

長江流域規劃要點報告階段技術總結

水文水利計算

長江流域規劃辦公室編

水利電力出版社

長江流域规划要点报告阶段技术总结

水文水利計算

長江流域规划办公室編

*

1091S276

水利电力出版社出版(北京西郊科學路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

787×1092 1/32开本 3音印張 72千字

1958年8月北京第1版

1958年8月北京第1次印刷(0001—1,700册)

統一書号: 15143·918 定价(第9类)0.38元

目 錄

第一章 水文資料的插補和延長	4
一、前 言.....	4
二、插補延長的方法.....	5
(1)徑流特征的移用(5) (2)相關法(6) (3)比例法(12)	
三、討 論.....	13
第二章 設計洪水	14
一、前 言.....	14
二、設計標準.....	14
三、洪峯洪量的頻率計算.....	14
(1)經驗頻率公式的選用(15) (2)理論頻率曲綫(15) (3)統計參數 Q_0 、 C_U 、 C_S 的計算(16) (4)歷史洪水加入計算(17)	
(5)各種頻率洪峯洪量值的計算(17)	
四、設計洪水過程綫的確定因素.....	18
(1)典型年的選擇(18) (2)設計時段的選擇(19) (3)典型年放大原則(20)	
五、討 論.....	20
第三章 水庫回水曲綫	21
一、前 言.....	21
二、基本方法.....	22
(1)控制曲綫的理論推導(22) (2)控制曲綫的繪制方法(28)	
(3)控制曲綫的高水體部(25) (4)推算回水曲綫的基本方法(37)	
三、水庫沿程最高回水位的推算.....	39
(1)概述(39) (2)單獨運轉情況下沿程最高回水位的推算(39)	
(3)聯合運轉情況下沿程最高回水位的推算(42) (4)壩址及以上各站的回水位與洪水量關係綫的繪制(42)	
四、幾個問題的討論.....	43

- (1) 控制曲綫的優點及其使用條件(43) (2) 對各種繪制方法及高水延長方法的評述(44)

第四章 長江中下游洪流演進	46
一、前 言	46
二、水形特性概述	46
三、槽蓄曲綫的繪制	47
四、洪流演進的原理及概述	50
(1) 概述(50) (2) 不穩定流的兩個基本微分方程式(51) (3) 微分方程式在實際問題中的簡化(52)	
五、規劃要點階段採用的幾種洪流演進方法	53
(1) 引用資料(53) (2) 計算河段的劃分(54) (3) 計算時段 ΔT 的選定及傳播時間的考慮(54) (4) 已用的幾種洪流演進方法的概述(55) (5) 演算的邊界條件(62) (6) 各河段採用的具體方法(63)	
六、存在的問題及對今後工作的建議	64
(1) 槽蓄曲綫(65) (2) 水位流量關係曲綫(66) (3) 計算時段 ΔT 及傳播時間的問題(66) (4) 江湖分合演算問題(67) (5) 平均頂托係數問題(69) (6) 分洪量的計算問題(69) (7) 槽蓄曲綫的簡化(70)	
七、附錄：頂托係數介紹	72
第五章 防洪計算	74
一、前 言	74
二、應用的資料	74
三、干支流梯級開發方案實施前后的防洪效益計算方法	75
(1) 水庫調度方法(75) (2) 防洪效益計算(78)	
四、討 論	91
第六章 水庫單獨運轉	92
一、引用資料	92
二、計算方法	93
(1) 典型年的選擇(93) (2) 調節流量的計算(93) (3) 保證出力的計算(95) (4) 平均年發電量的計算(96) (5) 最有利消落	

深度的決定(97) (6)水利樞紐泄洪演算(97) (7)其他指標的計算(98) (8)存在的幾個問題(98)

第七章 梯級水庫聯合運轉	99
一、計算依據	99
二、計算方法	100
(1)典型年的選擇(100) (2)庫容的分配(100) (3)水庫調節對象的劃分(100) (4)消落深度的選擇(101) (5)保證出力的計算(102) (6)平均年發電量的計算(103) (7)防洪指標的計算(104) (8)其它指標的計算(104) (9)下游水庫最小防洪庫容的計算(105)	
三、存在的幾個主要問題	106
(1)按 β 值決定調節對象的合理性問題(106) (2)關於調度圖的問題(107) (3)水庫的操作問題(108)	

第一章 水文資料的插補和延長

一、前 言

水文水利計算往往要求有一定系列的水文資料。在長江流域除干流重慶、宜昌、漢口等站有60年以上的記錄外，一般記錄年限均不長。各大支流控制站的資料年限約為10~15年，且斷續不全。各中小支流往往僅數年資料。在流域規劃中擬定的壩址，有的尚未設站觀測。因此，資料的插補延長是水文計算中首先需要解決的問題。

插補延長工作是以有關站的水文和氣象的基本資料為基礎，基本資料如果有問題，或精度不合乎要求，或甚至有錯誤，則插補延長的成果必然受到根本性的影響。因此在進行插補延長工作以前，必須對有關資料作出鑑定。

在規劃設計中所需的水文特征值，往往用數理統計法來推求，其精確度由以下兩個因素所決定，即系列的長短及其變化的程度。以公式表示如下：

$$\sigma = \pm \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \% \quad \text{或} \quad n = \frac{10^4 C_v^2}{(\sigma \%)^2} .$$

上式中變差系數 C_v 值為河流特性所決定； σ 為設計所要求的精度。一般說系列 n 越長，精度越高，代表性越好。基於以上理由，系列延長是水文計算中一項極為重要的工作。特別對於缺乏水文資料的河流尤為重要。但是由於各設計階段對特征值的精度要求不同，所以資料的插補延長應視具體情況予以分別對待。一般說來大致可分為以下三種情況：

1. 具有40年以上的長期連續觀測的水文資料，一般的設

計特征可依据数字統計法推求出来（ C_s 值的計算則要求有更長的系列，例如 100 年以上）。

2. 对支流或中小型河流，20~25年系列，应認為是可作水文計算的依据。对 10 年左右的資料，应尽可能地使系列延長，然后进行計算。

3. 在系列甚短（仅 3~5 年）或完全缺乏观测資料时，可以考虑把徑流特征由鄰近站移置过来。或采用近似經驗方法和关系（包括雨量推算徑流）来进行徑流計算。有时 5~6 年的系列，尙可以試取为插补延長的依据。

二、插补延長的方法

（1）徑流特征的移用

以下各法在缺乏观测資料时被普遍采用来推算設計阶段的徑流特征：

1. 在对象站与参証站所控制的流域面积相差很小（3~5%）时，可以直接移用参証站的資料。流域面积相差 10~15% 时，用 $Q_x = Q_0 \frac{F_x}{F_0}$ 推求；式中 Q_x 和 Q_0 分別为对象站和参証站的徑流量。本法在測站上下游徑流模数相近情况下可得較可靠的結果。在推求短时段（如五天、一天）洪量及洪峯时，其可靠性与河槽（包括湖泊）調蓄情况有关。

2. 当設計断面的上游和下游有測站，并且兩站的流域面积差值不超过設計断面以上流域面积的 10~20% 时，下式可以获得較好的結果：

$$Q_x = Q_A + (Q_F - Q_A) \frac{F_x - F_A}{F_F - F_A}$$

3. 水量平衡法： $Q_C = Q_A + Q_B +$ 区間土河槽調蓄（图 1）。

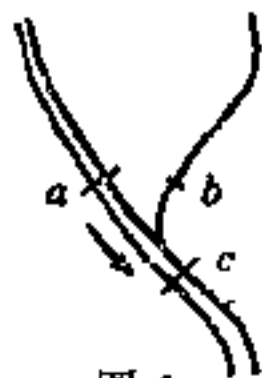


图 1

在一般情况下，如河槽不是特别宽阔，区間面积也不大，可以略去后兩項因素，則利用上式，如已知 Q_A 及 Q_B 求 Q_C ，成果較好。如由 Q_A 及 Q_C 求 Q_B ，則誤差可能較大。如 B 站徑流在 C 站（汇合后）徑流中的比重过小，可能引起更大誤差，引用时需慎重考虑（因兩站資料相減，誤差有累加的可能）。

（2）相关法

相关法即是由一系列数值推求其他相应系列数值的最或是值的方法，有图解法与分析法。前者較为簡便，并能显示明晰的意义。在許多情况下，图解法減輕了寻求数字关系的工作。在稍复杂的情况下，分析法的优点在于当确定关系时可以避免主观，并可得到关系密切程度的具体数字，但要在观测系列 $n \geq 10$ 年时，使用回归方程式才有意义，否則以图解法为便利。引用相关法时，最好先用座标紙点繪相关点，如相关相当密切，且偏差不超过 $\pm 10 \sim 20\%$ ，即可采用。当用确定的关系推求到各对应值范围以外时，需要特別审慎。

1. 相关法的运用：枯季主要靠地下水补給的河流，在沒有降水形成徑流的情况下（或所占比重极小），可用“本站相鄰月份的徑流相关”补插。例如二月份和一月份相关，則可用以推求二月份的平均流量。从暴雨河流从徑流年内分配的情况来看，一年的水量中汛期水量占着很大的比重，同时枯水期徑流各年变化一般較小，因此一年的水量大小基本上取决于汛期水量的大小，亦即汛期水量与年水量有着密切的关系。常有一些年份資料不全，只有汛期几个月流量，可用“本站汛期水量与年水量的关系”插补年徑流。

·利用流域暴雨資料或利用相鄰河流資料插补，只能求得各年洪水总量，而难求各年洪峯流量。即使用干支流过程

綫相加，由于傳播時間及河槽儲蓄的影響，其洪峯流量亦難準確計算。而一站的洪水其洪峯流量與某一定短時間的洪水總量之間，還有一定的關係，時間愈長，則此種關係愈差。如流域面積不大，各次降雨型式變化也不很大，則峯量之間還可能存在相當良好的關係。漢江流域規劃，即曾採用以“本站洪量推求洪峯”的辦法。在湘水、沅水的水文計算中亦曾進行此種嘗試。此外“本站較長時間洪量推求較短時間洪量”方法，亦常被採用。如以10天洪量求5天洪量，5天求1天，1天求瞬時洪峯等。這種用峯量關係來推求的方法，在支流設計洪水工作中被廣泛採用。

對於測站資料年限甚短，只有3~4年的情況者，欲進行年徑流的插補延長，一般由於資料年限短，據以繪出的年平均流量關係圖不易定綫，可借助月徑流關係點作為輔助定綫之用。若關係密切，即可補插各年缺測流量，同時亦可查出各月的多年平均流量。烏江武隆站僅4、5年資料，即用此法由其上游龔灘站相關插延各年徑流。

有時一條河流或不同的河流僅有一個測站的資料年限甚長，其他站均需借助這一測站的資料，進行插補延長，為了達到在校核上能互相協調，不致在輾轉插補延長上引起太大的誤差，可用聯結相關圖（圖2、3）。

這種輾轉插補延長的方法還需注意一個問題，如上例中

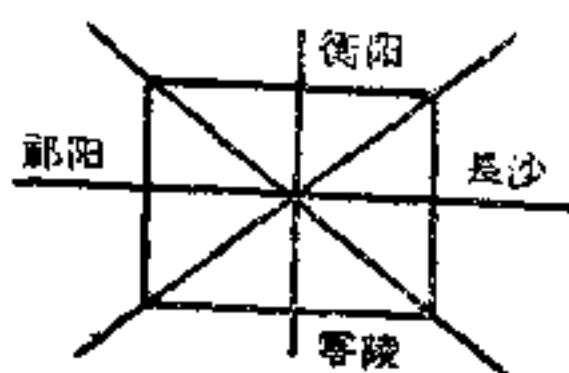


圖 2

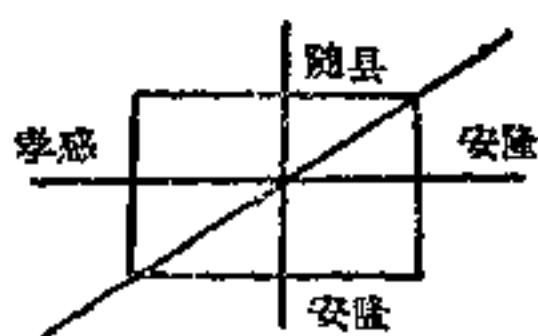


圖 3

从長沙插衡阳，衡阳插祁阳，祁阳插零陵，各对象站与参証站因相距不远，水量相差不大，相关尚密切。但若以長沙直接与祁阳相关，則明显看出关系便不甚密切了；以長沙与零陵相关，則相关点更为散乱，应用时就要慎重考虑。由長沙輾轉插延零陵，是將两个系列数值的差异分散在各个中間关系中，并且为其累次平均关系所掩盖，除了較易定出相关綫外，实質上对于終点站（零陵）插延成果精度的提高，尚不一定能达到理想的目的。

在进行各月徑流（或时段洪量，或洪峯）的插延时，应將月份在相关图中标出，以便分析各月份徑流关系的規律，考虑分別定綫或合并定綫。在相鄰流域或較大流域的上下游不同的季节有不同的降雨規律，因之各月徑流关系亦有差异，不能强求一致，这种情况下則需分別定綫。以月雨量插延月徑流时，关系点比較散乱，則可考虑以月平均温度为参变数定綫。因温度与蒸发量有密切关系，而蒸发量是降水的主要損失部分，因之在降雨徑流关系中，往往可以看出这样的規律来（見图4）。有时在相关分析中从一羣点子可以得出較好的相关关系，并由此定出相关曲綫，但少数点子却远离了相关曲綫。这时便应深入分析这些少数点子所代表的当时現象之形成条件，如能找出其特殊性的成因，那么可以作特殊情况处理。



图 4

2. 相关法的簡化算法：相关計算一般应用下列公式：

$$\text{相关系数 } r = \frac{\sum(x_i - x_0)(y_i - y_0)}{\sqrt{\sum(x_i - x_0)^2 \sum(y_i - y_0)^2}}$$

回归方程式 $y - y_0 = R_{y/x}(x - x_0)$;

回归系数 $R_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$

标准差: $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_0)^2}{n-1}}$; $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y_i - y_0)^2}{n-1}}$.

简化算式如下:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_0)^2}{n-1}} = \frac{1}{x_0} \sqrt{\frac{\sum(K_{xi} - 1)^2}{n-1}} \\ &= \frac{1}{x_0} \sqrt{\frac{\sum K_{xi}^2 - 2\sum K_{xi} + n}{n-1}} = \frac{1}{x_0} \sqrt{\frac{\sum K_{xi}^2 - n}{n-1}}; \end{aligned}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{y_0} \sqrt{\frac{\sum K_{yi}^2 - n}{n-1}};$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{\sum(x_i - x_0)(y_i - y_0)}{\sqrt{\sum(x_i - x_0)^2 \sum(y_i - y_0)^2}} \\ &= \frac{x_0 y_0 \sum(K_{xi} - 1)(K_{yi} - 1)}{x_0 y_0 \sqrt{(\sum K_{xi}^2 - n)(\sum K_{yi}^2 - n)}} \\ &= \frac{\sum K_{xi} K_{yi} - \sum K_{xi} - \sum K_{yi} + n}{\sqrt{(\sum K_{yi}^2 - n)(\sum K_{xi}^2 - n)}}. \end{aligned}$$

简化计算表式如下:

Y	X	K_y	K_x	K_y^2	K_x^2	$K_y K_x$	$K_x + K_y$	$(K_x + K_y)^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$\sum Y$	$\sum X$	$\sum K_y$	$\sum K_x$	$\sum K_y^2$	$\sum K_x^2$	$\sum K_y K_x$	—	$\sum (K_x + K_y)^2$

表中最后两行数字系为利用下列公式检查计算是否错误之用:

$$\sum K_y^2 + 2\sum K_y K_x + \sum K_x^2 = \sum (K_x + K_y)^2.$$

3. 几点注意：通常最易求得的是年径流间的关系。在位于同一气候和景观区的各站，可以求出每月的，每旬的，或每五天的特征径流间的关系。在同一河流的上下站，则在考虑流程的条件下，也能求得每日流量的关系。在两站间距离较近，且区间径流影响不大，则可求得日平均水位的关系，再由该站水位流量关系转化为参证站水位与对象站流量的关系来插补逐日流量。如长江上游干流寸滩站利用其上游附近重庆站水位资料插补寸滩站逐日流量系列达60余年（见图5）。但在两站相距较远或区间有较大的支流汇入，或在下游站的下游附近有支流汇入发生回水影响或接近湖泊受湖水位顶托影响等，则不能得到满意的水位关系。例如沅水下游桃源与常德两站相距仅数十公里，控制面积相差约3%，但水位关系不好，原因是两站受洞庭湖水位顶托影响不同的缘故。又桃源与其上游沅陵站（控制面积相差约10%）水位关系亦甚散乱，原因是桃源除受湖水位顶托影响外，两站相距较远（约200公里）。此外，若两站间坡降甚陡，其间有跌水存在，水位关系也不会好。如乌江中游龔滩站上下两水尺相距不足10公里，既无支流汇入，又无回水影响，而水位关系甚为散乱，即因此故。所以在求水位相关时，对测站的具体条件应注意研究。在同一条河流上进行径流资料插补工作，一般是较易作到的。首先是因为它已经具备了一个主要条



图5

件，供水来源是一致的或是相似的，同时若兩站相距不远自然地理条件也不会有多大的变化。但要注意的是所选择的参証站本身是否具备了資料年限較長而資料精度可靠的条件。过去曾由于一些河流其上游測站資料年限短，往往借其下游河口測站的关系插延。而这些河口測站大多是回水影响严重，資料精度較差，因此插延成果的質量受到一定影响。有一种情况虽然是同在一条河流，但所得的关系不好，这可能是由于地区的地理环境发生了显著的变化，如地質上喀斯特发育地区。曾在这种地区进行过插延，所得的关系一般是不好的，如烏江上游鴨池河与烏江渡即是一例。

干支流关系，一般說来支流来水对于流測站的水量所占比重不大，同时各支流大都有它自己的河流特性，徑流常受各种因素影响，在地区上变化較为剧烈。而干流測站水量丰沛，汇合各支流来水，因而徑流比較稳定。因此兩者之关系，一般表現得甚为薄弱。直接引用干支流的相关关系，往往不能达到插延的目的。常由于这种原因不能直接采用干流站的关系，而采用干流上下游測站流量相减的区間流量与支流相关。如果这些測站的資料在精度上可靠的話，上下游站相减后也可以大致代表这个地区的徑流情况。因此利用这个方法是可以的，关系也常是較好的。但应注意，上下游站資料均存在一定誤差，兩者相减，其可能的絕對誤差，特别是相对誤差有可能大大增加。因之为使相对誤差不致过大，則区間流量占上下游站流量的比重不能过小，否則可能导致錯誤。

从相鄰流域来选择参証站，那就要从多方面較詳細地了解对应地区自然地理条件的相似性。在苏联已有較好的水文分区图，可以在同一地区来选择。我們不妨根据一些降水

图，徑流模数图，植物森林土壤图，地形图，地質图等来考虑。当然兩条河流的流域面积大小，亦有参考价值，因为在一般情况下，流量与流域的大小有关，但也并不是所有的河流都是这样的。有些河流由于土壤地質的原因，滲漏損失很大，因而面积增大而流量却有减少的情况。

此外，引用資料插延，只是在自然徑流未受人为破坏的条件下才有意义。某些河流的一些測站資料由于堤防潰口或分洪，或由于灌溉用水較多，或者为水庫所控制，在未經驗正以前均不能引用。

(3) 比例法

比例法亦称魏德曼法，此法实为相关法的簡化。其关系式如下：

$$\bar{Y}_N = \bar{X}_N \cdot \frac{\bar{Y}_n}{\bar{X}_n}$$

式中 \bar{Y}_N 、 \bar{Y}_n ——对象站的長短系列的平均值；

\bar{X}_N 、 \bar{X}_n ——参証站的長短系列的平均值。

在插延長江上游各主要站徑流系列时，曾作了比較。凡用相关法計算的測站同时也用比例法計算过（計 15 站）。相关系数 r 从 0.62 到 0.97。相关法和比例法兩种方法所得成果都很接近，离差均不超过 2%。这說明可以用相关法計算的測站也可用比例法求得滿意的結果，而比例法計算則极为簡單方便。但是如果相关关系不好，不能用相关法計算时，則用比例法也不能获得滿意的結果。所以在应用比例法时必须考虑到相似性和物理成因的条件，方不致錯誤。如对兩站的关系尚不能肯定其是否密切时，則应先繪制相关图，然后再用比例法去推算多年平均值。

三、討 論

(1) 分析和論証的重要性

以往采用參証站在很大程度上采取試探性質，并且一般偏重于相关点子的密集程度和追求相关系数的大小，而缺乏对自然地理因素的分析 and 論証。例如清溪場站 1943 ~ 1945 年的徑流插补，在插补工作过程中先后試制了清溪場与長寿、涪陵水位相关，又以清溪場与万县、寸灘、宜昌及寸灘 + 龔灘等徑流相关。后来决定采用最后一个相关，其理由是相关点較密集（清溪場以上寸灘及龔灘控制了絕大部分来水量，关系密切，是可以預計到的）。前面各相关被否定的理由是相关点子較分散或參証站有些年份水位不全。这样对參証站的选择是不够恰当的。因为这样不但增加許多不必要的工作量，而且缺乏对各站徑流形成及相互关系的認識，因而成果的質量也难得到保証。所以流域自然地理特性方面的分析論証，以及对插延成果的合理檢查，應該說是保証插延成果質量的必要条件。

(2) 精确度問題

精确度問題包括計算方法和有效数字兩方面。計算方法較精密，工作量必然較大；而較精密方法的采用，又以有精密度較高的資料为前提，否則仍然不能得到精度較高的成果，徒然浪費工时，相反的会得到一些多余的“有效数字”，增加成果引用者的誤会。此外精度还要与設計阶段（或目的要求）相适应。

以往我們在进行插延时，对精度問題往往注意不够，浪費很多人力。如澧水三江口站 1939 ~ 1950 年徑流以單位过程綫法插延，而流域平均雨深由大庸雨量相关推求，有些年

并由沅水辰谿站雨量或干流沙市雨量輾轉插補。而以雨量資料較好較多的 1954 年言，洪峯誤差已達 $\pm 20 \sim \pm 40\%$ 。其他年份由于資料不足，差誤恐將更大。而規劃則僅要求年、月徑流，45 天洪量及洪峯數值。在此種情況下，今后似以採用較簡捷的相關法為宜。

第二章 設計洪水

一、前 言

設計洪水是擬訂防洪措施的主要依據。在規劃要點階段，對於水文數據的合理性和可靠性僅作了初步的分析，在上、下游各站數據無重大矛盾，且系列在 15 年左右時即進行有關計算。此次所擬各項設計洪水，均系根據實測徑流資料推求的。

二、設計標準

目前我國水工建築物的設計標準還沒有經過充分的研究和統一的規定。我們研究長江干支流水庫，是參考蘇聯國定標準 3999-48 號的規定，認為各樞紐都是巨型水庫，應採用一級建築物標準。即在正常運用情況下，按千年洪水設計；在非常情況下，按萬年洪水校核。對萬年一遇洪峯流量我們考慮了計算所引起的誤差而加一保證修正值 ΔQ ；而對萬年一遇洪水總量，因我們對 C_s 值的選定已偏於安全方面，不再加修正值 ΔW 。

三、洪峯洪量的頻率計算

對水文數據鑑定以後，在進行頻率計算時首先需對資料

进行选择和统计。设计洪水的洪峰流量应当是瞬时的，但由于长江干流洪水变化比较稳定，也可以用最大日平均流量。各壅址处的洪峰流量，多采用附近上下游水文测站的数据。洪水总量则统计各年一定时段最大洪水总量，而不以一次洪水作统计。这是由于长江洪水系连续洪峰形式，既不易区别一次洪水的过程，也很难分割基流。因此采用了定时段洪水总量统计的方法。

统计时段系根据洪水涨落的形式和水库下泄量的大小等方面综合考虑确定。根据长江干支流各河段洪水发生的实际过程，一般统计30天、45天、60天、90天或120天的总量进行频率计算。计算步骤如下所述。

(1) 经验频率公式的选用

经验频率公式，通常采用的有下列三种：

$$P = \frac{m - 0.5}{n};$$

$$P = \frac{m}{n + 1};$$

$$P = \frac{m - 0.3}{n + 0.4}.$$

一般说第1个公式不够安全。第2个公式则较安全。第3个公式在两者中间。但无论那个公式都没有较完密的理论根据，也不能避免短期系列的偶然性的缺点。我们采用第3个公式来进行计算。

(2) 理论频率曲线

由于经验频率曲线发生外延的困难，故在实际工作中常借助数理统计中的理论频率曲线来外延，以避免外延的任意性。理论频率曲线种类很多，我们在计算中采用了皮尔逊Ⅲ型曲线。由于利用这种曲线，不但计算简单而又有制备好的