

降雨时排水合流管道截流系统的污染物截留率和溢流量

杨文进 张怀宇 李树苑

(中国市政工程中南设计研究院, 武汉 430010)

摘要 根据实测数据研究了降雨时排水合流管道截流系统的污染物截留率和溢流量。结果表明,在降雨过程中,四条合流管截流系统的污染物截留率都随雨水最大流量 $Q_{\max}$ 与旱流污水流量 Q_{dr} 之比的增大而降低。大雨的 $Q_{\max}/Q_{\text{dr}}$ 为 8.9~9,截流倍数 $n_0=1$ 时,污染物的平均截留率为 30.9%;暴雨的 $Q_{\max}/Q_{\text{dr}}$ 为 24.9,且 $n_0=1$ 时,污染物的平均截留率为 9.6%。截流式合流管的 $Q_{\max}/Q_{\text{dr}}$ 应小于 $2(n_0+1)$ 。大雨、暴雨的各管污染物溢流量,随其合流水的流量、污染物浓度的迅速升高而同步增大。暴雨虽经 $n_0=5$ 的截流,其 COD_{Cr} 溢流总量仍然很大,等于降雨时段内该合流管旱流污水所含 COD_{Cr} 总量的 9.8 倍。在暴雨溢流造成严重污染的地区,如有条件,可采用滞留池(塘)、湿地对高峰流量时的合流水进行调蓄、处理。

关键词 合流管道 溢流 截流倍数 污染物截留率

降雨时城市排水合流管道的雨水与旱流污水的混合溢流使接纳水体遭受污染,一般采用截流的方法降低污染。对于污染物的截留率以及溢流量,需用系统的同步实际流量测量和水质化验结果进行验证。本文根据广州、武汉两地降雨时合流干管出口流量和水质的实测数据^[1,2],进一步综合研究不同的降雨量、合流管、截流倍数、雨水最大流量与旱流污水流量之比等条件下的污染物截留率和溢流量。

1 污染物截留率

研究的合流干管为 A、B、C、D 四条,降雨量为中雨、大雨、暴雨三种。四条管道的排水系统范围以内一般属于城镇建筑较密集区,旱流污水主要为综合生活污水。四条管道出口的旱流污水流量 (Q_{dr}) 为 35~510 L/s,雨水最大流量 ($Q_{\max}$) 为 465~12 690 L/s。

在 A、B、C 三条管的同一场降雨量为大雨全过程中以及在 D 管的中雨、大雨、暴雨三场降雨全过程中,降雨强度大时,每 10 min 同步而瞬时地测量流量和采取污染物浓度化验水样各一次,降雨强度减弱时每 20~60 min 测量和取样各一次。中雨过程共测量化验 10 次,大雨、暴雨各测定 20~27 次。四场雨、四条管道出口的高峰流量时污染物浓度一般为: COD_{Cr} 278~584 mg/L、TN 10~26.6 mg/L、TP 0.66~1.96 mg/L、SS 54~542 mg/L。

根据每场降雨各合流干管出口截留污染物的测定数据,分别得到各管的污染物截留率,见表 1。可见,在同一种雨水最大流量与旱流污水流量之比 ($Q_{\max}/Q_{\text{dr}}$)、同一场降雨的条件下,各管的截流倍数 n_0 越大时,其 COD_{Cr} 、TN、TP、SS 等的截留率都越高。

表 1 降雨时截流式合流干管的污染物截留率实测结果

编号	雨型	$Q_{\max}/Q_{\text{dr}}$	污染指标	污染物截留率 / %		
				$n_0=1$	$n_0=3$	$n_0=5$
D	中雨	3.9	COD_{Cr}	62.78	93.44	100
			TN	58.28	92.07	100
			TP	58.2	92.2	100
			SS	57	91.81	100
D	大雨	8.9	COD_{Cr}	32.58	71.74	91.32
			TN	36.77	75.73	93.02
			TP	33.44	73.9	92.46
			SS	32.58	72.66	91.36
A	大雨	9	COD_{Cr}	21.23	63.75	82.98
			TN	28.27	70.18	85.09
			TP	31.46	67.81	86.56
B	大雨	13.3	COD_{Cr}	15.09	38.06	55.59
			TN	24.38	52.09	70.67
			TP	19.94	44.8	70.91
C	大雨	17.1	COD_{Cr}	12.2	32.93	50.49
			TN	15.66	40.26	56.14
			TP	14.15	35.27	47.72
D	暴雨	24.9	COD_{Cr}	6.88	20.14	32.96
			TN	11.17	31.28	49.17
			TP	14.24	39.01	59.87
			SS	6.27	18.78	31.36

在 n_0 相同的条件下, $Q_{\max}/Q_{dr}$ 越大时, 则 COD_{Cr} 、TN、SS 截留率以及大多数的 TP 截留率都越小。同一条合流干管在降雨量、 $Q_{\max}/Q_{dr}$ 、 n_0 都相同的条件下, COD_{Cr} 、TN、TP、SS 的截留率之间, 彼此的差值不大。

2 污染物溢流量

2.1 同一条合流管道、同一场降雨的不同污染物溢流量变化

在大雨 (降雨量 38 mm) 的降雨全过程中, 合流管 D 的 COD_{Cr} 、SS、TN、TP 溢流量都呈塔形曲线变化 (见图 1~图 4), 各曲线彼此相似。当 $n_0 = 1$ 时, COD_{Cr} 、SS、TN、TP 溢流量的峰值分别为: 12.3 kg/min、7.51 kg/min、2.81 kg/min、0.125 kg/min。

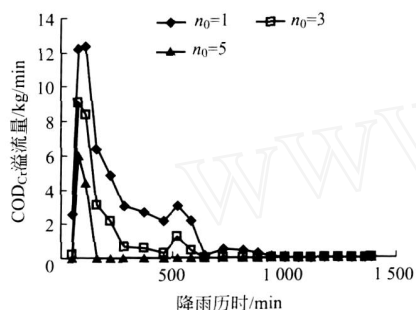


图 1 合流管 D 大雨时 COD_{Cr} 溢流量

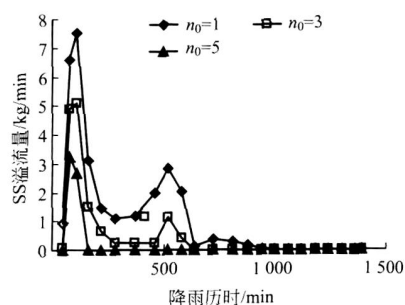


图 2 合流管 D 大雨时 SS 溢流量

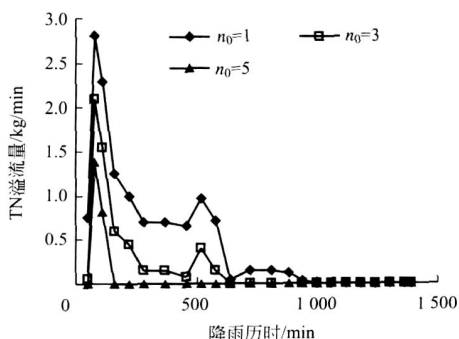


图 3 合流管 D 大雨时 TN 溢流量

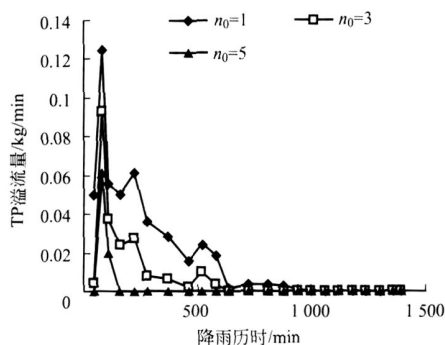


图 4 合流管 D 大雨时 TP 溢流量

D 管在暴雨、中雨时 COD_{Cr} 、SS、TN、TP 的溢流量曲线, 以及 A、B、C 管在同一场大雨 (降雨量 37 mm) 时 COD_{Cr} 、TN、TP 的溢流量变化都彼此相似。因此, 在以下的溢流量研究中, 以 COD_{Cr} 作为代表。

2.2 同一条合流管道、不同降雨量的 COD_{Cr} 溢流量变化

图 5、图 6 为合流管 D 在中雨 (降雨量 19.9 mm)、大雨、暴雨 (降雨量 65.4 mm) 时 COD_{Cr} 溢流量与降雨历时的关系。 $n_0 = 1$ 时, 中雨 COD_{Cr} 溢流量峰值为 3.8 kg/min, 暴雨为 306 kg/min; 中雨、大雨、暴雨的全场降雨 COD_{Cr} 溢流量分别为: 414 kg、2507 kg、31350 kg。

2.3 不同合流管道、相同降雨量的 COD_{Cr} 溢流量变化

在同一场大雨的降雨全过程中, 合流管 A、B、C

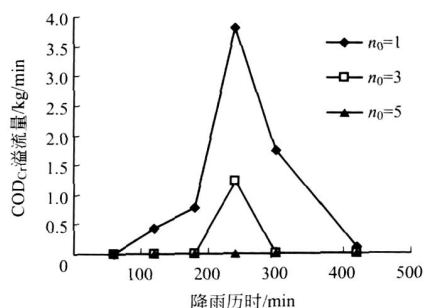


图 5 合流管 D 中雨时 COD_{Cr} 溢流量

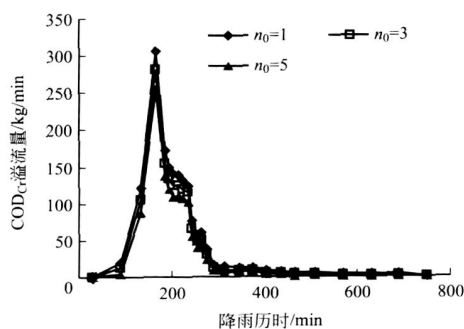


图 6 合流管 D 暴雨时 COD_{Cr} 溢流量

出口的 COD_{Cr} 溢流量变化大致近似 (见图 7~图 9)。由于各管的排水系统和地面径流状况不同,各曲线之间出现少数水样的差异。A、B、C 管出口在 $n_0 = 1$ 时, COD_{Cr} 溢流量峰值分别为 73.7 kg/min、14.2 kg/min、30.1 kg/min。

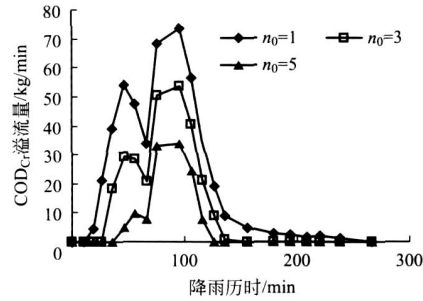


图 7 合流管 A 大雨时 COD_{Cr} 溢流量

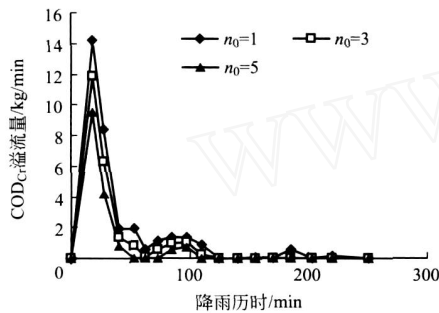


图 8 合流管 B 大雨时 COD_{Cr} 溢流量

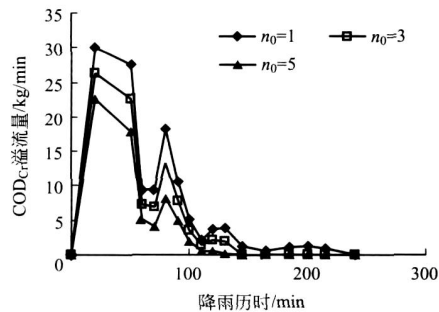


图 9 合流管 C 大雨时 COD_{Cr} 溢流量

2.4 污染物溢流量与合流水流量、污染物浓度的关系

图 10、图 11 分别为大雨时 A 管和暴雨时 D 管溢流量与合流水流量、污染物浓度的关系,从图可见,降雨时合流管 A、D 的 COD_{Cr} 、SS 溢流量,分别随其管中的合流水流量以及 COD_{Cr} 、SS 浓度的变化而变化。在大雨、暴雨的降雨过程中,合流管的合流水流量迅速增大;由于雨水冲刷地面以及合流管道中沉淀物被大流量冲起等原因,合流水的污染物浓度都同时增大,

A、D 管的 COD_{Cr} 、SS 浓度都在 500 mg/L 以上。这造成了 COD_{Cr} 、SS 等溢流量的迅速增大。中雨过程的合流水中污染物浓度一般没有出现大幅度升高。

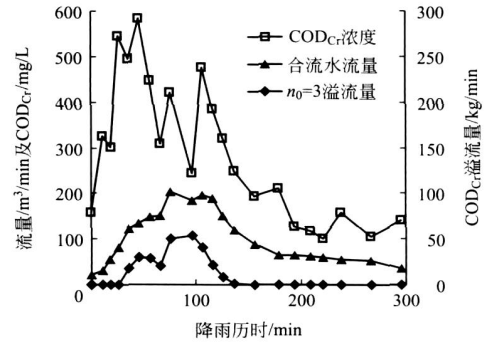


图 10 大雨 A 管 COD_{Cr} 溢流量与合流水流量、 COD_{Cr} 浓度关系

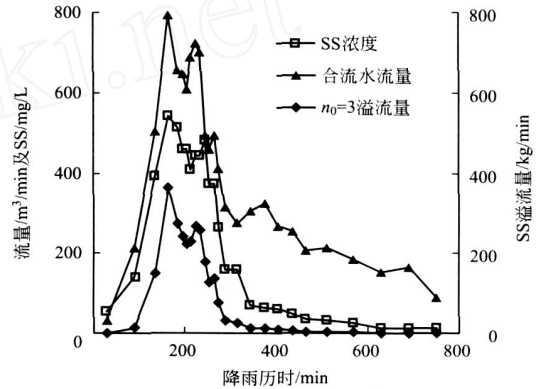


图 11 暴雨 D 管 SS 溢流量与合流水流量、SS 浓度关系

2.5 COD_{Cr} 溢流总量

各种合流干管、降雨量、 Q_{max} 、 Q_{dr} 、 n_0 的 COD_{Cr} 溢流总量测定结果见表 2。可见,暴雨的降雨过程中截流式合流干管 D 的 Q_{max} 、 Q_{dr} 分别为 12 690 L/s、510 L/s, COD_{Cr} 溢流总量很大: $n_0 = 1$ 时高达 31 350 kg, $n_0 = 5$ 时仍高达 22 570 kg。

表 2 降雨时截流式合流干管的 COD_{Cr} 溢流总量测定结果

编号	降雨量 /mm	Q_{max} /L/s	Q_{dr} /L/s	COD_{Cr} 溢流总量 /kg		
				$n_0 = 1$	$n_0 = 3$	$n_0 = 5$
A	37	3 060	340	5 169	2 821	1 117
B	37	465	35	456	333	239
C	37	2 598	152	1 727	1 309	974
D	19.9	2 010	510	414	73	0
D	38	4 250	480	2 507	1 051	323
D	65.4	12 690	510	31 350	26 880	22 570

中雨时 D 管的 Q_{max} 、 Q_{dr} 分别为 2 010 L/s、510 L/s, $n_0 = 1$ 时 COD_{Cr} 溢流总量为 414 kg, $n_0 = 5$ 时无

溢流。

TN、TP、SS溢流总量都与相同条件下的 COD_{Cr} 溢流总量成正比关系。

3 分析与讨论

(1) 在降雨过程中,合流干管流量迅速增大时, COD_{Cr} 、SS、TN、TP等污染物浓度以及可沉固体、浊度、 BOD_5 化验数据都同时升高。在观测现场可明显看出,合流管中的水位迅速上升,与浊度、可沉固体等水质表观指标的瞬时巨变,都是同步发生的。大雨、暴雨的合流管高峰流量时 COD_{Cr} 浓度高于旱流污水正常 COD_{Cr} 浓度。

(2) Q_{max}/Q_{dr} 越大时, COD_{Cr} 、TN、TP、SS等的截留率则越小。因为降雨时合流管的截流水与溢流水的水质相同,所以当上述比值越大,亦即截流量所占比例越小时,污染物截留率就越小。综合表 1 数据, $Q_{max}/Q_{dr} < 2(n_0 + 1)$ 时, COD_{Cr} 、TN、TP、SS等截留率为 60% ~ 80%。

(3) 合流管 D 在雨量为 65.4 mm 的暴雨时,雨水最大流量为 12 690 L/s。由于该管的 Q_{max}/Q_{dr} 高达 24.9,所以 $n_0 = 1$ 时, COD_{Cr} 的截留率仅为 6.88%,最大 COD_{Cr} 溢流量达到 306 kg/min, COD_{Cr} 溢流总量高达 31 350 kg。暴雨时该管虽然经过 $n_0 = 5$ 的截流, COD_{Cr} 溢流总量仍达 22 570 kg,等于暴雨全过程中该管旱流污水所含 COD_{Cr} 总量的 9.8 倍。合流管 D 在中雨过程中对污染物的截留效果较好。以上结果足以说明,合流管道截流系统适用于中雨,但对于暴雨的适应性差。多年来,滞留池(塘)、湿地对暴雨溢流水的调蓄、处理运行一直受到关注。Field^[3]、Walker等^[4]先后对停留池(塘)、湿地的应用做了文献综述,李田等^[5]对雨水调蓄池的设计方案做过论述。根据本研究结果认为,我国南方因暴雨造成污染的地区,有条件时可采用暴雨径流调蓄池、湿地或管渠泵站等,接纳短时间的洪峰合流水,降低污染物溢流量。

(4) 本文研究结果都是根据广州市、武汉市的系统流量测量、污染物浓度化验数据得出的,可以表达类似城区截流式排水合流系统降雨时污染物截留和溢流的实际情况。

4 结论和建议

(1) 降雨量为大雨、暴雨时,合流干管高峰流量

的水中 COD_{Cr} 、SS、TN、TP浓度一般高于旱流污水。

(2) 合流干管系统的 COD_{Cr} 、SS、TN、TP截留率,都随着 Q_{max}/Q_{dr} 增大而降低。在大雨以及 $Q_{max}/Q_{dr} = 8.9 \sim 9$ 的条件下,四项平均截留率为: $n_0 = 1$ 时 30.9%, $n_0 = 3$ 时 70.8%, $n_0 = 5$ 时 89%;在暴雨以及 $Q_{max}/Q_{dr} = 24.9$ 时,四项平均截留率为: $n_0 = 1$ 时 9.6%, $n_0 = 3$ 时 27.3%, $n_0 = 5$ 时 43.3%。

(3) 在中雨、大雨、暴雨各场降雨过程中,合流水经过截流倍数 1 ~ 5 倍的截流以后, COD_{Cr} 、SS、TN、TP等溢流量与降雨历时的关系,多数近似于塔形曲线。 COD_{Cr} 溢流量—降雨历时的曲线,随着合流水流量—降雨历时、 COD_{Cr} 浓度—降雨历时的两条曲线变化而同步波动。

(4) 在暴雨全过程中,一条旱流污水流量为 510 L/s 的合流干管,经过 $n_0 = 1$ 、 $n_0 = 5$ 的截流以后, COD_{Cr} 溢流总量仍然很大,分别等于降雨时段内该干管旱流污水所含 COD_{Cr} 总量的 13.7 倍、9.8 倍。TN、TP、SS、 BOD_5 等溢流总量都与相同条件下 COD_{Cr} 溢流总量成正比。

根据以上研究笔者建议:截流式合流管的 Q_{max}/Q_{dr} 应小于 $2(n_0 + 1)$;在暴雨溢流造成严重污染的地区,有条件时,可采用滞留池(塘)、湿地或管渠泵站等对高峰流量时的合流水进行调蓄、处理,以降低暴雨洪峰时的污染物溢流排放量。

参考文献

- 1 张怀宇,杨文进,李树苑.广州市合流制排水系统截流倍数研究. [见]:中南设计研究院 50 周年论文集.武汉:中国市政工程中南设计研究院,2004
- 2 白保柱,李国侗,秦工一.武汉东湖重污染区地表径流污染研究报告.武汉市环境保护科学研究所,1995
- 3 Field R. Urban runoff and combined sewer overflows. Journal of Water Pollution Control Federation. 1980. 52(6): 1290 ~ 1307
- 4 Walker K P. Urban runoff and combined sewer overflows. Water Environment Research. 1994. 66(4): 305 ~ 310
- 5 李田,曾彦君,高秋霞.苏州河沿岸排水系统雨水调蓄池设计方案探讨.给水排水,2008,34(2): 42 ~ 46

&电话: (027) 82426036

E-mail: wenjin_yang@hotmail.com

收稿日期: 2008-05-09