

高等学校教材

河床演变及整治

武汉水利电力学院 谢鉴衡 丁君松 王运辉



高等学校教材

河床演变及整治

武汉水利电力学院 谢鉴衡 丁君松 王运辉

水利电力出版社

高等学校教材

河床演变及整治

武汉水利电力学院 谢鉴衡 丁君松 王运辉 编著

*

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 20.125印张 456千字

1990年6月第一版 1990年6月北京第一次印刷

印数0001—1090册

ISBN 7-120-00949-4/TV·320

定价4.00元

内 容 提 要

本书由浅入深，以理论指导实践，以典型实例说明整治原则，汇集了国内外有关河床演变及整治的大量研究成果及工程经验，特别是国内外近30年的成果和经验。

本书可供治河专业，交通运输以及铁路工程等专业本科学学生及工程技术人员参考。

前 言

本书系1961年武汉水利电力学院出版的《河流动力学》，1965年出版的《河道整治》及1981、1982年出版的《河流泥沙工程学》中河床演变及整治部分的修订及补充稿。它是一本着眼于工程应用的将河床演变与整治紧密结合起来的大学本科教科书及工程技术人员的参考书。书中汇集了国内外有关河床演变及整治的大量研究成果及工程经验，特别是国内近30年的成果及经验。也部分纳入了作者及其工作单位的研究成果。

本书因限于篇幅，内容不得不尽量精简，但力求自成体系，使读者得窥全貌。

本书分为3个部分。绪论及前两章讨论河床演变整治的一般性问题；第三章至第八章介绍不同河流及某些特定河段的河床演变规律及整治措施；第九章至第十三章讲述与修建工程有关的河床演变及整治问题。绪论、第一、九、十、十一、十二章由谢鉴衡编写，第二、三、四、五、六、七章由丁君松编写，第八、十三章由王运辉编写，全书由谢鉴衡审编统稿，张松琴主持全书文稿及图表的编辑工作，李贞儒也参加了部分编辑工作。

本书由成都科技大学华国祥教授主审，在审稿过程中，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

编 者

1987年9月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 河床演变的一般问题	4
第一节 河流的一般特性	4
第二节 河床演变的基本原理	10
第三节 河床演变的分析方法	14
第四节 河床的稳定性	21
第五节 河相关系	25
第六节 纵剖面	35
第二章 整治建筑物及整治手段	42
第一节 整治建筑物的材料和类型	42
第二节 中水和枯水河床整治建筑物	45
第三节 洪水河床整治建筑物	49
第四节 疏浚和爆破工程	55
第三章 顺直型河段的河床演变及整治	58
第一节 河段特性	58
第二节 演变规律、形成条件及整治工程	61
第四章 蜿蜒型河段的河床演变及整治	65
第一节 河段特性	66
第二节 演变规律	76
第三节 形成条件	80
第四节 护岸工程	81
第五节 裁弯工程	85
第五章 分汊型河段的演变及整治	99
第一节 河段特性	99
第二节 演变规律	106
第三节 形成条件	113
第四节 汉道的固定和改善	114
第五节 堵汉工程	116
第六章 游荡型河段的演变及整治	119
第一节 河段特性	119
第二节 演变规律	122
第三节 形成条件	125
第四节 河势控制及整治探讨	126

第七章 浅滩的演变及整治	133
第一节 浅滩特性及类型	133
第二节 浅滩演变	138
第三节 水深分析	144
第四节 浅滩整治	148
第五节 浅滩疏浚	155
第八章 潮汐河口的演变及整治	163
第一节 潮汐河口水流运动	163
第二节 潮汐河口的泥沙运动	173
第三节 潮汐河口的河床演变	181
第四节 潮汐河口的整治	187
第九章 水库淤积及其防治措施	191
第一节 水库淤积的现象和规律	191
第二节 水库淤积估算	202
第三节 水库泥沙的防治	212
第十章 坝区泥沙问题及其防治	220
第一节 坝区河势规划与枢纽布置	220
第二节 通航建筑物的防沙措施	224
第三节 水电站的取水防沙措施	231
第十一章 水利枢纽下游的河床演变及其防治	246
第一节 水利枢纽下游河床的一般冲刷及其防治	246
第二节 水利枢纽下游河床的局部冲刷及其防治	263
第十二章 灌溉取水工程泥沙问题	270
第一节 无坝取水工程的取水防沙问题	270
第二节 有坝取水工程的取水防沙问题	281
第三节 人渠泥沙的防治	285
第十三章 桥渡附近的河床变形及整治	296
第一节 桥渡与河床演变	296
第二节 桥渡上游的壅水计算	298
第三节 桥渡附近的河床冲刷计算	300
第四节 桥渡附近的河床整治	307
参考文献	312

绪 论

河床演变泛指自然情况下及在修建整治建筑物后河床发生的冲淤变化过程。显然，这种冲淤变化过程不会总是有利于人类的生产活动，相反，在许多情况下可能产生巨大的破坏作用，而必须采取工程措施加以控制，这类工程措施即称河床整治，或称治河工程。

常见的自然河床演变现象有：以一岸冲退，另一岸淤进形式出现的河槽平面变形；以一汊冲刷，另一汊淤积形式出现的主、支汊交替发展；以汛期淤积，汛后冲刷形式出现的浅滩高程周期性变化……等。这些河床演变现象对防洪护岸，港口码头，工农业用水及航道尺度的不利影响往往是很大的。

常见的修建整治建筑物后的河床演变现象有：修建拦河坝所引起的水库淤积及坝下游冲刷现象；采取重大河工措施，如裁弯取直或塞支强干所出现的河床冲淤变形现象；束水或分流所产生的河床冲淤变形现象……等。这些河床演变现象对工程的寿命、效益以至成败的影响也是显而易见的。

由于河流的形成及发展条件各异，开发利用的程度与日俱增，河床演变的特点及其可能产生的问题是各种各样而且复杂多变的，前面所列举的不过荦荦大者而已，但仅此数者，已可看出研究河床演变及其整治措施的重要。

人类的生产活动，对于其密切相关的客体，包括河流在内，有一个最根本的要求，这就是稳定不变，或者虽变但可以预测，从而可预谋对策以立于不败之地。天然冲积河流，由于具有可动边界及不恒定的来水来沙条件，必然是变化不居的，这就决定了研究河床演变的关键所在是掌握它的变化规律并进行定性以至定量的预报。

河床演变是具有不恒定的进出口条件及复杂可动边界的水沙两相流运动的一种体现形式。河床影响水流结构，水流又反过来影响河床变化，而这两者的相互影响是以泥沙运动为纽带而相互联系的。这就决定了河床演变是力学问题，应该用力学的方法进行研究。与它直接相关的学科是河流泥沙动力学。然而，完全运用现有河流泥沙动力学知识来研究河床演变往往难以行通，重要原因之一是，现有河流泥沙动力学知识还不够完善，在基本规律方面，以均匀流、恒定流、主流为研究对象的多，以非均匀流、不恒定流、副流为研究对象的少，以均质沙为研究对象的多，以非均质沙为研究对象的少，而天然河流的河床演变却在相当大的程度上与非均匀流、非恒定流、副流及非均质沙的运动密切相关。另一个重要原因是，河床演变虽受力学规律约束，但决定这一力学现象的边界条件，包括进口水沙条件，出口侵蚀基点条件及河槽周界条件，则除与流域水文气象因素相关外，还与河谷地貌因素相关，例如河谷、河漫滩的形态及组成对近代河床演变影响甚大，而其本身则为历史河床演变的产物，属于河流地貌学的研究范畴。正是由于这样的原因，河床演变应介于泥沙运动力学及河流地貌学之间的一种边缘学科。它的研究目标，在针对河床微观变形的同时，还指向不计细节的宏观变形以及不考虑变化过程的终极状态和某种平均情况。

它的研究方法,除使用定量的力学分析方法之外,也常使用定性的逻辑推理及根据野外观测资料寻求定性的或粗略定量的经验关系的方法,作为影响因素复杂多变的河床演变现象,这样的研究目的和研究方法正好反映了它所具有的与河流泥沙动力学迥然不同的特色。

河床整治,作为一种工程技术手段,其目的在于控制河床演变的发展方向,使之有利于人类的经济活动。正确的河床整治工程必须建立在对河床演变的正确理解及掌握的基础上,进行河床整治工程的难点不在于建筑物本身,而在于整治建筑物所激起的河床演变是否朝预期的方向发展。这正是本书之所以将河床演变及整治结合在一起讲授的原因。

河床演变及河床整治作为学科来说,其发展后者先于前者,这是由实际生产要求决定的。在我国,由于黄河防洪的需要,以堤防及护岸工程为主要手段的治河工程早就发展起来了,至明潘季驯(十六世纪中叶)时已发展到具有完整的体系。欧美的治河工程则是以发展航运为先导的,至上一个世纪末已取得显著成就。至于以灌溉为目的的河床整治工程,则在我国、海湾地区的美索不达米亚、埃及和印度都可以追索到很久远的年代。毫无疑问,在进行河床整治工程的同时,必然会揭示一些河床演变的规律,例如潘季驯在治理黄河时所提出的“束水攻沙”,“分流必淤”的理论,法格(O. Fargue)长期观察加龙(Garonne)河所揭示的5条河弯基本规律,洛赫京(В. М. Лохтин)在研究伏尔加河航道所提出的稳定系数等。然而,这些规律性毕竟十分零散,尚不足以形成一门学科。随着泥沙运动力学及河流地貌学的研究日趋深入,河床演变作为一门学科已初具雏形。马卡维也夫(Н. И. Маккавеев)在1955年出版的专著“河床及其流域中的侵蚀”是将两种研究方向融合在一起的一次初步尝试。马卡维也夫作为地理学家和航运工程师进行这样的工作具有一定的有利条件。他的研究,在归纳河床演变规律的同时,着重考虑了地理背景及流域特征对河床演变的影响。

50年代末,为了教学工作的需要,我们在《河流动力学》一书中系统总结了河床演变的一般规律及不同河型和河槽中特定组成部位的演变规律,阐述了河相规律及河床稳定性问题,并将河流的数学模拟及实物模拟(河工模型)在当时的基础上作了归纳和介绍,目的是更多地从工程角度来发展河床演变这一学科。

自此之后,在河床演变研究的广度和深度方面又有了大的提高。我国从50年代开始,在大江大河上布置了相当数量的水文、泥沙及河床演变观测站网,取得了丰富的野外实测资料。通过对实测资料所进行的理论分析,对江河演变规律的认识进一步深化了。有关自然情况下或修建水工建筑物后的河床演变,都已有出不少专著和散见于各类期刊的大量论文。对河型分类,不同类型河流的河床演变,河床的稳定性及河相关系,修建水工建筑物后河流所作出的反应等一系列问题,进行了较深入的研究。研究手段以分析野外实测资料及进行理论探讨为主,概化试验方法也间或采用。

国外同样也是研究这些问题,在研究手段上侧重理论探讨及概化试验,对野外实测资料的分析也赋予了一定程度的注意。地理学界运用河流地貌学研究手段,引进新的地貌概念,如临界地貌条件之类,在深化河流地貌研究的同时,运用统计理论及流体力学分析方法研究河床形态等方面也有不少新的进展。

总之,近二、三十年来,河床演变这一学科已积累了比较丰富的实际资料及理论成

果,为进一步的系统整理提供了前提条件。我们在1981、1982年出版的《河流泥沙工程学》一书中,设置了“河床演变及整治”篇,从工程应用角度对这一时期的进展作了概括。1987年出版的钱宁、张仁、周志德等的专著《河床演变学》是对这一学科的更全面的总结。其特点是:既注意了这一学科的工程应用方面,又引进了大量河流地貌方面的研究成果,包括流域水系方面的研究成果,基本上反映了这一学科现阶段的全貌。

本书作为河床演变及整治的教科书,其特点为,在研究对象上,以近代河床演变为主,但兼顾历史河床演变;在内容上,将演变规律及整治措施紧密地结合在一起;在研究方法上,以力学分析方法为主,适当采用河流地貌学的一些概念和研究手段。本书在内容编排方面可分为三个大的部分,第一部分泛论河床演变的一般规律及河床整治的一般手段,前者包括山区及平原河流的一般特点,河床演变的影响因素及河型分类,兼及河床的稳定性分析及河流横断面及纵剖面的河相问题;后者着重介绍河床整治的一般手段,包括单纯防守的护岸措施,主动进攻的控导工程以及扫清障碍的疏浚及爆破手段等。第二部分详细介绍了各类河流的河床形态、水流泥沙运动及河床演变规律,分析了它们的成因并探讨了它们的整治措施。此外,还介绍了河流中特殊部位及特殊河段的演变及整治问题,前者如浅滩的演变及整治,后者如河口的演变及整治。第三部分则依次介绍了在采取各类工程措施时可能出现的河床演变及整治问题,主要是修建水利枢纽,也包括其它过河建筑物所出现的问题。数学模型和实物模型作为主要研究手段,另有专著介绍。

河床演变作为一门新兴学科正处在发展过程之中,河床整治虽系一门比较古老的学科,但由于工程技术的日新月异,也正处在发展过程之中。河床演变及整治作为一门综合性课程也须进一步提高。对于以工程应用为主的河床演变,自然应将主要力量投入近代河床演变过程的研究。由于外在条件的千差万别,不同河流的河床演变各具特色,我国近30年来着重对野外资料进行系统观测并据以作出理论分析的优良传统应该继续保持,并进一步发扬光大,但对目前阻碍河床演变认识进一步深入的一些理论问题,如床面泥沙成型淤积体的形成及发展规律,河床平面变形的机理及预测途径等,都是应该将野外原型观测,室内概化试验及理论分析结合起来,进行系统研究的。对与此有关的复杂边界条件下的河道水流结构及非均质沙运动的研究则是理解这些具有三维性质的河床演变规律的钥匙。当然,由于对近代河床演变规律的认识及整治方案的制订必须建立在历史上河床演变及其变化前景的宏观认识的基础上,运用河流地貌学的方法进一步发展这一学科仍然是需要的。至于河床整治,在实际工作中,虽然结合我国具体情况运用行之有效的传统手段来解决问题始终是重要的一环,但是,发展新的技术来提高整治工程的功能及效率,同样是不可忽视的。

第一章 河床演变的一般问题

第一节 河流的一般特性

河流作为输送流域中水沙产物的通道，按其流经地区的不同，一般可分为山区河流和平原河流两大类型。

对于较大的河流，其上游段多为山区河流，而其下游段多为平原河流，位于上游段和下游段之间的中游段，则往往兼有山区河流和平原河流的特性。对于较小的河流，其本身的上游段、中游段和下游段可能均位于山区，也可能均位于平原区。

山区河流和平原河流由于所处的自然地理、地质、地貌和气象条件的不同，其一般特性也各有自己的特点。

一、山区河流的形成及一般特性

山区河流流经地势高峻，地形复杂的山区。河谷的形成一方面与地壳构造运动密切相关；一方面受水流侵蚀作用的影响，水流在由构造运动所形成的原始地形上不断侵蚀，这种侵蚀表现为水流对组成河床岩石的动力磨损作用和侵蚀作用。虽然两者都进行得极为缓慢，但山区河流的河床就是这样在漫长的历史过程中，由于水流不断纵向切割和横向拓宽而逐步发展形成的。

山区河流发育过程中一般均以下切为主，使得河谷断面往往呈“V”字形或“U”字形，如图1-1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，坡面都呈直线形或曲线形。谷地与谷坡之间无明显的界限。水流的堆积作用完全不存在或极为微弱。除了由于地壳下降，海平面上升，或者由于气候变化所造成的河川径流量巨大缩减，能在河段的某些部分形成卵石堆积层外，一般不存在近代堆积层。

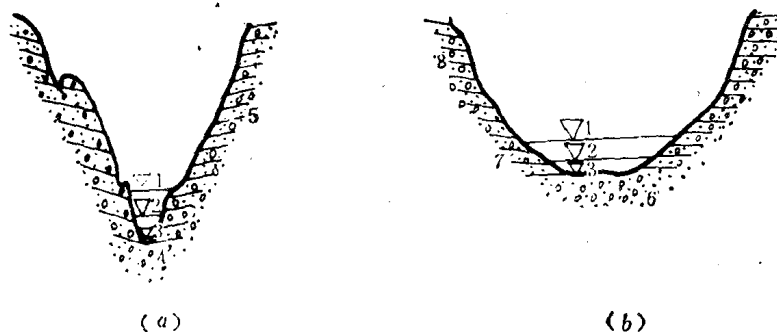


图 1-1 北盘江毛虎段河谷断面形态图

(a)跳虎石V形河谷形态；(b)星光湾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

在陡峻的地形约束下，河床切割甚深，河槽狭窄。中水河床与洪水河床之间无明显的分界线；对于不存在卵石边滩的河谷，枯水河床和中水河床之间也无明显的分界线。河床的宽深比一般都远较100为小，某些峡谷河段仅为10~20左右。峡谷河段的宽深比多随水深增加而减小，非峡谷河段随水深变化不大。

山区河流沿程多为开阔段与峡谷段相间，例如广东连江，在150km内，就有10处峡谷，长33.5km，占全长的22%。山区河流的平面形态极为复杂，两岸与河心常有巨石突出，岸线极不规则，急弯卡口比比皆是，甚至出现半隧洞●和伏流●等奇特现象。

河床纵剖面一般比较陡峻，形态极不规则，急滩深潭上下交错，且常出现台阶形。图1-2为川江某段河床纵剖面图。在落差集中处，往往形成陡坡跌水甚至瀑布。

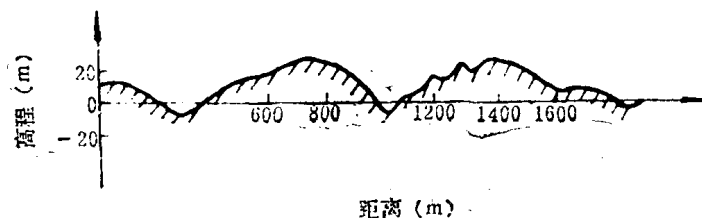


图 1-2 川江白庙子附近河床纵剖面图

由于山区坡面陡峻，岩石裸露，径流系数大，汇流时间短，再加上一一般山区气温变化大，暴雨比较常见。洪水的猛涨猛落是山区河流重要的水文特点。山区河流在降雨之后，往往数天以至数小时之内即出现洪峰，雨过天晴，洪水又迅速消退。图1-3为某山区河流的水位过程线图。由图可见，一年内洪峰呈锯齿形，变幅甚大，往往一昼夜之内水位上涨达10m之巨，而两三日内又完全退落。山区河流一般洪水持续时间不长，无明显的中水期，而且洪、枯水期有时也难以截然划分，洪水期久晴不雨，也可能出现枯水；反之，枯水期如遇大雨，也可能出现洪水。例如贵州的清水河1961年5~8月几乎是枯水，而1955年最高洪峰却出现在11月10日。

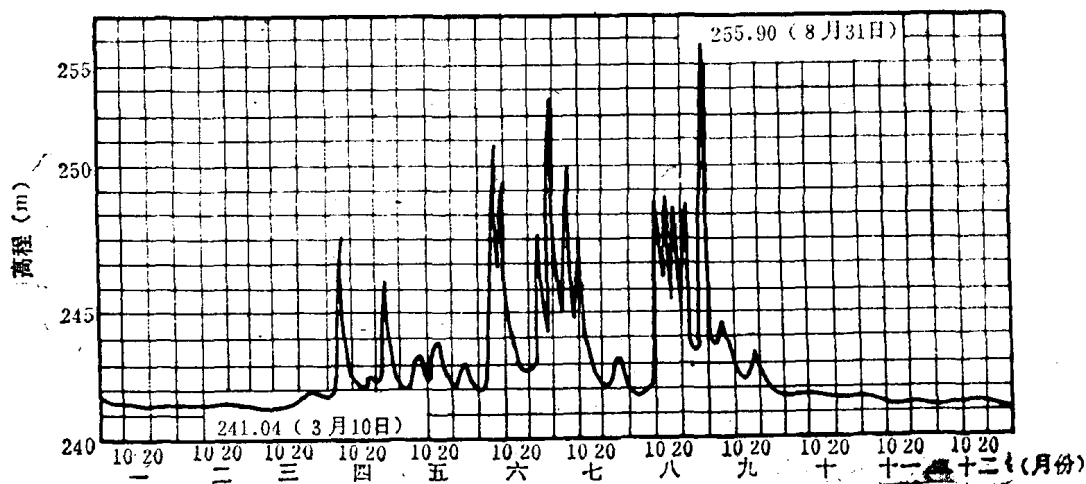


图 1-3 山区河流水位过程线

- 半隧洞系因某处岩性较弱的岸壁，受水流长期冲蚀内陷，致使上壁突出而成。
- 伏流系水流在某处由岩缝渗漏殆尽，透过地层，在下游某处又重新溢出地表。

受地理及气象条件影响，山区河流的流量与水位变幅极大。较大的山区河流其洪水流量往往为枯水流量的100倍或数百倍；较小的山区河流甚至超过1000倍。洪枯水位之差视河流大小而不同，由数米至数十米不等。

与上述河床形态及水文条件相应，在水流的水力条件方面也有一些特点。山区河流的水面比降一般都较大，大多数在1%以上。比降不但大，而且受河床形态影响，沿程分配极不均匀，绝大部分落差集中于局部河段。例如贵州的清水河在长约106km内，枯水期的水位落差为83m，其中55.4%集中在仅占全长13%的局部河段内。又如湖南沅水，在长325km内，枯水期水位落差的90%集中在仅占全长15.4%的局部河段内，一些滩险段的纵比降往往在20%以上。此外，河床上存在的急弯、石梁、卡口等滩险，造成很大的横比降，对航行威胁很大。同时，这些滩险由于在不同水位下壅水情况不同，比降的因时变化也是十分突出的。比降大，河槽窄，流速势必很大，在一些滩险上形成急流。如乌江中游16处滩险上的流速高达6~8m/s之巨。

由于河床形态极不规则，山区河流的流态十分紊乱险恶，常有回流、泡水、旋涡、跌水、水跃、剪刀水、横流等出现。

山区河流的悬移质含沙量视地区而异。在岩石风化不严重和植被较好的地区，含沙量较小。相反，在岩石风化严重和植被甚差的地区，不但含沙量大，而且在山洪暴发时甚至能形成含沙浓度极大并携带大量石块的泥石流。洪水期由于坡面径流大，侵蚀强烈，所以含沙量大而粒径细；枯水期则相反，含沙量小而粒径粗，不少山区河流枯水时完全变为清水。山区河流悬移质大都是中细沙和粘土，由于比降及流速大，一般处于不饱和状态，可全部视为冲泻质。

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期流速大时才能起运推移，其运动形式呈间歇性，平均运动速度很低。曾在川江观测几种不同粒径和形态的卵石运动情况，在洪水可动期内，一般平均运动速度只有2.8~12.6m/d；在枯水期则很少运动。如前所述，山区河流洪水历时一般很短，因此卵石推移质输沙量不大。我国一些山区河流的推移质年输沙量约在悬移质年输沙量的10%以下。但对某些悬移质年输沙量较小的河流，这一百分数也可能很大。

山区河流的河床多由原生基岩、乱石或卵石组成。鱼鳞状排列是卵石河床常见形式，也有呈松散堆积的。一般在水流强弱适中，持续时间较长，河床发生冲刷之处，多呈鱼鳞状排列；在水流较弱，河床发生淤积之处，或水流流速急剧降低时，原来大量推移的卵石迅速停止运动，将来不及分选排列而呈松散堆积。卵石粒径常有沿程递减趋势。

山区河流由于比降陡，流速大，含沙量不饱和，有利于河床向冲刷变形方面发展，但河床多系基岩或卵石组成，抗冲性能强，冲刷受到抑制。因此，尽管山区河道从长时期来看是不断下切展宽的，但从短时段来看这种变形却是十分缓慢，甚至可以认为是基本不变的。只是在某些河段，由于特殊的边界、水流条件，可能发生大幅度的暂时性的淤积和冲刷。例如峡口滩，汛期受峡谷壅水影响，大量沙卵石落淤，枯季壅水消失，落淤的沙卵石被水流冲走，局部地区的冲淤幅度相当可观，如川江瞿塘峡口的臭盐碛，便达20~30m之巨。又如突然放宽段，汛期主流取直，其两侧或一侧可能形成大范围回流，大量中细沙落

淤，汛末主流走弯，淤沙被冲走，如川江金川碛，冲淤幅度也高达10m以上。

山区河道演变的另一个特点是：易于遭受突然而强烈的外界因素影响，而产生河床的显著变形。例如地震、山崩、大滑坡等，能在极短时间内将河道堵塞，在其上下游形成壅水和跌水，剧烈地改变水流河床状况。又如山洪暴发时，从支流溪沟倾泻而下的泥石流，挟带大量巨石，堆积溪口，形成冲积扇，侵占河身，甚至全部堵塞河槽，引起水流河床的一系列变化。

二、平原河流的形成及一般特性

平原河流流经地势平坦、土质疏松的平原地区。与山区河流不同，平原河流的形成过程主要表现为水流的堆积作用。在这一作用下，河谷中形成深厚的冲积层，河口淤积成广阔的三角洲。我国黄河下游的华北平原和长江口三角洲便是这样形成的。

平原河流的冲积层一般都比较深厚，往往深达数十米甚至数百米以上。冲积层的组成视不同高度而异，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则有粘土和粘壤土存在，某些局部地区也可能存在深厚的粘土棱体。这种泥沙组成的分层现象与河流的发育过程有关。一般说来，沙卵石层多为冰川期水量较大、海平面较低时期的堆积物；而沙层则为近代水量较小、海平面较高时的堆积物。

平原河流的河谷断面形态如图1-4所示。其显著特点为具有宽广的河漫滩。河漫滩在洪水时被淹没，而中枯水时则露出水面以上。洪水漫滩后，由于过水断面增大，流速降低，泥沙首先沿主槽（中水水槽）岸边落淤，随着水流向下游及河漫滩侧向漫流，淤积的泥沙数量便逐渐减少，粒径也逐渐变细。经过漫长的时间演进，沿主槽两岸泥沙淤成较高的自然堤，河漫滩边缘地带则形成一些湖泊洼地，使河漫滩具有明显的横比降。同时，河漫滩的纵比降也较主槽水流的平均比降为大。在天然河流的上游段，滩唇往往高出枯水位数米，而在下游段，则几乎与枯水位齐平。

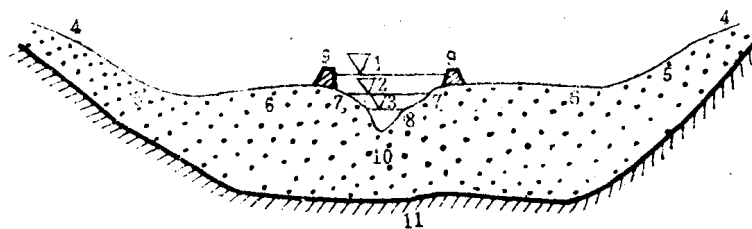


图 1-4 平原河流的河谷形态

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—谷坡与谷底交界处(坡脚)；6—河漫滩；7—滩唇；8—边滩；9—堤防；10—冲积层；11—原生基岩

河漫滩由于是水流堆积作用形成，组成物质较为松软。在水流与河床的相互作用下，河流往往在广阔的河漫滩上左右摆动。当一岸受水流冲刷侵蚀，另一岸便逐渐淤积成边滩。边滩进一步发育，又可形成新的河漫滩。河漫滩内侧低洼地带为细沙及粘土沉积，有些地方往往形成巨大的粘土沉积层，阻碍主槽的横向摆动。

河漫滩上常存在一些与水流方向大体平行或斜交的狭长沙丘，沙丘之间为地势较低的沙谷。沙丘大小视河流尺度大小不同而异，一般宽数十米，高数米，长数千米称为鬃岗地

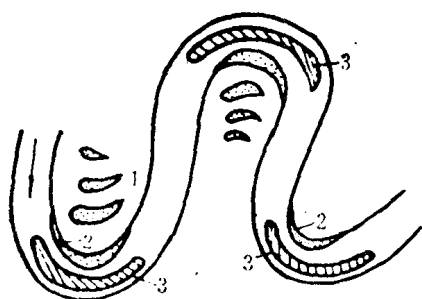


图 1-5 弯道平面形态
1—鬃岗地形；2—凸岸边滩；3—凹岸深槽

形，如图1-5所示。比较明显的鬃岗地形常见于弯道凸岸的河漫滩上。这里鬃岗常排成相互平行的一列，距河岸愈远，曲率半径愈大。这种鬃岗地形是自然堤和弯道发展变化相结合的产物。

河漫滩和人类生活的关系极为密切。河漫滩由于土壤肥沃，交通便利，很早以来人们就加以开发利用。一般都采用修筑堤防的办法来防止洪水漫溢，使河漫滩成为居住生活的场所和工农业建设的基地。

中水位以下的河流主槽中，在水流与河床不断相互作用下，常形成一系列泥沙堆积体，如图1-6所示。该图示广东东江某段河道，图中成交错状态分布在两岸的沙滩称为边滩。这些边滩中水时即被淹没，只在枯水时才露出水面。上下两边滩之间往往有沙埂分布，沙埂上水深较浅，当不能满足通航要求时，称为碍航浅滩。沙滩向下游延伸所形成的伸入江中的狭长部分，称为沙嘴。位于江心的沙滩，低于中水位以下的称为江心滩，高于中水位以上的称为江心洲。这些沙滩，统称泥沙成型堆积体。它们在水流的作用下，不断运动变化，相应地使得整个河床也处于不断运动变化之中。

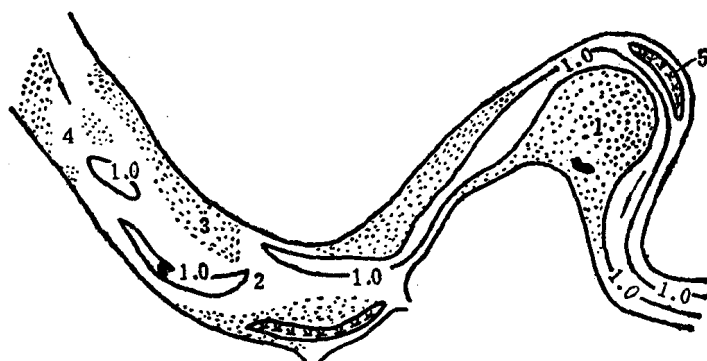


图 1-6 河道中泥沙成型堆积体
1—边滩；2—浅滩；3—沙嘴；4—江心滩；5—江心洲

平原河流的河床形态是水流和河床相互作用的产物，尽管由于具体条件千差万别而复杂多变，但仍具有较强的规律。这些规律依河型而异，在下节及以后4章中还将详细讨论。这里只是指出，一般说来，平原河流的平面形态可概括为顺直、弯曲、分汊、散乱4类，而平原河流的横断面也可概括为抛物线形、不对称的三角形、马鞍形和多汊形四类，如图1-7所示。这是特定条件下水流与河床相互作用的结果，有一定的规律性。

平原河流的纵剖面与山区河流不同，因系沙质河床，纵剖面不可能有明显的台阶状变化。但同样是深槽浅滩交替，所以河床纵剖面也并不是一条光滑曲线，而是有起伏的平缓曲线，其平均纵比降也比较平缓。

平原河流的水文水力特性与山区河流有很大区别。平原河流由于集水面积大，流经的地区又多为土壤疏松坡度平缓的地带，因而汇流时间长。此外，由于大面积上降雨分配不

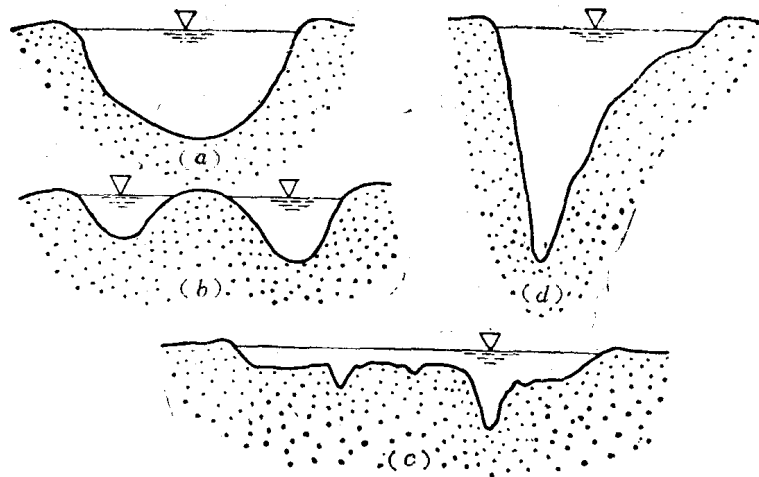


图 1-7 平原河流不同河段横断面图
(a)顺直过渡段; (b)分汊段; (c)游荡段; (d)弯曲段

均, 支流入汇时间有先有后, 所以, 洪水一般没有陡涨陡落的现象, 持续的时间也相对较长。如长江中下游, 一般每年 6~9 月 4 个月均为洪水期, 流量变化与水位变幅都较小。长江荆江段洪水流量仅为枯水流量的 13 倍, 水位变幅为 13m; 汉江下游洪水流量为枯水流量的 74 倍, 水位变幅为 14m; 北江下游石角站最大洪水流量为最小流量的 261 倍, 水位变幅为 10.26m。应该指出, 位于北方的平原河流由于气候条件的不同, 其流量变化较南方河流为大, 如黄河秦厂水文站最大洪水流量为最小流量的 446 倍, 水位变幅仅数米。图 1-8 为 1957 年长江汉口站水位过程线, 从图中看出, 与山区河流的水位过程线显著不同。

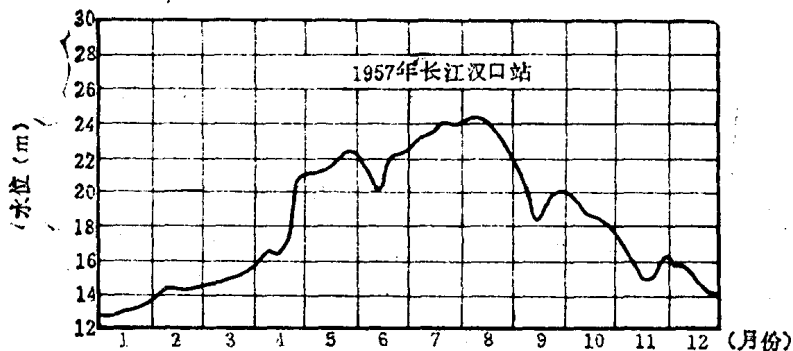


图 1-8 平原河流的水位过程线

平原河流由于河床纵坡平缓, 所以水面比降一般较小, 多在 $(10 \sim 1) \times 10^{-4}$ 以下。如长江荆江段水面比降为 $(0.42 \sim 0.56) \times 10^{-4}$, 汉江下游水面比降为 $(0.39 \sim 0.56) \times 10^{-4}$ 。同时, 由于平原河流不象山区河流那样沿程分布有很多急弯、卡口和滩险, 水面比降的变化就较小。只有在河口段, 由于受海平面的控制, 洪水时比降有显著增大的现象。另外, 大的支流入汇及湖泊也往往给河流的水面比降以一定的影响。由于平原河流的水面比降较小, 流速也相应较小, 一般都在 $2 \sim 3 \text{m/s}$ 以下。此外, 平原河流的水流流态也比较平缓, 没有山区河流的跌水、横流、泡水、急旋、水跃等险恶现象。

平原河流中悬移质含沙量及粒径的变化，与流域特性及气象条件有关，这一点和山区河流是一致的。所不同的是，平原河流由于流速较小，并能从河床获得泥沙补给，悬移质含沙量中的床沙质部分，多处于饱和状态。平原河流含沙量及粒径的沿程变化视具体情况而不同。如果多年来河床基本上处于冲淤平衡状态，则沿程变化不大或略有减小。支流的人汇可能会局部地改变这种状况；如果多年来河床处于不断上升的状态，则含沙量及泥沙粒径均沿程减小。

平原河流中悬移质多为细沙或粘土，推移质多为中细沙。推移质输沙量占悬移质输沙量的百分数较山区河流为小，根据长江资料统计，仅为1‰~1%左右，荆江河段为0.21%~0.48%。

第二节 河床演变的基本原理

静止的、不变的河床是不存在的。天然河床总是处在不断变化发展过程之中。在河流上修建水利工程、治河工程或其它工程建筑物后，受建筑物的干扰，河床变化将更为显著。要有成效地整治河流，必须掌握河床演变的基本原理。

河床演变的涵义有广义和狭义两个方面。广义上是指河流从河源至河口所流经河谷的各个部分的形成和发展的整个历史过程；狭义方面的涵义则仅限于近代冲积河床的演变发展。前者主要属于河流地貌学的研究范畴，后者则属于河流动力学的研究范畴，这里所提的河床演变是指后者而言。但是，应该指出，由于近期的河床演变建立在历史的和河谷各个部分的变化基础之上，因此，二者有着内在的联系，不能加以截然分开。在这一节里，着重讨论平原冲积河流的问题，但所阐明的基本原理和分析方法对具有一定冲积层的山区河流也是适用的。

一、河床演变分类

冲积河流的河床演变现象是极其复杂的，为了分析研究的方便，也为了使研究更具针对性，可以根据某些特征加以分类^{[1][2]}。

按河床演变的时间特征，可以分为长期变形和短期变形两类。前已指出，在以往地质年代内所发生的河床演变的历史过程不在本书考虑范围之内。这里所说的长期，是指在工程规划设计中必须考虑的数十年以至数百年。例如黄河下游河床近30余年内平均抬升2m以上就属于一种长期变形。而川江放宽段，汛期由于水流取直所发生的回流淤积在汛后即被冲走的现象则属于年内的短期变形。至于一场洪水所造成的丁坝坝头冲刷则属于更短期的变形。

从河床演变的空间特征出发，又可分为长距离变形及短距离变形两类。如黄河下游的河床抬升波及下游长逾800km的范围，自然属于长距离变形，而川江放宽段的淤积范围不过几百米，丁坝坝头的冲刷范围则更小，应为短距离变形。

以河床演变的形式为特征，可将河床沿纵深方向发生的变化，例如河床的冲深或淤高，称为纵向变形；而将河床在与流向垂直的两侧方向发生的变化，例如弯道的凹岸冲刷与凸岸淤积，称为横向变形。