

山地城市初期合流溢流污水冲刷效应研究

胡澄¹, 何强¹, 徐志恒², 李华³

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 中铁四院 昆明楚云交通工程设计有限公司, 云南 昆明 650214; 3. 重庆水务集团股份有限公司 涪陵污水处理厂, 重庆 408000)

摘要: 以涪陵城区典型合流雨污溢流口——城五校溢流口(检查井编号为YW22-3J)为研究对象,对山地城市初期合流溢流污水的冲刷效应进行研究。研究表明,涪陵城区初期合流溢流污水中污染物的EMC值如下:TSS=477 mg/L、TCOD=530 mg/L、TP=3.11 mg/L、TN=26.2 mg/L,均高于地表水V类标准限值;当降雨强度较大时,初期合流溢流污水的TCOD、TSS、TP、含砂量等指标均有明显的初期冲刷效应。总体来说,山地城市初期合流溢流污水冲刷效应一方面受到降雨量、降雨强度、降雨历时、雨前晴天数、地表沉积物和管道沉积物积累等因素影响;另一方面,山地城市地势高差大、管网落差明显的特征,强化了初期合流雨污水的冲刷效应,增加了溢流雨污水中污染物的扩散程度,对周边水体造成的污染更为严重。

关键词: 三峡库区; 山地城市; 初期合流溢流污水; 冲刷效应

中图分类号: X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2012)11-0057-04

Flush Effect of Initial Overflows from Combined Sewer Systems in Mountainous Cities

HU Cheng¹, HE Qiang¹, XU Zhi-heng², LI Hua³

(1. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment <Ministry of Education>, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Kunming Chuyun Traffic Engineering Design Co. Ltd., China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd., Kunming 650214, China; 3. Fuling WWTP, Chongqing Water Group Co. Ltd., Chongqing 408000, China)

Abstract: A typical overflow outlet in a mountainous city, the Chengwuxiao (No: YW22-3J) in Fuling, was selected to study the flush effect of initial overflows from a combined sewer system. The results showed that the EMCs including TSS=477 mg/L, TCOD=530 mg/L, TP=3.11 mg/L and TN=26.2 mg/L were higher than the V criteria specified in the *Environmental Quality Standards for Surface Water*. During massive rainfall, TCOD, TSS, TN and TP showed markable first flush effects. The flush effect of initial overflows from a combined sewer system is influenced by amount of rainfall, rainfall intensity, rainfall duration, number of dry days before rain, accumulation of surface sediments, and pipeline sediment. The large terrain height difference and large elevation drop of sewer flow strengthened the flush effect of initial overflows from the combined sewer system and increased contaminant diffusion, which caused more serious pollution in surrounding water.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07318-008-003)

Key words: Three Gorges reservoir region; mountainous city; initial overflows from combined sewer system; flush effect

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

重庆市涪陵区地处四川盆地东南边沿,地势由西北向东南升高,气温递降,降水递增,立体气候明显;区内1953年—2002年平均年降雨量为1 130 mm,最大年降雨量达1 363.4 mm,最小年降雨量为800.5 mm,降雨主要集中在4月—10月,此间的降雨量占全年总降水量的85%左右。涪陵呈山地型城市特征,多采用合流制管网,且管网溢流倍数选取较小、落差较大;降雨初期合流溢流雨污水未经处理直接排入周边水体,对周边水体的污染较严重。

1.2 样品采集与检测

采样点设在重庆涪陵江南片区城五校污水井(合流制,检查井编号为YW22-3J),设有溢流口。

在YW22-3J检查井中采集样品,同时进行流速和断面测定;当降雨径流产生时开始取样,第一个0.5 h,每间隔5 min采集1个水样,第二个0.5 h,每间隔10 min采集1个水样,随后每30 min采集1个水样,采样在降雨开始3 h后结束;样品采集后进行编号,贴标签,记录采样地点和时间;采样完毕后将样品放入冰箱(0~4℃)保存,并立即测定。

2010年间采集的有效样品的时间及降雨情况如下:7月8日,降雨径流形成时间为6:15,历时约90 min,累计降雨量为14.5 mm,降雨集中在开始的1 h内,最大1 h降雨量为11.7 mm/h;降雨集中,强度大,历时较短,距前一次降雨时间为25 h。8月14日,降雨径流形成时间为21:05,历时约50 min,累计降雨量为5.6 mm,降雨主要集中在开始的前0.5 h内;降雨强度大,雨量集中,历时短,距前一次降雨时间为26 d。9月22日,降雨径流形成时间为9:00,历时约8 h,累计降雨量为7.4 mm;降雨较平均,最大1 h降雨量为1.6 mm/h,距离上一次降雨时间为13 d。

采用国家标准方法检测各指标。

2 结论与分析

2.1 初期合流溢流污水中污染物的EMC值

从初期合流溢流污水的时间变化规律可以看出,一次降雨过程中初期合流溢流污水浓度变化剧烈。运用污染物降雨事件平均浓度(EMC)来对初期合流溢流污水中某污染物的负荷做出评价,也就是降雨过程中各测样浓度的流量加权平均值。结果如表1所示。

表1 涪陵城五校溢流口各污染物的EMC值

Tab.1 EMC of pollutants in CSOs

mg·L⁻¹

项目	TSS	TCOD	DCOD	TP	DTP	TN	DTN	NH ₃ -N	含砂量
2010-07-08	344	386	92	2.27	1.19	23.1	16.8	15.6	270
2010-08-14	400	560	114	3.94	2.00	27.5	19.7	19.0	261
2010-09-22	686	643	74	22.15	3.10	28.1	24.1	23.2	468
平均值	477	530	93	3.11	1.60	26.2	20.2	19.2	333

注: TP、DTP的EMC值没有将9月22日降雨的测量值列入计算。

由表1可知,9月22日降雨过程,初期合流溢流污水的污染物EMC值较高,8月14日的比9月22日的稍低,7月8日的最低。分析认为,7月8日降雨其初期合流溢流污水中各污染物的EMC值较低的主要原因如下:①降雨前晴天较短,仅有25 h,前一场暴雨对地表沉积物及管网沉积物进行了有效的冲刷;②7月8日降雨强度较大,对地表沉积物及管网沉积物冲击能量也较强,但因地表和管道沉积物积累少,雨水冲刷携带的污染物较少;③大量雨水的混入对管网中的生活污水起到了较为明显的稀释作用;④采样时间从凌晨6:15开始,这段时间生

活污水中的污染物浓度也较低。

8月14日的降雨,其降雨前晴天数达到了26 d,地表沉积物及管道沉积物充分累积,加之降雨强度较大,雨水冲刷能量较强,导致其初期合流溢流污水中污染物的EMC值较高,TCOD、TSS、TP、TN等主要污染物的EMC值分别达到了560、400、3.94、27.5 mg/L。

9月22日降雨过程,初期合流溢流污水中各污染物的EMC值最高,TCOD、TSS、TP、TN等主要污染物的EMC值分别达到了643、686、22.15、28.1 mg/L。分析原因主要有以下几点:①9月22日降

雨前晴天数为 13 d, 沉积物累积充分; ②采样时间段接近晴天生活污水污染物浓度的高峰时间, 生活污水中污染物浓度高; ③虽然降雨强度小, 影响了对地表沉积物及管网沉积物的冲击能量, 导致降雨过程中污染物峰值浓度并不太高, 但降雨持续向管网中带入污染物, 雨水汇入造成的稀释作用相对较弱, 最终使整个采样过程中的初期合流溢流污水的污染物浓度均较高。在 9 月 22 日的采样过程中还发现 TP 浓度异常偏高。9 月 22 日降雨过程中各污染物的 EMC 值虽然最高, 但由于最大 1 h 降雨强度未超过 2 mm/h, 在溢流口并未发生明显溢流, 所以其对三峡库区水体造成的影响相对较小。

各地区合流溢流污水中污染物的 EMC 值见表 2。可知, 涪陵地区初期合流溢流污水中主要污染物的浓度较高, TSS 较上海高密度居民区、武汉汉阳区及韩国某地区的浓度低, 但其平均浓度也达到了 477 mg/L, 约为地表水 V 类标准限值的 2.4 倍。TCOD 浓度仅次于上海高密度居民区的初期合流溢流污水, 约为地表水 V 类标准限值的 13.3 倍。在富营养物方面, TN 浓度与上海、北京、昆明等特大型城市接近, 为地表水 V 类标准限值的 13.1 倍; TP 浓度与上海高密度居民区的十分接近, 比国内其他城市都高, 约为地表水 V 类标准限值的 8 倍。涪陵江南居民区初期合流溢流污水的污染物浓度与国外部分城市的合流溢流污水的污染物浓度也较为接近。总体来说, 涪陵地区初期合流溢流污水的污染严重, 若不经处理直接排入三峡库区周边水体, 将会造成较为严重的环境污染。

表 2 各地区合流溢流污水 EMC 值
Tab. 2 EMC of CSOs from different cities

项 目	TSS	TCOD	TP	TN
涪陵江南居民区(2010)	477	530	3.11	26.2
上海高密度居民区(2005) ^[1]	684	614	3	29.8
武汉市汉阳区(2003) ^[2]	601.1	299	0.88	12.26
北京市城区(2003—2004) ^[3]	350	190	2.36	26.4
昆明市城区(2006) ^[4]	441	159	2.55	26.2
韩国(1997—1999) ^[5]	656	369	8.30	
斯洛伐克(2001) ^[6]	430	445	2.63	
地表水 V 类标准 ^[7]	200	40	0.40	2.0

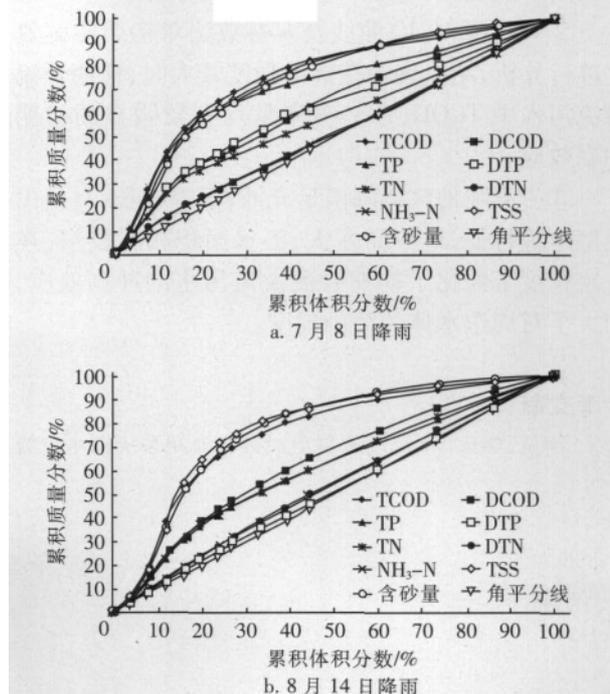
2.2 初期合流溢流污水冲刷效应研究

目前主要采用两种方法对初期冲刷效应进行判定: 一种是 $M(V)$ 曲线, 这种方法以降雨过程中的累

积体积分数为 X 轴, 以累积负荷分数为 Y 轴, 绘制曲线, 并以图中的 45° 角平分线作为判定发生初期冲刷效应的依据, 也就是 50/50 标准, 即以 50% 流量带走 50% 的污染物作为标准, 高于此线即认为发生初期冲刷效应, 低于则认为不发生, 也有以 20/80、30/80 等作为标准的; 另一种方法为 b 参数法, 即以一个幂函数来近似表示一条 $M(V)$ 曲线, 幂函数形式为 $Y = X^b$ 。式中, Y 为累积负荷分数, $Y = M_i / M$; X 为累积体积分数, $X = V_i / V$; b 为幂指数。幂指数 b 反映了 $M(V)$ 曲线与角平分线的距离, b 值越小则初期冲刷效应越明显, $b < 1$ 则表示按 50/50 标准发生了初期冲刷效应。

2.2.1 $M(V)$ 曲线冲刷效应评价

应用上述方法绘制三场降雨的 $M(V)$ 曲线, 如图 1 所示。可知, 在 7 月与 8 月的降雨过程中, 初期合流溢流污水中的各污染物均有一定的初期冲刷效应出现。在 7 月降雨中 TSS、TN、TCOD、TP、含砂量的初期冲刷效应较为明显, 而其他溶解性污染物指标的初期冲刷效应相对较弱, 雨水稀释作用较明显。在 8 月的降雨中, TSS、TCOD、含砂量的初期冲刷效应明显, 而 TP、TN、DCOD 的初期冲刷效应也相对明显。而在 9 月的降雨中, 无明显初期冲刷效应迹象, 特别是 TSS、TCOD、TP、含砂量的 $M(V)$ 曲线甚至位于角平分线之下。从整体来看, 涪陵区域五校溢流口的初期合流溢流污水的冲刷效应是十分明显的。



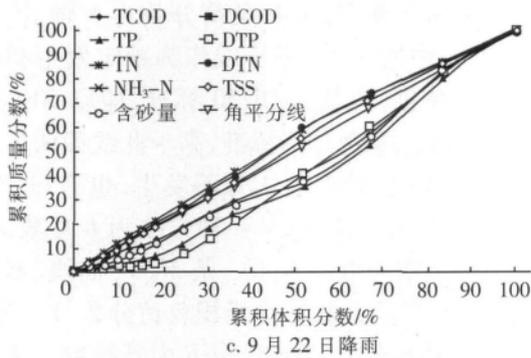


图1 涪陵江南居民区溢流口初期冲刷效应
Fig.1 Flush effects of CSOs from residential area (south) in Fuling

2.2.2 幂函数 b 参数法冲刷效应评价

针对发生明显溢流的两场降雨的初期冲刷效应进行 b 参数法定量分析,结果见表3。可知 r^2 多接近或大于 0.9,说明数据相关性较好。经 b 参数法判定在这两场降雨中,初期合流溢流污水均发生了初期冲刷效应;特别是 TCOD、TSS、含砂量的初期冲刷效应十分明显,而 TN、DCOD 的初期冲刷效应也较明显。这是因为 7 月降雨强度和降雨量较大,对沉积物冲刷能量强,能快速将污染物带入合流管网;同时 7 月降雨的雨前晴天数短,污染物沉积较少,雨水稀释作用明显,污染物浓度较 8 月略低。整体来看,城五校溢流口存在较明显的初期冲刷效应。

表3 b 参数及其相关系数

Tab.3 Parameters of b and correlation coefficient

项 目		TCOD	DCOD	TP	DTP	TN	DTN	NH ₃ -N	TSS	含砂量
7 月	b	0.595	0.788	0.594	0.747	0.735	0.843	0.847	0.703	0.718
8 日	r^2	0.87	0.95	0.88	0.96	0.97	1.00	1.00	0.88	0.86
8 月	b	0.691	0.760	0.824	0.939	0.793	0.919	0.917	0.773	0.785
14 日	r^2	0.87	0.97	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00	0.85	0.82

3 结论

① 以涪陵区典型溢流口——城五校为采样点,检测得到初期合流溢流污水中污染物的 EMC 值如下: TSS = 477 mg/L、TCOD = 530 mg/L、TP = 3.11 mg/L、TN = 26.2 mg/L,均高于地表水 V 类标准限值,整体污染严重,特别是 TCOD 及 TP 污染负荷高于国内多数地区。

② 利用 M(V) 曲线及 b 参数法对初期冲刷效应进行分析,结果表明在降雨强度较大时,初期合流溢流污水中 TCOD、TSS、含砂量均有较明显的初期冲刷效应。

③ 涪陵地区年降雨量充沛,雨季较长,且呈山地地貌特征,地势高差大,汇水面积相对较窄,在一定程度上强化了初期合流溢流污水的冲刷效应,加大了对周边水体的污染程度。

水质研究[J]. 环境科学 2006 27(8): 1565 - 1569.

[2] 何庆慈,李立青,孔玲莉,等. 武汉市汉阳区的暴雨径流污染特征[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 101 - 103.
[3] 刘翠云,车伍,董朝阳. 分流制雨水与合流制溢流水质的比较[J]. 给水排水, 2007, 33(4): 51 - 55.
[4] 杨逢乐,赵磊. 合流制排水系统降雨径流污染物特征及初期冲刷效应[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1627 - 1632.
[5] Lee J H, Bang K W. Characterization of urban stormwater runoff[J]. Water Res, 2000, 34(6): 1773 - 1780.
[6] Sztruhár D, Sokác M, Holiencin A, et al. Comprehensive assessment of combined sewer overflows in Slovakia[J]. Urban Water, 2002, 4(3): 237 - 243.
[7] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.

参考文献:

[1] 李贺,李田. 上海高密度居民区合流制系统雨水溢流

E-mail: hucheng77814@163.com

收稿日期: 2011 - 12 - 12