

中等技术学校教材

水文学

韓志剛編

水利电力出版社

15.114
17.7

內 容 提 要

本教材系水利电力部教育司推荐出版。它已经过数年教学实践和几度修改。内容包括水文学定义，自然界中水的循环，河流与流域的特征，水位和流量的观测方法及观测工具，水位流量关系的计算和曲线图的绘制；河流含沙量的测验和计算方法；河川径流及其影响因素，地面径流、地下径流，流量过程线上地面与地下径流的分别，径流的各种数值表示方法，径流的气候因素，径流集流过程；年径流的分配，设计洪水的计算，洪水过程线的绘制，暴雨资料推算径流，水工建筑物设计时洪水量及洪水过程线的估算方法，径流调节，水库的水量损失，水库中的淤积，水库的调洪计算等。

本教材在于使学生了解一般的水文分析和计算方法，并懂得水文测验和流量调节的基本原理和方法，所以用理论结合实际的方法分别详细叙述，它不仅是适合于水利工程建设专业和中小型水电站专业，并可供具有初中文化程度的各级干部、人民公社社员业余自修的参考。

水 文 学

韓 志 剛 編

*

1765 S 511

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业许可证出字第105号

水利电力出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本*6%印张*176千字

1959年2月北京第1版

1960年1月北京第3次印刷(7,171—9,690册)

统一书号：15143·1379 定价(第9类)0.85元

目 录

精

1. 水文学的内容及其分类(2) 2. 水文学在水工建筑物設計及运轉中的应用(3) 3. 地球自然界中水的循环(5) 4. 地球上的水量平衡(5)

第一章 河流概論 8

§1-1. 河流(8) §1-2. 流域(13) §1-3. 河流中的水位、流速和流量(18) §1-4. 河流的挟沙(24)

第二章 河流水文要素的測驗 28

§2-1. 水文測站(28) §2-2. 水位觀測(32) §2-3. 断面測量(35) §2-4. 流速仪流速測量及流量計算(38) §2-5. 浮标測流*(44) §2-6. 比降測流*(47) §2-7. 簡單的水位~流量关系曲綫的繪制和应用(48) §2-8. 河流泥沙的測驗(52)

第三章 河川徑流的气候因素 57

§3-1. 湿度(58) §3-2. 蒸发(60) §3-3. 降水(68)

第四章 各种因素对河川徑流的影响 84

§4-1. 河川徑流(84) §4-2. 气候因素对河川徑流的影响(89) §4-3. 流域因素对河川徑流的影响(98) §4-4. 人类經濟活动对河川徑流的影响(103)

第五章 河川徑流的計算 105

§5-1. 正常徑流量的計算(105) §5-2. 年徑流量变化的計算(110) §5-3. 徑流年内分配的計算(124) §5-4. 最小流量(126)

第六章 小汇水面积暴雨徑流計算 127

§6-1. 暴雨(127) §6-2. 入滲(137) §6-3. 地面徑流的形成过程(142) §6-4. 小汇水面积暴雨最大洪水流量的估算(145)

第七章 水工建筑物設計洪水的計算 155

§7-1. 設計洪水的意义及其要素(155) §7-2. 根据流量資料推求設計洪水(157) §7-3. 根据暴雨資料推求設計洪水(163) §7-4. 在无資料的情况下, 利用Г. А. 阿列克塞也夫的方法推求設計洪水(176)

第八章 河川徑流的調节 184

§8-1. 河川徑流的調节及水庫設計問題(184) §8-2. 徑流的季調节——列表計算法(192) §8-3. 季調节的图解計算*(200) §8-4. 水庫的調洪演算(206)

注: 如時間不够, 建議將有 * 的节略去不講。

緒 論

1. 水文学的内容及其分类

水，以各种不同的形态而广泛地存在于地球自然界中。譬如，在接近地面的低层大气中，存在有大量的汽态水(水蒸汽)；在极地大陆与极地海洋中以及在具有相当高度的高山上，存在有大量的固态水(冰、雪)；而通常，水以液态的方式广泛地存在于海洋、河流、湖泊、人工水库、表层及深层土壤与岩层等等之中，并存在于植物的叶体之内。

一般说来，存在于地球自然界中的水，并非静止不动，而是在热力和重力的作用下不断地运动着。譬如，海洋面上的水，在太阳辐射能的热力作用下化为蒸汽而进入天空；空中的水汽因冷却而凝結为雨雪，并在重力的作用下降回海洋或降至大陆；降到大陆上来的雨水，或又在热力作用下化为蒸汽而返回天空，或在重力的作用下沿着地表的傾斜方向流归海洋。如此往复循环，川流不息。

由此可见，地球自然界中水的存在及其变动运行的现象是十分复杂的，并在时间上、空间上表现出极大的差异。这种差异是由于地球上太阳辐射能的分布不均及地形的极端复杂而形成的。为了寻求出一般的规律性，以便于人类对于水的更广泛、更有效的利用，这就产生了水文学。

水文学，就是研究地球自然界中水的存在及其变动运行规律的一门科学。水文学分有许多具有独立科学意义的分支。

首先，水文学分为大气中水水文学(即水文气象学，是气象学的一部分)、地下水水文学(水文地质学的一部分)和地面水水文学。其次，地面水水文学又分为海洋水文学和陆地水文学。再次，陆地水文学又分为河川水文学、冰川水文学、湖泊学及沼泽学等等。

原书缺页

危險。對於電站基本出力的決定，也是如此。如果，對基本出力估計過低，以致不適當地增加火電儲備，則也將造成國家資金的大量積壓；反之，如將基本出力估計過高，以致沒有考慮足夠的火電儲備，則又將發生工業用電的中斷並造成生產上的損失。

如果說，對大型水工建築物的設計，在水文研究方面還採取着相當慎重的態度，那麼，對於小型水工建築物如跨度不大的橋梁以及涵洞的設計來說，水文分析作用也同樣重要。在這裡，往往存在着一種忽視水文分析與計算的傾向。這是一種錯誤的傾向。事實上，對於小型水工建築物來說，因其數量眾多，如果設計不當，則造成資金積壓或損失的數目仍然是相當可觀的。例如，在鐵路和公路的建設中，往往要修建為數極多的橋梁和涵洞。這些橋梁和涵洞的建築費用，在投資總額中占有相當的比重。正確的橋梁與涵洞的設計，必須保證：既不是將工程做得大而無當，以致事實上不可能發生這樣大的洪水，從而造成資金的滯結；又必須保證在相當的洪水衝擊下，建築物不致損毀而造成鐵路公路運輸的中斷。

在水工建築物建成之後的運轉期中，對水文學的要求並不比設計階段的要求來得差些。

例如，對於窪地蓄洪（如同潤河集控制工程）而言，在上游已發生洪水的情況下，必須立即作出判斷：是否開啟閘門讓洪水下泄，還是關閉閘門讓洪水進入蓄洪區，問題的關鍵在於隨後是否還有洪水到來，如隨後沒有洪水到來，而本次洪水又為下游河道所宣泄，即能保住蓄洪區的作物免遭損失；如隨後還有洪水到來，則因本次洪水由河道緩慢下泄而使上游河道有相當高的水位，當新的洪水到來時，即能造成河道的泛濫。這些問題，必須通過對河流水情作深入研究並建立起一定的水文預報方法以後，才能獲得正確的解決。

類似的問題也發生在水電站建成以後的操作管理方面。例如，水庫是否必須有節制地泄放，使有充足的蓄存水量以防較長時期的乾旱，還是大量地放水而同時停閉電力系統中的火電。顯

然，這一問題也只有靠對河流情況的水文預報來獲得。這種預報的預報期有時可能長達好幾個月。

綜合以上所述可見：無論是對於水工建築物的設計還是運轉來說，河流水文情勢的研究都是居于重要地位。而河流水文情勢的研究又歸結為兩個基本的任務：水文計算和水文預報。這些基本任務，決定了河流水文研究的內容和方向。

3. 地球自然界中水的循環

我們對自然界中水的循環現象，已經作過極簡略的說明，而實際上，水在自然界中的循環現象，要比上述的複雜得多。在本節中，對這一問題作比較全面的闡述。

我們把海洋選作水文循環的起點。海洋面上的水在太陽的熱力作用下，化為蒸汽進入上空。海洋上空的水汽，或直接在當地凝結為降水（包括雨、雪、雹及其它類型），仍降回海洋，從而構成水的局部循環，即海水蒸发水汽凝結海水；或為大氣氣流所攜帶，到大陸上空形成大陸降水。降至大陸上的水，只有兩條出路：1. 仍蒸发為水汽，從而又構成一個局部循環，即水汽凝結降水蒸发水汽；或是形成徑流（徑流一詞的簡單解釋就是流動着的天然水流），最終流歸海洋，完成水的總循環，即海洋水蒸发水汽凝結大陸降水重力作用徑流重力作用海洋水。不過，大陸降水無論是消耗於蒸发，或形成徑流流歸海洋，又分成許多不同的途徑。

首先，大陸水消耗於蒸发的，有的降水在下降過程中為植物葉面所截留，然後消耗於蒸发，稱截留蒸发；直接降至地面，再從地面蒸发掉的，稱為土壤蒸发；沿地面流至河湖中，再從河湖表面蒸发掉，稱為水面蒸发；降水滲入地下，再為植物根鬚所吸收，從植物葉面蒸发掉，稱為葉面散发，亦可通過土壤毛管作用吸至地面，再形成土壤蒸发等。

其次，大陸降水形成徑流的，這裡，降水可以直接落在河湖表面，形成所謂直接徑流；降水至地面，再沿着地表傾斜方向形成地面徑流進入河川；降水可以滲入地下，沿着不透水層流動，

形成地下径流。地下径流可在适当的地方，以泉的形式重新流出地面，或消耗于蒸发，或汇入河川；也可以直接经过漫长道路而流归海洋。上述的自然界中水文循环过程，可用图1来表示。

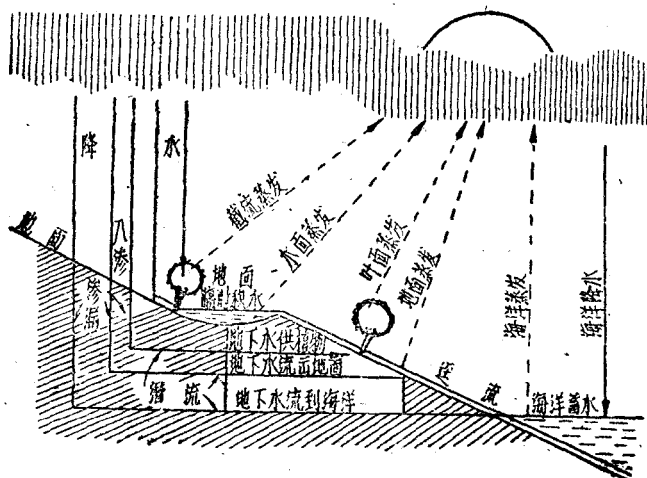


图1 自然界中各种水文循环的途径

4. 地球上的水量平衡

如将整个地球作为一个统一的整体来看，则地球上的水，一方面消耗于各种类型的蒸发；另一方面，又从各种降水中获得补给。消耗于蒸发的水量(蒸发量)，与从降水获得的补给量(降水量)，两者在个别年份中可能是不相等的。但从在悠久年代里大气中水汽密度的平均值不变与海洋水面平均高度不变这个事实来看，不难知道，全球多年平均的年降水量应等于全球多年平均的年蒸发量。设以 X_0 代表上述年降水量并以 Z_0 代表上述年蒸发量，则如上所说，

$$X_0 = Z_0 \quad (1)$$

式(1)即为全球的水量平衡方程式。

对于地球上的局部地区，例如海洋，它的水量平衡方程式和

式(1)不同。海洋水消耗于蒸发,但却可以从海洋降水和大陆径流两方面获得补给。因此,根据海洋多年期间平均水面高度不变这个事实,可以知道,对于海洋来说,多年平均的年蒸发量应为多年平均的年降水量与多年平均的年大陆径流量之和。设以 X'_0 表示海洋平均年降水量, Z'_0 表示海洋平均年蒸发量,并以 Y_0 表示平均的年大陆径流量,则:

$$Z'_0 = X'_0 + Y_0. \quad (2)$$

式(2)即为海洋水量平衡方程式。

对于大陆,我们完全可以建立起类似的平衡式而无需多加解释。设以 X''_0 表示大陆年平均降水量; Z''_0 表示大陆年平均蒸发量,并以 Y_0 仍旧表示平均的年入海径流量,则:

$$X''_0 = Z''_0 + Y_0. \quad (3)$$

式(3)即为大陆的水量平衡方程式。

将式(2)和式(3)相减,并注意到: $Z'_0 + Z''_0 = Z_0$, $X'_0 + X''_0 = X_0$, 则我们又得出(1)式。

根据M.A.维列加诺夫的资料:

$$X'_0 = 411,600 \text{ 立方公里}$$

$$X''_0 = 99,300 \text{ 立方公里}$$

$$\text{即 } X_0 = 510,900 \text{ 立方公里}$$

$$\text{而 } Z'_0 = 447,900 \text{ 立方公里}$$

$$Z''_0 = 63,000 \text{ 立方公里}$$

$$\text{即 } Z_0 = 510,900 \text{ 立方公里}$$

根据这些数字,得出大陆全年平均入海水量应是:

$$Y_0 = 36,300 \text{ 立方公里}.$$

第一章 河流概論

§1-1. 河 流

1. 河流的定义 干流和支流, 水系, 汇集陆地上一定地区(包括地表和地下)的水, 并在重力作用下, 使水沿着一定的路徑而流动的天然水流, 称为河流。

在一定地区內的許多河流中, 就水量或就所控制的面积而言, 总有一条是主要的, 称为干流; 流入干流的河流, 称为这个干流的支流。直接流入干流的, 称为一級支流; 流入一級支流的, 称为二級支流; 余类推。

干流及其全部支流, 構成一个独立的水道系統, 称为水系(亦称河系)。水系以干流的名称命名。如淮河和它的全部支流溱河、史河、渦河等等, 構成淮河水系。但也可以把位于同一地理区域内、性格十分接近的几条單独的河流, 合并看作是一个水系。这时, 水系可以地理区域的名称来命名。例如海河、灤河、徒駭河及馬頰河这四条各自入海的河流, 共同構成华北平原水系。

2. 河流的長度及曲折率 在平面图上, 河流具有曲折蜿蜒的形狀。这是沿河地質構造对水流具有不同抵抗能力的結果。河流发生弯曲的地方, 称为河灣; 两个相反方向的河灣之間的河段, 称为直槽(亦称过渡)。

河流的長度系指自河流发源地点至河流出口(即河流与海岸、湖泊或另一条河流的交界处)沿河道的中綫而量得的曲綫長度。

在地图上量河流的長度, 可以用特制的曲綫仪进行; 也可以用小的兩脚規来量取。但無論采用那种仪器, 均要求地图有較大的比例尺。

河流的曲折率(亦称曲折系数)是河流的曲綫長度 L 与連接河源、河口兩点之直綫的長度 l 之比:

$$\varphi = \frac{L}{l} \quad (1-1)$$

式中 φ 表示河流的曲折率。根据这一定义,显然会有, $\varphi \geq 1$ 。 φ 值愈接近于 1, 表示河流愈顺直。

淮河各河段的长度及曲折率如表 1-1 所示。

表 1-1 淮河各河段的长度及曲折率

河 段	长 度 (公里)	直 线 距 (公里)	曲 折 率
上 游			
河 源 — 洪 河 口	364	220	1.65
中			
洪 河 口 — 正 阳 关	155	90	1.72
正 阳 关 — 蚌 埠	132	95	1.39
蚌 埠 — 中 渡	203	130	1.56
游			
洪 河 口 — 中 渡	490	295	1.67
下 游			
中 渡 — 三 江 营	146	125	1.17
河 源 — 三 江 营	1000	590	1.70

3. 河深 在河流的某一河段上, 选择若干个点, 用测深法测出各点在同一水面高度下的水深, 再按照在地形平面图上绘制地形等高线的方法, 将各等深点连接起来, 便得到这河段在该水面高度下的等深线图。如图 1-1。

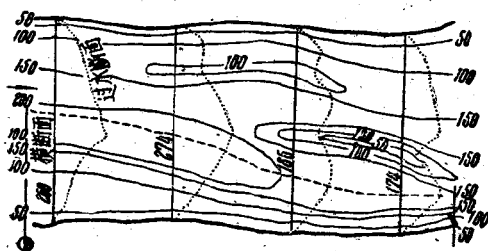


图 1-1 河流等深线

等深线图表示出河段上深度的分布情况。河段深度的分布与河段外形有着密切的关系。在河湾之凹岸, 由于水流冲刷作用强烈, 因而这里的水

深通常要比两个相反河湾之间的直槽段来得深些, 称为深槽。直槽段则相对地称为浅槽。如图 1-2 所示。

沿河流方向的最大水深线叫做谿线。因为深槽偏于凹岸, 所以谿线时而贴近这一岸, 时而又摆向对岸, 形成一条比河槽中线

更为曲折的曲线。

4. 河槽的纵断面 河槽的纵断面是在许多因素的复杂影响下刻划出来的；河槽的岩层及土层的组成和性质以及大陆的高度结构在这里起着主要的作用。



图 1-2 深槽和浅槽

在讲到河槽纵断面时，应把河底纵断面和水面纵断面区别开来。前者和河床的冲刷与淤积过程有关，对于冲淤平衡的河流来说，河底纵断面保持相当的稳定性。至于水面纵断面，它不仅与河床的冲淤过程有关，同时还随着水位的涨落、回水影响的大小而随时发生变化。因此，通常总是以稳定的枯水期的水面纵断面作为河流水面纵断面的代表。

在数值上，河槽纵断面可以用“比降”来表示。河底比降 i_0 是两断面上最深点的高程差 $h_1 - h_2$ 与两断面间溪线长度 L 之比值；而水面比降 i 乃是两断面上水面高度差（亦称落差） $H_1 - H_2$ 与两断面间河道中横长度 l 之比值：

$$i_0 = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (1-2)$$

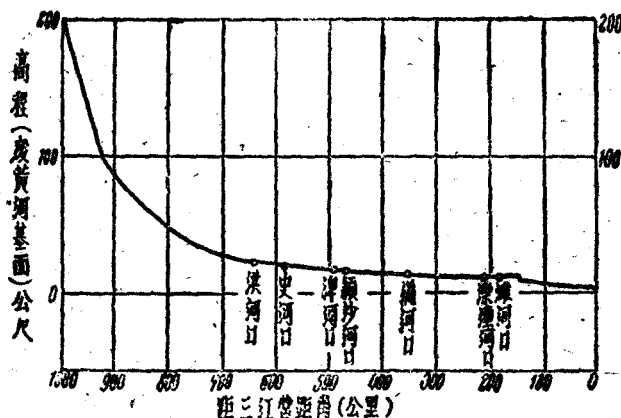


图 1-3 淮河干流纵断面图

$$i = \frac{H_1 - H_2}{l} \quad (1-3)$$

一般說來， η_0 和 i 都是自河源至河口逐漸減小的。

圖 1-3 所示為淮河干流縱断面圖。

5. 河槽橫断面 河槽橫断面的下面以河底為界，兩邊以側坡為界，而分為單式及複式兩種，如圖 1-4 所示。

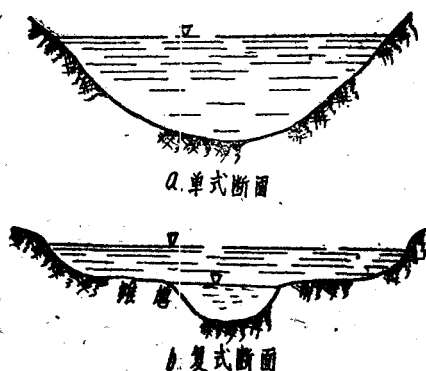


圖 1-4 河槽橫断面

在複式断面中，通過平常水流的部分，稱為基本河槽；只有在洪水期才為水所淹沒的部分，稱為河灘。

河灣處的河槽橫断面與直槽段的不同。在河灣處，橫断面不對稱，深槽偏於凹岸；而在直槽段，断面則大致是對稱的。

所謂過水断面，是指在某一時刻，水面以下的河槽橫断面部分。顯然，過水断面是隨水面的漲落而變化的。

河槽橫断面，尤其是過水断面部分，具有一系列為闡明該河段河性所必需的基本因素。屬於這些因素的是：

- 1) 過水断面面積 A ;
- 2) 濕周 P ;
- 3) 過水断面寬度 B ;
- 4) 平均水深 D , $D = A/P$;
- 5) 水力半徑 R , $R = A/P$;
- 6) 河床糙度 n ;
- 7) 断面中的水面形狀。

這些因素中的前六個，已在水力學中講過了。因此，我們在這裡僅對最後一個因素，加以簡單的說明。

河流横断面中的水面形状，一般说来并非水平的。在河湾处往往可以观测到显著的水面倾斜。水面呈现出显著的横比降如图 1-5a 所示。

横断面中水面横比降的生成，出于下列原因：1) 河湾处水流的离心力；2) 由于地球自转而产生的地球偏转力；3) 横断面上流速的分布不均。

除横比降外，在横断面上还可以观察到凸形水面及凹形水面等更为复杂的变形如图 1-5b、c 所示。尤其是在洪水涨落期间，这种现象更为显著。横断面上水面的这种变形，与洪水波的传播速度在横断面内的分布及水内环流问题有关。关于这些问题的详细论述，已超出本课程的范围。

6. 河流的分段及各段的河性

一条发育完整的河流，通常均可自上而下地分为五个各具有不同性格的河段，即河源、上游、中游、下游和河口。但段与段之

间河性的变化是渐变而非突变，因此，河段的划分，并没有一个绝对的标准，而往往从习惯出发。各段河性大致如下：

河源 河流最初具有地表水流的地方，称为河源。一般的河源都是荒溪。水的来源有几种方式：雨水，积雪融化，涌泉、高山湖泊，冰山等等。

上游 在上游段，河流行于深山峡谷之中。坡陡流急，冲刷极为强烈，水流挟带大量沙石下移。在上游段，河槽横断面多呈“V”字型。河床糙度很大。

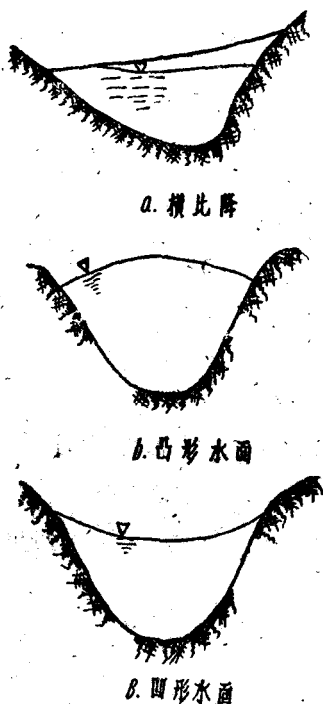


图 1-5 河流横断面中的水面形状

中游 在中游段，河流行于丘陵起伏地带。在这里，河床的冲刷和淤积过程同时发生。而比起上游来，断面逐渐开阔，水量增加。

下游 在下游段，河流行于冲积平面之上。坡度小，水流缓慢。因而，上游下来的泥沙，在此大量淤积，使河床日益增高。且水量更为增加，水流速度又小，故断面扩展很大。一般多呈“U”字形。

河口 河流与接水水体的结合地段，称为河口。接水水体可能是河流、湖泊、人工水库或海洋，因而，河口也就相应地分为 1) 河川支流河口，2) 入湖河口，3) 流入水库的河口，4) 入海河口。

有些河流，由于其水量大量消耗于蒸发或渗漏，以致流不到接水水体便逐渐归于消失。这样的河流，就没有河口，而其下端称为**瞎尾**。我国新疆地区很多河流，就是属于这一类。

没有河口的河流，或汇入内陆湖泊的河流，统称为**内陆河流**；直接或间接受入海洋的河流，称为**入海河流**。

§1-2. 流 域

1. 流域和分水线 一条河流的集水区域，称为该河流的流域。相邻两个流域之间的分界线，称为**分水线**。

河流可以自地面接收径流，也可以自地下接收径流，因此，分水线应当有地面分水线与地下分水线之别。而这两者可能是不相一致的如图 1-6 所示。不过，由于地下分水线每不易准确确定，因此，通常即以地面分水线作为流域的周界。



图 1-6 地面径流和地下径流的分水线不相合的情况

在山区，确定地面分水线是十分方便的。在这种情况下，山岭的脊线就是分水线。因此，分水线也称作分水岭。例如，秦岭山脉构成长江和黄河的分水岭；大别山脉构成长江与淮河的分水岭等等。在平原地区，分水线的确定比较困难。须在两河之

間，进行精密的水准測量，定出最高等高綫的位置；即为分水綫。在这种情况下，分水綫的位置，往往会由于地表泥沙的冲刷、搬运、沉积作用而移动。

我國黄河下游段，因經久淤积，使河床高出于兩岸平原甚多。这时，—黄河大堤乃構成了分水綫。兩堤之間的地區，屬黄河流域；兩堤以外，則分別是淮河流域和海河流域。这是一种比較特殊的情形。

2. 流域的几何特征 流域的几何特征中，最主要的是流域面积的大小及其沿河流的增长情况等。除此而外，还包括流域面积的形狀、流域的長度、流域的平均寬度以及河流位置在整个流域中的对称性程度等。

流域面积通常即指流域地面分水綫所包圍的面积，以平方公里計。在地图上确定流域面积的大小，一般采用面积仪。將面积仪圍繞分水綫至少量兩次以上，直到讀数相近，然后取其平均值，即为流域面积的数值。如沒有面积仪，也可采用数格法。即用有方格的透明紙，盖在地图上，并將流域所及的方格，标上号码。先数整格；对于不滿一方格者，用目估計其大小。最后累加起来，就是流域面积的数值。

流域面积自河源至河口逐漸增加。这种增加情况，与支流沿干流的分布有关。通常用所謂流域面积增長图来表示。流域面积增長图的作法如下：用适当的比例尺把干流長度画成一条垂綫；然后把該河及其支流的各流域面积用选定的比例尺画成橫綫；左边支流的流域面积往左画，右边支流的流域面积往右画；这些橫綫，由上游开始，用相当于支流汇入干流地点的距离依次累加。因此，經過河口一点的最后的那条橫綫，應該表示全河总流域面积如图1-7所示。其中干流及其支流各段，都用不同字母表出。在制图之先，应勾出分水綫(图中之虛綫)；流域的部分面积——左岸的及右岸的(以流向來說)——以数字1~14标示于原来的流域图及所繪面积增長图上。

图1-8所示为黄河流域面积增長图。

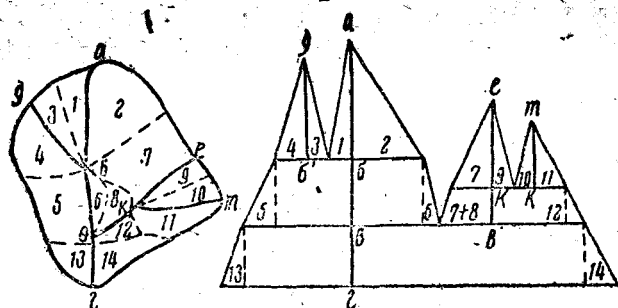


图 1-7 流域面积增长图的绘制方式

3. 流域的自然地理特征 流域的自然地理特征包括流域的地理位置，流域的气候条件，流域的地形，流域的植物复盖，流域的土壤——地质构造，流域的湖泊率、沼泽率以及河网密度。

流域的地理位置以流域面积的重心所在的地理经纬度来表示。

流域的气候条件与流域内的水文过程有极密切的关系。其中最主要的是降水、蒸发、湿度三个因素，其次是气温。流域内的气候条件可用这些因素的等值线图来表示。

流域的地形可以用流域的平均高程及流域表面的平均坡度来说明，也可以用流域的高程曲线来表示。关于流域平均高程和平均坡度的计算方法，可参阅详细的陆地水文学书籍。我们现在来说明流域高程曲线的作法如下：

在流域地形图上，自高向低量出每相邻两根等高线间的面积，并算出每块面积占流域总面积的百分数，然后再将此百分数自高向低累加起来，并以高程下限为纵坐标，面积累积百分数为横坐标，在普通方格纸上列出点子，将所有这些点子连成曲线，就是高程曲线。

图1-9所示为闽江剑溪流域高程曲线；阴影部分是分布曲线，表示每相邻两等高线之间的面积所占总面积的百分数。表1-2是为精制该曲线而列出的。