

张俊华 许雨新 张红武 朱太顺
王严平 陈书奎 曹丰生 编著

河道整治及 堤防管理



HEDAO
ZHENGZHI JI DIFANG GUANLI

黄河水利出版社

HDZZJD FGL

内 容 提 要

本书是以水利部举办的“黄河流域地、市、县水利局领导干部高级研讨班”的讲义为基础，进一步充实近些年最新研究成果后撰写成的。包括河床演变的基本原理、河道整治规划及整治措施、防洪规划与堤防、堤防险情与抢险、黄河河道整治的模型试验等内容。

可供从事河床演变及河道整治、水力学及河流动力学以及相关专业的科技工作者、高等院校师生和堤防河务管理人员阅读和参考。

责任编辑：胡志扬

封面设计：谢 萍

封面摄影：殷鹤仙

ISBN 7-80621-259-0



9 787806 212592 >

ISBN 7-80621-259-0/TV · 141

定 价：25.00 元

河道整治及堤防管理

张俊华 许雨新 张红武 朱太顺 王严平 陈书奎 曹丰生 编著

黄河水利出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

河道整治及堤防管理/张俊华, 许雨新等编著. - 郑州:
黄河水利出版社, 1998.11

ISBN 7-80621-259-0

I. 河… II. ①张… ②许… III. ①河道整治②堤防-管
理 IV. TV85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 34074 号

责任编辑: 胡志扬

封面设计: 谢 萍

责任校对: 赵宏伟

责任印制: 温红建

出版发行: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编: 450003

印 刷: 黄河水利委员会印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 12.625

版 别: 1998 年 11 月 第 1 版

印 数: 1-5000

印 次: 1998 年 11 月 郑州第 1 次印刷

字 数: 220 千字

定价: 25.00 元

序

我国幅员辽阔，河流众多，气象复杂。从我们的始祖在这块土地上栖息繁衍至今，自然灾害史不绝书，为害最大的即是水灾。据不完全统计，从公元前 206 年到公元 1949 年的 2 000 多年间，我国发生较大的水灾 1 092 次，1931 年~1939 年间，长江、黄河、淮河、汉水、海河流域都曾发生过大水，江河横溢，淹没广大的乡村和城镇，成千上万人流离失所，无家可归，震惊了世界。一部中华民族生存发展史，也是利用自然，改造自然和同自然灾害作斗争的历史。频繁的洪水灾害对于中华民族的生存和发展一直是一个严重的威胁，因此，兴修水利，特别是大江大河治理成为历代安邦治国的一个重要课题，大禹治水和女娲补天之类的远古神话传说，说明了先民们总是虔诚地把中国水利事业的开端归功于一个英雄神灵的仁慈和他的自我牺牲的行为，同时也反映了先民生存的艰辛和抗御洪水灾害的毅力。

据文献记载和传说推测，大约在公元前 21 世纪，黄河流域就可能有一些原始的治水工程，防御洪水的黄河大堤早在春秋战国时期就已出现。该时代各国陆续在战争多发的边境上利用河流的堤防加以连接和加固扩建，形成防御体系，规模比较大的和比较长的就成为我国早期的长城了，亦即长城实际起源于堤防。

几十年来，国家一直把水利建设放在重要位置，就连昔日千疮百孔的黄河大堤，而今也变成了闻名于世的“水上长城”，并成为河道整治主要建筑物——丁坝的“王国”。然而，我们远没有摆脱洪涝灾害的困扰，江河洪水依然是中华民族的心腹之患。1998 年长江、松花江、嫩江等河流的洪水，再次向人们敲响了警钟，同时也提供了深刻的教训。

张俊华、许雨新等同志，在水利部及国家自然科学基金（项目编号 59890200）资助下，将所写的“黄河流域地、市、县水利局领导干部高级研讨班讲义”，进一步充实成《河道整治及堤防管理》一书，显然对于江河整治和抗洪抢险是很有意义的。该书书名及内容主要参照了水利部有关部门制定的培训计划，包括河床演变的基本原理，河道整治规划及整治措施，防洪规划与堤防、堤防险情与抢险等方面，最后补加的“河道整治模型试验”一章内容也是必要的。

该书的特点，除了广泛总结前人成就和工程经验以外，还融入了大量的

最新研究成果，特别是吸收了作者们多年来大量的试验资料和由此得出的规律性的认识。书中很多内容十分新颖，是一般教科书中所没有的。虽然有些观点和方法尚须在实践中进一步检验或完善，但从开阅读者思路的角度看，都是十分有益的。书中虽以黄河为重点，但并非局限于此，仍全面地阐述了一般河流的演变规律、整治措施、工程管理及险情抢护的知识。我们相信，本书的问世，将对更多的工程技术和科研人员掌握河道整治和堤防管理知识，并运用于水利建设事业和教学、科研工作中有很大帮助，对我国江河治理也有积极作用。

李保如

1998年10月于郑州

目 录

• 1 •

第八节	防漫溢抢险	(158)
第九节	堤防隐患探测和险情快速探测技术	(160)
第五章	黄河河道整治模型概况	(165)
第一节	黄河泥沙模型相似条件	(165)
第二节	早期的黄河河道整治模型试验举例	(178)
第三节	近期黄河河道整治模型试验举例	(183)
第四节	黄河丁坝局部冲刷模型试验	(189)



第一章 河床演变的基本原理

在自然情况下，河流总是处在不断的变化和发展过程中。当河流上兴建了过河建筑物或进行疏浚、整治以后，河床演变将变得更加迅速和剧烈。为了合理地利用和成功地整治河道，必须掌握河床演变的基本规律。

河床演变是一个三元的问题，它的边界条件极其复杂而多变，在现阶段还不可能完全从数学上来进行严格的求解，往往只能借助于定性的描述和逻辑的推理方法来进行分析研究。

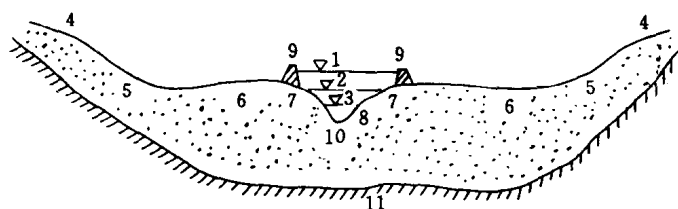
本章主要介绍河床演变的概念、不同类型河床演变的一般规律以及河相关系式等基本内容。

第一节 河流形成和演变的概念^[1~3]

河流是指陆地上经常有水流动的泄水洼槽，它是水流和河床长期作用的产物。河水的来源，主要是降雨和融雪。降雨首先汇集在地球的低洼处，然后在重力的作用下流动，形成水流，水流在流动过程中侵蚀地面，搬运泥沙，塑造平原。由于水流的侵蚀和搬运作用，将使小沟水渠逐渐发展成为小河，小河在接纳各级支流来水后，逐渐发展成水面宽阔、汹涌澎湃的大江大河。正如《劝学篇》所言，“涓涓细流，汇成江河”。

一般根据河流的地理位置、自然条件，可将其分为山区河流和平原河流。流经地势高峻、地形复杂山区的河流称为山区河流；流经地势平坦、土质疏松平原地区的河流称为平原河流。由于地理位置和自然条件的差异，二者各自有着不同的特性。一般来说，山区河流的发育过程主要是水流的侵蚀过程，过水断面常呈现发育不完全的V型或U形河谷，河谷比降大，流态险恶，河床形态极不规则，水位和流量的变幅大，河流中泥沙主要以推移质的形式出现，河床变形缓慢；而平原河流的发展过程则主要表现为泥沙的堆积作用，河谷断面为发育完全的河漫滩河谷（如图1-1），河谷比降平缓，水流较为平稳，河流中的泥沙主要以悬移质运动为基本运动形式，河床边界由中细沙构成，水流和河床的相互作用十分明显，河床变形也比较大。

河流可分为河源、上游、中游、下游及河口五段。河源是指河流的发源地，可以是小溪、沼泽和湖泊，一般河流多发源于山地或高原。紧接河源的河流上段称为上游，上游一般流经山地或高原，具有山区河流的特性。在上



1、2、3 洪水、中水、枯水位；4 谷坡；5 谷坡与谷底交界处；6 河漫滩；
7 滩唇；8 边滩；9 堤防；10 冲积层；11 原生基岩

图 1-1 平原河流的河谷形态

游以下的河流中段称为中游，一般流经丘陵或平原地区，它的特征是：河床比降较小，一般无急流、瀑布出现，水力侵蚀下切作用减弱，并转向两侧侵蚀，河身逐渐展宽，较粗的泥沙开始沉积，两岸出现河滩。河流的下段被称为下游，多位于冲积平原地区，具有平原河流的特性。河流的终点称为河口，大的河流大都汇入海洋，其河口称为海洋河口，较小的河流大多流入湖泊或其他河流，有的河流则消失在沙漠里。在河流注入海洋的地方经常出现大量泥沙淤积，特别是黄河河口地区，河道处于淤积抬高、延伸、摆动改道演变之中，形成三角洲。河口的演变不仅受到河流特性的影响，还受到海洋水文因素作用，使河口处的水流及泥沙运动的图形更加复杂^[4]。

河流有共性也有各自的特有个性。由于水沙条件的变化、地质情况的复杂，而构成了各种类型的河流。河床演变则是指河道在自然情况下或受到人类活动干扰时所发生的变化。和其他物理过程一样，河床演变可从时间和空间两个方面进行衡量。在空间上，河道主要的演变形式有两种：一是河道沿流程在纵深方向上的冲刷和淤积，称为纵向变形；二是河道在横向上发生的冲刷和淤积变化，称为横向变形。河道随时间的变化过程也有两种形式，即单方向变形和复归性变形两种形式。如黄河在天然情况下，从长时段来看，以单向淤积为主，逐年抬高；而在三门峡水库建成初期，下泄清水，又以单向冲刷下切为主。这都是一个时期内的单向变化。在三门峡水库改为蓄清排浑运用方式后，汛期泄水排沙，非汛期蓄水拦沙，下泄清水，下游河道汛期可能淤积抬高，非汛期则冲刷下切，这又是复归性变化^[5]。但是在大多数状况下，河道纵向变形与横向变形、单方向变形与复归性变形往往交织在一起，构成异常复杂的演变图形。

河床演变就其发展方向而言，可分为渐进的单向变形和循环的往复变形两类。渐进的单向变形是指河床在相当长的时期内作单一的冲刷或淤积的变

化。如上游河床不断下切，下游河床不断抬升，河口三角洲不断淤积、延伸等。循环的往复变形则是指在较短时期内河床作循环往复的冲淤变化。如浅滩在一年内或多年期间的冲淤变化；河湾在若干年内发生、发展和消亡；汉道在若干年内兴衰交替等。在一般情况下，第一类变形的过程非常缓慢，而第二类变形则往往进行得异常迅速，对人类经济活动影响较大，是河床演变研究的主要对象。

河床演变就其影响范围而言，可分为长河段变形和短河段变形两类。长河段变形是指在较长距离内河床的普遍冲刷和淤积。短河段变形也称为局部变形，是指在较短距离内局部河床的冲淤变化，如个别河湾的演变、汉道的兴衰、浅滩的冲淤等。

第二节 河床演变的基本原理

河床演变是水流与河床相互作用的反映。一条河流包括水流与河床这两个矛盾着的方面，它们既相互依存，又相互制约。一定的河床形态和河床组成，决定了一定的与其相适应的水流条件；而一定的水流条件，又使河床形态和河床组成产生一定的与其相适应的变化，二者的相互依存和排斥，推动着河流经常不断地变化和发展。河道泥沙发生淤积和冲刷的基本原因是由于输沙的不平衡，即当上游来沙与河段的水流挟沙能力不相适应时，河床发生变形。例如当上游的来沙量小于本河段的水流挟沙力时，则来沙量不能满足水流挟沙力要求，因而产生河床冲刷，将河床上泥沙冲起，并带向下游，使本河段河床下降。河床的纵向变形是由于纵向输沙不平衡引起的，河床的横向变形则是由于横向输沙不平衡引起的。

河道由于输沙不平衡所引起的变形，在一定条件下，往往朝着使变形停止的方向发展，即河床淤积时，其淤积速度将逐渐减小，直至淤积停止；河床发生冲刷时，其冲刷速度也将逐渐减少，直至冲刷停止。这种现象即为河床和水流的“自动调整”作用^[6]。在河床冲刷或淤积的发展过程中，通过调整河床组成、水深、比降、河宽，使本河段的水流挟沙力与上游的来沙条件趋于相适应，从而使冲刷或淤积向其停止的方向发展。由于上游来水来沙不断变化，河床和水流的相适应性也随时改变，来水来沙条件的改变，将必然引起输沙的不平衡，因而平衡状态只是暂时的、相对的，不平衡性是绝对的，因而河床演变不会停止。

影响河床演变的因素是极其复杂的，但对任何一个具体河段而言，主要

有以下四个方面：

- (1) 河段的来水量及其变化过程；
- (2) 河段的来沙量、来沙组成及其变化过程；
- (3) 河段的河道比降及其变化情况；
- (4) 河段的河床形态及地质情况。

在上述四个因素中，对于冲积平原河流来说，在一般情况下，后两个因素往往是由前两个因素派生的^[6]。冲积平原河流的河道比降由河流本身的堆积作用所形成，它取决于来水来沙条件。来沙量大的多沙河流，其河道比降一般较大，来沙量小的少沙河流，其河道比降一般较小。冲积平原河流的河床形态和地质组成，同样是由河流本身的堆积作用造成的，因而亦决定于来水来沙条件，多沙河流与少沙河流的河床形态相差甚多，河床的地质组成也迥然不同。由此可见，对于冲积平原河流来说，在上述四个因素中，前两个因素起主导作用，表明在水流与河床这个矛盾的两个方面中，水流（指挟沙水流）起主导作用，河道的演变发展，主要由取得支配地位的水流所决定，即主要是来水来沙条件决定的。在分析冲积河流的河床演变中，首先应对河段的来水来沙条件加以考虑。对于山区河流来说，第(4)个因素，即河床形态及地质情况往往起主导作用。前两个因素取决于流域的产水产沙条件，即取决于流域的气象、地理和地质等条件。黄河上、中游流经不同地区，其来水来沙条件差别很大^[7]。来自河口镇以上的洪水和来自三门峡以下支流来水，含沙量少，有利于下游河道冲刷；来自河口镇至龙门区间、马莲河、北洛河的洪水，含沙量高且粒径粗，往往使下游河道严重淤积；来自除去马莲河以外的泾河干支流、渭河上游、汾河的洪水，含沙量也较大，但粒径细，造成黄河下游河道淤积的程度次于陕西及山西区间来水^[8]。

除上述影响河道演变的四个因素外，人为的因素往往对河道演变的影响也很大。如三门峡水库修建后，由于径流过程的改变，对下游河道演变过程也产生较大的影响^[5]。

第三节 河型及河相关系

一、河型区划

通过长期观察发现，尽管在同一条河流上的不同河段，其河床形态及演变特点存在着差异，但位于不同河流上的某些河段，河床形态和演变特点却

可能相似。因此,可以将天然河流按其河床形态及演变过程划分成若干类型,并在这个基础上来研究各类河段河床演变的特性。

一些学者根据河床的边界条件,将河流划分为冲积河流、非冲积河流和半冲积河流。另一些学者则主要根据河床的动力特性分为侵蚀河流、堆积河流和(动力)平衡河流。又有一些学者则根据河床的平面形态特性将河流划分为弯曲河流、顺直河流、网状河流(或弯曲、单股、分汊)。还有一些专家在此基础上进一步考虑河床演变特点,将河流划分为弯曲性河流、周期增宽河流、游荡河流(或蜿蜒顺直微弯、分汊、游荡)等等^[3]。

对于平原河流,具有不同平面形态(弯曲、顺直、分汊、散乱)的河段,河床演变也具有不同的性质,因此一般可以进一步将平原河流划分为顺直(微弯)、弯曲、分汊和游荡四种主要河型^[6],在这四种河型中,弯曲型与分汊型是比较稳定的,而游荡型是极不稳定的。

关于河型成因的研究,许多地貌学家和水利科学家试图以地貌界限假说、能耗率极值假说、稳定性理论、随机理论及统计分析方法来解释河型的成因。但由于问题极其复杂,且水流及泥沙基本理论尚欠完善,影响了这些理论的合理性。

尹学良研究认为,来水来沙的条件和外加的硬边界、侵蚀基面决定河型^[9],并认为冲积河流的比降、断面形态、边界土质结构、演变特性等,都是河流属性,是河性、河型,不能用它们作为河型的成因。关于游荡性河流的成因,钱宁及周文浩认为^[10],河床的堆积抬高和两岸的不受约束,是造成黄河下游游荡性河型的基本原因。王桂仙等通过分析钱宁等学者的研究成果及有关资料^①,认为在冲积河流发展的过程中,如果河流的来水来沙条件及河床边界条件相适应,河流可以形成并维持某一稳定的河型,当河流输沙平衡被破坏,特别是小水输送大沙时,且两岸构成物质抗冲能力较弱,将发展成为游荡性河流。谢鉴衡、刘建军等研究表明^②,河型的不同主要表现在河流形态、动态、动力因子的不同,而这些因子的不同则是由上游来水来沙条件、下游侵蚀基点条件及河床周界条件决定的。前者是结果,后者是原因,后者是通过前者才对河型起作用的。

河型成因的试验研究,早在1945年,J.F.Fiedkin就利用室内模型小河对弯曲型河流的形成和演变进行了试验研究^[11],塑造出的模型小河相当于

① 王桂仙,翟大潜,段国红.黄河下游游荡型河道的成因研究.清华大学水利水电工程系,1995

② 谢鉴衡,刘建军,王双峰.冲积河流河型判数.武汉水利电力大学,1995

顺直型河流中的主要流路的弯曲。1957年 Leopld 等的实验也是侧重水沙特性对河型的影响^[12,13]，所获得的分汊或弯曲河型均不很典型。1958年~1960年，李保如、谢鉴衡、屈孟浩及万兆惠等注重考虑水力泥沙因子和必要的边界条件，分析天然河流造床过程，成功地模拟出游荡河型^[14]。60年代初，长江科学院河流室及尹学良教授分别采用植草护滩及在大水中加入粘土的办法，把边滩固定下来，从而在实验室中塑造出真正的弯曲河流^[15,16]。1972年 Schumm 和 Khan 采用类似办法^[17]，也复制出一条弯曲模型小河。1982年韦直林从理论上利用数字模拟的办法也对河型问题开展了探讨^[18]。1989年，倪晋仁采用不同的初始边界及水沙条件^①，制作了大量模型小河，对河型成因进行研究，其结果表明：在任何边界及初始坡降条件下，由初始顺直开始发展的河流，都无一例外地或迟或早经过流路弯曲直至形成边滩交错的弯曲型河流的发展阶段，在这个阶段以后，如果边滩稳定发育，则保持弯曲型河流，否则河流切滩形成游荡型河流。按照倪晋仁的观点，江心洲分汊河型并不是介于游荡型与弯曲型之间的一种独立河型，且顺直河型也只是一个过渡的河型。从天然河流实际状况来看，这一论点值得商榷。自然界存在很多分汊河道，诸如长江、赣江、湘江、西江、北江、黑龙江和松花江等都有江心洲十分发育的分汊型河段^[19,20]，且大都经历了相当漫长的历史发展过程，水沙条件及河床边界条件在它们的形成过程中有着决定性的地位和作用。因此，区分江心洲分汊河型与游荡河型是十分必要的。另外，自然界的确存在有顺直型河段（本书后面的模型试验表明，在流量较小时，水流与边界条件调整适应时，也能形成顺直型小河），只要流量条件不发生大的变化，无论多长时间都能“过渡”到弯曲型河流。此外，张仁、金德生等也进行过有关河型方面的试验研究，获得了较大的进展。

张红武等近些年为探索游荡型河流的成因^[21]，制作了一系列模型小河，并坚持试验研究，尤其在“八五”科技攻关研究期间，连续进行观测试验。试验采用的模型沙材料分别有电厂粉煤灰（容重 $\gamma_s = 21.07\text{kN/m}^3$ ）、煤屑及煤粉（ $\gamma_s = 14.21\text{kN/m}^3$ ）、塑料沙（ $\gamma_s = 10.29\text{kN/m}^3$ ）及天然沙（ $\gamma_s = 25.97\text{kN/m}^3$ ）等。粒径范围很宽，先后塑造出大小不同河型的模型小河 30 多条。指出不同河型都是水流与河床泥沙相互作用的结果，只要水流具有相应的强度，任何可动河床周界条件下都可能形成游荡、分汊及弯曲型。如果水流强度一定，河型则取决于河床相应的稳定程度。

① 倪晋仁．不同边界条件下河型成因的试验研究．清华大学博士学位论文，1989

作者曾经采用铺有粒径 $D_{50} \approx 0.1\text{mm}$ 的塑料沙(颗粒间基本上无什么粘性可言)的水槽开展试验。在不大的水流强度下,即能形成一个宽浅、散乱的游荡型模型小河;当流量减小,即水流强度减小到一定程度后,河型变为分汊型;进一步把流量减小为 20ml/s ,使水流强度变得相当微弱后,其水力特性与河床边界较为适应,亦能形成一个微弯的模型小河(图 1-2)。上述三类试验采用的初始河床条件均为一个小直槽。

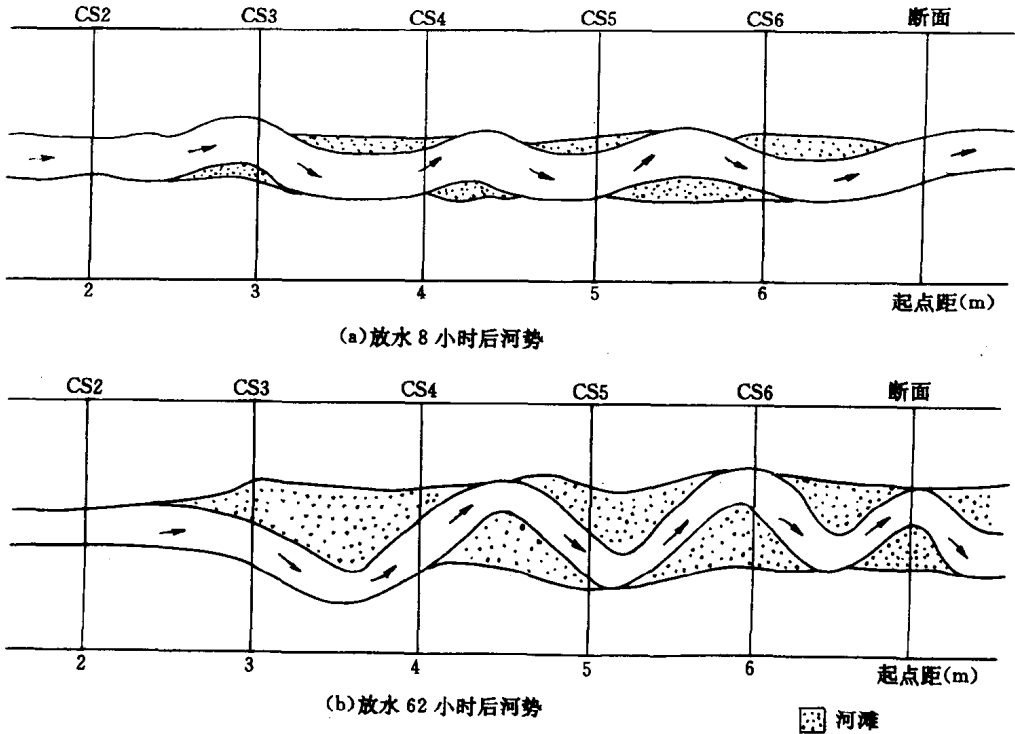


图 1-2 弯曲型模型小河河势变化

丁易、张俊华、王严平^[22]在分析与借鉴前人研究成果的基础上,通过一系列自然模型小河试验和分析研究,得出的结论表明,对于一定的河床组成,只要水流具有相应的强度,就可能形成不同的河型。水流强度较大时,形成游荡河型;水流强度较弱时,形成弯曲河型或顺直河型;如果水流强度相适应,还可能形成分汊河型(图 1-3)。他们成功地塑造出分汊型模型小河,对于分汊型成因的研究是颇有意义的。

上述关于河段类型的划分在河道整治设计工作中,具有一定的参考价值。同时也可以看出,区划河段类型是极其困难的,我们还应该进一步从定量上对河流的综合稳定性加以描述,以便在具体工作中,对河段有更确切的

认识，下文对于河流综合稳定性指标的引入，即出于此种目的。

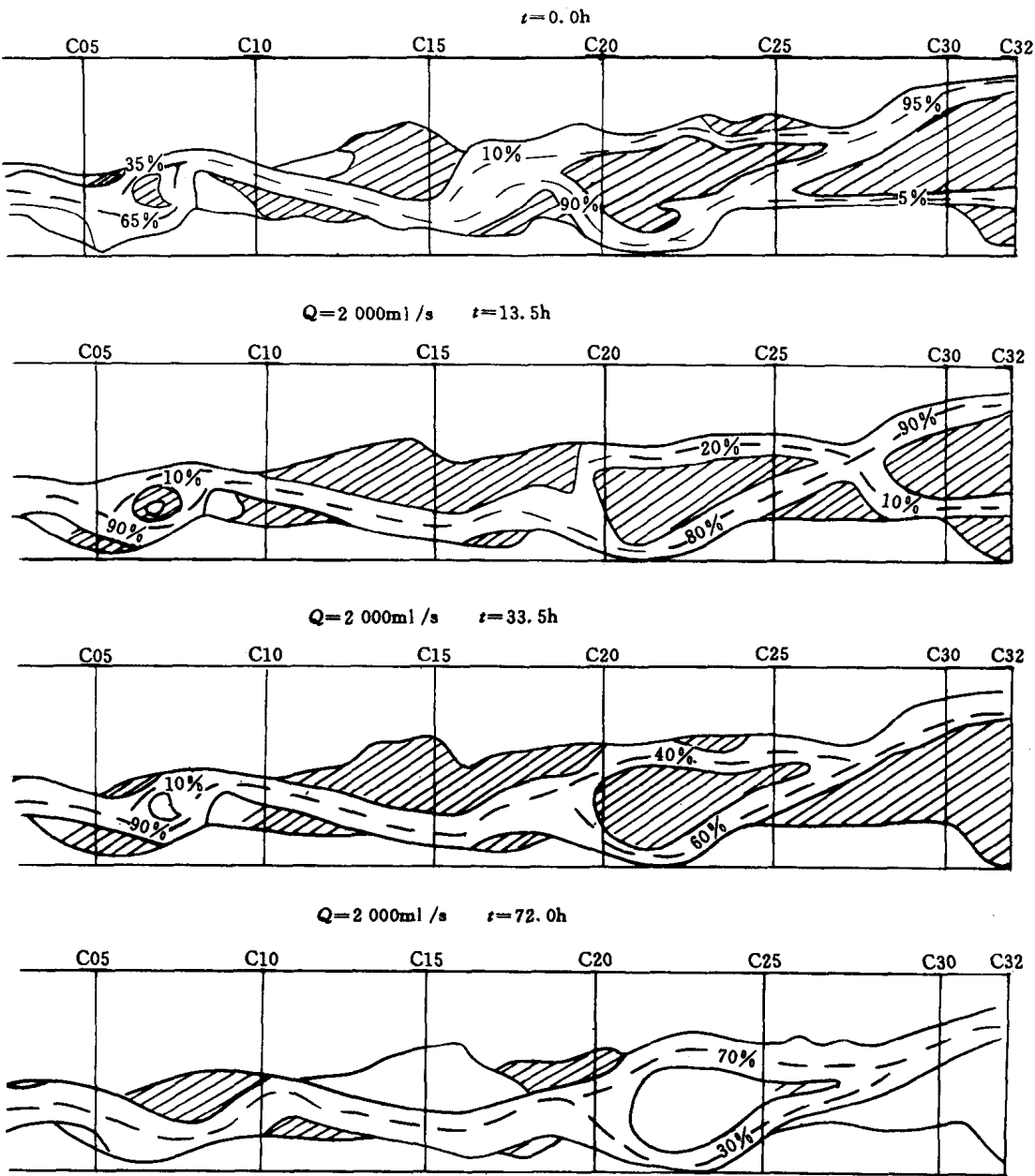


图 1-3 分汊型模型小河河势变化

二、造床流量

在天然河流中，水力与泥沙条件是因时而异的，在研究河床演变规律时，需要确定一种代表性的流量值作为依据。为此，就提出了造床流量的概念。

多沙河流的河相关系相当复杂，造床流量对塑造河床形态所起的作用最

大。研究河床演变和从事河道整治工程规划设计需要确定一个更为确切的造床流量，但如何选取造床流量，至今尚无一致的认识，兹将已有方法分述如下。

(一) 平滩流量法

“平滩流量”是指当大河水位到河漫滩（或边滩的滩边）高度时相应的流量。从试验过程和资料分析均可看出，水位由枯水位上升至平滩水位的过程中，水流的造床作用不断增强，而当水位继续上涨，水流漫滩后，水流分散，造床作用反而有所降低^[6]。在实际工作中，由于滩地高程不易确切确定，因此一般都是选取一个较长的河段作为依据。在某一流量的下，如果各断面的水位基本上与该河段的河漫滩（或边滩）高程齐平时，这个流量可作为造床流量。

黄委会水科院曾认为平滩流量 Q_p 与多年汛期的平均流量 $\bar{Q}_f$ 有关，得出下式^[23]

$$Q_p = 7.7 \bar{Q}_f^{0.85} + 90 \bar{Q}_f^{1/3} \quad (1-1)$$

钱意颖最近在研究水库调水调沙运用方式时，也提出了如下形式的计算平滩流量的公式^[24]

$$Q_p = 8.82 Q_{cm}^{0.77} \quad (1-2)$$

式中： Q_{cm} 为各级流量输沙量关系中峰值相应的流量。

Williams G. P. 提出平滩流量与过水断面面积 A 及比降 J 的关系如下^[23]

$$Q_p = 4.0 A^{1.21} J^{0.28} \quad (1-3)$$

平滩流量法概念清楚，方法简易，但对于多沙河流，特别是黄河游荡性河段，河槽摆动频繁，滩沿高程变化很大，各河段很难制定一个统一的区划尺度，而且断面测验数极少，一般缺少同步观测资料，实际应用时往往无法入手。若用点绘水位流量关系的办法来确定，又往往会因河床冲淤变形过速，而难以保证实际要求的精度。为了客观地确定造床流量，不少学者建议引入输沙率法，以反映水流与河床的相互作用。

(二) 输沙率法

马卡维也夫认为某一流量的造床作用与其输沙能力有关，同时也取决于造床历时^[3,6]。他进一步以该流量出现的频率 P 表示造床历时，并以下式表示输沙能力

$$G_{s,} = k_l Q^m J \quad (1-4)$$

式中： k_l 为系数； m 为指数； J 为水面比降。从而认为当 $Q^m J P$ 最大时，所