

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.02.004

万州申明坝污水处理厂事故排放的影响分析

张伟进^{1,2}, 邓春光², 任 虹², 李富宇¹, 肖艳红³, 何 羽¹

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 重庆市环境科学研究院, 重庆 400020;
3. 西南大学化学化工学院, 重庆 400715)

摘要 由于自然灾害和污水处理系统发生故障等原因, 万州申明坝污水处理厂存在一定的事故排放可能性。通过对万州申明坝污水处理厂的厂址、设施进行调查, 对其受纳水体苕溪河和入长江口的水质、水文进行实地监测, 分析其事故排放的风险性。分别选用一维模型和二维模型对万州申明坝污水处理厂事故排放对苕溪河和长江水质的影响进行模拟分析, 并引用涪陵污水处理厂排放口对长江影响的实测数据来验证所选模型, 结果证实了模型的可行性。在长江 175 m 水位, 万州申明坝污水处理厂事故排放时污染带的长度是正常排放的 20 倍, 宽度是正常排放的 4 倍; 在长江 145 m 水位, 万州申明坝污水处理厂事故排放时污染带的长度是正常排放的 3 倍, 宽度是正常排放的 2 倍。

关键词 污水处理厂; 事故排放; 污染带; 一维模型; 二维模型

中图分类号 X505 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2012)02-0017-03

Analysis of impacts of accidental discharge from Shenmingba Sewage Treatment Plant in Wanzhou City

ZHANG Wei-jin^{1,2}, DENG Chun-guang², REN Hong², LI Fu-yu¹, XIAO Yan-hong³, HE Yu¹

(1. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Chongqing Academy of Environmental Sciences, Chongqing 400020, China;

3. School of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract : Because of the natural disasters and sewage treatment system failure, there is a possibility of accidental discharge from Shenmingba Sewage Treatment Plant in Wanzhou City. Through investigation into the facilities and location of Shenmingba Sewage Treatment Plant and monitoring of the quality and hydrology of the receiving water in the Zhuxi River and the entrance to the Yangtze River, the risk of accidental discharge from the plant was analyzed. A one-dimensional model and a two-dimensional model were used to simulate the impacts of the accidental discharge from Shenmingba Sewage Treatment Plant on the water quality of the Zhuxi River and Yangtze River, and observed data on the impacts of the sewage outfall of Fuling Sewage Treatment Plant on the Yangtze River were used for model validation. The results show that the models can be used in practice. When the accidental discharge occurred, the length and width of the pollution zone were respectively 20 times and four times those of the pollution zone during regular discharge at a water level of 175 m in the Yangtze River, and three times and two times those of the pollution zone during regular discharge at a water level of 145 m.

Key words : sewage treatment plant; accidental discharge; pollution zone; one-dimensional model; two-dimensional model

三峡工程竣工之后,在发挥各项效益的同时,对 库区生态环境的不利影响也日渐凸显出来:支流回

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07104-006) 三峡水库主要污染物总量控制与综合防治技术集成研究。

作者简介 张伟进(1985—),男,硕士研究生,研究方向为水处理技术。E-mail :weijin_zhang@163.com

通讯作者 邓春光,教授级高级工程师。E-mail :dengchung@126.com

水区的水华、消落带的污染、库岸的地质灾害等,严重影响库区的生态环境安全。由于选址不当,将万州申明坝污水处理厂建设在滑坡地带,导致施工期间就曾多次遭遇滑坡,且即使污水处理厂区及周边地质灾害得到切实治理,但在严重的地质灾害发生时,污水处理厂一旦出现事故排放,将对长江造成污染。目前,有关污染带的研究较多,但是对于污水处理厂事故排放影响分析的相关研究还较少,黄程等^[1-2]对涪陵污水处理厂排污口的污染带进行了预测分析,薛红琴等^[3]对连续点源河流污染带几何特征参数进行了研究,陈永灿等^[4]对三峡库区城市排污口附近污染混合区的特性进行了研究,韩龙喜等^[5-6]对宽浅型和中小型河道的纳污能力进行了研究,张秀春等^[7]通过对黄河污染带进行模拟计算确定了环境容量。笔者对万州申明坝污水处理厂的厂址、设施进行调查,对纳污水体进行监测,旨在分析污水处理厂事故排放对水质的影响。

1 污水处理厂概况

申明坝污水处理厂位于东经 108°21'24.3",北纬 30°50'15.1",是三峡库区水环境项目之一,服务区域主要是万州主城区,服务人口近 30 万人,实际污水处理量是 5 万 t/d,设计污水处理量是 6 万 t/d,工艺技术采用的是改良氧化沟技术。申明坝污水处理厂进水负荷 COD 为 129.74 g/s,NH₃-N 为 14.26 g/s,出水负荷 COD 为 9.41 g/s,NH₃-N 为 1.45 g/s。

申明坝污水处理厂在 2002 年 3 月施工,期间连续遭遇滑坡,2007 年 3 月治理了污水处理厂周边地区的地质灾害,2008 年 12 月申明坝污水处理厂投入使用。

2 事故排放原因

引起申明坝污水处理厂事故排放的原因主要有自然灾害和污水处理厂故障。

2.1 自然灾害

申明坝污水处理厂的厂址设在滑坡地带,严重的自然灾害可能造成污水处理厂坍塌,污水处理系统崩溃,污水未经处理而直接排放,污染水体。

2.2 污水处理厂故障

可能发生污水处理系统故障的原因有长时间大面积停电、进水量超限、污染物浓度超限、曝气系统机械故障、活性污泥异常、排泥系统故障等。申明坝污水处理厂运行情况调查结果见表 1。

表 1 申明坝污水处理厂运行情况调查结果

供电系统	进水系统	曝气系统	活性污泥系统	排泥系统
停电频率 4~5 次/a	来水超标负荷频率 2~3 次/月,水量超设计量频率 10 次/a,没有调节池	曝气机两用一备,曝气机故障频率为 1 次/a	活性污泥没有出现异常	排泥频率 40 t/d,脱水系统维护每周 1 次,没有出现过程排泥事故

3 污水处理厂事故排放对苕溪河、长江水体水质的影响

申明坝污水处理厂的出水直接进入苕溪河,然后汇入长江,污水处理厂排污口距离长江 4 km 左右。考虑极端情况下污水排放对水体的影响,计算 175 m 和 145 m 水位时污水排放对水体污染的情况。

3.1 对苕溪河水质的影响

申明坝污水处理厂的排放口位于苕溪河岸边,污水排放作为连续点源排入水体中。根据苕溪河和长江水文状况,苕溪河中污染负荷的降低主要靠水体自身降解,苕溪河在长江 175 m 和 145 m 水位的水文水质情况见表 2。苕溪河的水质是Ⅳ类水,污水正常排放时不会形成污染带,事故排放时,污水进入苕溪河,可形成混合均匀的污染带。苕溪河背景浓度以及河流流速在排污口上游 50 m 处监测可得,可采用一维模型计算苕溪河污染带长度:

$$L = - \frac{u}{k} \ln \frac{c}{c_0} \tag{1}$$

其中

$$c_0 = \frac{M + m}{Q + q}$$

式中:L 为污染带长度,m;M,m 分别为河流背景负荷和排污口的排污负荷,g/s;u 为排污口水域的流速,m/s;Q,q 分别为河水流量和污水流量,m³/s;c₀为排污口水域污染物质量浓度,mg/L;c 为污染带计算时控制的目标污染物质量浓度,mg/L;k 为污染物降解系数。

表 2 苕溪河水文水质情况

水位/m	ρ(COD)/(mg·L ⁻¹)	ρ(NH ₃ -N)/(mg·L ⁻¹)	Q/(m ³ ·s ⁻¹)	流速/(m·s ⁻¹)
145	26.15	1.84	7.00	0.50
175	25.50	1.52	2.00	0.03

根据式(1),分别计算申明坝污水处理厂在 145 m 和 175 m 水位时正常排放和事故排放下污染带的长度,计算结果见表 3。污染带采用超纳污水体功能区标准限值的区域计算。

表 3 苕溪河污染带长度

排放状况	145 m 水位		175 m 水位	
	ρ(COD) 超标数值	ρ(NH ₃ -N) 超标数值	ρ(COD) 超标数值	ρ(NH ₃ -N) 超标数值
正常排放	0	0	0	4 865
事故排放	71 884	380 737	11 527	39 750

申明坝污水处理厂在苕溪河的排放口距离苕溪

河入江口的距离为 4 km,由此可得,污水处理厂事故排放时污染带的长度大于河流长度,需进一步计算在长江中的污染带范围。

3.2 对长江水质的影响

苕溪河是长江的次级河流,最终汇入长江,可视之为岸边排放污染源。监测江段的水深与河宽比值均小于 1/10,可假定污染物在苕溪河入江口水域已经与江水在垂向混合均匀,且受纳水体江段较为顺直,水流和污染源强稳定,可不予考虑纵向扩散。计算模型选用中国环境科学研究院和重庆市科学技术委员会重大科技攻关项目‘三峡库区水环境安全预警平台建设与科学决策关键技术研究’采用的大江大河点污染源岸边连续稳定排污二维稳态水质模型：

$$c(x) = c_{01} \exp\left(-k \frac{x}{u}\right) \tag{2}$$

式中： $c(x)$ 为某断面的污染物质量浓度,mg/L； c_{01} 为计算断面至基准断面的背景污染物质量浓度,mg/L； x 为计算断面至基准断面的距离,m。

根据式(2)计算污染物在流场中各点的质量浓度,以河段功能区水质指标限值为标准,分别采用下式计算污染带的长度和宽度：

$$L = \frac{m^2}{\pi u E_y h^2 (c - c_b)^2} \tag{3}$$

$$W = \left(\frac{2}{\pi e}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{m}{u h (c - c_b)} \tag{4}$$

式中： L 和 W 分别为污染带长度和宽度,m； h 为污染带的水深,m； E_y 为排污口水域的横向扩散系数,m²/s； c_b 为排污口水域背景污染物质量浓度,mg/L； c 为计算污染带时控制的目标污染物质量浓度,mg/L； e 为自然对数的底。

3.3 模型参数的设计

在苕溪河入江口上游 100 m 处对长江水质进行监测,监测结果见表 4。横向扩散系数与污染带水深是根据长江万州段的实际水深与宽度以及流速进行确定的。

表 4 长江万州段水文水质情况

水位/ m	$\rho(\text{COD})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$E_y/$ ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)	流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	污染带 水深/m
145	8.053	0.125	0.50	0.12	3.00
175	7.966	0.098	0.02	0.03	4.00

3.4 模型应用实例及其验证

涪陵污水处理厂位于长江重庆段上游,其污水为连续稳定排放,排放量为 50 000 t/d。排污口位于乌江与长江汇流口下游约 300 m 处,高程 139 m,距水面 16.54 m,距岸边 40 m。乌江水与长江水在此尚未均匀混合,背景断面全部监测点水质受乌江控制。

监测段江面宽 405 ~ 900 m,最大水深 54.4 m。涪陵污水处理厂污水排放的长江涪陵段水文水质情况见表 5。

表 5 长江涪陵段水文水质情况

水位/m	$\rho(\text{COD})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	污染带 水深/m
145	12.33	0.3	0.30	5.00
175	6.39	0.43	0.25	6.00

利用前述计算方法,求得水位 145 m 和 175 m 正常排放时超标污染带的长度和宽度均较小,不足以验证模型的可行性,因此通过计算超背景值^[1]污染带的长度和宽度来进行验证。经计算,涪陵污水处理厂正常排放产生的污染带长度和宽度数据见表 6。

表 6 涪陵污水处理厂正常排放污染带范围 m

水 位	超标污染带				超背景值污染带			
	COD		NH ₃ -N		COD		NH ₃ -N	
	宽度	长度	宽度	长度	宽度	长度	宽度	长度
175	1	1	2	5	34	1 206	57	3 412
145	1	2	2	3	16	295	75	6 393

3.5 申明坝污水处理厂污染带范围

根据式(3)和式(4)分别计算长江 145 m 和 175 m 水位申明坝污水处理厂正常排放和事故排放产生的超标污染带范围,计算结果见表 7。

表 7 长江万州段 145 m 和 175 m 污染带范围 m

水 位	正常排放污染带				事故排放污染带			
	COD		NH ₃ -N		COD		NH ₃ -N	
	宽度	长度	宽度	长度	宽度	长度	宽度	长度
175	15	452	17	604	63	8 178	66	8 955
145	21	148	22	155	35	390	41	557

4 结论与分析

- a. 申明坝污水处理厂事故排放存在一定的可能性,影响因素为地质灾害和污水处理厂系统故障,其中地质灾害造成的污染影响最大。
- b. 苕溪河属于Ⅳ类水质,污水处理厂污水正常排放时 COD、NH₃-N 不会形成污染带,相反可对河水进行一定稀释,降低了苕溪河的污染物质量浓度。污水处理厂事故排放时增加了苕溪河的污染物质量浓度,经过 4 km 均匀混合,污染物质量浓度未能降解到苕溪河背景值,从而增加了长江的污染负荷。
- c. 在 175 m 水位,申明坝污水处理厂事故排放对长江的污染范围更大,污染带长度是污水正常排放污染带长度的 20 倍左右,宽度是正常排放的 4 倍左右,主要因为苕溪河在 175 m 水位时水量减小,流速降低,增大了苕溪河的污染物质量浓度。在 145 m 水位,申明坝污水处理厂事故排放造成的污染带长度是正常排放的 3 倍,宽度是正常排放的 2 倍。

(下转第 24 页)

量控制的思路值得学习和借鉴。我国在借鉴应用 WARMF 水环境管理模型时,需要注意以下几方面:

a. 要考虑模型模拟过程中复杂因素的相互作用。由于水质、水文及泥沙等的模型模拟过程是相对独立的过程,而研究区域是一个相互联系、相互作用的整体,因此在模型模拟的过程中,应多考虑复杂因素的相互作用。

b. 严格制定污染物削减方法和分配量。TMDL 计划总量指标本质上是根据污染物现状的排放量和预计的削减程度来确定的,模型给出了削减总量,需要相关人员严格制定污染物削减方法和分配量,而在分配过程中要考虑季节性因素及安全临界值问题,并对分配结果进行验证,以得到合理的分配结果。

c. 重视模拟结果的灵敏度分析及校准。自然界的污染物降解过程是一个复杂的有机体转化过程,但模型不会考虑这些因素,而且模型在模拟过程中存在数据、参数及机理的不确定性,使得模拟的结果与实际情况难免存在较大差异,所以模型模拟之后的灵敏度分析及校准也是一个十分重要的环节。

d. 将模型的多功能性与模拟的准确性有机结合。将 3S 技术(地理信息系统 GIS、遥感 RS 及全球定位系统 GPS)与 WARMF 水环境管理模型结合,以提供更多方便可靠的信息及先进的技术方法。还可将 WARMF 水环境管理模型与不同的水质模型结合利用,取各自优势,将模型的多功能性及模拟的准确性有机结合,达到更加可靠和实用的结果,以更有效地改善水污染状况。

参考文献:

[1] 赵绘宇,赵晶晶. 污染物总量控制的法律演进及趋势[J]. 上海交通大学学报,2009,17(1): 28-34.

[2] ENSTICE N. Stakeholder preferences and preference modeling: agricultural BMP preferences in the river raisen watershed and how those preferences may affect water quality[D]. Michigan: University of Michigan,2009.

[3] NALINI S. Modeling watershed-scale effectiveness of agricultural best management practices to reduce phosphorus loading[J]. Journal of Environmental Management,2009,90: 1385-1395.

[4] 梁博,王晓燕,曹利平. 最大日负荷总量计划在非点源污染控制管理中的应用[J]. 水资源保护,2004,20(4): 37-41.

[5] HARMEL R D. Uncertainty in TMDL models[J]. Transactions of the ASABE,2006,49(4): 1033-1049.

[6] 柯强,赵静,王少平,等. 最大日负荷总量(TMDL)技术在农业面源污染控制与管理中的应用与发展趋势[J]. 生态与农村环境学报,2009,25(1): 85-91,111.

[7] BRIAN B,REBECCA Z,GENE Y. Lessons learned from TMDL

implementation case studies [J]. Water Environment Federation,2008 (2): 1-13.

[8] 张昊,张代钧. 复杂水环境模拟研究与发展趋势[J]. 环境科学与管理,2010,35(4): 24-29.

[9] 罗定贵,王学军,孙莉宁. 水质模型研究进展与流域管理模型 WARMF 评述[J]. 水科学进展,2005,16(2): 136-141.

[10] MCKISSOCK G,JEFFERIES C,DARCY B. An assessment of drainage best management practices in Scotland [J]. Water and Environmental Management,1999,13(1): 47-51.

[11] CLELAND B R. TMDL development from the“ Bottom Up”part II: using duration curves to connect the pieces[J]. National TMDL Science and Policy,2002 (11): 687-697.

[12] CHEN C W. Development of TMDL implementation plan with consensus module of WARMF[C]//Proceedings of the Water Environment Federation. Alexandria: Water Environment Federation,2002.

[13] GOLDSTEIN R A. Watershed analysis risk management framework (WARMF): update one, a decision support system for watershed analysis and total maximum daily load calculation[R]. Palo Alto: EPRI,2001.

[14] HERR J W,CHEN C W,GOLDSTEIN R A,et al. A tool for sediment TMDL development for Oostanuala Creek [C]// Proceedings of conference on total maximum daily load environmental regulations. St. Joseph: Society for Engineering in Agricultural,Food, and Biological Systems,2002: 111-116.

[15] 杨龙,王晓燕. 美国 TMDL 计划的研究现状及其发展趋势[J]. 环境科学与技术,2008,31(9): 72-76.

(收稿日期: 2010-11-19 编辑: 彭桃英)

(上接第 19 页)

参考文献:

[1] 黄程,邓春光,李晓,等. 涪陵污水处理厂排污口的污染带特性分析[J]. 中国给水排水,2009,25(2): 105-108.

[2] 黄程,钟成华,邓春光,等. 三峡水库 139 m 蓄水后排污口污染带特性分析: 以云阳污水处理厂为例[J]. 水资源保护,2007,23(2): 20-24.

[3] 薛红琴,刘晓东. 连续点源河流污染带几何特征参数研究[J]. 水资源保护,2005,21(5): 23-26.

[4] 陈永灿,申满斌,刘昭伟. 三峡库区城市排污口附近污染混合区的特性[J]. 清华大学学报: 自然科学版,2004,44(9): 1223-1226.

[5] 韩龙喜,朱党生,姚琪. 宽浅型河道纳污能力计算方法[J]. 河海大学学报: 自然科学版,2001,29(4): 72-75.

[6] 韩龙喜,朱党生,蒋莉华. 中小型河道纳污能力计算方法研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版,2002,30(1): 35-38.

[7] 张秀春,张建奎. 黄河污染带水质的模拟计算及其环境容量确定[J]. 甘肃冶金,2004,26(4): 62-64.

(收稿日期: 2010-12-17 编辑: 彭桃英)