

高等学校试用教材

桥涵水文

(道路与桥隧专业用)

西安公路学院 主编

人民交通出版社

高等学校试用教材

桥涵水文

(道路与桥隧专业用)

西安公路学院 主编

人民交通出版社

高等学校试用教材

桥涵水文

(道路与桥隧专业用)

西安公路学院 主编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 10.5 字数: 254千

1980年5月 第1版

1980年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,700册 定价: 1.10元

内 容 提 要

本书主要叙述桥涵水文的基本概念和常用的计算方法。主要内容有河流概论、水文统计的基本概念、设计流量的推算方法、大中桥的孔径计算和冲刷计算、小桥涵的孔径计算，并简单介绍了桥位勘测的工作内容、桥位选择的基本要求、调治构造物的一般布设。

本书为高等学校道路与桥隧专业试用教材，也可以作为有关专业人员的参考书。

前 言

本书根据1977年交通部制定的有关教学计划和1978年教材会议提出的教学大纲编写的，经有关院校会审会议讨论后作了修改。本书注重加强基本理论和基本概念，并适当介绍了常用的计算方法。

本书第一、四、五章和附录由西安公路学院高冬光编写，第二、三章由西安公路学院张学龄编写，第六、七章由同济大学景天然编写。该书由西安公路学院张学龄主编，书稿经西安公路学院刘德进审阅。全书由福州大学蔡冠雄、吴燕主审。

本书对涉及到的有关国际制单位作了介绍。

由于我们的水平所限，时间仓促，书中难免有错误和不足之处，希望读者提出宝贵意见。

目 录

前 言	
第一章 河流概论	1
第一节 河川洪水径流	1
第二节 泥沙运动	8
第三节 河床演变	16
第二章 水文统计的基本概念	24
第一节 随机变量和机率	24
第二节 频率和频率分布	25
第三节 经验频率曲线	28
第四节 统计参数	31
第五节 理论频率曲线	36
第六节 相关分析	44
第三章 设计流量的推算方法	49
第一节 水文资料的搜集和整理	49
第二节 有观测资料时设计流量的推算	77
第三节 缺乏观测资料时设计流量的推算	85
第四节 桥位断面设计流量、设计水位的推算	93
第四章 大中桥孔径计算	94
第一节 桥位河段水流图式和桥孔布置原则	94
第二节 桥孔长度计算	95
第三节 桥面中心最低标高	98
第四节 我国对桥孔设计方法的研究	102
第五章 桥梁墩台的冲刷	107
第一节 建桥后的河床演变	107
第二节 桥下断面的一般冲刷	108
第三节 桥墩局部冲刷	113
第四节 桥下河槽最低冲刷线标高的确定	119
第六章 桥位选择与调治构造物	123
第一节 桥位勘测的基本内容	123
第二节 桥位选择	125
第三节 调治构造物	128
第七章 小桥涵孔径计算	131
第一节 小桥孔径计算	131
第二节 涵洞孔径计算	140

第三节	涵洞类型的选择.....	147
第四节	涵洞进出口沟床的处理.....	149
附录	桥位水力模型试验基本知识.....	152

小循环，如图1-1所示。

地球表面上海洋约占地球总面积的70.8%，而陆地约占总面积的29.2%，海洋水分蒸发要比陆地水分蒸发强烈得多，所以大气中的水汽主要来源于海洋水分的蒸发。

根据调查发现，地球上各大洋的多年平均水面高度几乎是不变的。各条河流注入海洋的多年平均年水量，事实上也是一个常数。因此，地球表面水的总量是不变的，蒸发去掉的水量通过降水（雨、雪、冰雹等）又全部降落到地球表面上。就多年平均情况而言，河流注入海洋的水量与海洋上的降水量之总和恰好等于从海洋上蒸发的水量，而陆地上的降水量恰好等于陆地表面蒸发和流入海洋的水量总和。

上述水分循环中总水量不变的规律称为水量平衡。这是物质不灭定律在水文学中的表现形式。水分循环和水量平衡是进行水文分析和计算的基础。

二、河 流

河川水流是自然界水分循环的一个重要环节，对人类的生产和生活起着巨大作用，在道路和桥梁工程中也不可避免地要遇到很多与河流有关的问题。下面简单介绍河流的主要概念。

1. 河流的形成、分段和形态

降落到地面的水量，除掉损失以外，在重力作用下沿着地面上的一定方向和路径流动的水流叫地面径流。由于地面径流的长期侵蚀，将地面冲成水沟，集成小溪，最后汇成河流。这些脉络相通的大小河流所构成的系统，称为水系或称为河系，图1-2是黄河水系的略图。水系中，直接流入海洋、湖泊或其它大河的河流称为干流，流入干流的河流称为支流。

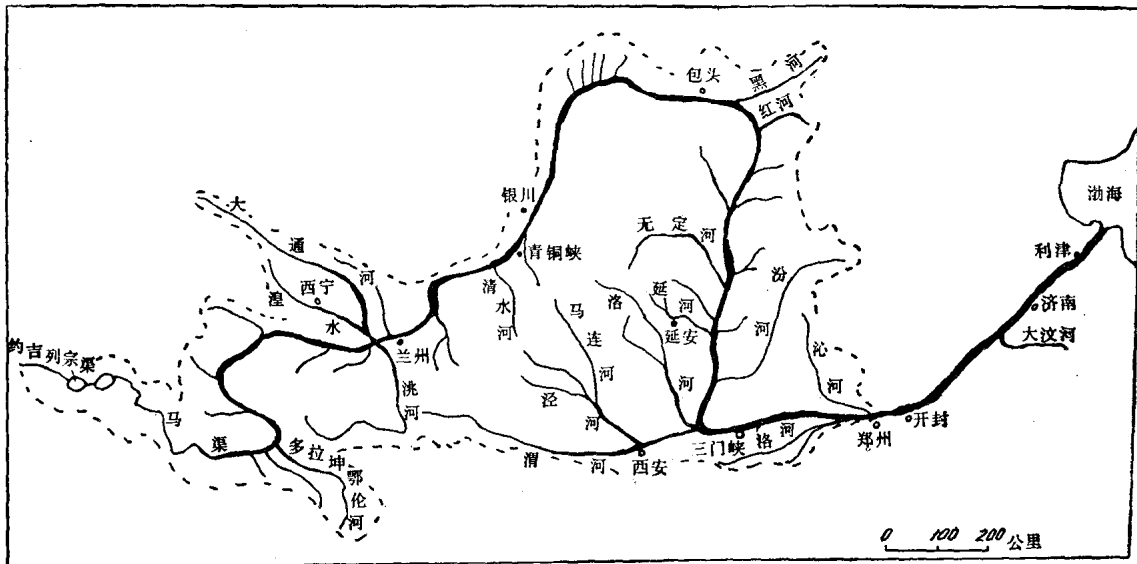


图1-2 黄河水系略图

河流的干流上，开始具有表面水流的地方称为河源，它可能是溪涧、泉水、冰川、湖泊或沼泽。河流流入海洋、湖泊或其它大河的地方称为河口。从河源到河口，可以按河床的地质、形态和水文特征，将河流全长分为上游、中游和下游三段。

上游是河流的上段，紧接河源，多处于深山峡谷中，坡陡流急，流量小而水位变化大，河谷侵蚀强烈，常有急滩或瀑布，河底纵断面呈阶梯形。中游两岸多为丘陵地区，比降较缓，岸边出现沙滩，冲淤变化不明显，河床较稳定，河底纵断面也较平整。下游是河流的最下一

段，一般处于平原区，河槽宽阔，水量较大，比降和流速都很小，淤积作用明显，多浅滩和河湾。

我国大多数河流最终都流入海洋，称为外流河。但在青藏高原、新疆和内蒙等地，有一些河流，由于河水强烈地蒸发和河床的渗漏，河流逐渐消失在沙漠和草原之中；还有一些河流，注入内陆湖而终止。这些河流都称为内流河（或内陆河）。对于中小河流和内流河，往往河流的上、中、下游是不易区分的。

河流的形态一般用河流的平面、纵断面和横断面来表达。沿河流上下游各断面最大水深点的连线称为河流的中泓轴线。沿河流中泓轴线的断面称为河流的纵断面，可以表示河流沿程的变化情况。河段两端水面的高程差称为落差，中泓轴线上单位长度内的落差称为比降，一般记作 i ，其大小一般用千分数或万分数表示。比降随很多因素的影响而不断变化，同一河段内各次洪水的比降也不相同；河口附近的比降还受泥沙淤积，下游潮汐倒灌及大河顶托等因素的影响。

垂直于流向的断面称为河流的横断面，它的一般形状如图 1-3 所示。河床由河槽与河滩两部分组成，洪水期有底沙运动的部分称为河槽，无底沙运动的部分称为河滩。河滩上通常长有草类、树木或农作物，被洪水淹没的次数较少。河槽几乎每年都被洪水淹没，又有底沙运动，植物不易生长。河槽中较高的可移动的泥沙堆称为边滩，其余的部分称为主槽。只有

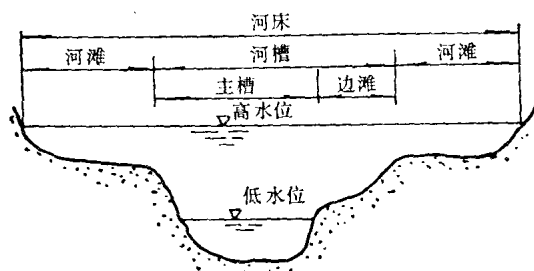


图1-3 河流横断面的一般形状

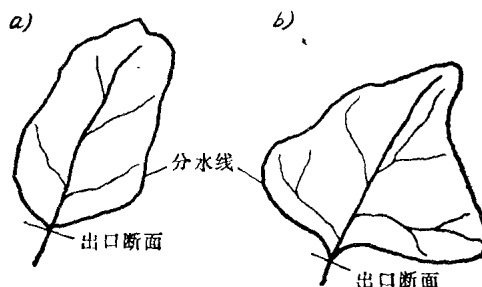


图1-4 流域的形状示意图

河槽而无河滩的断面称为单式断面，有河槽又有河滩的断面称为复式断面。

2. 流域和流域特征

河流中的水是从两岸坡面上汇集起来的，河流的集水区域称为流域（或汇水区）。流域的周界，即相邻流域的分界线称为分水线；分水线通常都是流域四周的山脊线，因而也称为分水岭。流域分水线所包围的平面面积，称为流域面积，单位以平方公里计。河流的地面水和地下水往往具有不同的分水线，但地下水分水线不易找到，故一般都以地面水分水线为准。

流域是河水补给的源地，流域的特征对河川径流的形成和变化过程有很重要的影响。流域特征主要可分为两类：

1) 几何特征 主要是流域的面积大小和形状。流域面积大小直接影响水量的大小和径流过程。在相同的自然地理条件下，流域面积越大径流量就越大，但是流域对径流变化的调节作用也越大，因而洪水的涨落相对地较为平缓。流域面积越小虽然径流量越小，但洪水涨落急促。流域的形状是水流从流域各部分流至出口断面所需时间长短的主要影响因素，而且对径流变化过程也有很大影响。若流域平面形状窄而长（如图1-4a），则出口断面流量就小，径流过程变化较小；如果流域呈扇形（如图1-4b），则流量大，径流过程时间短。

2) 自然地理特征 主要是流域的地理位置和地形。流域的地理位置一般用流域中心和周

界的经纬度来表示。由于降雨和蒸发等各种气候因素都是随地理位置而变化的，因此一切水文特征都与地理位置有密切关系。流域的地形一般以流域平均高程和平均坡度来表示。流域平均高程对降雨和蒸发都有影响。流域平均坡度是决定汇流时间的重要因素，坡度大则汇流快，土壤入渗量减少，而径流量增大。

流域平均坡度的确定，可以利用地形图按下式计算

$$\bar{J} = \frac{\Delta H(0.5L_0 + L_1 + L_2 + \dots + 0.5L_n)}{F} \quad (1-1)$$

式中：

\bar{J} ——流域平均坡度；

ΔH ——地形图上相邻等高线间的高差；

F ——流域面积；

$L_0、L_1、L_2 \dots L_n$ ——地形图上流域面积 F 范围以内各条等高线的长度。

另外，流域内的地质、土壤、植被、湖泊等，也都是流域内的自然地理因素，与径流形成都有密切关系。

三、河川径流的形成

流域内的降水，一部分形成地面径流，一部分渗入地表土壤，在含水层内形成地下径流。地面径流和地下径流汇集在河槽中成为河川径流。暴雨洪水主要来源于地面径流。地下径流对于大河枯水期的水量补给有重要意义。地面径流的形成过程，即从降雨到出口断面形成径流的过程，可分为四个阶段，图1-5为径流形成过程示意图。

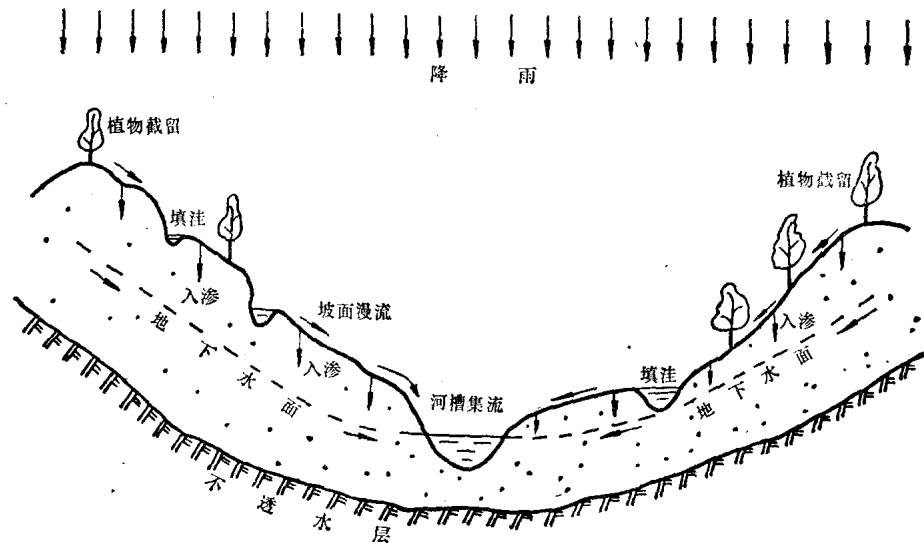


图1-5 径流形成示意图

1. 降雨过程

降雨是形成地面径流的主要因素，降雨的多少决定径流量的大小。降雨量是以多少毫米的降雨厚度来表示，单位时间的降雨量称为降雨强度，记作 a ，单位是毫米/分或毫米/时。降雨过程中，降雨强度都是开始较小，以后逐渐增大，最后又逐渐减小为零。降雨过程可用降雨强度随时间的变化过程线或降雨累积曲线来表示（见图1-6）。

2. 流域蓄渗过程

降雨开始时并不立即形成径流。首先被流域内生长的草木及农作物拦截一部分，不能落到地面上，这种现象称为植物截留。落在地面土壤上的雨水，被干旱的土壤吸入土中，称为入渗。降雨开始时入渗较快，随着降雨量的不断增加，土壤中的水分逐渐趋于饱和，入渗速度减慢，最后达到一个稳定值，称为稳定入渗。另外，还有一部分水被蓄留在坡面的坑洼里，称为填洼。植物截留、入渗和填洼的整个过程，称为流域蓄渗过程，在这个过程中是不会产生径流的。

3. 坡面漫流过程

当流域蓄渗过程基本完成以后，就有水沿着坡面流动，称为坡面漫流。实际上当降雨开始后，有些地方首先完成了蓄渗而出现漫流，这是局部漫流。随着降雨的不断增加，完成蓄渗的面积越来越大，出现漫流的面积也越来越大，最后达到全面漫流。

4. 河槽集流过程

坡面漫流的水流入河槽后，顺着河道由小沟到支流，由支流到干流，最后到达出口断面，这个过程称为河槽集流。河槽集流的长度和历时可以是很长的。集流过程中洪水在河槽内以洪水波的运动形式传播到下游。河槽集流初期，大小河道中都灌满了水，当降雨结束后，蓄积在河道中的水又慢慢向下游流去，这样就使下游的流量过程变得平缓了，这种作用称为河槽调蓄作用。实际计算中，常把坡面漫流和河槽集流两个过程结合起来研究，称为流域汇流过程。

降雨、蓄渗、坡面漫流和河槽集流是从降雨开始到出口断面产生径流所经过的全部过程，它们在时间上并无截然的分界，而是同时交错进行的。

四、河川径流的影响因素

从径流形成过程来看，影响径流变化的因素可分为气候因素和下垫面因素两类。

1. 气候因素

1) 降雨 降雨是空气中的水汽随气流上升时，因冷却而凝结成水滴降落到地面上的。我国大部分河流的洪水都是降雨形成的，降雨是径流形成的主要因素。降雨强度、降雨历时、降雨面积对径流量及其变化过程都有重大影响。降雨强度大时，因雨水来不及入渗而流走，会加大径流量；降雨强度小，雨水大部被土壤吸收而使径流量减小。降雨历时长，降雨面积又大，产生的径流量必然很大。大流域内的降雨，在地区上的分布是很不均匀的，流域内一次降雨强度最大的地方，称为暴雨中心。暴雨中心在流域的下游时，出口断面的洪峰流量就大些，暴雨中心在流域的上游时，则洪峰流量要小些。一次降雨的暴雨中心是不断移动的，当暴雨中心从上游向下游移动时，出口断面的洪峰流量就大些，反之则洪峰流量要小些。

2) 蒸发 在一定的降雨条件下，蒸发量越大，径流量就越小。影响蒸发的主要因素是气

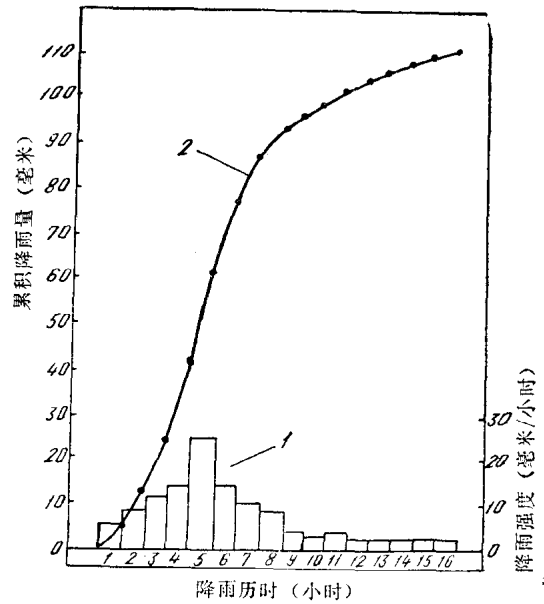


图1-6 一次降雨过程线和累积曲线
1-降雨过程线；2-降雨累积曲线

温、湿度、风速和蒸发面积。

2. 下垫面因素

流域的物理性质和特征，相对于气候因素来说称为下垫面因素。包括流域的几何特征和自然地理特征，即流域的大小、形状、地理位置、地形、土壤、地质、植被、湖泊和水利化措施等。

流域的地理位置直接影响降雨量的多少，地形对降雨和蒸发都有影响，流域的大小、形状与径流量有直接关系。土壤与地质因素决定着入渗和地下径流的状况。植物枝叶可截留降雨，尤其是植物根系贮藏了大量水分，可改造土质和气候。湖泊有贮存水量调节径流的作用。

另外，人类活动对河川径流也有重要影响。封山育林、修梯田和水土保持，使土壤吸收的水分增加，变成地下径流，可减少汛期水量和洪峰流量，增加枯水期的水量。修建水库，除了对河水有蓄洪调节作用外，水的蒸发面积增大，可使蒸发量增大。

黄河与闽江水量的比较，可清楚地说明上述各因素对河川径流的影响。黄河流域面积仅次于长江而居我国第二位。但流域的极大部分处于我国西北部干燥或半干燥地带，降雨量小，年平均降水量约400毫米，地表蒸发量大；又有将近一半地区为渗水性强的黄土层，因而黄河流域产生的径流量极为贫乏。它的年径流量只有长江的二十分之一，还不及流域面积仅为黄河的十三分之一的闽江。闽江流域位于武夷山脉迎风面一侧的福建省，为亚热带气候，降雨量大，降雨历时长，降雨面积也大，年降雨量达1000至2300毫米；福建省在夏秋季节又受台风频繁侵袭，降雨强度极大。气候湿度大，蒸发不强烈；福建多山，入渗量小，汇流快。流域的气候因素和下垫面因素恰好与黄河相反，因而闽江成为我国水量最丰沛的河流之一。

五、河川径流的一般规律

河流中的水量一般用流量或水位来表示。水位是指水面的高程，单位以米计，是由国家的标准基面算起的，例如黄河流域多采用黄海基面，长江流域多采用吴淞口基面。流量是单位时间内通过某一河流横断面的水体积，一般以米³/秒计。

河流的水位和流量都是随时间不断变化的，水位和流量随着时间变化的曲线，分别叫做水位过程线和流量过程线（见图1-7）。曲线的上升部分为涨水段，曲线的下落部分为退水段，曲线最高峰处的流量称为洪峰流量，曲线最高峰处的水位称为洪峰水位。一涨一落称为一次洪峰。把一年中每天的流量点绘成过程线，称为年流量过程线，这条年流量过程线的最高峰为年内最大洪峰流量，称为年最大流量。

通过对各地水文站多年观测的流量、水位等水文资料进行分析，可发现河川径流和水文现象都具有下列一般规律：

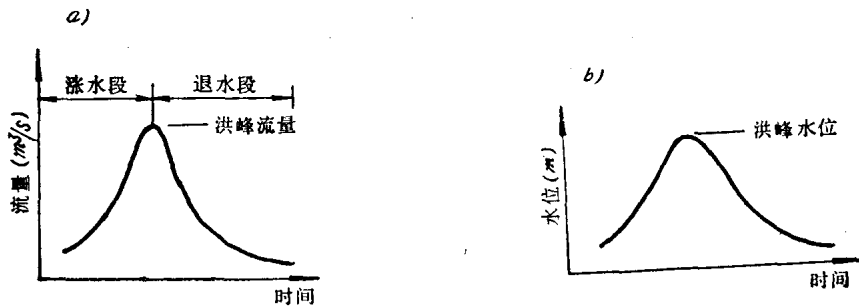


图1-7 过程线示意图
a) 流量过程线，b) 水位过程线

1. 周期性

径流是以年为周期而循环变化的，因此，可用“年”为单位来研究径流的变化规律。一年中每一条河流都存在着洪水期、平水期和枯水期。对于某些河流，还存在着丰水年、平水年和枯水年的年际周期性变化规律。

2. 地区性

河流流域的气候因素和下垫面因素，由于地理位置不同而具有不同的特点，使河川径流的变化也具有相应的地区性。一方面水文现象在不同地区具有不同的表现，必须分别不同地区进行研究；另一方面，气候和下垫面因素在区域上是逐渐变化的，一般相邻地区的水文现象是基本上相似的。因而，进行水文分析时可将自然条件类似的邻近地区的资料作为参考和补充。

3. 不重复性

影响径流的因素很多，各因素间的联系是错综复杂的，虽然径流和一切水文现象的变化在总体上存在着年循环的规律，但每一年的具体水文现象总是不完全相同的，任何河流每年的水位或流量过程线都不可能是完全一样的。

六、我国河流的水量补给和年内流量变化

我国河流除西北地区的内流河靠高山积雪为水源以外，其它地区的河流主要靠雨水补给。按水量补给的来源不同，基本可分为雨源、雨雪源和雪源三类：

1. 雨源类

秦岭、淮河以南直至台湾、海南岛、云南的广大地区的河流都属于这一类，其特点是一年内径流量的变化完全与降雨变化相一致。一般夏天雨季来临，流量开始上涨，入秋以后，开始退落。汛期较长、水量丰沛。

西部和北部地区的河流以秋汛为主，东南沿海地区常因台风影响而发生大洪水，多出现夏汛。年流量过程线呈双峰或多峰型，图1-8是长江某水文站1954年和1955年日平均流量过程线。将两年流量过程线进行比较，便可清楚地看出流量变化的年周期性和不重复性。这两条流量过程线是多峰肥胖型的曲线，表明汛期长、水量大，但是水情变化平缓，这是由于该水文站以上的长江流域面积十分广阔，对水情变化有很大的调节作用而造成的。

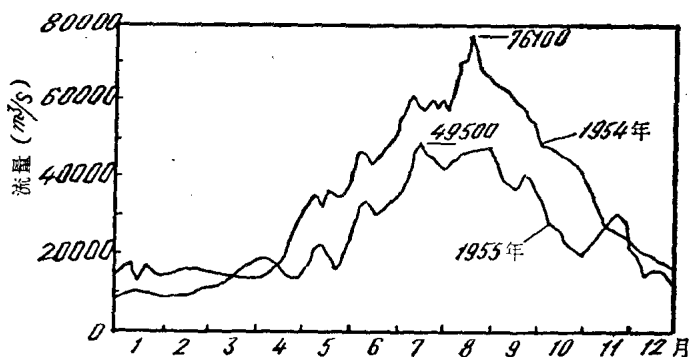


图1-8 长江某水文站1954年和1955年流量过程线

这两条流量过程线是多峰肥胖型的曲线，表明汛期长、水量大，但是水情变化平缓，这是由于该水文站以上的长江流域面积十分广阔，对水情变化有很大的调节作用而造成的。

2. 雨雪源类

华北、东北地区的河流每年有两次汛期，年流量过程线呈双峰型。三、四月间由于融雪形成春汛，水量虽不大，但在下游常出现冰塞，对沿河桥梁和水工建筑物威胁很大。春汛以后有一段枯水期，入夏之后随着降雨的增多，在6至9月间形成夏汛和秋汛。图1-9是黄河某水文站的流量过程线。

3. 雪源类

西北地区新疆、青海等地的河流，水量主要由融雪补给，每年四、五月间气温上升，河

水开始上涨，六、七月间达最高峰，以后气温下降，河水也随着逐渐退落。年流量过程线呈单峰型，图1-10是额尔齐斯河某水文站的流量过程线。另外，有的地区如天山北部，夏季降雨可达50至350毫米，也能补给一部分水量，但仍以融雪为主。

我国幅员辽阔江河众

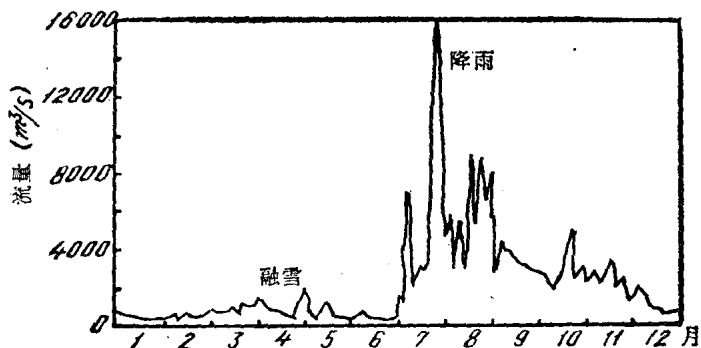


图1-9 黄河某水文站流量过程线

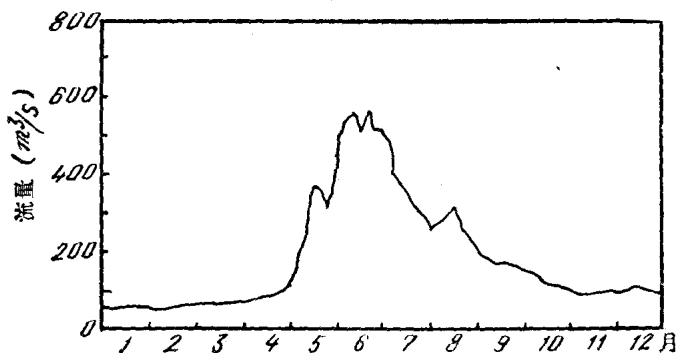


图1-10 额尔齐斯河某水文站流量过程线

多，其中三分之二是外流河，绝大部分注入太平洋，主要有长江、黄河、黑龙江、珠江四大水系。另外，雅鲁藏布江和怒江注入印度洋；额尔齐斯河注入北冰洋。内流河主要分布在我国北部和西部。由于各地区自然地理条件相差很大，各地区河流具有不同的特性。外

流河以秦岭、淮河为分界，秦岭以北的河流水量适中，但年内分布不均匀，随季节变化很大，夏季水量充沛，冬季水量较少，有冰期，输沙量大，上游冲刷严重，下游经常淤积。秦岭、淮河以南的河流，水量充沛，支流众多，经冬不冻，表土冲刷较轻，泥沙较少。西南横断山脉地区的河流，发源于青藏高原，奔流于山岭峡谷，水量大，水流急，经冬不冻。我国北部和西北部的内流河，一般在高山融雪季节水量较大，平时往往成干涸河流。

第二节 泥沙运动

河床中修建桥梁以后，改变了水流的天然边界，引起了水流内部结构的变化和相应的泥沙运动，因而造成桥下断面的冲刷及建桥河段各部分的冲淤变形。为了解决桥梁孔径的布设、墩台冲刷的防护、桥位河段的河床演变等问题，需要了解泥沙运动的基本知识。

一、泥沙的定义、分类和主要特性

1. 定义

组成河床和随水流运动的土壤叫做泥沙。河床中的土壤孔隙内完全被水充满，失去了毛细管力，颗粒稍受外力就会发生运动。通常所说的河床泥沙是一个广义的名称，除了细粒土壤以外，还包括河床内静止和运动的大小砾、卵石。河流泥沙的来源是流域中的土壤。如黄河中游通过黄土高原，使中下游河水中含有大量泥沙，年平均输沙量竟达15.9亿吨，为长江的三倍多。

2. 泥沙的分类

根据泥沙在河槽内的运动方式,可分为推移质(又称底沙)和悬移质(又称悬沙)两类。推移质是指粒径较粗,重量较大的泥沙,在一定水力条件下,它不能在水中悬浮移动,而在河床底面上滚动、滑动或跳跃着向前移动。悬移质是粒径较细,重量较轻的泥沙,它悬浮在水中前进。另外,河床中比底沙更粗的泥沙,在河床底面静止不动,称为床沙。悬沙、底沙和床沙的粗细粒径分界是相对的,是随流速大小而变化的。山区急流中卵石有时也能悬移,而在平原区河流中甚至连细沙也难挟动。

根据泥沙在河床冲淤变化过程中所起的作用,可把泥沙中颗粒较粗,随着水力条件的变化,时而悬移时而推移或只在河底滚动、滑动和跳跃前进的泥沙,称为造床泥沙或造床质。这类泥沙对河床形态的塑造起着决定性的作用。比造床质颗粒更细的泥沙,总是悬浮在水中而随着河水流向下游,不会沉到河底参与造床的过程,这种泥沙称为非造床泥沙或冲泻质。

3. 泥沙的主要特性

1) 泥沙的几何特性 河床泥沙是由大小不等、形状不一的土壤颗粒所组成。泥沙的几何特性主要是泥沙颗粒的大小和形状,泥沙群体颗粒大小的代表值和其中不同粒径泥沙所占的比例。

泥沙颗粒的大小通常用粒径来表示,记作 d , 单位一般为毫米。由于颗粒的形状极不规则,习惯上都以“等容粒径”来表示,简称粒径,它的数值相当于泥沙颗粒同体积的球体直径。

$$d = \left(\frac{6W}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1-2)$$

式中: d ——泥沙的等容粒径;

W ——泥沙颗粒的体积。

对于大颗粒的卵(砾)石可直接按式(1-2)计算等容粒径 d ; 对于粒径大于0.06毫米的泥沙,一般采用筛分法,依标准筛的孔径来确定泥沙的粒径;对于细颗粒泥沙可用沉速法,根据泥沙在静水中下沉速度与粒径的关系测定粒径。实际工作中采用筛分法和沉速法测得的泥沙粒径,严格地讲并不能满足“等容粒径”的要求,但是用这些方法得到的泥沙颗粒的相对大小是具有实用意义的,因而有着广泛的应用。

泥沙群体的几何特性用粒径级配曲线和代表粒径来表示。泥沙样品通过粒径筛分后,称出各级粒径 d_i 的重量 ΔP_i , 算出它们各占总重量的百分数 $P_i\%$ 。以累积重量百分数 ΣP_i 为纵坐标, 粒径 d_i 为横坐标, 绘出粒径级配曲线, 简称粒配曲线, 如图1-11所示。粒配曲线可画在等分格坐标纸上(如图1-11 a), 也可画在横坐标为对数分格的半对数格纸上(如图1-11 b)。在粒配曲线上可以求出泥沙群体内任何重量百分数的粒径数值。

泥沙群体的代表粒径常用中值粒径或平均粒径表示。累积重量百分数为50%的粒径称为中值粒径(或称中间粒径、中径), 记作 d_{50} , 表示小于或大于这

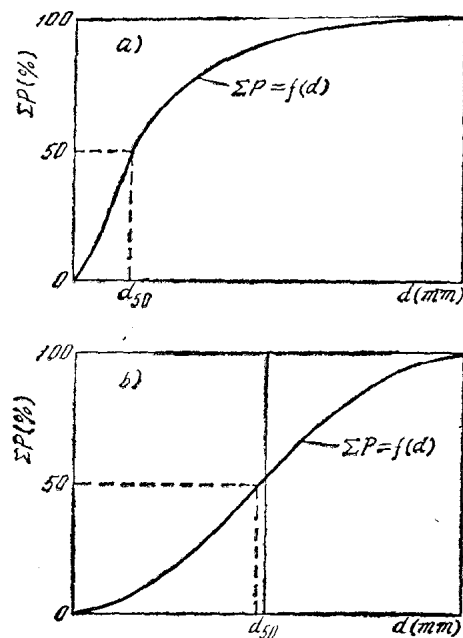


图1-11 泥沙粒径级配曲线
a) 等分格纸; b) 半对数格纸

种粒径的泥沙各占泥沙总重量的一半。在泥沙研究中常用中径作为泥沙群体的代表粒径。目前,我国在桥梁冲刷及孔径计算中多用平均粒径作为泥沙群体的代表粒径。泥沙的平均粒径 d_i (毫米) 为

$$d_i = \frac{\sum d_i P_i}{100} \quad (1-3)$$

或

$$d_i = \frac{\sum d_i \Delta P_i}{\sum \Delta P_i} \quad (1-4)$$

2) 泥沙的重力特性 泥沙的重力特性可用单位体积内泥沙颗粒的重量来表示,称为重率或么重,记作 γ_s , 相当于国际制单位的重度,其单位为牛顿每立方米(牛/米³)。泥沙的重率(重度) γ_s 一般为2.6至2.7吨/米³(2.6×9.8至2.7×9.8千牛/米³),无实测资料时,可采用 $\gamma_s = 2.65$ 吨/米³(2.65×9.8千牛/米³);泥沙颗粒在水中的重率为 $\gamma_s - \gamma$, 其中 γ 为水的重率, $\gamma = 1$ 吨/米³(9.8千牛/米³)。

原状沙样,包括泥沙颗粒和颗粒间的孔隙,以及孔隙内的水分与空气。沙样烘干后的重量与原状沙样的体积之比值称为干容重,干容重越大,泥沙越密实。沙样内孔隙的体积与原状沙样的体积之比值称为孔隙率,孔隙率越小,泥沙越密实。

3) 泥沙的水力特性 泥沙的水力特性,由泥沙在静止的清水中均匀下沉的速度来表示,称为沉速或水力粗度,记作 ω ,常用的单位为厘米/秒。

沉速反映泥沙在水中运动的综合特性,组成河床的泥沙,沉速越大,抗冲性就越大;随水流运动的泥沙,沉速越大,沉淀的倾向就越强。因此,沉速是反映河床冲淤可能性的一个重要参数。

在实验室可以直接测出沉速 ω 的准确数值。对于颗粒极细,不能用筛分法确定粒径的泥沙,可测出沉速 ω ,再由计算球体沉速的司笃克斯(G·G·Stokes)公式,算出与实测 ω 值相当的球体直径 d 。

$$d = \sqrt{\frac{18\nu}{g\left(\frac{r_s}{r} - 1\right)}} \omega \quad (1-5)$$

式中: ν ——运动粘滞性系数(国际制单位称为运动粘度);

g ——重力加速度;

其它符号,意义同前。

由此看来,泥沙的沉速 ω 在一定意义上反映了泥沙颗粒的粗细程度,所以沉速又称为水力粗度。

静水中的泥沙颗粒,在有效重力($\gamma_s - \gamma$)的作用下,开始以加速度下沉,在下沉过程中泥沙颗粒受到水流的阻力,阻力随沉速的加快而增大。当水流阻力增大到与颗粒的有效重力相等时,达到力的平衡。泥沙便以不变的均匀速度下沉,即为沉速 ω 。根据颗粒受到的流体阻力与有效重力相等的平衡条件,可以导出沉速 ω 的计算公式。

固体颗粒在流体中下沉时的运动状态和它所受到的流体阻力是十分复杂的流体力学问题。由于不同的研究者对阻力的处理方法不同和实验资料的差异,以及泥沙形状的复杂性,目前有很多不同的计算公式(可参阅有关书籍)。