

高等学校教材

治河防洪

(修订本)

丁君松主编



中国工业出版社

高等学校教材



治 河 防 洪

(修 訂 本)

丁 君 松 主編

中国工业出版社

本书系按1962年12月的农田水利及治河防洪教学大纲(草案)中有关治河防洪部分的大纲,在原“治河防洪航运”(中国工业出版社1961年第一版)交流讲义的基础上修改而成的。修改时,着重阐述了河流在自然状态下和修建了水工枢纽后的河道演变,对防洪措施作了比较扼要的介紹,对一般的河道整治措施,也作了一定的說明。

本书可作为高等院校(本科)河川枢纽及水电站建筑专业的試用教科書,也可供水利工作者的一般参考。

治 河 防 洪 (修 訂 本)

丁 君 松 主編

*

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张6·字数126,000

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数0001—1,090·定价(科五)0.65元

*

統一书号: K15165·4069(水电-539)

前 言

本书系在原“治河防洪航运”交流讲义的基础上写成的，作为高等院校（本科）河川枢纽及水电站建筑专业的教材。改写是按农田水利及治河防洪教学大纲（草案）中有关治河防洪部分进行的。绪论和第二章由丁君松执笔，第一章由谢鉴衡执笔，第三、四章由任国材执笔。王运辉、刘百松负责编辑，主编丁君松担任最后校阅和定稿。

编写时，除阐述了河流在自然状态下和在修建了水利枢纽后的河道演变外，对防洪措施和一般河道整治措施，也作了扼要的介紹。同时注意联系我国河道整治的实际。

本书初稿完成后，在审查过程中，承审查人夏震寰教授及审查委员张瑞瑾教授、张书农教授、华国祥副教授在审查小组会上提出了很多宝贵意见。审查后，编写人根据这些意见作了修改。为此，对全体审查人表示衷心的感谢。

由于我们的水平所限，更缺乏工程实践经验，本书缺点在所难免，敬希读者批评和指正。

主 編

目 录

前 言

緒 論	1
-----------	---

第一章 河道演变	3
----------------	---

§ 1-1 河道的一般特性	3
---------------------	---

§ 1-2 河道演变概述	6
--------------------	---

§ 1-3 蜿蜒性河道	10
-------------------	----

§ 1-4 顺直、分汊河道	14
---------------------	----

§ 1-5 游荡性河道	16
-------------------	----

§ 1-6 河道的再造床过程	18
----------------------	----

§ 1-7 河床变形计算	20
--------------------	----

第二章 河道整治	28
----------------	----

§ 2-1 河道整治的规划	28
---------------------	----

§ 2-2 整治标准、纵横剖面及整治线	33
---------------------------	----

§ 2-3 河道整治措施概述	38
----------------------	----

第三章 整治及护岸建筑物	58
--------------------	----

§ 3-1 整治及护岸建筑物的材料、构件和类型	58
-------------------------------	----

§ 3-2 不透水整治建筑物	60
----------------------	----

§ 3-3 透水整治建筑物	63
---------------------	----

§ 3-4 环流建筑物	66
-------------------	----

§ 3-5 护岸建筑物	67
-------------------	----

第四章 防洪措施	72
----------------	----

§ 4-1 防洪技术措施概述	72
----------------------	----

§ 4-2 堤防工程	72
------------------	----

§ 4-3 分洪和蓄洪工程	78
---------------------	----

§ 4-4 防汛抢险	80
------------------	----

緒 論

河道两岸自古以来即為人类繁衍生息之所，它从生产和生活两方面影响人类的活动。这些影响，有利的一面，也有害的一面。而这种利害关系，又是錯綜复杂、因时因地而異的。例如山区河道，由于河谷狭窄，坡降陡峻，往往水流湍急，滩险众多，給航运带来困难，然而正因其河谷狭窄，坡降陡峻，才成为修建水庫的良好場所；当水位稍涨时，就为流放竹木創造了良好条件，但如遇到暴雨，則往往山洪暴发，为害甚烈。又如平原河道，由于流量較大，水流比較平順，常具有航运、引水灌溉之利，但由于泥沙淤积，河床比較寬浅，既在枯水期有妨碍航运和引水灌溉的可能，又在洪水期有泛滥成灾的威胁。

在河道上修建了河川枢纽及水电站建筑物后，河道受到了人工建筑物的干扰，必然要引起水流与河床发生新的变化。这种新的变化，同样，既有利的一面，也有害的一面。例如，在河道上修建水庫后，水庫內水深增加，流速很小，有利于航行，但正由于流速很小，以致泥沙落淤，河床抬高，水位也相应抬高，这样既縮短了水庫寿命，又抬高了洪水水位。水庫下游紧接海漫之处，由于水流集中下泄，将造成巨大的局部冲刷坑，影响建筑物的安全。在水庫下游相当长的河段內，由于清水下泄，将发生普遍冲刷，这对降低下游洪水水位固属有利，但淘刷已有防洪建筑物的基础又属有害；同时，对航运、引水灌溉也有若干不利之处。由此可知，河道对人类的活动，并不是时时、处处、样样都是有利的，而是既有利的一面，也有害的一面。此外，人类活动对河道的要求，也是随着社会的发展而日益增加、日益提高的。正因为如此，故必須对河道进行治理，以除去其为害的一面，而发展其有利的一面。

作为治理河流綜合措施之一的河道整治，在整治时必須要有明确的目的性，要作到有的放矢。应根据整治目的，綜合河道具体情况，运用河流动力学一些基本規律，以研究整治的工程技术措施。

以防洪为目的的河道整治，其任务是在洪水期防止河道两岸漫溢成灾。其主要措施是修建堤防并保护河岸不为水流所冲坍；以航运为目的的河道整治，其任务是使河道达到規定的航道尺度，具有合适的流速和良好的流态。其主要措施是采取爆破、疏浚和修建整治建筑物等方法，以整治航道和調整流态。

以某一目的为主采取工程技术措施整治河道时，对其它国民經济部門的要求而言，有时是一致的，有时是矛盾的。例如以防洪为主的河道整治，往往要求保护河岸，控制河势。这一工程措施，不仅对防洪有利，对稳定航道、保护耕地也有利，这是一致的。又如以航运为主的河道整治，如果过多地修建枯水整治建筑物，則可能引起洪水位的抬高，有造成洪水泛滥的危险；因而是有矛盾的。因此，在进行河道整治时，应从各方面去考虑，尽可能妥善地解决出現的矛盾，而兼具几方面的利益。在社会主义制度下，河道的水利资源是要綜合利用的。河道整治必須从全流域着眼，上、中、下游統筹，左右岸兼顧，远近期結合，进行綜合治理，务使除害与兴利相結合，以达到綜合利用的目的。

河道是水流和河床相互作用的产物。水流与河床恒处于相互依存、相互影响、相互制约的矛盾统一体中。这一矛盾着的双方，视各自所处特定条件的不同，有时水流居于主导地位，有时河床居于主导地位。据此，则河道整治的基本方法，可归结为水流调整和河床调整两个方面。水流调整是通过修建整治建筑物等方式以调整水流，借调整好了的水流以调整河床；河床调整是通过爆破、疏浚等方式以调整河床，借调整好了的河床以调整水流。这两个基本方法，有时是单独使用，有时要结合使用。

我国人民与江河作斗争，具有悠久的历史，累积了丰富的经验，取得了辉煌的成就。远在公元前2300多年的时候，我国劳动人民在治理洪水方面，就已创造了不朽的勋业。当时已认识到“水性就下”这一规律，改变了到处堵塞的办法。而是顺水之性，因势利导，采取了疏壅导滞的措施，取得成功。在公元前250多年的时候，成都平原的劳动人民，修建了著名的都江堰，引岷江水灌溉成都平原。他们利用河道的有利形势，正确地选择了引水口的位置。同时根据他们对河道变化规律的认知和当时的技术条件，总结出“深淘滩、低作堰”的维修原则。

黄河是一条闻名世界的多沙河流，在治理的历史过程中，积累了十分宝贵的经验。从治河原则说，在导流、分流、滞洪、束水攻沙等方面，曾经形成比较系统的观点。从技术措施说，在堤防、埝工、进占合龙等方面，也有许多弥足珍贵的经验。

中华人民共和国成立以后，党和政府对治河防洪是十分重视的。十五年来，取得了很大的成就。

在防洪方面，各流域共长达12万多公里的堤防，经过了消除隐患、稳固险工、加高培厚、改线延伸等措施，提高了防洪标准，增强了抗洪能力，结合蓄洪、滞洪、分洪等一系列工程，使洪水威胁大大减轻。在航运方面，积极整治中、小河流的航道，提高了通航能力，延长了通航里程。随着治河防洪事业的发展，河道观测工作和科学研究工作，都有一定的发展。更可喜的是，一支新的治河防洪的科学技术队伍正在逐步成长。在党的领导下，这支新的队伍，在进一步开拓、发展祖国治河防洪事业方面，将会作出更多的贡献。

第一章 河道演变

§ 1-1 河道的一般特性

河道通常分为河源、上游、中游、下游和河口五个部分。它們之間沒有明显的分界线。

河源是河流的起始段，較大的河流都发源于高山地区。上游段紧接河源，一般流經山地或高原，具有山区河道的特性。其下为中游段，多在丘陵地区，但也有部分位于平原地区的。下游段在河流的最下游，位于冲积平原地区，具有平原河道的特性。河口是河流的末段，較大的河流大多流入海洋，較小的河流則大多流入湖泊或其它河流。有的河流消失在沙漠里，沒有河口。

由于自然条件的差異，不同河流或同一河流的不同河段，其特性是各不相同的。但是，它們之間也有其共同之处。本节将就山区河道和平原河道的一般特性，分別加以闡述。

一、山区河道的特性

山区河道流經地势高峻、地形复杂的山区。河谷断面常是V字形或U字形（如图1-1所示），两岸谷坡陡峭，河槽狭窄。河道的平面形态极为复杂，急弯卡口，到处皆是，两岸和河心常有巨石突出，岸线极不规则，宽度变化很大。河道的河床纵剖面一般都比较陡峻，形式也很不规则，急滩深潭，上下交替，且常呈台阶状，在落差集中处，往往形成陡坡跌水，甚至瀑布。

山区河道的河底多为岩石組成，侵蚀作用进行得非常緩慢。除因两岸乱石墜落，或河底卵石推移以及泥沙的临时性落淤，使局部河床略有变化外，河道基本上是稳定的。

由于山区坡面陡峻，岩石裸露，径流系数大，汇流时间短，再加上降雨强度大，山区河道的洪水一般都具有猛涨猛落变化迅速的特点。往往降雨之后，数天以至数小时之内即出現洪峰。雨过之后，洪水又迅即消逝。图1-2为山区河道水位过程线图。由图可見，洪峰呈锯齿形，而且变化甚大，往往一昼夜之間水位上涨即达10米之巨，而不滿两三日又完全退落。山区河道的水位变幅很大，洪、枯水位之差視河流大小由数米以至数十米不等。与水位的变化相适应，流量的变幅也很大，洪水流量往往等于枯水

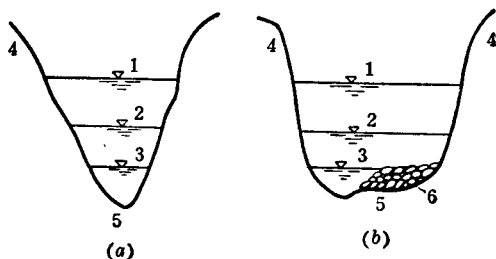


图 1-1 山区河道河谷示意图

a—V形河谷；b—U形河谷

1、2、3—洪水、中水、枯水水位，相应水位下的河槽为洪水、中水、枯水河槽；4—谷坡；5—谷底；6—卵石边滩

流量的百倍以至数百倍，甚至超过千倍。山区河道洪水持续时间很短，中水期不显著，一年之内绝大部分为枯水期。小的河流有时甚至完全断流。

与上述河床形态及水文条件相应，山区河道一般都具有比降大、流量大、流态险恶的特点。山区河道的水面比降大多在1%~1%，有的甚至大于1%。洪水时的流速一般都在2~3米/秒以上。在某些险滩河段上，流速往往高达6~8米/秒之巨，成为急流，而且常伴有跌水、水跃、浪堤、急漩等出现，流态极为险恶。

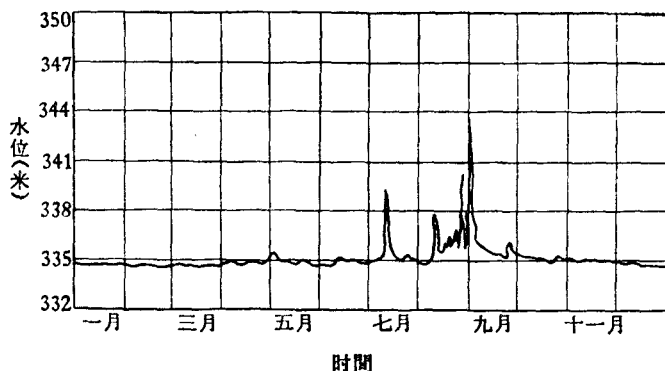


图 1-2 山区河道水位过程线

山区河道的含沙量视地区不同而异。在岩石风化不严重和植物覆被较好的地区，含沙量比较小。相反，在岩石风化严重和植物覆被甚差地区，则不但含沙量大，而且在山洪暴发时甚至形成含沙浓度极大并挟带巨大石块的泥石流。一般山区河道所挟带的悬移质多为中细沙和粘土，含沙量大多处于不饱和状态。含沙量大小和粒径的粗细与来沙供应情况有关。一般洪水时含沙量大，枯水时含沙量小。至于沿程变化则无显著规律可寻。山区河道推移质为卵石和粗沙，其输沙量远较悬移质输沙量为小。山区河道的河床为原生基岩、乱石和卵石组成，卵石粒径有沿程减小趋势。

二、平原河道的一般特性

平原河道流经地势平坦广阔的冲积平原，河谷往往宽达数公里以至数十公里，其一般形式如图 1-3 所示。

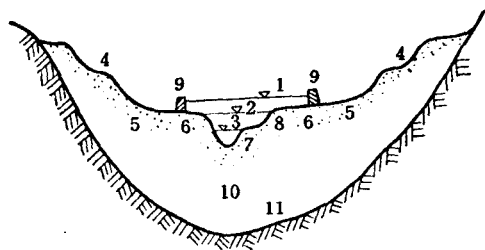


图 1-3 平原河道河谷示意图

1、2、3—洪水、中水、枯水水位，相应水位下的河槽为洪水、中水、枯水河槽；4—谷坡；5—谷坡与谷底交界处坡脚；6—河漫滩；7—边滩；8—滩唇；9—堤防；10—冲积层；11—原生基岩

平原河道的显著特点之一为存在广阔的河漫滩，在洪水时为水流所淹没，而中水时则露出水面之外。当洪水淹没河漫滩时，大量泥沙首先在中水河槽（亦称主槽）河岸附近的滩唇部分落淤，距滩唇愈远，则流势愈缓，落淤愈少。这种泥沙淤积分布不均匀的结果，使得河漫滩具有自河岸向两侧倾斜的横向比降。在靠近河岸处，形成自然堤；在距河岸较远处，形成

湖泊洼地。河漫滩的淤积物多为細沙及壤土，也有粘土。一般在临近河岸处較粗，远离河岸处較細，在湖泊洼地或河流故道之中則多为粘土淤积，有些地方往往形成巨大的粘土稜体。由于中水河槽的摆动和改道，往往一处的河漫滩被水流冲刷，而另一处則生成新的河漫滩；在广闊的河漫滩上往往残存有过去河道的残迹。河漫滩在自然情况下，一般常生长有灌木丛、芦苇和杂草。我国平原河道的河漫滩，則大多用筑堤御水的办法开垦为肥沃的耕地。

在平原河道的中水河槽中，由于水流和河床的相互作用，往往形成各种成型淤积体。图 1-4 中，紧靠河岸、洪水时淹沒而枯水时裸露在外的沙滩称为边滩；連接上下边滩的水下沙埂称为浅滩；位于江心的較高的沙滩称为江心洲，較低的沙滩称为江心滩；沙滩中比較狭长而与水流成斜交的称为沙嘴；被江心滩或江心洲分割开的河槽称为河汉，或称为串沟；河槽中未被成型淤积体占据的水深較大的部分称为深槽。平原河道一个最突出的特点是，上述成型淤积体在水流作用下处于不断的运动、变化和发展的状态之中。与此相应，河床形式也处于不断变化和发展的状态之中。

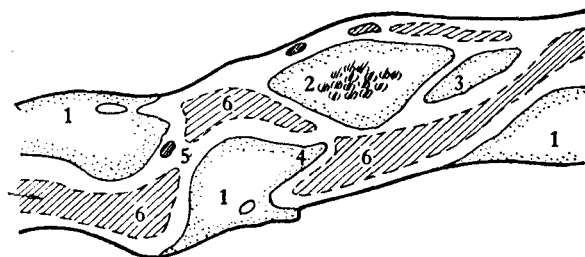


图 1-4 枯水期平原河道的各种成型淤积体

1—边滩；2—江心洲（中間为植物）；3—江心滩；4—沙嘴；5—浅滩；6—深槽
——中水河槽岸线；——枯水河槽岸线（水边线）；----水下等高线

平原河道中水河槽的横断面一般比較寬浅，其形式依所在位置的不同有抛物线形、不对称的三角形和W形等数种，有一定的規律性。平原河道中水河槽的平面形式，依各种所在条件的不同，有弯曲的、順直的、分叉的、散乱的四种，各种形式都有其本身的特点。平原河道的纵剖面，由于深槽和浅滩的相互交替，常具有起伏不平的和緩的曲线形式，平均纵坡比較平緩。

由于平原地区坡面平緩，土壤疏松，径流系数小，汇流時間长，洪水涨落过程一般都比較平緩。特別是容納了大量支流来水的干流，流域面积大，各地降雨時間不一致，洪水涨落过程更为平緩，如图 1-5 所示。与这一特点相应，洪水持續時間也較长，洪水与枯水的流量比值也較小。平原河道尽管流量一般較大，但因河面寬广，水位变幅則較小，一般在10米以內。

平原河道的水流纵剖面坡降比較平緩，一般为1%~0.1%，有的甚至小于0.1%。由于比降小，河槽寬广，流速也較小，洪水时一般都在2~3米/秒以下。此外，水流也較平順，无山区河道的跌水、水跃、浪堤、急漩等险象。

平原河道的含沙量視上游的供沙情况而異，其中属于床沙质的部分在平均情况下多处

于饱和状态。多沙河流的含沙量，在下游无支流入汇的河段上，有显著的沿程递减的趋势；一般河流的含沙量则变化不大，比较显著的变化往往是由于支流的入汇引起的。平原河道的悬移质也与山区河道的相似，为中细沙和粘土；推移质则与山区河道不同，为粗沙和中细沙。平原河道的推移质输沙量也远较悬移质输沙量为小。平原河道的床沙与推移质相似，也为粗沙和中细沙。

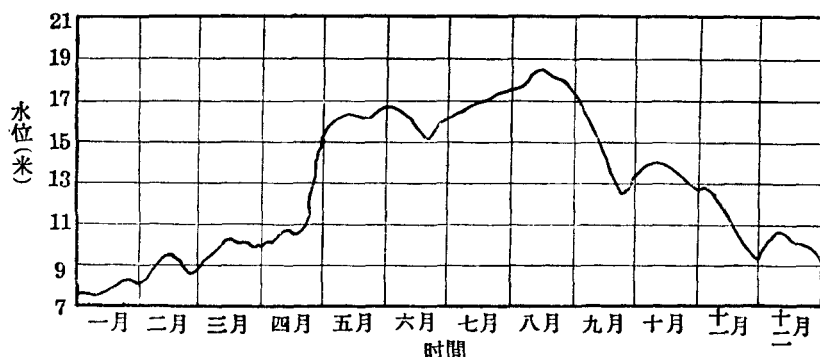


图 1-5 平原河道水位过程线

§1-2 河道演变概述

河道演变系指河道在自然条件下，或在受人工建筑物干扰时所发生的变化。这种变化是水流和河床相互作用的结果。河床影响水流结构，水流促使河床变化，两者相互依存，相互制约，经常处于运动和发展的状态之中。

本节和以下三节，限于讨论平原河道在自然情况下的演变。至于山区河道，由于河床系岩石组成，在自然情况下，虽然受水流冲击和侵蚀作用，也会发生一些微小的变形，但基本上可以认为是不变的，此地不予讨论。

平原河道中水流和河床的相互作用是以泥沙运动为纽带的。在一种水流条件下，通过泥沙的淤积，使河床升高和缩窄；在另一种水流条件下，通过泥沙的冲刷，使河床降低和展宽。这种升高和降低、展宽和缩窄就是河道变化的形式。

河道发生变形的根本原因是由于输沙不平衡。在任何一个河段内，或者在河段的任何一个局部地区内，在一定的水流条件下，水流具有一定的挟沙能力。如果来沙量与输沙能力相适应，则水流处于输沙平衡状态，河床既不冲刷，亦不淤积。在相反的情况下，如果来沙量与输沙能力不相适应，则水流处于输沙不平衡状态，河床将发生相应的冲淤变化。当来沙量大于水流输沙能力时，过多的泥沙将逐渐淤积下来，使河床淤高；当来沙量小于水流输沙能力时，不足的泥沙将逐渐自河槽得到补充，使河床被冲深。

河道变形，就其演变形式而言，可以分为两类。一类称为纵向变形，体现为河床纵剖面的上升或下降，横断面的缩小或扩大。另一类称为横向变形，体现为河床的平面摆动。这两种变形在一般情况下都是错综复杂地交织在一起的。

河道纵向变形是由纵向输沙不平衡所引起的。产生纵向输沙不平衡，主要是由于各种

原因所造成的水流挟沙力的沿程变化(图1-6)。河道的横向变形是由横向输沙不平衡所引起的。产生横向输沙不平衡,主要是由于环流,其中影响最大的要算弯道环流(图1-7)。在弯道上,表层水流流速较大,所受离心惯性力较强,流向凹岸;底层水流为了维持水流的连续条件,则流向凸岸,形成弯道环流。因为表层含沙量小,底层含沙量大,故表层水流所挟带的沙量小于底层水流所挟带的沙量,于是产生横向输沙不平衡现象。其结果将使凹岸冲刷,凸岸淤积,造成河床的平面摆动。

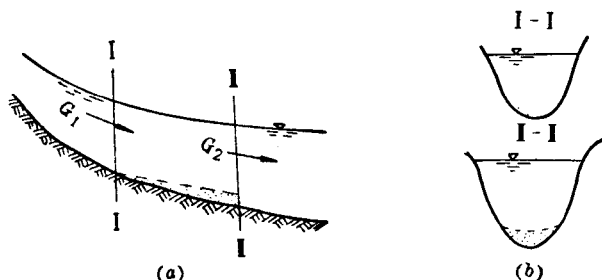


图 1-6 纵向输沙不平衡示意图

a—纵剖面图; b—横断面图

G_1 —进口断面输沙率; G_2 —出口断面输沙率, $G_1 > G_2$, 河床淤积

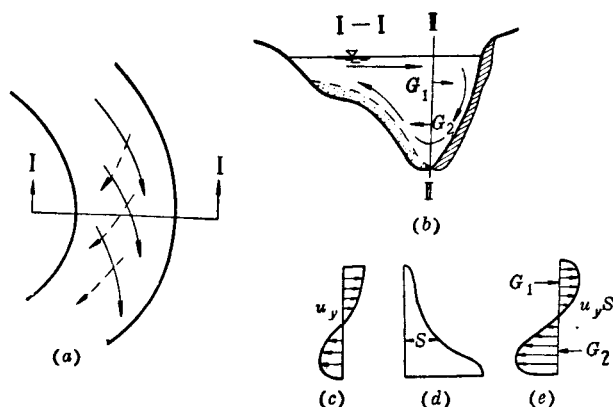


图 1-7 横向输沙不平衡示意图

a—平面图; b—横断面图; c—横向流速 u_y 沿垂线分布曲线; d—含沙量 S 沿垂线分布曲线;

e— $u_y S$ 沿垂线分布曲线

以 I—I 垂线及凹岸之间的部分断面沿水流方向单位长度的区域为分析对象, G_1 —进口部分输沙率; G_2 —出口部分输沙率。 $G_1 < G_2$, 凹岸冲刷, 凸岸淤积

河床变形就其历时和发展方向而言,也可以分为两类。第一类是在较长时期内的单向变形,例如,上游河床的不断下切,下游河床的不断升高,河口的不断延伸等。这类变形总是朝着一个方向发展,故称为单向变形。第二类是在较短时期内的周期性往复变形,浅滩在一年内的升高和降低,河弯在若干年内的形成、发展和死亡等。这类变形在其发展长途常围绕某一平均情况而变动,故称为周期性往复变形,亦称复归性变形。当然这种变形并不是机械地一次又一次地恢复到原来的形态,而是不断在发展着的。上述两种变形在

一般情况下也是錯綜复杂地交織在一起的。

影响河道演变因素是极为复杂的。如果我們把研究問題的着眼点放在当前的河道演变特性上，可以认为，影响河道演变因素不外如下四項：

- (1) 河段的来水量及其变化情况；
- (2) 河段的来沙量及其变化情况；
- (3) 河段的河谷比降；
- (4) 河段的河床地质情况。

除此以外，植物覆被及人类活动也有一定程度的影响。特别是人类活动的影响，随着人类历史的演进，正与日俱增。在社会主义社会中，由于水土保持事业及各种水利工程的迅速发展，这种影响可以达到相当大的規模和程度。

在上述四个主要因素中，第(1)、(3)两个因素决定水流挟运泥沙的能力，第(1)、(2)两个因素决定来水所挟带的泥沙数量，第(4)个因素决定河床抵抗冲刷的能力。来水量愈大，来沙量愈大，河谷比降愈大，河床地质构造愈疏松，以及上面这些因素的变化幅度（沿流程的或沿时程的）愈大，河床就将发生愈强烈的冲淤变化，亦即河道演变进行得愈迅速。

在自然河流上，上述四种因素的組合情况是多种多样的，因而河道演变的形式、規模和速度也是多种多样的。每一条河道都有它自己的演变特点。但是，对于条件大致类似的河流，它們的演变过程仍有若干共同之点。通过对这些共同点的分析，可以按河道形态及演变过程进行分类。一般說来，可以将河道分为四大类：即蜿蜒性河道、順直河道、分汊河道和游蕩性河道。它們之間不但外形各異，其演变过程也迥然不同。有关这一方面的問題将在以下三节中讲述。这里还进一步討論平原河道演变的三个共同性問題，即河床稳定性、造床流量和河相关系。

河床稳定問題最初为B·M·洛赫京所提出。洛赫京认为：河床稳定与否，决定于水流对組成河床泥沙的作用情况。如果水流較急，床沙較細，則河床不稳定；如果水流較緩，床沙較粗，則河床稳定。从这样的概念出发，洛赫京进一步认为：河床的稳定程度决定于泥沙抗拒运动的摩阻力与水流对泥沙的动压力的比值。如以 $f(\gamma_s - \gamma)\pi d^3/6$ 表示泥沙的摩阻力，以 $\lambda \frac{\pi d^2}{4} \gamma \frac{u^2}{2g}$ 表示水流动压力，并令 u^2 与比降成正比，略去所有常数，即得到以下形式的稳定系数：

$$\varphi = \frac{d^3}{d^2 J} = \frac{d}{J} \quad (1-1)$$

式中 d ——河床的泥沙粒径，毫米；

J ——比降，毫米/米，即以%計。

若取 u^2 与 HJ 成正比，則得另一形式的稳定系数：

$$\varphi' = \frac{d}{HJ} \quad (1-2)$$

上式为无因次数，单位可任意选用。

从上述推导过程可以看出：稳定系数愈大，则泥沙运动愈微弱；稳定系数愈小，则泥沙运动愈剧烈。因此，所谓稳定系数的大小，亦即河道稳定性的大小，它只表示泥沙运动的弱和强，并不意味着河床是否会发生变形。这是问题的一方面。问题的另一方面是，由于河床存在着各种形式的沙波，沙波的运动会使河床发生局部变形，而沙波运动的快慢是与泥沙运动的强弱相应的。因此，稳定系数小，在一定的程度上，也包含有河床容易变形的含义。

黄河游荡性河段的 φ 为 0.31~0.47, φ' 为 0.18~0.21；荆江蜿蜒性河段的 φ 为 2.90~4.10, φ' 为 0.27~0.33。从上述数据可以明显地看出，荆江蜿蜒性河段较黄河游荡段为稳定。

造床流量系指对河道演变影响最大的某一个单一流量，其造床作用基本上等于多年流量过程的造床作用。很显然这是个虚拟流量。引入这个虚拟流量，主要是为了在研究河道演变问题时，便于确定影响河道演变的流量的特征值。这个虚拟流量不可能等于最大洪水流量，因为尽管最大洪水的造床作用很强，但时间过短，造床作用不显著。另外，这个虚拟流量也不可能等于枯水流量，因为尽管枯水作用时间长，但流量过小，造床作用也不显著。因此，造床流量应该是一个比较大但又并非最大的洪水流量。

确定造床流量目前还没有比较固定的方法。从理论上说，以 Н·И·馬卡維耶夫的方法较有根据。这一方法的基本步骤如下：

- (1) 将通过该断面的流量过程分级；
- (2) 确定一年内各级流量出现的机率；
- (3) 确定在各级流量下的水面平均比降；
- (4) 对每级流量计算乘积 PQ^mJ 。其中 Q 为该级流量的平均值； m 为指数，在平原河流上可取为 2； P 为该级流量的机率； J 为该级流量的平均比降。

相应于最大乘积的流量即为造床流量。在这个流量下，输沙率（与 Q^mJ 成正比）与作用时间（与 P 成正比）的综合作用最大，因而造床的作用也最大。

目前在解决实际问题时，往往以与平滩水位（平河漫滩水位）相当的流量作为造床流量。

最后简单说明河相关系的函义，并介绍几个重要的河相关系式。平原河道的河床在水流与河床相互作用下，常取得与所在水文、泥沙条件相适应的最合适的外形，表征这些外形的因素（如河宽、水深、曲率半径等）与水力、泥沙因素（如流量、比降、泥沙粒径等）之间常存在某种函数关系，这种关系称为河相关系。河相关系在整治河道时常作为设计河道形态的依据，研究这一问题具有重要的实践意义。

最重要的河相关系式为宽深关系式，苏联有关单位根据实测资料，得到造床流量时河段平均河宽与平均水深的关系式为：

$$\frac{\sqrt{B}}{H} = \zeta \quad (1-3)$$

式中 B ——河段平均河宽，米；

H ——河段平均水深，米；

ζ ——系数，山区的砾石河床 $\zeta=1.4$ ，一般沙质河床 $\zeta=2.75$ ，细沙河床 $\zeta=5.5$ 。

这一河相关系式表达了随着河道尺度增大，河道的宽深比逐渐增大的自然规律。但这样的河相关系一般只适用于平原河道，山区河道两岸多为岩石组成，在水流作用下很难取得合适的外形，不可能得到有规律的关系。另外，近年来的研究指明，河相关系式的系数 ζ 与河道演变类型有关。黄河游荡性河段的 ζ 为 19~32；荆江蜿蜒河段的 ζ 为 2.2~4.5。

C·T·阿尔图宁整理中亚细亚河流资料，获得表达河宽与造床流量及比降的关系式为：

$$B=A \frac{Q^{0.5}}{J^{0.2}} \quad (1-4)$$

式中 Q ——造床流量，米³/秒；

J ——比降；

A ——系数，山区河段 $A=0.75\sim0.90$ ；山麓河段 $A=0.9\sim1.0$ ；中游段 $A=1.0\sim1.1$ ；下游段 $A=1.1\sim1.7$ 。

我国有关单位的研究表明：系数 A 也与河道演变类型有关。黄河游荡性河段 $A=2.25\sim5.41$ ；荆江蜿蜒性河段 $A=0.64\sim1.15$ 。

有关宽深关系的河相关系式，常用来作为整治河道时设计横断面的依据。按这种关系式设计出来的横断面，将是在相应水力、泥沙条件下的一种最合适的形式，河床上不会出现江心洲，使水流分叉；也不会失去边滩，破坏水下沙丘的运动。但并不等于河床不发生变化，要想控制它的变化，还必须采取整治措施。

§ 1-3 蜿蜒性河道

蜿蜒性河道的基本特征为河道的中水河槽具有蜿蜒曲折的形式。这类河道在自然界中存在得非常普遍，在相当广阔的水文、地理、地质条件范围内，都有可能形成。

蜿蜒性河段由中间夹有直线过渡段的连续反向弯道所组成，其平面形态如图1-8所示。

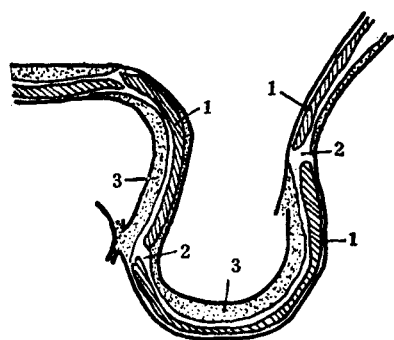


图 1-8 蜿蜒性河道平面形态示意图
1—凹岸深槽；2—过渡段沙坝；3—凸岸边滩

在弯道段内，深槽紧靠凹岸，边滩依附凸岸，两者都延伸甚长，横断面比较窄深，呈不对称的三角形。过渡段一般较弯道段为短，段内存在连接上下边滩的水下沙坝（浅滩），河身顺直宽浅，横断面呈抛物线形。

蜿蜒性河道的几何轴线在平面上呈波状曲线，弯道段一般具有余弦曲线形式，其曲率半径在弯顶处最小，在与过渡段交界处最大。曲率半径变化不大的几何轴线，可近似地用单一的圆弧曲线或复合的圆弧曲线代替。弯道段上游起点和下游终点辐射线所构成的夹角，称为中心角。连接相邻两过渡段中心点的沿弯道几何轴线的曲线长度与直线距离的比值，称为曲折率。较长的蜿蜒性河道的各弯道曲折率的加权平均值，为这一河道的平均曲折率。蜿蜒性河道的平均曲折率一般在1.5以上，曲率达2.5~3.0的弯道常被叫做河

曲。连接横断面最深点的曲线称为深泓线。蜿蜒性河道的深泓线纵剖面亦为波状曲线，波谷即最深点，通常位于弯道顶点偏下处；波峰即最浅点，通常位于过渡段中心点偏下处。

蜿蜒性河道的河床地质组成，往往具有所谓二元结构的规律性。在一般冲积平原河流上，中、枯水位以下为中、细沙；中、枯水位以上为壤土及粘土。前者为河床水流的堆积物，后者为河漫滩水的沉积物。

蜿蜒性河道的重要水流特点为螺旋流的存在。在弯道段内，由于离心力的作用形成横向环流。横向环流与纵向水流相结合，形成表流趋向凹岸、底流趋向凸岸的螺旋流（图1-7）。观测资料指明：环流在进入弯道前即已开始，但比较微弱；进入弯道以后逐渐增强，至弯道顶点或略下处，环流强度达最大值。此后环流逐渐减弱，出弯道后，环流尚能维持一段距离。

在弯道上，由于离心力的作用产生横向比降，凹岸水面高于凸岸水面。沿着凹岸岸线水面具有上凸曲线形式，在弯道顶点偏上处，水位达到最大值；沿着凸岸岸线水面线具有下凹曲线形式，大致在凸岸顶点偏下处，水位达到最低值。对于某些曲率甚大的弯道，上述现象尤为显著，有可能在凹岸弯顶以上，凸岸弯顶以下，分别形成负比降，产生回流。

在天然河流的弯道上，纵向垂线平均流速沿河宽分布通常是沿程变化的。最大流速在弯道进口处偏靠凸岸，而在弯道下半部，则偏靠凹岸，出弯道以后，在相当长的一段距离内，还继续偏靠凹岸。产生这一现象的原因，是与弯道上水深和纵向比降的变化分不开的。在弯道进口处，水深沿河宽变化不大，而比降靠凸岸较大，故最大流速偏靠凸岸；在弯道下半部，水深及比降都以靠凹岸一侧为大，故最大流速偏靠凹岸。连接断面最大流速的线称为水流动力轴线。根据上面的讨论可知，水流动力轴线自弯道进口至出口，是逐渐由凸岸向凹岸过渡的。因此顶冲凹岸的地点，一般在弯道顶点以下（图1-9）。

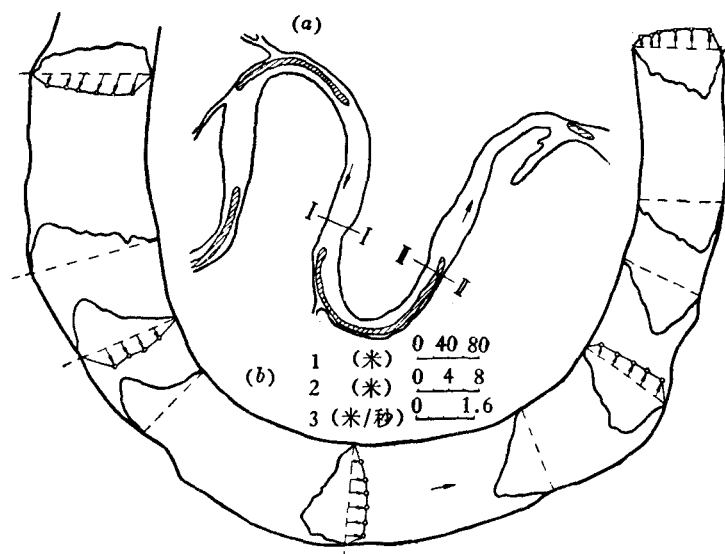


图 1-9 弯道中的垂线平均流速分布
a—实验段附近河势图；b—实验段平面图
I—I，II-II——实验段起始及终止断面；
1—水平比尺；2—垂直比尺；3—流速比尺

弯道上的水流变化情况是随水位的变化而变化的。一般说来,枯水时水流对凹岸的顶冲点上移,相应的最大流速与最大环流强度出现的地点也上移;洪水时水流对凹岸的顶冲点下移,相应的最大流速与最大环流强度出现的地点也下移。

蜿蜒性河道的演变特点是与上述水流情况息息相关的。由于弯道环流的作用,凹岸不断遭受冲刷,被冲刷下来的泥沙由河底水流带向凸岸,其结果使得凹岸不断冲刷后退,凸岸不断淤积前进,弯道的曲率半径因而愈来愈小。与此同时,由于水流对凹岸的顶冲点位于弯道顶点以下,最大纵向流速及最大环流强度皆出现在弯道顶点以下,故弯道凹岸的下半部常较上半部冲刷为烈。考虑到洪水时顶冲点的下移,而此时水流的冲刷力又最强,上述现象将显得更为强烈。其结果使得弯道在凹岸后退、曲率半径变小的同时,再向下游蠕动。

弯道在自由发展的情况下,曲率半径往往愈来愈小,终至形成几乎闭锁的河曲。河曲的起点和终点相距很近,称为曲颈或地峡。由于漫滩水趋向于走比降最大的路线,在水流长期作用下,往往在曲颈处刷出雛形串沟。遇上特大洪水和其它有利条件,雛形串沟发展成为河汉,形成自然裁弯。

裁弯以后,由裁弯所形成的新河,由于比降大,流速大,水流挟沙力也大,同时其口門往往紧接上一河弯的凹岸,流入的又是較清的表流,因此受到强烈的冲刷,断面迅速扩大。老河则与此相反,由于比降小,流速小,水流挟沙力也小,加以流入的水又是較渾的底流,因此受到强烈的淤积,断面迅速减小。当老河完全断流以后,新河就发展成为能通过全河流量的单一河道。老河淤积一般集中在上游段。未被淤死的老河下游段,逐渐变成与新河隔离的牛軛湖。新河形成以后,又逐渐向弯曲发展,重复前阶段的演变过程。上述新河发展和老河死亡的过程,一般都进行得很迅速,往往三、四年甚至一个汛期,老河即完全淤死,成为单一河道。

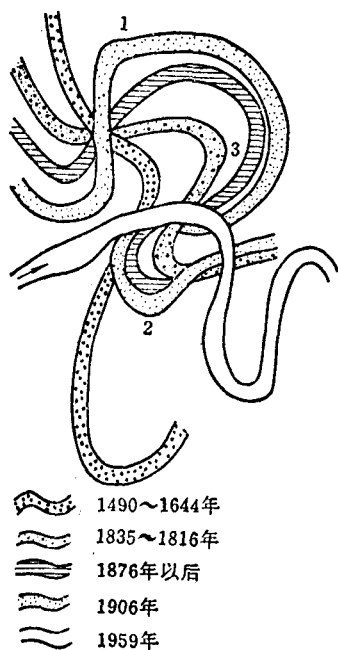


图 1-10 下荆江尺八口河弯历史变迁示意图

1—尺八口; 2—黄泥套; 3—白水套

图1-10为下荆江尺八口河弯发展过程示意图。

六、七十年前,该河弯发展到目前尺八口牛軛湖和黄泥套的位置,构成包括两个弯道的“S”形河弯。其中黄泥套河弯在1906年发生自然裁弯,尺八口河弯在1910年发生自然裁弯。目前在裁弯段的下游,又形成了两个新的河弯。

除在弯道狭颈发生的自然裁弯外,还可能发生凸岸切滩和凹岸撇弯现象。这种现象一般发生在曲率半径较小,且河弯形状不规则的地方。水流由于惯性作用,大水常易取直,以致将凸岸伸展过长的边滩切掉,或将凹岸坐弯(即形成鹅头形弯道)过急的地方撇出,形成新滩。