

雄安新区安州特色小镇初期雨水弃流量浅析

卢洋暘, 胡希佳

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300384)

摘要: 初期雨水径流污染控制率是城市雨水综合控制的关键环节,也是《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统规划设计》的关键控制指标。城镇径流存在明显的初期冲刷作用,但由于降雨冲刷过程的随机性和复杂性,确定不同条件下的初期径流弃流量至今仍是难题。以河北雄安新区安州特色小镇安置区市政配套基础设施项目为例,以安州特色小镇初期雨水截留管网为研究对象,总结了国内研究成果:调蓄容积法、暴雨强度法、SWMM模型分析法,并通过对这三种方法计算的初期雨水弃流量结果进行比对互校,最终确定本地区的初期雨水弃流量。以此进一步研究初期雨水弃流量、径流污染物浓度变化、径流污染物去除率之间的关系,为实际工程应用提供一定参考。

关键词: 初期雨水;弃流量;降雨径流;SWMM;去除率

中图分类号: TU991.11+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)05-0149-04

1 研究背景

初期雨水,是指降雨初期时雨水溶解了空气中大量污染性气体,降落地面后形成明显的径流冲刷作用,使得前期雨水中含有大量的污染物质经市政雨水管道排入河道水体,对环境造成了一定程度的污染。越来越多的城市利用初期雨水调蓄池收集初雨,输送至污水处理厂集中处理以降低初雨对地表水体的污染。初期雨水弃流量直接关系到雨水调蓄池的规模,而初期雨水弃流量的影响因素有着随机性和复杂性的特征,主要包括:下垫面类型、降雨量、降雨雨型、冲刷特征、降雨初期污染物浓度等。因此决定了初期雨水弃流量尤为重要。

2 工程概况

河北雄安新区安州特色小镇,属温带大陆性季风气候,全年平均气温 11.9℃,平均年降水量为 522.9 mm。本区构建全过程雨水径流污染控制系统。排水体制采用雨污分流制。雨水就近排入河道,为避免初期水质较差的雨水排入河道后污染河水,雨水入河之前将初期雨水弃流,并通过沿河新建 d400~d600 初雨截流管道输送至初期雨水调蓄池进行储存调蓄,最终将其排入污水管道并送入下游污水处理厂处理。在河道排口之前共设置 11 座分流

井,收集初期雨水进入调蓄池。分流井的工作原理为:晴天时无降雨,分流井不工作。降雨开始时,雨量计会判断初期雨水的降雨量,同时井内设置污染物在线检测仪,判断水质污染物浓度,让初期雨水通过初期雨水截流管进入初雨调蓄池,当雨量计判断初雨结束后,SCADA 控制中心控制分流井闸门关闭,同时打开堰门,后期雨水直接排入自然水体。初期雨水经过分流井分流至调蓄池后,有效削减了初期雨水携带的污染物对河道的污染(见图 1~图 3)。



图 1 初期雨水截流管网布置平面图

依据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(试行),该地区属 I 区,规划年径流总量控制率不低于 85%,年径流污染控制率(以 SS 计),不低于 70%。

3 计算方法

本次研究采用以下三种计算方法,进行比对互

收稿日期: 2020-10-27

作者简介: 卢洋暘(1988—),女,硕士,工程师,从事市政给排水工程设计。



图2 初期雨水截流系统服务范围图

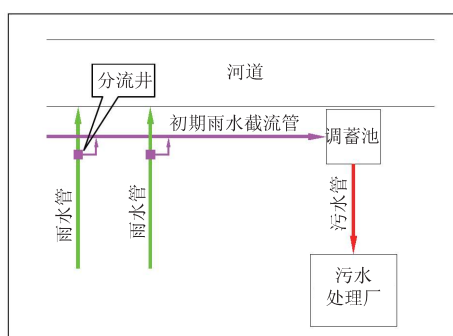


图3 初期雨水截流工艺流程图

校,最终确定本地区的初期雨水弃流量。

3.1 方法一

采用调蓄容积法,依据《城镇雨水调蓄工程技术规范》(GB51174),调蓄容积一般以单位面积调蓄深度为计算基础,本工程调蓄容积由式(1)计算:

$$V=10HF\Psi \quad (1)$$

式中: V 为有效调蓄总容积, m^3 ; H 为初期雨水弃流量, mm ; F 为汇水面积, hm^2 ; Ψ 为径流系数,取0.6。

一般初期降雨前4~6 mm属于重度污染,6~10 mm属于中度污染,10 mm以后属于轻度污染,一般控制量在4~8 mm可控制60%~80%的污染量^[1]。国内研究得出,建立在极限强度理论假设条件的基础上,受区域下垫面不同、管道流行时间不同,造成区域内各点的初期雨水到达调蓄池的时间不同,可能掺杂洁净雨水也有可能初期雨水并未收集完全^[4],研究认为在初期雨水汇流时间 t 内, η 曲线表示弃流的初期雨水占初期雨水总量的百分比,其随 t 增加而增大,见式(2); ζ 曲线表示调蓄池的有效利用率,其随 t 增加而降低,见式(3)。 η 和 ζ 曲线的交点可得出初期雨水去除率与初期雨水收集率相等时的汇流时间 t_1 。初期雨水量 W_1 见式(4);洁净雨水量 W_2 见式(5)。 W_1 和 W_2 曲线的交点得出汇流时间 t_2 ,超过该时刻, W_1 将增速缓慢,而 W_2 将明显增大^[4]。

$$\eta=1-\frac{(T-\tau)^2}{2k(T-t)} \quad (t_b < \tau \leq t) \quad (2)$$

$$\zeta=\frac{2T(k+t)-2t^2-\tau^2-T^2}{2\tau(T-t)-(T-t)^2} \quad (t_b < \tau \leq t) \quad (3)$$

$$W_1=\frac{2T(t+\tau)-2t^2-\tau^2-T^2}{2\tau(T-t)} \quad (t_b < \tau \leq T) \quad (4)$$

$$W_2=\frac{(t+\tau)^2}{2(T-t)} Q_s \quad (t_b < \tau \leq T) \quad (5)$$

式中: h 为初期雨水厚度, mm ; t_b 为汇流面积 F 上最远端的雨水集流到末端排出口所需时间, min ; t 为某降雨强度 i 下,初期雨水厚度 h 降落时间, min ,一般情况下, $t_b > t$; τ 为降雨时间内,调蓄池贮存雨水时间, min ; W_1 为初期雨水量, m^3 ; W_2 为洁净雨水量, m^3 ; Q_s 为初期雨水厚度 h 降落时间 k 内,初期雨水总汇流时间 T 和场地的雨水设计总流量, m^3/s 。

雄安安州地区为新建城区,污染程度不严重,采用试算法,计算参数取初期雨水厚度4 mm,3 a重现期,地面集流时间 $t_b=15 \text{ min}$,以1#排河口处分流井为例,汇水面积 2.01 hm^2 ,利用计算机编程计算得, t_1 发生在7.38 min时刻,污染物去除率为65.4%, t_2 发生在8.61 min时刻,污染物去除率为71.3%。而 t_1 时刻为弃流池去除率的下限值, t_2 时刻为弃流池去除率的上限值。经计算,取初期雨水弃流量为4 mm,当 $t_2=8.61 \text{ min}$ 时,符合年径流污染控制率(以SS计),不低于70%的要求。因此整个排水系统需要的初期雨水调蓄池有效容积为 $V=3\,552.00 \text{ m}^3$,各排河口处分流井的初期雨水量见表1。

表1 各排河口处分流井的初期雨水量

排口编号	排口名称	截留管设计流量 $/(L \cdot s^{-1})$	收水面积 $/\text{hm}^2$	初期雨水量 $/\text{m}^3$
1#	安高路1#	212.7	2.01	48.13
2#	安高路2#	237.8	1.08	25.81
3#	安高路3#	237.8	1.35	32.43
4#	安文路1#	1\,731.5	14.82	355.72
5#	安文路2#	3\,729.0	23.98	575.43
6#	安文路3#	4\,027.8	23.83	571.95
7#	安博路1#	458.1	3.49	83.70
8#	安平路1#	2\,232.6	18.02	432.45
9#	安平路2#	2\,323.7	20.05	481.27
10#	安泰路1#	4\,027.8	21.80	523.12
11#	安泰路2#	4\,305.9	17.58	421.99
合计			148.00	3\,552.00

3.2 方法二

采用暴雨强度法,在平均降雨量较大的7月~8月中的某一天,对区域内进行采样,采样点分布于11处雨水排河口处。监测污染物SS、TP、TN、 $\text{MH}_3\text{-N}$ 浓

度^[3],监测方法采用虹吸式雨量计置于空旷草地中进行雨水采集,按降雨历时2,5,10,15,20,25,30,35,40,50 min,在实验室内进行试剂滴定得出各种污染物浓度,从而得出上述4类雨水中的污染物浓度随降雨历时变化的规律。得出各类污染物随降雨历时的变化各有差别,但总体上,在降雨初期10~15 min呈现快速下降趋势,而后的15~25 min有微小上升趋势,最终趋于稳定^[2],见图4、图5。

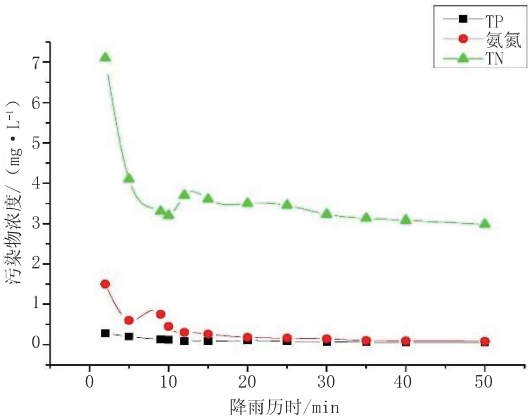


图4 TP、NH3-N、TN 随降雨历时变化趋势

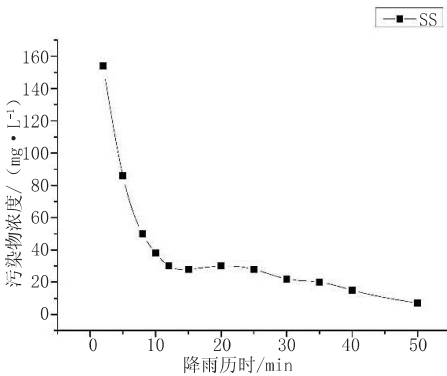


图5 SS 随降雨历时变化趋势

因此,综合考虑,取前10 min雨水量作为初期雨水,进入调蓄池。

(1)雨水设计流量计算公式

$$Q=q\cdot\psi\cdot F$$
(6)

式中: Q 为雨水设计流量(L/s); Q 为设计暴雨强度(L/s·hm²); ψ 为径流系数; F 为汇水面积(hm²)。

(2)暴雨强度公式采用雄县暴雨强度公式

$$q=6\,493.4\times(1+0.685\lg P)/(t+26.73)^{0.93}$$
(7)

当设计重现期 P 取3 a一遇时,暴雨强度为162.54 L/s·hm²,取前10 min雨水量为初期雨水,进入调蓄池。由此,计算初期雨水弃流量为6 495.07 m³。

3.3 方法三

利用SWMM模型分析法,依托鸿业暴雨排水及低影响开发模拟系统V5.0的污染物积累模块、土地性质细分模块、污染物冲刷模块模拟单次降雨时段

内,对指定土地利用类型污染物的冲刷过程,实时模拟产流、汇流过程中地表产生的水污染负荷量。

本次针对安州地区服务范围内11个排河口,将其划分为11个汇水分区,雨水管网定义为124个雨水检查井和66条雨水管线。以SS为例,采用雄县暴雨强度公式及芝加哥雨型、输入污染物表达式和演算步长,通过软件内置指数衰减函数,生成每个排河口的污染物浓度随降雨量的变化衰减曲线,从而定量初期径流弃流量。单元定义界面见图6。

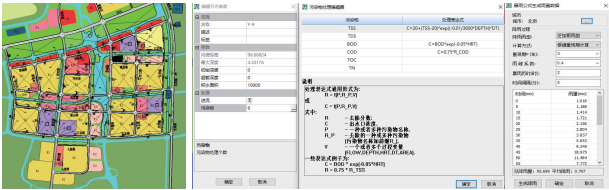


图6 单元定义界面

对方法一、二的调蓄池容积不同结果进行演算校核,拟定调蓄池的规模为0.20;0.35;0.40;0.50;0.65;0.80万m³,通过这6种不同工况下的SWMM模型模拟初期雨水截流流态,保证图1所示的截流干管中的初期雨水顺畅的排入至调蓄池内。选取3 a一遇2 h累计降雨量为95.70 mm,得出这6种调蓄池规模各自对应的蓄水曲线和污染物曲线,从而生成调蓄容积和污染物去除率的变化趋势图,见图7。由图7可知,污染物去除率随调蓄池容积的增大而显著增大,当调蓄容积超过0.46万m³时,污染物去除率满足70%的要求。当调蓄容积超过0.6万m³时,污染物去除率的增长趋势趋于平稳。当调蓄容积为0.46万m³时,调蓄池SS污染物浓度在约15~20 min时到达峰值,见图8。

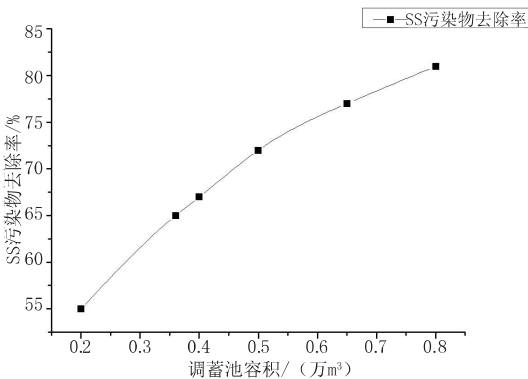


图7 调蓄池容积与污染物去除率的变化趋势

4 初期雨水调蓄池容积的确定

通过三种方法分别得出调蓄池容积分别为3 552.00 m³、6 495.07 m³、4 600.00 m³。方法一结果偏小,原因是每个排口处的分流井分别达到去除效

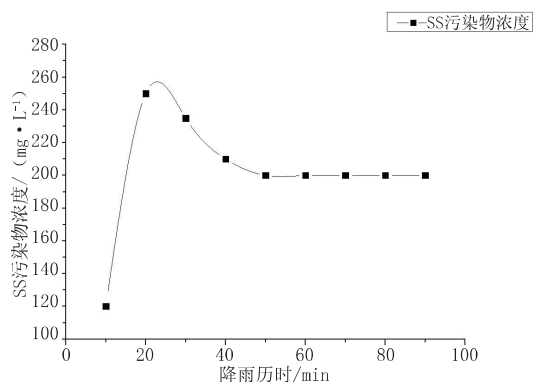


图8 调蓄容积为0.46万 m^3 的污染物去除率变化趋势

率的最佳值,但未计截污干管内流行时间,导致各排出口排入截留干管再排入到调蓄池时,SS 污染物浓度峰值约延后到15~20 min时才到达;方法二结果偏大,原因是设计降雨历时内用平均的降雨强度,而实践证明极限强度理论在小流域是更为适用的。因此,最终确定,采用方法三按照雄县暴雨强度公式,取3 a一遇2 h雨强,雨水调蓄池容积为4 600.00 m^3 ,初期雨水弃流量为5.18 mm。

5 结 语

通过上述三种方法,得出以下结论:

(1)污染物实测浓度与模拟浓度变化趋势大致一致。模型算法可更准确的反映水质变化趋势。

(2)采用swmm模型分析法,一定程度减小了调蓄规模,具有明显的经济效益和社会效益,此方法为截流调蓄系统的规划与设计提供科学参考。

本文对初期雨水的弃流量进行浅析,在实际工程中影响初期雨水弃流量的因素更为复杂,降雨季节性,空间分布差异大。应因地制宜,结合各城市的排水防涝综合规划、海绵城市建设专项规划,根据区域所处下垫面实际情况,多点布控,长期监测,从而掌握雨水过程中各类污染物质在不同时段不同区域的变化规律,从而分析合理的初期雨水弃流量。

参考文献:

- [1] 车伍,张鹏,张伟,等.初期雨水与径流总量控制的关系及其应用分析[J].中国给水排水,2016,32(6):9-14
- [2] 刘琴平.西安市降雨径流特征及初期污染控制研究[D].陕西西安:西安理工大学,2020.
- [3] 任伯帆.城市设计暴雨及雨水径流计算模型研究[D].重庆:重庆大学,2004.
- [4] 刘鹏,赵昕.初期雨水弃流量的理论分析[J].给水排水,2004,30(12):80-85.

(上接第141页)

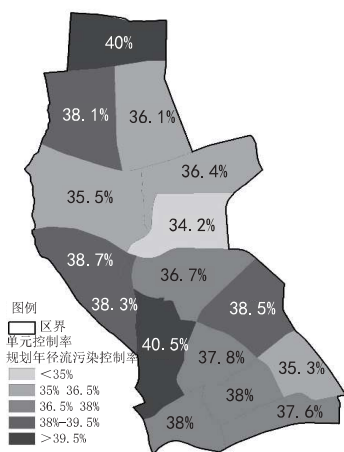


图6 虹口区控规单元规划年径流污染控制率

和排水系统分别采用不同的计算方法,达到区域总体指标。以上海市虹口区为案例,验证了最小管控单元和管控指标源头-系统两级分解体系的可操作性,为以保留单元为主的区级层面海绵指标管控提供新思路。

参考文献:

- [1] “十三五”成就巡礼[EB/OL].新闻联播,(2019-11-07)[2020-12-25].
<http://cpc.people.com.cn/shipin/n1/2020/1109/c243247-31924447.html>.
- [2] 吕永鹏,莫祖澜,张辰,等.流域尺度海绵城市专项规划的方法研究——以上海临港国家试点区为例[J].城乡规划,2019(2):18-24.
- [3] 上海市住房和城乡建设管理委员会.上海市住房和城乡建设管理委员会关于组织开展海绵城市建设规划编制工作的函(沪建综规[2018]68号)[Z].2018.
- [4] 张亮.海绵城市详细规划编制方法探索及实践——以西咸新区空港新城为例[J].城乡建设,2020(2):26-29.
- [5] 郭羽.上海市海绵城市规划方法与控制指标研究[J].城乡规划,2019(2):25-32.
- [6] 施萍,郭羽,刘龙.上海浦东新区海绵城市建设规划探索与实践[J].中国给水排水,2020,36(10):35-40.
- [7] 张辰.上海市海绵城市建设指标体系研究[J].给水排水,2016,6(42):52-56.
- [8] 王盼,陈嫣.适用于上海的海绵城市建设技术分析[J].城市道桥与防洪,2019(4):198-201,205.