

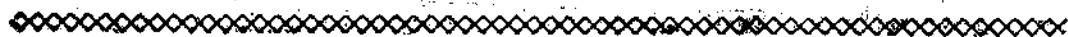
中等专业学校教材

治河与防洪

黄河水利学校 柳学振
辽宁省水利学校 佟名辉 合编



中等专业学校教材



治 河 与 防 洪

黄河水利学校 柳学振
辽宁省水利学校 佟名辉 合编

内 容 提 要

本书是根据1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材出版规划进行编写的,是水利工程专业、水利水电工程建筑专业的通用教材。全书包括河流的一般知识、河床演变、河道整治、防洪工程、防汛抢险以及工程泥沙等共六章,较系统地介绍了治河与防洪的有关知识。

本书除适合于上述两个专业作教材使用外,还可供其它专业师生及从事水利工程管理的技术人员参考。

中等专业学校教材

治 河 与 防 洪

黄河水利学校 柳学振 合编
辽宁省水利学校 佟名辉

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.5印张 192千字

1991年5月第一版 1991年5月北京第一次印刷

印数 0001—5390册

ISBN 7-120-01283-5/TV·442

定价2.15元

前 言

本教材是根据《1990~1995年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编审出版规划》进行编写的。

“治河与防洪”课是水利工程专业的必修课，也是水利水电工程建筑专业的选修课。开设本课的目的是为了让学生掌握泥沙运动的基本理论、河床演变的基本原理及治河防洪的基本方法和措施，并学会运用这些基础知识去处理治河防洪工作中的有关问题。全书共分六章。第一章河流的一般特性，阐述了河道水流、泥沙的特性和河流的有关知识。第二章河床演变，主要介绍了河床演变的基本原理、河床演变的分析方法以及平原河流的演变规律。第三章河道整治，讲述了河道整治规划的基本知识以及平原河道的整治措施，对河道整治建筑物的作用、结构及施工也进行了讨论。第四章防洪工程，主要是阐述防洪的概念和一些基本措施。第五章防汛抢险，介绍了防汛抢险的基本知识和各种险情的鉴别、抢护原则和基本方法。第六章工程泥沙，则主要是介绍灌溉引水口及水库等水利工程的有关泥沙问题。

治河防洪是一门古老而又年轻的学科，它涉及面相当广泛，限于篇幅，本书只介绍了一些基本理论、基本原理和基本方法。

本书由黄河水利学校柳学振和辽宁省水利学校佟名辉合编，柳学振统稿。其中第一、二章由佟名辉编写，绪论及第三、四、五、六章由柳学振编写。全书由黄河水利学校陆德民主审。本书在编写的过程中，还得到了黄河水利学校汪丽妹的帮助。

书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1990年6月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 河流的一般知识	4
第一节 河流的形成及一般特性	4
第二节 河道水流的特性	9
第三节 河流泥沙的特性	15
第四节 河流泥沙运动	25
第二章 河床演变	34
第一节 河流分类及演变的概念	34
第二节 河床演变的基本原理及其分析方法	36
第三节 平原河流的河床演变	43
第三章 河道整治	50
第一节 河道整治规划	50
第二节 平原河道的整治措施	58
第三节 河道整治建筑物	67
第四章 防洪工程	77
第一节 防洪工程的一般概念	77
第二节 堤防工程	79
第三节 分洪工程	84
第五章 防汛抢险	91
第一节 防汛与抢险工作	91
第二节 险情的鉴别与抢护	95
第六章 工程泥沙	106
第一节 水库的泥沙问题	106
第二节 水库的淤积计算及防治	115
第三节 平原河流引水口的泥沙问题	122

绪 论

河流与人类活动有着密切的利害关系。人们可以在谷狭坡陡的河段上开发水利资源，促进国民经济发展；也可以利用水流平顺，具有一定水深的河段发展航运事业，以及解决工农业用水。但是处于自然状态下的河流，由于水量在时间和空间上的分布不均、泥沙冲淤不定、河道迁徙多变，不仅远远不能满足人类活动日益增长的需要，甚至还会带来严重的灾害。众所周知，黄河曾经孕育了我国古代灿烂的文化，但历史上的黄河也曾是一部劳动人民的苦难史。要充分利用和开发河流的有利方面，并克服其有害的一面，必须对河流积极地进行整治，在一定的程度上改变河流的自然状态，变水害为水利。

自然状态下的河流，固然不能满足人类活动的需要，就是在开发水利资源的过程中，由于修建了水利工程，改变了河道的自然状态，还会引起河道发生一系列的新变化，产生一些新的问题。例如，在河流上兴建水利枢纽，一方面可以调节径流，集中水头，有利于灌溉和发电，综合地利用水资源；另一方面，由于水库泥沙的淤积、坝下的冲刷，以及引起河道下游的变化，又必须采取一些相应的整治措施，以求达到最高的效益。此外，河道的防洪、渠道的引水、河口的治理和港口的兴建也都是如此。我国河流众多，水利资源丰富，可以说是江河纵横交错，湖泊星罗棋布。据统计，流域面积在 1000km^2 以上的河流就有1500多条。特别是新中国成立后，在长江、黄河、淮河、海河等河流上修建了大量的水利工程，这些工程对工农业生产都发挥了显著的作用。但在一些河流，尤其是北方河流，由于水土流失和泥沙的侵蚀、输移、沉积，又给水利工程带来许多新问题，有的问题甚至严重地威胁着水利工程的安全和寿命。

综上所述，无论是在自然状态下的河流，或者是在开发河流水利资源的过程中，都会遇到治河防洪的实际问题。随着水利建设事业的发展，治河防洪在国民经济中的地位也日益重要，这就要求水利工作者，努力去研究治河防洪这门科学。

还应该看到，治河防洪不仅仅只是一条河流的上下游问题，还涉及到河流的左右岸，甚至是关系到国计民生的大问题。黄河的洪水不仅威胁黄河下游沿黄地区，而且还威胁到黄淮海平原的安全。所以我们常说“黄河安危，事关大局”。

治河防洪这门学科是随着社会生产的发展而逐步发展起来的。近代水利工程是从治河开始的，而防洪又是治河的基本目标之一。因此，治河防洪既是水利工程的一个重要分支，又和水利工程各个部门有着密切的联系。学习这门课程，既要求具有广泛的水利工程知识，也要求了解国民经济各部门对河流的治理要求。本课程就是从研究水、沙和河流的边界条件入手，探讨河流的演变规律，并运用这些规律去有效地治理河道。

众所周知，河流是流水塑造而成的。流水在塑造河床过程中，剥蚀地面、搬运泥沙、塑造平原，使涓涓细流汇成大江大河。由此不难得出，要认识河流，必须紧紧抓住水、沙和河流的边界条件这三个基本方面。

平原河流这三方面的关系，是水流作用于河床，河床约束着水流，水流与河床形成了一对矛盾的两个方面，它们相互依赖、相互影响、相互斗争，推动着河流的发展。它们的这种依赖、影响、斗争又需要通过泥沙的运动来体现。例如水流对河床的作用，往往通过河床的冲刷或淤积来表现；而河床对水流的约束显然是通过由泥沙组成的河床起作用的，也就是说在水流与河床的交互作用中，泥沙在许多情况下是起着纽带作用的。因此，研究河床演变及对河道的治理，还必须掌握河流泥沙运动的基本规律。本书在简要地介绍河道水流、泥沙运动的有关知识的基础上，向读者阐述河床演变的基本原理与工程泥沙问题，并运用这些基本原理讲述对平原河流进行治理的一些基本方法。

由于气象、水文和地质条件的复杂性，因而构成了形形色色的河流，世界上很难找到完全相同的河流。因此，本书阐述的河床演变及河道整治的技术，仅是一些基本原理和基本方法，这就要求在学习与应用的过程中，需特别注意以下两点：一是注意理论联系实际，要根据河流的具体情况，因势利导，运用不同的治理措施；二是注意吸收前人的经验和教训，以免走弯路，造成不必要的损失。

治理河道与洪水作斗争，在我国有很古老的历史。历史上的治河，主要反映在以黄河为主要对象的治河防洪中。

早在公元前2000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。至16世纪中叶，明朝的潘季训治黄期间，黄河上的堤防系统，“有缕堤以束其流，有遥堤以宽其势，有滚水坝以泄其怒”，已经达到相当完备的程度。同样，潘季训在长期治河实践中提出的“水分则势缓，势缓则沙停，沙停则河饱。…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基本一致的。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。

其它如引水防沙等方面，古代劳动人民也做出了光辉的业绩。著名的都江堰工程，经过多次的改建，一直灌溉着成都平原。郑国渠也曾灌溉过富饶的关中平原。再如，我国劳动人民在与水害作斗争的过程中创造的黄河埽工，长江和钱塘江出口段的海塘，都江堰的卵石竹笼、杩槎等技术措施，也都是非常成功的。

我国古代劳动人民虽然在治河防洪方面取得了不少的成就，但由于社会条件和科学技术条件的限制，治河防洪工程的发展，受到了很大的阻碍，历代对治河防洪的一些认识，也还只是零星的、片面的，大多还停留在感性认识阶段。黄河治理的过程充分说明了这一点。黄河在历代反动统治时期，得不到根本治理，中上游水土流失严重，下游河道摆动不定，洪水泛滥频繁。根据历史不完全记载，解放前的2000多年中，黄河下游洪水决口竟达1500多次，大的改道26次，形成了三年两决，百年一改的悲惨局面。特别是反动统治者为了巩固其统治地位，搞什么“以水代兵”，给劳动人民带来深重灾难。突出的例子就是国民党反动派在1938年扒开花园口黄河大堤，致使豫东、皖北和苏北44个县的广大平原皆成泽

国,造成了5.4万km²的黄泛区,受灾人口达1200万,死亡人数达89万之多。

中国人民治理黄河的愿望,只是在中国共产党的领导下,获得彻底解放以后才得以实现的。

解放40年来,无论是在河流泥沙研究方面或治河防洪工程方面,都取得了前所未有的成就。从防止洪水灾害来说,全国14万多km的堤防,经过加高培厚、改线延伸、消除隐患和防护险工等措施,提高了防洪标准,结合蓄洪、分洪、滞洪等一系列工程,使洪水的威胁大大减轻。长江安渡了1954年的大洪水;黄河下游在1958年发生特大洪水,创造了既未分洪,又保住了堤防的奇迹,现已安渡了40多个伏秋大汛。从综合利用水利资源来说,为各种目的而兴建的水库达9万多座,这些水库在国民经济中发挥了极其重要的作用。其它诸如控制水土流失,延长水库寿命,稳定河道,取水防沙,用洪用沙,疏浚河道,改善航运,河口港湾治理,以及与泥沙防治、治河防洪密切相关的方面,都取得了很大成就。

泥沙运动和治河防洪工作的理论研究,也随着生产建设的发展而发展。新中国成立后的40年来,我国布设了大量的野外观测站网,广泛收集第一手资料,建立泥沙专业机构,在高等院校培养了大批从事泥沙研究、治河防洪的专门人才。经过广大科技工作者的努力,在泥沙运动学,河床演变,治河防洪,水利水电枢纽的工程泥沙,河口海岸泥沙问题以及河工模型试验等方面的研究,都取得了明显的进展。

我国不少河流土壤侵蚀严重,尤以黄河多沙著称,每年输沙总量16亿t,平均含沙量37.6kg/m³,均居世界首位,详见下表所示。大量的泥沙直接影响防洪的安全,如何处理它们,这是我们水利工作者面临的艰巨任务。由于我国水文气象、地理条件的复杂性,治河防洪还将是一项长期的艰巨工作,任重而道远。但是不难设想,在党的领导下,在实现四个现代化的新长征中,我国的治河防洪工作,将会出现更加光辉灿烂的前景。

国内外主要河流径流量、泥沙特征表

河 流	所属国家	流域面积 (万km ²)	年输沙量 (亿t)	年水量 (亿m ³)	年平均含沙量 (kg/m ³)	年平均输沙模数 (t/km ² ·a)
恒 河	印度, 孟加拉	95.50	14.51	3710	3.92	1519
布拉马普特拉河	孟加拉, 印度	66.00	7.26	3840	1.89	1089
印 度 河	巴基斯坦	96.90	4.35	1750	2.49	449
伊洛瓦底江	緬 甸	43.00	2.99	4270	0.70	695
湄 公 河	柬埔寨, 越南	80.00	1.70	3500	0.49	210
红 河	越 南	11.90	1.30	1230	1.06	1092
密西西比河	美 国	323.00	3.12	5645	0.55	96.6
密苏里河	美 国	137.00	2.18	6160	3.54	159
亚马孙河	巴 西	580.00	3.63	57396	0.063	63
尼 罗 河	埃及, 苏丹	297.80	1.11	892	1.25	37.3
黄 河	中 国	75.24	16.00	432	37.6	2480
长 江	中 国	180.72	5.14	9211	0.54	280
淮 河	中 国	27.00	0.14	261	0.46	153
海 河	中 国	31.90	1.60		5.63	1130

第一章 河流的一般知识

第一节 河流的形成及一般特性

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流的水道，称为河流。它是流水侵蚀和地质构造作用的产物。

一、河流的形成

我国河流中水的来源主要是降雨，少量是冰雪融化。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从高向低流动，并汇集于低洼处，形成集中水流。水流在重力作用下流动。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，使地面上产生许多的沟涧。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。

河流所流经的谷地称为河谷。其河谷可由下列几个部分组成，如图1-1所示。

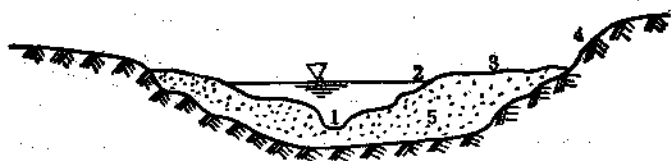


图 1-1 河谷横剖面示意图

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。在枯水、中水、洪水时期被水流所占据的部分，分别称为枯水、中水、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 河谷横剖面上明显的转折处，即谷底和谷坡连接的地方，称为坡脚。

决定河谷形成与发展的因素，主要是水流作用。

二、河流的一般特性

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，其形成过程也显然不同，各自具有自己的一般特性。

(一) 山区河流的一般特性

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地、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步发展

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1-2所示。除在岩层抗冲性能显著不同之处，可能形成所谓侵蚀阶地外，坡面呈直线形或曲线形。谷地与谷坡间没有明显的分界。不存在水流堆积作用，没有或少有近代堆积层。

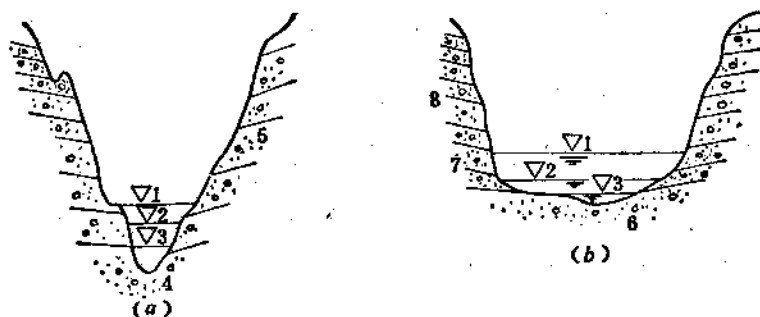


图 1-2 山区河流河谷横剖面形态图

(a) V字形河谷形态；(b) U字形河谷形态

1—洪水位；2—中水位；3—枯水位；4—沙卵石层；5—崩塌岩石堆石区；6—砂卵石层；7—页岩露头；8—表面覆盖层

在陡峻的地形制约下，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。河床宽深比一般都很小。

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。

河床纵剖面一般多为比降陡峻，形态也极不规则，急滩深潭相互交错，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为川江某段纵剖面图。

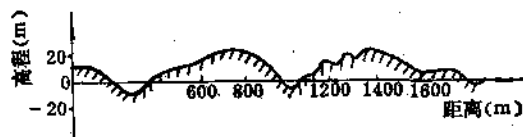


图 1-3 川江某段河床纵剖面图

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难以截然划分。洪水期久晴不雨，可能出现枯水；枯水期如遇大雨，也可能出现洪水。图1-4为某山区河流的水位过程线图。

山区河流由于受地理与气象的影响，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，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、石梁等滩险，造成很大的横向坡降，对航行威胁很大。在水位不同情况下，这些滩险壅水情况也不同，坡降因时变化是十分显著的。河槽窄，坡降大，流速大，在滩险处易形成急流。

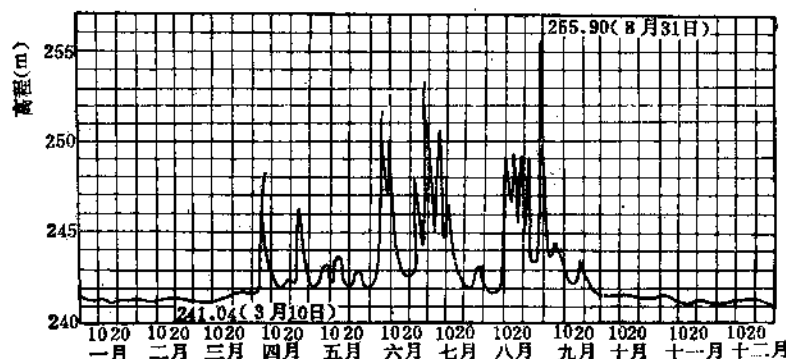


图 1-4 山区河流水位过程线

山区河流的流态，由于受极不规则的河床形态的影响，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，含沙量就较大。甚至山洪暴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砂及粘土，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砂，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约占悬移质年输沙量的10%以下。

山区河流的河床多为原生基岩、乱石和卵石所组成。推移质堆积多为鱼鳞状排列，少数的呈松散堆积状。卵石粒径往往有沿程递减的趋势。

山区河道从长时期来看，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，从短时段来看，冲刷变形是非常缓慢的，甚至可认为基本稳定不变的。只是在特殊的边界、水流条件下，某些河段可能发生大幅度的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。

(二) 平原河流的一般特性

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，其上为夹砂卵石层，再上为粗砂、中砂以至细砂，在枯水位以上的河漫滩表层部分则有粘土和壤土，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，砂卵石层多为冰川期的堆积物，而砂层则为近代的堆积物。

平原河流的河谷横剖面形态显著特点，是具有宽阔的河漫滩，如图1-5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，随着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一些湖泊及洼地，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。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。

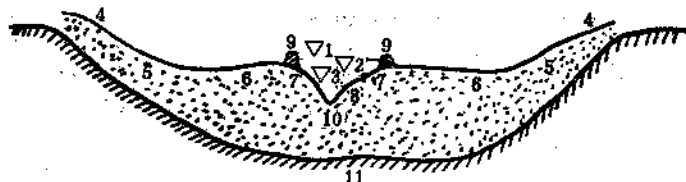


图 1-5 平原河流河谷横剖面形态图

1、2、3—洪水、中水、枯水位，相应水位下的河床为洪水、中水、枯水河床；4—谷坡；5—坡脚；6—河漫滩；7—滩唇；8—边滩；9—堤防；10—冲积层；11—原生基岩

河漫滩的组成物质是由水流堆积作用形成的，一般较为松软。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。例如辽河支流老哈河就有“十年河东，十年河西”之说。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些细沙与粘土，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。

在平原河流的主槽中，由于水流与河床不断的相互作用下，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1-6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。

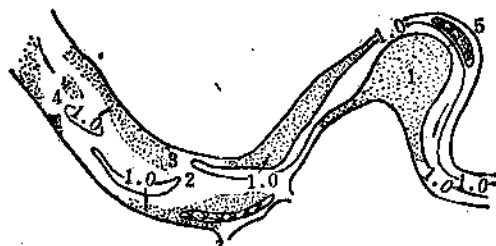


图 1-6 河道中泥沙成型堆积体

1—边滩；2—浅滩（或沙埂）；3—沙嘴；4—江心滩；5—江心洲

按其平面形态和演变规律,将平原河流可分为四种基本类型,即:

(1)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,并在洪水期间向下平移。

(2)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。

(3)分汊型或交替消长型:河段主要特点为,中水河槽分汊,汊道周期性交替消长。

(4)散乱型或游荡型:河段主要特点为:中水河槽河身宽浅,沙滩星罗密布,出没变化迅速无常。

平原河流不同的河型具有不同的河道演变特点,是河道演变中十分重要的问题,应采取不同的有效整治措施。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1-7所示。

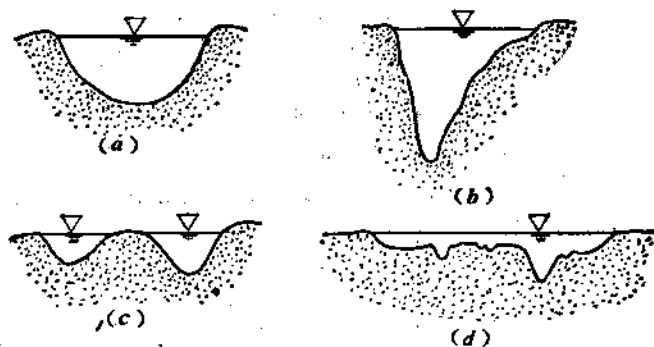


图 1-7 平原河流不同河段横剖面图

(a)顺直过渡段; (b)弯曲段; (c)分汊段; (d)游荡段

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,无明显的阶梯状变化。但是,由于深槽浅滩交替,所以河床纵剖面是有起伏的平缓曲线,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‰~1‰以下;流速也相应较小,一般都在2~3m/s以下。只有在河口处,由于海洋或湖泊的影响,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。图1-8为1957年长江汉口站水位过程线。

平原河流中的悬移质多为细砂或粘土，推移质多为中细砂。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。平原河流含沙量及粒径的沿程变化，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。

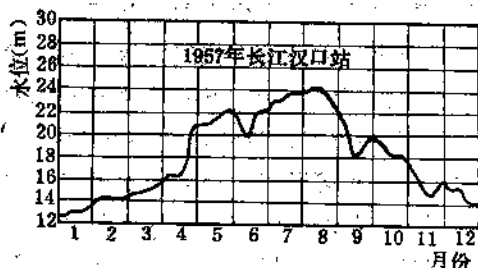


图 1-8 平原河流的水位过程线图

平原河流推移质输沙量占悬移质输沙量的百分数，比山区河流的为小。

第二节 河道水流的特性

河流是水流和河床两个部分相互作用下的水流运动。河床中的水体是在重力下，克服阻力而运动的。河床是水流运动的固体边界，一般由颗粒大小不同的泥沙组成，有些局部河段是由基岩组成的，河道周界是相当粗糙的。由于河道中的水流雷诺数很大，往往超过临界值，因此，河道水流均为紊流。

一、紊流的形成及其主要特性

天然河道的水流都是紊流。水流是泥沙运动的动力，水流挟带的泥沙是依靠水流中紊动漩涡的支持才能维持其悬浮状态。水流流速场和水流紊动场密切相关。因此，分析泥沙运动和河流演变之前，必须了解紊流的主要特性。

(一) 紊流的形成

1. 紊流 在河道的水流中，水体质点除了沿流向方向运动外，还作其他方向的不规则运动，水流内部水体质点互相掺混，互相碰撞，还产生了大大小小的漩涡。这种由大小不同漩涡组成的水体质点互相掺混，互相碰撞，内部紊乱，作随机运动的水流，称为紊流，如图1-9所示。

2. 紊流的形成 在天然河流中，水流是运动的，河床是相对静止的，当床面比较光滑

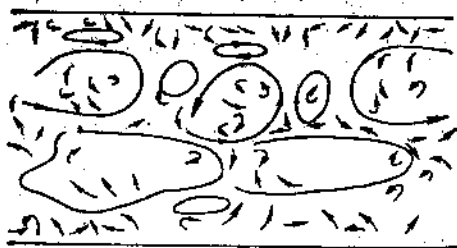


图 1-9 管流中的紊动漩涡示意图



图 1-10 光壁紊流的发生

(a)层流；(b)受到扰动，流线略有波动；
(c)流线扭曲而产生漩涡

时, 由于靠近床面水流流速梯度较大, 水流受到任何扰动, 层流就会失去稳定而产生漩涡, 如图1-10所示。

扰动使水流流线发生弯曲, 如图1-10(b)。于是在这些相邻的流线之间, 形成了有的地方流线密集, 有的地方流线分散。在流线密集处, 流速大, 压力减小, 在流线分散处, 流速小, 压力增大, 则在垂直于流向的方向上, 形成压力差。压力差将进一步使流线发生扭曲, 如图1-10(c), 进而压力差再增大, 促使流线扭曲不断发展。最后, 以至破碎分裂成离散的一连串的漩涡。或者, 由于河道床面相当粗糙, 在突出床面沙粒的后面, 当水流流速达到一定值时, 水流也会发生程度不同的分离, 在分离面上卷起漩涡, 如图1-11所示。使层流转变成紊流。因此, 河床周界是产生漩涡的根源。

水流在河床周界产生漩涡后, 漩涡附近各流层的水流流速分布状况, 将因漩涡的存在而有所改变。漩涡顶部, 漩涡旋转方向与当地水流流速方向一致; 而漩涡的底部却相反。其结果, 漩涡顶部流速增大, 压力减小; 漩涡的底部流速减小, 压力增大。这样, 在漩涡上下便形成向上的压力差, 使漩涡离河底上升, 逐渐扩散遍布全部水流。与此同时, 漩涡还被带向下游。这种扩散使各流层间势必发生漩涡的掺混、碰撞和交换, 形成了水流的脉动, 继而发展成紊动水流, 如图1-12所示。

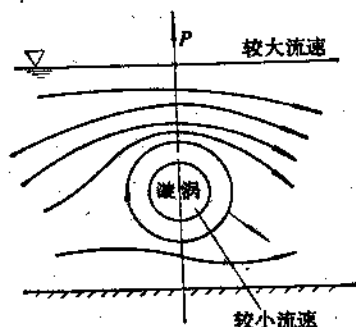
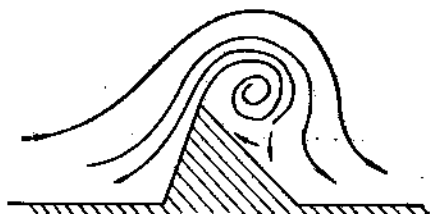


图 1-11 突出床面的泥沙颗粒后面而产生的漩涡 图 1-12 漩涡脱离河床表面进入主流区的机理

(二) 紊流的主要特性

1. 流速的脉动 紊流运动是由大小不同的漩涡所组成的无规则的随机运动。紊流最基本的特性是紊动, 即随机运动。水流流速场和压力场都是随机的, 即使在流量不变的情况下, 流场中任一点的流速和压力也随着时间呈十分不规则的脉动。图1-13是实测的某点纵向流速随时间的变化。

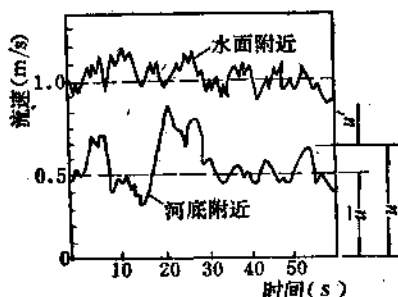


图 1-13 实测的瞬时流速图

从图1-13可以看出, 任一时间 t 的流速可表示为

$$u = \bar{u} + u' \quad (1-1)$$

式中 u ——瞬时流速;

$\bar{u}$ ——时均流速, 即时段内的瞬时流速时间平均值;

u' ——脉动流速,即瞬时流速与时均流速之差。

在恒定流中,时均流速 $\bar{u}$ 是一个不随时间而变化的量。脉动流速 u' 的时均值为零,

即
$$\bar{u'} = \frac{1}{T} \int_0^T u' dt = 0 \quad (1-2)$$

式中 T 为时间。

2.脉动强度 水流的脉动速度有大有小,有正有负,其绝对值的大小直接反映了水流紊动的强弱。为了比较不同点的水流脉动的强弱,常用脉动流速的均方根来表示其水流脉动强度。对于任一点的瞬时流速的3个分量为 u 、 v 、 w ,其各自的脉动流速为 u' 、 v' 、 w' ,则脉动强度分别为

$$\sigma_{u'} = \sqrt{\overline{u'^2}} \quad (1-3)$$

$$\sigma_{v'} = \sqrt{\overline{v'^2}}$$

$$\sigma_{w'} = \sqrt{\overline{w'^2}}$$

脉动强度具有速度因次。

还可以用相对脉动强度 $\frac{\sigma_{u'}}{u_*}$, $\frac{\sigma_{v'}}{u_*}$, $\frac{\sigma_{w'}}{u_*}$ 来表示脉动的强弱。式中 u_* 为摩阻速度或切力速度。具有速度的因次。所以相对脉动强度是个无因次的量。一般来说,紊动强度是随流速增加而增大;同一断面上是随水深增加而增大。图1-14为明渠脉动强度沿水深分布的实测图。

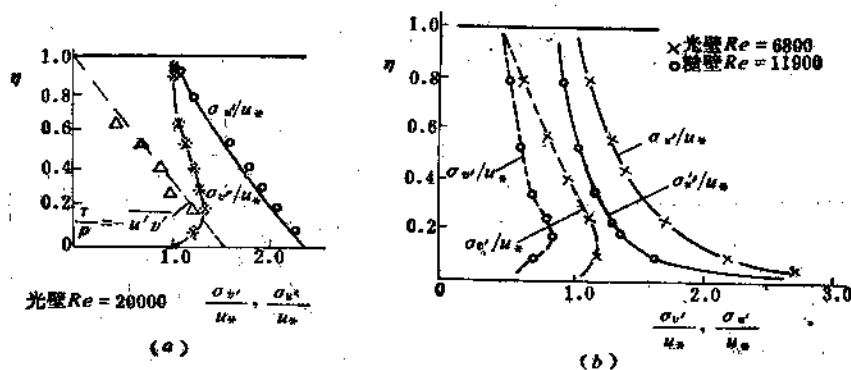


图 1-14 明渠脉动强度沿水深分布

(a)1952年实测资料; (b)1969实测资料

3.扩散性 由水力学课程雷诺试验可知,管中水流流速大到一定程度后,带色液体的流线开始失去稳定,发生弯曲;流速再增大,管中出现大小不同的漩涡,带色溶液扩散遍布全管。这种能把带色溶液扩散全管,使带色溶液和管中不带色的水体充分混和在一起的性质,称为紊流的扩散性。由于紊流的这种扩散作用,能够在水层之间传递动量、热量和质量。使得紊流中沿断面上的流速分布,远比层流情况下均匀得多,如图1-15管流中层流

与紊流的流速分布比较图所示。

(三) 紊动切应力

水体由层流转变为紊流后，其物理性质未发生任何变化，连续介质的假设仍然适用，紊流运动仍可用斯托克斯方程和连续方程来描述，并能得出紊流运动的雷诺方程。但是，求解雷诺方程极困难，所以在讨论紊流运动时，将紊动水流简化为恒定、沿程均匀的二元平行紊流，这样雷诺方程就可写成

$$\gamma J + \frac{d}{dy} (\tau' - \rho \overline{u'v'}) = 0 \quad (1-4)$$

式中 γ —— 水体重量率；

J —— 水面坡降；

ρ —— 水体密度；

τ' —— 液层水平方向粘滞切应力；

$\rho \overline{u'v'}$ —— 液层水平方向紊动切应力。

式(1-4)称为明渠二元恒定均匀流的紊流雷诺方程式。式中 $-\rho \overline{u'v'}$ 是因水流紊动而产生的水平方向切应力，称为紊动附加切应力，用 $\tau'' = -\rho \overline{u'v'}$ 表示，此外还有水体粘性产生的粘滞切应力 $\tau' = \mu \frac{du}{dy}$ 。因此，明渠二元恒定均匀紊流的总切应力 τ 应为

$$\tau = \tau' + \tau''$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} - \rho \overline{u'v'} \quad (1-5)$$

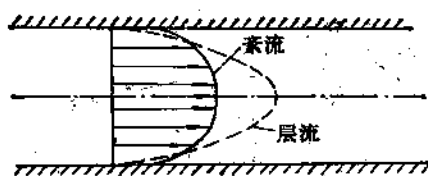


图 1-15 管流中层流与紊流的流速分布比较图

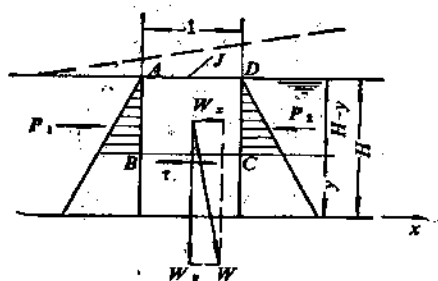


图 1-16 均匀流中水体受力平衡图

总切应力 τ 值可由水体受力平衡条件求得。假设在均匀流中取单位宽度的水体 $ABCD$ ，如图1-16所示。作用在水体上的力有水压力 P_1 、 P_2 ，重力 W 和 BC 面上的切应力 τ 。因为是均匀流，则作用在水体 $ABCD$ 上的合力为零。又因水体两边水压力 $P_1 = P_2$ ，所以只有重力在 x 方向的分力 W_x 与切应力相平衡。得力的平衡方程式为

$$\tau = \gamma H J \left(1 - \frac{y}{H} \right) \quad (1-6)$$