

小流域暴雨地面逕流之研究(一)

鐵道部鐵道科學研究院

一九五六年・北京

1957年 5月 1日

小流域暴雨地面逕流之研究(一)

水工水文研究組 徐在庸 吳學鵬 朱慶麟

本文件系我院水工水文研究組關於小流域暴雨逕流規範研究專題的初步報告，為了適應現場設計部門參考使用的需要，決定先將此項報告初稿及有關曲綫提前付印，希望能夠得到有關部門及國內外專家的指正和批評以便進一步充實和提高。有關意見請寄北京西郊青塔院鐵道科學研究院水工水文研究組。

引 言	1
(一) 暴雨定義、暴雨標準及本報告所用之主要符號的定義	2
(二) 我國雨量資料的概況、資料的數量及質量、整理方法	6
(三) 暴雨強度問題的選擇法、站年法的假定、經驗重現期的計算	11
(四) 暴雨強度函數的形式、強度公式的參數及降雨量曲綫的制定	18
(五) 暴雨雨型及暴雨面積	23
(六) 降雨量、歷時、重現期關係曲綫的制定	28
(七) 累積降雨量平均(中值)過程曲綫的制定	41
(八) 結語	47
主要參考書目	49
附錄 I、附圖 1. 氣候分區圖	插頁
附圖 2—8 各區降雨量一厘時一重現期關係曲綫	51
附圖 9—15 各區累積降雨量平均(中值)過程曲綫	58
附錄 II、關於規範中若干問題的初步意見	65

引 言

河川逕流量是決定過水工程建築物設計的最主要的因素之一。鐵路上借以跨越河流的橋涵即是過水建築物之一類。在鐵路建設中，隨地區、地形條件的不同，橋涵所佔費用約為新建鐵路總費用的百分之六至三十，所以橋涵設計得是否得當，對鐵路建設的影響很大。在橋涵修建中，孔徑之決定佔有主要的地位。橋孔過大，將使橋涵本身及其鄰近之路堤的造價增高很多；橋孔過小，則無論上部建築如何堅固，橋涵仍有被洪水沖毀之危險。

在橋孔設計中，首先要估算出流到建築物的流量之大小。在大中河流上，或有曾進行過多年觀測之水文站或水位站，或有老居民可查詢問，或有洪水痕跡可供參考，最大流量尚有利用歷史上流量資料作直接估算之可能。在小河上，由於小河為數眾多，不能一一設站；許多小河之流域內可能人煙稀少，甚至無人居住；且小河洪水漲落之經歷時間極短，往往一次洪水不過幾小時或更短暫，很難留下洪水痕跡。由於以上原因，小河流量問題較大河流量問題更難解決。因此，就不得不借用間接法來估算流量，即對流量之成因——降雨、融雪，經過損失及集流而形成流量之一全套過程加以研究，從而估算流量。

在我國決定大多數河川流量的主因都是降雨。對小流域而言，則是暴雨。暴雨逕流可分地面逕流與地下逕流兩種，由於地下逕流的流速低，集流時間長，所形成之流量一般均比地面逕流量小，此外，其研究則更為複雜，故暫不予論述，而集中注意力於暴雨地面逕流問題。

暴雨地面逕流的計算方法，久已有之。解放前，我國鐵路橋涵方面常用陳舊而不合理的美國台爾帕（Talbot）公式來估算。解放後，由於蘇聯專家建議，近幾年來廣泛地採用蘇聯交通部的柏氏（Прото́дько́нцев）公式及郭氏（Гоникберг）公式。這兩個公式雖然比較合理，但隨著水文學的發展，蘇聯又有了比較新的地面逕流規範（參考書1）（交通部1952年頒佈）。為使橋涵孔徑設計更為合理，我們在暴雨地面逕流問題上，主要系研究這一新規範（以下即簡稱規範）。

前面已經提到，小河（小流域）逕流問題很難解決，所以，1952年交通部規範也並不是一個最後定案的、盡善盡美的規範。在蘇聯與它平行的還有其他各部門的規範，其中以蘇聯公路總局的逕流規範與它最為接近。

但中蘇兩國之氣候及自然地理條件等因素並不相同，決不可把蘇聯的公式生吞活剝地硬搬到中國來應用。由於我們擔任這項研究的人員很少，缺乏經驗，理論水平很低，不可能馬上進行全面的研究，在1955年主要只進行了暴雨部分的研究，並初步制訂了各地區的降雨曲線，以資應用。中蘇兩國之間逕流條件差異最大的是氣候（主要是降雨）因素，根據中國的實際雨量記錄，結合蘇聯的先進科學理論，制訂出有關的降雨曲線，就具備了將這個暴雨地面逕流規範介紹到我國來應用的起碼條件。關於這本蘇聯規範已由我院譯出。其中有些地方需要略加說明，有些個別地方可能原書印刷有錯誤，在翻譯過程中為忠實於原文起見，未敢更改，然而經過研究之後認為不加更改，可能自相矛盾，所以，參考了其他一些書籍（主要是蘇聯的），提出一些初步意見，列於本文之後作為附錄II，籍供同志們在使用規範時作為參考。

本文里所列的還僅是暴雨分析的初步結果，關於暴雨問題的繼續研究，以及決定小流域暴雨地面逕流的其他因素如集流（匯流），下滲等問題，視能力及條件而定，一一陸續進行。

（一）暴雨定義、暴雨標準及本報告所用之主要符號的定義

暴雨（Ливень）通常系指在短時間內，在有限地區內，降落大量液態降水的現象。

我們研究暴雨的目的是為了確定小流域上的逕流，因而對於暴雨的氣象成因，性質等不詳加探討。簡單說，降水可分二大類，即氣團雨與鋒面雨。所謂氣團雨系發生於同一氣

团中，起源於一个气团（Внутримассовое Происхождение），其中又分地形雨和对流雨（亦有称为热雷雨者）。所謂鋒面雨系發生於異性气团之鋒上，起源於鋒上（Фронтальное происхождение），其中有气旋雨（冷鋒雨与热鋒雨）和颶風雨。

降水本是一个物理现象，但由於其因素過於錯綜複雜，用一般研究必然性关系的物理方法去研究，並不能得到任何有用的結果。由於其中帶有很大的偶然性，所以，直到目前为止，各國大都使用統計方法来探求其統計規律。只有个别的学者如阿歷克賽耶夫（Г. А. Алексеев）等曾企圖建立一些近似的物理規律，但距实用尚远。我們所進行的工作，主要是用統計方法来整理中國雨量資料，以求出对实际設計有用的結論。

用統計方法来研究暴雨問題时，第一个問題就是什么样的雨算作暴雨？換句話說，什么是被統計的对象。

常用的方法是对不同降雨經歷時間，規定不同雨量作为标准，超过这个标准的就作为暴雨。

國內过去有些研究者系採用美國气象局1934年3月規定的标准（参考書5），其公式如下：

$$H = T + 20 \quad (1)$$

$$H = 2T + 30 \quad (2)$$

式中 H ——雨量，指 T 分鐘內所降落者，以百分之一英寸为單位；

T ——降雨經歷時間（以后简称歷时），以分鐘計。

其中（1）式適用於雨勢較緩之美國北部，（2）式適用於雨勢較強之美國南部。二式適用之範圍 $T \leq 120$ 分鐘。

但这个标准是完全不適用於我國的，更不必說，这个标准本身在理論上也有很大的缺點。

第一、中美远隔重洋，气候相差懸殊，不能用同一标准。而且就中國本身而言，地区遼闊廣大，亦不能只用一个标准。

第二、在公式中 H 与 T 的关系是直線关系，而实际暴雨中 H 与 T 根本不成直線关系（其关系以后再專門討論），因此，标准与实际情况脫節，选出供統計用的样品之可靠性自然受到影响。

第三、公式中的 T 不得超过120分鐘，而在小流域中，產生最大暴雨地面逕流量的瞬时常常可能超过这个限度。

由於以上三点，我們在研究中根本就沒有考慮所謂美國标准。

苏联在暴雨标准方面、最早的、最著名的是别尔格（Э. Ю. Берг）标准，这个标准是1905年制定的，它对以后的暴雨研究起了極大的作用，在1937~1940年間苏联國立水文研究院整編暴雨时仍採用这个标准。这个标准如表1。

苏联学者西尔金納（Н. А. Ширкина, 1947年）認為對於苏联欧洲平原而言，日雨量在10公厘以上即帶有暴雨特性，常常伴随着雷雨現象，因此認為『日雨量在20公厘以上者即可肯定地算作暴雨』。

單就以上兩種說法來看，暴雨标准的差別已达兩倍。由此可見，暴雨标准原是一个假定的数值，其意义並不是絕對的，而是相对的。

除了以上的兩種暴雨标准外，还有一些暴雨标准，例如費庫罗夫斯基認為日雨量大於

表1

歷 時 (分 鐘)	雨 量 (公 厘)	歷 時 (分 鐘)	雨 量 (公 厘)
5	2.5	50	11.0
10	3.8	60	12.0
15	5.0	120	18.0
20	6.0	180	22.25
25	7.0	240	27.0
30	8.0	360	33.0
40	9.6	720	45.0
45	10.25	1440	60.0

40公厘者为暴雨等。这都是屬於用强度数值來区分降雨与暴雨的一类。

波尔达科夫 (Е. В. Болдаков) (参考書 6) 認為既然这些数值是假定的, 就不如用性質來分, 即把短而急的雨, 和在長时期降雨中的个别顯著較强的雨段作为暴雨。这种說法虽然不無道理, 但在实际整理降雨記錄时, 会遇到很多困难, 即会遇到許多过渡形态的降雨, 很难判断是否可以算作暴雨。这是屬於用『性質』來判別是否暴雨的一类。

在决定我國暴雨标准之前, 首先要肯定一点, 就是它是假定的、相对的, 因此, 它可以因我們的目的要求而定。我們的要求是要求到可能發生的暴雨强度 (暫且不談暴雨的其他特征), 要求用数值 (公厘/公鐘) 來表达, 因此, 一般說, 用数值标准來作为暴雨标准是更妥当一些。此外, 由於我們使用的估算方法是数理統計法——研究大量現象的方法, 这个方法要求有比較多的样品 (資料), 而一般說, 已观测到的气象 (雨量) 数据是不多的, 尤其在我國, 数量更为稀少, 因此, 我們定的标准不能过高, 以免样品太少, 無法統計; 当然, 标准也不能太低, 把兩種性質不同的样品 (暴雨与一般降雨) 放在一起統計, 也是不合理的。在都市排水的暴雨設計問題上, 一般每年平均取样三、四个, 这是因为所要求的計算重现期很小, 最大亦不过五年或十年一遇。在水利工程或鐵路桥涵方面, 由於計算重现期很長 (50~10000年), 标准應該提高一些, 即样品少些, 但由於已有之观测数据太少, 所以, 在我們的整理雨量記錄工作中, 为了使样品不太少, 仍大体上相当於每年取样四个。

關於各歷时的雨量之間的标准問題, 即 H 与 T 的关系問題, 前面已經談到美國标准設为直線关系之不合理。至於別尔格标准, 大約相当於下列公式 (参考書 7):

$$H = 1.02T^{0.58} \quad (3)$$

式中 H ——雨量, 公厘;

T ——歷时, 分鐘。

式 (3) 中 H 与 $T^{0.58}$ 成直線关系, 这比假設 H 与 T 成直線关系要合理得多。但對於苏联一般情况來講, 平均設 H 与 $T^{0.33}$ 成直線关系更恰当些, 当然苏联疆土遼闊, 自不能完全用一个标准來衡量。

如果 H 与 T 之間的关系不合適, 必定會發生选样不勻的現象。設 H 与 T^α 成直線关系, 如 α 过大, 則長歷时之暴雨样品过少, 如 α 过小, 則短歷时之暴雨样品过少。一般的通病則是 α 过大, 長歷时之暴雨过少。例如, 紐約62年記錄中 (参考書 8), 按标准取象之10

分鐘暴雨計203次，而取錄之60分鐘暴雨則僅105次，相差几達一倍。蘇聯國立水文研究院按照別爾格標準整理列寧格勒市39年降雨記錄的結果（參考書7）：5分鐘暴雨178次，10分鐘暴雨64次，15分鐘暴雨28次，20分鐘暴雨12次，30分鐘暴雨3次，45分鐘暴雨則僅1次。長歷時暴雨次數太少，則很難統計。

鐵道科學研究院水工水文研究組在1954—55年間雖然曾整理了大量的自記雨量記錄，也擬定過我國各區的暫行標準，但在作出研究結果以後，應該重新考慮一個較正式的標準。

我們原來以為利用「降雨強度公式及氣候系數的制定」（參考書9）的結果，可以定出暴雨標準。例如，每年平均取四場時，設 $F=0.25$ ，代入公式中，以黃土高原區說，得到

$$H = Ta = \frac{10.8T}{T+16} \quad (4)$$

但是對各區作完後，發現一些不合理的現象，如東南沿海區

$$H = \frac{11.9T}{T+28} \quad (5)$$

以5分鐘說，東南沿海區的降雨量標準為1.80公厘，而黃土高原區反為2.57公厘，而四川盆地（ $H = \frac{48.1T}{T+35}$ ）竟高到6.0公厘，這是不合理的。因此，這個企圖失敗了。主要原因是在公式中 $F < 1$ ，設 $F = 0.25$ 年，自然難免得出不合理的結果。

我們以本專題的結果為準，由於在本專題中最小重現期為2年，作暴雨標準則嫌太高。經過一些簡單想法（註）我們認為可以將重現期為2年的降雨量乘0.42作為暴雨標準，這些數值與我們過去的暫行標準也有某些地方相似，同時還要考慮相應的經驗值及歷史最大值作為參考，並進行各區之間的調整，最後再含零取整，列入表2。關於所根據的數值則可參看表13與表14。

（註）如公式（13），設 $\frac{B_1}{A_1} = 0.8$ ，則 $a_{0.25} = A_1 (1 + 0.8lg0.25)$ ， $a_2 = A_1 (1 + 0.8lg2)$ ，

$$\therefore A_1 = \frac{a_2}{1 + 0.8lg2}, \quad a_{0.25} = a_2 \frac{1 + 0.8lg0.25}{1 + 0.8lg2} = \frac{0.52}{1.24} a_2 = 0.42 a_2, \quad H_{0.25} = a_{0.25} T = 0.42 a_2 T = 0.42 H_2.$$

各區各歷時暴雨標準草案（公厘）

表2

區 別	歷 時 (分 鐘)					
	5	10	30	60	240	1440
黃土高原區	3.0	4.0	6.5	7.5	13.5	25.0
四川盆地	4.0	6.5	13.0	17.0	25.0	50.0
西南高原區	3.5	6.5	13.0	17.0	25.0	36.0
東南沿海區	4.5	7.0	13.0	17.0	25.0	50.0
華北區	4.0	6.5	11.0	14.0	21.0	36.0
華中區	4.5	7.0	13.0	17.0	25.0	42.0
東北區	3.5	6.5	10.0	13.0	20.0	34.0

本專題的全部工作，仍基於站年法，其氣候分區，與「降雨強度公式及氣候系數的制定」專題相同，其分區圖參看附錄1附圖1

我國氣象學者盧鑑曾以日降水量50公厘以上為暴雨之最低限（參考書3，第229頁）。關於較長歷時之降雨亦可用此標準來判斷。但以中國疆土之大，若以一個標準用之全國，

終嫌不妥，只好俟諸未來之研究。

为了避免符号混淆起見，先談一下本文所用的代表符号及其含义。

H 与 T 两个符号在前面已經用过。

t ——某一时刻，或某一时候，即指某一瞬时，例如，3点50分。 T 与 t 不同， T 代表时段，或历时，其关系是： $T = t - t_0$ ，式中 t_0 是时段开始时刻，例如 t_0 是3点30分， t 是3点50分，则 $T = 20$ 分鐘。

h ——至某一时刻止所降的雨量，以深度計，公厘。 h 与 H 不同， H 是在某一时段內所降的雨量，其关系是：

$H = h - h_0$ ，式中 h_0 是該时段开始时已降之雨量。

a ——暴雨强度，系指时段內平均强度而言，即 $a = \frac{H}{T}$ ，單位是公厘/分鐘。在降雨过程中，降雨（尤其是暴雨）强度不断变化着，暴雨瞬时强度 $\frac{dh}{dt}$ 不是一个常数，很难研究。通常只研究暴雨平均强度 $a = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{T+t_0} \left(\frac{dh}{dt} \right) dt$ 。

N ——重现期（Повторяемость），是概率（Вероятность，Probability）的倒数，它的意义是，在無限次观测中，等於或大於該强度之暴雨發生一次的平均年数。既然是在無限次观测中發生一次的平均年数，它就不具有任何『周期』的意味。例如，我們說，某种暴雨的重现期是百年，这决不意味着在未來百年內它会出現一次；相反的，在未來百年內，重现期为百年的暴雨，可能根本不出現，也可能出現一次或兩次或更多次；但在很長的时期內，例如說一億年內，我們可以認為这样大的暴雨大概可能出現一百万次。

F ——面積，平方公里。有时，代表流域面積，有时代表暴雨同时籠罩的面積。

（二）我國雨量資料的概况、資料的数量及質量、整理方法

我國解放前反动政府不重視气象工作，雨量站既少，且資料亦多殘缺不全。解放后人民政府虽大力發展气象工作，但年限尚少，缺乏較長歷史資料之缺憾終不能在短期內弥补。現有的雨量資料在國內地区上的分佈極不均匀，多偏於东部人烟稠密的地区，西北、西南边疆几乎完全沒有記錄。以記錄性質論，年雨量，月雨量記錄較多，日雨量較少，自記雨量記錄更少，截至目前为止，全國設有自記雨量計的站（包括气象站及水文站）約二百多个，全部記錄約四百余站年，但其中尚有殘缺錯誤过甚不能使用者。我們在整編資料时，依用途而分两种。第一类是为求降雨量、历时、重现期关系曲線用，因为暴雨强度（降雨量被历时除）系作为重现期的函数來研究，故資料是否「全年完整」，能否代表一年，很关緊要。但目的既系研究暴雨，故一年中如最大一兩次暴雨記錄無誤，亦可勉强作为一年算。一般說，如一年中最大一兩次的記錄錯誤或缺少，該年即棄去不計。第二类是为制定累積降雨量平均（中值）过程曲線用，由於其概率意义与年的观念不明顯，因此，錄取标准就降低一些，凡大体可用者，虽不足一年亦尽可能使用。在表3中，列有我們所用資料的站名及年数。

表3

1. 黄土高原区

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
天水(甘肃)	8	8	河曲(山西)	1	1
吳堡(陕西)	2	3	李家村(甘肃臨洮)	1	1
甘谷驛(陕西延安)	2	2	寧化堡(山西)	0	1
河津(山西)	0	3	交漳(山西)	0	1
咸陽(陕西)	0	2	巴家嘴(甘肃慶陽)	0	1
宋家坡(甘肃涇川)	1	2	南河川(甘肃天水)	0	2
慶陽(甘肃)	1	2	崞縣(山西)	0	1
綏德(陕西)	1	2	沙窩鋪(山西兴縣)	0	1
太賓(陕西宝鷄)	1	1			
灵石(山西)	1	1	合計站年数(站数)	19站年 (10站)	32站年 (18站)

2. 四川盆地

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
沙河堡(四川成都)	11	11	寸灘(四川)	0	1
北碚(四川)	6	6	成都(四川)	0	2
雅安(四川)	1	1	資中(四川)	0	1
太和鎮(四川)	1	2	烏尤寺(四川)	0	1
紫坪鋪(四川灌縣)	1	1	瀘縣(四川)	0	1
李庄(四川)	1	1	南充(四川)	0	1
清溪場(四川)	0	1			
銅鑼驛(四川)	0	1	合計站年数(站数)	21站年 (6站)	36站年 (15站)
沙坪壩(四川重慶)	0	5			

3. 西南高原区

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
太華山(云南昆明)	16	16	思茅(云南)	0	1
貴陽(貴州)	9	13	德昌(四川)	0	1
巫家坝(云南昆明)	0	4	瀘寧(四川)	0	1
西昌(四川)	0	2			
雅江(四川)	0	1	合計站年数(站数)	25站年 (2站)	39站年 (8站)

4. 东南沿海区

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
上海	35	35	厦門(福建)	1	1
廣州(廣東)	4	4	常熟(江苏)	1	1
苏州(江苏)	2	3	海門(江苏)	1	2
福州(福建)	1	2	三都澳(福建)	1	2
温州(浙江)	1	1			
汕头(廣東)	1	1	合計站年数(站数)	48站年 (10站)	52站年 (10站)

5. 華北平原区

站 名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站 名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
北 京	13	14	内鄉 (河南)	0	2
天 津	15	15	西峡 (河南)	0	2
塘沽 (河北)	5	8	秦厂 (河南武陟)	0	2
盧氏 (河南)	3	3	潞安 (山西)	0	1
大連	3	3	三門峽 (河南陝縣)	0	1
德州 (山东)	2	2	利津 (山东)	0	2
兗州 (山东滋陽)	1	1	柳園口 (河南开封)	0	1
陝州 (河南)	1	1	苏酒庄 (山东鄆城)	0	1
潼关 (陕西)	1	1	河口鎮 (内蒙托克托)	0	1
華縣 (河南)	1	1	夾河灘 (河南蘭封)	0	1
黑石关 (河南巩縣)	0	3	夏輝 (山东肥城)	0	1
八里胡同 (河南新安)	0	3	孟津 (河南)	0	2
小董 (河南)	0	2	濰口 (山东济南)	0	1
前左 (山东垦利)	0	2			
陈州 (河南)	0	2	合計站年数 (年数)	45站年 (10站)	81站年 (29站)
高村 (河南东明)	0	2			

6. 華中区

站 名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站 名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
南京 (江苏)	16	16	贛縣 (江西)	1	1
杭州 (浙江)	9	10	安慶 (安徽)	1	2
湄潭 (貴州)	6	6	武夷山 (福建)	1	1
唐河 (河南)	2	2	永安 (福建)	1	2
水东霍村 (安徽)	2	2	合肥 (安徽)	1	2
鎮江 (江苏)	2	2	漢口 (湖北)	1	1
臨川 (江西)	2	2	白渡灘	1	1
曲江 (江西)	2	2	淮陰 (江苏)	0	1
南寧 (廣西)	2	2	新野 (河南)	0	1
海州 (江苏东海)	2	2	三合鎮 (湖北)	0	1
南陽 (河南)	1	2	白河 (河南)	0	1
清溪場 (四川)	1	1	双溝 (安徽)	0	1
万縣 (四川)	1	1	搬魚咀	0	1
恩施 (湖北)	1	1	巫山 (四川)	0	1
張盤山	1	1	金口 (湖北)	0	1
襄陽 (湖北)	1	1	岳口 (湖北)	0	1
下倉鋪 (安徽)	1	1	大昌 (四川)	0	1
河灘溪 (安徽)	1	1	武隆 (四川)	0	1
朗溪 (安徽)	1	2	宜漢 (四川)	0	1
無錫 (江苏)	1	1	太平 (安徽)	0	1
梅港 (江西)	1	1	清水河 (安徽)	0	2
吉安 (江西)	1	1	胡乐司 (安徽)	0	1

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
湖口 (江西)	0	1	巢縣 (安徽)	0	1
石埭 (安徽)	0	1	合計站年数 (年数)	64站年 (29站)	91站年 (49站)
当塗 (安徽)	0	1			
華陽 (安徽)	0	1			

7. 东北区

站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)	站名	第一类 (年数)	第二类 (年数)
通化 (遼寧)	5	6	遼源 (遼寧)	1	1
哈尔滨 (黑龍江)	3	4	梅河口 (遼寧)	1	1
長春 (吉林)	3	4	清原 (遼寧)	1	1
齐齐哈尔 (黑龍江)	3	5	輯安 (遼寧)	1	1
沈陽 (遼寧)	2	2	張家堡 (遼寧)	1	1
四平 (遼寧)	2	2	永陵 (遼寧)	1	1
吉林 (吉林)	2	2	克山 (黑龍江)	1	1
烏蘭浩特 (內蒙古)	2	2	嫩江 (黑龍江)	1	6
通遼 (遼寧)	2	2	城厂 (遼寧)	1	1
錦州 (遼寧)	2	2	合計站年数 (站数)	39站年 (22站)	51站年 (22站)
安东 (遼寧)	2	2			
佳木斯 (吉林)	1	2	七区合計站年数 (站数)	261站年 (89站)	385站年 (151站)
牡丹江 (吉林)	1	2			

据参考書12, 苏联現約有雨量記錄25,000站年, 約为我國現有資料之百倍。由此可見我國資料之貧乏。

除此之外, 还有几十个站, 有些站处於七区之外, 单独一兩年無法使用, 有些站資料殘缺过甚、錯誤太多, 几乎完全不能使用, 就未列在此处。当然, 我們所搜集的資料可能还很不完备, 整理和分区亦可能有許多缺点, 希望有关部門多多提出意見, 以便修正。

關於自記雨量資料, 由於都是由鐵道部科學研究院水工水文研究組進行整理, 所以將其詳目列举如上。關於日、月雨量, 我們均系自氣象局抄錄, 故不再詳舉, 只將七区之內我們所搜集並使用的站年总数列举如下表。

表 4

区別	日雨量 (站年)	月雨量 (站年)	区別	日雨量 (站年)	月雨量 (站年)
黃土高原区	95	612	華中區	1142	2648
四川盆地	194	758	東北區	840	1189
西南高原区	193	631	共計	4932	9901
東南沿海区	1308	1740			
華北平原区	1162	2323			

關於資料的質量問題。根據我們整理自記雨量記錄的經驗, 我們提出以下幾點意見, 希望有關的部門予以考慮。

1. 觀測員必須按時換紙, 換紙時必須寫明日期及時間, 雨量筒中的水量與自記紙記錄是否相符, 如不相符應檢查不符的原因。

在整理过程中，我們發現許多日期不符的情况，例如前一張紙是七月八日至十日，次一張紙是七月十二日至十三日，中間缺了兩天，也不知這兩天有雨無雨。此外，記錄紙上寫的降水量（雨量筒內水量）與記錄的雨量不符，也是常見的現象，有的根本不填寫水量就更無從比較記錄的正確與否。

2. 儀器應該經常校正。

我國大多數自記雨量計都是虹吸式，按照蘇聯的儀器，10公厘虹吸一次的儀器每虹吸一次需要時間15~20秒，但是在記錄中，我們常常發現有5分鐘，甚至10分鐘才虹吸完的，下降的線成爲一根明顯的斜綫，這顯然是儀器出了故障。更壞的是許多儀器常虹吸失靈，一遇大雨，只見上升一兩次便不再下降，不知道究竟降了多少雨。此外，還有些儀器有漏水的現象，以致果積雨量綫却發生下降的現象。這些現象都必須糾正。

3. 儀器用紙及墨水、筆尖必須統一。

這一項看來雖很簡單，但問題並不小。首先談用紙，由於儀器不同，紙亦不同，例如上海站，記錄的曲綫常與紙的曲綫不符，據我們估計，這可能是紙上線的曲率與儀器筆劃綫的曲率不同。成都沙河堡站有幾年記錄紙是自己劃的，綫條不平直均勻，精確度自然要差些。南寧站有兩年記錄紙就是普通的白紙，周圍打了一個方框，這樣更難談到準確了。此外，自記紙最好只用一次，但事實上不然，有些站將紙重複使用，涇潭站甚至把4年的資料記在一張紙上，墨跡重複，很難辨認這些雨是那一年，那一場的。由於用紙不統一，紙質亦優劣不等，墨水及筆尖亦成了問題，紙不好，墨水浸污，筆尖不良，有時記錄的綫條粗得驚人，有時記錄紙上却又點墨俱無。我們認為墨水應該用『非水溶性』的墨水，因為雨量計總難免遇到水，如果墨水是『水溶性』的，萬一遇到水，記錄就毀了。天水站的記錄紙上記錄完後塗有一層保護膠，這也是保存記錄的一個很好的方法。

關於整理自記記錄的方法，按照參考書7，蘇聯曾使用過兩種方法：（1）預先規定時段法；（2）應用對數變圖法。茲略加說明如下。

（1）預先規定時段法 由於降雨歷時不等，強度亦隨時變化，所以，預先人為地規定一系列時段如5，10，15，30，60分鐘…等，在自記記錄上挑選出一個相應時段使其中包括的雨量最大，即爲所求。按各預先規定時段循序求出最大雨量，整理即算完畢。

（2）應用對數變圖（Логарифмический Аноморфоз）法 假設每場雨之強度變化大約可分3~4段，分別求其特徵點（強度轉變點），在 $\lg a$ 與 $\lg T$ 爲縱橫坐標的直角坐標上將這三四個特徵點繪上，聯折綫，折綫上各點即可代表各時段的最大平均強度（將它乘以時段 T ，即成爲最大雨量）。

據說後法很準確，在熟練後，所費時間亦較前法少些。但我們由於缺乏經驗，仍一律採用前法——預先規定時段法。

但是，這樣整理出來的資料，短歷時的資料較多，長歷時的資料很少，尤以黃土高原區中長歷時資料最少。如果這樣進行統計計算，一方面長歷時資料過少，另一方面從估算逕流的觀點來看亦不夠安全。所以，還要增添上所謂『條件強度』（Условная Интенсивность），也就是參考書9中的『歷時延長原理』，參考書10中的『Extended duration principle』。但對這個問題必須要注意一點，即這是水文學家所作的假定，而與氣象學是不相干的。關於這一點，蘇聯學者別洛夫（Н.Н.Белов）曾經這樣說：“由於我們所研究的降雨強度不是一個抽象的氣象學概念，而是一個決定逕流的因素，所以，還要加上時段

超过降雨实际总歷时的『条件』强度”。別洛夫所規定的『条件强度』的求法，与歷时延長原理相同。但別洛夫曾指出这种求法的理論根据，說明採用条件强度后在逕流量方面所起的影响，而美國學者席門 (Sherman) 則只根据邏輯上的推論，二者自不可同日而語。

別洛夫的想法如下：設降雨歷时 t_0 ，平均降雨强度 a_0 ，取一塊面積 F_0 使其集流時間等於 t_0 ，則在面積 F_0 出口处之流量是 Q_0 約如下式（不計逕流系数，蓄水等因素）

$$Q_0 = a_0 F_0$$

再看其下游某一断面，全集流時間为 t_1 ，集水面積为 F_1 ，再設集水面積与集流時間成比例增長，則

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{t_1}{t_0}$$

移項

$$F_0 = F_1 \frac{t_0}{t_1}$$

但是

$$Q_0 = a_0 F_0 = a_0 F_1 \frac{t_0}{t_1} = \left(a_0 \frac{t_0}{t_1} \right) F_1 = a_1 F_1$$

式中

$$a_1 = a_0 \frac{t_0}{t_1} \text{——『条件强度』}$$

所以，對於集流時間大於降雨歷时的流域來說，計算流量時要用『条件强度』來代替相应的实际降雨强度。

$a_1 = \frac{a_0 t_0}{t_1} = \frac{H}{t_1}$ ，即表示总量不变，但歷时可以延長。例如，降雨 8 分鐘，共 10 公厘，按規定时段來說，可作为 10 分鐘时段 $a = \frac{10}{10} = 1$ 公厘/分鐘，亦可作为 30 分鐘时段 $a = \frac{10}{30} = 0.33$ 公厘/分鐘計，余依此类推。

在使用时，『条件强度』与实际强度並無区别。

(三) 暴雨强度問題的选样法、站年法的假定、

經驗重現期的計算

雨量資料整理成数据之后，选出統計所需之样品，經過統計分析，得出所需要的結果——这便是我們工作的全部輪廓。选样問題是一个很重要的問題，如选样不合理，任何优良之統計計算方法亦不能得到可靠之結果。

为要估算最大流量，选样时选取各时段(歷时)之最大暴雨强度为样品，这是不言自明的道理。但是，如何选，选多少，則有不同的看法。举例說，以 10 分鐘歷时说，南京 1929 年的最大几个雨量值为 12.0, 10.5, 9.5; 1930 年为 21.4, 11.5, 10.3; 1931 年为 14.7, 13.5, 13.0, 11.0, 11.0; ……等 (均以公厘計) 僅以此三年資料为例，就可以有几种选样法。

① 每年选一最大值。选出之样品为 (依大小順序): 21.4, 14.7, 12.0。共为 3 个样品。

② 打乱年份选最大值，选的个数等於年数的整倍数。如为年数 $\times 1$ ，則选出之样品 $\times$ ：21.4，14.7，13.5。共为3个样品。如为年数 $\times 2$ ，則为：21.4，14.7，13.5，13.0，12.0，11.5。共为6个样品。

③ 打乱年份选最大值（个数不限，但須超过某一假定界限）。如果我們取此假定界限为12.0，則选出之样品为：21.4，14.7，13.5，13.0，12.0。共为5个样品。

④ 每年选取一定数量的最大值（二、三、四个均可）例如，每年选2个，选出之样品为，21.4，14.7，13.5，12.0，11.5，10.5。共为6个样品。

在鐵道科学研究院「降雨强度公式及气候系数的制定」专题中，基本上是採用第②种选择法的（只有东南沿海区是採用第①种选择法）。这种选择法是不論年份將所有的雨放在一起只依其大小而定，有时，最大的几个值可能集中在某一年或某几年內發生，例如在前面南京10分鐘歷时中，所选的三个最大值中沒有1929年的数据，这样，一方面对1929年就沒有代表性，另方面同一年的資料（如1931年的14.7与13.5）的独立性可能差些，这對於用独立事件的統計法是不太相宜的。从結果看，这种方法对內插來說，是安全的，对外延來說，是偏於不安全的。此处所謂內插，是指具有 n 年資料，欲推求重现期为 n' 年的暴雨强度，而 $n > n'$ ，即資料年数大於欲推求之重现期的情形。所謂外延，即是当 $n < n'$ 的情形，即資料年数小於欲推求之重现期的情形。在工程設計中，除都市排水外，鐵路、公路桥涵与水利工程設計之洪水重现期，均远大於现有資料年数，即均屬於外延情形。因此，採用第②选择法的統計結果与第①选择法比較，較為不安全。

採用第③选择法的优点是限度可以人为地規定高低，样品个数亦可人为地选定，一般叫作「逾限法」，或「超定量法」。但由於同一年內可能选取許多样品，因而独立性差些。此外，这个限度很难选定，如果选得不恰当，則長短歷时之样品个数可能相差几倍。一般說，用暴雨标准來作限度是可以的。但是，僅僅样品个数增多，許多小强度的暴雨样品對於推求大重现期的暴雨强度並沒有什么帮助，有时甚至可能有不良的效果（因为小强度的暴雨与大强度的暴雨的規律未必相同）。

第④种选择法，常为都市排水之暴雨設計者所採用。

在规范中規定的选择法是第①种，其优点是能保證选择有独立性（每年只选一个），外延結果偏於安全。

在（二）已經說明，我國雨量資料很少，即使在苏联，雨量資料虽較我國多些，但作为統計样品來看，从統計学观点來看，每站資料仍嫌太少。

苏联國立水文研究院1940年制定苏联各站暴雨强度参数 A 与 B 时，共計算了189个站，每站的資料年限自4年至39年不等。但就我國目前情况，年限自4至35年的資料，总共不过14个站（參看第2表），其中10年以上資料不过6个站。这几个控制点對於我國这样廣大疆土來說，是远远不够的，同时由於这几个点的資料也太短（在統計學中一般把30个样品以下的叫作小样品統計），推算大重现期時也不可靠，所以，在选择問題上就需要採用站年法的假設。

所謂站年法，就是將若干站的資料联合起來当作一个站的資料，換句話說，就是把同时期或不同时期的各站資料加在一起，当作同一站的不同时期的資料來看待。

站年法的實質，事实上，就是企圖用擴大空間的方法來弥补時間过短的缺憾。無論从任何方面看，空間坐标（ x, y, z ）与時間坐标（ t ）之間，是不会有any关系來作一般

性的代替的。因此，用擴大空間來延長時間的方法是並不合理的。但是，現有雨量記錄的年限過短，不適於用研究大量現象（集体现象）的統計法來研究，所以，雖然明知其不合理，却仍然使用它，蘇聯規範上[參考書1,2]也這樣規定着。其他許多參考書，如參考書5，11等都提到類似的用法。當然其他國家用過，中國氣候條件是否可以，這也是一個問題。

我們採用了站年法，並不是認為它合理，而是把它當作一種暫時利用的，不太可靠的，簡單的延長現有記錄年限的方法，直到積累了更多的資料可作較可靠的統計樣品為止，或是直到能從產生暴雨的氣象過程中找到答案時為止。

站年法既然用空間來補足時間，於是就應該滿足下列兩個條件，換句話說，要作下列兩個假定：（1）各站上影響暴雨的氣候及地理等條件是同樣的，即一致性；（2）各站所降的暴雨是彼此獨立的，不相關的，即獨立性。

簡單地談一下為什麼要滿足這兩個條件。

用統計法來研究問題時，所取的樣品要有一致性。例如，一個骰子擲六次與六個骰子擲一次的兩種情形中；如果這些骰子都完全相同，那麼，兩種情形的數學期望（估計能擲的點數）將會相同；如果這些骰子有的缺角，有的缺稜，一致性已被破壞，那麼我們決不能希望這兩種情形的數學期望相同。對於暴雨問題是一樣的，將各站的暴雨記錄合併作為一個站的記錄，這就要求各站出現暴雨的次數及其強度大小的可能性相同，這自然要求各站上影響暴雨的氣候及地理等條件相同，也就是要求一致性。所謂一致性系指發生的可能性是相同的，一致的，並非結果完全相同或一致。

在同一站的各年的暴雨之間可以認為是互不相關的，因此，可以用獨立事件的統計法來研究。一般所常用的統計方法都只能研究獨立事件。正如前段所舉的擲骰子的例子一樣，兩種情形的數學期望相同，是已假定了它們是獨立的。如果在六個骰子擲一次時具有某種關係，例如三個骰子總是出同樣的點數，另三個也出同樣的點數，那麼就不能認為是獨立事件，也就不能代替一個骰子擲六次。同一年的各站的暴雨之間，完全可能有某種關係，即彼此並不完全獨立。但是，如果要用站年法將各站記錄組合起來當作一站的記錄使用，當作獨立事件來進行統計分析，那就要求各站在同一年內的記錄互不相干，即具有獨立性。假如不能滿足各地暴雨互相獨立的條件，則用站年法所組成的一站資料中有一部分將是彼此有關或倚賴的，甚至是簡單的重複。這樣，就不能代表一站的多年情況，而且也不滿足一般所用統計方法的要求（一般統計學的对象是互相獨立的數列，互不獨立的數列的統計是極高深和極複雜的問題）。

這兩個條件——一致性和獨立性，都是理想的情形，實際上使用站年法時，決不可能百分之百的滿足這兩個條件。但在站年法中選用各站（準備組成一站）的時候應該考慮這兩個條件，與這兩個條件太不相符合的，就棄去不用，或劃歸他處使用。

一般說，相距很近的兩站，例如，彼此相距在15~25公里以內的兩站，其記錄是否可以用站年法合併為一站是很值得懷疑的，因為兩站所記錄的暴雨，可能就是同一場雨，而非互相獨立的事件。在黃土高原區內，天水氣象站有8年記錄，水利部黃委會在南河川（天水附近）也有雨量記錄，年份相重，在制強度曲線時，後者就未採用。

但相距過遠的兩站，由於氣候，地理等條件相差很大，自然也不宜於合併使用。例如，哈爾濱與廣州兩站，獨立性是非常大的，但缺乏一致性，也不能合併。

此外，地形因素也要考慮，山的向風面與背風面的雨量亦往往不同，向風面雨多而

大，背風面反之。再例如兩個雨量站相距不過30~50公里，但一站在山頂，一站在低地，由於標高不同，山上的站一般說則多雨（但高也有個限度，此限度因地而異），一致性不好。但在我們的工作中，由於許多站的標高不知道，而且資料太少，不敢過分挑剔，這方面考慮得較少。

一般說，應用站年法時，需要考慮下列因素：各站的雨量特征（短歷時雨量，日雨量，月雨量，年雨量）。其他氣候因素，地理位置，地形，地貌，總站數，站的分佈，每一站記錄的年數等。

以黃土高原區為例，就歷年最大一日降雨量平均值來說，其東界約為60公厘，西界約為40公厘，相差即達50%。由此可見區內各站的日雨量性質並不太一致。再依地理位置說，十個站分佈的經緯度界限大約如下：北緯39°24'至34°16'，約長五百多公里，東經111°46'至103°52'，約長七百多公里。

在本世紀三十年代美國有些工程師認為在經緯度各2°的範圍內的各站，在站年法中可以合用。這種單只考慮地理位置而不考慮其他條件的說法，顯然是不妥當的。後來許多學者都批判過，認為在2°範圍內，暴雨強度可能極不一致。我們所用的站年法，黃土高原區的面積是5°×8°，華中區的面積更大，其氣候條件之不一致亦可想見。

此外，每站記錄年限過短，十年以上者不過6站，四年以上者不過14站，其餘均在四年以下。每站平均記錄年數 = $\frac{\text{站年數}}{\text{站數}} = \frac{261}{89} = 2.93$ 年尚不足3年。年數既短，自難期望包括多雨年及少雨年，而缺此二者中任一個，必導致統計結果之不可靠。

關於『獨立性』及『一致性』的問題，以上的分析，都只是性質上的比較，並不能給出一個較明顯的數值的概念，用統計法是可以得出一個數值的概念的。

先來談『一致性』。在參考書5中曾提到兩種方法，即 χ^2 測驗及泊桑分佈。兩種方法的結果都可以用概率表示，即用一個大於0，小於1的數值來表示；越近於1，一致性就越大，越近於0，一致性就越小。

首先談 χ^2 測驗。設各站的某種暴雨次數為 f_{oi} ，如各站的暴雨的條件是一致的，則此次數在各站間的分佈應與其記錄年限成比例，故可以求到其理論的次數 f_{ei} 。條件一致，則 f_{oi} 與 f_{ei} 接近，條件不一致，則 f_{oi} 與 f_{ei} 相差較大。求 χ^2 值的式子如下：

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{(f_{oi} - f_{ei})^2}{f_{ei}} \dots\dots\dots (6)$$

n 為總項數。再按其自由度用 χ^2 值查表，即可求得概率。這個概率的大小就表示「各站間此種暴雨發生之可能性相同」這一假說的可靠程度。

必須指出，應用這種測驗的限制，即 $f_e \geq 5$ 與 $n \geq 5$ 時，所得結果較好。如果 $n < 5$ ，最好 f_e 要比5多大一些。因此，記錄過短的資料，不能用此法來分析。

舉北京與天津二站的60分鐘歷時的暴雨次數為例。

依60分鐘歷時內暴雨量多少分為三份，即20.1—25.0，25.1—35.0，>35公厘，分別統計次數。再假定二站條件相同，分別按其年數求理論次數，並計算 χ^2 值如下表。

表 5

站	年数	雨量20.1~25.0公厘 的实际次数 f_o	理論次数 f_e	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$	雨量25.1~35.0公厘 的实际次数 f_o
北京	13年	16	15.3	0.032	21
天津	15年	17	17.7	0.028	15
共計	28年	33	33.0		36

理論次数 f_e	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$	雨量>35公厘的 实际次数 f_o	理論次数 f_e	$\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$
16.7	1.11	8	7	0.143
19.3	1.04	7	8	0.125
36.0		15	15	

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} = 0.032 + 0.028 + 1.11 + 1.04 + 0.143 + 0.125 = 2.48$$

自由度 (Степень свободы) 为3。

概率 $P = 0.48$

如果資料可靠，則京津二地暴雨之一致性並不算太好。不用統計法，單就总次数看，在20公厘以上（60分鐘歷時），北京13年內有45次，天津15年內才有39次，即年数多的一站的次数反倒少一些，这顯然是不够一致的表现。

關於用泊桑分佈來檢驗一致性的問題，是根据下列想法，即暴雨是一种出現机会很小的自然現象，这种現象是符合泊桑分佈的。在不同的暴雨条件下，泊桑分佈的参数数值是不相同的。但在統計學中可以証明，將参数不同的各泊桑分佈相加，其总体並不是泊桑分佈。因此，如各站缺乏一致性，从各站中所选的暴雨强度样品总体將不是泊桑分佈；如各站具有一致性，当所选样品很多时，其总体將趋近於泊桑分佈。其实际頻数与假設为泊桑分佈之理論頻数的差別，可用前面所說之 χ^2 測驗來求一概率，以表示其一致性之大小。

茲以華北區45站年之暴雨强度数据作一例題。仍以60分鐘歷時，雨量大於35公厘的暴雨次数作为总計样品。其計算过程見下表。

表 6

60分鐘歷時，雨 量超过35公厘的 次数 N	具有 (1) 行所 列次数之站年数 f_{on}	(1) $\times$ (2) $f_{on}N$	$P_n = \frac{e^{-m} m^n}{N!}$	理論頻数 $P_n \sum f_{on} = f_{en}$ (取整)	$\frac{f_{on} - f_{en}}{f_{en}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
0	29	0	0.586	26	0.346
1	9	9	0.313	14	1.785
2	6	12	0.083	4	1
3	1	3	0.015	1	0
合 計	45	24	0.997	45	3.13

$$m = \frac{24}{45} = 0.533$$

自由度为3。

概率 $P = 0.65$

从这两个指标来看，表面上似乎有些矛盾，即45站年的一致性概率 $P=0.65$ 反比京津二市的一致性概率 $P=0.48$ 为高。但是，必须指出，我们是用统计方法处理统计样品，是有所谓随机误差的。在统计学中常将 $P=0.05$ 作为『拒绝限度』，当 $P>0.05$ 时，假设即可作为成立。依据这个说法，以上所作一致性测验应该认为是满意的，即就一致性说这些站年是可以作站年法这一假设的。当然还应该对各历时作这种运算，才能得出全面的判断，我们由于限于时间，今年未能这样作。

至於谈到独立性問題，可以用一种测验『余效』的方法来估计其独立性大小。一系列具有『余效』的数，就叫作一个相关的系列。这种系列有这样一种趋势，即大的数值后面跟随着大的数值，小的跟着小的。在时间系列中，相继的（連續的）观测受某一事件的影响，因这一事件在時間上是連續的；在站年法中，相鄰站可能受某一事件（暴雨）所影响，因为一次暴雨可能同时籠罩許多測站。

余效测验的概率原理如下：在一个随机系列（独立的、非相关的系列）中，將这些数值分为每組 S 个的若干組，令各組均值之标准差为 σ_s ，再令全随机系列之标准差为 σ_1 ，則

$$\sigma_s = \frac{\sigma_1}{\sqrt{S}}$$

$$\text{引一个新数 } M = \left[\frac{\sigma_s \sqrt{N}}{\sigma_1} \right]^2 \dots\dots\dots (7)$$

来代表相倚性（即非独立性）。对随机的独立数列，由式（7）知道 $M=1$ ；如果是相关的数列， $M>1$ 。換句話說， M 越大，独立性越小； $M=1$ 就表示完全独立。

茲用天津与北京相应12年之资料，作一例以資說明。仍以60分鐘歷时，总量大於20公厘的暴雨次数，北京1951年稍有缺点，除去不計，相应地天津1951年記錄亦不計。計算数据及过程見下表。

表 7

年 代	歷时60分鐘，雨量大於20公厘之暴雨次数				$f_1 + f_2$	$\frac{f_1 + f_2}{2}$	$\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)^2$
	f_1 (北京)	f_1^2	f_2 (天津)	f_2^2			
1941	4	16	4	16	8	4	16.00
1942	3	9	1	1	4	2	4.00
1943	2	4	1	1	3	1.5	2.25
1944	2	4	3	9	5	2.5	6.25
1945	2	4	4	16	6	3.0	9.00
1946	4	16	3	9	7	3.5	12.25
1947	5	25	4	16	9	4.5	20.25
1948	5	25	1	1	6	3.0	9.00
1949	4	16	3	9	7	3.5	12.25
1950	5	25	2	4	7	3.5	12.25
1952	3	9	1	1	4	2.0	4.00
1953	3	9	5	25	8	4.0	16.00
总 和	42	162	33	108	74	37.0	133.5

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{123.5}{12} - \left(\frac{37}{12}\right)^2} = \sqrt{10.29 - 9.51} = \sqrt{0.78}$$