

城市雨水管理

调蓄池削减合流制溢流污染的水力模拟研究

陈贻龙

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘要: 采用 InfoWorks CS 排水模型软件建立了昆明市西片区排水管网的水力模型, 模拟分析设置调蓄池对合流制排水系统溢流污染的削减作用。结果表明, 在土堆泵站片区新建1座调蓄池, 有效容积为 24 000 m³, 片区年 COD 削减率可从 23.1% 提升到 24.7%, 年 COD 总量从 457.7 t 减少到 376.7 t; 在郑和路沟片区新建1座调蓄池, 有效容积为 14 000 m³, 片区年 COD 削减率可从 23.1% 提升到 25.5%, 年 COD 总量从 416.5 t 减少到 297.9 t。以上两者均可实现设置调蓄池的合流制排水系统排入水体的污染物总量不大于分流制排水系统的目标。

关键词: 调蓄池; 合流制溢流污染; 排水系统; 水力模拟

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)17-0123-06

Hydraulic Simulation of Reducing Combined Sewer Overflow Pollution by Storage Tank

CHEN Yi-long

(Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: A hydraulic model of the drainage network in the west area of Kunming City was established by using InfoWorks CS software, and the reducing effect of combined sewer overflow by the storage tank was simulated and analyzed. The results showed that the annual COD reducing rate increased from 23.1% to 24.7% and the total amount of COD per year decreased from 457.7 t to 376.7 t if a storage tank with effective volume of 24 000 m³ was built in Tudui pump station area. Meanwhile, the annual COD reducing rate increased from 23.1% to 25.5% and the total amount of COD per year decreased from 416.5 t to 297.9 t if a storage tank with effective volume of 14 000 m³ was built in Zhenghelugou area. The above two projects could achieve the goal that the total pollutants amount discharged into the water body by the combined drainage system with a storage tank was not greater than that of the separate drainage system.

Key words: storage tank; combined sewer overflow pollution; drainage system; hydraulic simulation

随着昆明市经济的发展和城市建设进程的加快, 新建城区全部采用分流制排水系统, 老城区仍采用截流式合流制, 构成了截流式合流制和雨污分流制并存的混合制现状排水系统。合流制排水系统在雨季会有大量合流水溢流到河道^[1], 已成为昆明主

城区水体环境屡遭破坏的主要原因之一。为了从源头控制污染物外排, 昆明主城区西片区拟通过水力模型手段分析设置调蓄设施的必要性以及调蓄池对合流制溢流污染的削减作用, 以期对其他合流制排水系统的改造提供参考。

为此,笔者利用 InfoWorks CS 水力模型对主城西片区排水系统进行模拟,评估西片区的面源污染物总量,确定调蓄池的容积,并对实施后的工程效益进行了模拟分析。

1 项目概况

昆明市主城区西片区的总规划面积为 73.64 km²,规划人口为 87.2 万人。城区水系发达,西片区的新运粮河、老运粮河、乌龙河、王家堆渠等几条主要河道的现状水质主要是劣 V 类和 V 类,与《滇池流域城镇水系专项规划》中提出的主城二环内城市河道水系水质 2020 年达到Ⅲ类的目标还有较大的差距。

西片区的现状排水体制为合流制与分流制并存,新开发片区以及二环以外具备实施条件的区域已经进行了市政雨污分流,二环以内及二环外的部分区域仍然维持合流制排水系统。据统计,西片区现状合流制区域总面积约为 29.25 km²,占该片区总汇水面积的 43.7%。雨季时合流制区域的大量合流水溢流到河道,成为影响该片区河道水环境质量的主要因素。

西片区现有污水处理厂两座,即第三水质净化厂和第九水质净化厂,规模分别为 21×10^4 、 10×10^4 m³/d,另外,现状有污水提升泵站 4 座,均服务于第三水质净化厂。服务范围内现状污水管线总长度为 287.24 km,雨水管长度为 183.72 km,合流管线(包括渠道)长度为 72.15 km。

为了削减合流制溢流污染,进一步改善城市河道水环境质量,拟通过水力模型模拟分析片区内排水系统的运行情况,论证设置调蓄设施的必要性和有效容积确定的合理性,确保设置调蓄设施的合流制排水系统排入水体的污染物负荷不大于分流制排水系统。

2 研究方法

本研究采用 InfoWorks CS 排水模型软件建立西片区排水管网的水力模型。依据实测数据率定模型,在此基础上,对片区内现状排水系统的运行工况进行模拟,评估其排水能力、污染物控制效果及存在的问题和隐患;对片区内合流制溢流污染较重的区域进行重点分析,利用模型的模拟计算确定合理的调蓄池容积和工程方案;优化排水设施的联合调度方案,最大化地发挥排水系统设施效能、削减入河污染物总量^[2]。

2.1 技术路线

本研究的技术路线如图 1 所示。

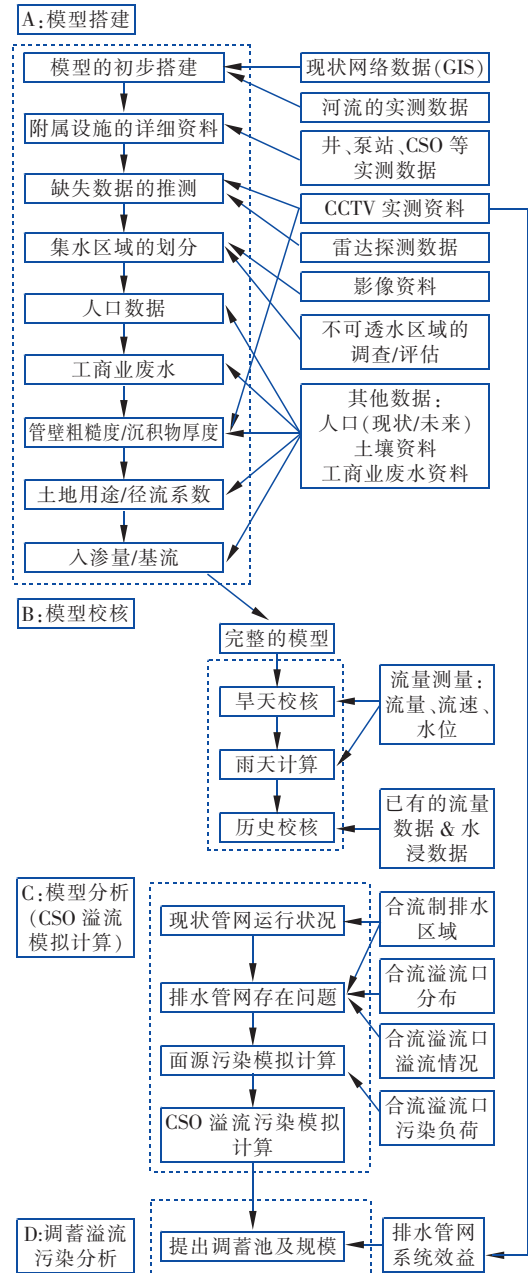


图 1 技术路线

Fig. 1 Schematics of technical route

2.2 水力模型构建

利用排水管网现状摸查实测的基础数据作为水力模型拓扑结构的输入数据,基础数据包括排水管网渠、水闸、泵站等,西片区排水管网水力模型共录入 543.11 km 排水管网的数据,如表 1 所示。数据导入模型软件,经过拓扑关系检查,获得模型的空间属性数据。

表 1 排水管网信息统计

Tab.1 Statistics of drainage networks information

项 目	总长度/ km	占比/%			
		DN100 ~ 600	DN600 ~ 1 200	DN1 200 ~ 2 000	DN2 000 以上
雨水管	183.72	79.41	18.75	1.41	0.43
合流管	72.15	17.64	21.58	21.69	39.09
污水管	287.24	49.21	39.47	11.17	0.15

为了更准确地模拟排水管网的实际状态,通过对模型待定参数进行调整,使模拟结果与实测值相符,进行模型率定。结果显示,各个监测点的模拟值与实测值拟合情况均较好,模型校核正确,可用于排水系统现状运行分析评估^[3]和调蓄池削减溢流污染水力模拟分析。

3 特征降雨与参数设置

3.1 特征降雨

为了提高模拟计算效率,采用年度特征设计降雨进行模拟计算。年度特征设计降雨代表了一组年内发生的典型降雨事件,如降雨深度为 0~5 mm 的所有降雨事件定义为一种降雨类型,一年内典型范围内的所有降雨事件可以采用类似的降雨类型进行定义,依此计算降雨类型发生的次数以及每种降雨类型发生频率的百分比,其目的是通过定义相对较小数量的降雨类型代表一个典型年份的降雨情况,以方便它们能被独立地模拟及统计汇总。通过对昆明市近 10 年的降雨资料分析,得出昆明市的特征降雨如表 2 所示。在模型分析计算时,采用国际上常用于分析合流制溢流污染的 SCS-2 雨型合成了 6 种特征设计降雨历时曲线。

表 3 西片区主要合流制溢流口的溢流情况

Tab.3 Overflow of main combined overflow ports in west area

项 目	溢流量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)			服务范围/ hm^2	区域污水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	备注
	降雨历时=0.5 h	降雨历时=1.0 h	降雨历时=2.0 h			
土堆排涝泵站	9 257.7	21 713.7	46 494.1	780.6	29 073	土堆泵站片区
小路沟溢流口	2 982.8	26 610.3	63 551.5	556.7	9 293	郑河路沟片区
郑河路沟溢流口	272.1	10 157.1	40 889.0	388.1	10 650	郑河路沟片区
小沙沟溢流口	149.1	827.7	2 136.7	87.0	3 882	
七亩沟溢流口	-3.9	469.4	13 821.6	619.0	50 164	土堆泵站片区
鱼翅沟溢流口	-0.2	-195.2	-3 165.2	45.7	2 176	土堆泵站片区
昭宗村溢流口	681.6	10 134.5	22 784.6	100.7	3 200	
铁路边沟溢流口	650.4	5 728.3	18 938.2	84.6	6 983	

5 调蓄池水力模拟

5.1 面源污染物总量模拟计算

主城西片区总汇水面积为 66.9 km^2 ,其中分流

表 2 年特征降雨统计

Tab.2 Statistic of annual characteristic rainfall

降雨 编号	场降雨 量/mm	场降雨 历时/h	场降雨后 影响期/h	场降雨历时 + 影响期/h	年降雨 场次
1	4.0	5.14	5.32	10.46	10.4
2	6.9	6.82	6.95	13.77	12.3
3	14.4	9.86	14.58	24.44	11.8
4	24.3	12.86	19.92	32.78	6.8
5	35.4	15.53	27.10	42.63	3.9
6	76.8	22.97	39.02	61.99	3.1

注: 场降雨后影响期是在模型分析计算时对于单场降雨量在降雨历时后水位恢复至降雨前所持续的时间。

3.2 参数设置

模型采用现状第三和第九水质净化厂及各泵站的运行水量和液位作为流量和水位输入数据;管段沿程水头损失系数分为管道顶部损失系数和底部损失系数,均以曼宁系数为 0.013 进行初始化设置;地下水入渗初始设置量为污水量的 10%;管道沉积物厚度初始设置为重力流管道管径的 10%。

4 合流制区域溢流分析

合流制排水系统服务片区的污染物总量大,且雨季合流水溢流量大。利用校核过的模型对西片区 8 处主要合流制溢流口进行了模拟试算,结果如表 3 所示。可知,土堆泵站溢流口、小路沟溢流口、郑河路沟溢流口及七亩沟溢流口服务范围的旱季污水总量及合流水溢流量规模较大,溢流污染已经严重威胁到河道水体环境,需要对上述溢流口所属的两大合流制区域——土堆泵站片区和郑河路沟片区进行重点分析。

制区域面积为 37.19 km^2 、合流制区域面积为 29.25 km^2 、外排区域面积为 0.46 km^2 。昆明市典型年降雨总量为 959.7 mm,产生地表径流的降雨场次(连

续降雨量 $> 3 \text{ mm}$) 的年特征降雨总量为 837.76 mm 。以 COD 作为计算西片区面源污染负荷的指标,结合对雨季合流水和分流制管道雨水的 COD 浓度分析,可计算出西片区分流制区域及合流制区域雨季的 COD 负荷。

表4 雨季分流制区域的 COD 总量

Tab.4 Total COD in separate system during rainy season

a :降雨 历时/h	b :降雨量/ mm	c :年降雨 场次	d :分流制 面积/ km^2	e :综合径流 系数	f :总径流量/ 10^4 m^3	g :COD 平均 浓度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	h :COD 总量/t
5.14	3.96	10.4	37.19	0.65	99.56	83.4	83.03
6.82	6.94	12.3			206.35		172.10
9.86	14.39	11.8			410.47		342.33
12.86	24.34	6.8			400.10		333.68
15.53	35.37	3.9			333.46		278.10
22.97	76.76	3.1			575.22		479.74
注: $f=b \times c \times d \times e/10, h=f \times g/100$ 。合计分流制排水区域的年径流总量为 $2\,025 \times 10^4 \text{ m}^3$,排入水体的年 COD 总量为 $1\,689 \text{ t}$ 。							

5.1.2 合流制区域雨季污染物模拟计算

西片区合流制区域面积为 29.25 km^2 ,综合径流系数为 0.66,同理可以计算出 6 种特征设计降雨条件下合流制区域的径流总量分别为 79.51×10^4 、 164.79×10^4 、 327.80×10^4 、 319.52×10^4 、 266.30×10^4 、 $459.37 \times 10^4 \text{ m}^3$,年径流总量为 $1\,617 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

西片区合流制区域年径流总量及污染物负荷总量由合流制溢流口溢流量、现状调蓄池调蓄水量、第三水质净化厂利用峰值系数处理合流水量、其他径流量 4 部分组成,对各部分分别通过模型模拟计算污染物总量,汇总如下:①合流制溢流口,年径流总量为 $1\,013.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,COD 平均浓度为 175.84 mg/L ,COD 总量为 $1\,782.5 \text{ t}$;②5 座现状调蓄池,年径流总量为 $199 \times 10^4 \text{ m}^3$,COD 平均浓度为 335.5 mg/L ,COD 总量为 667.6 t ;③第三水质净化厂处理合流水量,年径流总量为 $286.1 \times 10^4 \text{ m}^3$,COD 平均浓度为 179.2 mg/L ,COD 总量为 512.7 t ;④其他径流量,年径流总量为 $118.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,COD 平均浓度为 179.2 mg/L ,COD 总量为 211.8 t 。则合流制区域排入水体的年 COD 总量约为 $3\,175 \text{ t}$ 。可见,合流制区域排入水体的年 COD 总量远大于分流制区域,且以合流制溢流口的 COD 负荷最大。

5.2 调蓄池模拟分析

5.2.1 调蓄池的设置

合流制系统的调蓄池,在降雨期间收集污染物浓度较高的合流污水,待降雨停止后,将该部分合流

5.1.1 分流制区域雨季污染物模拟计算

西片区分流制区域的综合径流系数为 0.65,雨季分流制管道内的 COD 平均浓度为 83.4 mg/L ,计算 6 种特征设计降雨下西片区分流制区域排入水体的年 COD 总量,如表 4 所示。

污水经由污水管网、泵站输送至污水处理厂,处理达标后外排。合流制调蓄池的主要作用是截流前段污染物浓度较高的合流污水,提高合流制系统的截流倍数,其工作原理如图 2 所示。

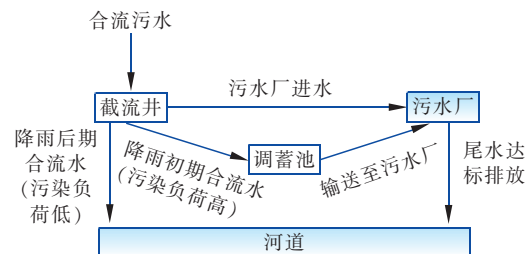


图2 合流制调蓄池的工作原理

Fig.2 Principle of combined storage tank

西片区土堆泵站、郑河路沟两个溢流污染较严重的合流制片区提出分别新建 1 座调蓄池,以设置调蓄池的合流制片区排入水体的年污染物总量不大于雨污分流改造后的分流制排水系统为原则,通过模型计算,合理确定调蓄池的有效容积。

5.2.2 溢流口的溢流量对比分析

在 6 种特征降雨工况下,利用水力模型对两个片区调蓄池建设前后溢流口的溢流量和溢流时间进行模拟计算,结果如图 3 和 4 所示(限于篇幅,只列出降雨量为 35.37 mm 、降雨历时为 15.53 h 工况下的模拟结果)。可见,两座调蓄池建设后,土堆泵站片区和郑河路沟片区溢流口的溢流量和溢流频次明显降低,溢流时间延迟,合流制溢流污染得到了有效

控制。

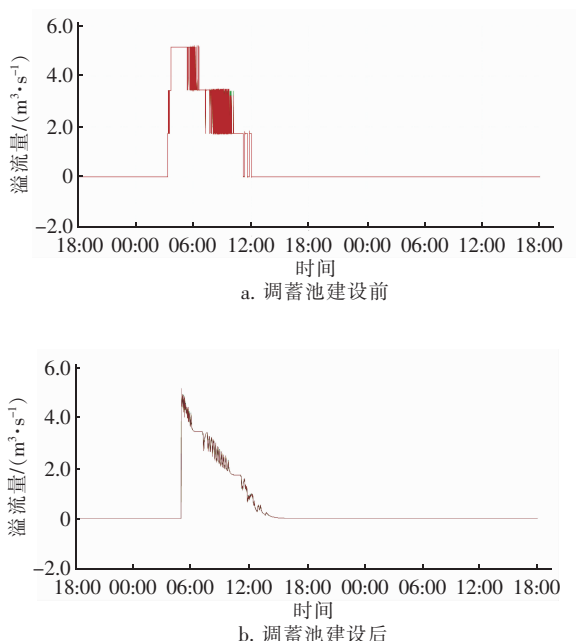


图3 土堆泵站片区调蓄池建设前后溢流口的溢流情况对比

Fig. 3 Comparison of overflow before and after storage tank construction in Tudui pump station area

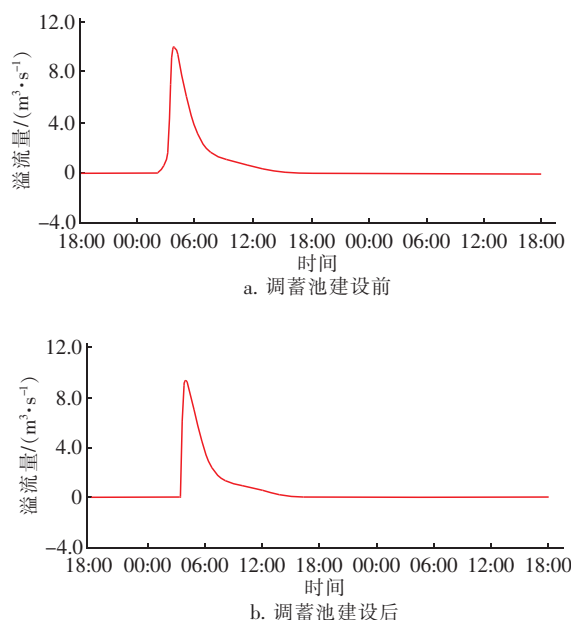


图4 郑和路沟片区调蓄池建设前后溢流口的溢流情况对比

Fig. 4 Comparison of overflow before and after storage tank construction in Zhenghelugou area

5.2.3 污染物模拟计算分析

采用水力模型对土堆泵站、郑和路沟两个片区调蓄池建设前后的 COD 总量及削减率进行模拟计算与分析,结果如下:

① 在土堆泵站片区的第三水质净化厂新建 1 座调蓄池,当有效容积为 $24\,000\text{ m}^3$ 时,片区的年截流合流污水总量约新增 $60.5 \times 10^4\text{ m}^3$,年径流总量控制率从 17.5% 提升到 19.2%,合流区的年 COD 削减率从 33.1% 提升到 35.5%,片区的年 COD 削减率从 23.1% 提升到 24.7%;年 COD 总量从 457.7 t 减少到 376.7 t,少于分流制系统的 380.5 t;年 COD 削减量为 81 t,超过分流制系统的 77.2 t,满足工程目标评估要求。

② 在郑和路沟片区新建 1 座调蓄池,当有效容积为 $14\,000\text{ m}^3$ 时,片区的年截流合流污水总量约新增 $52.4 \times 10^4\text{ m}^3$,年径流总量控制率从 17.5% 提升到 19%,合流区的年 COD 削减率从 33.1% 提升到 36.6%,片区的年 COD 削减率从 23.1% 提升到 25.5%;年 COD 总量从 416.5 t 减少到 297.9 t,不大于分流制系统的 297.9 t;年 COD 削减量为 118.6 t,不少于分流制系统的 118.6 t,满足工程目标评估要求。

6 结论

① 采用 InfoWorks CS 排水模型建立西片区排水管网的水力模型,依据实测数据对模型进行了校验,模拟值与实测值吻合度较高,能够反映西片区排水系统的水力特性,可用于西片区排水系统运行分析和合流制溢流污染控制策略的研究。

② 模拟结果表明,在土堆泵站片区的第三水质净化厂新建 1 座调蓄池,有效容积为 $24\,000\text{ m}^3$,片区年 COD 削减率可从 23.1% 提升到 24.7%,年 COD 总量可从 457.7 t 减少到 376.7 t;在郑和路沟片区新建 1 座调蓄池,有效容积为 $14\,000\text{ m}^3$,片区年 COD 削减率可从 23.1% 提升到 25.5%,年 COD 总量可从 416.5 t 减少到 297.9 t。以上两者均可实现设置调蓄池的合流制排水片区排入水体的污染物总量不大于分流制排水系统的目标。

③ 水力模型技术可为排水系统现状运行分析、合流制溢流污染控制、工程设计改造方案校核等提供科学决策支持,在实际应用中具有良好的效果。西片区合流制溢流污染问题具有一定的代表性,可为其他类似地区的模拟研究提供参考。

参考文献:

- [1] 黄容,赖泽辉,曹佳佳,等. 城市排水管网溢流模拟及污染控制研究——以广州市东濠涌为例[J]. 给排水

水,2018,44(2):115-121.

Huang Rong, Lai Zehui, Cao Jiajia, *et al.* Overflow simulation and pollution control of urban drainage network: A case study for Donghao Bay, Guangzhou City [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44 (2): 115-121 (in Chinese).

- [2] 谭琼,李田,张建频,等. 初期雨水调蓄池运行效率的计算机模型评估[J]. *中国给水排水*,2007,23(18): 47-51.

Tan Qiong, Li Tian, Zhang Jianpin, *et al.* Evaluation of computer model for operation efficiency of initial rainwater detention tank[J]. *China Water & Wastewater*,2007,23 (18):47-51 (in Chinese).

- [3] 张留臻,王辉,谭琼,等. 水力模型用于干线对区域排水系统运行影响的研究[J]. *中国给水排水*,2017,33(15):122-125.

Zhang Liuli, Wang Hui, Tan Qiong, *et al.* Application of hydraulic model in assessment of influence of safe operation of SSP II on regional drainage systems [J].

China Water & Wastewater,2017,33(15):122-125 (in Chinese).



作者简介:陈贻龙(1974-),男,江西上饶人,硕士,教授级高工,主要从事给排水工程设计及科研工作。

E-mail:874981529@qq.com

收稿日期:2019-03-20

(上接第122页)

- [6] 衣志国,杨玉环,常天一,等. 秦皇岛石河水库总氮超标原因分析及对策[J]. *当代化工研究*,2018(7): 23-24.

Yi Zhiguo, Yang Yuhuan, Chang Tianyi, *et al.* Cause analysis and countermeasures of total nitrogen exceeding standard in Qinhuangdao Shihe Reservoir [J]. *Modern Chemical Research*,2018(7):23-24 (in Chinese).

- [7] 柯浪文,王田天,周娟,等. 影响 AAO 工艺处理生活污水反硝化效率的原因分析[J]. *贵州科学*,2017,35(4):93-96.

Ke Langwen, Wang Tiantian, Zhou Juan, *et al.* Factors influencing denitrification efficiency of AAO process for domestic sewage treatment[J]. *Guizhou Science*,2017,35(4):93-96 (in Chinese).

- [8] 杨巧林,奚小英,陈娜,等. 外加碳源对污水厂异常进水时的强化脱氮效果[J]. *中国给水排水*,2011,27(3):106-108.

Yang Qiaolin, Xi Xiaoying, Chen Na, *et al.* Enhanced nitrogen removal efficiency of external carbon source

during abnormal influent in municipal wastewater treatment plant[J]. *China Water & Wastewater*,2011,27(3):106-108 (in Chinese).



作者简介:陈明飞(1995-),男,江苏扬州人,硕士研究生,主要研究方向为水污染治理。

E-mail:cmf1995@foxmail.com

收稿日期:2019-03-20