

黄河 洪水输沙与冲淤阈值研究

HUANGHE HONGSHUI SHUSHA YU CHONGYU YUZHJ YANJIU

梁志勇 刘继祥 张厚军 林宏达 刘翠芬 著



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书以黄河下游以及渭河下游输沙、冲淤阈值(临界水沙与边界条件)为主线,对研究现状进行了评述;以不饱和输沙理论为基础导出了排沙比计算的一般公式以及冲淤阈值的一般解;根据实测资料建立了黄河下游各个河段和渭河下游排沙比以及冲淤阈值、高含沙水流排沙比与冲淤阈值的定量关系;按照非恒定水流理论提出了洪水最大冲刷深度的计算公式,探讨了黄河下游粗沙的冲淤特性、黄河下游上下河段的冲淤调整关系、悬移质泥沙组成调整模式、高含沙水流逆行沙浪等,并就相关问题进行分析和讨论。本书部分内容为“十五”国家科技攻关计划重大项目“水安全保障技术研究”中“维持黄河下游排洪输沙基本功能的关键技术研究”项目成果。本书可供泥沙与河流动力学、水利、水文、地理、防洪减灾、桥涵、管道穿河工程等专业的规划、设计、科研、管理人员以及高等院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

黄河洪水输沙与冲淤阈值研究/梁志勇等著. —郑州:
黄河水利出版社, 2004. 12

ISBN 7-80621-854-8

I. 黄… II. 梁… III. ①黄河-水力输沙-研究 ②黄河-河道淤积 ③黄河-河道冲刷 IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 112768 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787mm×1 092mm 1/16

印张:11

字数:254 千字

印数:1—1 000

版次:2004 年 12 月第 1 版

印次:2004 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-854-8/TV·378

定价:25.00 元

前 言

黄河下游河道是一条“地上悬河”，是水流挟带泥沙长期冲淤变化的结果。自然状态下下游河流往往是水少沙多、水沙不平衡，20 世纪 80 年代后期以来，来水来沙变化使水少沙多的矛盾更加突出，水沙严重不平衡，从而造成河床淤积、河道萎缩，加剧了“二级悬河”的发展，加大了两岸的防洪压力。小浪底水库运用以来，特别是近年来进行的调水调沙试验对恢复和维持主槽起到了积极的作用。

如果我们知道什么样的洪水能够冲刷下游河道、什么样的洪水能够使下游河道淤积，了解下游各个河段之间冲淤调整的关系，并能够通过水库的联合调度运用，施放所需要水沙搭配或水沙组合的洪水，使进入下游河道的洪水淤积总量较少，淤积分布合理，那么就有了减少或控制黄河下游河道泥沙淤积的办法，这将有利于黄河下游河道的防洪减灾。

解决这个问题实际上就是要研究洪水在不同边界条件下的输沙问题，以及不同水沙搭配情况下的泥沙冲淤分布问题。本书以黄河下游河道以及渭河下游为例，从不同河段洪水输沙和冲淤阈值(临界水沙与边界条件)两个层次来研究黄河，用河段排沙比、冲淤临界流量、水沙系数等参数来描述洪水输沙与冲淤阈值，按照洪水是否漫滩、洪水含沙浓度大小、泥沙粗细、河段不同等分类进行了较为细致的理论推导、资料统计与分析研究。全书共 12 章。第一章为绪论。第二章至第八章叙述河道输沙特性及其冲淤阈值，首先论述了黄河输沙及冲淤阈值研究概况，从不饱和输沙、非恒定水流、边界条件变化等多角度研究洪水排沙比及冲淤阈值等方面的内容，并对黄河下游各个河段及渭河下游的冲淤阈值进行了具体分析。第九章至第十二章讨论高含沙水流的输沙问题，介绍了高含沙水流的现象、输沙特性、悬移质泥沙的调整模式，最后分析了黄河下游各个河段输沙关系及冲淤阈值。

本书系集体创作，撰稿人情况及其撰稿章节如下：梁志勇参与全书的撰写与统稿；刘继祥参与本书第一、六、十二章的撰写；张厚军参与本书第二、六、七、八、九、十二章的撰写；林宏达高级工程师参与本书第三、五、七、十章的撰写；刘翠芬工程师参与本书第四、五、八、十一章的撰写。

作 者

2004 年 9 月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 对黄河下游河道冲淤变化的认识	(1)
1.2 系统的资料分析工作	(3)
1.3 本书编写的构思与布局	(9)
第二章 研究概况	(11)
2.1 以往经验关系	(11)
2.2 相对清水冲刷、相对浑水淤积	(14)
第三章 洪水冲淤阈值的一般解	(20)
3.1 恒定流输沙方程的一般解	(20)
3.2 包含漫滩洪水在内的冲淤临界条件	(22)
3.3 考虑水沙条件的参数选择	(24)
3.4 考虑前期河床边界条件的参数选择	(26)
第四章 从非恒定水流理论推求洪水冲刷深度	(31)
4.1 洪水特性	(31)
4.2 非恒定性与河道冲淤特性	(32)
4.3 非恒定洪水冲刷能力的分析	(34)
4.4 资料验证与分析	(36)
4.5 公式的讨论	(36)
4.6 公式的应用	(39)
第五章 渭河下游冲淤阈值	(42)
5.1 渭河下游河道冲淤特性	(42)
5.2 冲淤临界流量的求解	(46)
5.3 冲淤临界流量公式的讨论	(48)
5.4 冲淤阈值公式的论证与引申	(48)
第六章 黄河下游上下河段冲淤调整的关系	(52)
6.1 黄河下游上下河段冲淤沿程调整的一般关系	(52)
6.2 黄河下游非均匀河槽对输沙和冲淤的影响	(54)
6.3 三门峡水库不同运用时期上下段的冲淤调整	(58)
6.4 汛期洪水上下段的冲淤调整关系	(66)
6.5 小结	(75)
第七章 黄河下游各河段冲淤阈值	(76)
7.1 汛期不同水沙组合各河段冲淤特性	(76)
7.2 各河段冲淤阈值	(87)

7.3 洪水冲淤阈值与水沙搭配、边界条件关系	(89)
7.4 小结	(95)
第八章 艾山—利津段洪水粗沙冲淤特性探讨	(96)
8.1 所有场次洪水分组泥沙冲淤统计结果	(99)
8.2 1974~1999 年 $3\ 500\text{m}^3/\text{s}$ 流量以下艾利段粗沙冲淤特性	(102)
8.3 所有场次非漫滩洪水分组泥沙冲淤特性	(111)
8.4 结语	(119)
第九章 高含沙水流概述	(120)
9.1 现象	(120)
9.2 定义	(122)
9.3 高含沙水流基本特性	(123)
9.4 运动特性	(126)
第十章 高含沙水流的输沙特性	(128)
10.1 水沙搭配关系	(128)
10.2 “多来多排”输沙机理及其他影响因素	(133)
第十一章 高含沙水流泥沙组成与逆行沙浪	(137)
11.1 泥沙组成与调整的两种模式	(137)
11.2 沙浪尺度及其可逆性	(139)
11.3 高含沙两相紊流泥沙组成的调整	(142)
第十二章 高含沙洪水输沙特性研究	(149)
12.1 高含沙洪水统计结果	(149)
12.2 高含沙洪水排沙比的一般关系	(151)
12.3 断面形态对输沙的影响	(159)
12.4 山东河段不严重淤积的条件	(164)

第一章 绪 论

对黄河下游河道输沙与冲淤特性的研究由来已久。近 50 年以来,对输沙与冲淤特性的研究从单一的资料分析、认识,到冲淤规律总结、经验或半理论公式的提出;从全沙冲淤规律的分析研究到分组泥沙冲淤规律的分析研究;从长时段冲淤规律的分析到洪水过程的冲淤分析等,经历了一个从简单到复杂、从经验到理论、由浅入深的过程。

对黄河下游河道冲淤特性的认识包含有以下几个方面:一是冲刷与淤积变化规律,包括清水与浑水的、粗沙与细沙的、低含沙与高含沙水流的、大水的与小水的等;二是冲刷和淤积的临界条件即阈值,以及阈值与不同水沙条件、边界条件的关系。

1.1 对黄河下游河道冲淤变化的认识

黄河下游是一条冲淤变化剧烈的河流,历代对黄河下游河道的认识都在不断发展。由于生产力水平和科学技术条件的限制,在 20 世纪 50 年代以前,“对黄河下游河性的理解不能不是零星的、片段的,或者是停留在感性认识阶段”(钱宁等,1987)。

1964 年出版的《黄河下游河床演变》(钱宁等)第一次较为系统地从河床演变的角度阐述了黄河下游河道的演变特性,如黄河下游河道具有“大水大排”、“大水淤滩刷槽”、“大水位山以下山东河道冲刷”、“大水河走中泓、水流集中、河身变窄深”等自然演变特性。但当时水文资料有限、计算机技术很落后,还无法进行大量的资料统计和分析工作。一直到 70 年代末期、特别是 80 年代以来,黄河下游冲淤演变特性的研究开始有了明显的进展。

黄河水利委员会水利科学研究所等单位^①分析了三门峡建库蓄水前的 1952~1960 年下游河道的冲淤变化情况,统计结果见表 1-1、表 1-2 和表 1-3,得到如下结论:①就汛期的高峰期和平水期而言,高峰期占汛期淤积量的 91.5%,小于 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的平水期占 8.5%。泥沙淤积在高峰期虽大但大部分淤积在滩地上,平水期的淤积虽小但都淤积主槽内(包括山东河段)。②漫滩洪水的淤积量较大,不漫滩洪水的淤积量较小。当来沙系数较小时,下游河道会出现淤滩刷槽;当来沙系数较大时,会出现滩槽皆淤的情形。这一临界冲淤来沙系数因漫滩洪水大小不同而异,对于大漫滩洪水,洪峰的平均来沙系数 $\bar{S}/Q$ 为 $0.015\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$,对于小漫滩洪水,洪峰的平均来沙系数 $\bar{S}/Q$ 为 $0.03\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 。

黄河下游淤积的根本问题是泥沙问题,泥沙的根源在中游,而中游不同区域的泥沙粗细还不大相同,因此不同地区降雨所造成的来水来沙对下游河道的影响是不同的。本书第一次将黄河下游的冲淤变化与中上游的洪水、泥沙过程联系起来,结合黄河流域的水沙条件,将水沙来源分区为:粗泥沙来源区、细泥沙来源区和清水区。统计分析表明:①粗泥沙来源区发生较大洪水时下游河道多处于不漫滩或小漫滩情况,整个下游河槽常出现淤积而少有冲刷。②各地区普遍有雨但强度不大,或者粗泥沙来源区有中等洪水但清水区也有补给,或者洪水主要来自细泥沙来源区时,洪水一般不漫滩,艾山以上河槽发生淤积、艾

① 黄河水利委员会水利科学研究所、水电部十一工程局勘测设计研究院、清华大学水利工程系,1978 年,黄河流域不同地区来水来沙对黄河下游冲淤的影响,黄河泥沙研究报告选编,第一集,下册。

山以下河槽为冲刷。③粗细泥沙来源区与清水来源区洪水相遇,或者洪水主要来自粗沙区时,艾山以上河道发生淤积或者冲刷但河槽发生冲刷、艾山以下河道为冲刷。

表 1-1 1952~1960 年黄河下游冲淤情况

项 目		河段九年总冲淤量(亿 t)				不同时期淤积量占总淤积量 (%)
		高村以上	高村—艾山	艾山—利津	全下游	
九年累计		+ 29.14	+ 9.92	- 1.66	+ 37.39	100.0
汛期		+ 26.55	+ 8.73	- 4.98	+ 30.30	81.0
1. 洪峰	58 次	+ 23.76	+ 9.85	- 5.89	+ 27.72	74.1
按漫滩情况区分:大漫滩	7 次	+ 6.89	+ 5.84	- 2.14	+ 10.58	28.2
小漫滩	23 次	+ 11.48	+ 4.53	- 2.32	+ 13.69	36.8
不漫滩	28 次	+ 5.39	- 0.52	- 1.43	+ 3.44	9.2
按洪峰流量 >10 000m ³ /s	7 次	+ 7.14	+ 6.71	- 2.50	+ 11.34	30.3
级区分: 6 000~10 000m ³ /s	23 次	+ 12.75	+ 3.85	- 1.66	+ 14.76	39.5
4 000~6 000m ³ /s	16 次	+ 3.41	- 0.39	- 1.34	+ 1.67	4.5
2 000~4 000m ³ /s	12 次	+ 0.64	- 0.31	- 0.39	- 0.06	—
2. 平水期		+ 2.79	- 1.12	+ 0.91	+ 2.58	6.9
非汛期		+ 2.59	+ 1.19	+ 3.32	+ 7.09	19.0

注:“+”表示淤积,“-”表示冲刷,下同。

表 1-2 1952~1960 年黄河下游大漫滩洪水滩槽冲淤情况 (单位:亿 t)

日 期 (年·月·日)	花园口		花园口—艾山			艾山—利津			花园口—利津		
	洪峰 流量 (m ³ /s)	$\overline{S}/\overline{Q}$ (kg·s/m ⁶)	槽	滩	全断面	槽	滩	全断面	槽	滩	全断面
1953.7.26~8.14	10 700	0.011 2	-1.79	+2.20	+0.41	-1.21	+0.83	-0.38	-3.00	+3.03	+0.03
1954.8.2~8.25	15 000	0.009 7	-2.44	+3.43	+3.16	-0.99	-0.16	-1.15	-1.26	+3.27	+2.01
1954.8.28~9.9	12 300	0.017 0	+2.17								
1957.7.12~8.4	13 000	0.011 9	-3.23	+4.66	+1.43	-1.10	+0.61	-0.49	-4.33	+5.27	+0.94
1958.7.13~7.23	22 300	0.009 5	-6.10	+9.20	+3.10	-1.55	+1.0	-0.55	-7.15	+9.70	+2.55
合 计			-11.39	+19.49	+8.10	-4.85	+2.28	-2.57	-16.24	+21.77	+5.53

在谈到三门峡水库对下游河道冲淤的影响^①时,刘月兰等曾提出三门峡水库应尽量根据下游河道的输沙特性和来水来沙特点进行泥沙调节,建议包括:①当上游来沙系数大或者前期下游河床冲刷粗化时,下泄水流的排沙比应当小。②尽量利用漫滩洪水排沙。

① 刘月兰等,1978 年,三门峡水库对黄河下游冲淤输沙的影响,黄河泥沙研究报告选编,第一集,下册。

表 1-3 1952~1960 年黄河下游部分小漫滩洪水滩槽冲淤情况 (单位: 亿 t)

日 期 (年·月·日)	花园口		花园口—艾山			艾山—利津			花园口—利津		
	洪峰 流量 (m^3/s)	$\bar{S}/\bar{Q}$ ($\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$)	槽	滩	全断面	槽	滩	全断面	槽	滩	全断面
1953.8.18~8.25	6 790	0.045 2	+0.645	+0.265	+0.910	+0.029	+0.166	+0.195	+0.674	+0.431	+1.105
1953.8.26~9.2	8 410	0.043 6	+1.060	+0.230	+1.290	+0.430	-0.330	+0.100	+1.490	-0.100	+1.390
1954.7.13~7.16	7 200	0.028 5	-0.286	+0.437	+0.151	+0.082	-0.069	+0.013	-0.205	+0.369	+0.164
1956.7.23~7.29	6 500	0.033 8	+0.304	+0.346	0.650	+0.167	+0.050	+0.217	+0.471	+0.396	+0.867
1958.7.29~8.2	7 370	0.029 4	-0.158	+0.652	+0.494	+0.043	+0.207	+0.250	-0.116	+0.859	+0.743
1959.8.5~8.12	7 680	0.043 9	+0.430	+0.587	+1.017	-0.200	+0.378	+0.178	+0.230	+0.965	+1.195
1959.8.18~8.24	9 480	0.028 6	-0.173	+1.362	+1.189	-0.004	-0.208	-0.212	-0.177	+1.154	+0.977
合 计			+1.822	+3.879	+5.701	+0.546	+0.194	+0.740	+2.368	+4.073	+6.441

钱宁等(1987)曾总结评述了 20 世纪 80 年代以前对黄河下游河道冲淤特性的研究,从不同时间尺度阐述了黄河下游的冲淤特点。对于年际的冲淤变化而言,利用 1950~1977 年的资料分别绘制了黄河下游冲淤量与水沙量以及来沙系数的关系如图 1-1 和图 1-2 所示。可以清楚地看出,淤积量与水沙量的多寡或者水沙搭配程度有关。来沙系数 $\bar{S}/\bar{Q}$ 越大,淤积量也越大,来沙系数 $\bar{S}/\bar{Q}$ 越小,淤积量也越小或为冲刷,冲淤的临界来沙系数为 $0.015\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^6$ 左右。这与上述从 50 年代的大漫滩洪水资料得到的结论是一致的。

对于季节性的冲淤变化,可以从表 1-1 得到如下结论:①汛期 $2\,000\sim4\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水在全下游基本上冲淤平衡,漫滩洪水淤积是黄河下游淤积的重要因素,但主要淤积在滩地上。②小于 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的中枯水时期,来沙颗粒较粗,而且全部淤积在主槽内。

对于一次洪水过程的冲淤变化,基本上遵循“涨水冲刷、落水淤积”的规律。

1.2 系统的资料分析工作

20 世纪 80 年代初期,随着水文资料的积累及计算机技术的普及,系统的资料分析有了可能,对泥沙进行分组冲淤规律的统计分析工作也从此开始。

黄河下游各站各年以及汛期的输沙率与流量有一定关系但比较散乱,悬移质泥沙分组冲淤规律也与此相似,如图 1-3 所示的 1977 年花园口、高村、艾山和利津四站的分组泥沙输沙率与流量关系(叶青超等,1994)。该研究还指出,汛期不管是粗沙还是细沙,都是高村以上河段淤积多,高村以下河段淤积少或略有冲刷。

“八五”攻关期间,对粗细泥沙冲淤规律进行了进一步的研究(赵业安等,1998;张仁等,1998),按照三门峡水库不同运用时期黄河下游粗细泥沙的运动情况进行了分类资料分析,认为:①当水库下泄清水、河床冲刷时,水流含沙量逐渐恢复,细颗粒泥沙恢复慢、恢复距离长,中、粗颗粒泥沙恢复距离短。河床冲刷以细沙中粒径在 $0.01\sim0.025\text{mm}$ 之间

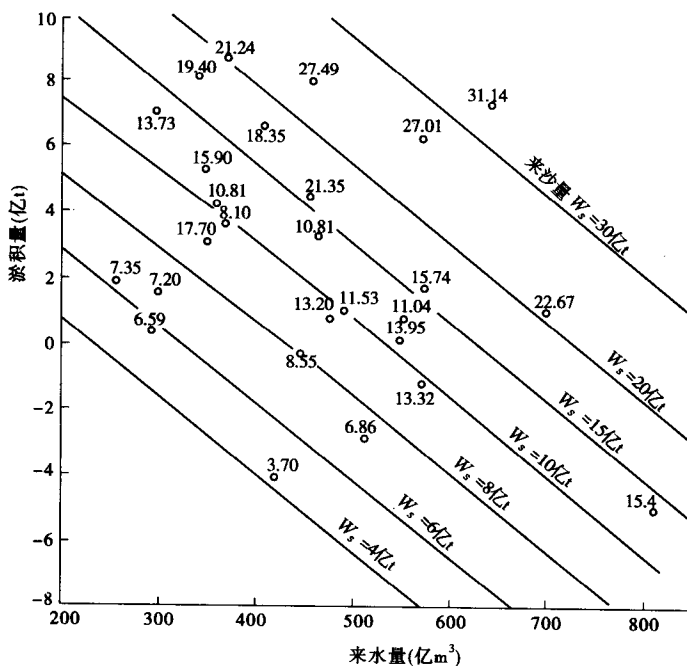


图 1-1 黄河下游 1950~1977 年年淤积量与水沙量的关系

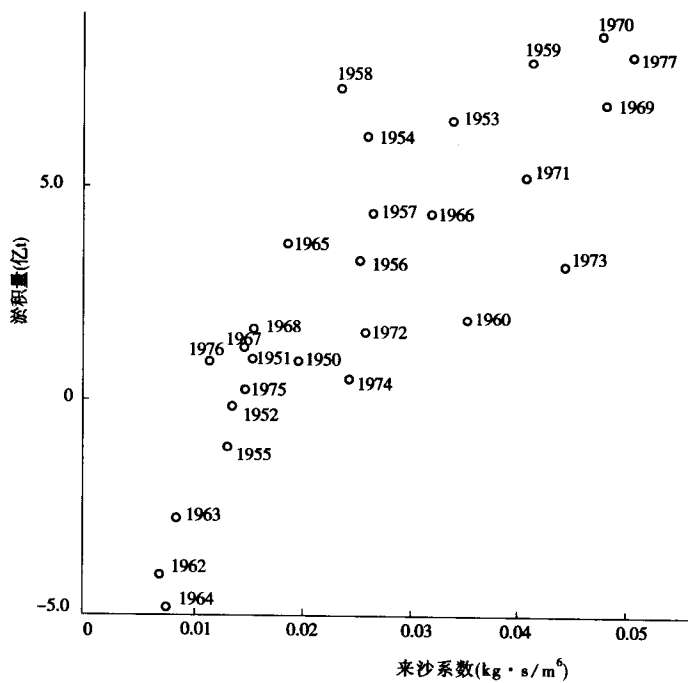


图 1-2 黄河下游 1950~1977 年年淤积量与来沙系数的关系

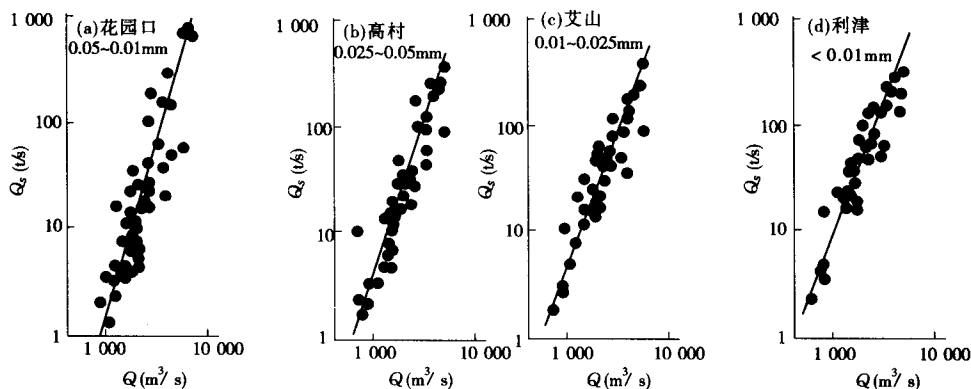


图 1-3 1977 年各站输沙率与流量关系

的泥沙为主,高村以上冲起的中、粗颗粒泥沙中有相当一部分要在高村、艾山以下河段淤积下来,其冲刷量决定于清水水量的大小,如图 1-4 所示。②在水库集中排沙时,下游河道严重淤积,淤积量占来沙量的 60%~70%,初期淤积部位在高村以上,以后逐渐下移,其中粗、中颗粒泥沙主要淤在花园口以上河段,高村以上河段淤积量与来沙量关系密切。③在蓄清期汛初水库小水排沙(粒径变化范围为 0.005~0.042mm)时,泥沙淤积主要在花园口以上河段,粗沙淤积量占来沙量的 70%、细沙占 30%左右,淤积量取决于来沙量,与泥沙粗细、流量无关,如图 1-5 所示。

对不同洪水来源时下游河道粗细泥沙冲淤调整的研究认为:①多沙粗泥沙来源区的洪水,粗、中、细沙全面淤积。②对于细沙来源区洪水,淤积比明显降低,粒径大于 0.1mm 的泥沙基本上不出利津。高村以上河段各粒径组泥沙全面淤积,艾山以下河道则出现冲细淤粗。③少沙来源区洪水,下游河道中细泥沙普遍冲刷,但大于 0.1mm 的极粗泥沙淤积。

在不同流量级洪水情况下,粗细泥沙的冲淤规律是:①对于洪峰期平均含沙量小于 30kg/m^3 的洪水,当洪峰期平均流量小于 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 时,各粒径组泥沙基本都处于淤积状态;当洪峰期平均流量大于 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 时,各粒径组泥沙基本都处于冲刷状态。②对于洪峰期平均含沙量在 $30\sim140\text{kg/m}^3$ 之间的中等含沙量洪水,下游河道各级流量各级泥沙都要淤积;流量越大,泥沙输送的距离越远,主要淤积部位下移。③对于日平均含沙量大于 300kg/m^3 的高含沙洪水,随着全沙淤积量的增加,粗泥沙淤积量增加的幅度较大,细沙淤积量增加的幅度较小;粗泥沙的淤积主要发生在高村以上河段。

张仁等(1998)也提到了黄河下游不同粗细泥沙的冲淤特性,从汛期和非汛期的角度进行了统计分析,认为冲淤沿程分布是:汛期细沙为两头河段冲、中间河段淤,中沙和粗沙则为上段河道淤、下段河道冲;非汛期各组泥沙都为上段河道冲、下段河道淤,粗沙和中沙明显地表现为“搬家”现象。

黄河水利委员会勘测规划设计研究院^①在进行小浪底水库运用方式研究,以及后来

① 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,1997 年,小浪底水库运用方式研究黄河下游冲淤规律研究专题。

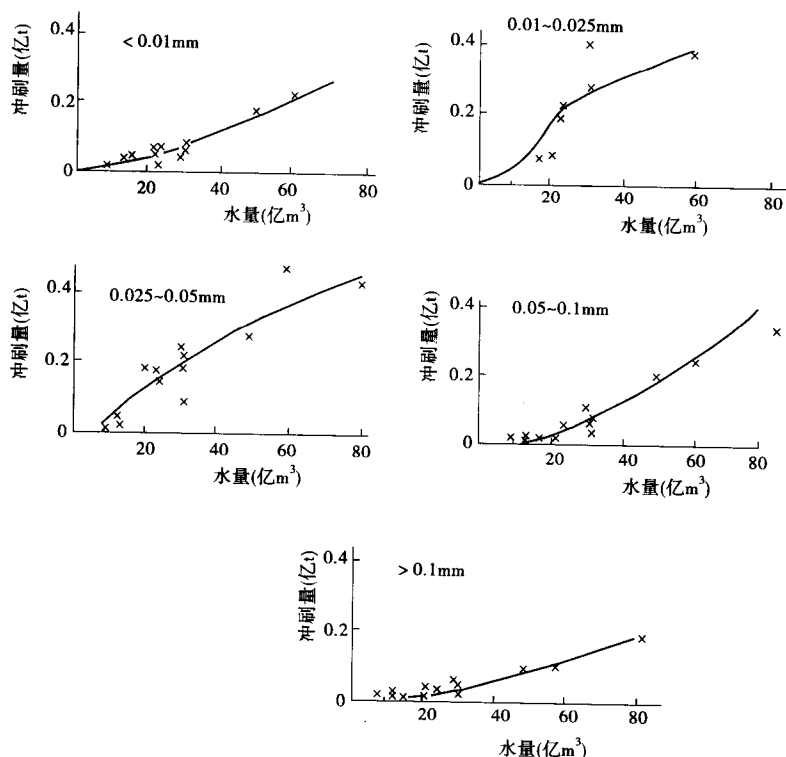


图 1-4 三门峡水库蓄水期下游河道不同粗细泥沙冲刷量与水量的关系

进行的“九五”国家重点科技攻关研究^①中,首先就输沙资料的合理性进行了分析,认为三门峡水文站地处峡谷地带,水沙掺混、紊动强烈,泥沙测验的代表性较好;而下游其他几个水文站的资料都须进行修正。具体修正方法是,首先根据各河段同流量水位的变化(汛期 $3\,000\text{m}^3/\text{s}$ 或 $5\,000\text{m}^3/\text{s}$,非汛期 $1\,000\text{m}^3/\text{s}$)推算出冲淤量(称为水位法冲淤量),然后选择断面法、输沙平衡法和水位法中冲淤量相近的资料,建立水沙条件和河床边界与断面法修正沙量的关系,以此得出一个计算的冲淤量,该值实际上是将其他年份的资料与选用年份类比分析的结果,所得出的途径与上述三种方法不同,以此作为第四种方法的冲淤量。选用冲淤量时,首先由四种方法的成果综合比较,确定其冲淤性质,然后选用量值比较接近的数值作为冲淤量,当不同方法的结果差别较大时,取其均值作为采用值。

根据 1960~1995 年资料对不同水沙组合情况下下游河道的冲淤情况进行了统计^②,依含沙量的大小,将 36 年 397 场洪水划分为低含沙非漫滩洪水、中等含沙非漫滩洪水、较高含沙量非漫滩洪水、高含沙洪水和一般含沙量漫滩洪水,河道冲淤统计结果如表 1-4 所示,由此得到了不同水沙组合情况下下游河道各个河段的临界冲淤流量如表 1-5 所示。认为总体上讲,高村以上河段的临界冲淤流量随含沙量的增大而增大,高村以下河段的冲

① 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,2001 年,小浪底水库初期调水调沙运用减轻黄河下游河道淤积关键技术研究。

② 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,1999 年,黄河下游冲淤特性研究。

淤临界流量的影响因素较为复杂,除与小浪底含沙量相关外,还与上河段的河道冲淤调整、含沙组成变化等有关。除高含沙洪水外,山东河道的临界冲淤流量在 2 000 ~ 3 000m³/s之间。

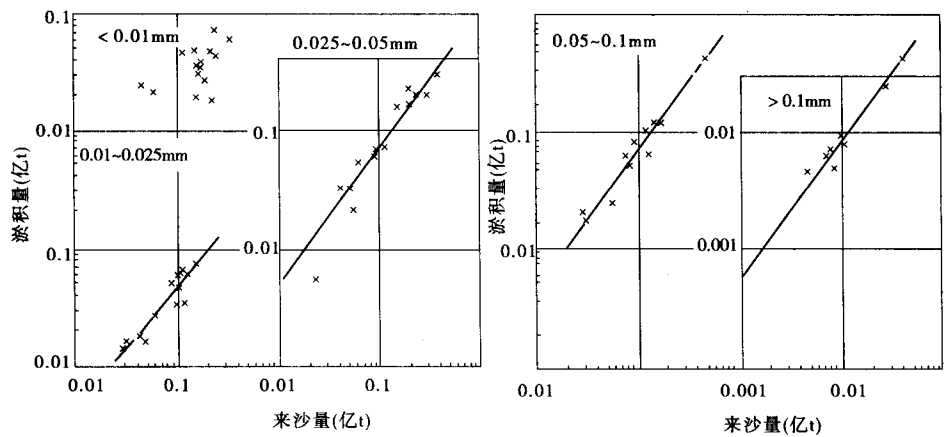


图 1-5 三门峡水库汛初排沙期花园口以上河道淤积量与来沙量的关系

表 1-4 1960~1995 年不同洪水特征及下游各河段的冲淤情况

洪水类型	水量 (亿 m ³)	沙量 (亿 t)	场次 (次)	天数 (d)	各河段冲淤量(亿 t)				
					铁—花*	花—高*	高—艾*	艾—利*	全下游
低含沙非漫滩洪水	2 004.5	21.82	110	937	-11.63	-11.04	-2.42	-1.89	-26.98
中等含沙非漫滩洪水	3 314.2	123.99	190	1 592	+5.05	+2.10	-2.17	-4.86	+0.12
较高含沙量非漫滩洪水	715.9	78.30	51	358	+15.30	+13.66	+0.70	-0.13	+29.53
高含沙洪水	315.6	66.66	20	143	+12.03	+21.90	+2.93	+0.36	+37.22
一般含沙量漫滩洪水	947.4	36.23	26	265	-5.16	-0.14	2.93	-3.87	-6.24
合计	7 297.6	327.00	397	3 295	+15.59	+26.48	+1.98	-10.39	+33.65

注：* 为各河段简称,铁指铁谢;花指花园口;高指高村;艾指艾山;利指利津。下同。

表 1-5 黄河下游各含沙量级洪水各河段的临界冲淤流量

含沙量级(kg/m ³)	0~20	20~30	30~40	40~60	60~80	>80	高含沙
花园口以上	<800	2 300	4 000	4 000	全淤	全淤	全淤
花园口—高村	900	2 000	2 800	3 500	全淤	全淤	全淤
高村—艾山	2 000	2 000	3 000	2 500	2 000	2 500	全淤
艾山—利津	2 300*	2 000*	2 500*	2 000*	2 000*	2 800*	4 000*

注:带*者为艾山站流量,其余为三黑小(三门峡、黑石关、小董)流量。

统计分析认为,①低含沙非漫滩洪水时下游四个河段(铁谢—花园口、花园口—高村、高村—艾山、艾山—利津)全部表现为冲刷,沿程分布为上段河道大、下段河道小。②中等含沙非漫滩洪水时高村以上河段淤积、高村以下河段冲刷。③较高含沙量非漫滩洪水时淤积比较严重,淤积的沿程分布为上段河道大、下段河道小,主要发生在高村以上河道,艾山以下河道微冲。④一般含沙量漫滩洪水时下游主要表现为冲刷,但高村—艾山河段为

淤积。⑤对于分组泥沙而言,四个河段细沙(小于 0.025mm)的排沙比为 101.2%,中沙(0.025~0.05mm)的排沙比为 90.2%,粗沙(大于 0.05mm)的排沙比为 67.0%,认为粗泥沙是下游淤积的主体。

陈孝田等(2000)统计分析了 1950~1997 年洪水资料(如表 1-6 所示),认为:①33 场高含沙洪水的淤积量大于 317 场一般洪水的淤积量,虽然前者的来沙总量远小于后者的来沙总量。②一般洪水对冲淤影响最大的因素是含沙量,高含沙洪水的主要影响因素是来沙量,低含沙洪水的主要影响因素是来水量,其相应关系分别如图 1-6~图 1-8 所示。

表 1-6 黄河下游各河段洪水冲淤量 (单位:亿 t)

洪水分类	时段 (年)	洪水 (场)	铁谢—高村		高村—艾山		艾山—利津		全下游	
			平均	总量	平均	总量	平均	总量	平均	总量
一般洪水	1950~1997	317	+0.181	+57.29	+0.010	+3.12	-0.030	-9.61	+0.160	+50.79
	1986~1997	77	+0.192	+14.80	-0.013	-1.00	+0.021	+1.58	+0.200	+15.38
高含沙洪水	1950~1997	33	+1.968	+64.95	+0.280	+9.24	+0.034	+1.12	+2.282	+75.32
	1986~1997	12	+1.904	+22.85	+0.111	+1.33	+0.075	+0.90	+2.091	+25.09
低含沙洪水	1950~1997	48	+0.271	-13.00	-0.019	-0.89	-0.007	-0.32	-0.297	-14.21
	1986~1997	11	-0.209	-2.30	+0.006	+0.06	+0.026	+0.29	-0.177	-1.95
历次洪水	1950~1997	398	+0.256	+102.09	+0.026	+10.39	-0.023	-9.06	+0.260	+103.41
	1986~1997	100	+0.424	+42.44	+0.017	+1.69	+0.033	+3.30	+0.474	+47.42

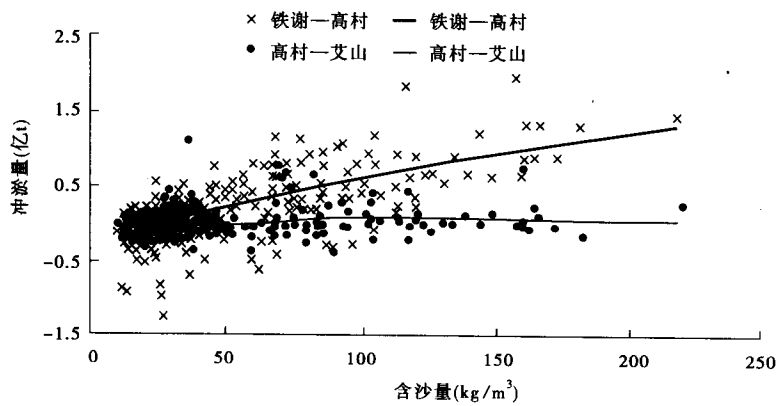


图 1-6 黄河下游一般洪水冲淤量与含沙量的关系

申冠卿等(2000)在分析 1986 年以来黄河下游河道演变时指出,尽管黄河下游河道严重萎缩,但洪水期“主槽冲刷、滩地淤积,涨水冲刷、落水淤积”的演变特性并未发生变化。

对黄河下游冲淤特性的认识为利用小浪底等水库进行水沙调节奠定了基础,2002 年和 2003 年进行的调水调沙试验证明(李国英,2002),利用水库调节水沙搭配,将不协调的水沙搭配调节为协调的水沙搭配关系,是有利于输沙入海、减轻下游河道淤积甚至冲刷下游河道的有效途径之一。

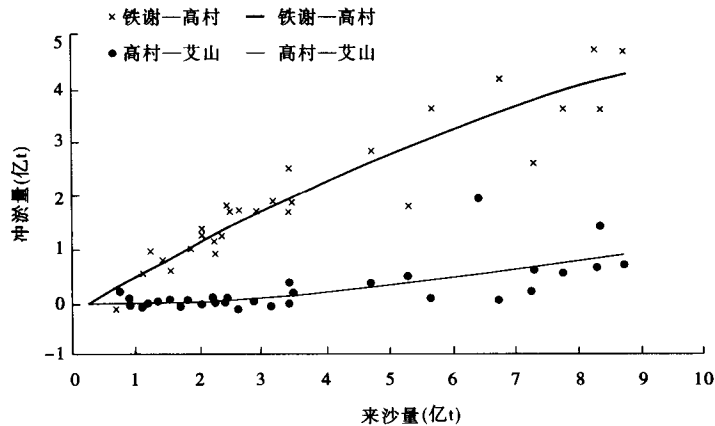


图 1-7 黄河下游高含沙洪水冲淤量与洪水沙量的关系

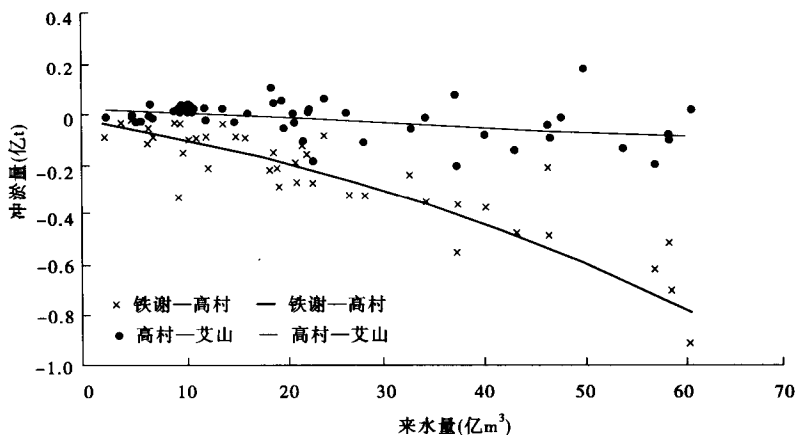


图 1-8 黄河下游低含沙洪水冲淤量与洪水水量的关系

1.3 本书编写的构思与布局

以上综述表明,对于黄河下游冲淤特性的认识实际上是一个由点到面、由简单到复杂、由定性到初步定量的过程。对于全河而言,①黄河下游全沙淤积量与来沙系数 $\bar{S}/Q$ 成某种正比例关系。②低含沙洪水各河段冲刷,上段多冲、下段少冲,且冲刷量与洪水水量有关;高含沙洪水上段多淤、下段少淤,淤积量与洪水沙量有关;一般洪水多为上淤下冲,冲淤量与洪水平均含沙量有关。③各河段冲淤临界流量与来水含沙量可能有某种关系。④对于分组泥沙而言,低含沙洪水时各组泥沙“大水冲刷、小水淤积”,沿程分布为上下段河道冲刷、中段河道淤积;高含沙洪水粗沙多淤、细沙少淤,沿程分布为上段多淤、下段少淤;一般洪水各组泥沙淤积,且淤积部位随流量增加而下移。⑤冲刷主要与水量有关,淤积主要与沙量有关。⑥粗沙是下游河道淤积的主体。

本书的编写主要汇集了作者对黄河中、下游以及黄河的最大一级支流渭河下游的研究成果,试图以输沙以及冲淤阈值为出发点,以渭河下游河道以及黄河下游河道为例,来

讨论黄河洪水输沙、河段排沙比、冲淤阈值等问题。全书共 12 章,内容结构如图 1-9 所示。

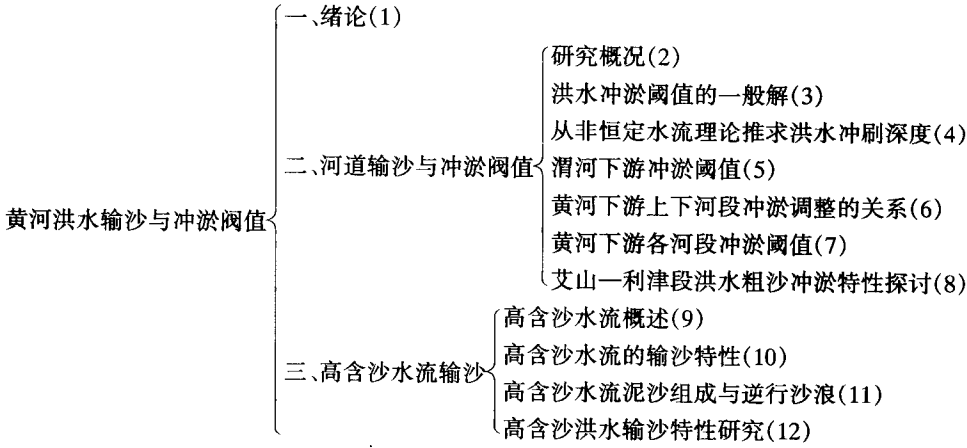


图 1-9 本书内容框图

参 考 文 献

[1] 陈孝田,等.黄河下游不同含沙量洪水对河道冲淤的影响.人民黄河,2000(11)

[2] 李国英.黄河调水调沙.中国水利,2002(11)

[3] 刘继祥.高含沙水流作用下渭河下游的河道冲淤.见:第二届全国泥沙基本理论研究学术讨论会论文集.北京:建材工业出版社,1995

[4] 刘继祥,等.黄河下游河道冲淤特性研究.人民黄河,2000(8)

[5] 钱宁,周文浩.黄河下游河床演变.北京:科学出版社,1964

[6] 钱宁,张仁,周志德.河床演变学.北京:科学出版社,1987

[7] 钱颖颖,等.黄河干流水沙变化与河床演变.北京:中国建材出版社,1993

[8] 申冠卿,等.1986年以来黄河下游水沙变化及河道演变分析.人民黄河,2000(9)

[9] 叶青超.黄河流域环境演变与水沙运行规律研究.济南:山东科学技术出版社,1994

[10] 张仁,等.拦减粗泥沙对黄河河道冲淤变化影响.郑州:黄河水利出版社,1998

[11] 赵文林.黄河泥沙.郑州:黄河水利出版社,1996

[12] 赵业安,周文浩,费祥俊,等.黄河下游河道演变基本规律.郑州:黄河水利出版社,1998

第二章 研究概况

2.1 以往经验关系

尹学良(1978,1995)较早提出了黄河下游“大水冲刷、小水淤积”及冲淤分界流量在 $1800\text{m}^3/\text{s}$ 左右的论断。他在研究黄河口河段以及山东河段的河床演变时发现,断面的冲淤变化有明显的冲淤规律:7月入汛以后,河槽冲刷降低,9、10月份冲至最深;以后回淤一部分,整个汛期有净冲深。11月以后非汛期河床逐渐淤高;凌汛期有些冲刷;过后又继续淤高,直到翌年的6月底,淤积到比前一年同期还高的水平,如图2-1所示。

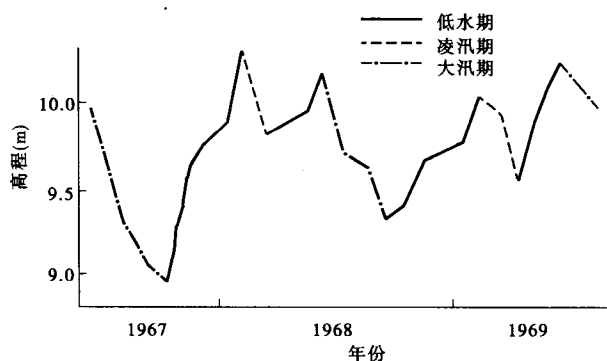


图 2-1 利津站月平均河底高程的变化

显然这种变化与流量大小有关系,随后进一步分析了流量过程与河底平均高程的关系,如图2-2所示。可以看出,不论是汛期还是非汛期,流量较小时河床就淤积抬高;流量较大时河床就冲刷下切。其冲淤临界流量在 $1800\sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 之间。当流量小于临界

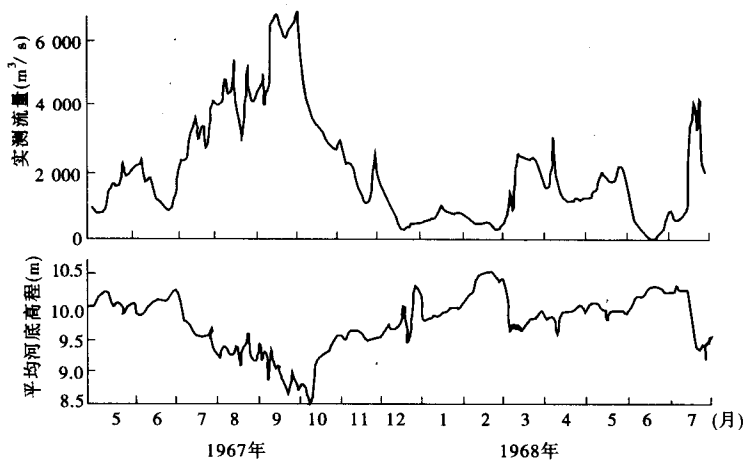


图 2-2 利津站月平均河底高程随流量的变化

流量时河道表现为淤积;当流量大于临界流量时河道表现为冲刷。在以后的研究中,这种观点也被证明大部分是正确的(梁志勇等,1993,1994;齐璞等,1993),这种关系被进一步提炼为如图 2-3 所示的半理论与经验关系。其中半理论关系是由输沙率 Q_s 与流量 Q 关系导出的。即

$$Q_s = K_1 Q^{m_1} \tag{2-1}$$

式中: K_1 为系数; m_1 为指数。

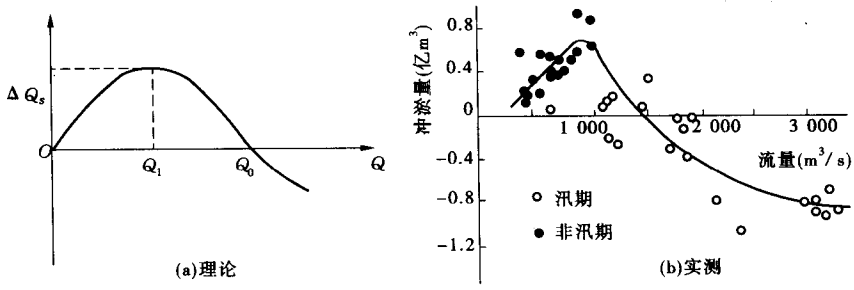


图 2-3 河道冲淤率或冲淤量与流量关系

从图 2-3 可以看出,小于某一流量(约 1 800 m^3/s)后,河道呈现淤积状态;大于该流量后河道呈现冲刷状态。这种关系已经被用于小浪底水库的调度中。例如,小水期间淤积最大的流量在 800~1 200 m^3/s 之间,小浪底水库的运用会限制小水的排泄,这种小水淤积会明显降低。顺便指出,图 2-3(b)是存在一点问题的,严格而言,纵坐标不应当是冲淤量,而应当是冲淤率,因为所统计的汛期、非汛期时间是不一样的。

下游河道的这种冲淤变化特点可以概括为如图 2-4 所示的冲淤概化模式:①河槽大水期冲刷,小水期淤积,冲刷的同时河槽展宽,淤积的同时河槽束窄;②大水期过后,河槽单一,小水期过后,河槽为复式河槽或存在嫩滩,由于主流靠岸,河宽方向的淤积尺度要远大于水深方向的淤积尺度;③汛期的断面形态为大水所塑造,随流量的增加河宽也增加并趋于稳定,其几何形态特征主要与来水量、来沙量大小及其过程等有关,非汛期的断面形态则为小水所控制,其几何形态特征主要与小水期的长短历时等有关。

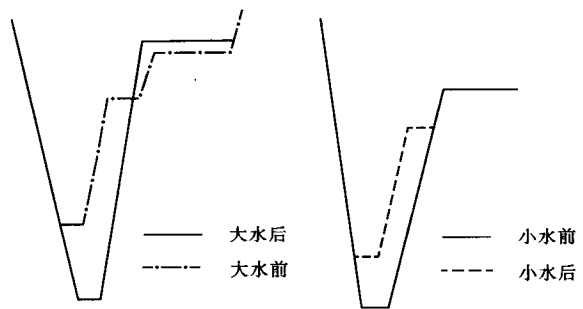


图 2-4 断面冲淤变化模式

对于水沙搭配关系式(2-1)相对稳定的黄河下游艾山以下河段而言,具有明显的“大