

# 基于降雨过程理论的城市内河洪峰流量计算方法及应用

夏绍凤, 高文乔, 程峻峰, 王矛矛, 成国保  
(合肥市市政设计研究总院有限公司, 安徽 合肥 230001)

**摘要:** 当前城市河道洪峰流量可采用水利部门或市政部门暴雨计算公式进行计算, 以上两个计算公式受各自成立的前提条件限制, 若直接用于城市河道洪峰流量计算, 与实际流量存在较大偏差。以市政部门暴雨计算公式的极限强度理论为基础, 将一条河道流域划分为若干子汇水分区, 分别计算各子汇水分区汇入河道的洪峰流量及时间, 从上游至下游依次将各汇水子分区排口洪峰流量与该排口上游河道洪峰流量错峰叠加, 计算出每个子汇水分区排口下游两个可能的洪峰流量, 将两个计算结果进行比较并取最大值, 该最大值即为该处排口下游河道的洪峰流量。

**关键词:** 暴雨强度公式; 极限强度理论; 城市内河; 洪峰流量

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)04-0043-05

## Calculation Method of Peak Flow in Urban Rivers Based on Rainfall Process Theory and Its Application

XIA Shao-feng, GAO Wen-qiao, CHENG Jun-feng, WANG Mao-mao,  
CHENG Guo-bao

(Hefei Municipal Design and Research Institute Co. Ltd., Hefei 230001, China)

**Abstract:** The peak flow in urban rivers can be calculated by rainstorm formulas issued by water conservancy department or municipal department, but the two formulas mentioned above are limited by their respective prerequisites, if used directly for calculation of peak flow in urban rivers, there is a big deviation from the actual flow rate. Based on the ultimate strength theory in rainstorm formula issued by municipal department, a river basin was divided into several sub-catchment areas, the peak flow and time to peak into the river from each sub-catchment area were calculated, respectively. The peak flow at the discharge outlet of each sub-catchment area and the flow peak in the upstream river of the discharge outlet were superimposed by shifting the peak load from upstream to downstream successively to calculate two possible peak flows in the downstream of the discharge outlet of each sub-catchment area, the two results were compared, and the maximum value was taken, which is the peak flow in the downstream river of the discharge outlet.

**Key words:** rainfall intensity formula; ultimate strength theory; urban river; peak flow

当前城市河道流量的计算可采用水利部门和市政部门两个暴雨计算公式进行计算。水利部门计算

公式是基于天然河流的降雨与地表径流关系推求的, 由于城市化发展, 带来了城区下垫面条件的急剧

改变从而影响了城市雨水产流、汇流规律,使得水利部门用于计算自然发育条件下河道洪峰流量的推理公式不能准确计算城区排洪河道的设计流量,其计算结果往往偏小。市政部门采用短历时暴雨计算公式,该公式适用于汇水面积较小、集水时间较短的城镇的雨水管道或小型排洪沟渠的设计雨水流量。若采用此公式直接计算城区排洪河道的设计洪峰流量,往往计算结果偏大<sup>[1~3]</sup>。因此,尚需一种能准确计算实际洪峰流量的城市内河洪峰流量计算方法。

## 1 降雨过程理论

降雨过程理论即降雨极限强度理论<sup>[4]</sup>,其主要包括两个内容:①当汇水面积上最远点的雨水到达集流点时,全面积产生汇流,雨水管渠的设计流量最大;②当降雨历时等于汇水面积上最远点的雨水到达集流点的集流时间时,雨水管渠的设计流量最大。针对任一汇水区降雨初期时随着降雨时间的增加雨水流量逐渐增大,当达到最大流量后,雨水流量随着降雨时间的增加而逐渐减小。

我国现行排水规范雨水流量计算公式即以降雨强度理论为基础,计算公式如下:

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

式中  $Q$ ——雨水流量, L/s

$\Psi$ ——径流系数

$F$ ——汇水面积,  $\text{hm}^2$

$q$ ——设计暴雨强度,  $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$

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

式中  $t$ ——降雨历时, min

$P$ ——设计重现期, 根据当地排水规划确定

$A_1$ 、 $C$ 、 $b$ 、 $n$ ——参数, 根据当地暴雨强度计算公式确定

为简化计算公式, 设  $A = 167A_1(1 + \text{Clg } P)$ 。

## 2 基于降雨过程理论的城市内河洪峰流量

### 2.1 降雨过程理论适用性分析

对于流域面积较大的河道, 其汇水区一般由若干个子汇水区组成, 每个子汇水区均有一个排口连接至河道。基于降雨过程理论可知, 河道任一排口下游河道流量为该排口及其上游各子汇水区流量叠加, 由于各子汇水区出现峰值流量的时间不一致, 且各子汇水区的峰值流量到达该排口的时间也不一致, 所以该排口处河道的流量随着降雨过程的进行在不断发生着变化, 当到达某一时刻点时流

量达到峰值, 随后流量开始下降。这一时刻存在两种可能性: ①该排口上游第一个排口处的河道峰值流量到达该排口时, 此时的河道流量为该排口上游第一个排口处的河道峰值流量与此刻该排口的子汇水区的流量叠加; ②该排口对应的子汇水区最远点的雨水到达该排口时, 此时河道的流量为该排口的子汇水区的峰值流量与此刻上游所有子汇水区流经此处的流量叠加。比较以上两种错峰叠加情况下的流量, 较大者即为该排口下游河道洪峰流量<sup>[5]</sup>。

## 2.2 城市内河洪峰流量计算流程

### 2.2.1 基础数据准备

根据河道流域特征, 首先将河道流域范围划分为若干个子汇水分区, 每个汇水分区对应的出水口编号分别为 I、II、III、…、N; 并从河道起点至终点依次对每个汇水分区进行编号, 分别为 1、2、3、…、n; 根据以上分区做如下测量及计算:

① 在图中测量出各汇水分区面积, 分别为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、…、 $F_n$ ;

② 采用式(1)、(2)分别计算出各汇水分区达到最大设计流量对应汇流时间  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、…、 $t_n$ ;

③ 相应计算各汇水分区最大设计流量, 分别为  $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 、…、 $Q_n$ 。

### 2.2.2 流量计算

对于一条河道内的第  $N$  号排口下游出现的两种可能的最大流量  $Q_N$  的情形: a. 上游  $N-1$  号排口处的洪峰流量到达  $N$  号排口时, 遭遇此时  $F_n$  汇水分区流量叠加, 即  $Q_N = Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1} + T_{N-1-N})}$ ; b. 当  $F_n$  汇水分区峰值流量到达  $N$  号排口时, 遭遇上游  $F_1 \sim F_{n-1}$  汇水分区此时的流量叠加, 即  $Q_N = Q_n + Q_{1 \sim n-1(t_n)}$ 。从河道上游至下游依次分别计算各排口下游两种可能的洪峰流量, 具体计算如下。

① 上游  $N-1$  号排口处的洪峰流量到达  $N$  号排口时, 遭遇此时  $F_n$  汇水分区流量叠加, 即:  $Q_N = Q_n + Q_{n(T_{N-1} + T_{N-1-N})}$ , 细化计算公式如下:

$$Q_N = Q_{N-1} + \Psi \left[ \frac{A}{(T_{N-1} + T_{N-1-N} + b)^n} \cdot \frac{T_{N-1} + T_{N-1-N}}{t_n} \cdot F_n \right] \quad (3)$$

其中  $T$  为洪水在河道内流行时间, 采用明渠均匀流公式进行计算:

$$T = L/v \quad (4)$$

$$v = \frac{1}{n'} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (5)$$

式中  $T$ ——洪水在河道内流行时间, s

$L$ ——河道长度, m

$v$ ——河道内水流速度, m/s

$R$ ——水力半径, m

$I$ ——水力坡降

$n'$ ——粗糙系数

式(3)中  $\frac{T_{N-1} + T_{N-1 \sim N}}{t_n}$  计算结果有两种情形:

a. 当  $\frac{T_{N-1} + T_{N-1 \sim N}}{t_n} \leq 1$  时, 上游  $N-1$  号排口处

洪峰流量到达  $N$  号排口时,  $F_n$  汇水分区内仅部分面积雨水到达  $N$  号排口, 此时该式按计算结果取值;

b. 当  $\frac{T_{N-1} + T_{N-1 \sim N}}{t_n} > 1$  时, 上游  $N-1$  号排口处

的洪峰流量到达  $N$  号排口时,  $F_n$  汇水分区内全部面积雨水到达  $N$  号排口, 此时该式取值 1。

② 当  $F_n$  汇水分区峰值流量到达  $N$  号排口时, 遭遇上游  $F_1 \sim F_{n-1}$  汇水分区此时的流量叠加, 即:  $Q_N = Q_n + Q_{1 \sim n-1}(t_n)$ , 细化计算公式如下:

$$Q_N = Q_n + \Psi \cdot \left[ \frac{A}{(t_n - T_{1 \sim N} + b)^n} \cdot \frac{t_n - T_{1 \sim N}}{t_1} \cdot F_1 + \dots + \frac{A}{(t_n - T_{X \sim N} + b)^n} \cdot \frac{t_n - T_{X \sim N}}{t_x} \cdot F_x + \dots + \frac{A}{(t_n - T_{N-1 \sim N} + b)^n} \cdot \frac{t_n - T_{N-1 \sim N}}{t_{n-1}} \cdot F_{n-1} \right] \quad (6)$$

设  $1 \sim n$  号汇水分区中间某一汇水分区编号为  $x$ , 对应的排口编号为  $X$ 。

式(6)中  $\frac{t_n - T_{X \sim N}}{t_x}$  计算结果存在以下三种情形:

a. 当  $0 \leq \frac{t_n - T_{X \sim N}}{t_x} \leq 1$  时,  $F_n$  汇水分区峰值流量

到达  $N$  号排口时, 上游第  $x$  号汇水分区内仅部分面积雨水到达  $N$  号排口, 式(6)按计算结果取值;

b. 当  $\frac{t_n - T_{X \sim N}}{t_x} < 0$  时,  $F_n$  汇水分区峰值流量到达  $N$  号排口时, 上游第  $x$  号汇水分区内尚无雨水到达  $N$  号排口, 式(6)取 0;

c. 当  $\frac{t_n - T_{X \sim N}}{t_x} > 1$  时,  $F_n$  汇水分区峰值流量到

达  $N$  号排口时, 上游第  $x$  号汇水分区内全部面积雨水到达  $N$  号排口, 式(6)取 1。

### 2.2.3 洪峰流量确定及计算流程

从河道上游至下游依次分别对两种可能的峰值流量进行比较, 取较大值作为该处排口下游河道设计洪峰流量  $Q_N$ , 同时计算出产生峰值时的时间  $T_N$ 。基于降雨过程理论城市内河洪峰流量完整计算流程见图 1。

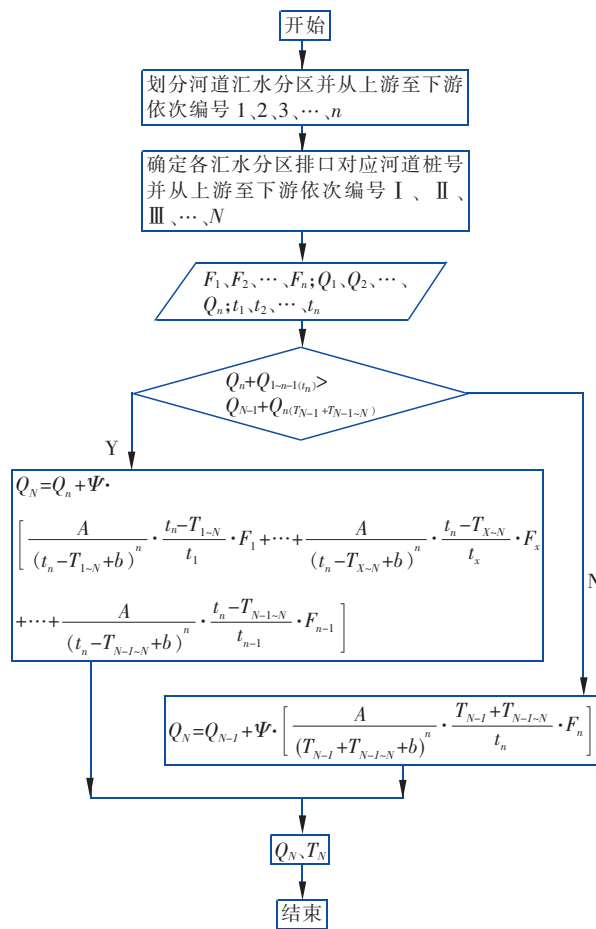


图1 城市内河洪峰流量计算流程

Fig. 1 Calculation roadmap of urban river peak flow

## 3 铜陵市秀水河河道流量计算

### 3.1 铜陵市秀水河基本概况

铜陵市秀水河是一条天然冲沟, 由上游山冲自然积水冲积而成, 下游经人工开挖现已成为河道, 目前秀水河为片区主排渠道。秀水河北起北京路, 沿途依次经联盟小区、塔冲路、铜都大道、翠湖一路、铜芜铁路翠湖二路、翠湖三路、翠湖四路、翠湖五路进入西湖, 秀水河全长为 5 491 m, 河道基本顺直, 自然驳岸, 局部转弯采用生态砌块护岸。流域面积为 8.4

km<sup>2</sup>。流域内均为城市建设用地,该河道已演变为典型的城区排洪河道。河道自起点至终点共有 21 个汇水分区、21 个排口。各排水分区划分详见图 2。

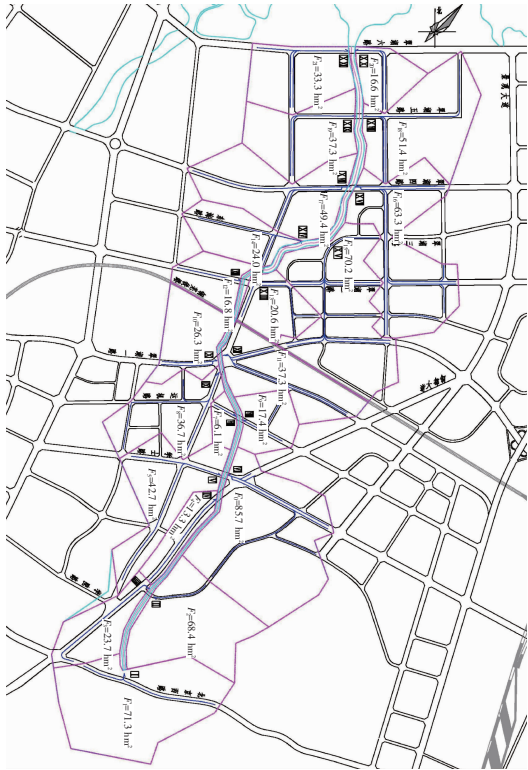


图 2 秀水河流域雨水子汇水分区

Fig. 2 Sub-catchment areas of Xiushui River basin

3.2 河道流量计算

采用河道所在区域短历时暴雨强度计算公式:

$$q = \frac{3\,600(1 + 0.76 \lg P)}{(t + 14)^{0.84}} \quad (7)$$

式中  $q$ ——设计暴雨强度, L/(s · hm<sup>2</sup>)

$t$ ——降雨历时, min

$P$ ——设计重现期, 根据当地排水规划  $P = 3$  a, 于是  $A = 3\,600(1 + 0.76 \lg 3)$

雨水流量计算公式  $Q = \Psi F q$ 。

河道内水流速度采用明渠均匀流公式计算,  $v =$

$$\frac{1}{n'} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}; T = L/v。各参数值见表 1。$$

表 1 河道流量计算参数

Tab. 1 Calculation parameters of river flow

项目	$A$	$P/a$	$n'$	$I$	$\Psi$
数值	4 905.4	3.0	0.025	0.001	0.6

各汇水分区汇水面积  $F_n$ 、设计峰值流量  $Q_n$  及各排口对应的河道桩号详见表 2、3。

表 2 各子汇水分区参数

Tab. 2 Parameter of each sub-catchment areas

$n$	桩号	$F_n/\text{hm}^2$	$t_n/\text{min}$	$q_n/(\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2})$	$Q_n/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1	0 + 00	71.35	14.56	275.98	11.81
2	0 + 620	64.50	16.49	262.95	10.18
3	0 + 670	23.70	17.03	259.55	3.69
4	1 + 500	13.30	17.12	259.01	2.07
5	1 + 680	42.70	19.01	248.11	6.36
6	1 + 750	85.50	19.20	247.04	12.67
7	2 + 120	6.00	11.59	299.68	1.08
8	2 + 180	17.30	14.22	278.46	2.89
9	2 + 500	36.70	18.74	249.59	5.50
10	2 + 600	26.30	15.41	270.05	4.26
11	2 + 670	37.40	18.07	253.37	5.69
12	3 + 200	16.80	14.22	278.46	2.81
13	3 + 450	20.60	16.08	265.59	3.28
14	3 + 800	24.00	16.85	260.67	3.75
15	3 + 950	71.89	20.15	242.04	10.44
16	4 + 350	63.30	20.72	239.14	9.08
17	4 + 420	49.40	18.40	251.48	7.45
18	4 + 910	52.40	18.21	252.58	7.94
19	4 + 970	37.30	16.74	261.39	5.85
20	5 + 400	16.60	15.64	268.48	2.67
21	5 + 470	33.30	16.89	260.43	5.20

表 3 河道洪峰流量计算

Tab. 3 Calculation of flood peak flow

$N$	$T_{N-1} \sim T_N/\text{min}$	$T_N/\text{min}$	$Q_n + Q_{1-n-1(t_n)}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1}+T_{N-1-N})}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_N/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
I	—	14.56	—	—	11.81
II	5.12	19.68	20.26	23.11	23.11
III	0.35	20.03	24.14	26.56	26.56
IV	5.77	25.80	15.59	28.29	28.29
V	1.11	26.90	27.85	33.74	33.74
VI	0.43	27.33	40.20	44.57	44.57
VII	2.28	29.61	14.97	45.30	45.30
VIII	0.37	29.98	20.60	47.40	47.40
IX	1.97	31.95	36.54	51.71	51.71
X	0.62	32.56	28.28	54.77	54.77
XI	0.43	33.00	38.97	59.10	59.10
XII	5.77	38.77	22.81	60.90	60.90
X III	2.72	41.49	25.63	63.02	63.02
X IV	4.81	46.30	13.24	65.36	65.36
X V	2.06	48.36	25.85	72.20	72.20
X VI	5.49	53.86	24.76	77.88	77.88
X VII	0.96	54.82	28.11	82.28	82.28
X VIII	6.44	61.26	23.92	86.67	86.67
X IX	0.79	62.05	26.35	89.77	89.77
X X	5.65	67.70	15.33	91.09	91.09
X XI	0.92	68.62	18.96	93.70	93.70



根据图2及表1~3,即可以准确计算出设计标准下的秀水河河道各区间的雨水设计流量。

从表3可以看出,随着河道桩号增加,河道任一排水口下游洪峰流量基本均为该排水口上游第一个排水口处的河道峰值流量到达该排水口时的流量。河道的洪峰流量为该排水口上游第一个排水口处的河道峰值流量与此刻该排水口的子汇水分区的流量叠加。即随着河道桩号增加, $Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1}+T_{N-1-N})}$ 始终大于 $Q_n + Q_{1 \sim n-1(t_n)}$ ,根据这一规律,随着河道桩号增加,河道峰值流量只需计算 $Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1}+T_{N-1-N})}$ ,这样可以简化计算过程,减小计算工作量。

### 3.3 洪峰流量计算复核

分别采用安徽省水利部门发布并试行的“84”办法<sup>[6]</sup>、暴雨强度公式直接计算、基于降雨过程理论城市内河洪峰流量计算方法三种方法计算秀水河设计洪峰流量,结果如图3所示。

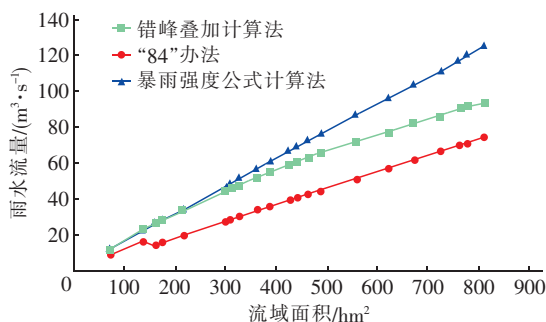


图3 流量对比分析

Fig. 3 Comparison and analysis diagram of peak flow

由图3可见,采用暴雨强度公式直接计算河道流量的方法,计算结果最大,河道流量基本与流域面积呈直线关系。该计算方法由于没有考虑降雨过程各子汇水分区流量的错峰因素,结果明显偏大。采用水利部门公式计算河道流量,计算结果最小,河道流量与流域面积基本也呈直线关系。该计算方法由于没有考虑城市地表径流系数较大等因素,计算结果明显偏小。采用基于降雨过程理论城市内河洪峰流量计算方法,符合短历时暴雨计算公式理论,能准确反映设计标准下城市内河的实际流量。

## 4 结语

① 以市政部门暴雨计算公式的极限强度理论为基础,将一条河道流域划分为若干子汇水分区,从上游至下游依次将各汇水子分区排水口洪峰流量与该排水口上游河道洪峰流量错峰叠加,计算出每个子汇水分区排水口下游两个可能的洪峰流量,将两个计算

结果进行比较并取最大值,该最大值即为该处排水口下游河道的洪峰流量。计算结果能准确反映设计标准下城市内河的实际流量。

② 实际工程计算中,随着河道桩号增加, $Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1}+T_{N-1-N})}$ 始终大于 $Q_n + Q_{1 \sim n-1(t_n)}$ ,即随着河道桩号增加,河道峰值流量只需计算 $Q_{N-1} + Q_{n(T_{N-1}+T_{N-1-N})}$ ,可以简化计算过程,减小工作量。

## 参考文献:

- [1] 蔡剑波,林宁,谢振安,等. 洪峰流量与雨水流量常用计算方法的对比选用[J]. 中国给水排水,2011,27(18):25-28.
- [2] 黄国如,李立成,黄纪萍. 城镇小流域设计洪峰流量计算方法研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(4):35-38.
- [3] 黄日增. 城市小流域洪峰流量计算方法的研究[J]. 给水排水,2009,35(11):39-42.
- [4] 北京市市政工程设计研究总院. 给水排水设计手册(第5册):城镇排水[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [5] 夏绍凤,王矛矛,高文乔. 基于降雨过程理论的城市内河洪峰流量的计算方法[P]. 中国专利:CN104615883A,2015-05-13.
- [6] 郑佳重,朱梅,黄双双,等. “84办法”在特小流域洪峰流量计算中的应用[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(6):63-65,69.



作者简介:夏绍凤(1980-),男,安徽马鞍山人,硕士,高级工程师,国家注册公用设备工程师,注册咨询工程师(投资),从事给排水设计研究工作。

E-mail:714560615@qq.com

收稿日期:2016-07-19