



水文测验图表计算法

56.347
1225

水利电力部水文局 四川省水利电力厅水利水电设计院編

編者的話

水文測驗成果計算圖表化，是水文工作技術革新運動中的一項重要成就，對簡化計算手續，提高工作效率，保證成果質量等方面，都起到巨大的作用。這項技術革新是在全國大躍進的形勢下，各地水文工作同志發揚敢想、敢說、敢做的共產主義風格，為實現測站四化而搞起來的。在1959年全國水文工作會議上，各地提出有關計算圖表化的文件共18件，並在展覽會上展出了數十件查算圖表，計算尺和計算盤。本書是在這些文件和展品的基礎上，又搜集了一些其他材料加以修改後匯編而成的。目的在於系統的介紹各項查算圖表，供給測站工作的同志們應用。

本書主要內容有水位、流量、沙量等測驗成果的查算圖表，連乘累加計算尺，百分比查算圖，頻率查算表，流域平均雨量查算圖等。關於這方面的材料，各地提出很多，因限於篇幅，此處只能介紹其中精度合乎要求以及普遍使用方便的一部分圖表，對用途相同的方法都綜合到一個圖表里去了，對方法不同的，則分別列出，但比較複雜的，也未一一編入。規範中已有的一些圖表，如測速歷時誤差核對表，測繩偏角改正表等，在本書中沒有列入，希各站按規範查用。

本書除了介紹圖表以外，為了讓大家能了解查算圖的一般常識，還簡單地敘述了各個查算圖的簡要製作原理和應用方法，以便發揮羣眾智慧，從而促使進一步的技術革新。對於一些能普遍應用，製作比較複雜的查算圖，另外印制附圖七張，以備各水文站直接應用。

本書所選擇的圖表和編寫的內容，如有不妥之處，希望提出意見，並請讀者隨時提出新的查算圖表，以便豐富本書內容。

1959年3月

目 录

一、实测水位的計算图表化

- 1. 逐时水位的計算 3
- 2. 日平均水位的計算 5
- 3. 零时水位的計算 11

二、实测流量的計算图表化

- 1. 用流速仪测速时的計算 12
- 2. 用浮标测速时的計算 27
- 3. 部分面积和部分平均流量的計算 28
- 4. 水力因素的計算 33

三、实测沙量的計算图表化

- 1. 测点含沙量的計算 43
- 2. 根据浑水重求沙量(或含沙量)的計算 43
- 3. 垂綫平均含沙量的計算 44
- 4. 部分輸沙率及断面平均含沙量的計算 47

四、其他有关数据的計算图表化

- 1. 百分比的計算 47
- 2. 頻率的計算 48
- 3. 流域平均降水量权重的計算 51
- 4. 連乘累加的运算 52

附录一 尺算法中有关乘除的計算

附录二 数字常用表

一、数值的乘方、方根、倒数表

二、 $n^{\frac{1}{n}}$ 的数值表

三、某些小数的平方根与立方根

四、常用对数(lg)表

五、正余弦表

六、正余切表

一、实测水位的计算图表化

1. 逐时水位的计算

逐时水位的计算虽然简易，但用算盘计算，也嫌繁琐，有时也容易算错。利用图表作工具，可提高计算效率，并可防止计算的错误。今将逐时水位计算盘、计算尺和列线查算图的制作及使用的方法介绍如下：

(1) 逐时水位计算盘(如图1)

系用一硬纸或薄铁片做两个圆盘，A盘的外径为20~25公分，B盘的直径为17~22公分。两盘在圆心C处用轴连接，使B盘能绕轴旋转。在两圆相接的圆周线上，每公分代表1公分，单分刻划，然后

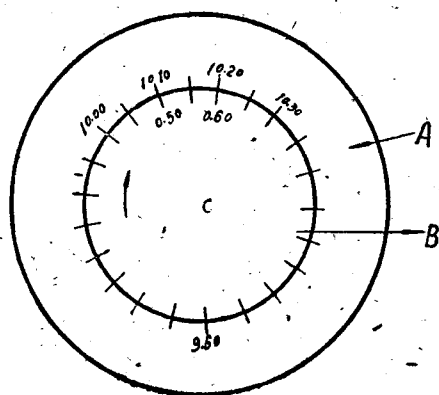


图1

根据本站的水位变幅及水尺的零点高程，在A盘上写上水位高程读数，在B盘标上水位读数。

在使用时，转动B盘，令B盘的零点对准A盘的水尺零高，在A盘上找出与水尺读数对准的高程读数，即为所求的水位高程。例如水尺零高为9.60公尺，水尺读数为0.50公尺，转动B盘，令B盘的零点对准A盘9.60，在B盘找出与0.50公尺对准的A盘上的读数，即为水位10.10公尺。

(2) 逐时水位计算尺(如图2)

水位计算尺形状和普通计算尺一样，但刻度为等分的，供加减之用。水位计算尺的长度及刻划的比例尺，各站可根据水位幅

度自行拟定。外尺刻度的水位高程，中間活尺的刻度为水尺讀数。

使用时，滑动中間活尺，将零点对准水尺零高，再在中間活尺上截取水尺讀数，在讀数对着的外尺的刻度上，讀得水位高程。例如，某水尺的零高为 50.48 公尺，某次观测的水尺讀数为 0.80 公尺。如图 2，使水尺讀数的零点对准 50.48 公尺，則在外尺上可讀得与水尺讀数 0.80 公尺对着的水位讀数 51.28 公尺。

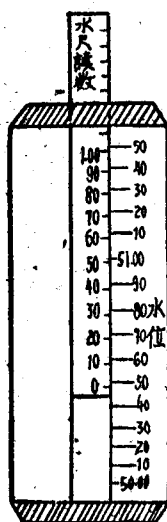


图 2

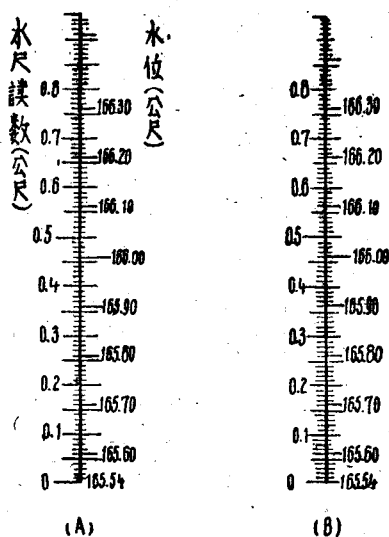


图 3

(3) 逐时水位列綫查算图(如图3)

立軸 A 的左边刻划水尺讀数，右边刻相应的水位高程(加一水尺零高)，即成适用某一水尺的逐时水位列綫查算图。有几支水尺，可繪几条列綫，并列在一張图上，以备查用。

适用于各支水尺的列綫繪好之后，查算起来是很方便的。如图 3 的 A，水尺零高为 165.542 公尺的查算图。当水尺讀数为 0.45 公尺时，在立軸 A 的右边刻度上，可查得逐时水位高程为 165.99 公尺。

从图 3 (A) 可以看出, 右边的水位刻度的整位数如 165.80, 168.90……不在米厘格紙的粗綫上, 这样, 繪測每一刻度时, 有些不方便, 可以作一些改进。如图 3 (B) 所示, 右边的水位刻度, 是另用一張米厘格紙制作的, 使水位的整数位于粗綫上, 然后把水尺零高对准左边的 0 点, 用胶水貼上去。这样的列綫图制作和查算都較图 3 (A) 方便些。

2. 日平均水位的計算

計算不等距(指觀測时距不同)觀測的水位, 常用“面积包圍法”(即加权法), 計算极为煩杂, 并且容易出差錯, 所以工作效率很低。如不提高計算效率和避免計算的錯誤, 各地提出許多簡化方法, 这里介紹两种方法:

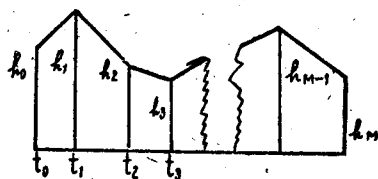


图 4

(1) 輻射綫图解法(如图 4)

設某日自零时至 24 时內, 在各 $t_0, t_1, \dots, t_n$ 时刻觀測得水位 $h_0, h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$, 則該日平均水位 H_{cp} 的計算, 可用下列公式:

$$H_{cp} = \frac{1}{48} \{ (h_0 + h_1)(t_1 - t_0) + (h_1 + h_2)(t_2 - t_1) + \dots + (h_{n-1} + h_n)(t_n - t_{n-1}) \}$$

令变换如下式

$$H_{cp} = \frac{1}{48} \{ h_0(t_1 - t_0) + h_1(t_2 - t_0) + h_2(t_3 - t_1) + h_3(t_4 - t_2) + \dots + h_{n-2}(t_{n-1} - t_{n-3}) + h_{n-1}(t_n - t_{n-2}) + h_n(t_n - t_{n-1}) \}$$

并可改写为:

$$H_{cp} = h_0 \left(\frac{t_1 - t_0}{48} \right) + h_1 \left(\frac{t_2 - t_0}{48} \right) + h_2 \left(\frac{t_3 - t_1}{48} \right) +$$

$$+ \dots\dots h_3 \left(\frac{t_3 - t_{3-1}}{48} \right),$$

并令

$$H_0 = h_0 \left(\frac{t_1 - t_0}{48} \right),$$

$$H_1 = h_1 \left(\frac{t_2 - t_0}{48} \right),$$

.....

$$H_n = h_n \left(\frac{t_n - t_{n-1}}{48} \right).$$

上述各項只有三个因素 h_i , H_i 及 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48} \right)$, 以 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48} \right)$ 为参变数, 可在直角座标上繪出一束輻射綫, 如图 5 所示。

图 5 的縱軸 h 值为逐时水位, 橫軸 H 称为“部分水位”。輻射綫表示当时距 $T_i = \frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48}$ 为一定值时, H_i 与 h_i 的关系綫。

为了查算方便, 在正式使用的查算图上 (如图 5 所示, 見插頁), 每条輻射綫的参数 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48} \right)$ 以 $(t_{i+1} - t_{i-1})$ 的数字标出, 而繪制查算图所用的实际数字仍用 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48} \right)$ 。各站的水位高程(海拔)数字往往很大, 計算时可將某日各逐时水位先减去某一选定的基数后, 再来查图。

图 5 为日平均水位輻射綫查算图, 一般測站都能应用。下面举一实例來說明这种图的使用方法。

表 1 中第一号水位为 165.75 公尺, 設基数为 165 公尺, $h = 165.75$ 公尺 $- 165$ 公尺 $= 0.75$ 公尺, 相間的观测时距为: $(t_1 - t_0) = 6 - 0 = 6$ 小时, 在图 5 的縱軸上找到 0.75 的一点, 水平右移, 与 $T = 6$ 小时輻射綫相交, 轉而垂直向下, 在橫軸上查得 $H = 0.094$, 如图 5 的虛綫所示。又如表 1 中第六号水位为 166.14 公尺, 基数为 165 公尺, $h_0 = 166.14$ 公尺 $- 165$ 公尺 $= 1.14$ 公尺,

相应的时距 $t_7 - t_0 = 1$ 时 30 分, 同样在图 5 可查得 $H = 0.036$ 。这样, 逐一查出与某日逐时水位相应的各部分水位 (如表 1 最后一行的数值), 这些部分水位的总和, 再加上基数, 即得该日平均水位, 如 $H_{cp} = 165$ 公尺 $+ 0.91$ 公尺 $= 165.91$ 公尺。

表 1

序 号	观 测 时 刻 (时:分)	水 位 (公尺)	观 测 水 位 与 日 最 低 水 位 整 数 之 差	观 测 时 距 (相 间 的)	水 位 差 与 时 距 之 积 (查 图)
1	0:00	165.75	-0.75	6:00	0.094
2	6:00	165.75	0.75	12:00	0.192
3	12:00	165.80	0.80	9:00	0.149
4	15:00	165.88	0.88	4:00	0.074
5	16:00	165.99	0.99	2:00	0.041
6	17:00	166.14	1.14	1:30	0.036
7	17:30	166.36	1.36	0:50	0.024
8	17:50	166.49	1.49	0:50	0.026
9	18:20	166.46	1.46	1:10	0.036
10	19:00	166.30	1.30	1:40	0.045
11	20:00	166.16	1.16	2:00	0.048
12	21:00	166.03	1.03	4:00	0.086
13	24:00	165.98	0.98	3:00	0.061
					$\Sigma 0.910$

如果将查算图的横轴做成活动的标尺, 就可在图上用活动标尺直接把各部分水位累加起来。

(2) 貫綫图算法

上述辐射綫图的辐射綫是每隔半小时一条来繪制的, 在非整小时或非整半小时观测水位时, 查算部分水位必須进行內插, 精度就会受到影响。貫綫图算法可以克服这个缺点。如图 6 为这种貫綫图的一种形式。

这种貫綫图的繪制原理簡述如下: 如图 7, A_0A , B_0B 为分别垂直于 A_0B_0 两端的直綫。通过 A_0B_0 綫上的 C 点, 作 AB 綫, 則 $\triangle A_0AC \approx \triangle B_0BC$,

$$\therefore \frac{AA_0}{A_0C} = \frac{B_0B}{B_0C}$$

$$B_0 B = \frac{B_0 C}{A_0 C} \cdot A_0 A.$$

从后一等式可以看出， $B_0 B$ 与 $A_0 A$ 之关系，决定于 $\frac{B_0 C}{A_0 C}$ 之比值。

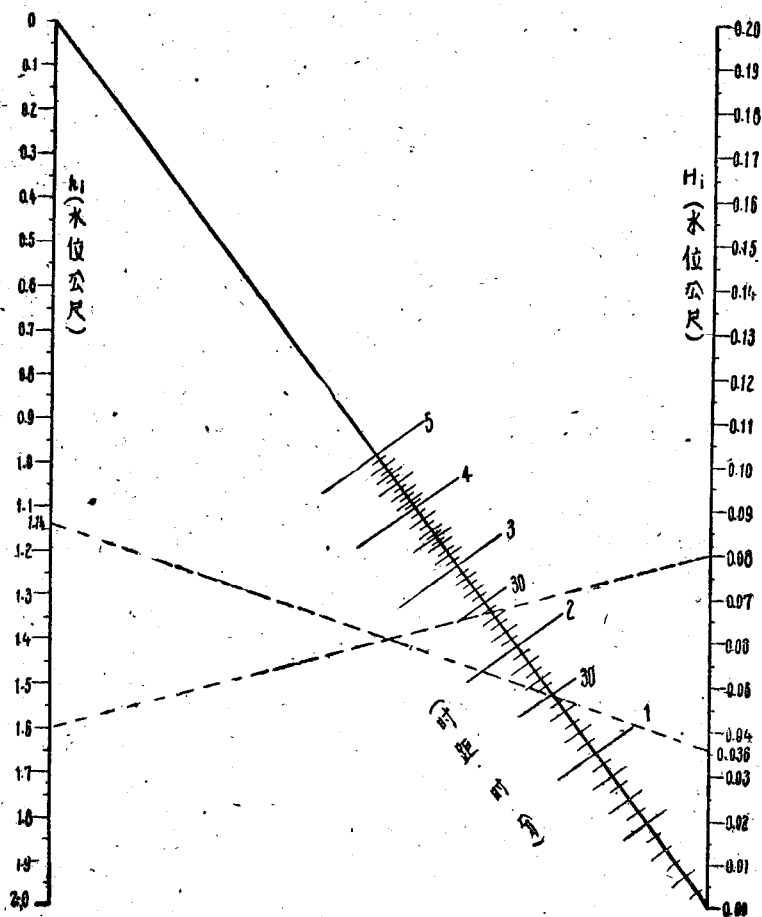


图 6

例如:

$$\frac{B_0C}{A_0C} = \frac{1}{2}, \text{ 則 } B_0B = \frac{1}{2}A_0A;$$

$$\frac{B_0C}{A_0C} = \frac{1}{48}, \text{ 則 } B_0B = \frac{1}{48}A_0A.$$

在图 7 再作任意直線 PCP' , 亦得: $B_0P = \frac{B_0C}{A_0C} \cdot A_0P$.

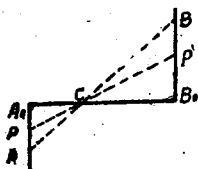


图 7

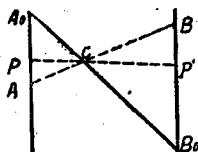


图 8

为了有效地利用图幅, 可把图 7 改为图 8 的形式。当图 7 改变为图 8 时, 上述关系仍然成立。根据这种关系, 可在图 8 的三条线上画上刻度, 就可进行数字的乘除查算。如图 9 虚线所示, 左边轴上的读数, 乘上中间斜轴上的读数, 等于右边轴上的读数, 即 $12 \times 0.5 = 6$ 。这个图的左右轴的刻度, 是等分刻划的。中间轴的刻度, 是按图 8 的线段

的比值刻划的。如图 9, $\frac{B_0C}{A_0C} =$

$\frac{1}{2} = 0.5$, 故 C 点的刻度为 0.5。又

如 $\frac{B_0G}{A_0G} = \frac{4}{2} = 2$, 故 G 的刻度为

2。如果用反推的办法来刻划中间斜轴的刻度就更为方便。如图 9, 先刻 EF 线, 交斜轴于 G 点。F 点的读数为 12, E 点的读数为

6, 则 $\frac{12}{6} = 2$, G 点的刻度读数为

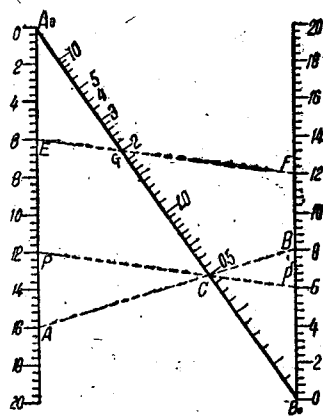


图 9

即为 2。斜軸上的其他刻度也可用这种反推的办法一一刻画出来。

图 6 和图 9 不同的地方，在于把斜軸的刻度和右边軸的刻度作了某些改变，以适合于水位的查算。

部分水位的计算公式为：

$$H_i = \left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{48} \right) h_i,$$

改写为：

$$H_i = \left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{4.8} \right) \frac{h_i}{10}.$$

以 H_i 为左边纵軸的座标数， $\left(\frac{h_i}{10}\right)$ 为右边纵軸的座标数。因 h_i 被 10 除，所以 H_i 的比例尺比 h_i 小 10 倍。如图 6 左軸的讀数为 1.0，其对应的右軸的讀数为 0.10。讀数小 10 倍。

其次将图 9 斜軸上的讀数乘以 4.8，并以時間的分数划分小格，即得图 6 斜軸的刻度和讀数。如图 9 斜軸上 C 点的讀数为 0.5，乘以 4.8，得 2.4，化为時間得 2 小时 24 分。用这种办法将图 9 斜軸的刻度逐一改为图 6 的时间刻度。

为了查算方便，图 6 斜軸上的讀数 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{4.8}\right)$ ，以 $(t_{i+1} - t_{i-1})$ 的数字标出。因此，查算时只要求得 $(t_{i+1} - t_{i-1})$ 值，不需求得 $\left(\frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{4.8}\right)$ 值，就可直接在图上查算。例如表 1 中第 6 号水位讀数为 166.14 公尺， $h_s = 166.14 \text{ 公尺} - 165 \text{ 公尺} = 1.14 \text{ 公尺}$ ，相間时距 $T_s = (t_7 - t_6) = 1 \text{ 时 } 30 \text{ 分}$ ，如图 6 所示，在图左軸上找到 1.14 公尺，又在斜軸上找到 1:30，連此两点并延长交右軸于一点，該点的讀数为 0.036 公尺，即为所求的部分水位。同样，可以逐一查出与各水位讀数相应的各部分水位。各部分水位的总和，加上基数 165 公尺，即得所求的某日的平均水位。

将图 6 右边 H_i 軸的刻度，做成活动的标尺，就可以在图上用活动标尺把各部分水位累加起来。

3. 零时水位的計算

用面积包围法計算不等距观测时的日平均水位，需用零时（或24时）水位，在沒有观测零时水位的情况下，必須先行补插。一般用直綫插补公式計算比較麻煩，也容易出差錯，如用查算图进行补插，就可提高計算效率和防止出錯。

这种查算图是按直綫插补原理繪制的，如图10所示， H_n 为

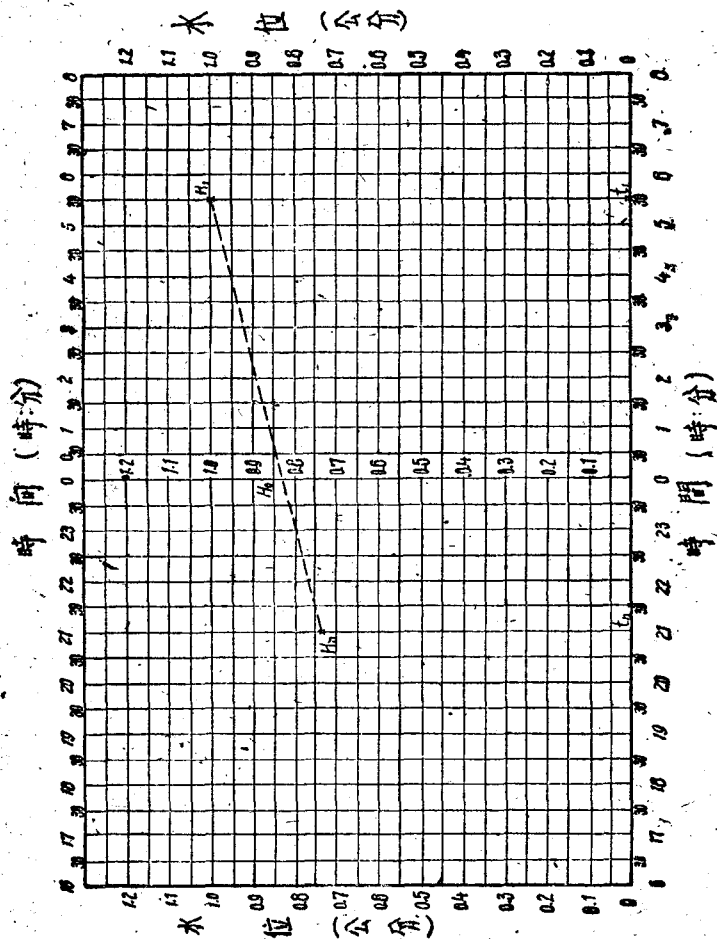


图 10

零时前某一时刻 t_n 所观测的水位， H_n 为零时后某一时刻 t_1 所观测的水位， H_0 即为所求的零时水位。

为使图幅不宜过大，可以自 H_n 与 H_1 同时减去某一基数 H_K ，再来查算。在零时水位轴上查得读数后，再加上 H_K ，即得所求的零时水位。

例如，21时(t_n)的水位 $H_n=168.74$ 公尺，5时30分(t_1)的水位 $H_1=169.00$ 公尺，设基数 $H_K=168.00$ 公尺，在21时(t_n)的纵轴上找到 168.74 公尺 -168.00 公尺 $=0.74$ 公尺的一点，再在5时30分的纵轴上找到 $169.00-168.00=1.0$ 公尺的点，连此两点，与零时水位轴交于一点，该点读数为 0.83 公尺，再加上基数 168.00 ，即得所求的零时水位为 $168.00+0.83=168.83$ 公尺，如图10所示。

二、实测流量的计算图表化

1. 用流速仪测速时的计算

(1) 测点水深

测速时，当测得垂线水深后，必须分别算出测点水深。一般用算盘来算。在船上进行比较困难，如果用图表来查算，则方便易用，各地在这方面已经创造了多种图表，这里我们归纳为以下几种形式：

(a) 查算表：预先在室内按照本测站水深变幅及各不同水位，计算出各测点水深，然后列成表格以备查算。这种表格的形式很多，有用普通表格式的，有盘式的，有滚轴式的，这里介绍两种形式的查算表。

1) 测点水深查算表：把各种水深情况下的测点水深预先计算好，列成如表2形式：

2) 测点水深查算盘：用一个直径3公分的圆形硬纸片(或薄木板)在两面糊上牛皮纸。在纸盘上划出若干个同心圆，将圆周分

表2

测点 位置	水深	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.2	1.0	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38
0.6		0.60	0.66	0.72	0.78	0.84	0.90	0.96	1.02	1.08	1.14
0.8		0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.20	1.28	1.36	1.44	1.52
0.2	2.0	0.40	0.42	0.44							
0.6		1.20	1.26	1.32							
0.8		1.60	1.68	1.76							
0.2	3.0										

写若干等分，自圆心向外作辐射线，将同心圆分成许多小格，然后将上述测点水深查算表中的数字填入盘中小格内。最外一圈小格中填水深，其他有圈的小格中填测点水深。另外通过盘心中，安上活动游标，在游标上填好测点相对位置，即成图11式的测点水深查算盘。使用时只要将游标移动，使其对准某一水深读数，就可查出测点深了。

例如图11，水深为1.20公尺，0.2位置的测点水深为0.24公尺……0.8位置的测点深为1.08公尺。

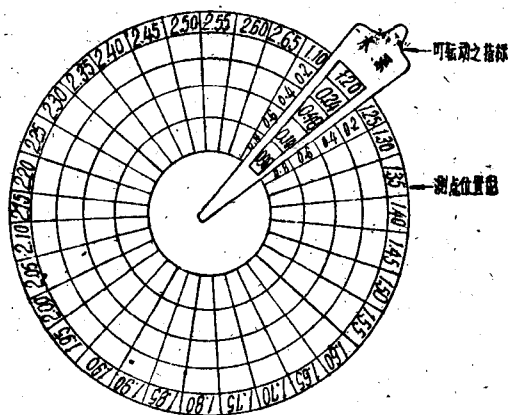


图 11

(b) 测点水深查算图：查算图的形式很多，有的是列线图，有的是幅射线图，有的做成计算尺或滚轴的形式。这里介绍两种形式的查算图。

1) 测点水深幅射线查算图：利用相似三角形对应边成比例的关系，根据计算测点水深的精度要求和水位幅度，绘成这种测点水深查算图。如图12所示，图中按1:0.2, 1:0.6及1:0.8比例划出的三条斜线，即这种图的主要部分。

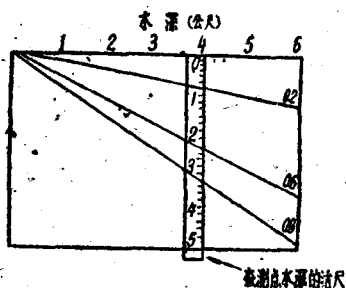


图 12

垂线水深如为 3.8 公尺，则自该点划出的垂直线截三条斜线为三点，该三点的纵坐标即为相应的测点水深，分别为 0.76 公尺，2.28 公尺及 3.04 公尺，如图 12 所示。

如果把测点水深的刻度尺做成活尺(如图12)，则查算就更为方便。

2) 测点水深列线图：仿照普通计算尺形式，我们可以在尺面上刻三条横线(五点法测速时)，分别刻画各相对位置的水深为示意图。查算尺长度各站可根据水深变化范围自订。但若水深变化范围较大，我们建议不必制成算尺，可分几段画在方格上，如图13所示。

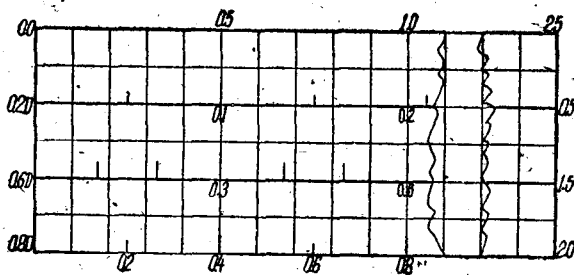


图 13

(2) 测点流速

流速仪檢定公式的一般形式为

$$V = KN + C,$$

而 $N = \frac{R}{S}$, 則

$$V = K \frac{R}{S} + C,$$

式中 V ——测点流速; K ——流速仪系数; C ——常数; R ——测速时旋桨或旋杯的总轉数; S ——测速总历时; N ——每秒轉数。

应用上述檢定公式直接計算测点流速, 繁瑣費时, 且易出錯, 利用图表进行計算, 則既快而又准确。关于这方面的計算图表各地已創制很多, 本文仅介紹其中比較簡易适用的几种。

(a) 测点流速的合軸查算图: 制图的方法和原理很簡單, 若令 R 为某一常数, 則 $N = \frac{R}{S}$ 为一双曲綫公式。以 S 为纵座标軸, N 为横座标軸, 在米厘格紙上, 可繪出一条双曲綫。例如, 令 $R = 400$, 則 $N = \frac{400}{S}$ 。根据此式, 可算出下表中各对应的 S 和 N 的数值:

$$S = 50 \quad 60 \quad 70 \quad 80 \quad 90 \dots\dots\dots$$

$$N = 8 \quad 6.67 \quad 5.72 \quad 5 \quad 4.45 \dots\dots\dots$$

把这两組对应数值点繪在图上, 即得 $R = 400$ 的一条 $S \sim N$ 的关系曲綫, 如图14所示。

同理, 令 $R = 40, 60, 80, \dots\dots 2400$ 等不同数值, 可以繪出一簇曲綫, 如附图Ⅲ所示。这一簇双曲綫, 即为每秒轉数 N 的查算图。已知 R 和 S , 即可查得 N 。

对于某一架流速仪的一个檢定公式來說, 公式 $V = KN + C$ 中的 K 和 C 为常数, N 为一次方的变数。因此, $V \sim N$ 的关系綫为一条直綫。 K 值的大小, 反映这条直綫的斜度, C 值則是这条直綫在流速軸上的截距(即直綫与流速座标軸的交点离原点的

距离)。

$V \sim N$ 关系线的绘制很简单, 以流速 V 为纵轴, 每秒转速为横轴, 令 $N=0$, 在纵轴上定出 $V=C$ 的一点, 另再按 $V=KN+C$ 公式计算出一个 $V \sim N$ 关系点, 连此两点, 即为 $V \sim N$ 的关系线。这条关系线即为测点流速查算图(如图14)。已知 N , 即可查得 V 。

如果把每秒转速查算图和测点流速查算图绘制在一张图纸上(如图14), 就成为测点流速的合轴查算图了。已知 R 和 S , 在图上可以一次查出 V 。

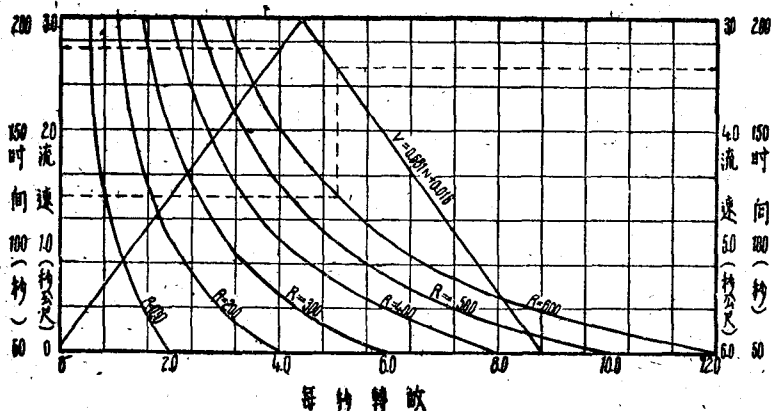


图 14

图幅的大小和读数的精度是一个矛盾。图幅小了, 精度不高, 大了则使用极为不便, 甚至无法使用。为提高 V 的读数的精度, 并缩小图幅, 可以把 $N \sim V$ 关系线割成两段或几段, 绘在 $N = \frac{R}{S}$ 曲线的底图上。图14中的折线, 即用这个办法画出来的测点流速合轴查算图。

测点流速的合轴查算图中, $N = \frac{R}{S}$ 曲线簇是可以通用的, 而 $V \sim N$ 关系线则每一个检定公式要另绘一条。因为每一个检定公式有自己的 K 和 C 值。