

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.010

合流制溢流污染控制标准——溢流场次控制率研究

戴立峰, 杜 遂, 林雪君, 洪月菊
(武汉市规划研究院, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 在城市合流制区域晴天污水得到完全收集的前提下,控制合适频次的降雨不溢流成为控制溢流污染的关键。为此,武汉市规划研究院将《城市合流区污水溢流污染控制标准研究》列入2018年院自主科研项目。通过分析武汉市降雨数据得出了日降雨量、小时降雨强度与合流制排口年溢流频次的关系,进而提出了降雨溢流场次控制率概念,建立了降雨溢流场次控制率与小时降雨强度的量化关系。根据武汉市本地降雨特征,提出了不同降雨溢流场次控制率对应的3 h短历时降雨过程线,通过将雨型数据代入排水管网数学模型,获得了不同溢流场次控制率与其实现的溢流污染物削减率之间的量化关系。

关键词: 溢流污染控制; 溢流频次; 降雨溢流场次控制率

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0056-04

Study on Overflow Frequency Control Rate of Overflow Pollution Control Standard in Urban Combined Sewer System

DAI Li-feng, DU Sui, LIN Xue-jun, HONG Yue-ju
(Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: Under the premise that the sewage in the urban combined sewer system in dry weather is completely collected, the key to control the overflow pollution is to determine appropriate frequency of rainfall without overflow. For this purpose, Wuhan Planning & Design Institute listed the “Study on the Control Standards for Sewage Overflow Pollution in Urban Combined Sewer System Area” into the independent research project of the institute in 2018. Based on the analysis of Wuhan rainfall data, the relationship between daily rainfall, hourly rainfall intensity and the annual overflow frequency of the combined sewer system was obtained. Then, the concept of rainfall overflow frequency control rate was proposed. The quantitative relationship between the rainfall overflow frequency control rate and the hourly rainfall intensity was established as well. Based on the characteristics of local rainfall in Wuhan, a three-hour short-duration hyetograph corresponding to different rainfall overflow frequency control rates was put forward. By the calculation of the mathematical model of the drainage network with the rain-type data, the quantitative relationship between the different overflow control rates and the overflow pollutant reduction rates could be achieved.

Key words: overflow pollution control; overflow frequency; rainfall overflow frequency control rate

合流制溢流污染控制是当前国内外城市水质提升的关键点和技术难点。降雨将混合的生活污水、

雨水量较小时,雨水和污水通过截流管道混合进入污水处理厂;当降雨量较大时,超出截流管道能力的混合污水溢流排入自然水体,形成溢流污染。因此,雨

水是传导溢流污染物的变量因子,研究溢流污染控制标准的关键是控制什么频次的降雨不溢流。

1 年溢流频次与控制日降雨量的关系

合流制排口年溢流频次(文中指排口在一年降雨中发生溢流的天数)随着截流设施所能截流的日降雨量能力增大而减少(文中日降雨量数据来源于中国气象局武汉暴雨研究所,所统计的日降雨量指发生降雨当天 0~24 h 累计降雨量),控制合流制汇水范围内一定的日降雨量不外排,可实现合流制排水口达到某一特定的年溢流频次。收集了武汉市吴家山雨量站 1980 年—2012 年共计 4 012 场日降雨数据,统计分析得出日降雨量与年溢流频次的量化关系(见图 1)。武汉市日均降雨量 ≥ 50.3 mm 的天数约为 5 d,控制雨量 < 50.3 mm 的日降雨不溢流,可以实现合流制排口年溢流频次在 5 次左右。

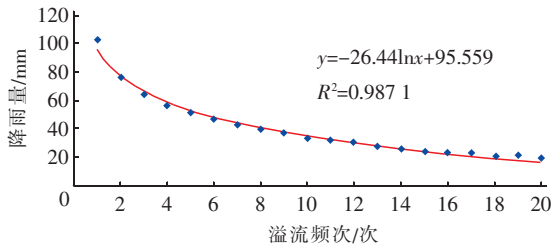


图 1 武汉市日降雨量与溢流频次的关系

Fig. 1 Relationship between rainfall and overflow frequency in Wuhan

2 降雨溢流场次控制率与小时雨强的关系

实现合流制排口达到一定年溢流频次,不仅要控制日降雨量,也要控制降雨强度。对武汉市吴家山雨量站 2013 年—2017 年 644 d 的降雨数据进行收集整理,并收集单日降雨的峰值小时强度数据。经数据整理分析可知,近 5 年武汉市降雨强度为 0.1~86.1 mm/h。对不同范围的降雨强度所占天

数进行统计(见表 1),得出了降雨期间溢流场次控制率的变化规律。例如,武汉市降雨强度 < 5 mm/h 的降雨天数约占年均降雨天数的 78.7%,由此可认为:一段时间内(一般指大于 1 年),实现合流制汇水范围内小于 5 mm/h 强度的降雨不溢流,即可实现 78.7% 的日降雨不溢流。

表 1 武汉市 2013 年—2017 年不同降雨强度下降雨天数统计结果

Tab. 1 Statistic result of rainy days under different rainfall intensity in Wuhan from 2013 to 2017

小时降雨强度 $R/(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	年均降雨 天数/d	占年均总降雨 天数的比例/%	溢流场次 控制率/%
$0 < R < 1$	55	42.70	42.70
$1 \leq R < 2$	18.6	14.44	57.14
$2 \leq R < 3$	13.4	10.40	67.54
$3 \leq R < 4$	8.6	6.68	74.22
$4 \leq R < 5$	5.8	4.50	78.72
$5 \leq R < 6$	3.8	2.95	81.67
$6 \leq R < 7$	4.2	3.26	84.93
$7 \leq R < 8$	2.4	1.86	86.79
$8 \leq R < 9$	1.4	1.09	87.88
$9 \leq R < 10$	2.8	2.17	90.05
$10 \leq R < 15$	4.6	3.57	93.62
$15 \leq R < 20$	4.2	3.26	96.88
$20 \leq R < 25$	1	0.78	97.66
$25 \leq R < 30$	1	0.78	98.44
$R \geq 30$	2	1.55	≥ 99.99
合计	128.8	100	

根据溢流场次控制率与小时降雨强度的关系,提出降雨溢流场次控制率概念,即通过一定措施,实现一段时间内合流制排口进入受保护水体的不溢流频次(天数)占降雨总天数的比例。根据上述研究,进一步提出了武汉市降雨溢流场次控制率与降雨强度、日降雨量以及年均溢流次数的关系,详见表 2。

表 2 降雨溢流场次控制率与降雨的关系

Tab. 2 Relationship between the control rate of rainfall overflow frequency and rainfall

降雨溢流场次控制率/%	99	95	90	85	80	75	70	65	60
降雨强度/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	38.0	16.2	10.0	7.0	5.5	4.2	3.2	2.6	2.2
日降雨量/ $(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$	91.7	46.4	29.3	20.9	16	12.5	9.7	7.5	6
对应的年均溢流次数/次	1.2	6	12	18	24	30	36.4	42.6	48.6

3 溢流污染控制雨型研究

3.1 降雨时长的选取

合流制排水系统在利用数学模型法设计排水出口截流管道能力时,需要将特征降雨过程线代入模型。在确定降雨溢流场次控制率对应的小时雨量后,

需要将小时雨量转化成降雨过程线代入排水模型。

武汉市中心城区所有合流制排水系统从汇水原点到受纳地表水体的汇流时间不超过 2 h,3 h 历时雨型能反映排水系统至地表水体前的峰值流量全过程变化。因此,开展了武汉市 3 h 短历时雨型研究。

3.2 研究方法

采用 Pilgrim & Cordery 法设计降雨过程线。其原理是将雨峰时段定位在出现几率最大的位置,雨峰时段在总雨量中所占的比例定义为各场降雨雨峰在总雨量中所占的比例平均值,其余各时段的具体位置和所占比例采用同样方法原理进行定义。

3.3 雨型制定

① 样本选取:收集 2000 年—2017 年降雨数据,每年选取 2~6 场大雨,将出现最大累计量时刻的前 1 小时和后 2 小时列为降雨过程样本。样本合计 57 组。

② 占比计算:基于雨型统计过程样本,以 5 min 为单位时段,计算单场降雨各时段降雨量占降雨样本总雨量的比例。单个样本总时长为 3 h,合计 36 个时段。

③ 占比排序:按照各时段雨量由大到小排序,峰值时段对应序位号 1,次雨峰对应序位号 2,以此类推。计算 57 组样本同时段序位号的均值,并对各时段序位号的均值由小到大进行编码(1~36)。

④ 排序重组:根据统计雨型的编码,将每组样本各时段雨量按照编码号进行重组,样本峰值雨量对应编码 1,次雨峰对应 2,以此类推。

⑤ 雨型制定:57 组样本按照编码号进行重组后,计算各时段平均雨量与平均总雨量的占比,最终形成 36 个时段雨量占比图,即 3 h 短历时雨型。

3.4 降雨过程线

目标小时强度雨量确定后可按照各时段雨量占比推算特征降雨过程线。不同降雨溢流场次控制率对应特定的降雨过程线结果如图 2 所示。

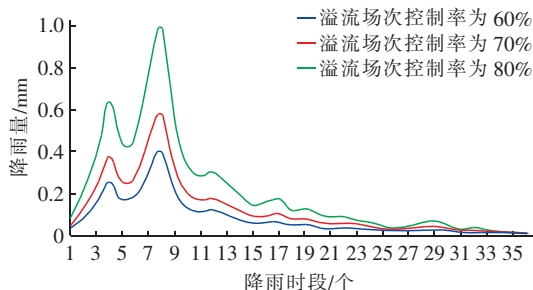


图2 不同降雨溢流场次控制率下的降雨过程线

Fig.2 Hyetograph under different rainfall overflow frequency control rate

4 降雨溢流场次控制率的可行性分析

4.1 研究对象

制订了 4 组合流制水质模型,其中 2 组为理论

模型(面积 < 2 km²),汇水面积分别为 0.55、0.91 km²,0.91 km² 理论模拟区管网见图 3;另外 2 组为武汉市本地合流制排水系统(2~10 km²),分别为新生路、巡司河合流制系统,汇水面积分别为 6.60、9.50 km²,其中巡司河合流制管网见图 4。

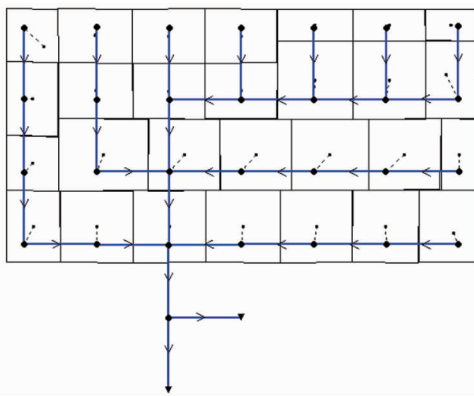


图3 0.91 km² 理论模拟区管网

Fig.3 Pipeline network of 0.91 km² theoretical simulation area



图4 巡司河合流制排水管网

Fig.4 Pipeline network of Xunsihe combined system

4.2 水质模型

① 晴天污水

新生路、巡司河合流制采用上位规划中的人口数据,理论模型采用武汉市合流制平均人口密度(365 人/hm²)计算人口数据,武汉市合流制区域无工业用地,人均综合生活污水量按 350 L/(人·d)计。4 组模型晴天污水量统计结果见表 3,武昌旧城合流制生活污水 COD 约 250 mg/L。

表3 晴天污水量

Tab.3 Dry weather flow

片区	面积/ km ²	人口/ 万人	规划污水量/ (10 ⁴ m ³ · d ⁻¹)
新生路合流区	6.60	21.17	7.4
巡司河合流区	9.50	35.04	12.3
理论模型 1	0.55	2.01	0.7
理论模型 2	0.91	3.32	1.2

② 地表面源污染

污染物累积量采用指数函数^[1]进行模拟计算, 公式如下:

$$B = \text{Min}(C_1, C_2 \cdot t^{C_3}) \tag{1}$$

式中 B ——污染物累积量, kg/hm²

C_1 ——污染物累积常数, kg/hm²

t ——污染物累积时间, d

C_2 ——污染物累积系数, kg/hm²

C_3 ——污染物累积指数

C_1 、 C_2 取值需根据当地大气降尘实测数据拟合获得。参考武汉市 2016 年大气降尘实测数据, 得到 C_1 、 C_2 值分别为 6.44、0.5 kg/hm², C_3 值为 1。

污染物雨天冲刷速率采用指数函数进行模拟计算, 公式如下:

$$W = K_1 q^{k_2} B \tag{2}$$

式中 W ——汇水子面积上污染物冲刷速率, mg/h

q ——汇水子面积上的径流量, mm/h

B ——汇水子面积上的污染量, mg

K_1 ——污染物冲刷系数, 取 0.05

k_2 ——污染物冲刷指数, 取 1.2

4.3 结果分析

以新生路合流制系统为例, 该系统平均日污水量约 0.8 m³/s, 当目标溢流场次控制率为 80% 时, 将对应雨型代入模型, 计算得到新生路污水泵站规模约 3.2 m³/s, 相当于截流倍数为 3。将武汉市吴家山雨量站 2010 年全年数据代入模型, 计算全年溢流污染物 COD 削减率, 不同溢流场次控制率与溢流污染削减率的关系见表 4。

表 4 溢流场次控制率与溢流污染物的关系

Tab.4 Relationship between overflow frequency control rates and overflow pollutant reduction rates

项 目	理论模型 1、2 降雨 溢流场次控制率			新生路、巡司河片区模型 降雨溢流场次控制率		
	70%	60%	50%	80%	70%	60%
相应小时峰值雨量/(mm · h ⁻¹)	3.2	2.2	1.5	5.5	3.2	2.2
年溢流污染物削减率/%	83 ~ 88	78 ~ 83	71 ~ 76	84 ~ 89	78 ~ 83	72 ~ 77

注: 考虑管道底泥冲刷形成的污染, 年溢流污染物削减率考虑了 0.9 的折减系数。

当合流制排口汇水面积(0 ~ 2 km²)较小时, 截污管道满足不低于 70% 的降雨溢流场次控制率, 可实现年溢流污染物 COD 削减率在 83% ~ 88%; 当合流制汇水面积(2 ~ 10 km²)较大时, 截污管道满足不低于 80% 的降雨溢流场次控制率, 可实现年溢流污染物 COD 削减率在 84% ~ 89%。通过控制降雨溢流场次控制率可以实现合流制排口溢流污染控制。

5 结论

针对武汉市合流制开展了降雨场次控制率的应用研究, 根据汇水面积的不同, 降雨场次控制率在 70% ~ 80%, 可实现年溢流污染物削减率在 85% 左右。具体项目在设计过程中, 可根据受纳水体环境容量, 适当提高降雨场次控制率标准, 扩大截污设施规模。

参考文献:

[1] 刘家宏, 陈根发, 王海潮, 等. 暴雨径流管理模型理论及应用——以 SWMM 为例[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
Liu Jiahong, Chen Genfa, Wang Haichao, et al. Theory

and Application of Storm Runoff Management Model—Taking SWMM as an Example [M]. Beijing: Science Press, 2015 (in Chinese).



作者简介: 戴立峰 (1986 -), 男, 安徽六安人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为城市排水规划及设计, 主要参与编制的《武汉市城市污泥处理处置规划》获武汉市优秀城乡规划设计二等奖、《武汉市主城区污水收集与处理专项规划》获全国优秀城乡规划设计三等奖。

E-mail: 328243655@qq.com

收稿日期: 2019 - 08 - 24