

侯杰 周著 编著

# 河流

# 泥沙

# 工程

新疆教育出版社

# 河流泥沙工程

周志侯 著 编著

新疆教育出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地阐述了河流的形成及其特征, 河流泥沙的特性, 泥沙的沉速和起动, 推移质和悬移质运动及其计算方法; 高含沙水流、异重流和泥石流等特殊水沙二相流问题; 河流在自然和修建建筑物条件下的河床演变及其治理方法; 水库淤积现象和规律; 水库冲淤计算和水库泥沙的防治; 低水头引水枢纽的泥沙问题及其防治, 以及引水枢纽泥沙二次处理设施。在阐述基本理论的同时, 介绍了我国河流泥沙工程的经验和研究成果。特别讨论了新疆河流的特性, 并结合新疆河流泥沙工程的实际, 列举了有代表性的工程实例。

本书可作为本科生和研究生“河流泥沙工程”课程的教材。也可供水文、水工、地理、道桥等专业的师生阅读和河流泥沙工作者参考。

责任编辑: 邱良久

封面设计: 赵俊飞

### 图书在版编目 (CIP) 数据

河流泥沙工程/侯杰编著. —乌鲁木齐: 新疆教育出版社, 2002.8

ISBN 7-5370-4194-6

I. 河… II. 侯… III. 河流—泥沙工程学—研究—新疆 IV. TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 056932 号

书 名	河流泥沙工程
作 者	侯 杰 周 著
出 版	新疆教育出版社
印 刷	新疆新华印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 插页 2 401 千字
版 次	2002 年 12 月第一版 2002 年 12 月第一次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	36.00 元

## 绪 论

自古以来人类就择水而居，河流两岸是人类繁衍生息之地，河流的中下游又是经济与文化最发达的地区，因而河流对人类活动的影响历来就十分重要。但是处于自然状态下的河流不但远远不能满足人类活动日益增长的要求，而且有时还会给人类活动带来一定的危害。山区河流河谷狭窄，坡降陡峻，具有兴建水利枢纽、开发水力资源的良好条件，但洪水期水流湍急，不便航运。平原河流水流平顺，常具有航运及工农业用水之利，但因泥沙冲淤不定，造成河道变迁，洪水期泛滥成灾，枯水期又有妨碍航运和工农业用水的可能。因此必须对河流进行治理，变水害为水利。

河流是水流与河床交互作用的产物。水流作用于河床，使河床发生变化；河床反过来作用于水流，影响水流结构，二者构成了矛盾的统一体，相互依存，相互影响，相互制约，永远处于变化与发展的过程中。而水流与河床的交互作用，是通过泥沙运动的纽带作用来体现的。挟带泥沙的水流在某种情况下，通过泥沙的淤积使河床抬高，而在某种情况下，通过泥沙的冲刷，使河床降低。泥沙有时悬浮在河水中随波逐流，成为水流的组成部分，有时又沉降下来淤积在河床上，成为河床的组成部分。在运动过程中，从矛盾的一方面转化为另一方面，进一步影响整个矛盾统一体的变化与发展。例如冲积平原中的蜿蜒型河段，由于河身具有弯曲外形，迫使水流作曲线运动，表层流速较大的水体所承受的离心力较底层流速较小的水体要大一些。这种离心力的差异，使表层水流流向凹岸，而底层水流流向凸岸。由于表层水流的含沙量较小，底层水流含沙量较大，这样就使凹岸发生冲刷，凸岸发生淤积，使河道进一步向弯曲发展。水流和河床以泥沙运动为纽带的互相作用，使河道的弯曲愈演愈烈，最后形成河环。在条件适合时，出现自然裁直，继而又转化为弯曲河道，再重演上述过程。因此，要掌握河流运动发展的规律，必须先掌握河流水流泥沙运动的规律，这两部分是紧密联系，相互渗透、不可分割的。阐述这两方面基本规律的学科是河流动力学。其内容除上述水流泥沙运动及河床演变的基本规律之外，还包括利用这些基本规律解决实际问题的理论分析计算及河工模型试验方法。

人类在长期的生产斗争实践中，积累了丰富的治理河流的经验。总结这方面工程实践知识的学科称为治河工程。治河工程在我国有很古老的历史。治河的主要目的是为了防洪及引水灌溉。远在公元前 246 年修建的郑国渠和公元前 256~251 年修建的都江堰，就是以发展灌溉为目的的引水防沙治河工程的光辉典范。

随着社会经济的日益发展，对防洪、航运、灌溉、工业及城市供水的要求愈来愈高，其它部门也对河道整治提出了新的要求。如铁路，公路，石油天然气等跨河建筑物问题也开始提到议事日程上来。另一方面，随着河道水利枢纽的兴建，改变了原河道的水沙条件，使上游库区发生泥沙淤积，下游河道发生冲刷。随着上游水库和引水口的不断增加，

造成河流下游的断流和生态环境的不断恶化，从而引起一系列与此有关的问题。这些问题都必须得到妥善解决。上述发展趋势使古老的治河工程的名称已不能全面概括其所面临的新课题，进而发展成为“河流泥沙工程”。

河流泥沙工程所面对的自然现象，是边界条件复杂多变的天然河流的水流泥沙运动问题。在运动过程中，既有受力学支配的必然性，又有受统计学支配的随机性。因此，在解决泥沙运动基本规律的时候，主要的理论工具是力学与统计理论。由于泥沙运动所涉及的物理因素较多，边界条件又复杂多变，要想利用少量的资料和简易的方式构成正确表达泥沙运动规律的公式，或是有了这样的公式，在运用中合理地规定有关系数，妥善地处理边界条件，以至得到较确切的数值解，都远非易事。在这种情况下，其解决问题的方法主要是在力学或统计理论的指导下，在实际资料的基础上，设计物理模型或数学模型，进行模拟试验，以求取得定性或定量的结果。目前广泛采用的分析研究手段，包括野外观测资料的收集和整理，理论分析计算，河工模型试验等三个方面。其中野外观测资料的收集和整理是取得第一性资料的重要手段，后两方面的工作均以此为基础，尤须特别注意。

我国劳动人民在长期治理江河的实践中积累了丰富的经验。早在四千多年前，大禹用“凿龙门，疏九河”来治理黄河。当时以“疏”和“分”为原则，用排的方法达到除害的目的。这种思想一直到汉朝的贾让（公元前6年）提出了治河三策，其中就有排水放淤进行灌溉的治河思想，开始把除害与兴利结合起来。他的“上、中、下”三策经后人的发展补充，便成了宽河、分水放淤和束水攻沙三派学说，至今仍有参考价值。对于黄河的治理早在公元69年东汉就已开始，到了明代潘季驯提出了“水分则势缓，势缓则沙停，沙停则河抱。”“水合则势猛，势猛则沙刷，沙刷则河深。”等关于水沙关系的科学论断，与近代水流挟沙力的概念是完全一样的。他在此基础上提出的稳定河道、坚筑堤防、束水攻沙、借清刷黄的治河方针，在当时的历史条件下是很有见地的。其他如引水防沙等方面，古代劳动人民也做出了光辉的业绩。如前述的都江堰引水枢纽工程，其引水防沙的设计原则、利用弯道环流的正面引水、侧面排沙原则完全符合近代无坝引水工程的设计原则，至今灌溉着成都平原。

新中国成立以来，我国科技工作者和广大劳动人民，在治河斗争中取得了前所未有的成就。以长江黄河为主的治河工程规模宏大，兴建水库达8.5万多座。如黄河的梯级水电站，有龙羊峡、李家峡、刘家峡、三门峡等，在建的万家寨水利枢纽和小浪底水利枢纽工程。长江除各支流修建的大批水利枢纽工程外，已建成了葛洲坝水利枢纽工程和正在建设世界上最大的三峡水利枢纽工程。规模宏大的跨流域调水工程——南水北调（东线）近期就要开工建设。

新疆的水库工程已从开始的平原水库向山区水库发展，截至1998年已建成水利枢纽工程有拜城县黑孜尔水库、伊犁托海水电站、库尔勒大山口水电站等水库477座，总库容达66.6亿 $m^3$ ，其中大型水库16座，总库容28.83亿 $m^3$ 。建成了喀拉喀什河渠首、玉龙喀什河渠首、卡群渠首、特克斯河山口引水枢纽、协合拉引水枢纽等一大批引水枢纽工程。开工建设了乌鲁瓦提水利枢纽、塔西河石门子水库、引额济克和引额济乌北水南调等大型工程。上述工程在国民经济建设中发挥了极其重要的作用。而这些工程在控制水土流失、稳定下游河道、取水防沙等方面取得了巨大的成果。在上述治河斗争中，以整治河道

和防治泥沙为主要目标的河流泥沙工程占有十分重要的地位。

我国北方河流含沙量大，泥沙问题严重。特别是黄河的主要产沙区是黄土沟壑地区。窟野河、无定河、北洛河和泾河等黄河支流，最大含沙量都超过 $1\ 000\text{kg}/\text{m}^3$ ，窟野河甚至达到 $1\ 600\text{kg}/\text{m}^3$ 。黄河三门峡水文站多年平均输沙量 16.4 亿 t，平均含沙量  $37.6\text{kg}/\text{m}^3$ ，远超过世界任何一条河流。黄河的问题主要是泥沙问题，因而高含沙水流的研究成为泥沙研究的重要课题之一。

我国南方河流含沙量相对较小，但日渐增大。在这些河流上，除了泥沙问题外，治理航道，解决枢纽的工程泥沙问题也取得了不少成果。长江的泥沙相对较少，但年输沙量也达 4 亿多吨（占世界第五位）。随着长江三峡工程的修建，重点对其库区的泥沙淤积、引航道的淤积以及水轮机的过机磨损等问题进行了长期而深入地研究，取得了一些可喜的成果。我国西南地区河流特点是河道纵坡大，水力资源丰富，河流的推移质泥沙量大，引水防沙问题一直受到高度重视。

新疆的河流泥沙问题历来是水利工程所面临的首要问题，也是最突出的问题。由于新疆独特的地理地貌、水文地质、河流特性，形成了与内地不同的河流和水沙特性。特别是河道坡陡流急、泥沙的粒径大、沙量集中，而河流的径流较小，所以引水和防沙是主要矛盾。新疆的水利工作者在长期与水沙斗争中，提出了许多新型引水防沙结构，特别是低水头引水枢纽工程的研究与应用走在全国的前列，取得了令人瞩目的成果。

尽管河流泥沙工程在全国范围内受到高度重视，解决了很多理论问题和工程实际问题，也取得了一大批成果，但是，泥沙研究的现状还不能令人满意。究其原因有两个方面：

首先是泥沙运动现象的复杂性。泥沙运动一般属二相流范畴。泥沙在水流作用下发生运动，又反过来影响水流运动。如果说含沙量小时可以考虑泥沙在水流作用下的运动规律，对高含沙水流继续这样处理就会带来更大的误差。因为细颗粒泥沙表面的物理化学作用已不能忽视，高含沙水流并不服从牛顿内摩擦定律，这样的体系已属于流变学范畴，改变了流体性质和水流结构，含沙水流的边界条件也不同于清水水流。边界条件的改变，沙波的出现和消失，对阻力和糙率都有很大影响。

泥沙研究方面的另一个困难是量测方法和量测仪器满足不了实际需要。不要说在浑水中直接观察细沙颗粒的运动是多么困难，即使在实验室条件下判断床沙的起动条件，也难以有统一的判别标准。事实上床沙和推移质、推移质和悬移质都是在互相转化交换之中，只有相对的意义。水流中的紊动旋涡产生于河底，能量的传递和消耗也是在河底附近最大。同样，泥沙的起动、悬浮也是从河底开始，推移质和悬移质交换也发生在这个只有几个粒径厚度的区域内。遗憾的是现在还没有一种测流和采样仪器能深入这个区域，弄清这里的水流结构和对泥沙的作用。因此泥沙研究工作者在这方面要有突破，还需要付出辛勤的劳动。

与我国北方河流相比，无论就新疆河流的平均含沙量还是就侵蚀模数而言，都不算太大。但是，新疆河流的泥沙问题却比较突出，这是由以下几个原因决定的：

1. 新疆河流的输沙量在年内集中，汛期含沙量大。天山南北坡和帕米尔高原河流最大含沙量主要由暴雨洪水形成，一般出现在 7~8 月。昆仑山北坡河流洪水主要由融雪和

高山冰川融水形成，6~8月含沙量最大。一般都是第一次洪水含沙量大，汛期输沙量占全年输沙量的90%以上。

2. 新疆河流的产沙和输沙特性具有垂直地带变化的特点。如天山低山带（海拔高程1500m以下）降水少、植被差，在强烈干旱剥蚀作用下，坡面上形成大量松散堆积物，是河流泥沙的主要来源。山区河流比降大、水流湍急、输沙能力强，河流以侵蚀为主，不会淤积。但是到出山口以下，河道纵坡变缓，河道明显展宽，输沙能力减小，水流搬运物质大量堆积成冲积洪积扇。出山口附近推移质运动强烈，而许多引水渠首就修建在这里，所以泥沙问题突出。

3. 新疆绝大多数引水枢纽的引水比高、冲沙水量少，引水与冲沙形成尖锐矛盾。

4. 没有完全掌握泥沙运行规律。过去数十年修建了众多的水利枢纽工程。开始是照搬国外的模式，以后从失败的教训和成功的例子中摸索出一些规律，修建了一些引水防沙效果好的引水枢纽工程。但是还没有提高到泥沙运动理论上总结总结经验，以指导今后的工作。

此外，新疆过去修建的很多水利工程，未经模型试验研究，工程设计不尽合理。管理水平低，管理制度不健全，没有坚持进行水文泥沙观测，使规划设计及管理缺少科学依据，也是促使泥沙问题严重的重要原因。

尽管新疆与内地在河流泥沙研究方面存在着一定的差距。但是，新疆在推移质研究方面有得天独厚的条件。因为新疆多数河流发源于山区，坡陡流急，推移质含量大，而各河又自成独立的系统，相互干扰影响小，便于进行原形观测和试验研究。今后可以进一步开展新型引水枢纽引水防沙的研究和渠系泥沙处理的研究。随着拦河式山区水库的大量兴建，水库泥沙淤积问题也被提到议事日程上来。南疆有些河流的河床演变与河道整治问题也日渐突出。水利工程与生态环境问题是新兴的跨学科课题，日益受到人们的注意和重视。生态环境与泥沙研究密切相关。环境水力学中水质污染的很多内容与悬移质的扩散、弥散、沉淀规律都是相似的。二者可以互相促进，共同提高。因此，泥沙研究工作是大有可为的。

# 目 录

绪 论	1
第一章 河流的一般特征	1
第一节 河流的形成与分类	1
第二节 山区河流的一般特征	2
第三节 平原河流的一般特征	4
第四节 河道水流的基本特性	6
第五节 河道水流的水流结构	8
第六节 河道水流的紊动及阻力损失	14
第七节 我国河流的基本特征	15
第八节 新疆河流的基本特征	21
第二章 河流泥沙的基本特性	26
第一节 河流泥沙来源	26
第二节 河流泥沙的矿物特性与分类	31
第三节 河流泥沙的几何特性	32
第四节 河流泥沙的重力特性	36
第五节 泥沙在静水中的沉降速度	37
第三章 推移质运动	44
第一节 泥沙的起动	44
第二节 均匀沙的起动流速	46
第三节 非均匀沙的起动流速	53
第四节 沙波运动及动床阻力	56
第五节 推移质输沙率	68
第四章 悬移质运动	73
第一节 悬移质的运动状态	73
第二节 悬移质含沙量沿垂线分布	74
第三节 水流挟沙力	81
第四节 河床形态与挟沙水流的阻力变化	84
第五章 特殊水沙二相流	88
第一节 高含沙水流	88
第二节 异重流	94
第三节 泥石流	98
第六章 新疆河流的泥沙特征	113
第一节 新疆河流的含沙量及其分布规律	113



第二节	新疆河流含沙量的基本特征	116
第三节	新疆河流的输沙量	118
第四节	新疆河流的输沙模数分布	121
<b>第七章</b>	<b>河床演变</b>	<b>124</b>
第一节	河床演变的概念及其分类	124
第二节	河床演变的基本原理	125
第三节	河床演变的分析方法	127
第四节	顺直型河段的河床演变	131
第五节	蜿蜒型河段的河床演变	132
第六节	分汊型河段的河床演变	136
第七节	游荡型河段的河床演变	137
<b>第八章</b>	<b>河道整治</b>	<b>139</b>
第一节	河道整治规划	139
第二节	河道整治措施	152
第三节	河道整治建筑物	161
<b>第九章</b>	<b>水库泥沙</b>	<b>170</b>
第一节	水库的淤积	170
第二节	水库的淤积形态	172
第三节	水库淤积的上延	176
第四节	水库淤积的平衡比降	178
第五节	水库的淤积计算	179
第六节	水库横向冲蚀清淤技术	184
第七节	水库淤积的防治	187
第八节	水库清淤实例	189
<b>第十章</b>	<b>低水头引水枢纽的泥沙及其防治</b>	<b>193</b>
第一节	无坝引水的泥沙问题	195
第二节	低坝引水枢纽的引水防沙	202
第三节	弯道式引水枢纽的引水防沙	208
第四节	底栏栅式引水枢纽的引水防沙	214
第五节	拦河闸式引水枢纽的引水防沙	218
第六节	悬板分层式引水枢纽的引水防沙	222
<b>第十一章</b>	<b>引水枢纽泥沙的二级处理设施</b>	<b>232</b>
第一节	概述	232
第二节	厢型沉沙池	233
第三节	曲线型沉沙池	236
第四节	排沙漏斗	238
第五节	排沙涡管	243
<b>参考文献</b>		<b>247</b>

# 第一章 河流的一般特征

## 第一节 河流的形成与分类

### 一、河流的形成

河流是由水流和河床两个方面构成的。泛指陆地上经常汇集地面径流与地下径流的天然容泄水的水道，称为河流，它是流水侵蚀和地质构造作用的产物。

我国河流水的来源主要是降雨，少量是冰雪融水。降至地面上的雨水，扣除渗漏、蒸发、植物截留等损失后，剩余的雨水沿着流域的坡面由高向低流动，并汇集于低洼处，形成集中水流。水流在重力的作用下流动，并在流动过程中侵蚀地面、搬运泥沙、塑造平原。由于水流的侵蚀搬运作用，使地面上产生许多沟涧。日久之后，沟涧逐渐扩展加深，当不断发展切穿透水层时，直接获得地下水的补给，使小的沟涧变成常年流水不涸的小河。小河接纳各级支流汇入后，逐渐发展成汹涌澎湃的大江大河。

河流所经过的谷地称为河谷。河谷是由河床、谷坡和坡脚等几部分组成。如图 1-1 所示。

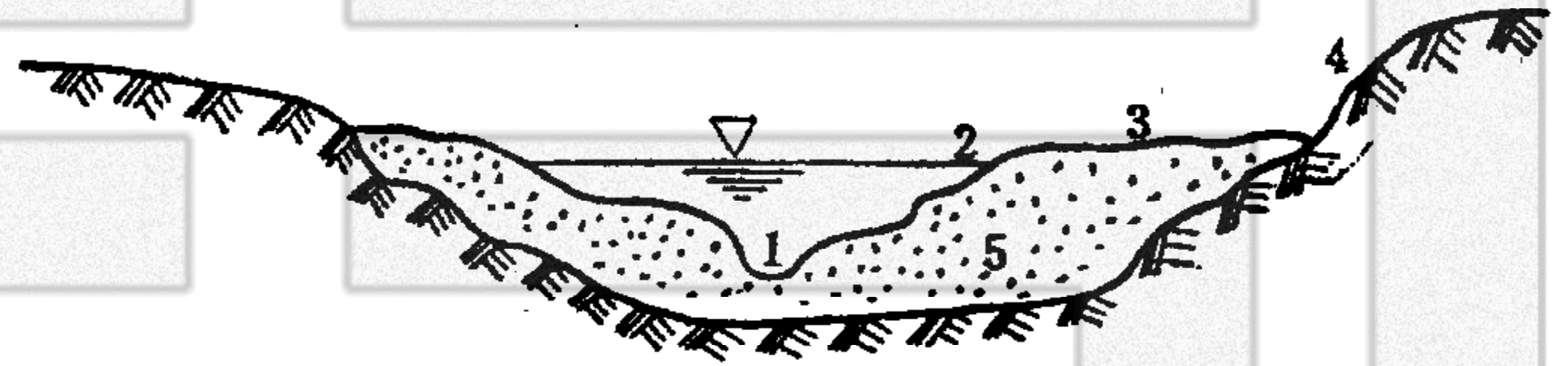


图 1-1 河谷的组成

1- 枯水河床；2- 洪水河床；3- 台地；4- 谷坡；5- 冲积物

1. 河床：河谷的最下部分称为谷底，谷底被水流所占据的部分称为河床，或称为河槽。而在枯水、中水、洪水时期被水流所占据的部分，分别称为枯水河床、中水河床和洪水河床。中水河床又称为主槽，或称为基本河槽。谷底最低点的连线称为深泓线，或称为溪线。

2. 谷坡：河谷两侧的坡面称为谷坡。

3. 坡脚：河谷横断面上明显的转折处，即谷底和谷坡连接处称为坡脚。

决定河谷形成与发展的因素，主要是水流作用。

### 二、河流的分类和分段

河流根据其所在地理位置一般可分为山区河流和平原河流两大类型。一条河流按河谷比降、地形特点、地质构造和冲淤特点又可分为河源、上游、中游、下游及河口等五段。

1. 河源：是指河流的发源地，可以是小溪、沼泽或湖泊。一般河流多发源于山地或高原，也有一些河流发源于平原，或发源于湖泊、沼泽及涌泉地区。

2. 上游：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。其特点是：河谷狭窄，坡降大，流速高，水位变幅大；河床纵剖面呈阶梯形，多急滩瀑布，底蚀作用较强；两岸多高山，河谷呈 V 字形，在河流的发育阶段上相当于幼年期。

3. 中游：在上游以下的河流中段称为中游。中游一般流经丘陵或平原地区，具有山

区河流和平原河流的共同特性，是山区河流与平原河流的过渡段。其特点是：坡降变缓，一般无急滩瀑布，底蚀减弱，侧蚀增强，河面逐渐展宽，河流的弯道增多。因流速变缓，粒径较大的沙、石沉积下来，河床上形成了浅滩或沙洲。在河流发育阶段上相当于成熟期。

4. 下游：河流的中游以下至河口以上的河段称为下游。下游多流经冲积平原地区，具有平原河流的特性。其特点是：坡降和流速都很小，河床宽阔，流量大，淤积显著，浅滩沙洲较多，汊道多，河流弯道更显著。在河流发育阶段上属于老年期。

5. 河口：河流汇入海洋、湖泊或其它河流的地方称为河口。大的河流多汇入海洋，称入海河口。例如长江、黄河、珠江、辽河等都汇入海洋。较小的河流大多汇入湖泊或其它河流，则分别称为入湖河口、入河河口。有的河流也消失在沙漠里。入海河口接受海潮影响的强弱，可分强潮河口和弱潮河口。多泥沙河流注入海洋，在入海河口经常出现大量泥沙淤积，形成了多汊的河口，俗称三角洲。因此，入海河口按地貌形态可分喇叭形河口及三角洲河口。例如钱塘江河口为喇叭形河口，黄河河口为三角洲河口。河口通常为三段：河流近口段、河流河口段、口外海滨段，如图 1-2 所示。河流近口段的上界为海潮水位影响最远处，其下界对于三角洲河口为河流开始分汊处，对于喇叭形河口为水下三角洲开始形成的地方。河流河口段的下界为三角洲的边界。口外海滨段的下界为沿海岸浅滩的外边界。

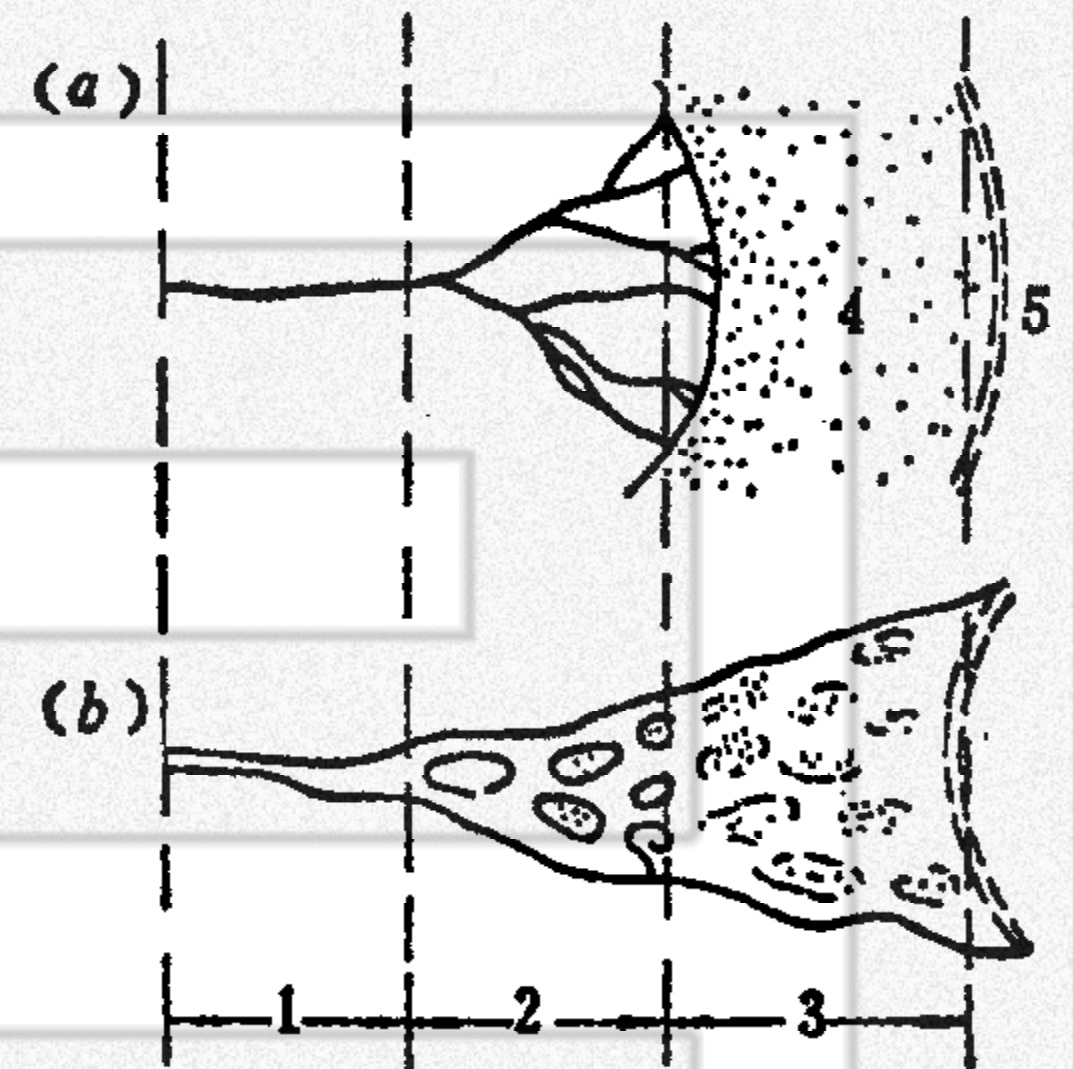


图 1-2 河口组成特性

(a) 三角洲河口； (b) 喇叭形河口  
1-河流近口段； 2-河流河口段；  
3-口外海滨段； 4-海边； 5-前缘急坡；

河口的演变不仅受到河流特性的影响，还受到海洋情势的影响。因此，河口既受河川径流作用，又受海洋水文因素作用，使河口的水流、泥沙运动更为复杂。

支流汇入干流的入河河口与入海河口的特性有所不同。由于干支流的水位涨落幅度、洪峰出现次序、含沙量大小及泥沙粒径粗细等因素不同，对入河河口的沙滩分布和水流现象的变化有较大影响。

## 第二节 山区河流的一般特征

河流根据地理位置，可分为山区河流和平原河流两大类型。由于所处的地理、地质、地貌和气象条件的差异，其形成过程也截然不同，各具有自己的一般特征。

流经地势高峻、地形复杂山区的河流，称为山区河流。山区河流的河谷形成既与地壳构造运动相关，又受水流侵蚀作用的影响。水流在原始的陆面上长期不断地冲刷和侵蚀，使河床不断地纵向切割和横向拓宽。山区河流的河床是在漫长的历史过程中逐渐发展形成的。因此，一般来说，山区河流的发育过程，主要是水流的冲刷和侵蚀过程。山区河流的发育过程，一般以下切为主。因此，河谷横剖面常呈发育不完全的 V 字形或 U 字形，如图 1-3 所示。在陡峻地形制约下，河床切割很深，河槽狭窄。中水河床与洪水河床之间

分界不明显，枯水河床与中水河床分界也不分明。河床宽深比一般很小。山区河流沿程多为峡谷段与开阔段相间，平面形态极为复杂，河岸线极不规则，两岸与河心常有巨石突出，急弯卡口比比皆是。河床纵剖面一般比降陡峻，形态也极不规则，急滩深潭互相交错，常出现阶梯形。在落差集中处，常形成陡坡跌水，甚至瀑布。

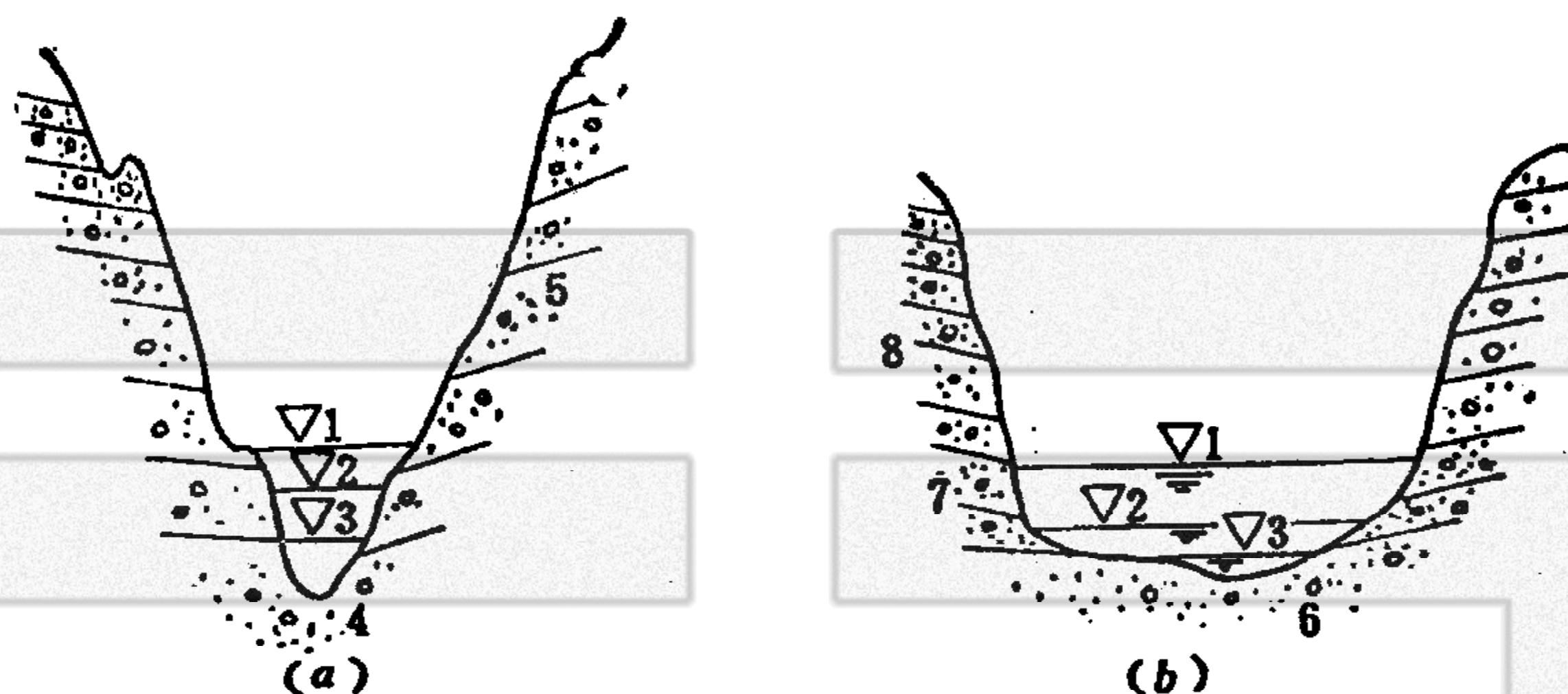


图 1-3 山区河流河谷横剖面形态

(a) V形河谷形态；(b) U形河谷形态

1—洪水位；2—中水位；3—枯水位；4—沙卵石层；5—崩塌岩石堆积区；

6—沙卵石层；7—页岩露头；8—山坡表面覆盖层

山区河流重要的水文特点是洪水猛涨猛落。这是由于山区坡面陡峻，岩石裸露，汇流时间短，径流系数大，加之气温变化大，降雨强度也大所致。山区河流在降雨后，常常时间很短即出现洪峰。雨过天晴，洪水又迅速消落。年内洪峰变幅很大，一般洪水持续时间短，无明显的中水期，而且洪水期与枯水期有时截然划分。洪水期如遇不雨，可能出现枯水；枯水期如遇大雨，也可能出现洪水。山区河流由于受地理与气候的影响，流量与水位变幅极大。洪枯水流量相差非常悬殊，较大的山区河流其洪水流量常常为枯水流量的数百倍，较小的山区河流甚至超过千倍。洪枯水位相差也很大，视河流大小而不同，相差数米至数十米不等。

山区河流水面坡降一般都比较大大，绝大多数均在1‰以上。由于受河床形态影响，水面坡降沿程分配极不均匀，绝大部分落差集中于局部河段。河床上存在较多的急弯、卡口、石梁等险滩，造成很大的横向坡降，对航行威胁很大。在水位不同情况下，这些险滩壅水情况也不同，坡降因时变化是十分显著的。河槽窄，坡降大，流速大，在险滩处易形成急流。

山区河流的流态，由于受极不规则河床形态的影响，十分紊乱，常有回流、旋涡、跌水、水跃、泡水、横流等出现，流象极为险恶。

山区河流中悬移质含沙量的多少，视地区不同而不同。在岩石风化不严重和植被较好的地区，含沙量较小；在岩石风化严重和植被很差的地区，含沙量就很大。甚至山洪爆发能形成含沙浓度极大并携带大量石块的泥石流。由于坡面径流大，侵蚀强烈，洪水期含沙量大粒径小，枯水期悬移质多为中细沙及粘土，或完全可变为清水河，悬移质含沙量常处于不饱和状态。

山区河流的推移质多为卵石及粗沙，卵石推移质一般在洪水流速大时才能起动输移，

枯水期很少运动。由于洪水历时短，因此推移质输沙量不大。我国一些山区河流的推移质年输沙量不到悬移质输沙量的 10%。而新疆的一些山溪性多沙河流的推移质年输沙量往往超过悬移质输沙量的 10%。

山区河流的河床多为原生基岩、乱石和卵石组成。推移质堆积多为鱼鳞状排列，少数呈松散堆积状。卵石粒径往往呈沿程递减的趋势。山区河流从长时期来看，因坡降陡，流速大，含沙量不饱和，有利于河床向冲刷变形发展，不断下切展宽。但是河床多系基岩和卵石组成，抗冲能力强，冲刷受抑制，从短时间来看，冲刷变形是非常缓慢的，甚至可认为基本稳定不变。只是在特殊的边界、水流条件下，某些河段可能发生大幅度暂时性的淤积和冲刷。

山区河流的演变，易受突然而强烈的外界因素影响，产生河床显著变形。如山洪暴发时，从支流溪沟倾泄而下的泥石流，挟带大量巨石，堆积溪口，形成冲积扇，侵占河身，堵塞河槽，造成河床水流一系列变化。又如地震、山崩、大滑坡等，能在极短时间内堵塞河道，在其上下游形成壅水和跌水，剧烈地改变河床水流状况。

### 第三节 平原河流的一般特征

流经地势平坦、土质疏松的平原地区的河流，称为平原河流。平原河流的形成过程主要是水流的堆积作用，与山区河流有明显的不同。在水流的堆积作用下，河谷中形成深厚的冲积层，河口淤积成广阔的三角洲。

平原河流的河谷冲积层一般都比较深厚。冲积层的组成，最深处多为卵石层，其上为夹沙卵石层，再上为粗沙、中沙以至细沙，在枯水位以上的河漫滩表层部分有粘土和壤土，某些局部地带可能有深厚粘土棱体。冲积层泥沙组成的分层现象与河流发育过程有关，一般说来，沙卵石层多为冰川期的堆积物，而沙层则为近代的堆积物。

平原河流的河谷横断面形态的显著特点，是具有宽阔的河漫滩，如图 1-4 所示。河漫滩洪水时被淹没，中、枯水时露出水面以上。当洪水漫滩后，过水断面增大，流速变缓，泥沙沿主槽岸边落淤，随之水流向下游与河漫滩边缘地带流动，泥沙淤积逐渐减少，粒径逐渐变细。年久之后，则在主槽两岸泥沙淤积而形成较高的自然堤，河漫滩边缘地带则形成湖泊及洼地，促使河漫滩具有显著的横坡降。并且，河漫滩纵向坡降较主槽水流的平均坡降大。

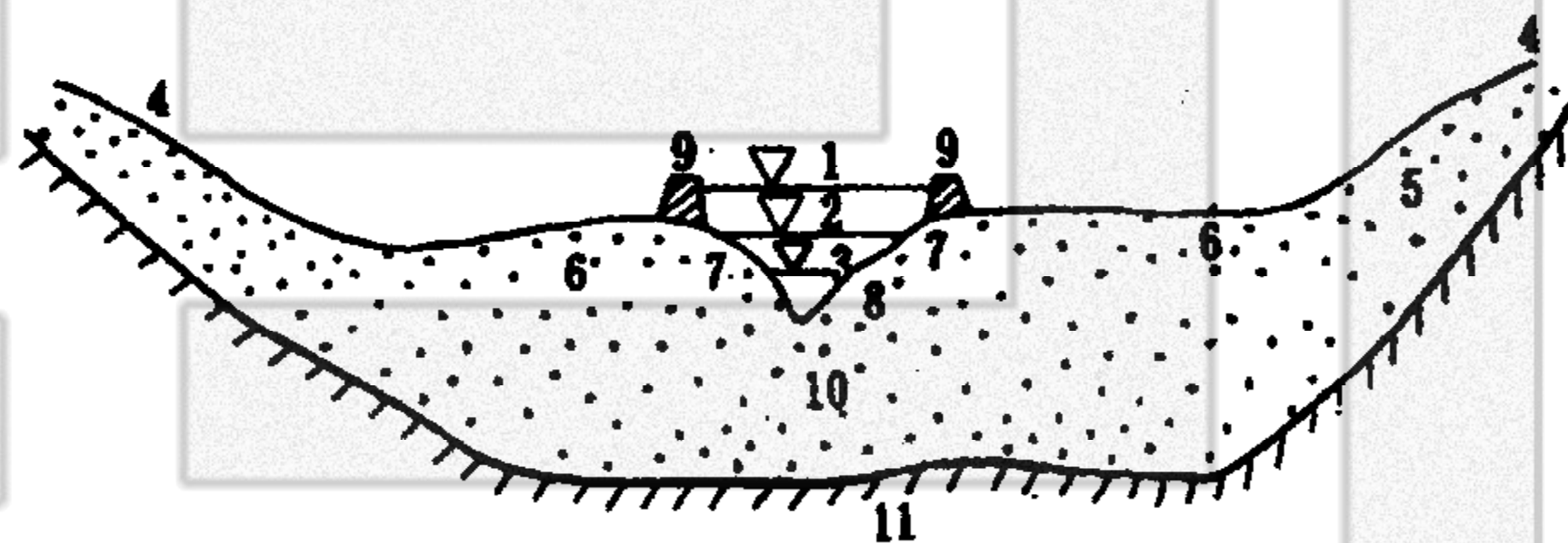


图 1-4 平原河流的河谷形态

- 1、2、3—洪水、中水、枯水；相应水位下的河床为洪水、中水、枯水河床；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

上游段的滩唇往往高出枯水位以上，而下游段滩唇几乎与枯水位齐平。

河漫滩的组成物质是由水流堆积作用形成的，一般较为松散。在广阔的河漫滩上，河流由于水流与河床的相互作用，往往左右摆动。当一岸受水流冲刷侵蚀坍岸，则另一岸便逐渐淤积成边滩。边滩逐渐发育，又形成新的河漫滩。在河漫滩的边缘低洼地带多沉积细

沙与粘土，某些地方还会形成巨大的粘土沉积层，制约主槽的横向摆动。

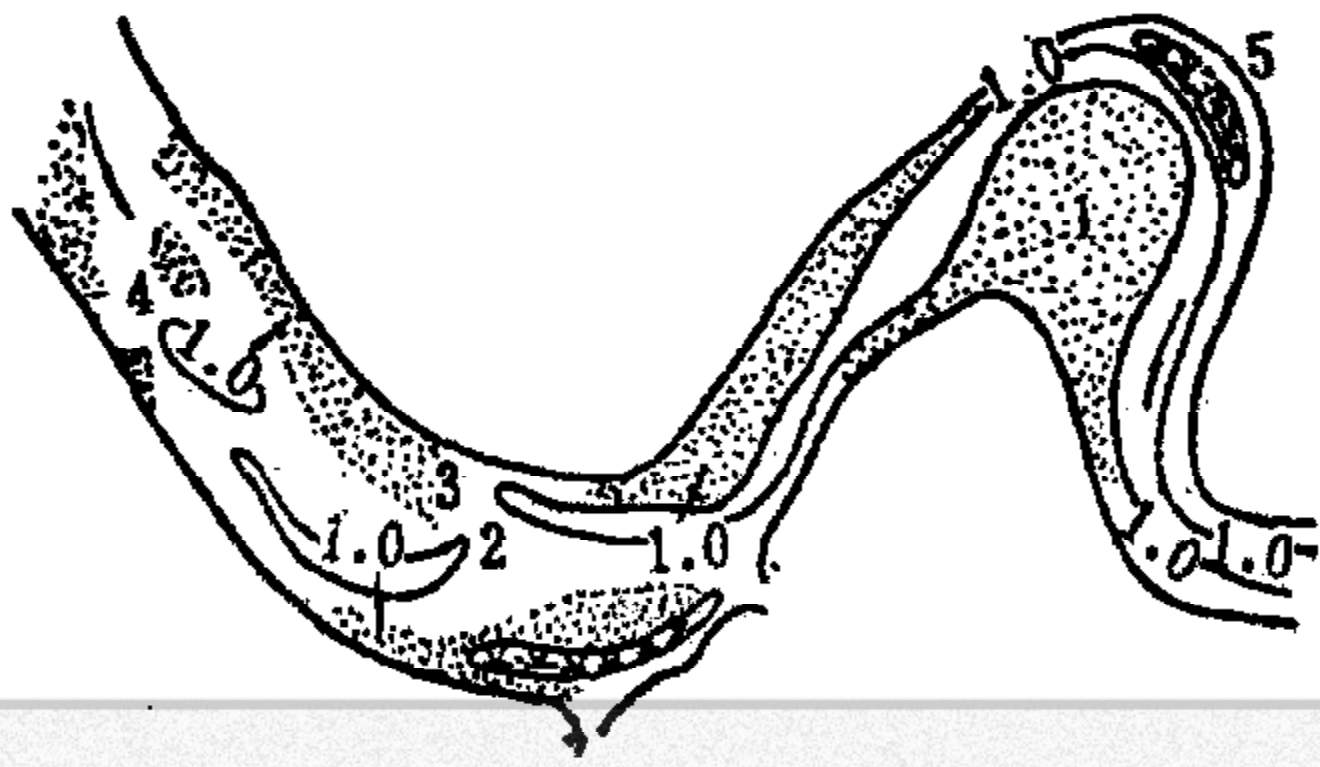


图 1-5 平原河流河道中泥沙成型堆积体

1—边滩；2—浅滩；3—沙嘴

4—江心滩；5—江心洲

在平原河流的主槽中，由于水流与河床不断的相互作用，往往形成一系列的泥沙堆积体：边滩、沙埂、浅滩、沙嘴、江心滩、江心洲等，如图1-5所示。沿主槽两岸成交错状态分布的沙滩称为边滩，边滩在中水时即被淹没，在枯水时露出水面。上下两边滩之间的部分称为沙埂，沙埂上的水深较浅。当沙埂上水深不能满足通航要求时，沙埂又称浅滩。边滩不断向下游延伸，伸入河中的狭长部分称为沙嘴。位于河心的低于中水位以下的沙滩称为江心滩，高于中水位以上的沙滩称为江心洲。这一系列的泥沙堆积体，统称泥沙成型堆积体。在水流的作用下，这些沙滩不断地运动变化，使得整个河床也相应地处于不断运动变化之中。

按其平面形态和演变规律，平原河流可分为四种基本类型，即：

微弯顺直型或边滩平移型河段。主要特点为：中水河槽顺直，边滩成犬牙交错状态分布，并在洪水期间向下游平移。

弯曲型或蜿蜒型河段。主要特点为：中水河槽外形弯曲，深槽紧靠凹岸，边滩依附凸岸，凹岸冲刷侵蚀，凸岸淤积增长，河身向下游蜿蜒蠕动。

分汊型或交替消长型河段。主要特点为：中水河槽分汊，汊道周期性交错消长。

散乱型或游荡型河段。主要特点为：中水河槽河身宽浅，沙滩星罗棋布，出没变化迅速无常。

平原河流不同的河型具有不同的演变特点，是河道演变中十分重要的问题，应采取不同的有效措施。为了研究问题方便，可将河型依次简化为：顺直型、蜿蜒型、分汊型、游荡型。

平原河流的河床横剖面形式，是随河段的类型不同而不同的。这是在特定条件下水流与河床相互作用的结果，具有一定的规律性。顺直过渡段多为抛物线或矩形；蜿蜒型弯道顶部多为不对称的三角形；江心洲分汊河段呈马鞍型；游荡型河段则主流变化不定，十分散乱，极不规则，如图1-6所示。

平原河流的河床因系沙质组成，其河床纵剖面与山区河流纵剖面不同，无明显阶梯状变化。但是，由于深槽浅滩交错，所以河床纵剖面有起伏的平缓曲线，其平均纵向坡降比较平缓。因此，水面坡降一般较小，沿程分布变化也较小，多在1‰~0.1‰以下。只有在河口处，由于海洋和湖泊的影响，洪水时河流水面坡降有显著变化。此外，平原河流沿程无急弯、卡口和险滩，水流流态比较平缓，没有山区河流的跌水、泡水、横流、急旋、水跃等险恶现象。

只有河口处，由于海洋和湖泊的影响，洪水时河流水面坡降有显著变化。此外，平原河流沿程无急弯、卡口和险滩，水流流态比较平缓，没有山区河流的跌水、泡水、横流、急旋、水跃等险恶现象。

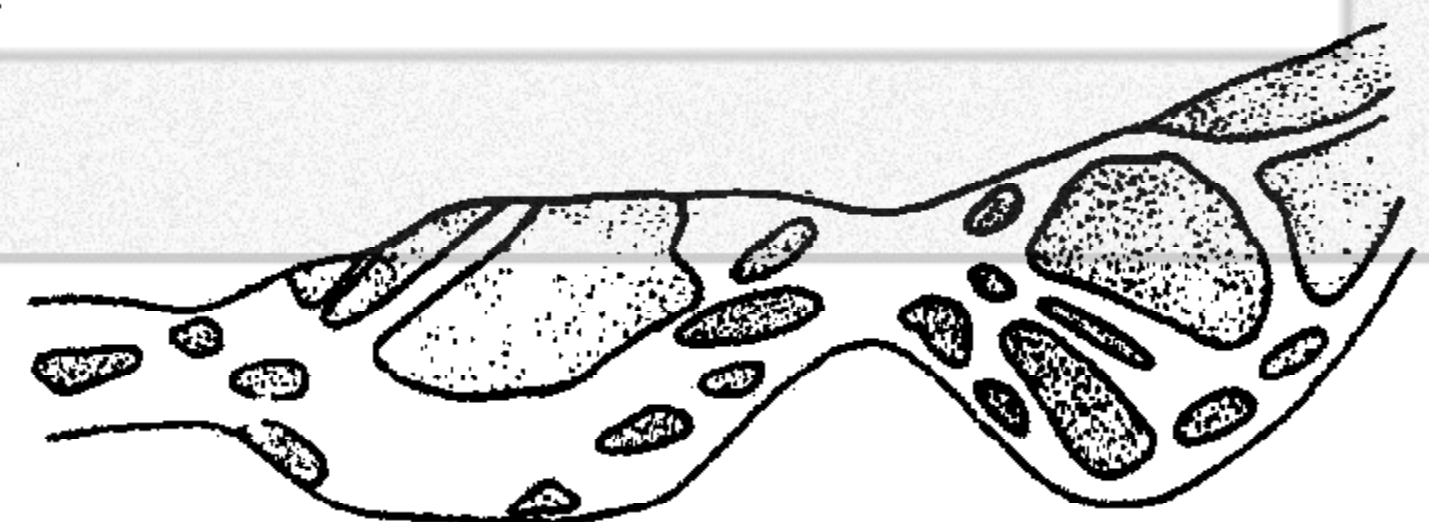


图 1-6 游荡型河段平面形态

只有河口处，由于海洋和湖泊的影响，洪水时河流水面坡降有显著变化。此外，平原河流沿程无急弯、卡口和险滩，水流流态比较平缓，没有山区河流的跌水、泡水、横流、急旋、水跃等险恶现象。

平原河流的水文水力特性与山区河流有很大的差别。由于集雨面积大，流经地区多为坡度平缓、土壤疏松的地带，因而汇流历时长。另外，因大面积上降雨分配不均匀，支流汇入时间次序有先有后，所以，洪水无猛涨猛落现象，持续的历时相对较长，流量变化与水位变幅较小。

平原河流中的悬移质多为细沙或粘土，推移质多为中细沙。悬移质含沙量及粒径变化，与流域特点和气象条件有关，这与山区河流是一致的。平原河流含沙量及颗粒的沿程变化，视具体情况不同而不同。如果河床冲淤多年处于平衡状态，则沿程变化趋于稳定；如有支流汇入，则会局部改变这种状态；如果河床多年来处于不断抬高状态，则含沙量和泥沙粒径将沿程减小。

平原河流推移质输沙量占悬移质输沙量的百分数，比山区河流小。

## 第四节 河道水流的基本特性

### 一、河道水流的二相性

河流一般都挟带着泥沙，不挟带泥沙的天然河流几乎没有。水的比重近于1，具有粘滞性和微弱的压缩性，可视为连续介质的液体。泥沙的比重为2.65，除特殊情况外，仅可视为不连续的松散颗粒群体。因此，挟带泥沙的河道水流属于二相流。

就重力来说，在一相明渠水流中，它经常起着克服阻力而促动的作用，促成、保持或助长水流的运动状态。在水沙二相河道水流中，从水相来看，重力的促进作用仍然是明显的；从沙相来看，一方面总体上泥沙从上游向下游运动，内部的运动依据仍在于其本身所受的趋下的一部分重力，即沿水流方向的重力分力；但在局部上作用于泥沙的另一部分重力，即沿垂线向下的重力分力，却常常不是以促动形式出现，而以抗动的形式出现。

就惯性力来说，密度是决定物质惯性的重要因素。在水沙二相流中，由于水和泥沙的密度差别很大，在同样的外力作用下，二者将产生不同的加速度。反之，在同样的加速或减速过程中，二者将产生不同的抗拒力。因此，在河道水流中经常具有各式各样的规模不同、强度各异的加速或减速运动过程中，水与泥沙常常不能保持彼此协调的同步状态，从而显示出运动外部形态及内部性质的复杂性，给深入了解问题造成困难。在水文资料中的水沙错峰，在河道演变中的洲滩演化滞后于水流条件的变异，便是经常碰到的问题。如果在分析处理中失察，就易导致误解。

就阻力来说，本来就是水力学中性质复杂、影响广泛而又难以妥善解决的问题，在水沙二相河道水流中，这一问题的性质之复杂，影响之广泛，与一相清水顺直棱柱体明槽流的情况相比，将成倍地增加。无论是实践上还是理论上，它都正受到广泛注意，并引起人们对其进行积极深入的研究。

运动过程的复杂性以及分析运动的难度，是与所涉及的基本物理量的多少及其变异性的强弱直接联系的。水沙二相河道水流与一相顺直明槽清水水流相比较，差异也很大。

水沙二相流是河道水流中最常见的，但并非惟一的。在有些情况下，河道水流也可以呈单相流或多相流，或者虽呈二相流，但并非由水沙二相组成。

## 二、河道水流的不恒定性

河道水流的不恒定性主要表现为，一是来水来沙情况随时间的推移而变化，二是河床经常处于演变之中。

我国绝大多数河流的水沙来量和沙质主要受制于降水。而降水在年内的变化很大。因此，各河流的水沙变化也相当大。就变化的相对幅度及强度而言，洪水季节大于中、枯水季节；小集水面积的河流大于大集水面积的河流；植被较差的地区大于植被较好的地区；沙量的相对变化大于水量的变化；易形成特大暴雨中心的地区大于不易形成暴雨中心的地区。因此，水沙变化的非恒定性非常突出，不可避免地引起河床时而剧烈、时而平缓的变化，呈现出与水沙情况相应而滞后的不恒定性。与河道中的水流一样，河床也经常处于运动变化之中。

河道中主流线的位置是经常变化的，具有“小水走弯，大水趋直”的变化规律。在洪水期，流量大、比降大、流速大，阻力系数又往往变小，河床对水流的制约作用减小，水流惯性力的作用处于支配地位；而在枯水期，情况恰恰相反，惯性力的作用大大降低，阻力作用相对增强。因此，就形成在同一河段中不同季节的不同主流位置和洲滩形态。

上述河道水流的这些从水流与河床两方面综合形成的不恒定性，在河流水力学的研究中是至关重要的。

必须指出的是，在分析规则的顺直棱柱体过水通道中的一相流为主的普通水力学中，所阐述的不恒定流的情况和条件虽然比上述河道水力学中的情况与条件简单，但其提供的分析不恒定流的一些基本原理和计算方法是仍然有效和必须重视的。问题在于处理各种边界条件时，必须慎重恰当。为了分析计算上的简便，在不少情况下，常把水沙、河床条件随时间连续变化的非恒定流简化为分时段的柱状多级恒定流来处理。在这样做的时候，时段和河段的适当划分，往往成为较好成果的重要因素，需慎重对待。

## 三、河道水流的三维性

在天然河道中大量经常出现的是具有不规则过水断面的三维流。过水断面不规则的程度，一般以山区河流为最大，以冲积平原中的顺直河段为最小。河道水流的三维性与过水断面的宽深比往往互相关联，宽深比愈小，三维性愈强。在顺直的、滩槽比较明显的滩面上，水流的宽深比可能呈现出一定程度的二维性；而在宽深比很小的山区河段中，水流的三维性可达到难以想象的程度。

普通水力学中所探讨的明槽流的问题，以一维总流的问题居多，在某些方面接触到二维流问题。这些成果在条件恰当的范围内，都可作为分析河道水流的基础或参考。但是，在利用这些成果从事某些河道水流的分析计算中，必须注意到河道水流在三维性问题上的一些特点，避免不顾实际情况轻率照搬只适用于二维流或一维总流的理论成果和经验。

## 四、河道水流的非均匀性

涉及运动的各物理量沿流程的偏导数为零的流动称为均匀流。因此，均匀流必须是恒定流。河道水流一般是非恒定流，也就不可能是均匀流。其次，均匀流的周界必须是与流向平行的棱柱体，否则流线不可能平直，各物理量沿流程的偏导数就不可能为零。这一点在天然河流中难于得到。再次，沿河床推移的泥沙，往往使床面呈现起伏不平的沙波。因此，严格地说，天然河流不可视为均匀流。



然而，对于比较顺直的河床，来水来沙情况基本稳定，河床基本处于不冲不淤的相对平衡状态，过水断面及流速沿程变化不大，水面坡度、床面坡度及能坡平直而相互平行，基本上可视为均匀流。反之，则认为其非均匀性越突出。运用水力学中将非均匀流长河段分割为若干可基本上视为均匀流短河段的处理方式，也是常被采用的。

### 五、河道水流的不平衡性

在水沙二相流中，如果呈现水相和沙相的高度和谐，在运动过程中虽然包含水流中的泥沙与床面上泥沙彼此交换的现象，但来水来沙保持恒定，河床的各个部分基本保持不冲不淤，没有粗化或细化的发展情况，这种运动过程称之为河道水流的水沙平衡状态，或简称平衡状态。而那种近乎绝对的、理想的平衡状态，虽然在较短的河段和较短的时段中偶尔可能出现，但总是稀有的。而河道水流中经常大量出现的情况是：由于自然或人为的原因，使水流中水、沙两相的相互关系发生改变，以及在这种改变发生以后所引起的向新的相对平衡发展的变化趋势。也就是说，实际上经常大量出现的情况只有两类，一是强烈地或一般地向不平衡状态继续发展的情况；二是各种程度不等地向新相对平衡作自我调整的状态。它一方面要求我们理解水、沙不平衡性是河道水流的本质特点；另一方面又提示我们，抓住相对平衡状态和自我调整趋势在河流水力学和治河工程学中有重要意义。

## 第五节 河道水流的水流结构

### 一、河道水流的流型、流态及流速分布

#### 1. 河道水流的流型

河道水流的雷诺数一般比较大，这是河道水流的流型一般属于阻力平方区的重要原因之一。河道水流易于以阻力平方区的流型出现的原因之二是，由于河道提供的紊动根源（简称“紊源”）很多、很复杂，不像平直管道及棱柱体明槽的紊源那么单纯。有些紊源能促成强大的涡体运动，使区分光滑区、过渡区与阻力平方区的临界雷诺数较平直管槽水流中的相应的临界雷诺数为小，而且其数值也不是固定单一的，而是随不同边界条件而变化的。

#### 2. 河道水流的流态

河道水流的流态要比简单的棱柱体明槽水流的流态复杂得多。

正流（或元生流）是河道水流的主体部分。其流向与河道纵比降总的倾斜趋势相一致，主要决定于河谷地貌和地质条件。在正流中，包含主流带及主流线，前者为围绕主流线两侧一定宽度内平均单宽流量较大的流带；后者为各河段水流平面中最大单宽流量所在处的平顺连接线。主流带与主流线对全河段的总的状态及发展趋势有决定性的作用，是对一个河段进行河流水力学分析的主要研究对象之一。

在河道水流中，与正流或元生流相对应的是副流或次生流。它不是由河床纵比降的总趋势决定的，而是在河段中的正流，特别是在正流中主流所决定的河道水流的总形势下，由纵比降以外的其他因素所促成的。这种次生流，有的具有复归性，或者基本上与正流脱离，在一个区域内呈循环式的封闭流动；或者与正流或其它副流结合在一起，呈螺旋式非封闭的复归性流动。这类具有复归性的次生流称为环流。