

机械疏浚专业委员会第十四次疏浚与 吹填技术经验交流论文选编

机械疏浚专业委员会编

黄河水利出版社

前 言

中国水利学会、中国水力发电工程学会机械疏浚专业委员会和水利部信息研究所水利水电机械疏浚信息网经与黄委会三门峡库区水文水资源局研究商定,在 2000 年 9 月 20~23 日在三门峡市组织召开机械疏浚专业委员会第十四次疏浚与吹填技术经验交流会。

自会议发出征文通知后,各成员单位和挖泥船设计、建造、科研以及疏浚单位的专家、学者和工程技术人员积极为会议写稿,把多年积累的试验研究成果和实践经验撰写成论文和技术经验总结参加会议交流,到 8 月底止,会务组收到寄来的稿件共 70 多篇。

为了各地疏浚同行及时了解本次会议交流的内容,学习和借鉴这些宝贵的经验,本着“百家争鸣、各抒己见”的精神,审选后现在把这些文章汇编成集,供大家参考。

本集分列为六个栏目:

- 一、黄河潼关河段射流清淤技术与应用(11 篇)
- 二、黄河下游挖河(主槽)固堤试验与实践(11 篇)
- 三、组合泥浆泵在黄河下游的应用(3 篇)
- 四、机械疏浚施工研究与应用(18 篇)
- 五、挖泥机具(船)维修、技术革新、改造与新船型开发(26 篇)
- 六、综合论述(3 篇)

在汇编过程中,原则上尊重作者原稿,个别处有些改动。由于编印时间仓促,有差错之处敬请读者批评并予指正。

编 者

2000 年 9 月 8 日

EA 673/.2

目 录

黄河潼关河段射流清淤技术与应用

1999 年黄河潼关河段清淤效果分析	高德松	鲁孝轩	兰现卿(1)
潼关清淤河段地形测量及水文泥沙测验	肖俊法	鲁孝轩	段新奇(18)
潼关高程演变的基本情况	杨含侠	高德松	兰现卿(22)
三门峡水库不同运用条件下的冲淤分布特点及 对潼关河床冲淤的影响	孙绵惠	肖俊法	鲁孝轩(26)
黄河潼关河段清淤概况	曹俊峰	高德松	段新奇(32)
影响潼关河床冲淤的成因分析	李连祥	鲁孝轩	孙绵惠(37)
1996~1998 年黄河潼关河段清淤及 洪水冲刷效果分析	王 敏	鲁孝轩	孙绵惠(45)
三门峡库区河势变化对潼关河床冲淤的影响	孙绵惠	李连祥	付卫山(53)
射流清淤室内试验	张隆荣	李文学	姜乃迁
黄河潼关河段射流清淤方案研究	张翠萍	姜乃迁	李文学
2000 年潼关高程变化情况及成因分析	孙绵惠	罗昌忠	马新明(71)

黄河下游挖河(主槽)固堤试验与实践

坚持实事求是原则积极稳妥地进行黄河下游河道疏浚	孟宪全(79)
80m ³ /h 挖泥船主河槽疏浚试验施工方案及 运行效果探讨	马荣曾 裴景志 魏丙臣(82)
河南黄河放淤固堤与挖河疏浚工程	吕锐捷 张俊峰(90)
河南王庵—古城黄河河段挖河固堤工程	吕锐捷 吕文堂(98)
山东黄河挖河固堤设备的探讨	李洪书 梅玉泉 韩 东(102)
挖河疏浚 减淤固堤 造就黄河相对地下河	赵世来 薛儒生 王金亭(106)
黄河口挖河疏浚道路风沙污染分析	程义吉(111)
浅论山东黄河挖河疏浚设计特点	王德波 王德才 韩名乾 徐 磊(116)
从黄河下游窄河段挖河固堤启动工程的研究成果 看今后的挖河固堤工作	薛儒生 谢 军 赵世来 李建志(120)
浅谈黄河放淤固堤工程的淤背区管理	李建志 薛儒生(124)
黄河下游挖河固堤实践	李洪书 解新勇 韩 东(127)

组合泥浆泵在黄河下游的应用

组合泵运行工况浅析	靳学东 夏洪建 李中山(131)
-----------------	------------------

黄河下游山东河段组合泥浆泵挖河实践·····	戴明谦 孟祥文 王宗文 李宝山(137)
4PNL-250、6PNL-265 型小泥浆泵性能比较分析 ·····	胡相杰 孟昭领 袁清海(144)

机械疏浚施工研究与应用

三峡工程临时船闸引航道两年清淤施工实践·····	吴锡荣(147)
引黄济青工程清淤方式的研究与运用·····	杨廷章 王钧乔(153)
荆江大堤吹填固基的技术效应·····	周培鑫(158)
浅谈 1m ³ 全液压抓斗式挖泥船的施工方法 ·····	张双金 王常金(166)
跨河地下光缆区域疏浚施工初探·····	梁羽飞(168)
九江济益公堤加固吹填设计与施工·····	常汉军 徐敬新 倪锦初(171)
挖泥船吹填施工浅析·····	宋自义 张普生 张修志(176)
加强设备管理 提高经济效益·····	宋自义 张普生(179)
温孟滩移民安置区低滩泵淤工程的施工与管理·····	袁清海 胡相杰(182)
沉沙条渠清淤措施及其评估·····	杨红梅(186)
挖泥船的维护和管理·····	杨小泉(190)
试析两种不同排泥管径在汉南东荆河大堤抢险吹填工程中的运用·····	周庆安(194)
吹填沙的液化评估·····	何开胜(198)
孟加拉国迈格拉哈特电厂吹填工程监测系统 设计和监控分析·····	何开胜 张瑞凯 陈道春 张广旗(204)
浅析海狸 1600 型挖泥船生产效率 ·····	周 翔(211)
挖泥船短排距施工措施分析·····	张志学(218)
珠江莲沙容水道炸礁工程施工监理的实践与体会·····	黄 敏(223)
疏浚作业仿真训练系统的数学模型·····	张 翔(227)

挖泥机具(船)维修、技术革新与新船型开发

W1001 索铲改造加长臂设计 ·····	孙支龙(232)
GPS 在疏浚工程中的应用 ·····	张留柱 熊 歆(238)
SPH 抗磨蚀材料在山东黄河吹填固堤 施工中的应用·····	裴明胜 李长海 董永全 薛儒生(241)
绞吸式挖泥船泥泵部件损耗原因分析及修补技术探讨·····	周志辉(244)
海狸 4601 船体分解修理 ·····	袁森林 郭振刚 隋守信(252)
挖泥船舱底泥水沉积原因分析及排除措施·····	蔡 勇(256)
分体式新型挖泥船浮筒的结构型式及应用·····	张德旺 常桂莲(258)
PLC 在电液绞吸式挖泥船上的设计应用 ·····	杨 峰(260)
射流式高效(吸沙)挖泥船的特点及性能·····	金文林(263)
吉林长春市南湖清淤工程与设备·····	张玉玺 刘 俊(266)
MWM 柴油机在三门峡库区清淤射流船上的应用 ——兼谈黄河浅水域柴油机的冷却问题 ·····	郭宗博 韩运兴(268)

进口挖泥船配件管理浅析·····	赵 宏(270)
关于挖泥船泥泵使用中的几个问题·····	王奇雄(275)
浅析斗轮挖泥装置的技术性能和特点·····	王传发(280)
绞吸式挖泥船辅助船舶设备的选型研究·····	徐 明(282)
JX480 型绞吸式挖泥船改造·····	陈祥云(287)
350m ³ /h(整体)绞吸式挖泥船技术性能特点及总体介绍·····	屠继明(291)
M450 绞吸式挖泥船的技术特点·····	吴师东(295)
M450 绞吸式挖泥船绞刀设计分析·····	丁星水(298)
M450 绞吸式挖泥船船体及舾装设计·····	黄有琴(303)
改性尼龙 MC 在挖泥船上的应用·····	丁星水(307)
PSS300-30 型吸泥船泥浆泵喷射复合抽真空系统在 山东黄河吹填固堤施工中的应用·····	董永全 裴明胜 曹洪海 李长海(309)
出口缅甸的 300m ³ 多功能耙吸挖泥船的研制·····	邵善庆 程 峰(312)
1 500m ³ 耙吸挖泥船的功能及技术形态·····	沈志平(316)
500m ³ 耙吸挖泥船航浚 14 号的设计特点·····	徐明琪(320)
新型射流式挖泥船及其设计理论·····	陆宏圻 陆东宏(325)

综合论述

长江三峡水电站机械清漂研究方案简介·····	张天存(331)
海河口射水型拖具的研究·····	徐和龙(335)
国外水库深水清淤技术与设备·····	刘 俊(339)

黄河潼关河段射流清淤技术与应用

1999 年黄河潼关河段清淤效果分析

高德松 鲁孝轩 兰现卿

(黄委会三门峡库区水文水资源局)

潼关高程(反映潼关河段冲淤的特征指标,用潼关(六)断面 $1\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的水位表示。下同)问题,是黄河下游治理与开发中的难点和热点,历来受到广泛关注。近十几年来,由于来水来沙条件不利,潼关高程快速上升,并居高不下,给渭河下游和黄河小北干流防洪带来严重影响。为解决这一重要而又敏感的问题,黄委会从 1996 年起,每年汛期都在潼关河段安排旨在控制潼关高程的清淤试验,采用射流冲沙,以冲为主,冲扰结合的方法清淤,在疏浚浅滩、封堵串沟、理顺河势、集中水流、调整局部比降、增大水流挟沙能力方面取得了明显效果,为洪水期潼关河床的冲刷创造了条件。

一、1999 年潼关清淤实施概况

(一)施工组织

1999 年潼关清淤,按基本建设项目进行管理。三门峡水利枢纽管理局作为项目业主;黄河工程咨询监理有限责任公司三门峡分公司和黄河水利科学研究院分公司作为监理单位,联合承担外业施工的监理工作;三门峡江河工程科技咨询服务中心作为施工单位,承担清淤外业施工和外业资料观测工作;黄河水利科学研究院和三门峡库区水文水资源局作为设计单位,联合承担了《1999 年黄河潼关河段清淤实施方案》的编制工作。

施工单位,根据多年的清淤组织经验结合新的管理体制,成立了潼关清淤项目部,具体负责外业施工和资料观测。按工作性质,清淤项目部下设办公室、技术室、疏导组、测量组等专业部门,建立了较完备的施工组织管理体系。

为搞好清淤施工,施工单位投入各类技术人员和技术工人 70 余人。根据设备情况,在搞好清淤作业的同时,又组织了多次各类技术培训,邀请相关设备厂家的技术人员进行针对性的指导,提高了职工技术水平。所有这些,为搞好 1999 年度清淤奠定了良好的组织基础和技术基础。

(二)清淤设备

清淤的主要设备为 4 艘新造的射流船和 1 艘扰流船。射流 0 号船,是 1998 年三门峡库区水文水资源局自行设计建造的第一艘专业射流船;射流 1 号船、2 号船、3 号船是根据以前的清淤经验和射流 0 号船的建造经验,由国内知名船舶设计单位设计,三门峡库区水

文水资源局组织建造的。这 4 艘射流船均配备了充足的动力,能适应较复杂的水流条件,有良好的机动性、较强的清淤作业能力和较高的清淤效率,解决了以往射流船功率小、机动性差、清淤能力低等主要问题。扰流船由三门峡水文水资源局的水文测船改造而成,自 1996 年以来,一直使用。各船的基本情况,见表 1。射流船均是第一次投入清淤施工,在施工初期,由于设备尚处在磨合期,使用中需要经常进行调整,影响了正常施工。随着对设备进行不断调整和完善,清淤施工逐步正常,清淤作业时间和出勤率持续提高。

表 1 清淤船基本情况统计

船 名		射流 0 号	射流 1 号	射流 2 号	射流 3 号	扰流船
主 尺 度	总长(m)	24.8	27.1	35.0	39.9	18.0
	总宽(m)	6.0	5.0	6.8	6.4	3.8
	型长(m)	23.6	24.0	29.8	28.5	
	型宽(m)	5.0	4.8	6.6	6.2	
	型深(m)	1.3	1.2	1.47	1.4	
	吃水(m)	0.70	0.62	0.60	0.62	0.60
装 机 功 率	总 功 率(kW)	350	670	846	850	230
	主机功率(kW)	220	397	372	372	
	副机功率(kW)	20	24	24	24	
	泵机功率(kW)	110	249	450	450	
射 流 系 统	水泵型号	1002J-I-A42	14LQSH-13	14/12G-G	350NH-73	扰 流 船 配 有 1 × 1.8m 的 滚 动 式 扰 具 一 套
	水泵流量(m ³ /h)	245	1 200	2 100	2 200	
	水泵扬程(m)	67	44	34	40	
	射流操纵方式	人力手动	集中操纵	集中操纵	集中操纵	
	水枪布置形式	船首	船首、船底	船首、尾	船首、尾两侧	
	冲沙方式	人工调整	自动跟踪	自动跟踪	自动跟踪	
	水枪个数(支)	14	艏 12、底 11	30	30	
	管嘴直径(mm)	16	艏 35、底 20	35	35	
	出口流速(m/s)	33.5	23.6	21.9	19.6	
	最大作业宽(m)	5.0	4.5	6.0	10.0	

(三)清淤河段

合理选择清淤河段,是充分发挥清淤设备作用、取得良好清淤成效的关键之一。根据对大量资料的分析,黄淤 41~37 断面,水流散乱,河道宽浅,比降较上下段偏小(一般小于 2.0×10^{-4}),对洪水冲刷十分不利。特别是黄淤 39~37 断面,常有浅滩,主流摆动频繁,泥沙易淤难冲,是影响潼关高程升降的关键河段。因此,1996~1998 年均在该段进行清淤。经过几年的清淤疏浚,该段河道有了明显变化,河势基本归顺,水流相对集中。但是,该段河道由于易变的特性和水沙条件不利,仍是影响潼关高程的关键河段。《1999 年黄

河潼关河段清淤实施方案》明确要求,清淤河段为黄淤 41~37 断面,具体作业河段,根据河道情况现场选定。

清淤开始时,河道正处在强烈冲刷后的回淤期,黄淤 39~38 断面间已有浅滩发育。为阻止回淤发展,控制潼关高程上升,按照《1999 年黄河潼关河段清淤实施方案》的要求,选择黄淤 39~37+3 断面作为清淤作业河段。根据以往的清淤经验,自下而上疏浚,是保证下段流路畅通,阻止淤积上延的有效办法。因此,不同时期的作业河段都是按照这一思路和原则进行上下调整。各时期作业河段,见表 2。

表 2 1999 年清淤作业河段统计

作业时段(月·日)	作业河段	重点作业部位	流量(m ³ /s)	含沙量(kg/m ³)
7.29~8.15	37+6~39	37+6~38	290~1 430	12.0~24.4
8.16~8.26	37+4~38	37+6~38	640~1 230	9.56~20.0
8.27~9.12	37+3~39	37+3~37+6	380~835	8.22~15.5
9.13~9.29	37+3~39	37+7~38	920~1 240	6.45~25.3

(四)清淤的基本原则和基本方法

射流清淤是一种诱导性疏浚。其基本思路是选择对河道冲淤起关键作用的河段,采用射流方法冲击河床上的淤积物,使之起动、扬动、悬浮,借助自然水流将冲起的泥沙带出预定区域,并由此引导水流冲刷,达到清淤目的。因此,清淤成效一方面取决于清淤设备能冲起多少泥沙,另一方面还取决于自然水流能带走多少泥沙。

按照诱导疏浚的思路,主要通过对局部河段的清淤疏浚,使河道畅顺,水流集中,河道行洪输沙条件得到改善,从而达到增加水流冲刷,减少河道淤积的目的。1996 年和 1997 年在清淤初期,清淤河段河道宽浅,水流散乱。当时提出的清淤基本原则是:“因势利导、疏通流路、理顺河势、集中水流、调整局部比降,从而达到改善河床条件,提高水流输沙能力,促进洪水冲刷,降低潼关高程”。这一原则的核心是改善河道条件、提高水流输沙能力。经过近几年清淤,虽然该段河道条件有所改善,水流相对集中,河道比较畅顺,但改善河道条件、提高水流输沙能力,仍是指导清淤的基本原则。

1999 年由于各艘船均有较好的机动性,都可以单独作业,因此,作业方法与以往略有不同,采取各船在规定河段独立作业,通过改变作业航速调整 1 次冲起泥沙的数量,使冲起的泥沙更容易输送。

在具体作业时,采取顺流顺冲和逆流顺冲的作业方法。为便于船舶的控制,两种作业方法通过船体逆流的前进与后退,实现作业状态的转换。这种作业方法,不仅避免了船体顺流行进时船速不易控制,容易有撞滩搁浅的危险,而且减少了船体调头时间和水枪转动的次数,从而提高了工作效率。

(五)作业时间及工作量

1999 年清淤外业施工开始较晚。4 艘射流船 7 月 27 日到达施工现场,经过 2 天调整,7 月 29 日开始正式清淤作业。根据业主安排,扰流船 8 月 24 日进入施工现场,投入清淤作业。按照业主确定的工期计划和工作台班,9 月 30 日外业施工结束,外业作业时

间约 2 个月。各作业船累计作业台班 371 个。其中,射流船共完成 317 个,扰流船完成 54 个,超额完成台班 25 个。各船工作时间和完成台班数,见表 3。

表 3 清淤船作业台班统计

船名	射流 0 号	射流 1 号	射流 2 号	射流 3 号	扰流船
作业时段(月·日)	7.29~9.30	7.29~9.30	7.29~9.30	7.29~9.30	8.24~9.30
累计完成班台(个)	75	81	80	81	54

(六)观测资料情况

1999 年清淤观测资料,是按照《1999 年黄河潼关河段清淤实施方案》的要求进行的。为搞好清淤观测,投入了较多的观测设备,主要有 220kW 水文测船 1 艘、33kW 测船 3 艘,测速仪、取沙仪和普通测量设备多台;配备了较强的技术力量,测量人员近 20 人。观测项目包括水位、流速、含沙量、流量等,观测范围为黄淤 41~36 断面。各项观测内容及成果,见表 4。

表 4 清淤资料观测成果统计

观测项目	施测日期 (月·日)	施测范围 (黄淤断面)	测次	说 明
控制测量	7.24~29	37~40	1	控制桩点的校测
水下地形	7.30~9.29	36~42	5	包括断面测量
河势测量	7.31~9.17	37~41	4	包括局部河势测量
水位观测	8.1~9.30	37~40	5 个断面	37,37+5,37+8,39+4,潼关 (七)不包括委托观测水位
流量、输沙量对比	8.1~9.30	37+3~38+4	20	上、下断面比测
悬沙取样	8.5~9.24	37+3~38+4	859	包括输沙率、单沙取样个数
床沙取样	7.31~9.29	36~42	60	包括断面、输沙率床沙个数
颗分	8.5~9.24	36~42	232	送样作颗分的悬、床沙样
垂线含沙量对比	8.23~9.23	37+4~38+4	43	船前、船后
冲刷效果	7.27~9.30	37+7~38	2	作业冲刷效果试验
冲刷效率	7.27~9.30	37+7~38	6	指冲刷历时过程试验

二、水沙条件与河床条件

(一)水沙条件

1. 水量与沙量

1999 年黄河属枯水枯沙年。潼关站 1~10 月水量 192 亿 m^3 ,较常年偏枯 36%;沙量 5.41 亿 t,较常年偏枯 44%。

7~10 月潼关站水量 95.2 亿 m^3 ,较常年偏枯 47%;沙量 4.09 亿 t,较常年偏枯 50%

以上,是三门峡建库以来水沙量最枯的年份之一。汛期水沙量主要集中在7月份,该月水量为32.4亿 m^3 ,约占汛期水量的30%;沙量3.27亿t,约占汛期沙量的80%。8~10月份,水量仅62.8亿 m^3 ,较多年平均偏枯50%以上;沙量0.82亿t,较多年平均偏枯70%以上。8月份沙量为0.27亿t,较多年平均偏枯92%,是历年最小的。9月、10月份沙量分别较多年平均偏枯83%和60%。

汛期水量主要来自黄河,龙门站7~10月份水量为77.7亿 m^3 ,约占同期潼关来水量的82%;汛期来沙量黄河龙门站7~10月为1.67亿t,约占潼关沙量的41%。渭河华县站为2.1亿t,约占潼关沙量的51%。其他支流来水来沙都较少,所占比例很小。汛期各月水沙量,见表5。

表5 汛期各月水沙量统计

月份(月)		7	8	9	10	7~10
水量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	龙门	21.2	21.2	21.2	14.1	77.7
	华县	13.5	1.69	2.38	5.78	23.4
	河津	0.18	0.19	0.23	0.27	0.87
	潼关	32.4	21.2	21.3	20.3	95.2
沙量 ($\times 10^8 \text{t}$)	龙门	1.09	0.24	0.26	0.08	1.67
	华县	1.97	0.02	0.04	0.07	2.10
	河津	0	0	0	0	0
	潼关	3.27	0.27	0.27	0.28	4.09

2. 洪水

1999年汛期,虽然洪水次数少,洪峰流量小,洪水历时短,但洪水含沙量较高。潼关站洪峰流量大于2000 m^3/s 的洪水只在7月份出现2次,最大洪峰流量为2950 m^3/s ,最大含沙量为442 kg/m^3 。这种情况在历史上是罕见的。

汛期第一次洪水发生在7月12~18日,由黄河、北洛河、渭河小流量高含沙洪水组成。7月13日龙门站洪峰流量1370 m^3/s ,最大含沙量340 kg/m^3 ;7月14日,北洛河湫头站洪峰流量1820 m^3/s ,最大含沙量626 kg/m^3 ;7月15日,渭河华县站洪峰流量1360 m^3/s ,最大含沙量636 kg/m^3 。以上洪水汇合后,形成潼关站7月16日洪峰流量2200 m^3/s ,最大含沙量442 kg/m^3 的小洪水。近几年潼关附近河道条件有所改善,黄河与渭河的交汇位置下移,交汇角减小,这种河势有利于渭河洪水畅泄和对潼关河床的冲刷。在本次洪水过程中,渭河高含沙量洪水汇入后,在潼关以下河段造成了强烈冲刷,使河槽缩窄。洪水过后,潼关高程下降1.01m。

汛期第二次洪水发生在7月19~30日,由黄河和渭河来水组成,并以黄河来水为主。龙门站洪峰流量2610 m^3/s ,最大含沙量165 kg/m^3 ,渭河华县站洪峰流量1350 m^3/s ,最大含沙量397 kg/m^3 。黄河和渭河洪水汇合后,形成潼关站本年度最大洪水,洪峰流量2950 m^3/s ,最大含沙量239 m^3/s 。本次洪水使潼关以下河段迅速回淤,河槽展宽。

以上2次洪水历时19天,总洪量25.6亿 m^3 ,占汛期水量的27%;总沙量3.13亿t,

占汛期沙量 76%。

8~10 月虽有 4 次洪水过程,但洪水历时短,洪量小,洪峰流量最大仅 $1\,610\text{m}^3/\text{s}$,最大含沙量 $65\text{kg}/\text{m}^3$,对河道冲淤变化影响不大。汛期各次洪水情况,见表 6。

表 6 1999 年汛期各次洪水特征值统计

序号	站名	时段 (月·日)	水量 ($\times 10^8\text{m}^3$)	沙量 ($\times 10^8\text{t}$)	最大流量 (m^3/s)	含沙量(kg/m^3)		水库运用水位(m)	
						平均	最大	平均	最高
1	龙门	7.11~7.17	3.32	0.454	1 370	137	340	304.67	306.35
	华县	7.12~7.18	3.90	0.816	1 360	207	636		
	潼关	7.12~7.18	7.26	1.41	2 220	194	442		
	三门峡	7.13~7.19	7.67	1.92	2 890	250	770		
2	龙门	7.19~7.30	14.8	0.591	2 610	40	165	300.44	305.60
	华县	7.19~7.30	5.46	1.08	1 350	198	397		
	潼关	7.19~7.30	18.3	1.72	2 950	94	239		
	三门峡	7.20~7.31	16.8	2.13	3 000	131	292		
3	龙门	8.19~8.19	3.237	0.035 5	1 900	11.3	20.2	303.12	303.85
	华县	8.18~8.20	0.069 7	0	29.2	0	0		
	潼关	8.18~8.20	2.868	0.034 0	1 610	11.7	14.1		
	三门峡	8.19~8.21	2.766	0.029 9	2 340	17.1	17.9		
4	龙门	9.18~9.26	9.177	0.171 2	1 740	16.7	71.3	305.00	305.50
	华县	9.19~9.27	0.942 6	0.010 4	170	10.4	30.1		
	潼关	9.19~9.27	8.225	0.096 1	1 310	13.0	18.6		
	三门峡	9.20~9.28	8.329	0.082	1 940	0.075 0	15.6		
5	龙门	10.1~10.8	3.762	0.025 2	921	6.86	9.99	309.21	312.91
	华县	10.2~10.9	3.142	0.067 5	1 160	17.9	45.4		
	潼关	10.2~10.9	7.011	0.156 9	1 500	20.3	47.2		
	三门峡	10.3~10.10	5.121	0.044 9	1 640	16.2	8.77		
6	龙门	10.24~10.30	4.152	0.026 3	962	5.52	10.1	316.30	318.07
	华县	10.25~10.30	0.521 6	0.001 3	115	2.32	5.4		
	潼关	10.25~10.31	5.729	0.054 6	1 190	10.3	13.0		
	三门峡	10.25~10.31	5.350	0	1 580	0	0		

(二)河道条件

1. 三门峡水库运用概况

1999 年非汛期,三门峡水库最高蓄水位 320.78m,是控制运用以来最低的一年。库水位经常在 315~320m 之间变动,回水末端在埧埧以下。

汛期水库的运用方式,仍然是根据来水来沙和库区冲淤变化情况,适时调度,合理排沙。7~9 月份,平水期控制 305m 水位发电,洪水期降低水位排沙。按照黄河防总安排,三门峡水库要为小浪底水库预储水量,10 月 4 日开始蓄水,10 月 24 日库水位最高升到

318.22m,蓄水 5 亿 m^3 。随后,加大泄量向小浪底供水。

汛期进库水量 95.2 亿 m^3 ,进库沙量 4.09 亿 t,出库水量 87.0 亿 m^3 ,出库沙量 4.69 亿 t,水库冲刷 0.60 亿 t。

2. 清淤前河道冲淤变化

根据库区淤积测量资料统计,1998 年 11 月 18 日~1999 年 5 月 25 日,潼关至三门峡段共淤积泥沙 1.68 亿 m^3 ,比一般年份多淤 0.3~0.5 亿 m^3 ,是三门峡建库以来同期淤积较多的年份之一。非汛期水库运用水位较低,淤积部位靠下,淤积重心在大禹渡至北村之间,三角洲顶点在黄淤 22 断面附近。黄淤 31~22 断面淤积 0.992 亿 m^3 ,占全库段淤积量的 60%,黄淤 22~12 断面淤积 0.291 亿 m^3 ,约占全库段淤积量的 17%,黄淤 36~21 断面淤积 0.308 亿 m^3 ,约占全库段淤积量的 18%。以上三段,约占全段淤积量的 95%。淤积分布,见图 1。

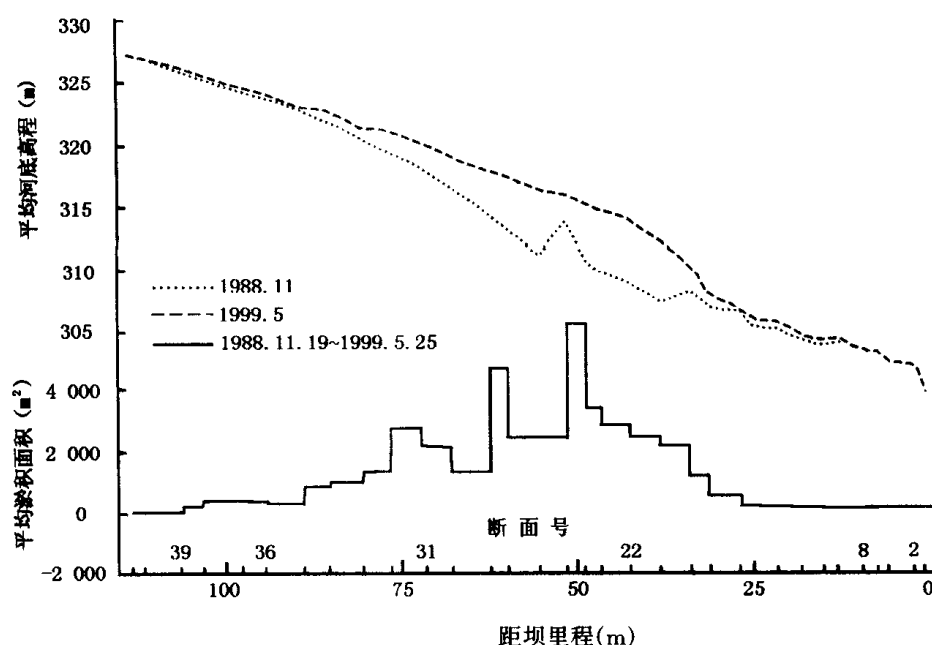


图1 1998.11.18~1999.5.25 淤积分布

3. 清淤前河道状况

根据 5 月份勘查,潼关到鸡子岭河段有浅滩发育,其中潼关铁路桥到公路桥之间浅滩较多,在黄淤 37+4~37 断面之间也有成片心滩。

6 月份上游来水较少,河道冲淤变化不大。7 月中旬黄河、渭河、北洛河相继出现洪水,在洪水到达潼关后,先使潼关河段淤积,主流摆动。从套绘的潼关测流断面(图 2)可以看出,7 月 8 日,潼关断面水流集中在右岸深槽;进入中旬后,河槽淤积萎缩,又从左岸冲刷出新的河槽,主流摆动 600 余米;7 月 13 日左右两股河槽又全部淤塞,河床坦化难以分清滩槽,心滩亦普遍淤积升高。渭河 7 月 15 日高含沙洪水汇入后,潼关河段发生了强烈冲刷,在河道偏右部位冲出新河槽。7 月 16 日 5 时到 17 日 19 时,328m 高程以下冲刷面积达 350m^2 ,河宽由 829m 束窄到 320m,河床平均高程由 327.5m 降到 324.3m,降低 3.2m。经过洪水回落淤积,7 月 17 日潼关高程由峰前的 328.46m 降至 327.45m,下降

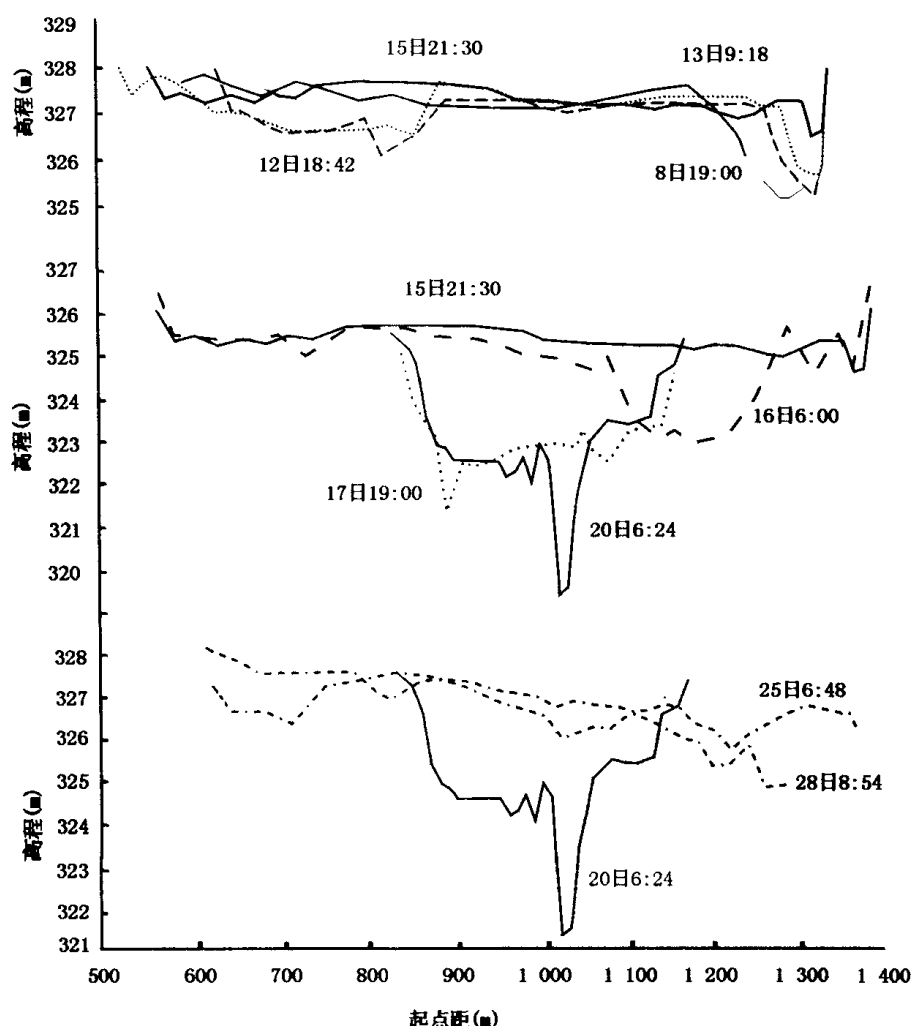


图2 1999年7月潼关(七)站断面套绘

1.01m。由于洪水流量小,冲刷强度沿程减弱,圪圪断面同期 $1\,000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的水位仅下降 0.70m。潼关段比降由峰前的 1.9‰ 减小到 1.6‰ 。

7月下旬洪水到来时,潼关河段再次发生主流摆动,上次洪水塑造的窄深河槽位于断面中部,之后,河槽逐渐淤积展宽,并向右移动。洪水过后,潼关段出现沿程淤积,淤积强度沿程减小。8月2日潼关高程又升高到 328.22m,比洪水前升高 0.77m,圪圪断面同期 $1\,000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的水位升高 0.13m。潼关段比降恢复到接近 2.0‰ 。

4. 清淤前河势状况

根据多次河势勘查,黄淤 41~37 断面经过近几年清淤,总体上河势比较规顺,但在不同流量和来水条件下,局部仍有变化。5月份,黄淤 41~40 断面之间水流居中靠右,在公路桥以下,水流沿七里村工程而下,到工程尾部向左岸挑出,然后水流居中而下,直达鸡子岭工程中部(37+5 断面上下),再沿工程而下,到 37 断面后挑向对岸。7月中旬洪水冲刷后,全段水流居中,工程大部分脱流,只有鸡子岭工程尾部(约 37+3 断面以下)着流。7月下旬洪水淤积后,河势又大体上恢复到 5 月份的河势。清淤开始时,黄淤 38~39 断面

之间已有心滩发育,河槽展宽向两边发展,但总体河势基本畅顺。

三、清淤效果分析

(一)射流作业效果分析

1. 射流能力分析

从表 1 知,射流 0 号船水枪口径 16mm,出口流速 33.5m/s,射流 1~3 号船水枪口径均为 35mm,出口流速分别为 23.6m/s、21.9m/s 和 19.6m/s。按照射流理论,淹没射流穿过水层后射流束中点流速与水枪出口流速有如下关系:

$$\frac{U_m}{U_0} = 12.8R_0/X \quad (1)$$

式中: U_m 为射流束中心的流速; U_0 为水枪出口流速; R_0 为水枪出口半径; X 为距射流极点的距离,近似于射流极点到水枪出口的距离。

按照式(1)计算的各船射流穿过不同水深后的流速,如表 7。从计算结果看,射流 1 号船射流穿透水层能力最强,射流 2 号船、射流 3 号船次之,射流 0 号船因水枪口径小,穿透水层的能力最弱。

表 7 穿透不同水深的射流速度

穿透水深(m)		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
射 流 速 度 (m/s)	0 号船	6.86	3.43	2.29	1.72	1.37	1.14	0.98	0.86
	1 号船	10.6	5.29	3.52	2.64	2.11	1.76	1.51	1.32
	2 号船	9.81	4.91	3.27	2.45	1.96	1.64	1.40	1.23
	3 号船	8.78	4.39	2.93	2.20	1.76	1.46	1.25	1.10

为检验各船的实际射流能力,分别进行了定船冲坑试验,试验结果列于表 8。从试验结果看,射流 1 号船处最大冲深可达 3.9m,射流 2 号船处最大冲深 3.5m,射流 3 号船处最大冲深 3.0m,射流 0 号船处最大冲深 2.0m。这一结果与表 7 计算的结果一致。

从表 7、表 8 的结果可知,水枪口径大,射流速度快,射流的冲沙能力就强。实质上,射流量越大,冲沙量越大,射流能力就越强。对于整船来说,冲沙水泵流量的大小,反映冲沙作业能力的大小。由表 1 可知,射流 2 号船、3 号船冲沙泵流量最大。因此,射流作业能力最大,射流 1 号船次之,射流 0 号船最小。

2. 射流作业的清淤效果

为探索射流作业的直接清淤作用,在清淤期间进行了模拟作业试验。选择 100m 长的顺直河段,按正常要求逆流进行作业。为了便于观测射流冲沙前后的水深变化,采用较低的航速作业,同时观测射流冲刷前后的沿程水深变化情况,二者差值基本上反映了射流作业时的冲刷深度。该项试验仅在射流 2 号船、射流 3 号船上进行。试验结果,如表 9。

从试验结果看,冲刷后的水深变幅较大,而冲刷前的水深变化较小,这主要是试验时船速难以匀速前进,对各处的冲刷时间不同造成的。因此,试验结果比较真实地反映了射流作业的冲刷情况。

表 8

射流冲坑试验成果

冲刷深度, m

冲刷历时(s)	船号及射流速度			
	0 号, 33.5m/s	1 号, 23.6m/s	2 号, 21.9m/s	3 号, 19.6m/s
10	1.0	1.0	1.0	1.1
20	1.1	1.3	1.3	1.5
30	1.4	1.5	1.7	2.0
40	1.5	1.9	1.9	2.2
60	1.6	2.8	2.3	2.4
80	1.8	3.0	2.5	2.5
100	1.9	3.0	2.7	2.5
120	2.0	3.1	2.9	2.6
150	2.0	3.2	3.0	2.7
180	2.0	3.4	3.1	2.9
240	2.0	3.9	3.5	3.0
300	2.0	3.9	3.5	3.0
极限冲深(m)	2.0	3.9	3.5	3.0

表 9

模拟作业试验情况统计

试验船		射流 2 号船	射流 3 号船
沿程水深(m)	冲刷前	0.9~1.40	0.75~1.05
	冲刷后	1.05~1.70	0.95~1.30
	最大冲深	0.45	0.45
	最小冲深	0.10	0.05
	平均冲深	0.24	0.20
作业段长(m)		100	100
沿程测点数(个)		23	42
射流角度(°)		90	65
平均航速(m/h)		462	262

试验结果表明,经过射流作业,河床被冲刷,河床高程下降,相当于在河床上冲出了一个“深槽”,直接降低了河床高程。对于全断面来说,虽然 1 次射流作业的范围很小,对河床的影响也很有限,但当射流作业持续进行时,就可在河床上冲刷出一个深槽,由此还将引发河床的冲淤调整。当这种作业在特定淤积区进行时,就达到了预期的清淤效果。

按照表 9 的结果和射流宽度、射流作业长度、射流时间,计算出射流 2 号船、3 号船每小时平均可冲沙 460m^3 。据此,按照总作业时间可推算出射流 2 号船、3 号船总清淤量可

达 40 余万 m^3 。虽然这一数值不能作为定量依据,但它充分说明射流作业可以直接起动大量的泥沙,从一个侧面反映了射流作业的清淤效果。

为探索射流作业起动泥沙的输移情况。在清淤过程中观测了射流作业河段上、下游断面的含沙量和流量。观测断面根据河道情况临时设置,上下断面间距一般为 300~500m。观测按积点法输沙率分别在上下断面进行,共进行 20 次。上断面水流含沙量为 $10\sim 20\text{ kg/m}^3$,除个别测次外,下断面平均含沙量比上断面增大 $2\sim 3\text{ kg/m}^3$ 。

为了分析清淤对泥沙组成的影响,对上下断面泥沙分别进行了颗分。从颗分资料对比看,下断面的泥沙颗粒明显比上断面粗,见图3所示。尽管受各种条件限制,观测资料有一定误差,还难以定量分析,但它从一个方面定性反映了清淤的效果。

(二)清淤河段比降增大

1999 年清淤开始时,潼关至圪圪河段正处在回淤过程中,潼关到黄淤 37 断面的比降不足 1.84‰ 。经过 2 个月的清淤,该段比降增大到 $(2.0\sim 2.05)\text{‰}$,增大 10% 左右。

从比降变化过程看,以作业河段中部的 37+8~37+5 断面为界,上下段比降变化有明显差异。潼关(六)到 37+8 断面的比降由清淤开始时的 1.93‰ 逐渐增大,8 月下旬达

到约 2.0‰ ,并基本保持在 2.0‰ 附近变化。到 9 月底清淤结束时,增大到 2.11‰ 。潼关(六)到 37+5 断面的比降变化与潼关(六)到 37+8 断面趋势相同。而 37+8~36 断面的比降虽也在 2.0‰ 上下变动,但变化幅度明显较大,并有一定的周期性。37+5~36 断面的比降与此类似。这一现象表明,随着清淤的进行,清淤河段发生冲刷,相应上段比降逐步增大,而下段比降随清淤河段的调整而不断调整。下段比降变化既受清淤河段冲刷下降影响,也受冲刷沙量在下段淤积河床升高的影响,因此,比降变化幅度较大。这一现象反映了清淤对比降的调整过程。比降变化,如图 4 所示。

从图 5 点绘的流量 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的水面线可以看出,在 37+5~37+8 河段附近,8 月 2 日的水面线与清淤后的水面线有明显差异。从清淤刚开始时的水面线看,37 断面以上比降一致,而经过清淤后到 8 月 17 日,37+5~37+8 断面水面线已显著降低,39+4~37+8 断面比降增大,而 37+8~37 断面的比降减小。表明经过清淤,作业河段同流量水位降低,为后期河床调整打下了基础。

(三)清淤河段冲刷,过洪能力提高

1. 清淤河段冲刷

7 月 29 日清淤开始时,正值 7 月份第 2 次洪水的落水过程,潼关—圪圪河段正处在落水的淤积过程中。8、9 月份潼关基本上没有来洪水,仅在 8 月 18 日和 9 月 23 日分别

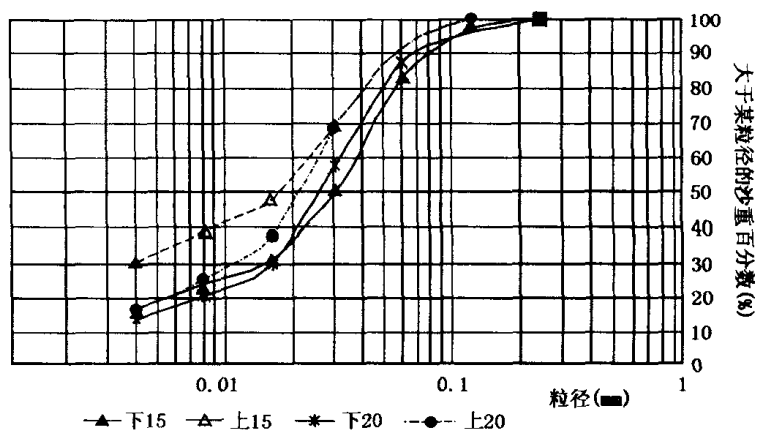


图 3 上下断面颗粒级配曲线

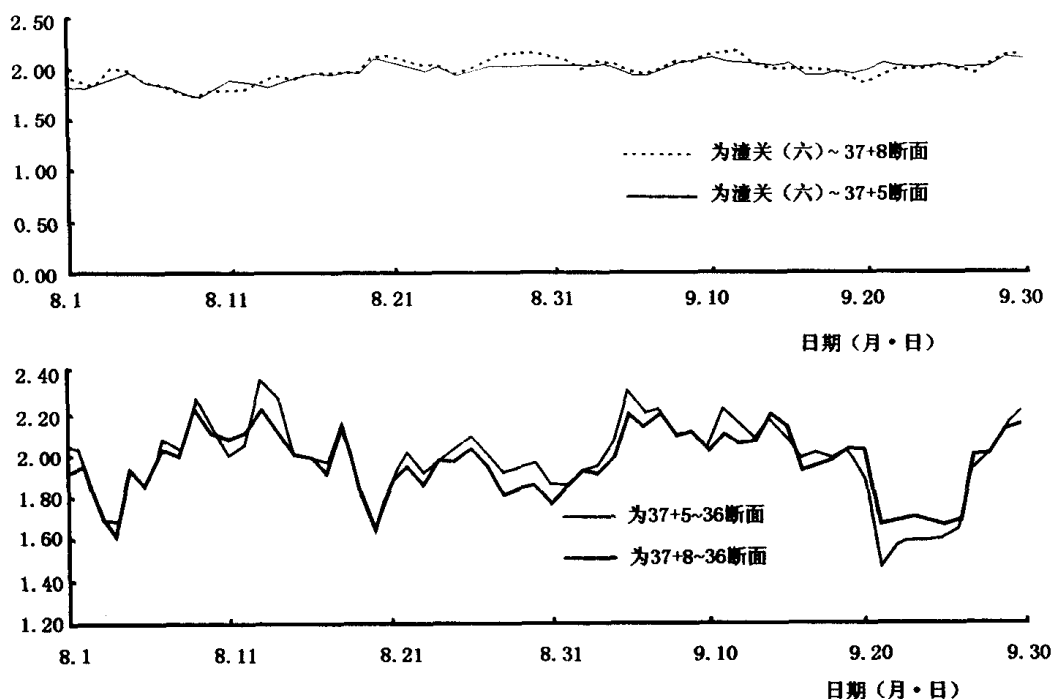


图4 清淤期间比降变化过程线

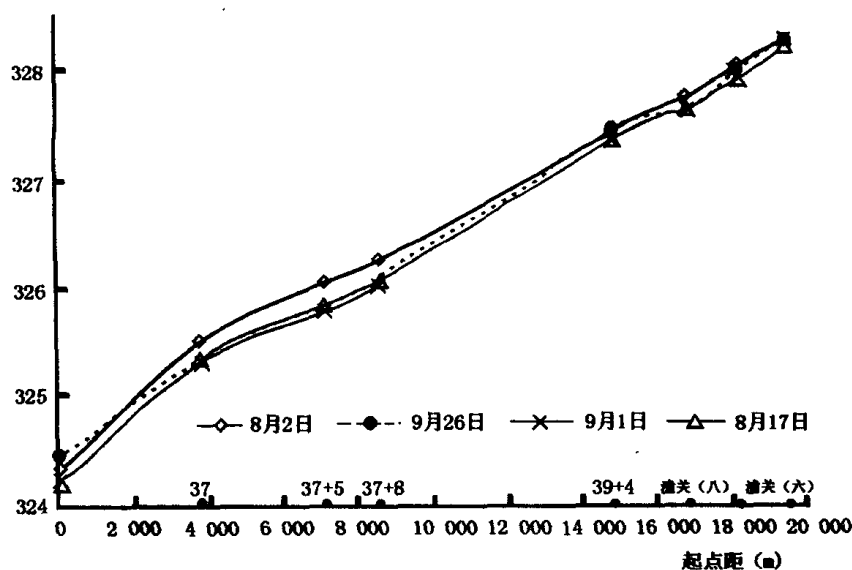


图5 流量1 000m³/s的水面线

出现流量为1 610m³/s和1 310m³/s的小洪峰。8月1日到9月30日,流量达到1 000m³/s的天数仅19天,最小流量仅为240m³/s,含沙量为4.29~25.3kg/m³,一般为10~20kg/m³,两月总水量为42亿m³,沙量为0.54亿t。这样的水沙条件,对河道冲刷十分不利,且易产生主流摆动,引起河槽淤积。尽管如此,经过2个月清淤,清淤作业河段还是产生了较大冲刷。

根据断面测量,处在作业河段的黄淤37~39断面间,绝大多数断面都发生了冲刷,最大冲刷面积601m²,一般断面冲刷面积在200m²以上。黄淤37~39断面8 400m长的河段,累计冲刷203万m³,河床平均下降0.21m。而同期黄淤40、41断面面积分别淤积158m²和297m²。黄淤39+2~41断面累计淤积69万m³,其中黄淤40~41断面间长1 660m的河