289795.html>.
- [2] 方东阳,詹永东,郑天和,等. 莆田市东圳水库库区面源污染及防治对策[J]. 中国水土保持,2006(7):30-32.
- [3] 金媛娟. 莆田市东圳水库饮用水源一级保护区土壤重金属现状评价[J]. 海峡科学,2015(6):13-15.
- [4] 林国富. 莆田市东圳水库水环境综合治理对策[J]. 水利科技,2015(3):16-19.
- [5] 李冬英. 莆田市东圳水库水源污染成因分析与对策建议[J]. 福建师范大学福清分校学报,2005(2):1-4.
- [6] 国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室. 第一次全国污染源普查:农业污染源肥料流失系数手册[M]. 北京:国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室,2009.
- [7] 林爱新. 莆田市东圳水库环境现状与保护对策建议[J]. 引进与咨询,2001(3):18-19.
- [8] 范章怀,查轩. 重要水源地东圳水库水质变化及其影响因素研究[J]. 水土保持通报,2008,28(1):25-29.
- [9] LEENDERTSE J J. Aspects of SIMSYS2D: a system for two-dimensional flow computation[M]. Santa Monica, Calif, USA: The Rand Corporation, 1990.
- [10] 黄晓庆,张龙江,蔡金榜,等. 白龙湖水质模拟预测及保护方案的研究[J]. 水资源与水工程学报,2014(3):106-110.
- [11] 中国科学院地学部. 东南沿海经济快速发展地区环境污染及其治理对策[J]. 地球科学进展,2003,18(4):493-496.