

Protection of River and Canal Banks

河渠护岸工程

(方案选择及设计导则)

[英] R W Hemphill, M E Bramley 著

蔡雯 江焘 等译

周端庄 校译

杨光熙 朱振宏 饶和平 审定



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

河渠护岸工程

(方案选择及设计导则)

[英] R W Hemphill, M E Bramley 著

蔡 雯 江 焘 等译

周端庄 校译

杨光熙

饶和平 朱振宏 审定

中国水利水电出版社

内 容 简 介

本书是英国建筑工业研究与信息协会(CIRIA)的研究成果,该研究项目在重点引用英国的经验的情况下,提供了有关河流、渠道、航道和排水渠护岸的型式选择及设计方法的导则。本书共分七章,分别为岸坡崩坍过程、规划和初步设计,对细部设计的引述,天然材料护岸、垂直护岸和铺砌护岸等。本书重点在于水道和航道的有关护岸范围和规模上,具体目标为:①判明不同冲蚀过程及影响岸坡完整性的其他因素;②评审与英国不同的防护方法有关的现有设计实践和使用经验;③鉴定影响在不同地点作出方案选择的工程的(耐久性和结构上的)、经济的、环境的参数。

本书适用于水利、航运等行业的专业技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

河渠护岸工程/(英)享普希尔,(英)布拉姆利著;蔡雯、江焘等译.-北京:中国水利水电出版社,2000.1

书名原文:Protection of River and Canal Banks

ISBN 7-5084-0199-9

I.河… II.①享…②布…③蔡… III.①护岸-保护②河流-堤防-保护 IV.TP871.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(99)第 22353 号

书 名	河渠护岸工程
作 者	R W Hemphill, M E Bramley
译 者	蔡雯、江焘等
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话:(010)63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京天竺颖华印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 225 千字
版 次	2000 年 1 月第一版 2000 年 1 月北京第一次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	17.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

本书是英国建筑业研究与信息协会(CIRIA)的研究成果,该研究项目在重点引用英国的经验情况下,提供了有关河流、渠道、航道和排水渠护岸的型式选择及设计方法的导则。

CIRIA 进行该项目时,在浏览了已出版的文献后,汇总了有关信息;向从事护岸工程设计与维修的工程师和机构发了调查表;同水利局、政府机构、公共机构、私人业主、顾问、承包商、制造厂商和研究机构进行了讨论;并作了现场调查;总结了作者们和领导小组的经验。重点参考了英国水利研究站管理的河流和渠道护岸的早期报告和 C.H. 多比帕特纳斯在 1980 年写的这方面的报告。

在完成 CIRIA 的研究项目时,本行业内其他机构编辑了两本出版物,即:

《内陆水道柔性铺砌(包括土工织物)护岸的设计与施工指南》,由国际航运协会常设委员会(PIANC)于 1987 年出版。CIRIA 与 PIANC 协作完成了对英国实践与经验的调查。并且,双方进行了信息交流,以保持协调一致。

《水利实践手册》第 8 册:河流工程——第二部分 结构及海岸防护工程,由英国水利和环境管理学会于 1989 年出版。CIRIA 项目的完成得到了水利工程师和科学家协会(现在合并为 IWEM)的河流工程分会的支持,尤其是对英国的实践和经验的调查方面。这本 CIRIA 著作的内容汇总在 IWEM 手册的第五章。

该研究项目的目标重点放在论述与英国水道和航道有关的护岸范围和规模。具体目标是:

- (1)判明不同冲蚀过程及影响岸坡完整性的其他因素。
- (2)评价与英国不同的防护方法有关的现有设计实践和使用经验。
- (3)鉴定在不同的地点影响方案选择的工程的(耐久性和结构上的)、经济的、环境的参数。

本书由长江水利委员会蔡雯、江焘、杨曦绯、欧阳常恒、刘永贵、朗昌清翻译,全书由周端庄校译,杨光熙、朱振宏、饶和平审定。

术 语 表

护面层	护岸的外层;保护垫层材料免遭水流、波浪和其他外部因素的冲蚀。
机构	拥有法定的权力对渠道进行施工、以确保满足排水、航运或自然保护目的的岸线业主以外的组织。
沙洲沉积	沉积于河弯内侧的推移质泥沙。
块石	称为采石场原石。具有粗糙的矩形表面,最大边长不超过最小边长的2倍。
渠化河道	用堰控制,靠船闸通航的河流。
航道管理局	负责航道的维修与保护的机构。
河床刷深(下切)	河道河床高程的区域性下降,与堆积的概念相反。
排水渠	人工开敞水道,用于聚集和输送排出的水流。
堤	为了防洪而对天然河岸进行人工加高后的河岸,一般由土建造。
柴捆	捆扎的砍伐树枝。
主航道	渠道或河道中可通航的中心部分。
吹程	风浪传播的直接水平距离(在风向上)。
建造基面	建筑物建于其上的经过修整的基础面。
石笼	由钢丝或聚合物网构成的长方形或筒形笼,常用石料填充。
土工织物	与土接合的透水的合成织物,具有过滤、分隔、排水、加固土体或防止冲蚀等功能。
刚性护岸	以钢、混凝土等材料构成的护岸工程的总称,与天然柔性材料如草木护岸有区别。
水力荷载	由于水的作用产生的力,可以是动水荷载或是静水荷载。
叠置结构	良好级配的冲积砂砾沉积;由于以缓慢的方式沉积而形成的有序结构使临界剪切应力增强。
使用期费用	一个项目的总费用,包括规划设计、施工、管理(即:监测、调查、维修)及可能的更换或修复的费用。
席垫	由纤维土工织物任意排列而成,呈多孔、三维状,一般厚度大于10mm。
地貌学	形态和构造的科学。例如,一条河流的形态和构造。
非织土工结构	由非编织的方式形成的土工纤维品,通常是由纤维随机排列形成的复杂纤维结构。
天然土块	粘性土岸坡崩解时形成的糙粗矩形块状土料。
河段	一段河道。
稳定河槽	由易受冲蚀的材料形成的河槽,但未发生过长期的下切和堆积。河道断面可能发生短期变动,由于持续的冲蚀和淤积,河槽可能有侧向

	移动。
回流	在束窄航道中由行船引起的水流,水流流向与行船方向相反。
浅滩	局部河床坡降很陡的河段。水流通常很浅,并处于超临界状态。
细冲沟	由于地表水沿岸坡流下而引起小的表面冲沟所产生的河岸冲蚀。
岸线业主	靠河道两侧土地的业主。在英国,业主的权辖延伸到河道中心线。
抛石	随机放置的疏松的抛石护面层。
爬高	波浪沿倾斜建筑物或岸坡上爬的静水位以上的垂直高度。
冲刷	由于水流、螺旋桨或波浪产生的剪切力使土壤颗粒移动。冲刷常指的是河床材料的局部冲蚀。例如,在未保护河岸的趾部。
旋转急流	由船的螺旋桨产生的高速水流。常能引起严重的冲刷。
渗流	水进出河岸的运动。
有效波浪	统计术语,与所记录波浪中的 1/3 最大的波浪平均值有关。因此,包括有效波高和有效波动周期。
柔性护岸	与刚性护岸相对应——一般由天然材料形成。
基土	河岸内或护岸后面的土。
草皮	在地表上的草。
紊流	流体流速在极短时间内任意变动。紊动程度由距平均值脉动量的均方根度量。
底层	位于面层和底土之间的铺砌层。可由土工织物或是颗粒状材料组成,或二者兼而有之。
上爬	当波浪到达岸边时,水流沿倾斜建筑物或岸坡向上运动。接着是向下运动——下跌。
横撑	支撑钢板桩挡土墙的水平横梁。
水道	天然或人工的输水道。
水位消落	渠道中水位较快的下落,常引起河岸的超孔隙水压力。尤其与行船引起的回流有关。
航道	用于航运的河渠。

注 释

A	过水面积	s	土壤剪切强度, 颗粒比重
B	水面处的河道宽度	T	波浪周期
b	河床宽度; 板宽或土条宽	t	层厚
c	土的粘结力	U	风速; 土壤均匀系数
C_u	土壤非排水剪切强度	u	孔隙水压
D	特性粒径尺寸	V	平均流速
d	水深	ν	局部流速
F	吹程	$\nu_{\star}$	剪切流速
F_s	安全系数	W	颗粒重量
g	重力加速度	γ	垂直距离
H	波高	z_0	土壤张力区的深度
H_s	有效波高	α	河岸与水平面的夹角
I_r	伊里瓦伦数	γ	水的比重
k	渗透率	γ_s	固体比重
L	波长	ν	运动粘度
n	曼宁公式中的糙率系数	ρ	密度
n_r	堆石孔隙度	σ	土壤的正应力
O	土工织物孔口尺寸	τ	剪力
Q	流量	τ_c	临界边界剪切应力
q	流量强度(体积/秒/单位宽度)	ϕ	土壤内摩擦角(大约等于休止角)
R	水力半径	Ω	边坡修正余数
r	曲率半径	Ψ_s	谢尔德参数
S	能量坡降	Ψ	绝对透水率(Permittivity)

目 录

前言

术语表

注释

第一章 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 本书范围	1
1.3 护岸类型	2
1.4 本书用途	3
第二章 岸坡崩坍过程	5
2.1 导言	5
2.2 河渠形态学	6
2.3 影响河岸坡冲刷的过程	7
2.4 影响河岸发生大体积崩坍的过程	20
第三章 规划和初步设计	32
3.1 导言	32
3.2 现场调查及背景分析	33
3.3 初设方案的选择	47
3.4 确定最优方法	50
3.5 优选方案	55
第四章 对细部设计的引述	57
4.1 导言	57
4.2 各类护岸细部设计共同的问题	58
第五章 天然材料护岸	64
5.1 导言	64
5.2 设计方法	65
5.3 活的天然材料的应用	67
5.4 草的应用	76
5.5 木材和木质材料的应用	88
第六章 垂直护岸	92
6.1 导言	92
6.2 重力墙的设计	92
6.3 重力墙的材料	99
6.4 板桩	100

6.5 其他挡土墙	103
第七章 铺砌护岸	106
7.1 概述	106
7.2 组成组分	106
7.3 设计方法	109
7.4 护面层的设计	109
7.5 垫层设计	112
7.6 抛石护岸	118
7.7 采用其它石块的铺砌护岸	125
7.8 预制灌混凝土块护岸	131
7.9 其它混凝土铺砌护岸	137
7.10 土工合成材料	140
7.11 沥青材料的使用	144

第一章 绪 论

1.1 背 景

人类需要保护河道和其他水道的岸坡,这可以追溯到早期的人类文明。为适应这种需求,经过多年已发展了许多保护的方式,并使用现在仍然存在的天然材料以及现代化的材料和工程系统。

传统保护方法的发展与其说是科学,不如说是一种艺术。在使用天然材料的方式上有很大的地区差异,传统的方法能很好地与当地环境结合起来。随着组织结构的变化以及近年许多负责护岸工程的单位不断提高了对费用效益的要求,传统方法在某种程度上受到了威胁。

新材料和新系统在不断发展。有些是明确为护岸设计的,另外一些材料是已脱离原定目的而用于护岸的。这些材料在不同的环境和不同的设计条件下,作为护岸的有效性已作了充分的评估。

作为本书依据的 CIRIA 研究,回顾了英国现在所有护岸方式,并在规划和设计的一般框架内对其作了介绍。对传统方法——就实际可行而言——也以适当方式作了介绍,以便工程师把它作为比较常规工程系统的替代方法评估其有效性。本书力求为规划设计提供合法的依据和分析的基本原理,并是为具有土木工程、水力学和地基工程基本知识的有经验的工程师编写的。目的是使读者理解其基本原理和所涉及的方法。它强调了护岸设计经常要作出的工程判断;本书并不能将非专家和无经验的工程师变为专家,但它能帮助工程师了解什么情况下需要征求专家意见。

在护岸中有两个因素极为重要。第一,不论材料和结构的形式,护岸构成了自然环境的一部分,必须按环境和工程观点就设计的有效性作出判断。第二,适当的设计方法的研究与改进,需要清楚地理解影响现有岸坡稳定性的因素,或者可能影响护岸稳定性的因素。

本书不包含未获得使用性能资料的新材料或系统。其他的方法,例如地基固结和碾压混凝土,在英国不常用。CIRIA 认识到需要继续研究以充实现有的知识,并进一步改进护岸方法——尤其是天然材料护岸方法。

1.2 本书范围

本书涉及航道和开敞水道(见术语表)的护岸,航道与开敞水道可细分为:

1. 开敞水道

(a) 天然的

- (I) 河流
- (II) 溪流
- (b) 人工的
 - (I) 渠道(具有相当大的流量)
 - (II) 明沟
 - (III) 排水道
- 2. 航道
 - (a) 运河
 - (b) 可通航排水渠道
 - (c) 可通航河流

超出河口段某点外(即在潮区区内),河流的护岸不曾考虑。在此区内,风产生的波浪作用转变为设计应考虑的主要问题。

排水渠通常是人工的,并且一般与基础设施的开发,例如高速公路或是农业低洼地的排水系统有关。由于行船会产生相当大的冲蚀,因而在本书中将航道单独分类。

在英国,法律上将河流和溪流再分为干流和非干流。

1.3 护岸类型

在英国,常用的护岸材料分为以下三种,即天然材料护岸、垂直护岸和铺砌护岸。这三种护岸将先后出现在本书各章节中。当然,不同护岸材料的使用方式可以人为调整。本书所叙述的护岸材料在英国的实践中被认为是十分满意的。

- 1. 天然材料护岸(第五章)
 - (a) 草,包括草皮
 - (b) 合成材料加固的草
 - (c) 芦苇
 - (d) 柳树和其他的树
 - (e) 木结构
 - (f) 灌木
 - (g) 临时保护
- 2. 垂直护岸(第六章)
 - (a) 钢板桩
 - (b) 钢和石棉水泥沟槽板
 - (c) 石笼结构
 - (d) 混凝土、砖和圬工重力挡水墙
 - (e) 预浇混凝土块
 - (f) 加筋土结构
 - (g) 其他低造价结构

3. 铺砌护岸

(a) 石头

- (I) 抛石
- (II) 砌石
- (III) 圪工
- (IV) 石笼沉排
- (V) 灌浆结构

(b) 混凝土

- (I) 混凝土块
- (II) 现浇混凝土板
- (III) 土工织物沉排

(c) 土工织物和土工膜

- (I) 有草的复合结构
- (II) 面层和栅格
- (III) 二维结构(织物)

(d) 多孔或密实的碎石沥青

CIRIA 在 1985 年进行了调查,了解到英国现在的实际情况,并与先前 1978 年的调查情况进行了比较。调查结果概括了有关资料:①护岸类型和长度;②护岸的原因;③各种设计方法;④护岸的破坏。

草是最常用的材料,或是以其为主体,兼用土工织物加固,或是铺草皮。虽然草实际上只用在正常水位以上,但其作为工程材料的用途(尤其是作为具有柔性材料的复合物)在明显地增加,也许是反映出更强调考虑环境因素。

除了草,用抛石块护岸的长度最长。再其次最常用的是木材,通常做成桩或横撑的形式。用梢捆加固和保护的堤岸也有相当大的长度。

对于人造材料,最常用的是钢板桩和钢护板,虽然各种型式的石笼也用得较多。土工织物和土工织物加强的植被,其使用也增多了。

在运河、港口和港湾管理机构中,刚性保护用得较多,尤其是钢板桩和钢护板。它反映了垂直保护的要求和行船引起的冲刷问题。

1.4 本书用途

本书的目的,是提供给有经验的工程师一个选择和设计护岸方案的框架。它不是一本设计手册——手册的内容太广而不严格。在许多地方,好的设计实践必须包括鉴别和经验,本书只要求注意到必须考虑到护岸设计和施工的各个方面,这些方面也是需请专家咨询的问题。

本书的意图是既可用作对一个问题的综述,也可作为参考资料的来源。对后者而言,可以预计,读者们将只参考自己感兴趣的章节。然而,必须强调的是,有效的设计要求准确地

判明破坏的原因(或潜在原因)。

第二章分析了影响岸坡整体性及决定设计条件的各种因素。第三章提出了现场调查及选择更合理护岸类型初步设计的基本程序。尤其注意要合理考虑基建费用和未来的维修及更换费用。

第四章作为后面“护岸细部设计”各章的引述,并且包括了各类护岸的共性问题。第五章、第六章、第七章论述护岸的细部设计,提供了技术规范 and 参考资料、护岸型式,包括天然材料(即植物和有机物)护岸、垂直墙护岸和铺砌护岸。

第二章 岸坡崩坍过程

2.1 导 言

本章概述影响无防护土质岸坡整体性的各种因素,并提供了一套基本的理论依据,以便工程师在护岸系统的选择与设计中能正确评价这些因素的意义。在大多数情况下,这些因素中只有有限的因素可决定设计条件。对于工程设计人员来说,常常必须在设计护岸工程之前就能正确估价岸坡崩坍的原因,或潜在的原因。

2.1.1 地貌演变过程

岸坡冲刷既可发生在表面上处于河势稳定(即处于控制性物理演变过程的平衡状态)的河渠中,也可发生在那些不稳定的河渠中。稳定河渠虽然在长期的演变过程中,基本形态和平均尺寸没有什么变化,但也会经历某种局部的冲刷和淤积,尤其是蜿蜒河曲。就大的区域而言,不稳定河渠在其力图达到稳定条件的过程中,将会经历系统的地貌演变。若只想防护一段岸坡而不采取措施处理好区域性问题,就很可能遭到失败。设计工作者还必须考虑到护岸工程方案对河渠整体稳定可能产生的影响。

在英国,不稳定河川大都见于邻近山区的冲积河段。由于早期的冰川活动,减小了这些河段的比降,从而促进了来自山区泥沙的沉积,并由此而加速河渠的侧向运动。在无冰川活动地区,下游河段横向冲刷一般较明显。在不稳定河段,业已观测到平均年水平冲刷率超过 2.0m/a (纽森,1986),最大冲刷发生在冬季洪水期。从局部来看,冲刷程度也不尽相同,尤其是在蜿蜒河曲段,最大冲刷率发生在河曲顶点,或紧靠该点的下游部位。

2.1.2 人为冲刷

河流工程诸如减洪、土地排水、基础设施建设以及通航等都会对天然岸坡的冲刷率产生不利影响。河道的裁弯取直若不辅以防护工程,则有可能导致河床冲深,河岸冲刷,而且有可能重新形成蜿蜒河况。在坡脚进行疏浚工程有可能引发岸坡的大体积崩坍,而疏浚河段引起的岸坡变化会加速淘刷、淤积及河曲的演变。为了增大河渠的泄洪能力,须清除河岸的树木。但因此会破坏树木的根系而降低了河岸的抗冲能力,也可能造成河宽的扩大(海伊,1986)。

船舶通航可能因船行激浪的拍击和螺旋桨的冲刷作用,加速运河和河道岸坡的冲刷。英国的泰晤士河、约克郡乌斯河及布罗德兰河等河流,可观测到其冲刷率达 0.35m/a ,而且无任何可平衡河岸的冲积物。

水资源开发的河道整治及土地利用的变化,诸如都市化和绿化等,会影响河道的水沙状

况,并引起区域性的河渠失稳。

2.1.3 局部冲刷

在河渠中,任何造成局部强流流态的工程建筑物,如建设桥梁和堰坝,以及天然地形都会因为复杂的三维流态而引起岸坡冲刷。对于河流来说,都有必要估价岸坡崩坍是由局部流态还是由影响河段的区域性失稳所造成的。

2.2 河渠形态学

2.2.1 堤岸土质及成因

从岩土技术和地质的观点出发,河岸简单地分类如下:

- (1)粘性堤岸。其中粘性土成份相当大。此外还可能含有一些泥炭土。
- (2)非粘性堤岸。堤岸土料没有多少或无粘性,即土中粘性土成份很少,基本上为砂或砾石。
- (3)土壤结构分层的复合堤岸。即在非粘性土上覆一层粘性土层。

复合式堤岸(图 2.1)在输移河床质的河流中最常见。这种河岸其下部为泥沙沉积物,所沉积的泥沙即为河床质,并呈早期的沙洲沉积形态。河岸的上部也是泥沙沉积构成,但在河床上根本没有这种泥沙淤积。河岸上部的这种沙土是在洪水消退时细沙在沙洲表面淤积而成。植物生长有助于稳定这种泥沙沉积物,并由于增大了局部的水力糙度而促使其进一步的淤积。

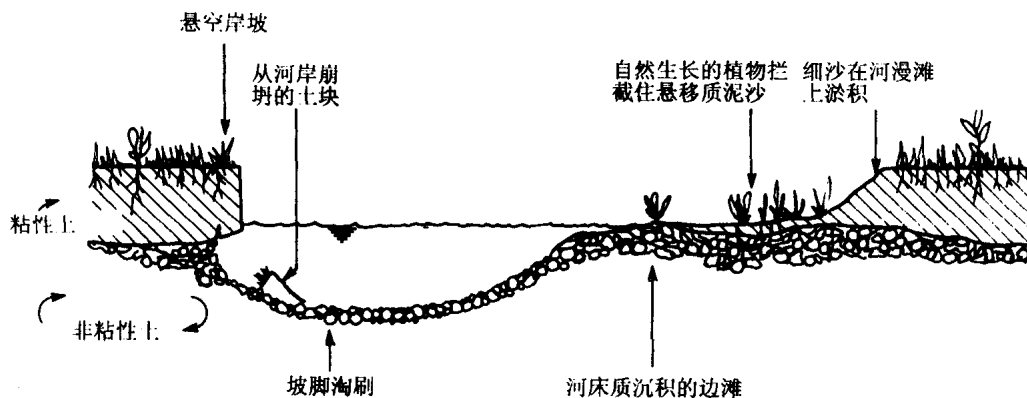


图 2.1 复合式河岸河流蜿蜒段横剖面

在英国的游荡性砾石河床河流中,河岸大都是复合式的,主要是砾石和细砾石叠置而成,或其中充填有粗砂——古沙洲——上覆粘性的细粉沙质粘土——古时的河漫滩淤积。河岸的一些地段可能全部为粘性土,主要是古蜿蜒河段裁弯取直后淤填而成。

沙质或淤泥质河床的河流,其河岸通常为粘性土(其中含有泥炭)。尤其是当这些河流流经古冰川湖或海相沉积地带时,其河岸还可能有夹层。

2.2.2 制约河槽形态的演变过程

2.2.2.1 稳定河槽

流经冲积地带的无防护河槽,通过自身的冲淤平衡来调整其总体形状及剖面尺寸。最终河槽达到准稳态或冲淤平衡条件,在这种状态下的多年演变期内,河槽的平均尺寸无显著变化。一般习惯上采用冲淤平衡理论以确定河槽宽、深及坡度。

在稳定河槽发育过程中,河岸冲刷起着重要作用。河岸冲刷不仅直接制约河槽宽度的调整及沙洲的淤积,而且对蜿蜒河势的发育有相当大的影响。

河槽宽度的变化影响河道流量、推移质输移过程,并因此对河床的冲淤有所影响。IWEM 的《水利实用手册 No.7》(霍金等,1987)概述了控制冲淤平衡河槽尺寸的机理,并给出了相应的冲淤平衡方程式。

2.2.2.2 不稳定河槽

河流在其冲淤平衡的自然调整过程中处于不稳定状态。改变河道水沙量或河槽形态的人为影响可能是控制河道冲淤的一项重要因素。河流对这些人为的改变作出多快的反应取决于河流所发生的改变的程度,以及河流的自然稳定性(海伊,1986)。根据连续性、水流阻力及泥沙输移方程式,已编制出了数学模拟方程,用以预测宽度不变的河槽中的冲淤过程,从而可预报河槽对整治工程的反应情况(美陆军工程兵团,1977)。在预测河道宽度及平面河势调整方面,目前尚无根据河道演变过程推导出来的公式可资利用。

不稳定的冲积河槽其河岸的冲刷可能特别迅速。河道的不均匀冲淤会导致河流平面几何形状的迅速改变,并促使河槽坡降发生变化。蜿蜒河势的发育会减小河槽坡降,而通过裁弯取直则可使局部河槽坡度增大。由河道冲淤引起的河床高程的任何如此有规律的变化都可能促使河岸快速冲刷。深切作用使河岸失稳,而淤积常发育成江心洲和小岛,加剧河道的迅速展宽并形成分汊河道。

2.3 影响河岸坡冲刷的过程

河岸坡面泥土的侵蚀取决于冲刷力超过抗冲力。岸坡冲刷又常使边坡失稳,并促发大体积崩坍。河岸坡面冲刷过程如图 2.2 所示。

2.3.1 流水引起的冲刷

2.3.1.1 顺直河槽

在呈二维均匀单向水流无限宽的顺直河槽中,与迎面阻力相关的边界剪应力由下式计算:

$$\tau = \gamma d S \quad (2.1)$$

式中, γ 为水的比重; d 是水流深度; S 为水面坡降(等于河床比降)。水面坡降通常由地形控制确定,故不受流量影响而变化。因此,边界剪应力随水流深度而变,洪峰流量时达到最

大。

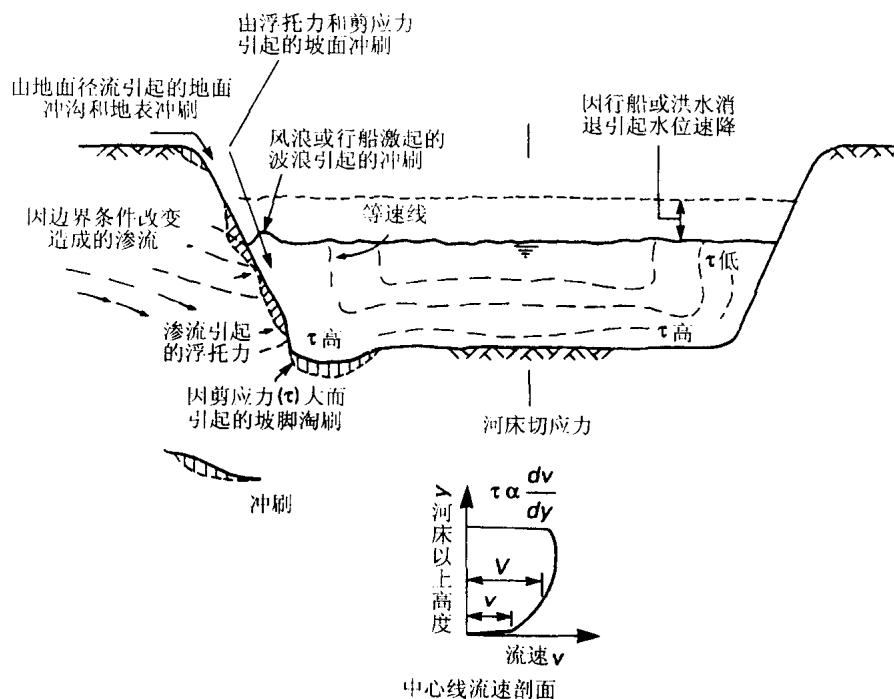


图 2.2 河渠横剖面表面冲刷过程的示意图

在有限宽度的顺直河槽中,平均边界剪应力等于 γRS , 其中 R 为水力半径。河道中的流速分布受两侧河岸的影响,从而造成三维流态。典型的流速分布参见图 2.2。二次流态及横截面形状的影响会使边界剪应力产生复杂变化。图 2.3 所示为一梯形河槽中实测的流速与剪应力分布。边界剪应力的最大值在邻近两岸的三维水流带测得,该处流速梯度局部地较高。

在河床,峰值剪应力值随着河床宽度增大而趋向于宽河槽的该剪应力值[式(2.1)],凡是河床宽度为水深 7 倍以上的河段,其峰值剪应力的变幅一般都在宽河槽峰值剪应力值的 10% 以内。在两岸,一般认为该峰值剪应力比较小。图 2.4 所示的数据是通过对比边坡为 1:1 的河槽的试验取得的(Yuen, 1988)。按图 2.4 所示,宽河槽的峰值剪应力为 $0.82\gamma dS$, 而河床宽度为水深 5 倍以上的河槽,其峰值剪应力的变幅在宽河槽峰值剪应力的 5% 以内。乔(Chow, 1959)给出该常用峰值剪应力为 $0.76\gamma dS$ 。尽管如此,必须指出,该数值不是直接观测得出的。

河床与河岸水力糙率不同,将进一步对边界剪应力产生二次影响。河岸是比河床粗糙还是平滑,剪力对河岸的影响则分别相应增大或减小。迄今还不能从理论上预测剪应力的分布情况,而工程师通常根据现有资料假定峰值剪应力。

2.3.1.2 不规则河槽

在河渠中,由于河道横剖面的局部变化(诸如由水塘和浅滩所致)及平面形状变化,水流