

# 合流制排水系统溢流事件划分方法案例分析

贾楠<sup>1</sup>, 王文亮<sup>2</sup>, 车伍<sup>1</sup>, 李俊奇<sup>1</sup>, 王二松<sup>2</sup>, 赵杨<sup>3</sup>, 马京津<sup>4</sup>

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京未来城市设计高精尖创新中心, 北京 100044; 3. 北京雨人润科生态技术有限责任公司, 北京 100044; 4. 北京智融天象科技有限公司, 北京 100088)

**摘要:** 合流制排水系统溢流(CSO)事件的划分是确定CSO频次控制标准及其设施规模的基础,用于划分CSO事件的最小间隔时间(MIET)应在多年降雨特征和CSO特征分析的基础上,结合长期的实践和管理经验进行确定。为此,详细阐述了CSO事件MIET的确定方法,并以我国8个典型城市及地区为例进行了分析。结果表明,CSO事件的MIET与导致CSO的降雨事件的雨强分布特征相关,各个城市CSO事件的MIET在16~34 h之间,无明显的南北方差异。该研究可为各地合理确定CSO频次控制标准,科学指导CSO控制工程规划设计和管理提供借鉴。

**关键词:** 合流制排水系统; 合流制溢流事件; 划分方法; 最小间隔时间

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0117-05

## Case Study on Division Method of Combined Sewer System Overflow Events

JIA Nan<sup>1</sup>, WANG Wen-liang<sup>2</sup>, CHE Wu<sup>1</sup>, LI Jun-qi<sup>1</sup>, WANG Er-song<sup>2</sup>,  
ZHAO Yang<sup>3</sup>, MA Jing-jin<sup>4</sup>

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Beijing 100044, China; 3. Beijing Yuren Rainwater Ecotechnology Co. Ltd., Beijing 100044, China; 4. Beijing Smartclimate Technology Co. Ltd., Beijing 100088, China)

**Abstract:** The division of the combined sewer system overflow (CSO) events is the basis for determining CSO frequency control standard and the scale of facilities. The minimum interval event time (MIET) used to divide CSO events should be determined based on analysis of multi-year rainfall and CSO characteristics, combined with the long-term practice and management experience. Therefore, the method of determining the CSO events MIET was described in detail. Analysis of 8 typical cities and regions in China showed that the MIET of CSO events was correlated to the rainfall intensity distribution characteristics of rainfall events leading to CSO. MIET of CSO events in these cities was between 16 and 34 hours, and there was no obvious difference between the north and the south. The method and conclusion can be used as a reference for rational determination of CSO frequency control standard and scientific guidance for planning, design and management of CSO control projects.

**Key words:** combined sewer system; combined sewer overflow event; division method;

minimum interval event time

对于较为复杂的合流制排水系统,从监管便利等角度出发,合流制溢流(CSO)事件年均发生频次是控制CSO非常重要的效果指标之一<sup>[1]</sup>。为制定年均溢流频次控制标准,首先应明确CSO事件划分标准,即确定用于划分CSO事件的最小间隔时间(MIET)。而在降雨事件划分的基础上,对特定合流制排水系统预期和实际CSO控制效果进行长期分析(需考虑CSO控制系统的运行工况等条件),是确定MIET的基本方法<sup>[2]</sup>。笔者分析了以降雨事件最小间隔时间(MIET<sub>0</sub>)作为CSO事件MIET的弊端,并结合我国典型城市的模拟分析结果,对CSO事件MIET的确定方法和影响因素等进行阐述,以期为我国CSO控制工程的科学实施和管理提供借鉴。

## 1 CSO事件

CSO事件指降雨期间未经达标处理(如一级强化处理等)的雨污水在合流制排水系统某排放口处发生的相对独立的溢流排放过程,对于由一场或多场降雨事件导致的CSO排放过程,某个独立排放过程的确定需明确其与相邻排放过程的最小间隔时间MIET(该间隔时间内排放量为零),以MIET=24 h为例,CSO事件的划分如图1所示<sup>[3]</sup>。

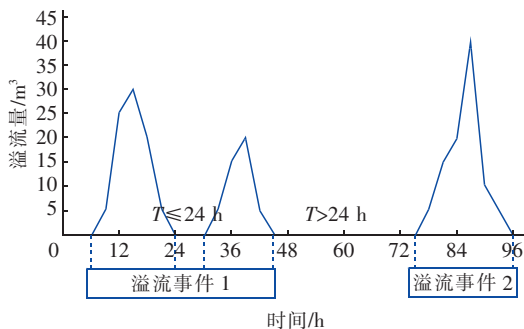


图1 CSO事件划分示意

Fig. 1 Division of CSO events

## 2 CSO事件划分方法

CSO事件的MIET基于“一场降雨事件最多产生一次CSO事件”的原则确定<sup>[4]</sup>,主要方法有:①根据降雨事件的MIET<sub>0</sub>确定,令MIET=MIET<sub>0</sub>;②根据合流制排水系统的溢流特征分析确定。

方法①关键在于确定降雨事件的MIET<sub>0</sub>,以北京市为例:根据北京市近30年(1987年—2016年)的小时降雨数据,以降雨量为零的降雨持续时间超

过 $t=i(i=1,2,3,\dots,N, \text{单位为h})$ 为标准进行场雨划分,得到 $N$ 组系列场降雨事件,扣除降雨量 $\leq 2$  mm的场降雨事件后,分别计算各组系列场降雨事件实际降雨间隔时间的变异系数CV,按照降雨间隔时间的 $CV \approx 1$ 确定降雨事件的MIET<sub>0</sub>=13 h( $CV=1.001$ )<sup>[5]</sup>。由于CSO结束的时间往往滞后于降雨时间,且降雨强度峰值前后和峰值之间往往不发生溢流,故CSO事件的间隔时间往往长于降雨事件的间隔时间,即将降雨事件的MIET<sub>0</sub>作为CSO事件的MIET时,易出现实际一场降雨产生两次或多次CSO溢流事件的现象,如图2所示。故本研究重点对方法②进行介绍。

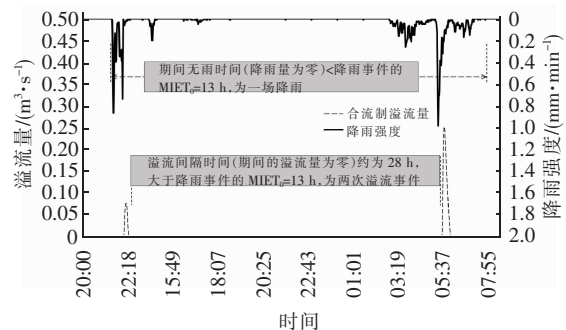


图2 某一场降雨形成两次CSO事件示意

Fig. 2 Schematics of two CSO events in one rainfall event

方法②基于多年(如至少30年)连续降雨数据,首先根据MIET<sub>0</sub>划分降雨事件,并通过模型模拟获取合流制溢流系统某溢流排放口的溢流量序列数据,将其与降雨数据进行对应分析得到导致CSO的降雨事件总数 $N$ ;其次对溢流量序列数据按不同的MIET<sub>x</sub>划分CSO事件,得到相应的CSO事件总数 $N_x$ , $N=N_x$ 时的MIET<sub>x</sub>即为CSO事件的MIET<sup>[2]</sup>。

需注意的是,CSO事件MIET的确定应结合长期的实践和管理经验进行综合分析确定。如华盛顿州的国王郡,在1986年—1995年期间MIET为3 h,在1995年—2000年期间MIET为48 h,而在2000年以后,为便于统一管理,华盛顿州将辖区各地的MIET定为24 h,当然,做出该调整的前提是:较为成熟的CSO控制工程实践经验表明,在当地降雨条件下,MIET由48 h调整为24 h对CSO控制措施的规模和相应控制效果的影响较小<sup>[2]</sup>。

以北京为例,选择某个面积为47.2 hm<sup>2</sup>的合流

制区域,区域污水设计流量为 172.8 L/s,截流干管的截流倍数为 2,截流井 1 个,CSO 排放口 1 个,截流干管接入下游污水处理厂的排水口 1 个,用 SWMM 模型进行建模,并采用 30 年(1987 年—2016

年)的逐分钟降雨数据进行连续模拟,得到溢流量序列数据。分析降雨数据得到降雨事件的  $MIET_0 = 13$  h,按照上述方法得到 CSO 事件的  $MIET = 23$  h,计算过程如表 1 所示。

表 1 CSO 事件的 MIET 计算

Tab. 1 MIET calculation of CSO events

按 $MIET_0 = 13$ h 划分降雨事件总数	将降雨事件与溢流量序列数据 对应分析得到导致溢流的降雨 事件总数 $N$	CSO 事件的 $MIET_x$	由 $MIET_x$ 划分得到 CSO 事件总数 $N_x$	以 $MIET_x$ 划分得到的 年均 CSO 事件数
1 243	270	13	282	9.40
		19	276	9.20
		23	270	9.00
		24	269	8.97
		36	261	8.70
		48	247	8.23

### 3 我国典型城市 CSO 事件的 MIET 分析

为了分析不同城市的降雨特征对 CSO 事件 MIET 的影响,除北京外,本研究另外选择白城、固原、武汉、杭州、贵安新区、南宁、厦门 7 个城市及地

区 30 年 1 h 步长的降雨数据(各个城市及地区选用的降雨数据在表 2 中用灰色阴影显示),在同一合流制排水系统条件下,通过模型连续模拟,对各个城市及地区 CSO 事件的 MIET 进行分析。

表 2 各城市及地区降雨特征统计分析

Tab. 2 Rainfall data statistical analysis in different cities and regions

项 目	降雨数据年限	年均降雨量/mm	降雨事件的 $MIET_0/h$	年均降雨场次/场	多年场均降雨量/mm	多年场均降雨历时/h	年均场降雨间隔/h
白城	1985 年—2015 年 (4 月—10 月,2000 年缺测)	341	19	19.4	17.6	13.3	158
北京	1988 年—2017 年 (4 月—10 月)	496	13	26.1	19.0	11.9	148
固原	1986 年—2016 年 (5 月—9 月,2004 年缺测)	363	8	24.2	15.0	11.1	128
武汉	1987 年—2016 年	3 月—12 月	1 146	12	38.7	29.6	18.3
		4 月—8 月	875	5	29.5	29.7	10.9
杭州	1988 年—2017 年	3 月—12 月	1 287	14	40.1	32.1	30.1
		3 月—9 月	1 031	11	37.8	27.3	19.0
贵安新区	1986 年—2016 年 (2006 年缺测)	3 月—12 月	1 136	17	39.5	28.8	33.0
		5 月—8 月	817	8	31.0	26.4	18.0
南宁	1985 年—2014 年	1 月—12 月	1 301	36	33.8	38.5	57.7
		5 月—8 月	—	11	29.8	27.4	15.5
		9 月—次年 4 月	—	64	14.1	30.6	90.2
厦门	1988 年—2017 年	1 月—12 月	1 331	36	31.1	42.8	36.5
		4 月—9 月	—	17	27.4	36.9	24.2
		10 月—次年 3 月	—	76	8.2	38.0	79.6

#### 3.1 降雨特征分析

统计分析 8 个城市及地区 30 年 1 h 步长降雨数据,北方城市降雨数据多为 4 月—10 月,南方除个别城市外,非汛期年均降雨量较汛期要少,因此,对南方城市的降雨集中月份(月均降雨量 > 100

mm)单独统计,结果见表 2。8 个城市及地区的年均降雨量、年均降雨场次由北到南呈递增趋势,降雨集中月份年均场降雨间隔总体呈递减趋势,不同城市降雨事件  $MIET_0$  的规律性则不明显。南方城市降雨集中月份降雨事件的  $MIET_0$  与全年相比较短。

3.2 CSO 事件的 MIET 分析

对 8 个城市及地区 CSO 事件的 MIET 进行分析,结果表明,白城、北京、固原、武汉、杭州、贵安新区、南宁、厦门的 MIET 分别为 27、23、22、16、24、20、21、34 h,年均溢流频次分别为 8.3、9.0、6.5、16.4、19.4、17.0、21.1、18.6 次。可以看出,8 个城市及地区 CSO 事件的 MIET 在 16~34 h 之间,无明显的南北方差异;对于年均溢流频次,北方、南方城市分别为 6~9 次和 16~22 次,南方城市相对较多。需指出的是,这是南方城市在降雨集中月份的分析结果,而对南宁、厦门全年降雨数据的分析结果表明,CSO 事件的 MIET 分别为 68、55 h,远高于降雨集中月份的分析结果,而年均溢流频次分别为 21.1 和 18.6 次,与降雨集中月份的分析结果差别较小。考虑非汛期降雨往往较汛期要少,降雨间隔相对较长,

是否将其纳入 CSO 事件的 MIET 分析,应对 CSO 控制措施规模和控制效果的影响作深入评估后确定,本研究仅对降雨集中月份的降雨数据进行统计。

值得注意的是,以上研究结果表明,CSO 事件的 MIET 并没有明显的南北方差异,这与降雨量、年均 CSO 频次等呈现出的较为明显的南北方差异不同,原因在于,如前文所述,对于特定的合流制排水系统,CSO 的时间间隔与降雨强度的变化特征密切相关,而场降雨的雨强变化特征影响因素较多、较复杂,与我国不同地区明显的气候差异的关系并不直接。为进一步验证该特点,分别选择 8 个城市及地区中总 CSO 事件次数与年均溢流次数最接近的典型年份,对全年所有导致 CSO 的降雨事件的雨强变化过程进行细致分析,分析方法如图 3 所示(以南宁为例,典型年为 1996 年),分析结果见表 3。

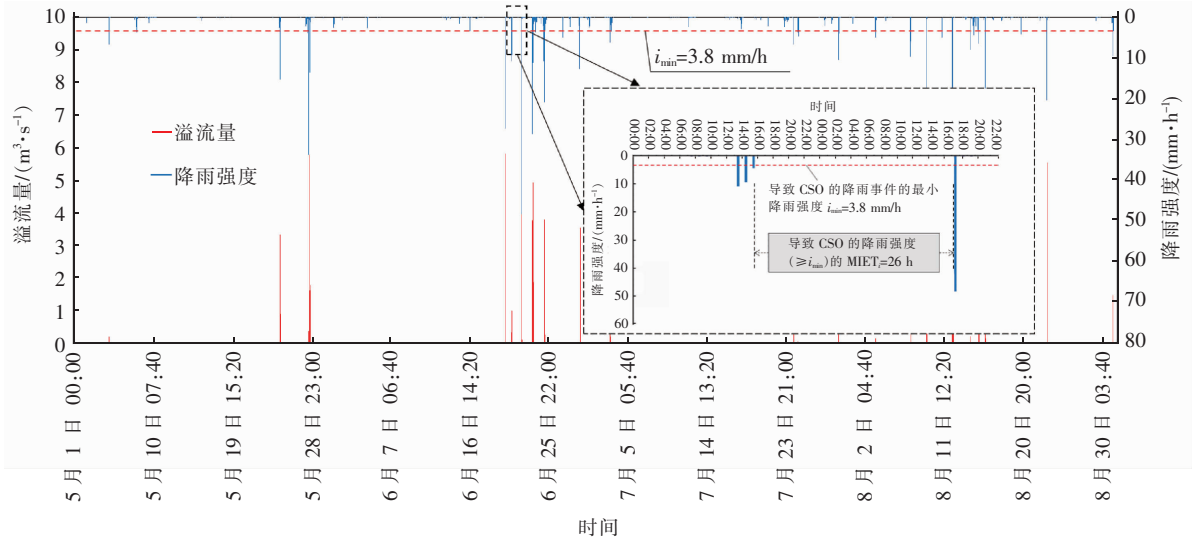


图 3 南宁市典型年导致 CSO 的降雨强度( $\geq i_{\min}$ )的 MIET<sub>i</sub> 分析方法

Fig. 3 MIET<sub>i</sub> analysis method of rainfall intensity causing CSO ( $\geq i_{\min}$ ) in typical year of Nanning City

表 3 各城市及地区典型年导致 CSO 的降雨事件分析结果

Tab. 3 Analysis results of rainfall events causing CSO in typical year of different cities and regions

项 目	降雨事件的 MIET <sub>0</sub> /h	溢流事件的 MIET/h	典型年份	导致 CSO 的降雨事件 的最小降雨强度 $i_{\min}/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	导致 CSO 的降雨强度 ( $\geq i_{\min}$ )的 MIET <sub>i</sub> /h
白城	19	27	1991 年	4.20	26
北京	13	23	1988 年	5.30	48
固原	8	22	1987 年	4.30	23
武汉	5	16	1995 年	2.60	23
杭州	11	24	1994 年	3.31	24
贵安新区	8	20	2003 年	3.73	19
南宁	11	21	1996 年	3.79	26
厦门	17	34	2000 年	2.71	37



由表3可知,在同一合流制排水系统条件下,由于各城市导致CSO的降雨事件的雨强分布特征不同,故导致CSO的最小降雨强度 $i_{\min}$ 值略有差别,集中在2.6~5.3 mm/h;导致CSO的相邻两场降雨事件中,除北京外, $\geq i_{\min}$ 的小时降雨强度出现的最小间隔时间 $MIET_i$ 与CSO事件的 $MIET$ 较接近。综上所述可知,CSO事件的 $MIET$ 与导致CSO的降雨强度( $\geq i_{\min}$ )的 $MIET_i$ 相关,由于本研究所选8个城市及地区 $MIET_i$ 的分布特征无明显南北方差异,故各城市CSO事件的 $MIET$ 呈现出相似的特征。至于北京, $MIET$ 与 $MIET_i$ 差别较大,这也在一定程度上说明上述确定CSO事件 $MIET$ 的方法具有一定的概率统计特点,需进一步分析论证并结合长期工程实际进行优化调整。

#### 4 结论

① 基于合流制排水系统溢流特征分析的方法,通过对既定合流制排水系统的模型连续模拟分析,初步确定北京、南宁等8个城市及地区CSO溢流事件的 $MIET$ 在16~34 h之间。

② 对8个城市及地区典型年导致CSO的降雨事件的降雨强度变化过程进行分析,发现CSO事件的 $MIET$ 与导致CSO的降雨强度( $\geq i_{\min}$ )的 $MIET_i$ 相关,8个城市及地区 $MIET_i$ 的分布特征无明显南北方差异,各城市及地区CSO事件的 $MIET$ 呈现出相似特征。

③ 各地CSO事件的 $MIET$ 可基于对当地合流制排水系统溢流特征进行模拟分析的方法初步确定,但需要结合长期的实践经验不断优化调整,以提高CSO控制措施规模确定的科学性,并使CSO控制系统更符合管理和运行的要求,提高CSO控制效率。

#### 参考文献:

- [1] 贾楠,王文亮,车伍,等. 美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示[J]. 中国给水排水,2019,35(7): 121-127.  
Jia Nan, Wang Wenliang, Che Wu, *et al.* Analysis of combined sewer overflow control standards of the United

States and its enlightenment to China[J]. China Water & Wastewater,2019,35(7):121-127(in Chinese).

- [2] King County Department of Natural Resource, Brown & Caldwell Inc. Combined sewer overflow control plan year 2000 update[EB/OL]. [2018-12-16]. [https://your.kingcounty.gov/dnrp/library/wastewater/cso/docs/ControlPlans/Updates/2000\\_CSOUupdate.pdf](https://your.kingcounty.gov/dnrp/library/wastewater/cso/docs/ControlPlans/Updates/2000_CSOUupdate.pdf).
- [3] Department of Natural Resources and Parks. 2005 combined sewer overflow control program review[EB/OL]. [2018-12-16]. <http://dnr.metrokc.gov/wtd/cso/>.
- [4] 王文亮,王二松,贾楠,等. 基于模型模拟的合流制溢流调蓄与处理设施规模设计方法探讨[J]. 给水排水,2018,44(10):31-34.  
Wang Wenliang, Wang Ersong, Jia Nan, *et al.* Discussion on scale design method of concurrent overflow storage and treatment facilities based on model simulation[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(10): 31-34(in Chinese).
- [5] 王文亮,王耀堂,李俊奇. 雨水滞渗设施溢流风险分析[J]. 给水排水,2018,44(7):51-55.  
Wang Wenliang, Wang Yaotang, Li Junqi. Overflow risk analysis for stormwater extended detention and retention facilities[J]. Water & Wastewater Engineering,2018,44(7):51-55(in Chinese).



作者简介:贾楠(1992-),女,河北保定人,硕士研究生,研究方向为城市雨洪控制与管理。

E-mail:474814520@qq.com

收稿日期:2019-01-15