

城市排水系统的雨季 COD 溢流控制示范研究

张怀宇¹, 杨逢乐², 李树苑¹, 王海玲³, 陈才高¹, 赵磊², 朱建国¹,
张小平¹, 何飞¹, 钱望新¹

(1 中国市政工程中南设计研究总院, 湖北 武汉 430010 2 云南省环境科学院, 云南
昆明 650034 3 昆明市滇池投资责任有限公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 以服务面积为 $45 \sim 1\,041 \text{ km}^2$ 的城市区域为研究对象, 考察了不同雨量下城市排水系统的 COD 截留、调蓄控制效果。结果表明, 降雨时径流中的 COD 浓度可超过同期的旱流污水, 因而任何排水体制若不控制面源污染, 均会对水环境造成严重污染, 其中以不控制溢流污染的合流制问题更为突出。对于截流式合流制排水系统, 同时增大截流倍数和调蓄量可有效提高雨期的 COD 污染物截留量 (约 60% ~ 80%), 达到或高于传统分流制排水系统。

关键词: 排水体制; 面源污染; 截流倍数; 调蓄

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2010)22-0023-04

Demonstration Study on COD Overflow Control of Urban Sewerage during Rainfall

ZHANG Huai-yu¹, YANG Feng-le², LI Shu-yuan¹, WANG Hai-ling³, CHEN Cai-gao¹,
ZHAO Lei², ZHU Jian-guo¹, ZHANG Xiao-ping¹, HE Fei¹, QIAN Wang-xin¹

(1 Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute, Wuhan
430010 China; 2 Yunnan Academy of Environmental Science, Kunming 650034 China; 3
Kunming Dianchi Investment Co., Ltd., Kunming 650051, China)

Abstract COD overflow, interception, detention and retention of urban sewerage with a service area of 45 to $1\,041 \text{ km}^2$ were investigated under different rainfalls. The results show that COD in rainfall runoff may exceed that in dry weather wastewater. So any drainage system that does not control non-point source pollution would pollute the water environment severely, especially combined system that does not control overflow. The intercepting rate of COD in intercepting-type combined system can be increased to 60% to 80% during rainfall by improving interception ratio, detention and retention capacity, which is higher than that in traditional separate system.

Key words drainage system; non-point source pollution; interception ratio; detention and retention

传统的截流式合流制排水系统降雨时溢流的污染物短时间内会对城市水体造成污染, 不仅影响水

体的短期水质, 而且此冲击负荷还是城市水体污染的重要来源。然而, 很多情况下, 合流制改造为分流

基金项目: 国家高技术发展计划 (863) 项目 (2005AA601010-01); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07102-002-003)

制代价高昂,甚至不可能,因此提高合流制排水系统的污染物截留能力十分迫切。在对合流制排水系统实测和示范运行的基础上,分析了调整截流倍数(n_0)^[1]和调蓄量(S)的技术效果,并与常规的分流制排水系统进行比较,以供参考。

1 示范区域的污染物截流效果

1.1 合流污水量的测定

选取某市主城区的城东片明通河排水区域作为示范研究区,面积为 1 041 hm²,平均海拔高度为 1 891.97 m,地形较为平缓,相对高差为 16.6 m,平均坡度为 0.27%,其中坡度 < 0.9% 的区域占总面积的 87.46%。该区域主要采用合流制排水系统,排水系统的末端为该市第二污水处理厂,设计处理能力为 10 × 10⁴ m³/d。对明通河的合流制管渠上游、中游、下游各选一个断面 A、B、C,各断面的服务面积为 45~1 041 hm²,其特征如表 1 所示。服务区域内旱流污水主要为综合生活污水。

表 1 研究区监测点控制区域特征

Tab 1 Characteristics of monitoring points

项目	面积 / hm ²	不透水 率 /%	坡度 /%	类型	旱流污水量 / (m ³ ·s ⁻¹)
A	45	83.5	0.37	居民区	0.093
B	635	82.4	0.71	城市综合型	0.961
C	1 041	77.1	0.64	城市综合型	1.157

在三场不同降雨(降雨量分别为 11、0.28、6.41.0 mm,按 12 h 降雨量分别为中雨、大雨和暴雨)中,同步测定瞬时流量及水质指标 COD、TN、TP、SS 等,降雨强度大时每 10~20 min 测定一次,降雨强度弱时每 30~60 min 测定一次。

1.2 对 COD 的截留效果

B、C 断面各有两条管渠,断面流量取同步测定的流量值叠加,断面污染物浓度取同步采样的污染物浓度按流量加权平均。雨期 COD 为 41~632 mg/L, TN 为 10.7~64.6 mg/L, TP 为 0.59~7.76 mg/L, SS 为 31~5 111 mg/L。同一场降雨时 COD、TN、TP、SS 的变化近似,故以 COD 为分析对象。三个断面三场降雨时的降雨量、流量及 COD 污染物总量如表 2 所示。

由表 1 和表 2 可知,以峰值计旱流污水量占合流污水量的 10.9%~55.4%,平均为 20.9%;以均值计旱流污水量占合流污水量的 17.8%~82.1%,平均为 31.4%。这表明地表径流在合流污水量中基本占主导地位。经分析,合流污水呈弱初期效应。

合流污水中旱流 COD 总量平均占 47.6%;而对于传统的合流制排水系统,污水厂未考虑雨季处理量高于旱流量的处理能力,仅能收纳合流污水中 COD 总量的 30.5%,相当于旱流的 74.6%,即常规分流制对 COD 的截留率比 $n_0=0$ 时的合流制高 34.0%。这表明此种排水体制下,不仅面源 COD 污染全部溢流,大量旱流 COD 污染也溢流进入城市水体,其效率远低于分流制。雨时旱流 COD 污染物仅占合流污染物的 47.6%,若不处理径流挟带的污染物,排入城市水体的污染量也相当可观。

表 2 降雨时合流管渠的流量及污染物量

Tab 2 Rate of flow and pollutants in combined sewer during rainfall

项目	降雨量 / mm	雨型	合流流量 / (m ³ ·s ⁻¹)		旱流 COD 总量 X_{dr} /kg	合流 COD 总量 X_c /kg	旱流 COD 比率 (X_{dr}/X_c) / %	$n_0=0$ 时的 COD 截留		
			Q_{ave}	Q_{max}				截留 总量 X_{cc} /kg	截留 率 (X_{cc}/X_c) / %	相对截 留效率 (X_{cc}/X_{dr}) / %
A	11	中雨	0.113	0.167	800	862	92.8	683	79.2	85.3
B	11	中雨	3.29	8.85	5 019	7 341	68.4	1 829	24.9	36.4
C	11	中雨	3.83	6.50	1 209	1 474	82.0	431	29.3	35.7
A	28.6	大雨	0.289	0.337	1 119	2 464	45.4	782	31.7	69.9
B	28.6	大雨	5.41	8.30	11 949	67 283	17.8	11 450	17.0	95.8
C	28.6	大雨	5.83	8.74	14 109	30 023	47.0	6 060	20.2	43.0
A	41	暴雨	0.284	0.367	985	2 778	35.4	889	32.0	90.3
B	41	暴雨	4.59	6.43	9 284	60 041	15.5	12 666	21.1	136.4
C	41	暴雨	6.31	10.08	10 797	45 416	23.8	8 534	18.8	79.0

注:旱流 COD 比率、 $n_0=0$ 时的 COD 截留率及其相对截留效率的算术平均值分别为 47.6%、30.5%、74.6%。

不同截流倍数下,合流污水的 COD 截留率如图 1 所示。

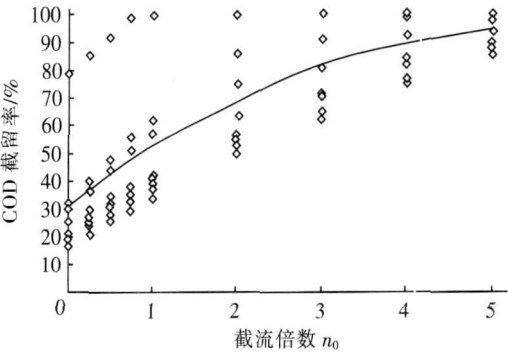


图 1 不同截流倍数时合流污水的 COD 截留率

Fig 1 Intercepting rate of COD in combined sewer under different interception ratios

由图 1 可知,随着截流倍数 n_0 的增加, COD 截

留率相应从 30.5% 逐步增加, 超过旱流污水的 47.6%, 达到 80% 以上。

1.3 不同调蓄量下的 COD 截流效果

调蓄需要利用旱时污水处理厂的冗余处理能力, 因此只有排水系统的截流倍数大于零时, 调蓄才有意义。截流倍数 $n_0 = 0.5$ 时, 不同调蓄量下合流污水的 COD 截留率如图 2 所示。可知, 随着调蓄量 S 的增加, COD 截留率自 42% 逐步增加, 超过旱流污水的 47.6%, 达到 80% 以上。

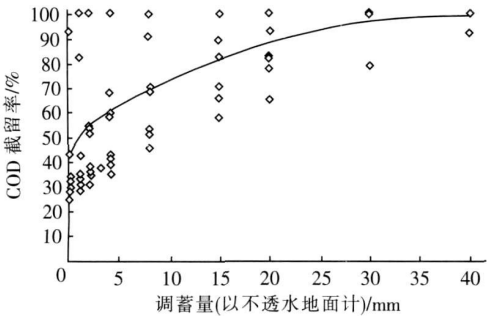


图 2 不同调蓄量时合流污水的 COD 截留率

Fig 2 Interception rate of COD in combined sewer under different storage capacities

1.4 截流与调蓄共同作用下的污染物截留效果

由以上分析可知, 提高截流倍数或提高调蓄量均可有效提高污染物的截留率, 达到以致超过分流制时的截留率。

分析表明, 截流倍数和调蓄之间存在协同关系, 结果如图 3 所示。

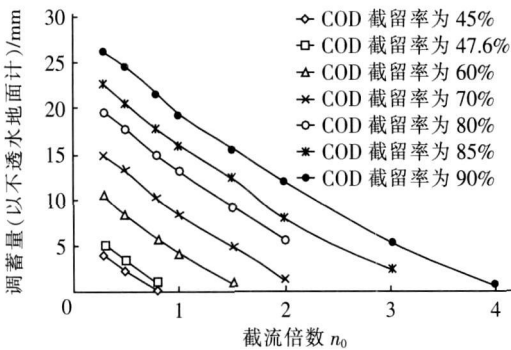


图 3 不同截流倍数和调蓄量作用下的 COD 等截留率曲线

Fig 3 Equivalent COD interception rates under different interception ratios and storage capacities

由图 3 可见, 随着截流倍数 n_0 的增加, COD 等截留率曲线的曲率逐渐降低, 表明在较高的截流倍数下 COD 的截留效能有所降低。在 $n_0 = 0.3 \sim 2$ 、

COD 截留率 $< 80\%$ 时, 其斜率近似为 -80 。据此绘制截流和调蓄联合作用下的 COD 截留效果, 结果如图 4 所示。

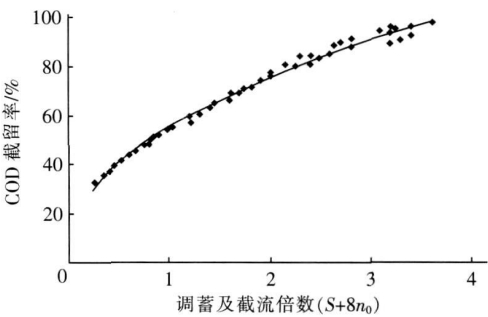


图 4 不同截流倍数和调蓄量协同作用下的 COD 截留率

Fig 4 COD interception rate under different interception ratios and storage capacities

图 4 中拟合曲线公式如下:

$$x = 19.94(S + 8n_0)^{0.444} \tag{1}$$

式中 x ——COD 截留率, %

S ——调蓄量, mm (以不透水地面计)

n_0 ——截流倍数

式 (1) 表明, 在给定的条件下, 截流倍数增大 1 倍相当于调蓄增加 8 mm (以不透水地面计), 两者可共同有效提高 COD 截留率。 $S + 8n_0 = 7.1$ 时, COD 截留率为 47.6%, 相当于旱流污染物占合流污水的 COD 比率; $S + 8n_0 = 12.0 \sim 22.9$ 时, COD 截留率为 60% ~ 80%, 此时 COD 截留率近似随 $S + 8n_0$ 呈线性增长, 增大 $S + 8n_0$ 可提高 COD 截留率。

2 示范运行效果

采用增加截流倍数和设置调蓄装置的方法进行示范区的溢流污染控制。具体措施: 通过改造和优化运行提升污水厂的雨季处理能力, 实现截流倍数的升高, 污水厂在现状最大处理量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的基础上, 降雨时可达到 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理能力; 利用明通河道 (现状合流渠) 作为调蓄水体, 并在污水厂内建设部分工程调蓄装置作为补充, 总调蓄容积为 $27\,000 \text{ m}^3$ (以不透水地面计调蓄量为 3.4 mm)。

2007 年雨季进行示范运行, 示范期与历史同期的 2004 年高峰时期比较, 在因降雨密集导致 COD 平均进水浓度低 15.3% 的情况下, 实现 COD 平均截留量为 17.56 t/d 较对比期的 COD 截留量 (14.38 t/d) 提高了 22.1%, 同时明通河下游的大清

(下转第 42 页)

表 2 2010 年 2 月—7 月运行结果
Tab 2 Operation result from Feb to Jul 2010

项 目		2月	3月	4月	5月	6月	7月
COD	进水 /(mg• L ⁻¹)	202	189	323	260	305	270
	出水 /(mg• L ⁻¹)	23	31	24.7	21.3	22	20
	去除率 %	88.6	83.6	92.4	91.8	92.8	92.6
BOD ₅	进水 /(mg• L ⁻¹)	57.5	70.4	147	66.7	131	110
	出水 /(mg• L ⁻¹)	5.93	10	5.64	5.25	6	5.5
	去除率 %	89.7	85.6	96.2	92.1	95.4	95
NH ₃ -N	进水 /(mg• L ⁻¹)	16.1	18.6	15.2	18	17	20
	出水 /(mg• L ⁻¹)	7.88	3.83	2.4	4.7	3.2	5.3
	去除率 %	51	79.4	84.2	73.9	81.2	73.5
TN	进水 /(mg• L ⁻¹)	22.9	35.3	36.8	26.3	35.8	30
	出水 /(mg• L ⁻¹)	13.2	19.5	12	13.1	13.2	14.1
	去除率 %	42.3	46.2	67.4	50.2	63.1	53
SS	进水 /(mg• L ⁻¹)	60	102	372	527	245	320
	出水 /(mg• L ⁻¹)	6	10.6	18.6	13.5	11	12.5
	去除率 %	90	89.6	95	97.4	95.5	96.1
TP	进水 /(mg• L ⁻¹)	3.2	3.08	6.55	3.05	2.6	3.2
	出水 /(mg• L ⁻¹)	0.98	1	0.85	0.49	0.7	0.7
	去除率 %	69.4	67.5	87	83.9	73.1	78.1

4 结语

① 采用多点进水的倒置 A²/O 生化工艺处理

城镇污水,对 COD、BOD₅、SS、NH₃-N 及总磷都有较好的去除效果,出水水质可以满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准。

② 在污水处理工程设计中,可以通过优化工程设计和采用较为先进的处理设备,达到节约费用、提高效率的效果。

参考文献:

[1] 李天琪,卢义程. 上海大众嘉定污水处理有限公司一期工程的设计与运行 [J]. 中国给水排水, 2008, 24 (22): 42-44

[2] 晏振辉,李剑波,周琪,等. 上海市泗塘污水处理厂脱氮除磷达标改造工程实践 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(2): 29-32

[3] 张志,康壮武,陈松明. 倒置 A²/O 脱氮除磷工艺对传统活性污泥法污水厂的改造 [J]. 水处理技术, 2006, 32(11): 24-27.

E-mail byj@shnet.com
收稿日期: 2010-04-09

(上接第 25 页)

河河水黑臭消除,取得了良好的除污效果。

3 结论

本示范研究对象为地势较平坦、服务面积为 45~1 041 hm²的城市区域,城市合流制管道呈弱初期效应,研究的降雨包括中雨、大雨、暴雨,研究结果具有一定的代表性。典型降雨条件下降雨径流挟带的污染物总量可观,雨期可达到甚至超过同期旱流污水挟带的污染量。传统分流制系统中的雨水管所挟带的污染量,以及传统合流制溢流污染突出,后者更为严重。不论何种排水体制,均应重视面源污染控制。对于研究区域,增加截流倍数或调蓄量可

有效提高雨期的 COD 污染物截留率,达到或高于传统的不处理雨水径流的分流制排水系统的截留率;在 $n_0=0.3\sim 2$ COD 截留率 < 80% 时,截流倍数增加 1 倍时相当于调蓄量增加 8 mm (以不透水地面计)。

参考文献:

[1] GB 50014—2006 室外排水设计规范 [S].

E-mail wuhan_zhang@yahoo.cn
收稿日期: 2010-01-04