

连续模拟在城市排水设计中的应用探讨

刘俊,方正杰,陆剑峰,代斌

(河海大学水资源环境学院,江苏南京 210098)

摘要 针对现行设计暴雨方法在城市排水设计中存在的问题,提出了基于连续模拟的设计方法.通过输入数年的雨量、气温和其它相关资料,借助于城市雨洪模型,可以输出连续数年的流量过程和污染过程,再根据某种标准,将连续过程分割成若干次洪水事件,并对此进行统计分析,进而得出流量—频率关系、洪量—频率关系等.这样,可以根据不同的雨洪管理目标,直接推求出满足特定需要的设计洪水事件,并在此基础上进行排水设计,从而克服雨洪同频假设所带来的问题.

关键词 城市水文 连续模拟 雨洪管理 设计标准

中图分类号 TV87

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2003)06-0609-03

城市排水设计和雨洪管理有多重目标,如预防一定重现期的地面淹水和承受水体一定重现期的污染.在此意义上,频率或重现期需要与一非常特定的参数相联系.对于降雨,有次总雨量、平均雨强等参数;对于径流,有次洪总量和洪峰流量等参数,这些参数的频率分配事实上相互间是不一致的.传统的利用设计暴雨进行城市排水设计的方法,将直接来自设计暴雨的设计重现期,转换成排水系统的重现期,这一基本假设并没有充分证实.为克服以上问题,随着计算机技术的发展,连续模拟已成为一个有效的途径,它可以获得与水量水质有关事件的实际频率.

1 连续模拟的特点

用于城市地表水管理的模型可分为两种^[1],即单次模型和连续模型.和所有的降雨—径流模型一样,这两种模型都有3个组成部分:输入、计算程序和输出.单次模型和连续模型主要区别在于二者所需输入气象资料的类型、数量以及处理的方式不同.单次模型一般输入一场或几场实际的或虚拟的暴雨过程,输出相应暴雨过程形成的流量过程线和污染过程线.如果将重现期与输入的暴雨过程相联系,则通常假设输出的流量过程线或污染过程线有同样的重现期.连续模拟则采用完全不同的方法.它的输入包括数年的雨量、气温和其它资料.计算机将所有这些连续的气象资料进行处理,并输出连续的流量过程和污染过程.这些连续过程的分析方法与分析长期流量和水质记录的方法是一致的.对连续模型的输出可进行基本统计分析,通常包括流量—频率关系、洪量—频率关系、水质—历时关系,以及各参数季和年的累积统计值.这样,就可以根据城市雨洪管理的目标,直接利用连续模拟的频率计算成果进行设计洪水的分析.

2 连续模拟应用实例

SWMM(Storm Water Management Model)是美国环保局委托佛罗里达大学研制的模拟城市雨洪和水质过程的数学模型,它可以模拟完整的城市降雨径流和污染物运动过程,包括地面径流和排水系统中的水流,雨洪的调蓄处理过程以及接纳水体模式.模型输出可以显示系统内和接纳水体中各点的水流和水质状况.特别地,SWMM不仅可以用于单次雨洪事件的模拟,还具有连续模拟的功能,这对城市排水设计具有重要的意义.

为检验SWMM模型在天津市区的适用性,建立了王顶堤小区和纪庄子试验区.首先通过王顶堤小区(汇水面积103 hm²)雨洪资料率定模型中有关基本参数,然后由纪庄子试验区(面积2730 hm²)的雨洪资料对模型作全面调试及对有关程序作必要的修改和补充,并选定其中参数.以上工作已于1993年完成,并通过海河水利委员会的验收,成果介绍见文献[2,3].在此基础上,又进一步将该模型推广应用于整个天津市区排涝分析

计算^[4].在以上应用中,SWMM 是用作单次模拟的,但 SWMM 同时也具有连续模拟的功能,现利用纪庄子试验区 1975~1979 年逐时降雨资料,在该试验区进行雨洪连续模拟分析计算.

2.1 模型的输入

在原模型参数基础上,将降雨输入由单次的改为连续 5 a 的逐时雨量过程,同时 在原数据文件中增加 SWMM 模型统计模块参数,以便于对连续事件进行统计分析.

2.2 一些特定参数的选取

a. 最小间歇期 MIT. MIT 是组成两场洪水事件间歇期的最短枯流时段长.换言之,一个洪水过程要想被认为是一场独立事件,在其后的枯流期时段长必须等于或大于 MIT. MIT 的取值大小决定于用户对事件定义的准则,通常取 6~22 h,本次模拟时取为 12 h.

b. 基流 BASE. 在利用统计模块对输出的连续流量系列进行分析时, BASE 用来确定一个洪水过程的起点和终点,只有大于或等于 BASE 的流量才被分析所用,其它的则作零处理. 本次模拟时,根据试验区的产汇流特征,取 BASE 为 10.11 m³/s.

2.3 模型的输出

a. 径流模块的输出. 1975~1979 年试验区出口断面逐时的流量过程线, 1975~1979 年间逐日、逐月和逐年的降雨总量及径流总量, 1975~1979 年的降雨总量及径流总量, 以及最大 50 个时段降雨和径流量.

b. 统计模块的输出. 根据 MIT 和 BASE 值, 从连续 5 a 流量过程中分隔出 24 次独立的洪水事件, 根据各次洪水的总量, 将 24 个事件从大到小排列, 并计算出次洪总量的重现期及各阶矩, 见表 1 所示.

表 1 次洪总量的重现期及各阶矩

Table 1 Return period and moment of flood volume

事件编号	起始时刻	次洪总量 W/mm	重现期/月	事件编号	起始时刻	次洪总量 W/mm	重现期/月
780808	19 300	259.0	61.0	790720	13 300	28.2	4.7
751004	2 300	166.9	30.5	760720	13 300	28.0	4.4
770803	1 300	120.6	20.3	750912	9 300	24.5	4.1
760820	4 300	99.9	15.3	771028	6 300	23.7	3.8
780725	11 300	98.7	12.2	790624	17 300	22.8	3.6
770723	20 300	89.7	10.2	750910	6 300	19.7	3.4
770726	12 300	73.8	8.7	790729	4 300	18.8	3.2
790724	8 300	41.1	7.6	780724	17 300	16.7	3.1
780708	20 300	40.7	6.8	790812	2 300	12.8	2.9
760808	1 300	38.2	6.1	760606	10 300	6.8	2.8
780826	11 300	39.4	5.5	750919	7 300	6.7	2.7
790816	2 300	29.3	5.1	750924	13 300	4.3	2.5

注: $\bar{W}$ = 54.60 mm, 变差系数 C_v = 1.1, 偏态系数 C_s = 2.1.

在表 1 中, 计算重现期的方法如下. 首先求出模拟时段内的月份数 Q , 以一年 365.25 d 计, 一月中平均有 730.5 h, 这样

$$Q = \text{integer} \{ (T_2 - T_1) / 730.5 + 0.5 \}$$

式中 T_2, T_1 分别表示模拟时段的起始和终了时刻. 于是, 重现期(以月份数表示)为

$$T = (Q + 1) / M$$

式中 M 为给定事件的排位(以降序排列). 类似地, 也可根据次洪其它特征量(洪峰流量、洪水历时、平均流量等), 将 24 次事件从大到小排列, 并计算出各参数的重现期和各阶矩. 以上重现期分析计算方法, 在欧美国家市政部门进行排水设计时被广泛采用, 但与我国水文上传统的做法不一致, 以下讨论如何有效地利用该方法进行频率分析和排水设计.

2.4 利用连续模拟进行城市排水设计

在我国城市地区进行排水设计时, 通常是以能抵御某一重现期的设计洪水为依据的. 过去一般是先分析得出该重现期的设计暴雨, 假定雨洪同频率, 再推求设计洪水的. 现在, 利用连续模拟已得到了设计区域连续数年逐时的流量过程, 因而就有可能直接对从连续流量过程中分隔出来的洪水事件作频率分析, 而不必假定雨洪同频率. 在城市排水设计中, 通常采用超定量法选样, 这是符合城市地区防洪及水环境保护的实际需要的. 因为在城区, 只要发生超过某一一定量的洪水, 就会导致一定范围的淹泡及水质的恶化, 造成一定的损失,

而且一年中往往不止一次地发生这种超定量的事件,只是各次淹泡的范围及水质恶化的程度不同.这与天然流域不同,在天然流域,一旦发生垮坝事件,在短期就难以修复,所以用年最大值法是合适的.而对城区,尽管超过某一定量的涝水会造成一定的损失和破坏,但一般历时较短,且可以较快恢复,因而有必要用超定量法考虑所有可能导致损失的事件,因此,城市排水的设计标准通常采用低重现期(0.33 a,0.5 a,1 a,2 a,5 a).下面以次洪总量为例,说明利用连续模拟确定设计洪水过程的方法.

为确定某一重现期的设计洪水,可直接在表 1 中查出该重现期所对应的洪水事件,并以其作为设计洪水事件.例如,对纪庄子试验区,当要确定出口断面半年一遇(6 个月)的设计洪水时,可查表 1,得出与设计重现期最近的洪水事件为 760808,可近似将其作为设计事件.或为更加准确,取洪水过程 760808 并将其按倍比因子 $r = T/T'$ 进行缩放,其中 T 为设计重现期(可以月计), T' 为查表得出的最近的重现期,这里 $r = T/T' = 6/6.1 = 0.98$,便可得到半年一遇的设计洪水过程.

2.5 根据雨洪管理目标确定设计洪水

在连续模拟统计出的 24 场事件中,若按峰值大小排列,前 6 大洪水事件为 :780808,770803,751004,770723,760820,780725,而在表 1 中以洪量大小排列时前六大洪水事件则为 780808,751004,770803,760820,780725,770723,可见,对同一次洪水事件其峰、量的重现期可能是不一致的.这样,在进行洪水分析时,就可以根据设计目的,决定是以峰值还是以洪量为基础推求设计洪水.但若用传统的设计暴雨方法推求设计洪水时,只能假定降雨和洪水过程的峰、量都同频率.

3 结 语

设计暴雨方法是以时段设计雨深为基础进行频率分析,得到设计暴雨后,再推求设计洪水的.它假定雨洪同频,并隐含假定设计洪水的峰、量同频,而这些假设存在一些问题.采用连续模拟方法,就可以以选定的洪水参数为基础,直接分析由模拟得到的长期洪水流量过程和水质记录,得到真正所需的一定频率的设计洪水事件.而且,用这种方法非常便于用超定量法分析,这是符合城市地区水文特点的.可以预见,随着计算机技术的发展和城市水文学研究的深入,连续模拟方法在城市排水设计中将会起到越来越重要的作用.当然,限于时间,这次只利用 5 a 的降雨资料对连续模拟做了初步探讨,提出的方法也比较粗糙,将来应增加系列长度,作进一步的研究与完善.

参考文献：

[1] WALESH Stuart G. Urban surface water management[M]. New York : John Wiley & Sons Inc,1989.3—36.
[2] 刘俊,李蝶娟,朱元铎,城市化对天津市雨洪情势变化的影响[J]. 海河水利,1994,(5) 48—52.
[3] 刘俊.城市雨洪模型研究[J]. 河海大学学报,1997,(6) 20—24.
[4] 刘俊,徐向阳.城市雨洪模型在天津市区排水分析计算中的应用[J]. 海河水利,2001,(1) 9—11.

Application of continuous simulation to urban drainage design

LIU Jun, FANG Zheng-jie, LU Jian-feng, DAI Bin

(College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract :In the light of the disadvantage of the existing design storm procedure in urban drainage design, a continuous simulation-based design method is proposed. With the aid of the urban rainfall flood model, the present model can give long-term discharge and pollution series by input of several year' continuous rainfall, temperature and other relevant data. Based on a certain criterion, the continuous series is divided into several flood events, and a statistical analysis is made to find the relationships between discharge, flood volume, and frequency. Thus, the design flood events satisfying different rainfall flood management objectives can be obtained directly, and then the drainage design can be made. The present method can solve the problem induced by the hypothesis that a rainfall should have the same frequency as the flood it causes.

Key words :urban hydrology ; continuous simulation ; rainfall flood management ; design criterion