

黄河下游

河道排洪能力分析方法 及其工程实践

苏运启 申冠卿 韩巧兰 魏向阳 编著



黄河水利出版社

黄河下游河道排洪能力分析 方法及其工程实践

苏运启 申冠卿 编著
韩巧兰 魏向阳

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书为作者多年来对黄河下游河道排洪能力分析和实践的系统总结,全书分析了黄河下游水沙和排洪能力变化过程,系统研究了河道冲淤、断面调整、滩槽阻力变化等对排洪能力的影响,提出和总结了“水力因子法”、“涨率分析法”、“冲淤改正法”、“实测资料分析法”、“相关分析法”和“数模计算法”等常用的黄河下游河道排洪能力分析计算方法,并探讨了其在工程实践中的应用。

本书可供水利水电工程、交通等专业的技术人员及高等院校相关专业的师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河下游河道排洪能力分析方法及其工程实践/苏运启
等编著. —郑州:黄河水利出版社,2006.12
ISBN 7-80734-170-X

I. 黄… II. 苏… III. 黄河-下游河段-分洪-
能力-研究 IV. ①TV882.1②TV872

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 156901 号

组稿编辑:岳德军 手机:13838122133 E-mail:dejunyue@163.com

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:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:22.5

字数:520 千字

印数:1—1 000

版次:2006 年 12 月第 1 版

印次:2006 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-170-X/TV·490

定价:49.00 元

前 言

黄河是中华民族的母亲河,中国第二大河,全长 5 464km,流域面积 79.5 万 km^2 (含内流区)。黄河流域是中华民族摇篮,经济开发历史悠久,文化源远流长,曾经长期是我国政治、经济和文化的中心,孕育了辉煌灿烂的华夏 5 000 年文明。

黄河是一条举世闻名的多沙河流。黄河流经世界上面积最广、侵蚀强度最大的黄土高原,水土流失面积 45.4 万 km^2 。年侵蚀模数大于 $8\,000\text{t}/\text{km}^2$ 的极强度水蚀面积 8.5 万 km^2 ,占全国同类面积的 64%;年侵蚀模数大于 $15\,000\text{t}/\text{km}^2$ 的剧烈水蚀面积 3.67 万 km^2 ,占全国同类面积的 89%。严重的水土流失,造成黄河中下游高含沙洪水频发。据统计,黄河多年平均天然输沙量 16 亿 t(1919~1960 年干流陕县站实测资料),干支流实测最大含沙量分别达 $941\text{kg}/\text{m}^3$ (1977 年,小浪底站)和 $1\,700\text{kg}/\text{m}^3$ (1958 年,温家川站),为世界河流之最。

黄河下游河道是典型的冲积性河流,由于来水来沙变幅较大,河床边界条件的调整十分剧烈,冲淤变化大,河势摆动频繁,进而引起河道行洪能力的明显改变。特别是 1986 年后,上游大型水库的调节及沿黄大量工农业用水,使下游有效输沙水量减少,河道持续淤积,河槽严重萎缩。其中宽河段主要表现为嫩滩和主槽的大量淤积及主槽宽度的明显缩窄,窄河段主要表现为主槽的淤积抬升。下游平滩流量由 50 年代的 $6\,000\sim 8\,000\text{m}^3/\text{s}$ 降低为 90 年代的 $3\,000\text{m}^3/\text{s}$ 左右,“二级悬河”形势加剧,河道排洪能力显著降低。“96·8”洪水只属中常洪水,在黄河下游却表现为“洪水水位高、演进速度慢、漫滩范围广、洪峰变形异常”等新特点,这充分说明了下游河道的行洪能力发生了重大变化。

河道行洪能力的变化除与河道的冲淤量密切相关以外,还与滩槽淤积部位、河床横断面形态及滩槽不同部位的水动力条件和阻力条件密切相关。本书着眼于河道冲淤变化、断面形态的变化、滩槽不同部位水动力条件及阻力特性的变化对河道排洪能力的影响,并对其进行了较为详细的研究,初步阐明了黄河下游河道前期冲淤特性、河道淤积萎缩条件、主槽冲淤特性及主槽宽度变化特点和滩槽不同部位水动力条件及阻力特性的变化与河道行洪能力变化的关系。在此基础上,提出和总结了“水力因子法”、“涨率分析法”、“冲淤改正法”、“实测资料分析法”、“相关分析法”和“数模计算法”等常用的黄河下游河道排洪能力分析计算方法,并对这些方法的特点、计算步骤、适用条件等作了分析和对比研究。

1997 年以来排洪能力几种分析计算方法在工程实践中得到应用,确定了黄河下游 7 个水文站、25 个水位站的多年设计水位—流量关系,为黄河下游防洪提供了参考。另外,应用于滩区生产堤和植树对防洪影响等项目,指导了生产实践。

全书共分 10 章,其中第一章、第二章由苏运启执笔,第三章由韩巧兰执笔,第四章由苏运启、申冠卿、韩巧兰执笔,第五章、第六章由申冠卿执笔,第七章、第八章由苏运启、韩巧兰执笔,第九章由魏向阳执笔,第十章由申冠卿、魏向阳执笔。

作者在开展研究过程中得到黄河水利委员会翟家瑞副总工程师、黄河水利科学研究

院潘贤娣教授级高级工程师等专家的指导,泥沙所李勇所长、曲少军总工程师在研究过程中给予了大力支持和帮助,并提出了许多新的观点和方法,参与了大量工作;尚红霞、孙赞盈、李小平、赵咸榕、张晓华、张素萍等也参加了研究工作,在此深表谢意。

本书的部分研究成果得到国家自然科学基金委员会、水利部黄河水利委员会黄河联合研究基金项目(项目编号:50239040)的资助,在此表示感谢。

由于作者经验不足,水平所限,书中难免出现疏漏,敬请批评指正,以期在学术上不断进步。

作 者

2005年10月于郑州

目 录

前 言

第一章 黄河下游水沙特点与河道概况	(1)
第一节 1986 年以来黄河下游来水来沙变化特点	(1)
第二节 近年来黄河下游河道冲淤演变.....	(5)
第三节 黄河下游洪水及防洪标准	(12)
第四节 下游河道典型漫滩洪水行洪特点分析	(15)
第二章 黄河下游河道阻力特性变化研究	(30)
第一节 黄河下游行洪断面变化	(30)
第二节 冲积河流阻力组成及研究概况	(49)
第三节 黄河下游水文站断面主槽阻力特性分析	(53)
第四节 滩地糙率综合分析	(78)
第五节 黄河下游河道阻力综合分析及验证	(85)
第三章 清水冲刷期黄河下游排洪能力变化分析	(93)
第一节 三门峡水库拦沙期黄河下游河道冲淤演变	(93)
第二节 小浪底水库运用初期黄河下游河道冲淤变化.....	(122)
第三节 清水冲刷期黄河下游河道排洪能力关键因子变化特点.....	(134)
第四章 黄河下游河道排洪能力计算方法研究	(152)
第一节 河道前期边界条件分析.....	(152)
第二节 排洪能力计算方法.....	(154)
第三节 实例分析.....	(174)
第五章 1997 年黄河下游河道排洪能力分析计算	(176)
第一节 1996 年黄河下游来水来沙概况及河道冲淤分析.....	(176)
第二节 1997 年黄河下游河道排洪能力计算.....	(183)
第三节 主要认识.....	(201)
第六章 1998 年排洪能力分析计算	(203)
第一节 1998 年黄河下游河道排洪能力设计.....	(203)
第二节 下游河道滩槽水力因子变化及对排洪能力的影响.....	(209)
第三节 小浪底水库导流期运用对洪水的调蓄作用.....	(226)
第四节 主要认识.....	(227)
第七章 1999 年排洪能力分析计算	(229)
第一节 1999 年黄河下游河道排洪能力设计.....	(229)
第二节 黄河下游河道边界条件及阻力特性变化对防洪的影响.....	(241)
第三节 主要认识.....	(248)

第八章 2000 年排洪能力分析计算	(251)
第一节 2000 年黄河下游河道排洪能力分析.....	(251)
第二节 利用数学模型推求黄河下游河道冲淤及排洪能力变化.....	(262)
第三节 主要认识.....	(274)
第九章 小浪底水库蓄水运用以来黄河下游排洪能力分析研究	(277)
第一节 2001 年黄河下游河道排洪能力分析.....	(277)
第二节 2001 年黄河下游河道冲淤变化分析.....	(293)
第三节 河道边界条件明显改变对排洪能力影响的初步分析.....	(303)
第四节 主要认识.....	(319)
第十章 黄河下游滩区生产堤及其影响	(322)
第一节 黄河下游滩区生产堤沿革.....	(322)
第二节 生产堤修建对宽河功能的影响.....	(328)
第三节 现状河道边界条件下生产堤对防洪的影响.....	(329)
第四节 滩区安全建设的途径及措施.....	(349)
第五节 主要认识.....	(351)
参考文献	(354)

第一章 黄河下游水沙特点与河道概况

第一节 1986 年以来黄河下游来水来沙变化特点

一、黄河来水来沙的主要特点

(一) 水少沙多

黄河的流域面积仅次于长江而居全国第二位,但由于大部分地区处于半干旱和干旱地带,平均年降水量只有 400mm,黄河中游地区是世界上最大的黄土高原,黄土结构松散,一遇暴雨,特别容易冲蚀流失。据实测资料统计,陕县站(即三门峡站)1919~1985 年多年平均来水量 464 亿 m^3 ,来沙量 15.6 亿 t,平均含沙量 $33.6\text{kg}/\text{m}^3$ 。黄河水量不及长江的 1/20,而沙量却为长江的 3 倍,是世界上泥沙最多、含沙量最高的河流。

(二) 水沙异源

黄河流域自然条件复杂,水沙的地区来源不平衡性非常突出。上游河口镇以上流域面积为 36 万 km^2 ,占全流域面积的 49%,来沙量仅占总沙量的 9%,而水量却占 54% (1919~1985 年实测水沙系列,下同)。中游河口镇至龙门区间流域面积为 13 万 km^2 ,占全流域面积的 17.5%,水量占 13%,但沙量却占 55%,是黄河泥沙的主要来源区;龙门至潼关区间面积为 19 万 km^2 ,来沙量占 34%,来水量占 22%;三门峡以下的伊、洛河和沁河来沙量仅占 2%,来水量约占 11%。从上可见,上游是黄河水量的主要来源区,中游是黄河泥沙的主要来源区。

(三) 时间分布上不均衡

黄河水沙存在着长时段的丰、枯相间的周期性变化,丰、枯水段和丰、枯水年交替出现,其中有 1922~1932 年连续 11 年和 1969~1974 年连续 6 年的枯水段,并出现 1933~1968 年 36 年丰、平、枯交替出现的丰水段。由于存在“水沙异源”的特点,所以来沙多少并不完全与来水丰枯同步,水沙搭配视暴雨降落地区而不同。黄河水沙在年内分配很不均匀,水沙主要集中在汛期,汛期 7~10 月的水量占年水量的 60%左右,沙量的集中程度更甚于水量,汛期沙量占年沙量的 85%以上;在汛期又集中于几场暴雨洪水,如干流三门峡站洪水期最大 5 日沙量占年沙量的 31%,而水量仅占年水量的 4.4%。

二、近期黄河下游来水来沙变化

1986 年以来因龙羊峡、刘家峡水库的调节,沿程工农业用水增加以及降雨等因素的影响,黄河下游来水来沙条件发生了明显的变化,如表 1-1 所示。可以看出,1985 年 11 月~1996 年 10 月,下游年平均水量 298 亿 m^3 ,约为多年均值的 64%;年平均沙量 8.33 亿 t,约为多年均值的 53%;汛期水量 140 亿 m^3 ,仅为多年均值的 50%;汛期沙量 7.83 亿 t,为

多年均值的 58%,表明汛期水量比沙量的减少幅度更大。20 世纪 90 年代以来黄河下游的来水量进一步减少,汛期水量已不足多年均值的一半,汛期来水含沙量由多年平均的 49kg/m³ 增加到 70kg/m³,非汛期水量也仅为多年均值的 76%。

表 1-1 黄河下游控制站来水来沙条件变化统计(三门峡+黑石关+武陟)

项目		1919 年 7 月 ~ 1985 年 6 月	1985 年 11 月 ~ 1996 年 10 月		1991 年 11 月 ~ 1996 年 10 月	
		量	量	占多年(%)	量	占多年(%)
水量 亿(m ³)	全年	464	298	64	278	60
	非汛期	186	158	85	141	76
	汛期	278	140	50	136	49
沙量 (亿 t)	全年	15.6	8.33	53	9.74	62
	非汛期	2.1	0.50	24	0.26	12
	汛期	13.5	7.83	58	9.47	70
含沙量 (kg/m ³)	全年	33.6	28.2	84	35.1	105
	非汛期	11.3	3.1	27	1.8	16
	汛期	48.6	56.0	115	69.5	143

表 1-2 为各年的来水来沙情况,可以看出,自 1986 年以来的 11 年中,黄河下游最大年水量为 400 亿 m³,最小年水量为 221 亿 m³,各年水量均小于多年平均值。来沙量最大为 15.5 亿 t,最大沙量与最小沙量的比值为 5,年沙量大于 10 亿 t 的有 4 年,即 1988 年的 15.5 亿 t、1992 年的 11.1 亿 t、1994 年的 12.3 亿 t 和 1996 年的 11.04 亿 t,其中 1988 年、1992 年和 1994 年黄河下游均出现了高含沙量洪水,花园口站洪峰流量分别为 7 000m³/s、6 260m³/s 和 6 310m³/s,三门峡最大含沙量分别达 395kg/m³、479kg/m³ 和 442kg/m³。可见近年来高含沙量洪水出现的频率较高,大致每 2~4 年便发生一次。

表 1-2 1986 年以来黄河下游控制站来水来沙统计(运用年)

时段 (年-月)	水量(亿 m ³)			汛期占 年(%)	沙量(亿 t)			汛期占 年(%)	花园口最大 洪峰流量 (m ³ /s)
	非汛期	汛期	全年		非汛期	汛期	全年		
1985-11 ~ 1986-10	181	134	315	43	0.4	3.7	4.1	90	4 260
1986-11 ~ 1987-10	133	88	221	40	0.2	2.7	2.9	93	4 800
1987-11 ~ 1988-10	133	213	346	61	0.1	15.4	15.5	100	7 000
1988-11 ~ 1989-10	184	216	400	54	0.5	7.6	8.1	94	6 100
1989-11 ~ 1990-10	227	142	369	39	0.6	6.7	7.3	91	4 440
1990-11 ~ 1991-10	188	61	249	24	2.5	2.4	4.9	49	2 910
1991-11 ~ 1992-10	119	134	253	53	0.5	10.6	11.1	96	6 260
1992-11 ~ 1993-10	168	148	316	47	0.5	5.6	6.1	93	4 360
1993-11 ~ 1994-10	157	140	297	47	0.2	12.1	12.3	99	6 310
1994-11 ~ 1995-10	140	118	258	46	0	8.4	8.4	100	3 810
1995-11 ~ 1996-10	124	141	265	53	0.15	10.89	11.04	98	7 860
平均	158	140	298	47	0.50	7.83	8.33	94	
1919-07 ~ 1985-06 平均值	186	278	464	60	2.1	13.5	15.6	87	

汛期枯水流量历时增长(见表 1-3),多年平均情况下,汛期花园口站日均流量大于

3 000m³/s的历时仅8天,流量小于3 000m³/s的天数长达115天,占汛期总天数的93%,而且小于2 000m³/s的历时就有100天,占汛期总天数的81%,也就是说,下游河道在汛期80%的时间由枯水流量2 000m³/s以下水流通过,而且挟带了汛期近40%的泥沙。1989年水量较大,主要是龙羊峡水库泄水造成的,但流量大于3 000m³/s的历时也只占23%。

表 1-3 1986 ~ 1996 年花园口站汛期各级流量出现天数

年份	流量级(m ³ /s)							
	< 1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	4 000 ~ 5 000	5 000 ~ 6 000	6 000 ~ 7 000	7 000 ~ 8 000
1986	47	56	17	3				
1987	90	27	5	1				
1988	30	39	29	11	6	4	4	
1989	24	46	25	25	1	2		
1990	33	76	11	3				
1991	113	9	1					
1992	49	48	20	5	1			
1993	47	50	23	2	1			
1994	47	55	12	7	2			
1995	58	53	11	1				
1996	51	50	12	4	4	1	0	1
年平均	54	46	15	6	1	0.6	0.3	0.1

从三门峡、黑石关、武陟三站各月来水来沙情况(见表 1-4)看,汛期7~9月份平均月水量约40亿m³,为50年代的53%,减少近一半,而10月份来水量减少更多,仅为50年代的39%。汛期各月沙量占全年沙量的百分数变化较大,主要是7、8月份的沙量所占百分数增加,9、10月份的沙量所占百分数减小,同时,9、10月份的沙量减少较多,9月份来沙约0.9亿t,占年沙量的12%,10月份来沙仅0.26亿t,占年沙量的4%,已接近非汛期各月的来沙量。在天然情况下非汛期来沙量占全年的15%左右,三门峡水库蓄清排浑控制运用以来已基本为清水下泄,下游河道年内出现清浑水交替过程。

随着社会经济的发展,引用黄河水量迅速增加,供需矛盾日益突出,致使黄河下游河道断流现象频繁发生。据实测资料统计(见表 1-5),1972~1991年冻口、利津两站分别有6年和15年发生断流,断流历时一般小于1个月;1992年以来,下游河道连年发生断流,1992~1994年利津站断流历时超过2个月,1995年、1996年利津站断流历时超过4个月,冻口站超过2个月。断流河段最长上延至夹河滩站附近。20世纪90年代以前,断流最早发生在4月份,断流时间主要集中在5~7月;90年代以来,断流最早发生时间提前至2月份,断流的密集月份扩展到3~7月,而且有4年整个6月份处于断流状态。

综上所述,1986年以来进入黄河下游的年水量大量减少,水量年内分配发生变化,汛期水量减得多,只占全年水量的30%~50%,洪峰流量削减,流量过程均匀化;来沙量显著减少,但平枯水年减得多,丰水年减得少,来沙集中在汛期,高含沙量洪水发生的机遇增加,尤其在90年代以来显得更为突出;下游河道年内出现清浑水交替过程,艾山以下河道

成为间歇性河流。河道为适应新的水沙条件不断地进行自动调整。

表 1-4 黄河下游控制站各月水沙量统计

月份	水量(亿 m ³)		沙量(亿 t)		水量占全年(%)		沙量占全年(%)	
	1950 ~ 1960	1986 ~ 1993	1950 ~ 1960	1986 ~ 1993	1950 ~ 1960	1986 ~ 1993	1950 ~ 1960	1986 ~ 1993
11	37.6	18.3	0.605	0.024	8	6	4	0
12	18.9	17.6	0.217	0	4	6	1	0
1	14.5	14.9	0.139	0.007	3	5	1	0
2	16.3	17.2	0.171	0	3	6	1	0
3	23.9	26.3	0.292	0.001	5	9	2	0
4	26.6	26.3	0.353	0.008	6	9	2	0
5	24.8	23.2	0.301	0.015	5	8	2	0
6	26.5	23.6	0.515	0.587	6	8	3	8
7	65.9	33.6	3.738	2.426	14	11	22	32
8	93.5	49.1	6.626	3.273	20	16	39	44
9	68.9	37.9	2.972	0.875	15	12	17	12
10	54.5	21.2	1.123	0.263	12	7	7	4

表 1-5 黄河下游各站历年断流情况统计

年份	断流天数				断流次数 (利津)	断流长度 (km)
	夹河滩	高村	冻口	利津		
1972			6	19	3	310
1974			10	20	2	316
1975			4	13	2	278
1976				8	1	166
1978				5	4	104
1979			5	21	2	278
1980				8	3	104
1981	2	11	16	36	5	662
1982			3	10	1	278
1983				5	1	104
1987				17	2	216
1988				5	2	150
1989				24	3	277
1991				16	2	131
1992			31	83	5	303
1993			1	60	5	278
1994			29	74	4	308
1995	4	8	77	122	3	683
1996		7	71	136	7	579

第二节 近年来黄河下游河道冲淤演变

一、黄河下游河道概况

黄河干流在孟津县白鹤由山区进入平原,经华北平原,于山东垦利县注入渤海,河长 878km。由于进入黄河下游“水少沙多”,使河床每年平均抬高 0.05 ~ 0.1m,现状下游河床已高出两岸地面 3 ~ 5m,最大 10m 以上,并且还在继续淤积。黄河下游河道按其特性可分为四段:白鹤至高村河段,长 299km,河宽水散,冲淤幅度大,主流摆动频繁,为典型的游荡性河段,河槽一般宽 3 ~ 5km,两岸大堤堤距平均 8.4km,最宽 20km;高村至陶城铺河段,长 165km,近 20 年来修建了大量的河道整治工程,主流趋于稳定,河槽宽 0.7 ~ 3.7km,两岸堤距平均 4.5km;陶城铺至垦利宁海河段,长 322km,现状为受到工程控制弯曲性河段,河槽宽 0.4 ~ 1.5km,两岸堤距平均为 2.2km;宁海以下为河口段,长 92km,随着黄河入海口的淤积、延伸、摆动,流路相应改道变迁,现行入海流路是 1976 年人工改道清水沟流路,1996 年汛前又在清 8 断面以上 950m 处进行了人工出汙,出汙后入海流路缩短了 16km。

二、1950 ~ 1985 年下游河道的冲淤变化

下游河道的冲淤变化主要取决于来水来沙条件。根据黄河下游 1950 年以来的来水来沙特点和三门峡水库的运用情况,分时段对其冲淤特点进行分析。

(一)天然情况下河道的冲淤情况

1950 ~ 1960 年为三门峡水库修建前的天然情况,年均来水量 480 亿 m^3 ,来沙量 17.95 亿 t,平均含沙量 $37.4\text{kg}/\text{m}^3$,为丰水多沙系列(见表 1-6),期间大洪水发生次数多,花园口站洪峰流量超过 $10\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的大漫滩洪水有 6 次。下游河道平均每年淤积泥沙 3.61 亿 t,占来沙量的 20%,其中汛期淤积量占年淤积量的 80%,淤积主要分布在孙口以上河段,占全下游淤积量的 81%,而艾山以下河段淤积较小,如表 1-7 所示。该时期全下游滩地淤积量占全断面淤积量的 77%,主槽只占 23%,艾山以下河段主槽基本不淤。同流量 ($3\,000\text{m}^3/\text{s}$,下同)水位沿程普遍升高,孙口以上年均升高 0.12m,艾山以下升高 0.06 ~ 0.02m(见表 1-8)。

表 1-6

黄河下游控制站各时段年平均水沙量统计

时段 (年-月)	水量 (亿 m^3)	沙量 (亿 t)	含沙量 (kg/m^3)	花园口最大流量 (m^3/s)
1950-07 ~ 1960-06	480	17.95	37.4	22 300
1960-11 ~ 1964-10	573	6.03	10.5	9 430
1964-11 ~ 1973-10	426	16.3	38.3	8 480
1973-11 ~ 1980-10	395	12.4	31.3	10 800
1980-11 ~ 1985-10	482	9.7	20.1	15 300
1985-11 ~ 1995-10	301	8.06	26.8	7 000

表 1-7

黄河下游各时段平均冲淤量纵横向分配

(单位:亿 t)

时段 (年-月)	项目	河 段							
		铁谢— 花园口	花园口— 夹河滩	夹河滩— 高村	高村— 孙口	孙口— 艾山	艾山— 冻口	冻口— 利津	铁谢— 利津
1950-07 ~ 1960-06	主槽	0.32	0.16	0.14	0.15	0.04	0.01	0	0.82
	滩地	0.30	0.41	0.66	0.78	0.20	0.19	0.25	2.79
	全断面	0.62	0.57	0.80	0.93	0.24	0.20	0.25	3.61
1960-10 ~ 1964-10	主槽	-1.90	-1.47	-0.84	-1.03	-0.22	-0.19	-0.13	-5.78
1964-10 ~ 1973-10	主槽	0.47	0.74	0.51	0.35	0.23	0.22	0.42	2.94
	滩地	0.48	0.34	0.43	0.09	0.07	0.01	0.03	1.45
	全断面	0.95	1.08	0.94	0.44	0.30	0.23	0.45	4.39
1973-10 ~ 1980-10	主槽	-0.18	0.01	0.03	0.10	0.03	0.03	0	0.02
	滩地	-0.04	0.33	0.50	0.49	0.16	0.13	0.30	1.79
	全断面	-0.22	0.34	0.53	0.59	-0.07	0.16	0.30	1.81
1980-10 ~ 1985-10	主槽	-0.30	-0.35	-0.29	-0.13	-0.01	-0.07	-0.12	-1.26
	滩地	-0.06	-0.10	-0.09	0.52	0.07	-0.04	-0.00	0.29
	全断面	-0.36	-0.45	-0.38	0.39	0.06	-0.11	-0.12	-0.97
1985-10 ~ 1995-10	主槽	0.23	0.58	0.23	0.18	0.14	0.20	0.24	1.80
	滩地	0.13	0.11	0.07	0	0	0	0	0.31
	全断面	0.36	0.69	0.30	0.18	0.14	0.20	0.24	2.11

注:1960年7~10月下游河道淤积量1.53亿t。

(二)三门峡水库蓄水拦沙运用期下游河道的冲刷情况

三门峡水库拦沙期(1960年9月~1964年10月)下泄清水,下游河道发生冲刷,共冲刷泥沙23.1亿t,冲刷主要集中在高村以上河段,占下游冲刷总量的73%。各河段单位长度的冲刷量自上而下沿程递减,同流量水位的下降幅度由上段的0.7m多沿程衰减至0.05m左右,利津站还有抬高(见表1-8)。

(三)三门峡水库滞洪排沙运用期下游河道的淤积情况

1964年11月~1973年10月三门峡水库滞洪排沙运用,这期间曾先后两次对水库进行改建,1966年以后增建的泄流设施陆续投入运用。由于水库泄流规模小,遇较大洪水,水库就发生自然的滞洪滞沙,小水期大量冲刷排沙,把进库时“大水带大沙,小水带小沙”的天然水沙关系调节为“大水带小沙,小水带大沙”的水沙关系,下游河道由冲刷变为淤积,横向淤积部位与建库前有很大的不同,泥沙大量淤积在主槽内,滩地淤积较少,河道变得宽浅,河势趋于散乱。据统计,这一时期下游河道共淤积泥沙39.5亿t,平均每年淤积4.39亿t,大于建库前1950年7月~1960年6月的年平均淤积量,滩地淤积量占全断面淤积量的33%,纵向淤积分布发生变化,铁谢至高村河段与艾山至利津河段两头淤积比重较20世纪50年代增加,中间段高村至艾山淤积所占的比重减小。由于主槽的严重淤积,使下游河道的排洪能力迅速下降,沿程同流量水位除铁谢上升较小外,其他各站年均上升

0.2~0.3m,大于建库以前的上升速度。

表 1-8

黄河下游各时段同流量水位年均升降值

站名	流量 3 000m ³ /s 水位年均升降(-)值(m)					
	1950 ~ 1960 年	1960 ~ 1964 年	1964 ~ 1973 年	1973 ~ 1980 年	1981 ~ 1985 年	1986 ~ 1994 年
铁谢		- 0.70	0.07			
裴峪		- 0.54	0.17	- 0.05		
官庄峪		- 0.52	0.22	- 0.02	- 0.09	
花园口	0.12	- 0.33	0.21	- 0.02	- 0.11	0.11
夹河滩	0.14	- 0.33	0.22	0.02	- 0.14	0.13
石头庄		- 0.36	0.23	0.04	- 0.10	
高村	0.12	- 0.33	0.26	0.06	- 0.07	0.13
刘庄	0.11	- 0.33	0.26			
苏酒庄		- 0.34	0.24	0.10		0.13
邢庙		- 0.45	0.33	0.09	- 0.08	
杨集		- 0.46	0.25	0.05	- 0.10	0.12
孙口	0.22	- 0.39	0.21	0.05	- 0.06	0.14
南桥		- 0.16	0.25	0.05	- 0.05	0.11
艾山	0.056	- 0.19	0.25	0.04	- 0.06	0.14
官庄		- 0.11	0.26	0.07	- 0.09	(0.16)
北店子	0.035	- 0.28	0.32	0.09	- 0.13	0.13
涑口	0.026	- 0.17	0.29	0.05	- 0.09	0.15
刘家园		- 0.043	0.24	0	- 0.02	0.14
张肖堂	0.022	- 0.055	0.22	0.05	- 0.14	0.15
道旭	0.023	- 0.075	0.22	0.03	- 0.14	0.18
麻湾		- 0.10	0.24	0.02	- 0.16	0.14
利津	0.02	0.002	0.18	0.02	- 0.14	0.18

注:括号内数字为 1986 ~ 1992 年数据。

(四)三门峡水库“蓄清排浑”控制运用期下游河道的冲淤情况

1973 年 11 月以来三门峡水库实行“蓄清排浑”控制运用。按照黄河下游的来水来沙特点,1973 年 11 月 ~ 1985 年 10 月下游河道的冲淤演变可分为两个子时段进行分析。

1973 年 11 月 ~ 1980 年 10 月。该时段黄河下游年平均来水量 395 亿 m³,为多年均值的 85%,来沙量 12.4 亿 t,为多年均值的 80%,年平均含沙量 31.3kg/m³,其中经历了 1975 年及 1976 年相对的丰水年和 1977 年的枯水丰沙年。下游河道年内冲淤过程发生变化,非汛期由建库前的淤积转为冲刷,年均冲刷 1 亿 t 左右,由于非汛期流量小,艾山以下河道仍为淤积;汛期河道冲淤随来水来沙条件而变,但全年仍为淤积,年均淤积 1.8 亿 t。花园口以上河段发生冲刷,以下沿程淤积,淤积集中在夹河滩至孙口河段,占全下游淤积量的 62%。花园口以上主槽发生冲刷,其余沿程均微淤;滩地除花园口以上有所坍塌外,沿程均为淤积。同流量水位花园口以上略有下降,其余均上升,花园口至涑口年均上升 0.02 ~ 0.1m,涑口以下年均上升 0.05 ~ 0.02m。

1980年11月~1985年10月。该时段下游年均来水量482亿 m^3 ,来沙量9.7亿t,年均含沙量仅20.1 kg/m^3 ,除1982年花园口站出现了洪峰流量为15300 m^3/s 的大洪水外,1981年、1982年、1983年均发生流量大于8000 m^3/s 的洪峰,而且洪量较大,含沙量偏低,中水流量(3000~5000 m^3/s)的历时年均40天,水、沙量均占汛期的44%左右。由于来水丰、来沙少,下游河道连续五年发生冲刷,累积冲刷泥沙4.85亿t,汛期、非汛期均发生了冲刷。非汛期年均水量为180亿 m^3 ,年均冲刷1亿t左右,冲刷大都只发生至高村,高村至艾山河段或冲或淤,艾山以下河道淤积1.17亿t,年均淤积0.23亿t;汛期沿程主槽均发生冲刷,特别是艾山至利津河段也发生了冲刷,年均冲刷0.46亿t。就全断面而言,沿程冲淤分布呈现出两头冲、中间淤的局面(见表1-7)。高村以上及艾山以下均为冲刷,分别占全下游冲刷量的123%和24%,而高村至艾山河段却产生了淤积;滩地的变化则不同,除高村至艾山河段淤积外,其他河段均发生冲刷,冲刷的形式主要表现为塌滩。同流量水位夹河滩以上年均下降0.1~0.14m,夹河滩至泇口年均下降0.05~0.1m,泇口以下年均下降0.14m左右。

三、1986年以来下游河道冲淤演变分析

(一)下游河道冲淤变化特点

1. 年均淤积量小,但年际间的变化较大

1985年11月~1995年10月黄河下游年平均来水量301亿 m^3 ,为多年均值的65%,来沙量8.1亿t,为多年均值的52%,年平均含沙量27 kg/m^3 ,下游河道总淤积量21亿t,年均淤积量2.11亿t,为20世纪50年代下游河道年均淤积量的58%,但年际间的变幅很大,淤积量较大的年份如1988年、1992年及1994年分别淤积5亿t、5.8亿t和4亿t,三年的淤积量占总淤积量的68%。由于大多数年份来水量小,枯水流量历时长,排沙能力小,即使来沙量较少,淤积比(淤积量/来沙量)仍很大,如1986年来沙量为4亿t,淤积比为38%,1987年来沙量2.9亿t,淤积比达42%。因此,尽管来沙量减少,但随着来水量的减少,河道仍发生严重的淤积。

2. 主槽淤积严重,横向分布不均衡

由于该时期枯水流量历时长,汛期年均80%的时间流量在2000 m^3/s 以下,而且前期河床是在1981~1985年丰水少沙系列下塑造成的大河槽,因此主槽淤积严重。表1-9为滩槽淤积分布,可以看出,主槽年均淤积量1.8亿t,占全断面的85%,高村以上主槽淤积占全断面的77%,高村以下河段基本均淤在主槽内,20世纪50年代下游河道总淤积量为本系列的1.7倍,但主槽淤积量仅占全断面淤积量的23%,不及本系列主槽淤积量的一半。艾山至利津河段主槽年均淤积0.44亿t,占全下游淤积量的20%左右,而50年代该河段基本为冲淤平衡河段,可见变化很大。该河段具有“大水冲,小水淤”的基本特性,由于枯水流量历时长,淤积加重是必然的。下游各站同流量水位变化如表1-10所示。花园口以上年均上升0.12m左右,花园口至高村0.14m,高村至艾山0.15m,艾山至利津0.15m。

(二)高含沙量洪水出现几率增多

1986年以来,黄河下游虽出现连续的枯水少沙系列,但高含沙洪水却频繁发生。1988年、1992年和1994年三年均发生了高含沙量洪水,花园口站洪峰流量分别为7000 m^3/s 、

表 1-9

黄河下游不同时段平均冲淤量分配比较

(单位:亿 t)

时段 (年-月)	项目	河 段							
		铁谢— 花园口	花园口— 夹河滩	夹河滩— 高村	高村— 孙口	孙口— 艾山	艾山— 冻口	冻口— 利津	铁谢— 利津
1950-07 ~ 1960-06	主槽	0.31	0.16	0.14	0.15	0.04	0.01	0	0.82
	滩地	0.31	0.41	0.66	0.78	0.20	0.19	0.25	2.79
	全断面	0.62	0.57	0.80	0.93	0.24	0.20	0.25	3.61
	主槽占全 断面(%)	50	28	18	16	17	5	0	23
1985-10 ~ 1995-10	主槽	0.23	0.58	0.23	0.18	0.14	0.20	0.24	1.80
	滩地	0.13	0.11	0.07	0	0	0	0	0.31
	全断面	0.36	0.69	0.30	0.18	0.14	0.20	0.24	2.11
	主槽占全 断面(%)	64	84	77	100	100	100	100	85

表 1-10

黄河下游 3 000m³/s 流量水位变化

(单位:m)

项目	时间	花园口	夹河滩	高村	孙口	艾山	冻口	利津
水位	1985 年汛期	92.45	75.55	61.85	47.00	39.80	29.25	12.50
	1996 年 8 月	93.75	77.25	63.25	48.60	41.45	30.95	14.19
水位差	1985 ~ 1996 年	1.30	1.70	1.40	1.60	1.65	1.70	1.69
年均变化	1985 ~ 1996 年	0.12	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15	0.15

6 260m³/s 和 6 310m³/s,三门峡站最大含沙量分别达 344kg/m³、479kg/m³ 和 442kg/m³,洪峰流量虽然不大,但含沙量都较高,其中 1992 年发生的高含沙量洪水,含沙量大于 300 kg/m³持续的时间长达 67h,为近年来黄河下游洪水中高含沙量持续时间最长的。以往的研究认为,高含沙量洪水主要来自粗泥沙来源区,泥沙较粗,洪峰流量一般不太大,而含沙量很高;河床变形迅速,淤积量大,淤积距离较短,一般在高村以上;在一定水流条件下,河床淤积,使断面形态窄深,水位陡涨猛落,水位—流量关系较一般水流陡,如前期河槽淤积严重,则往往出现高水位;同时使洪峰变形,这些特点对下游防洪构成严重的威胁。1988 年、1992 年和 1994 年三次高含沙量洪水的冲淤演变特点如下:

(1)淤积严重,如 1992 年淤积 3.58 亿 t,占全年的 62%。

(2)洪水水位涨率偏高,若前期河槽淤积严重,则往往出现高水位。1992 年 8 月铁谢至夹河滩的最高洪水位与 1973 年 8 月及 1977 年 7、8 月两月的高含沙量洪水位相比较,花园口至赵口河段以 1992 年 8 月的洪水位最高,花园口站达 94.33m。1994 年 8 月的高含沙洪水,花园口站最高洪水位达 94.14m。分析历次高含沙量洪水的水位—流量关系,其水位涨率均较大。

(3)洪水演进速度较慢,经常出现下站较上站洪峰流量大的现象。如 1992 年 8 月花园口站洪峰流量为小浪底站洪峰流量的 1.34 倍,1973 年和 1977 年高含沙洪水,花园口站的洪峰流量分别为小浪底站的 1.27 倍和 1.07 倍,说明具有一定的规律性。同时,洪水演

进速度较一般洪水慢。

(4)易出现水位陡涨猛落,1992年8月洪水在56h内同流量水位下降1.5m。

(5)嫩滩的淤积,使断面形态变得窄深,输沙能力加大。

(三)河道断面形态调整

随着来水来沙条件的改变,河道冲淤在不断变化,断面形态也发生相应的调整。1981~1985年为丰水年,流量较大,水沙条件有利,下游河道普遍发生冲刷,断面形态比1981年前趋于窄深。1986年以来出现的连续枯水系列,特别是频繁发生的高含沙洪水,如1988年、1992年及1994年,引起断面形态急剧变化,各河段断面形态调整的特点分述如下。

游荡性河段断面冲淤调整以嫩滩淤积为主,一般嫩滩淤高2m左右,深泓点高程变化不太大,河宽大幅度缩小,最小处只有600m左右。嫩滩淤积淤出一个新的滩唇,河槽萎缩。图1-1为游荡性河段典型断面的变化。

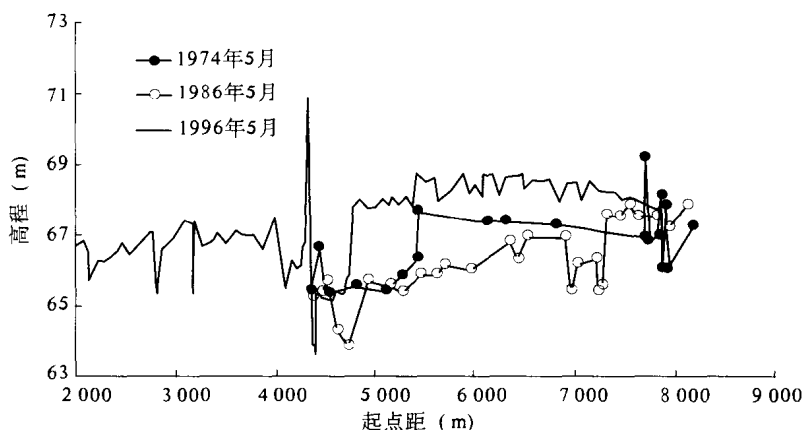


图 1-1 马寨断面形态变化

过渡性河段的断面形态调整主要是在深槽淤积的同时以贴边淤积为主,平滩水位下河宽变化并不太大,但过水面积大大减少,有的可减少一半左右。见图1-2。

艾山以下弯曲性河段,深槽淤积严重,河底平均高程抬升2m左右,同时发生贴边淤积,使过水断面缩小。

综上所述,1986年以来下游河道的断面均处于严重的萎缩状态,过水面积大幅度减小,平均河底高程抬升,河宽缩窄,变成枯水小槽。

(四)河势变化特点

近些年来,黄河下游来水枯,来沙少,中小流量历时长,河槽淤积严重,河势相应发生了变化,归纳起来有以下几点:

(1)游荡性河段主流摆动幅度有所减小,但局部河段摆幅仍很大。高村以上河段主流线摆幅总体上比1975~1985年缩小,但仍有30%左右的断面主流摆幅较大,如黑石断面为4850m,韦城断面为5000m。

(2)过渡性河段部分河湾在向不利方向发展,如彭楼至郭集河段、杨集至伟庄河段河