

流量折减系数对雨水系统设计标准的影响

周玉文¹, 翁窈瑶¹, 汪明明²

(1. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124; 2. 安徽工业大学 建筑工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 我国室外排水设计规范规定采用折减系数计算雨水排水设计流量,造成了设计标准和抗灾能力与国外的类似工程相比偏低.在适当假设的基础上,推求出折减系数为1和2时重现期关系的数学表达式,根据实例分析,当折减系数为1时设计重现期为1年不同时刻的设计流量相当于折减系数为2时重现期1.531~4.028年的标准;当折减系数为2时设计重现期为1年的设计流量仅相当于折减系数为1时的重现期0.690~0.393年标准.由于引入折减系数已经造成雨水排水系统设计标准实质性降低,使城市区域形成洪涝灾害的设计风险增加.

关键词: 雨水系统; 设计标准; 折减系数; 重现期

中图分类号: TU 992

文献标识码: A

$m = 1$, design return period at one year ($P = 1$) and with same time intervals, could reach the same level as in the case with $P = 1.531 \sim 4.028$ years when $m = 2$ is taken. Reversely, when $m = 2$ and $P = 1$ year, the design flows are approximately equivalent to the values in situations with $m = 1$ and $P = 0.69 \sim 0.393$ years. In conclusion, the research suggests that the use of an attenuation coefficient would result in substantial reduction in storm sewer system design criteria and consequently increase the risk of waterlogging in urban regions in China.

Key words: storm sewer system; design standard; attenuation coefficient; return period

Impact of Attenuation Coefficient on Urban Storm Sewer System Desining

ZHOU Yuwen¹, WENG Yaoyao¹, WANG Mingming²

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243002, Anhui, China)

Abstract: Based on the Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering, calculating storm sewer design flow (Q) with an attenuation coefficient (m) leads to a lower design flow than that of projects abroad, and reduces the capacity for disaster resistance of urban storm sewer system for the same design standard. This manuscript focuses on discussing the impacts of flow attenuation coefficient (m) on storm sewer system design. Based on appropriate assumptions, the mathematical expressions of the relationship between return periods with $m = 1$ and $m = 2$ were deduced, which lays the theoretical foundation for the analysis of the relationship among return periods. According to several examples, it is confirmed that the design flow rates defined by

近年来我国大城市暴雨积水灾害频发,造成了巨大的财产损失和不良的社会影响,引发了社会各界对城市雨水排水系统设计标准的反思.造成我国大城市暴雨积水灾害的原因很多,诸如城市化的影响、气候变化的影响、忽视地下基础设施建设的影响和管理因素等,但是我国城市雨水管渠系统设计理论和设计方法比较落后,尤其是在设计中采用雨水管渠流量折减系数对雨水系统实际的设计标准造成的影响不容忽视.

1 我国城市雨水排水系统设计方法与国外的差别

根据我国室外排水设计规范推荐采用推理公式法计算雨水管渠的设计流量为^[1]

$$Q = \psi F q \quad (1)$$

式中: ψ 为径流系数; F 为汇水面积; q 为设计暴雨强度.

收稿日期: 2010-08-03

基金项目: 国家自然科学基金(50678009);“十一五”国家科技支撑计划(2006BAJ16B04);欧盟第七框架国际合作项目-CORFU 资助项目

第一作者: 周玉文(1952—),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为给水排水管网系统优化. E-mail: zhouyw68@bjut.edu.cn

我国室外排水设计规范推荐的暴雨强度公式为

$$q = \frac{A_1(1 + c \lg p)}{(t + b)^n} \quad (2)$$

式中: A_1, c, b, n 分别为暴雨强度公式地方统计参数; p 为设计重现期; t 为汇水时间; $t = t_1 + mt_2$; t_1 为地面汇水时间; $t_2 = \sum L/v$ 为管内流行时间; L 为设计管段长度; v 为管道内水流速度; m 为雨水管渠流量折减系数。

我国室外排水设计规范中没有对使用推理公式法的条件进行任何限制,而是沿袭原苏联 1954 年排水设计规范,将雨水管渠流量折减系数 m 的相关计算方法引入了我国设计规范。

雨水管渠流量折减系数 m 的相关理论依据是考虑对流速变化和管道空隙容量进行利用。当任一管段发生设计流量时,其上游管道可能都不是满流,所以可以利用上游管道存在的空隙容量,暂时贮存一部分水量,而起到调蓄管段内最大流量的作用。而这种调蓄作用,只有在该管道内水流处于压力流条件下,才可能实现。因为只有处于压力流管段的水位高于其上游管段未满流时的水位足够大时,才能在此水位差作用下形成回水,迫使水流逐渐向上游管段空隙处流动并填充空隙。

由于我国采用的暴雨强度公式与原苏联的暴雨强度公式形式不同,如何沿用原苏联的规范存在争议。所以在上世纪 80 年代由同济大学邓培德教授^[2]、哈尔滨工业大学孟昭鲁教授^[3]和北京市市政工程设计研究总院张嘉祥高级工程师牵头^[4],基于理论计算和北京市百万庄小区雨水观测资料,对雨水管渠空隙容量利用和折减系数 m 值进行了系统研究,指出空隙容量的利用与地形、坡度有密切关系,坡度过大,空隙容量难以利用。折减系数 m 值为一变数,其变化范围为 1.8~2.2。

折减系数 m 是雨水管渠设计涉及到的重要参数^[5]。 m 值直接关系到雨水管渠设计标准,进而影响雨水管渠的建设投资和抵御城市暴雨积水灾害的风险。欧盟、原苏联、美国、日本以及我国的 m 取值都不一样。原苏联,1974 年排水规范对 m 值作了重新规定:当 $n = 0.50$ 时, $m = 2.8$; 当 $n = 0.51 \sim 0.60$ 时, $m = 2.5$; 当 $n = 0.61 \sim 0.70$ 时, $m = 2.2$; 当 $n > 0.70$ 时, $m = 2.0$ 。我国的排水规范建议折减系数为:暗管 $m = 2$,明渠 $m = 1.2$;陡坡地区,暗管 $m = 1.2 \sim 2.0$ 。在欧盟、美国和日本,该值取 1,实际上都未考虑利用空隙容量。

由于引入 m 值之后管网的设计状态不再是无

压满管流,而是压力满管流。采用这种设计状态虽然有节省投资的作用,但是降低了管网从无压满管流到压力满管流的设计系统冗余量。

2 对设计汇水时间的影响

2.1 缩小了城市暴雨强度公式的适用范围

由于引入 m 值之后,使管网的设计管内流行时间扩大了 m 倍,根据我国现行的暴雨强度公式,集水时间 $t = t_1 + mt_2$,按规范暗管 $m = 2$,当 $t_1 = 10 \text{ min}$, $t_2 = 60 \text{ min}$ 时,则 $t = 130 \text{ min}$,这个值已经超出了编制暴雨强度公式的最大降雨历时(最大采样历时为 120 min,共 9 个降雨时段,分别为 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120 min),从而导致超出暴雨强度公式的适用范围;而在城市排水区域, t_2 取值 60 min 完全有可能。因此,反向思维就是应推求更长历时的城市暴雨强度公式,从而混淆了流域汇水时间的概念。

2.2 超出使用范围使用经验公式导致的错误

在经典的教科书和设计手册中,都详细地介绍了地面汇水时间 t_1 和管内流行时间 t_2 的取值和计算方法。设计工程师经常利用有物理意义的 $t_c = t_1 + t_2$ 来计算流域汇水时间。当采用该公式的计算结果 t_c 来判别城市暴雨强度公式的适用范围时,具有确切的物理意义。而利用集水时间 $t = t_1 + mt_2$ 计算超出城市暴雨强度公式的降雨历时适用范围时,就会导致致命的错误,计算结果可能没有科学根据。

3 对设计标准的影响

3.1 设计流量的差别

根据推理公式法计算设计流量,设采用折减系数 m 的流域设计流量为 Q_m ,不采用折减系数 m 的流域设计流量为 Q_0 ,则

$$Q_m = \phi F \frac{A_1(1 + c \lg p_m)}{(t_1 + mt_2 + b)^n} \quad (3)$$

$$Q_0 = \phi F \frac{A_1(1 + c \lg p_0)}{(t_1 + t_2 + b)^n} \quad (4)$$

式中: p_0 为 Q_0 对应设计重现期; p_m 为 Q_m 对应设计重现期。

当流域汇水面积和流域特性相同,并且设计重现期相同时,则

$$\frac{Q_0 - Q_m}{Q_m} = \frac{(t_1 + mt_2 + b)^n}{(t_1 + t_2 + b)^n} - 1 \quad (5)$$

以现行采用 m 值的计算设计流量为基础,在其他条件均相同的条件下,与未采用 m 值的计算雨水相比较,则设计流量减少的情况如图 1 所示.

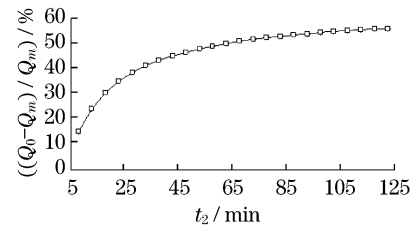


图 1 管内流行时间 t_2 对北京市雨水管渠设计流量减少百分比的影响

Fig.1 The effect of pipe flow time t_2 on declined percentage of stormwater design flow in Beijing

从图 1 可以看出,采用 m 后,削减的设计流量的变化规律,其数值变化在 20%~50%,随 t_2 增大而变大,可以达到 50%左右,其影响还是很大的,对设计安全造成的影响不容忽视.

3.2 设计重现期的关系

假设在同一个排水流域,管道的定线、流域的汇水面积划分和流域特性条件均相同的情况下,并且采用相同的 t_1 和 t_2 ,分析采用 $m = 1$ 和 $m = 2$ 造成的设计标准差异.

首先,假设以 $m = 2$ 作为设计条件,以 $m = 1$

作为校核条件,分析设计重现期的差异.

令 $Q_0 = Q_m$,则

$$\psi F \frac{A_1(1 + c \lg p_0)}{(t_1 + t_2 + b)^n} = \psi F \frac{A_1(1 + c \lg p_m)}{(t_1 + mt_2 + b)^n} \quad (6)$$

化简整理后有

$$\lg p_0 = \frac{1}{c} \left\{ \left[\frac{(t_1 + t_2 + b)}{(t_1 + mt_2 + b)} \cdot (1 + c \lg p_m) \right] - 1 \right\} \quad (7)$$

其次,假设以 $m = 1$ 作为设计条件,以 $m = 2$ 作为校核条件,分析设计重现期的差异.

理论推导过程类似,有

$$\lg p_m = \frac{1}{c} \left\{ \left[\frac{(t_1 + mt_2 + b)}{(t_1 + t_2 + b)} \cdot (1 + c \lg p_m) \right] - 1 \right\} \quad (8)$$

根据以上关系式可以采用数值方法计算重现期的对应关系.

3 实例分析

以北京的暴雨强度公式为例:北京市 1980 版城市暴雨强度公式地方参数如下: $A_1 = 2\,001$, $c = 0.811$, $b = 8\text{ min}$, $n = 0.711$. 采用 $t_1 = 10\text{ min}$, $m = 2$,在管内设计流速相同和流域面积相同的条件下,则有如表 1 和表 2 所示的数值计算结果.

表 1 不同管内汇水时间对应的 $m = 2$ 时的计算重现期
Tab.1 The return period ($m = 2$) corresponding to different pipe flow time

t_2/min	$m = 1$ 的重现期/年							
	0.25	0.33	0.5	1	2	3	5	10
5	0.311	0.428	0.690	1.531	3.399	5.418	9.750	(21.638)
10	0.356	0.502	0.841	1.991	4.710	7.795	(14.706)	(34.795)
15	0.390	0.560	0.963	2.379	5.879	9.981	(19.442)	(48.048)
20	0.416	0.606	1.061	2.707	6.904	(11.938)	(23.801)	(60.704)
25	0.438	0.643	1.143	2.985	7.798	(13.674)	(27.747)	(72.478)
30	0.455	0.674	1.211	3.224	8.580	(15.211)	(31.295)	(83.293)
35	0.470	0.699	1.269	3.429	9.266	(16.574)	(34.481)	(93.169)
40	0.482	0.721	1.319	3.609	9.872	(17.787)	(37.345)	(102.169)
45	0.493	0.740	1.362	3.766	(10.410)	(18.871)	(39.925)	(110.371)
50	0.502	0.757	1.400	3.905	(10.890)	(19.843)	(42.256)	(117.855)
55	0.510	0.772	1.433	4.028	(11.321)	(20.720)	(44.371)	(124.698)

注:计算重现期超过 10 年以上的数值已经超出暴雨强度公式的适用范围,采用加括号的方式表达,仅供参考.

根据表 1 中计算结果可以发现,当 $m = 1$ 时设计重现期为 1 年的不同时刻的设计流量相当于 $m = 2$ 时的重现期 1.531~4.028 年,重现期为 10 年的计算结果则更是差别巨大,都超出了 10 年,历时越长,

则差别越大.

根据表 2 中计算结果可以看出,当 $m = 2$ 时设计重现期为 1 年的不同时刻的设计流量仅相当于 $m = 1$ 时的重现期 0.69~0.393 年,重现期为 10 年

的计算结果仅相当于 5.111~1.840 年,历时越长则差别越大. 根据不同汇水时间选用重现期 2~5 年,才能达到 $m = 1$ 时重现期为 1 年的设计标准. 可见由于引入折减系数对设计标准的影响不容忽视.

表 2 不同管内汇水时间对应的 $m = 1$ 时的计算重现期
Tab.2 The return period ($m = 1$) corresponding to different pipe flow time

t_2/min	$m = 2$ 的重现期/年							
	0.25	0.33	0.5	1	2	3	5	10
5	0.207	0.263	0.378	0.690	1.261	1.794	2.798	5.111
10	0.188	0.235	0.329	0.575	1.004	1.391	2.098	3.666
15	0.178	0.220	0.303	0.515	0.875	1.194	1.767	3.004
20	0.171	0.211	0.286	0.478	0.799	1.079	1.575	2.631
25	0.167	0.204	0.275	0.454	0.749	1.004	1.451	2.393
30	0.164	0.199	0.267	0.437	0.713	0.950	1.365	2.229
35	0.161	0.195	0.261	0.423	0.687	0.911	1.301	2.109
40	0.159	0.193	0.256	0.413	0.666	0.881	1.252	2.018
45	0.157	0.190	0.253	0.405	0.650	0.856	1.213	1.946
50	0.156	0.188	0.249	0.398	0.636	0.837	1.182	1.888
55	0.155	0.187	0.247	0.393	0.625	0.821	1.156	1.840

4 修正室外排水规范的建议

4.1 采用流量折减系数后对排水系统抗灾能力的影响

根据城市雨水排水管网设计水力计算的基本假设,设计工况为满管无压恒定流状态,引入折减系数后形成了整个管网系统的压力流状态,人为减小了从无压满管流到超载有压满管流的系统安全度,增加了系统的抗灾风险.

由表 1 和表 2 的计算结果可以看出,引入折减系数对设计重现期标准的影响很大,人为降低了排水系统的抗灾能力.

在欧盟的室外排水设计标准 EN 752 中明确地规定了系统设计工况和系统超载工况的差别,并给出了建议的超载校核标准. 由于引入折减系数而使系统在设计工况条件下就处于超载有压满管流的状态,减小了排水系统的抗灾能力.

4.2 取消关于折减系数的相关规定

鉴于以上分析,同时考虑到我国经过改革开放后城市的经济实力及暴雨积水灾害频发的现实,从保证排水安全的角度出发,建议在有条件的地区取

消现行排水设计规范中关于采用折减系数的相关规定. 汇水时间的计算公式修正为 $t_c = t_1 + t_2$, 其中 $t_2 = \sum L/v$.

4.3 使用计算机模拟技术改进传统设计方法

应当指出,由于雨水汇流过程实际上的非恒定流特性,在汇流过程中会造成一定的洪峰衰减,引入折减系数也有一定的积极作用和合理性. 但是,由于其物理意义很难解释,并且造成人为加大汇水时间的问题,所以应该采用其他方法考虑洪峰衰减问题.

近年来在国际上已经普及的基于非恒定流理论计算机模拟技术可以改进传统设计方法,并且可以考虑洪峰衰减问题,其物理意义明确,更具有科学性.

在折减系数的推导过程中,研究者充分考虑了雨水管道排水系统的排水过程存在非恒定流运行条件和系统调蓄作用的影响. 如果采用计算机模型软件计算管道系统的汇流过程,雨水管道排水系统的排水过程存在非恒定流运行条件和系统调蓄作用的影响可以充分加以考虑,使设计工况更加符合实际,并且可以保证安全.

建议增加利用计算机模型进行城市雨水管网系统设计的相关条款,这样可以使设计的雨水排水系统更加科学合理.

(下转第 1527 页)