

小汇水面积暴雨径流算法

林 平 一 編 著

水 利 出 版 社

前 言

国内各地区为进行国家社会主义经济建设而兴办的小型水利工程,以及铁道、公路、桥涵等建筑物,大多均须以适应小匯水面积暴雨所产生的徑流洪水作为設計标准。因为我们过去对于这种小面积的徑流洪水没有适当計算的方法,如果任意采用一般老旧的估算流量的經驗公式,往往得出不合理的成果,不是偏大就是偏小,而且沒有与經濟条件相結合。大家經過学习苏联水文科学先进經驗以后,了解了几种計算暴雨徑流的公式与方法,但由于气候和降雨情况在苏联与我国各地迥不相同,这些公式不宜直接搬来应用。所以我们应针对国内各地的情况,急切地来研究分析暴雨对于小面积所能产生的徑流洪水,并結合工程等級規格与經濟条件,定出設計流量以作建筑物需要的标准。本此目标,本編著者初步提出分析方法,以供目前計算小匯水面积暴雨徑流之用。但暴雨徑流問題至为复杂,尚須組織力量搜集全国水文資料和地理情况,作更深入的研究和分析;可是这还需要一个相当長的时间,因此特將初步探研所得作出簡介,錯誤在所难免,希望从事水文研究和工程設計的同志們,多多提出意見以資糾正。

林 平 一

一九五六年七月

于北京水利科学研究院水文研究所

目 錄

前 言

(一) 徑流形成的基本概念	(1)
(二) 計算暴雨徑流的公式	(1)
(三) 計算举例	(12)
(四) 利用調查历史洪水計算法	(20)
(五) 結 論	(26)

附 录	(27)
-----------	--------

一、暴雨强度及雨量公式	(27)
-------------------	--------

二、流域形狀对于产生最大流量的影响	(29)
-------------------------	--------

三、土壤吸水强度 μ 值的選擇	(30)
---------------------------	--------

四、几个主要参数的决定	(31)
-------------------	--------

附 表	(33)
-----------	--------

一、土壤吸水强度表	(33)
-----------------	--------

二、山坡坡面糙率表	(34)
-----------------	--------

三、天然河床糙率表	(35)
-----------------	--------

(一) 徑流形成的基本概念

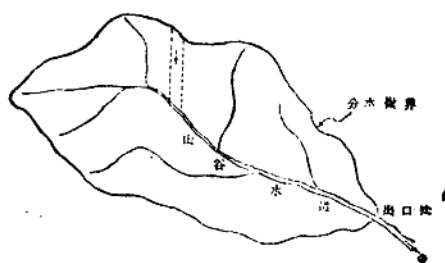
雨水降落地面之后,从各处集水区产生的徑流集合起来,匯流到河道里,便是雨水集流的現象。在这現象形成的过程中,受着各种运动的作用,即包括各种蒸發以及滿足地面初滲条件之后,除繼續为稳定入滲外,余水即为地面徑流的来源,通过一系列的溝壑溪川,匯集于下游出口处的河道而产生洪水,其过程参閱圖(一)及(二)即易于明了。至于洪水流量的大小,是由于匯水面积、流域形势、地面情况及降雨强度和历时等因素而定,所以产生洪水的現象甚为复杂,欲求一套純理論的方法,来推算徑流过程与洪水流量,几乎是不可能的事情。經我們學習了苏联先进經驗之后,对于这一問題,在一定的假設与合理的分析之下,也能够予以适当的解决。

(二) 計算暴雨徑流的公式

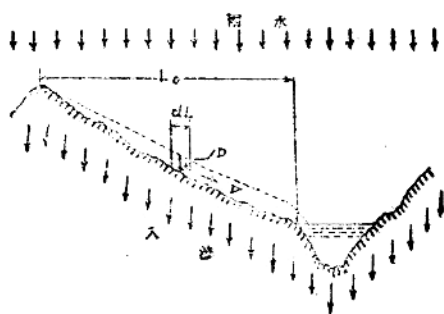
計算暴雨徑流洪水的公式頗多,其中以柏罗托吉亞科諾夫(М. М. Протоджяконов)的集流時間公式結合合理化流量公式,用以計算小匯水面积暴雨徑流的洪峰流量較為簡單合理,并曾在苏联获得广泛的应用,本書所推演的公式就是屬於这一类型。

茲將計算需要的基本条件与資料規定如下:

1. 流域面积在一般地形情况下以在 100 平方公里以內为范围,地形錯綜复杂者以不超出 50 平方公里为范围。
2. 地面上因先期陆續降雨,經植物截留、填蓄凹地并滿足土壤空隙含水量的条件之后入滲率是接近稳定的。



流域平面圖



山坡水流断面圖

圖(一) 徑流形成示意圖

3. 流域內地貌情况比較是相同的。

4. 暴雨分布在一定时段內是当作均匀的，先后强度也是一致的。

5. 需要流域全部地形圖、河道全段縱断面圖、主要部分橫断面圖以及过去的洪水痕迹的調查資料。

6. 从当地的雨量記錄資料，作出雨量历时与頻率的关系曲綫。

(1) 山坡集流時間的計算 山坡或傾斜地面上的水流，当雨水降落后开始产生徑流时，最初系極薄的水層，但流量随時間变化，經過一定時間 t_0 ，即坡地上产生完全水流时，才成为稳定流的状态，称之为完全水流状态，參閱圖(一)。徑流沿坡面流动过程中，水深节节不同，流速及流量也随着不同，其情形至为复杂。当山坡上达成完全水流时，則在極小的微距“ dL ”範圍內，流速与流量可視為接近于不变的状态。因此在經過一个微时“ dt ”間，其流动的距离当为

$$dL = V dt$$

在这样各个極短的时间及所經極小的微距範圍內，流速 V 可用曼宁公式来推算，不致有过大的出入。

$$\text{即} \quad V = \frac{1}{N} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{則} \quad dL = \frac{1}{N} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} dt$$

上兩式中 V ——山坡上各分段水層的平均流速；

D ——山坡上各分段水層深；

N ——水層沿山坡上的滯流系数(包括糙率及地面截流影响等)；

S ——山坡上流程的平均坡降；

t ——降雨历时自产生径流时算起。

并設 t_0 ——径流自山坡分水嶺流至坡脚的时间，即山坡集流时间，亦即山坡上产生完全水流的时间；

L ——自分水嶺至坡脚的距离（見圖一）。

在山坡上达成完全水流时必须的条件为：

$$t \geq t_0$$

于是得积分式如下：

$$\int_0^L dL = \int_0^t \frac{1}{N} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} dt$$

当山坡上分水嶺的水滴子尚未流到坡脚时，各段的水深“ D ”随着时程增加，也是一个变数，其变率为：

$$dD = c i dt$$

上式中 i ——历时 t 时段内降雨的平均强度；

c ——径流系数。

迨分水嶺的水滴子流到坡脚，于是山坡上达成完全水流，如果雨至此时停止或仍繼續下降，則各段的水深 D 虽然不同，但就各段每个断面而言因供水量与出水量相等，水深保持稳定，所以形成了稳定流的状态，可以得出各段水深的积分式如下：

$$\int_0^D dD = \int_0^t c i dt$$

$$D = c i t$$

在山脚处的最大水深为：

$$D = c i t_0$$

代入前式得：

$$\int_0^{L_0} dL = \int_0^{t_0} \frac{1}{N} (ci)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{3}} dt$$

求积分 $L_0 = \frac{3}{5} \frac{(ci)^{\frac{2}{3}}}{N} t_0^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{3}}$

即得山坡集流時間的基本公式如下：

$$t_0^{\frac{5}{3}} = \left(\frac{5}{3} \right)^3 \frac{(NL_0)^3}{(ci)^2 S^{\frac{2}{3}}} \dots\dots\dots (1)$$

上式中各單位若用

t_0 —分鐘, L_0 —公里, i —公厘/分鐘

則 $t_0^{\frac{5}{3}} = \left(\frac{5}{3} \right)^3 \frac{(NL_0 \times 1,000)^3}{\left(\frac{ci}{1,000 \times 60} \right)^2 S^{\frac{2}{3}}} \times \frac{1}{(60)^5}$

$$= \left(\frac{5}{3} \right)^3 \frac{(NL_0)^3}{(ci)^2 S^{\frac{2}{3}}} \times \frac{(1,000)^5}{(60)^5}$$

$$t_0 = \left(\frac{5}{3} \right)^{0.6} \frac{1,000}{(60)^{0.6}} \frac{(NL_0)^{0.6}}{(ci)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_0 = 117 \frac{(NL_0)^{0.6}}{(ci)^{0.4} S^{0.3}} \dots\dots\dots (2)$$

令 E —坡地平均每公里落差以公尺計

則 $S = \frac{E}{1,000}$ 代入上式

得 $t_0 = 117 \frac{(NL_0)^{0.6}}{(ci)^{0.4} \left(\frac{E}{1,000} \right)^{0.3}} = \frac{117 \times 7.94}{(ci)^{0.4}} \frac{(NL_0)^{0.6}}{E^{0.3}}$

$$t_0 = \frac{930}{(ci)^{0.4}} \frac{(NL_0)^{0.6}}{E^{0.3}} \dots\dots\dots (3)$$

上列公式(3)为坡地徑流自坡頂集中至坡脚所需之時間。此在小匯水面积範圍內,并在前述均匀降雨的条件下,应用这一公式是合理而适当的。

从柏罗托吉亞科諾夫的坡地上平均流速公式

$$V_0 = 16.67 \frac{L_0}{t_0} \dots\dots\dots (4)$$

以公式(3)代入公式(4)得:

$$\begin{aligned} V_0 &= (16.67 L_0) \div \left[\frac{930}{(ci)^{0.4}} \frac{(NL_0)^{0.6}}{E^{0.3}} \right] \\ &= \frac{16.67}{930} \frac{(ci L_0)^{0.4} E^{0.3}}{N^{0.6}} \end{aligned}$$

再从合理化流量公式

$$Q = 16.67 ci A$$

$$ci = 0.06 \frac{Q}{A}$$

代入上式

$$\begin{aligned} V_0 &= 16.67 \frac{\left(0.06 \frac{Q}{A} L_0 \right)^{0.4} E^{0.3}}{930 N^{0.6}} \\ V_0 &= \frac{0.0058}{N^{0.6}} \left(\frac{Q}{A} L_0 \right)^{0.4} E^{0.3} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

公式(5)与柏氏徑流山坡流速公式相类似,若將式中常数0.0058改为0.010,并將各个指数简化如下式

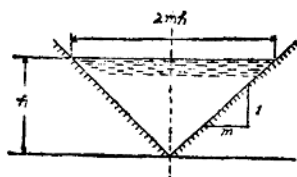
$$V_0 = \frac{0.010}{N^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{Q}{A} L_0 \right)^{\frac{1}{2}} E^{\frac{3}{16}} \dots\dots\dots (6)$$

再若采用 $N = 0.04$

即得
$$V_0 = \frac{0.01}{(0.04)^{\frac{1}{3}}} \left(\frac{Q}{A} L_0 \right)^{\frac{1}{2}} E^{\frac{3}{16}}$$

$$V_0 = 0.05 \left(\frac{Q}{A} L_0 \right)^{\frac{1}{2}} R^{\frac{3}{16}} \dots \dots \dots (7)$$

公式(7)即为柏氏径流山坡平均流速公式。柏氏公式是根据实验和理论制定出来的,但公式中的常数被固定了,如果坡地上洼塘水田等所占面积较大,能起拦蓄作用者,则滞流系数“ N ”当视实地情况酌用较大的数值,反之如坡地上细小密集的水沟很多,能促进排泄作用者,则宜采用较小的数值。故



圖(三) 山谷水道断面圖

在必要时为更好地结合实际情况,当以采用公式(3)及公式(5)较为适合。

(2) 山坡以下山谷水道集流时间的计算 山谷水道中的水流可作为一般河流来分析,为计算便利并结合实际情形,

山谷水道的断面可作为V字形,参阅圖(三),仍用曼宁公式推演如下:

断面面积

$$A = \frac{h}{2} (2mh) \\ = mh^2$$

润周

$$p = 2h (1 + m^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{水力半径 } R = \frac{A}{p} = \frac{mh^2}{2h \sqrt{1+m^2}} = \frac{1}{2} \frac{mh}{\sqrt{1+m^2}}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} \frac{mh}{\sqrt{1+m^2}} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \frac{(mh)^{\frac{2}{3}}}{(1+m^2)^{\frac{1}{3}}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

$$S = \frac{L}{1,000} \quad \text{代入上式}$$

得

$$V = \frac{1}{n} \frac{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{3}}}{(1,000)^{\frac{1}{2}}} \frac{(mh)^{\frac{2}{3}}}{(1+m^2)^{\frac{1}{3}}} L^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

$$V^3 = \left(\frac{1}{n} \right)^3 \frac{\left(\frac{1}{2} \right)^2}{(1,000)^{\frac{3}{2}}} \frac{(mh)^2}{(1+m^2)} L^{\frac{3}{2}}$$

$\therefore$

$$Q = VA = mh^2 V,$$

$\therefore$

$$h^2 = \frac{Q}{mV} \quad \text{代入上式}$$

得

$$V^3 = \left(\frac{1}{n} \right)^3 \frac{\left(\frac{1}{2} \right)^2}{(1,000)^{\frac{3}{2}}} \frac{m^2 \left(\frac{Q}{mV} \right)}{1+m^2} L^{\frac{3}{2}}$$

$$= \frac{1}{4(1,000)^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{1}{n} \right)^3 \frac{m}{1+m^2} \frac{Q}{V} L^{\frac{3}{2}}$$

$$V^4 = \frac{1}{4(1,000)^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{1}{n} \right)^3 \frac{m}{1+m^2} Q L^{\frac{3}{2}}$$

$$V = \left(\frac{1}{4} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{1}{1,000} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{1}{n} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{m}{1+m^2} \right)^{\frac{1}{4}} Q^{\frac{1}{4}} L^{\frac{3}{8}}$$

$$V = (0.053) \left(\frac{1}{n} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{m}{1+m^2} \right)^{\frac{1}{4}} Q^{\frac{1}{4}} L^{\frac{3}{8}} \dots\dots\dots (10)$$

上式中 V ——山谷水道出口处的流速，以秒公尺計；

n ——水道糙率；

m ——出口处水道断面側坡；

Q ——出口处流量，以秒公方計；

E ——山谷水道主要河槽全段坡降，以公尺/公里計。

但山谷全段水道的平均流速較出口处的流速为小，在一般水道情况中，約为 60%。

故山谷水道的平均流速(秒公尺)为：

$$V_1 = 0.60V \dots\dots\dots(11)$$

并設 L_1 ——山谷水道的長度，以公里計，則山谷水道的集流時間(以分鐘計)为：

$$t_1 = 16.67 \frac{L_1}{V_1} \dots\dots\dots(12)$$

于是整个流域自分水嶺的某一点至山谷出口处的集流總時間(以分鐘計)为：

$$t_R = t_0 + t_1 \dots\dots\dots(13)$$

設若山谷水道中糙率 $n = 0.04$ ，側坡 $m = 10$

$$\text{則} \quad V = (0.053) \left(\frac{1}{0.04} \right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{10}{1+10^2} \right)^{\frac{1}{4}} Q^{\frac{1}{4}} E^{\frac{3}{8}}$$

$$= (0.053)(11.20)(0.561) Q^{\frac{1}{4}} E^{\frac{3}{8}}$$

$$= 0.333 Q^{\frac{1}{4}} E^{\frac{3}{8}}$$

$$V_1 = 0.60V = 0.60 \times 0.333 Q^{\frac{1}{4}} E^{\frac{3}{8}}$$

$$= 0.20 Q^{\frac{1}{4}} E^{\frac{3}{8}} \dots\dots\dots(14)$$

此式即为柏氏徑流河槽平均流速公式。但一般山谷水道断面的側坡皆較陡(即 m 較小)而 n 值亦随河槽情况而不同，为更好地結合实际情况，当以应用公式(10)及(11)来作計算較為适当。

若河槽断面不是 V 字形的三角形，而为梯形或为近似的拋物綫形，則上列的河槽流速公式不能应用，須就出口处的实

測断面及水道主要河槽全段坡降，用曼宁公式計算各級水深的流速 V 及其相应的流量 Q ，从而繪制 $V \sim Q$ 关系曲綫，以資代替公式(10)。再由公式(11)即可求得 V_1 。

(3) 小匯水面积暴雨徑流的計算 在小流域范圍內，設有一定雨量連續一致下降不停，則徑流匯集漸多，出口处洪水随之陸續上漲。降雨持續至一定時間下游出現了洪水峰，若雨至此時停止而洪水峰亦停止上漲，此一時間謂之峰雨相会時間。其時全流域連同最远处源头的徑流都已到达下游出口处，這一時間即是某一流域由于一定雨量所产生的徑流集中所需的一定時間，此時洪峰的流量即等于全流域的徑流率。一定流域一定流量所需的一定集流時間，已可应用上述推演所得的公式來計算，至于暴雨徑流的洪峰流量基于全流域匯流所产生的原則，可以用下列合理化公式來計算：

$$Q = c i A \dots \dots \dots (15)$$

式中 Q ——全流域徑流匯集所产生的洪峰流量；
 c ——徑流系数；

單位 A ——流域面积；
 i ——降雨强度。

今設 I ——一定历时的总雨量，以公厘計。

及 t ——降雨历时，以分鐘計。

因洪峰流量，以秒公方計，為便于計算，應將上式改列為：

$$Q = 16.67 \frac{c I A}{t} = 16.67 c i A \dots \dots \dots (16)$$

从公式(16)按一定历时及一定雨量可以算出流量 Q 与历时 t 的关系。从公式(3)及(12)、(13)按一定雨量及产生的流量可以算出集流時間 T_R 与流量 Q 的关系。然后从兩項計算得出的結果可以繪成关系曲綫圖，兩曲綫的交点，即为合理化的

集流時間及一定暴雨徑流所產生的洪峰流量。

(三) 計算舉例

應用資料系××市遼河工業區山地溪溝之一“曲溝”。

(甲) 地形資料

1. 曲溝流域面積	$A = 10.94$ 平方公里
2. 主要河槽長度	$L_1 = 8.25$ 公里
3. 主要河槽坡度	$E_1 = 115$ 公尺/公里
4. 山坡平均長度	$I_0 = 0.81$ 公里
5. 山坡平均坡度	$E_0 = 385$ 公尺/公里
6. 出口處斷面側坡	$m = 3$
7. 土壤吸水強度	$\mu = 0.25$ 公厘/分鐘
8. 山坡滯流係數	$N = 0.08$
9. 河槽糙率	$n = 0.06$

經查上列曲溝地形情況，因和遼河區各山溝所產生的暴雨徑流是激湍的山洪，其集流時間應是急促的。

(乙) 水文資料

遼河工業區位於××市西南 50 公里，地當山嶺北麓，西面有遼河土門子水文站，自 1943 年起至 1954 年有 12 年雨量資料，但所有記載僅有每次降雨總量及總歷時而無分段記錄。故須由××市 1937 至 1953 年連續 17 年的分段雨量資料，轉換為遼河區之用。

1. ××市雨量分析，××市所有 17 年分段降雨量為 60、120 及 180 分鐘三種，抄錄如表一。根據該資料分別計算各

时段的均值，变差系数 C_F 及偏差系数 C_S ，其中 C_S 系配合資料点經驗曲綫位置 $P = \frac{m}{n+1} \%$ 决定的， C_S/C_F 倍數取其适当的数值，如表一末二項所示，从而計算所得的分段頻率成果列如表二。

表一 ××市历年分段最大雨量統計表

年 份	60 分鐘	120 分鐘	180 分鐘
1937	19.8	25.6	58.4
1938	22.0	28.2	28.2
1939	20.3	24.3	24.3
1940	14.0	14.0	14.0
1941	36.6	40.6	46.6
1942	11.2	14.0	16.1
1943	25.2	31.1	31.9
1944	26.7	27.4	27.5
1945	46.0	51.2	53.4
1946	29.6	42.1	42.3
1947	29.3	34.9	37.0
1948	10.7	21.3	23.1
1949	13.5	17.2	19.4
1950	13.4	14.2	17.2
1951	11.6	14.5	14.6
1952	9.4	13.9	17.9
1953	16.4	15.4	16.9
均值	20.6	25.6	27.8
C_F	0.511	0.472	0.432
C_S/C_F	3.0	3.0	4.0
C_S	1.53	1.42	1.73

为扩展分段范围，結合表二所列雨量变化情形，可用下列經驗公式算出 ××市分段雨量与頻率的关系。

表二 ××市分段最大雨量頻率成果表

頻率% P	60 分鐘	10 分鐘	120 分鐘
0.1	76.0	87.7	98.0
1.0	50.0	65.3	68.0
5.0	41.2	49.1	50.5
10.0	34.6	41.8	42.9
25.0	25.5	31.6	32.4
50.0	18.1	23.0	24.1
70.0	13.8	17.9	19.8
90.0	9.9	13.0	16.0
97.0	8.2	11.0	14.4
99.0	7.6	9.8	14.1
99.9	7.0	9.0	13.7

$$I = \left(A + B \log \frac{1}{P} \right) t^h$$

I ——分段总雨量,以公厘計;

t ——历时以分鐘計;

P ——頻率;

A 及 B 为常数、 h 为 t 的指数。

据××市給水排水設計機構研究分析××市历年分段最大雨量制成雨量历时与頻率公式如下:

$$I = \left(3.76 + 4.77 \log \frac{1}{P} \right) t^{\frac{1}{3}}$$

2. 潦河区与××市雨量关系。 ××市分段雨量頻率公式經已求得如上。因潦河区沒有分段的雨量資料,只有从兩地已有的日雨量記錄中,求取兩者的关系,而后可將××市的雨量頻率公式轉換为潦河区計算之用。