

武汉江夏纸坊老城区合流制溢流污染控制研究

周森，周睿

中国市政工程中南设计研究总院有限公司，湖北 武汉 430000

摘要：随着武汉对于生态环境的愈发重视，江夏纸坊城区初雨溢流污染治理势在必行。本次在纸坊老城区新建初雨调蓄池，控制溢流次数为10次、区域代表年降雨的条件下，确定初雨调蓄池规模，并利用水环境容量计算方法，校核入河污染物总量，最终达到控制溢流污染的目标。

关键词：溢流污染；初雨调蓄池；水环境容量

Study On Confluence System Overflow Pollution Control In The Old City Of Jiangxia Zhifang, Wuhan

Zhou Sen, Zhou Rui

China Municipal Engineering Zhongnan Design and Research Institute Co., LTD. Hubei, Wuhan 430000

Abstract : With more and more attention paid to the ecological environment in Wuhan, it is imperative to control the pollution caused by the overflow of the early rain in the urban area of Jiangxia Zhifang. Under the condition that the number of spills is controlled 10 times and the regional representative annual rainfall is controlled, the scale of the initial rainwater storage pond is determined, and the total amount of pollutants entering the river is checked by the calculation method of water environmental capacity, so as to achieve the goal of controlling the overflow pollution.

Key words : overflow pollution; initial rainwater storage tank; water environment capacity

引言

目前国内城市排水管网系统分为合流制管网系统和分流制管网系统。其中合流制管网系统收集生活污水、工业废水以及地面产汇流的雨水，最终输送至污水处理厂。但是随着我国城市化的迅速发展，雨天城市合流制排水管网系统溢流污染问题愈发严重，以武汉江夏区纸坊城区为例，纸坊城区是老城区合流制管网系统，小中雨时，地表径流汇入排水管网，管网负荷超过污水处理厂的设计能力，雨、污水最终直排进入纸坊港，造成纸坊港内各项水质指标低于劣V类水质标准，为黑臭水体。

由于老城区雨污分流改造工程量较大、工程工期较长，短期无法解决合流制溢流污染的问题；同时在实际运行合流制排水系统过程中，允许有部分合流制雨、污水排放至河流中，但如何在合流制排水系统中，控制溢流次数以及溢流总量成为当下研究的重点。

本文结合当下热门研究—水环境容量^[1]和城市内涝^[2]的理念，在不影响城市内涝的情景下，利用末端初雨调蓄等措施控制溢流次数及溢流总量，以及河流自净能力，最终达到控制合流制溢流污染的目的。

一、研究背景

(一) 城市地理位置

武汉市江夏区地处长江南岸，素有武汉市南大门之称。北与武汉市洪山区接壤，西与蔡甸区和汉南区隔长江相望，南与咸宁市交界，东与鄂州市相邻。全区总面积2009km²，总人口达100万。纸坊城区是江夏区政治、经济、文化的中心，是区委区政府的所在地，规划面积为30km²。

(二) 排水现状

纸坊城区位于江夏区北部，整个主城区西面临八分山、东面临花山、南面临青龙山、北面临汤逊湖，呈现三面环山，一面临湖的地势格局。为转输雨季山区急湍而下的雨水，江夏区特修建多条

渠港，其中金鞭港转输八分山的雨水，鲁港和宁港转输青龙山的雨水，幸福港转输花山至幸福水库的雨水，向阳港转输大桥湖片区雨水，而纸坊港是纸坊城区唯一的排涝出口，也是整个纸坊城区唯一的溢流口，故可认为纸坊港的污染主要来自于末端溢流的点源污染，因此这为研究控制溢流总量提供较佳的原始条件^[3]。

(三) 城区内涝及水污染现状

老城区地面高程一般在28~35m之间。新城区为19~25m之间从郑店向东西延伸，纸坊地区属亚热带湿润季风气候，春夏之间，暴雨频繁强度较大，多年平均降雨量1265mm，最大小时暴雨量70mm。自然地面由西南向东北方向倾斜，地表水、生活污水、工业污水经三条自然港（即东港、中港、西港）排入汤逊湖。城区三条自然港总长5885m，排水方式仍然采用合流制。三

* 作者简介：周森，男，1992.08，湖北省鄂州市鄂城区，硕士研究生，工程师，汉，从事市政给排水工程设计

条港窄小弯道多淤塞严重，每遇暴雨，如纤维瓦厂、纸坊商场、良种场一带低洼处渍水成灾，加之生活及工业污水、自流排放，粪便未经处理直接排入纸坊港，严重影响城区市容市貌，对汤逊湖水体造成极大的威胁^[4]。

二、研究方法

国内外溢流污染控制目标包括溢流量、溢流次数削减、溢流污染物总量削减、对某重现期降雨事件的控制，或“合流制污染负荷等同于分流制”等，归根到底都是让接纳水体水质达到或提升至某一目标。

大量工程实践证明，在排水管网末端设置初雨调蓄池，能够有效控制初雨溢流总量，减小溢流次数，降低初雨径流污染^[5]。这一工程措施已被广泛应用在城市合流制排水系统中，以武汉为例，南湖、黄孝河等处已修建初雨调蓄池，故本项目在末端设置调蓄池。在不影响城市内涝的情况下，通过控制溢流次数及溢流总量，迫使入河水污染负荷低于湖泊的水环境容量，最终达到控制溢流污染的目标^[6]。

(一) 末端溢流次数控制

末端溢流污染(CSO)控制目标的制定有以下几个特点：

不同部门制定的目标可能不同，如美国EPA和DEQ的要求不同；不同层面制定的目标可能不同，如国家标准、地方标准及具体项目的要求可能不同；不同阶段制定的目标可能不同，如东京CSO控制有明确的近期、中期和远期目标；可能是并列的几条目标，如美国、日本的控制目标都是并列的、不同角度的几条。

美国部分地区和城市CSO控制规划目标与阶段性溢流污染控制效果如下表所示：

武汉市黄孝河、机场河水环境治理中，控制年溢流次数不超过10次为目标，新建项目溢流总量控制率为70%，改造项目溢流总量控制率为60%。

武汉市南湖水环境治理项目中，控制年溢流次数不超过10次，控制溢流率可达到84%。

综上，本次设置溢流次数为10次，在不影响城市内涝的情况下，通过模型确定调蓄池规模，并验算校核入河水污染负荷。

(二) 水环境容量计算

随着城市水污染不断增多，以往控制污染排放浓度的管理模型已经无法满足现有的需求，需要严格控制排放总量，使其不超过自净能力^[7]。而水环境容量是指水体在特定的水质目标下所能容纳的污染物的总量，目前其已作为“一河一策”中重要考核指标。故本项目《全国水环境容量核定技术指南》中的“一维水质与水环境容量计算模型”计算纸坊港水环境容量。

计算公式如下：

式中：

—水质目标浓度值，mg/L；

—初始断面污染物浓度，mg/L；

—污染物综合衰减系数，1/s；

L —沿河段的总向距离，km；

u —设计流量下河道断面的平均流速，m/s；

—设计河道流量，m³/s。

根据纳污能力计算方法及水质目标要求(V类)，计算纸坊港水环境容量，计算成果详见下表。由表可知，COD水环境容量为198.01t/a，NH₃-N水环境容量为9.90t/a，TN水环境容量为13.51t/a，TP水环境容量为1.98t/a。

表1 纸坊港各指标水环境容量表

名称	COD	NH ₃ -N	TN	TP
水环境容量	198.01	9.90	13.51	1.98

(三) 区域代表年降雨选取

一个特定的地区，末端管网溢流污水总量直接取决于降雨总量以及雨型峰值系数，因此需要选取合适的年降雨时间序列。从长系列降雨数据分析，降雨具有一定的规律，如年降雨总量、雨峰系数等。因此，通过分析历年实测分钟级降雨资料，选出符合当地降雨实际情况，可反映区域的降雨特性的真实降雨过程，即选取降雨代表年^[8]。

代表年从2008~2018年中选取。选取的原则参考几方面因素：每一年60分钟、120分钟与1440分钟降雨的降雨量、降雨场次、降雨形态分布，以及每一年降雨场次、降雨总量和雨日统计。根据以上因素加权综合挑选出武汉市的降雨代表年^[9]。

(1) 三种雨型根据雨峰位置不同统计降雨场次

统计分析三种雨型的雨峰位置分布，得出各种雨型总数，对三种雨型总场次按场次由多到少进行排序，得到各年份排序表^[10]。

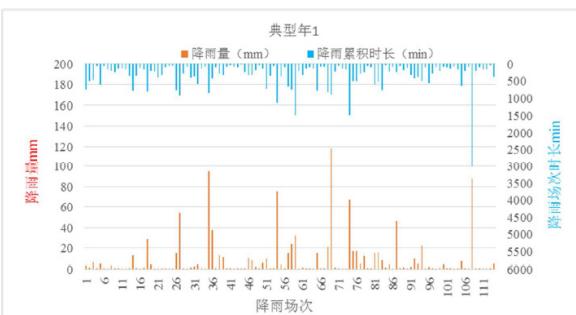
(2) 降雨总场次统计

统计各年份1440min间隔的降雨场次总数，计算每年场次总数与多年平均值的差值，对其进行排序，得到各年份排序表。

(3) 降雨总量及降雨天数统计

对于每年降雨数据，筛选出日降雨量大于2mm的降雨，统计该年年降雨总量和年降雨日数，求每年平均降雨总量和平均降雨日数与多年的差距，并进行排序。

(4) 综上，对上述结果进行权重分析发现，2012年年均降雨量约为1160.25mm，近似于多年平均降雨量，故可作为代表年。其中代表年2012年的降雨场次与时长图见下图。



>图1 代表年降雨场次特征图

(四) 模型介绍

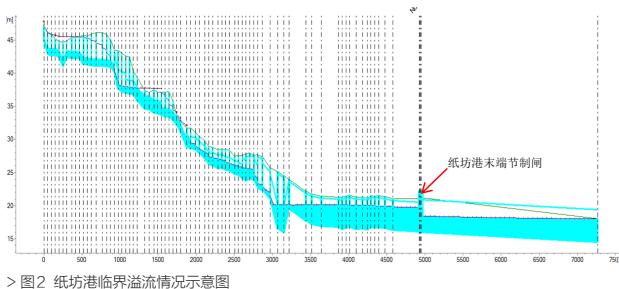
本次采用的是丹麦DHI公司的Mike Urban软件完成纸坊城区水力模型的搭建。该综合排水模拟模块主要包含降雨径流模块、管流模块等，其管流模块是基于一维圣维南方程组模拟，模型设置管道断面对流量不影响，借此提高模型的运算精度。

三、结果分析

(一) 确定调蓄池规模及临界溢流降雨量

输入区域代表年实测的每一场降雨，以控制当年溢流次数在10次左右为目标，确定调蓄池规模为6万m³/d。

根据试算模拟临界降雨溢流情况。结果表明，当降雨小于32mm/24h，纸坊港不发生溢流，当超过32mm/24h，纸坊港溢流，溢流示意图见图2。



>图2 纸坊港临界溢流情况示意图

表2 代表年下纸坊港入湖溢流总量指标

年份	设调蓄池			不设调蓄池			旱季污水量 (m3)	削减溢流量 (m3)
	溢流次数	纸坊港溢流量 (m3)	纸坊泵站抽排量 (m3)	溢流次数	纸坊港溢量 (m3)	纸坊泵站抽排量 (m3)		
1月	0	0	2550160.5	0	0	2550160.5	2575679.7	0
2月	0	0	2370448.5	0	0	2370448.5	2409488.0	0
3月	1	21198.6	1520774.5	2	415106.0	2988233.6	2575687.9	400518.8
4月	1	79070.7	3616745.1	4	629469.0	2952870.3	2492584.3	591748.5
5月	2	289516.1	4807796.9	4	1516930.0	3236663.7	2575687.9	1320422.2
6月	1	94113.5	202198.3	2	1012648.4	2702316.0	2575682.5	939914.5
7月	1	335167.9	1563455.8	2	1228285.2	2935698.6	2575687.9	923546.4
8月	2	204525.7	1470377.3	2	586298.5	3063317.1	2575682.5	377841
9月	2	197335.3	1366750.3	2	641415.6	2714627.1	2492592.0	442438.3
10月	0	0	1554736.4	5	675145.2	3012871.4	2575687.9	675145.2
11月	0	0	1271234.7	1	13375.7	2751379.0	2492592.0	13375.7
12月	0	0	1413521.1	2	80894.3	2944144.1	2575976.4	80894.3
总计	10	1220928	41841997.2	28	6786192	34222730	15371312	5765845

2) 溢流污染负荷校核

根据多次雨后在纸坊港末端采集水样数据，确定入河水质指标（见表3），计算出全年水环境污染负荷（表3）。

根据模型校核结果，发现在末端设置6万立方米调蓄池、控制溢流次数为10次，纸坊港溢流污染总量低于其水环境容量内，最终可以达到控制水质目标。

表3 纸坊港水环境纳污能力与水环境污染负荷计算成果

水质指标	浓度 (mg/L)	水环境容量 (t)	水环境污染负荷 (t)
CODcr	90	198.01	109
NH3-N	18	9.90	2.2
TN	20	13.51	2.4
TP	1.5	1.98	1.83

四、结论

近年来，我国对于水环境质量要求以及排口溢流污染愈发重视，很多城市都已经开始建设初雨调蓄池来控制溢流污染。

但是如何论证调蓄池的规模以及因为调蓄池蓄满、排涝等原因产生的溢流污染，这方面尚未形成统一的规范要求。本文借助武汉市江夏纸坊城区新建初雨调蓄池项目，在不影响城市内涝的前提下，结

(二) 城市内涝校核

目前主城区优先考虑城市内涝问题，其次才是溢流污染控制问题。

由于纸坊港末端有节制闸，当城市未发生内涝时，节制闸不开启，末端收集的溢流雨污水先传输至调蓄池，当城市发生内涝或者调蓄池蓄满时，节制闸开启，纸坊港发挥泄洪作用，故需要校核控制溢流污染工程与城市内涝工程措施是否相悖。

发现当降雨重现期 P=0.5a (55mm/24h) 时，选取2012年6月27号典型场次降雨模拟。纸坊城区出现内涝，其中积水深度大于20cm、积水时间大于1h的内涝区域主要集中在文华路。

结合临界溢流雨量为32mm/24h，故可认为新建调蓄池控制溢流污染时，不会影响城市内涝。

(三) 水环境容量校核

1) 溢流污染总量

区域代表年每个月溢流量以及全年总溢流量1220928t（见表2），溢流控制率达到85%左右。

合当下较为热门的水环境容量理念，“大胆假设，小心论证”调蓄池的规模，以便充分发挥初雨调蓄池在控制初雨溢流污染中的作用。

参考文献:

- [1] 张昱. 基于流域视角的合流制溢流控制方法实证研究 [D]. 北京建筑大学, 2023.
- [2] 于磊, 黄瑞晶, 李容, 等. 基于河道纳污能力的北运河城市副中心段合流制溢流污染控制研究 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2022, 50(05): 41–48.
- [3] 杨正, 车伍, 赵杨. 城市“合改分”与合流制溢流控制的总体策略与科学决策 [J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 46–55.
- [4] 贾楠. 合流制溢流污染控制设施规模设计方法研究 [D]. 北京建筑大学, 2019.
- [5] 李铭洋, 李宁, 王睿. 合流制溢流污染控制标准探讨 [J]. 给水排水, 2022, 58(S2): 631–635.
- [6] 董利鹏, 王芳芳, 王晓玲. 合流制溢流污染控制技术研究 [J]. 煤炭与化工, 2022, 45(11): 154–157.
- [7] 汤清泉, 王浪, 陈永进, 等. 合流制溢流污染控制研究 [J]. 给水排水, 2022, 58(05): 45–49.
- [8] 于磊, 黄瑞晶, 李容, 等. 基于河道纳污能力的北运河城市副中心段合流制溢流污染控制研究 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2022, 50(05): 41–48.
- [9] 黄俊, 王莉, 高丽红, 等. 基于溢流频次的合流制溢流污染控制优化策略研究 [J]. 环境污染与防治, 2021, 43(03): 394–399.
- [10] 王强, 全春林. 基于数学模型的北京龙潭西湖流域合流制溢流污染控制规划研究 [J]. 给水排水, 2020, 56(11): 54–59.