

初期径流雨水工程截流措施及效果初探

白建国¹, 朱 洵²

(1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏 徐州 221116; 2. 徐州市政建设集团有限责任公司, 江苏 徐州 221008)

摘要: 初期径流雨水是受纳水体的主要污染源, 用降雨深度界定初期径流雨水量并将其截流可降低对受纳水体的污染。为便于采取工程措施有效截流初期径流雨水, 以《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838 2002) 中Ⅴ类水体基本项目标准限值为依据, 将污染指标值高于该标准限值的径流雨水界定为初期径流雨水, 因此后期径流雨水量即为污染指标值等于或小于该标准限值时的产流量, 用单位时间内的降雨体积表示。据此按钢筋混凝土圆管(满流)的水力计算图确定截流管道的管径, 并采用溢流堰式截流井截流。通过实际工程验证, 其截流效果显著, 且工程易于实施。

关键词: 初期径流雨水; 降雨深度; 降雨体积; 污染指标值; 标准限值; 有效截流; 设计降雨历时

中图分类号: TV213.9; TU992.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0215-03

Preliminary Analysis of Interception Measures on Initial Rainwater Runoff

BAI Jianguo¹, ZHU Xun²

(1. Jiangsu Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Xuzhou Municipal Construction Group Limited Liability Company, Xuzhou 221008, China)

Abstract: The initial rainwater runoff is the main source of pollution for receiving water bodies, and using the rainwater depth to define and then intercept the initial rainwater runoff can lower the pollution of receiving water bodies. In order to facilitate the effective engineering measures in the early closure of runoff, the basic standard limit values of grade V water in "the people's Republic of China environmental quality standard for surface water" (GB 3838 2002) were used as the basis. The rainwater runoff with higher pollution index values than the standard limits were defined as the initial rainwater runoff, and therefore the late stage rainwater runoff had the pollution index values equal to or lower than the standard limits, which were expressed by the rainfall volume in unit time. Based on this, the reinforced concrete pipe (full flow) calculation chart was used to determine the diameter of intercepting tube, and the overflow weir type was used to intercept the flow. Verified by the practical engineering, the intercepting effect was remarkable and easy for engineering implementation.

Key words: initial rainwater runoff; rainfall depth; rainfall volume; pollution index; standard limit; effective interception; design rainfall duration

新建城市和城市的新建区, 一般都采用分流制排放城市污水和雨水^[1], 径流雨水未经处理直接通过雨水管道就近排入到附近受纳水体中。在城市发展的初期, 径流雨水对受纳水体的污染较轻, 但随着城市交通量及屋面和路面材料种类的不断增多, 雨水在径流过程中携带的污染物质的种类和数量也在大量增加, 径流雨水中污染物的浓度在数量级上与未经处理的城市污水基本相同^[2], 从而使受纳水体受到严重的污染。径流雨水对受纳水体的污染程度取决于污染物的浓度。对同一场降雨而言, 径流雨水中污染物的浓度一般都呈

现随降雨历时的延长逐渐降低并趋于稳定^[3]的规律, 初期径流雨水污染物浓度高, 对受纳水体污染严重。已有研究表明^[4], 弃流为 6 mm 降雨深度的路面初期雨水能去除 COD 总量的 77.9%。对市政管道系统而言, 12 mm 的弃流量只能控制污染物总量的 20%, 只有弃流达到 32 mm 以上时才有可能控制 90% 的径流污染^[5]。可见, 采取源头截污控制措施^[6]截流污染物浓度较高的初期径流雨水可降低对受纳水体的污染, 但用降雨深度表示初期径流雨水量难以求得截流管道的管径, 不能采取工程措施将其有效截流。因此, 探讨

收稿日期: 2012-12-18 修回日期: 2013-04-29 网络出版时间: 2013-07-28
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.034.html>
基金项目: 江苏建筑职业技术学院自然科学基金应用项目(JYA31106)
作者简介: 白建国(1964), 男, 河北河间人, 副教授, 主要从事市政给排水工程的教学与研究。E-mail: baijianguo_@126.com

有效截流初期径流雨水的工程措施,对控制受纳水体的污染有着重要意义。

1 截流初期径流雨水的工程措施

1.1 截流原理

路面径流雨水中溶解性有机物所占比例较小,可采用截污措施改善径流水质^[7]。因此,在雨水管道系统上每隔一定距离设置一个截流井,在截流井中设置截流管道将初期径流雨水截流到污水管道中,使其与污水一并进入污水厂进行处理,通过设置的若干个截流井中截流管道的截流作用,使雨水管道只输送排放后期径流雨水,从而减轻对受纳水体污染。

1.2 初期径流雨水的界定及其设计流量计算

径流雨水中的污染物主要来自大气、屋面和路面,其浓度一般用 BOD₅、COD、TP、TN 等污染指标描述^[8]。对某一场降雨而言,初期径流雨水量取决于其污染指标值。《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中Ⅲ类水体的水质满足农业用水及一般景观要求^[9],以其基本项目标准限值为依据,将污染指标值高于该标准限值的径流雨水界定为初期径流雨水进行截流,可减轻径流雨水对受纳水体的污染。径流雨水的设计流量用单位时间内的降雨体积表示,依据产流公式按式(1)计算。

$$Q = \Psi \cdot q \cdot F \quad (1)$$

式中: Q 为初期径流雨水设计流量(L/s); Ψ 为径流系数; q 为设计暴雨强度(L/(s·hm²)); F 为截流井上游汇水面积(hm²)。

设计暴雨强度是指某一设计降雨历时的暴雨强度^[10],该设计降雨历时为径流雨水中污染指标值等于或小于Ⅲ类水体基本项目标准限值时的降雨历时,它因城市性质及路面受到的污染程度而异。对某一城市而言,须选择有代表性的路段进行实际测定,取得设计降雨历时后按式(2)计算设计暴雨强度。

$$q = \frac{167A_1(1 + C \lg P)}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式中: q 为设计暴雨强度(L/(s·hm²)); A_1 、 C 、 b 、 n 为地方参数; P 为设计重现期(a); t 为设计降雨历时(min)。

1.3 截流井及截流管道的设计

截流井宜采用溢流堰式,其位置设在雨水检查井处,最大间距按式(3)计算。

$$L = V \cdot t \quad (3)$$

式中: L 为截流井间距(m); V 为截流井上游雨水管道的设计流速(m/s); t 为设计降雨历时(s)。

溢流堰式截流井的堰高和堰长应通过水力计算确定^[11]。计算时,溢流堰的堰顶线应与截流管道的中心线平行,设计溢流量为截流井上游雨水管道的设计流量与初期径流雨水设计流量之差,据此按式(4)通过试算确定堰长和堰上水头。

$$\dot{Q} = M^3 \cdot \sqrt{L^{2.5} h^{5.0}} \quad (4)$$

式中: \dot{Q} 为设计溢流量(m³/s); M 为堰流系数,薄壁堰取 2.2; L 为堰长(m); h 为堰上水头(m)。

堰上水头的高度应与截流井下游雨水管道的管径相等,用该管径减去堰上水头即得堰的高度。

截流管道是沿道路横断面铺设的雨水管道和污水管道的连通管,它的设计流量就是初期径流雨水的设计流量,据此按钢筋混凝土圆管(满流)的水力计算图确定截流管道的管径^[11]。为减少沉淀淤积,建议最小设计流速为 0.8 m/s。

2 截流效果验证方法

以徐州市为例,先选择市区道路和过境车辆较多的三环路某路段,实测某场降雨不同降雨历时径流雨水的 BOD₅、COD、TP、TN 指标值。COD 采用重铬酸钾法、BOD₅ 采用碘量法、TN 采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法、TP 采用钼锑抗分光光度法进行测定^[12]。将测定值与《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)中Ⅲ类水体的基本项目标准限值进行比较,将污染指标值等于或小于标准限值时的降雨历时作为设计降雨历时。然后以在建雨水管道工程为验证对象,根据确定的设计降雨历时再进行截流井和截流管道的设计与施工。开放交通一段时间后,实测某场降雨截流井中截流前后雨水的 BOD₅、COD、TP、TN 指标值,计算所测指标的截流率,验证截流效果。

3 结果与讨论

3.1 设计降雨历时的确定

以 2011 年 7 月徐州市某场降雨为测定对象,在选定路段上,取连续的 5 个雨水口为取样点,用洁净的矿泉水瓶采集水样,每个样本容积不少于 1 000 mL。从雨水口处出现径流时开始取样,取样时间间隔 5 min,同一降雨历时 5 个取样点同时取样测定。取同一降雨历时 5 个实测值的平均值作为测定值,结果见表 1 和表 2。

表 1 三环路不同降雨历时径流雨水污染指标测定值

污染指标	降雨历时/min							Ⅲ类水体标准限值/(mg·L ⁻¹)
	2	7	12	17	22	27	32	
COD	935.6	990.9	1 011.2	731.9	164.1	33.6	30.8	40.0
BOD ₅	334.2	367.8	380.4	167.3	30.9	10.6	8.1	10.0
TN	9.6	10.3	8.2	5.7	2.4	2.1	2.0	2.0
TP	3.9	4.2	4.3	1.7	0.4	0.2	0.2	0.4

表 2 市区道路不同降雨历时径流雨水污染指标测定值

污染指标	降雨历时/min							Ⅲ类水体标准限值/(mg·L ⁻¹)
	2	7	12	17	22	27	32	
COD	806.6	850.9	880.6	456.8	54.3	20.1	16.5	40.0
BOD ₅	220.8	235.4	256.7	89.1	15.3	6.4	5.9	10.0
TN	6.3	7.1	7.5	4.2	1.7	1.3	1.3	2.0
TP	2.5	3.2	3.3	1.2	0.2	0.2	0.1	0.4

由表 1、表 2 知,所测径流雨水的污染指标,其高峰值均处于降雨初期的 12 min,以后急速下降并最终趋于稳定。胡文力^[3]曾研究认为,径流雨水中污染物浓度高峰区基本处于降雨初期的 10~15 min,15 min 以后雨水内的污染物浓度步入急速下降区间,降雨初期的 10~15 min 径流危害最大。

这一结论与上述结果一致。在同一降雨历时,市区道路污染指标值明显低于三环路污染指标值,这与市区道路过境车辆少、路面洁净有关。当降雨历时为 27 min 时,除三环路的 BOD₅ 和 TN 指标值略高于标准限值外,其余所测指标值均低于标准限值;当降雨历时为 32 min 时,所测路段的所有指标值均低于标准限值,故综合取定设计降雨历时为 30 min。

3.2 截流井与截流管道设计

徐州市某在建雨水管道全长 2 228 m,设计重现期为 1 a,综合径流系数为 0.65,采用管径为 600 mm 的钢筋混凝土管,φ 1 000 mm 砖砌圆形检查井。依据徐州市的暴雨强度公式 $q = \frac{2800[1 + 0.393 \lg(P - 0.175)]}{(t + 13.8)^{0.76}}$, 计算得出设计降雨历时为 30 min 时的设计暴雨强度为 153.2 L/(s·hm²)。

根据图纸计算管道的汇水面积,并按式(1)经算得出初期径流雨水设计流量为 94.1 L/s。依此查钢筋混凝土圆管(满流)的水力计算图得到截流管道的管径为 400 mm、坡度为 2.4‰、设计流速为 0.8 m/s。取截流井上游雨水管道的设计流速为最小流速 0.75 m/s,按式(3)计算得出截流井最大间距为 1 350 m,沿雨水管道全长设置 2 条截流管道,一条设在终点,另一条居中,两口截流井的实际间距为 1 114 m。将截流井处的雨水检查井改造成溢流堰式截流井,截流井下游管道的起点管顶标高即为溢流堰的堰上水头标高,溢流堰的长度取为 1 m,按式(4)计算出的堰上水头为 0.16 m。由于截流井下游管道的管径为 0.6 m,故溢流堰的高度为 0.44 m。

3.3 截流效果验证

按设计进行截流井和截流管道的施工,开放交通半年后以 2012 年 3 月 21 日徐州市降雨产生的地表径流为测定对象,实测终点截流井中开始出现径流雨水和降雨历时为 30 min 时雨水的 BOD₅、COD、TP、TN 指标值并计算截流率,结果见表 3。

表 3 市区某改建道路径流雨水污染指标测定值

Table 3 Measured pollution index values of rainwater runoff on a rebuilding road

污染指标	开始产生径流时 /(mg·L ⁻¹)	降雨历时 30 min 时 /(mg·L ⁻¹)	截流率 (%)	Ⅲ类水体 标准限值 /(mg·L ⁻¹)
COD	768.9	20.3	97.4	40.0
BOD ₅	453.7	7.2	98.4	10.0
TN	5.9	0.8	86.4	2.0
TP	2.4	0.1	95.8	0.4

由表 3 知,将降雨历时为 30 min 的产流量作为初期径流雨水量,用溢流堰式截流井截流,可使雨水管道中雨水的污染指标值明显低于地表水Ⅲ类水体的标准限值,除 TN 的截流率为 86.4% 外,其余污染指标的截流率均在 95% 以上。说明所用截流措施的截流效果显著,可有效降低径流雨水对受纳水体的污染。

4 结论

将径流雨水中污染指标值高于《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838 2002)中Ⅲ类水体基本项目标准限值的径流雨水界定为初期径流雨水,径流雨水的设计流量依据污染指标值等于或小于该标准Ⅲ类水体基本项目标准限

值时的降雨历时按产流公式计算,然后按薄壁堰堰流公式进行溢流堰式截流井设计,再借助钢筋混凝土圆管(满流)水力计算图确定截流管道的管径,并采用溢流堰式截流井截流。在试验验证条件下截流效果显著,实现了用工程措施对初期径流雨水的有效截流,达到了减轻对受纳水体污染的目的。

参考文献(References):

- [1] GB 50014-2006, 室外排水设计规范[S]. (GB 50014-2006, Code for Design of Outdoor Drainage[S]. (in Chinese))
- [2] 何流, 陈文淼, 张超. 城市雨水径流污染控制研究[J]. 能源与环境, 2011, (4): 95. (HE Liu, CHEN Wen miao, ZHANG Chao. Research of City Rainwater Runoff Pollution Control[J]. Energy and Research, 2011, (4): 95. (in Chinese))
- [3] 胡文力. 浅析初期雨水水质及弃水量[J]. 山西建筑, 2011, (25): 129-130. (HU Wen li. Analysis of Initial Rainwater Quality and Waste Flow[J]. Shanxi Building, 2011, (25): 129-130. (in Chinese))
- [4] 陈民东, 张胜, 李思敏. 邯郸市区雨水初期径流控制量的确定[J]. 资源环境与工程, 2007, (4): 435-438. (CHEN M in dong, ZHANG Sheng, LI Si min. Handan City Water Runoff Control[J]. College of Resources and Environment, 2007, (4): 435-438. (in Chinese))
- [5] Many Catherine Hager. Evaluating First Flush runoff[J]. Stormwater, 2001, 2(6): 1-10.
- [6] 姜文超, 管继玲, 吕念南, 等. 雨水径流污染与城镇排水系统规划[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 9(3): 39-41. (JIANG Wen chao, GUAN Ji ling, LV Nian nan, YANG Zheng cheng, et al. Stormwater Runoff Pollution and Urban Drainage System Planning[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 9(3): 39-41. (in Chinese))
- [7] 陈伟伟, 张会敏, 詹小米, 等. 城区路面雨水径流水文水质特征试验研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(9): 26-29. (CHEN Wei wei, ZHANG Hui min, ZHAN Xiao mi, et al. Research on Hydrology and Pollution Characteristics of Urban Pavement Runoff[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(9): 26-29. (in Chinese))
- [8] 车伍, 张炜, 李俊奇, 等. 城市雨水径流污染的初期弃流控制[J]. 中国给水排水, 2007, (6): 1-2. (CHE Wu, ZHANG Wei, LI Jun qi, et al. Initial Discard City Rainwater Runoff Pollution Control[J]. China's Water Supply and Drainage, 2007, (6): 1-2. (in Chinese))
- [9] GB 3838-2002, 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, The People's Republic of China Environmental Quality Standard for Surface Water[S]. (in Chinese))
- [10] 张奎. 给水排水管道工程技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005. (ZHANG Kui. Water Supply and Drainage Pipeline Engineering[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005. (in Chinese))
- [11] 北京市市政设计研究院. 简明排水设计手册[K]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990. (Beijing Municipal Engineering Design Institute. Manual Design Simple Drainage[K]. Beijing: China Building Industry Press, 1990. (in Chinese))
- [12] 国家环保总局, 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. (State Environmental Protection Administration, Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods. Water and Wastewater Monitoring and Analysis Method[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese))