

# 滨海山丘区城市小流域设计洪水计算方法研究

郝曼秋<sup>1</sup>, 常虹<sup>2</sup>, 陈高林<sup>3</sup>, 高成<sup>1</sup>, 陈尚坡<sup>3</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏南京 210098; 2. 江苏省水利工程规划办公室, 江苏南京 210000;  
3. 连云港金东方港口投资有限公司, 江苏赣榆 222100)

**摘要:** 我国滨海山丘区城市上游有山丘区, 洪水下泄速度较快; 下游受到潮水的顶托作用, 内河洪涝水无法外排入海, 洪涝灾害频发。城市化的进程也改变了原有下垫面的产汇流特性, 既不能采用原有天然流域设计洪水计算方法, 也不能采用城市排水的计算方法。论文针对快速城市化中的滨海山丘区的特点, 分析了城市市政排水计算公式、水利推理公式和非恒定流法之间的区别, 提出了利用推理公式、管道汇流和非恒定流法相结合计算小流域设计洪水的方法。以赣榆县柘汪-石桥片区为例, 分别采用上述3种方法计算其设计洪水。结果表明: 非恒定流方法的计算结果比推理公式方法小, 该方法比较符合滨海山丘区的洪水特性, 可为城市建设和河道规划提供依据。

**关键词:** 洪峰流量; 非恒定流法; 城市防洪; 滨海山丘区;

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2015)05-0109-05

## Research on calculation method of design flood in small urbanization basin of coastal mountainous area

HAO Manqiu<sup>1</sup>, CHANG Hong<sup>2</sup>, CHEN Gaolin<sup>3</sup>, GAO Cheng<sup>1</sup>, CHEN Shangpo<sup>3</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Planning Office of Water Conservancy Project, Nanjing 210000, China;

3. Lianyungang Golden Orient Port Investment Co., Ltd, Ganyu 222100, China)

**Abstract:** There are hilly regions in coastal hilly cities. The flood discharges rapidly due to the upstream hilly areas. What's more, the drainage of rivers may be influenced by the backwater effect of the tide, which makes the flood disasters be more frequent in these areas. Urbanization has also changed the runoff characteristics of original underlying surface. Neither the calculation method of design flood of natural river nor the calculation method of city drainage can be used in these areas. In view of the characteristics of small watershed in hilly areas of coastal cities, the paper analyzed the difference between the calculation formula of city municipal drainage, water conservancy reasoning formula and unsteady flow calculation method. It proposed the calculation method of design flood in small watershed which was based on reasoning formula, pipe junction and unsteady flow calculation method. The paper took Zhewang - Shiqiao district of Ganyu county as case study and used the above three methods to calculate design flood. The results gotten by unsteady flow calculation method is smaller than that by reasoning formular. This method is more in line with the characteristics of flood in coastal hilly region. The result can provide a basis for city construction and river planning.

**Key words:** peak flow; unsteady flow calculation method; urban flood control; coastal mountainous area

我国许多城市位于滨海山丘区, 处于低山丘陵与平原交接地带, 依山傍水, 水沃土丰, 适宜人类居

住。但是这些地区上游有山丘区, 洪水下泄速度较快; 下游受到涨潮和风暴潮的顶托作用, 尤其是风暴

收稿日期: 2014-07-11; 修回日期: 2014-10-08

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(41301016); 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室开放研究基金(IWHR-SKL-201210)

作者简介: 郝曼秋(1993-), 女, 江苏宿迁人, 在读研究生, 主要从事城市防洪减灾方面的研究。

通讯简介: 高成(1983-), 男, 安徽宿州人, 博士, 副研究员, 主要从事城市防洪排涝方面的研究。

潮期间,这种顶托作用强度更大、持续时间更长,内河洪涝水无法外排入海,使得洪涝灾害频发。

随着城市化进程的进一步推进,这些地区的城镇布局和土地利用性质发生了较大的变化,主要表现在:

(1)城镇建成区面积的改变。相较于过去,城镇建设面积比例加大,导致不透水面积的增加,防洪风险进一步加大;

(2)随着社会经济的发展,地区内部分农村和农田区域转变为重要的港区、工厂、企业,洪涝灾害的损失进一步加大;

(3)城乡一体化程度得到加强,城乡防洪标准趋于一致,对防洪工程建设提出了更新的要求;

(4)填海造地工程导致了洪水下泄流程变长,下泄速度慢慢。这些都对城市的防洪排涝计算提出了更高的要求。

在城市化后,一些河道变为城市排水河道,被纳入了城市管渠排水系统,在计算渠道规模时容易采用市政管渠排水的计算方法。而实际上,这些河道依然承接了上游山丘区的山洪,在选择计算方法时,水利部门的推理公式更符合河道特性。与此同时,填海造地降低了河道行洪的水面比降,再加上下游潮位顶托,利用推理公式法便难以推算出河道特征变化之后的设计洪水。因此,需进一步探讨准确计算滨海山丘区城市设计洪水的新方法。

## 1 计算方法

### 1.1 设计暴雨计算

对于有实测降雨资料的流域,在推求设计暴雨时,直接采用当地雨量资料进行频率计算比较可靠。依据《水利水电工程设计洪水计算规范》,需根据30年以上雨量资料,采用年最大值法选样,点绘频率曲线,分析统计参数均值、偏差系数 $C_V$ 、偏态系数 $C_S$ ,得出指定时段设计雨量。选取典型暴雨过程,采用同频率或同倍比法得到设计暴雨过程。

对于缺乏雨量资料的流域,可以采用等值线图法推求流域设计暴雨<sup>[1]</sup>。各省和流域机构的水文部门一般都制定了时段雨量统计参数的等值线图供查用。由于等值线图中暴雨统计参数的选样方法是年最大值法,不能用于城市管道排水系统的规划设计。

在城市化区域的管道排水设计中,常采用基于超定量选样方法得出的短历时暴雨强度公式为:

$$i = \frac{A(1 + ClgT)}{(t + B)^n} \quad (1)$$

式中: $i$ 为暴雨强度,mm/min; $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $n$ 为暴雨公式参数; $t$ 为设计暴雨历时,min; $T$ 为重现期(年)。

城市暴雨强度公式参数可以查当地的排水手册。式(1)从形式上看,适用于各种历时不同重现期的设计暴雨计算。但由于管道排水系统设计重现期一般是0.5~5 a,设计暴雨历时一般不超过3 h,所以该公式主要适用于5 a以下重现期和3 h以下历时的设计暴雨计算。而对于历时较长、重现期较大的情况,采用式(1)得出设计值误差会大一些。

### 1.2 产流

产流计算常用的方法包括径流系数折算法、初损后损法和产流模型法。

城市管道排水区域地下径流一般并不直接进入管道排水系统,管道排水系统接纳的水量基本来自集水区域内的地面径流,绝大部分来自城市铺砌面积。铺砌面积不透水程度与铺砌面积的性质有关,其下渗能力存在差别。透水面积主要指城市绿地,其地表下渗能力很强,大部分雨水下渗进入地下,补充包气带缺水和地下水,产生的地表径流量较少,且主要发生在暴雨强度较大的时段。一些绿地由于周边的路面高程较高,可能永远也不会产生地表径流。

城市地区常采用径流系数由设计雨量推求地表净雨总量。径流系数可以从城市排水手册中查得。根据地面覆盖种类,可以将城市土地利用种类概化为几类进行产流计算,得出排水系统服务区域的综合地表径流系数。

径流系数折算法是根据设计暴雨,采用地表径流系数折算得出设计净雨;能够简便快速地推求出设计净雨过程。径流系数折算法按同一折算系数使得高强度时段的降雨损失过大,低估了最大时段雨强,使得计算结果偏不安全。此外,这一方法没有考虑到降雨初损。

先损后损法的次降雨损失计算采用径流系数法,即 $R = \psi P$ ,将降雨损失分为初损 $I_0$ 和后损 $I_1$ 两部分, $I_0$ 主要指汇水区域的洼蓄、植物截留、初始下渗量之和,在设计暴雨初期扣除; $I_1$ 是产流后的损失量,小于平均损失强度 $\mu$ 的雨量作为损失扣除。先损后损法考虑了降雨初期损失较大的状况,但这一方法使得雨强较小的时段地表径流深偏小,甚至为0,不太符合城区产流特点。

产流模型法根据城市特点,可以将汇水面积分为水面、不透水面积、透水面积3部分,分别模拟产流过程<sup>[2-3]</sup>。其中,水面净雨深为降雨量与蒸发量之差,透水面积包括屋顶、广场、公路等,其特点是不存

在下渗,净雨深为降雨与洼蓄量之差,透水面积产流可以采用下渗曲线法或蓄满产流法<sup>[4]</sup>。

### 1.3 汇流

1.3.1 推理公式 推理公式法是根据设计暴雨推求设计洪峰流量的常规方法,常用于天然小流域设计洪峰流量计算,也可用于城市管道设计流量的计算<sup>[5-9]</sup>。

(1) 市政所用推理公式

$$Q = \psi F \quad (2)$$

式中:  $Q$  为流量;  $i$  为降雨强度;  $\psi$  为综合径流系数;  $F$  为汇水面积。

(2) 中国水科院推理公式

$t_c \geq \tau$  时

$$\begin{cases} Q_{mp} = 0.278 \left( \frac{S_p}{\tau^n} - \mu \right) F, \\ \tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q_{mp}^{1/4}} \end{cases} \quad (3)$$

$t_c < \tau$  时

$$\begin{cases} Q_{mp} = 0.278 \left( \frac{nS_p t_c^{1-n}}{\tau^n} \right) F, \\ \tau = 0.278 \frac{L}{mJ^{1/3} Q_{mp}^{1/4}} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $t_c$  为产流历时, min;  $\tau$  为流域汇流时间, min;  $S_p$  为雨力, mm/h;  $F$  为汇水面积, km<sup>2</sup>;  $m$  为汇流参数;  $L$  为流域最远点的流程长度, km;  $J$  为沿最远流程的平均纵比降;  $Q_{mp}$  为洪峰流量, m<sup>3</sup>/s。

1.3.2 非恒定流方法 描述水流在明渠中运动的一维非恒定流基本方程是基于圣维南方组,包括连续方程和动力方程:

$$B_T \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q| Q}{K^2} = 0 \quad (6)$$

式中:  $q$  为河道旁侧入流, m<sup>3</sup>/s;  $B_T$  为当量河宽, m;  $Z$  为断面水位, m;  $Q$  为流量, m<sup>3</sup>/s;  $K$  为流量模数。

整个河网为若干河道和节点的组合,数值求解河网圣维南方程组,可以求出每一河道指定断面处以及节点上的水位、流量、流速等水力变量。明渠非恒定流法<sup>[10-12]</sup>可以用于平原河网水力计算,适用于各种水流状态,一般不适用于山丘区急流状态的水流计算。

## 2 应用实例

### 2.1 研究区概况

柘汪-石桥片区地处江苏省东北沿海,鲁东南

丘陵与苏北黄海平原的交接地带,赣榆县东北角。其东濒黄海,西依沂蒙山余脉、金山镇,南接海头镇,北与山东省日照市、临沂市搭界,东北与岚山市隔绣针河相望。柘汪-石桥片区位于山丘性河道下游,濒临黄海,上承山丘区洪水威胁,下受海潮倒灌,自然灾害频繁。

由于研究区内的主要河流都属于流短、坡陡的“行洪走廊”,洪涝灾害频繁。而汾灌高速公路以东不仅有柘汪镇区,也是石桥镇区以及柘汪——石桥港区等未来港城建设密集区,地势低洼,位于“行洪走廊”的末端,是各个“行洪走廊”最理想的“去处”。在研究区内,主要行洪河道为东西走向的石桥河、柘汪河、石洋河和韩口河,河道特性见表1。

表1 研究区主要河道特征值

河流	面积/ km <sup>2</sup>	河道长/ km	综合比 降/‰	汾灌高速以上 河段比降/‰
石桥河	23.0	12.28	1.15	6.87
柘汪河	34.5	11.85	0.45	4.57
石洋河	13.0	6.88	3.57	7.54
韩口河	25.3	9.68	0.54	2.39

此外,研究区东临黄海,内河排水受到涨潮和暴风潮的顶托作用。尤其是风暴潮期间,这种顶托作用强度更大、持续时间更长,内河洪涝水无法外排入海。因此,研究区洪涝灾害和潮灾都十分频繁。

随着研究区城市化进程的加快,其城市规划面积达到 35.3 km<sup>2</sup>,其中城镇建设面积为 23.42 km<sup>2</sup>。根据总体规划,研究区将发展成为港口兴旺、产业腾飞、城乡协调、社会和谐、富有“滨河、面海、临港”城镇特色的城镇化发展区,城乡统筹示范区。2030年,经济和社会重要指标居于连云港城镇首位,地区生产总值达到 200 亿元以上。这就对确定研究区内河道规模的洪水计算方法提出了更高的标准和要求。

### 2.2 计算结果

#### 2.2.1 推理公式结果

(1) 市政公式结果。研究区暴雨强度主要参照连云港市降雨强度公式计算,即:

$$i = 3360.4(1 + 0.82 \lg P) / (t + 35.7)^{0.74} \quad (7)$$

式中:  $i$  为降雨强度, L/(hm<sup>2</sup>·s);  $t$  为集水时间, min;  $P$  为重现期。河流洪峰流量测算按 20 年一遇计。

$$t = t_1 + t_2 \quad (8)$$

式中:  $t_1$  为地面集水时间,取 10 ~ 15 min;  $t_2$  为雨水管内流动时间, min。

根据研究区河道设计标准,重现期选用20年一遇,根据市政推理公式可计算各河道的设计洪峰流量。

(2)水利公式结果。研究区周边有石桥、朱汪、小塔山水库、黑林等雨量站。其中,石桥雨量站位于研究区石桥镇区,基本能反映片区的面雨量;因此,选用石桥雨量站推求研究区的设计暴雨。利用实测暴雨资料计算出区域最大24h暴雨量,见表2,并据暴雨量利用水利公式计算出洪峰流量。

表2 规划区年最大24h暴雨成果表

统计参数		各频率流域平均点雨量/mm			
均值/mm	$C_V$	$C_S/C_V$	1%	2%	5%
125	0.57	3.50	381.3	332.5	267.5

2.2.2 非恒定流方法结果 上边界为山丘区入流,下边界条件为无名河、柘汪-石桥河和韩口河的潮位过程。

根据地形、地势、河流走向、河道间联系情况,考虑现状和规划工程,对柘汪-石桥片区河网进行了概化,见图1及表3。

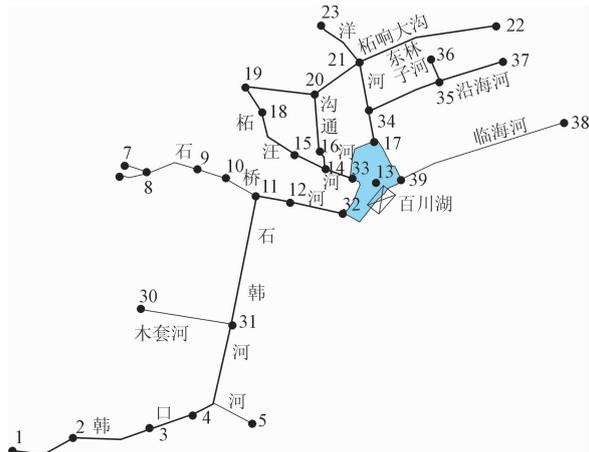


图1 研究区河网概化

表3 区域河网概化结果

计算历时/h	外河数	外河断面数	内河数	内河断面数	内河节点数	分区数	河闸数
72	15	30	35	128	39	2	3

河道长度:根据水系电子地图,利用地理信息系统的功能量算。

断面面积:对于主要排水河道,根据实测或设计河道断面图量算,一般概化为梯形断面。

陆域宽度:根据水系电子地图,利用地理信息系

统的功能量算得单位长度的平均汇流面积作为陆域宽度。

糙率:河道糙率根据实测的河道水位、流量资料进行率定取值,一般取值为0.020~0.025之间。

调蓄库容:根据现有河道资料和水面面积调查统计资料分析得出。

利用上述3种方法计算得到各河道20年一遇设计洪峰流量,见表4。

表4 各河流20年一遇洪峰流量计算结果

河道名	汇水面积/km <sup>2</sup>	洪峰流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		
		市政推理公式	水科院推理公式	非恒定流法
柘汪河	23.0	449	204	152
石桥河	34.5	299	223	210
石洋河	13.0	170	144	97.7
韩口河	25.3	329	162	150

## 2.3 结果与分析

由以上的计算结果可以看出,市政推理公式计算的洪峰流量结果比水科院推理公式计算的结果要大,而非恒定流计算的河流洪峰流量比推理公式的要小。下面对各方法的异同进行分析。

(1)水科院推理公式采用年最大值法,其反映的是年最大洪水。市政推理公式采用年多次选样法。非年最大值法选样的暴雨强度比同频率年最大值法选样得到的结果较大,所以水科院推理公式得到的暴雨强度比市政推理公式得到的暴雨强度要小。

(2)水科院推理公式中,降雨产流通过扣损法计算净雨量,其径流系数是变值,随降雨历时的增长而变大。市政部门雨水量计算公式对降雨产流扣损是通过径流系数计算径流损失且其径流系数在产汇流过程中取为定值,不随重现期的变化而变化。

(3)水利部门和市政部门采用的推理公式形式完全相同,都源于公式 $Q = i\psi F$ 。水科院推理公式对于重要参数 $m$ 是采用基于自然发育条件来推求的,在用于城区排洪河道的流量设计中时,会导致计算的汇流时间过大,从而导致洪峰流量的计算值较小。市政推理公式采用的设计重现期与相应的暴雨推求采用的重现期相比偏大,导致设计流量偏大;降雨历时偏小,导致降雨强度偏大,从而导致洪峰流量偏大。

(4)利用非恒定流计算洪峰流量时,考虑了滨海山丘区的入海河流的下游河段多为感潮河段,感潮河段的流量变化不仅与上游来水有关,还会受到下游潮水顶托,同时也考虑了城市化过程中人类活

动的影响使得河道的比降变小,使得最高洪峰水位对应的洪峰流量减小。

### 3 结 语

城市化中的滨海山丘区除了受城市化中的人类活动的影响使得河道比降变小从而洪峰流量减小之外,还由于下游潮水对入海河道的顶托作用,使得河道水位升高流量减小。这导致了城市化中的滨海山丘区的洪水计算方法与一般小流域的计算方法不同,既不能采用城市常用管渠排水计算中的暴雨公式和推理公式,也不能用天然小流域计算常用的中国水科院推理公式。城市管渠排水计算中的暴雨公式和推理公式对短历时暴雨具有较好结果,而由于城市河道调蓄历时的增加,其计算结果不够可靠;推理公式进行滨海山丘区洪峰流量计算时,由于未考虑下游潮水对河流的顶托作用的影响,使得计算结果偏大,这就使得河道的规模需要扩大,从而增加流域规划建设的成本。因此用非恒定流计算方法更符合滨海山丘区的洪水特性。

#### 参考文献:

[1] 张乐乐,姜卉芳,吴万虎,等.无资料地区暴雨洪水估算方法[J].水资源与水工程学报,2013,24(2):132-134.

[2] 刘文具.流域下垫面变化对流域洪水的影响分析[J].地下水,2013,35(4):142-143.

[3] Zhang Qinghua, Diao Yanfang, Dong Jie. Impacts of water surface area of watershed on design flood[J]. Water Science and Engineering, 2014,7(1):41-48.

[4] 芮孝芳,凌哲,刘宁宁,等.新安江模型的起源及对其进一步发展的建议[J].水利水电科技进展,2012,32(4):1-5.

[5] 华家鹏.小流域设计洪水的计算方法[J].河海大学学报,1998,26(2):100-104.

[6] 张丽伟,滕凯.小流域设计洪水推理公式简化计算[J].水资源与水工程学报,2013,24(5):219-222.

[7] 周全,候建国.小流域水库设计洪水计算与调洪演算[J].中国农村水利水电,2014(5):42-44.

[8] 李珂,秦毅.设计洪水在防洪计算中的误区[J].水资源与水工程学报,2013,24(6):98-101.

[9] 芮孝芳,张超.论设计洪水计算[J].水利水电科技进展,2014,34(1):20-26.

[10] Barati R, Rahimi S, Akbari G H. Analysis of dynamic wave model for flood routing in natural rivers[J]. Water Science and Engineering,2012,5(3):243-258.

[11] Yu Zhongbo, Yang Tao, Schwartz F W. Water issues and prospects for hydrological science in China [J] Water Science and Engineering, 2014,7(1):1-4.

[12] 王志刚.大连地区典型暴雨洪水分析及对策[C]//.水与水技术(第4辑),辽宁省水利协会,沈阳,2014.

(上接第108页)

[21] 周迅,姜月华.氮、氧同位素在地下水硝酸盐污染研究中的应用[J].地球学报,2007,28(4):389-395.

[22] 庞凤梅,吴文良,孟凡乔,等.利用氮、氧稳定同位素识别地下水硝酸盐污染源研究进展[J].农业环境与发展,2011,28(4):64-69.

[23] 张翠云,钟佐,沈照理.地下水硝酸盐中氧同位素研究进展[J].地学前缘,2003,10(02):287-291.

[24] Kaushal S S, Groffman P M, Band L E, et al. Tracking nonpoint source nitrogen pollution in human-impacted watersheds[J]. Environmental Science and Technology, 2011, 45(19): 8225-8232.

[25] Phillips D L, Koch P L. Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models[J]. Oecologia, 2002, 130(1): 114-125.

[26] Phillips D L, Newsome S D, Gregg J W. Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods[J]. Oecologia, 2005, 144(4): 520-527.

[27] Phillips D L, Gregg J W. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources [J]. Oecologia, 2003, 136(2): 261-269.

[28] Accoe F, Berglund M, Duta S, et al. Source apportionment of nitrate pollution in surface water using stable isotopes of N and O in nitrate and B. European commission, joint research centre [R]. Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, EUR, 2008.

[29] Aravena R, Robertson W D. Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in groundwater: case study of nitrate from a large-flux septic system plume [J]. Ground Water, 1998,36(6): 975-982.

[30] 陈自祥,柳后起,刘广,等.淡水水体中氮污染源的识别——利用硝酸根中氮和氧同位素组成[J].环境化学,2012,31(12):1855-1864.

[31] Mengis M, Schif S L, Harris M, et al. Multiple geochemical and isotopic approaches for assessing ground water NO<sub>3</sub><sup>-</sup> elimination in a riparian zone [J]. Ground water, 1999, 37(3): 448-457.

[32] Parnell A C, Inger R, Bearhop S, et al. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation [J]. PLoS One, 2010, 5(3):9672.

[33] Moore J W, Semmens B X. Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models [J]. Ecology Letters, 2008, 11(5): 470-480.