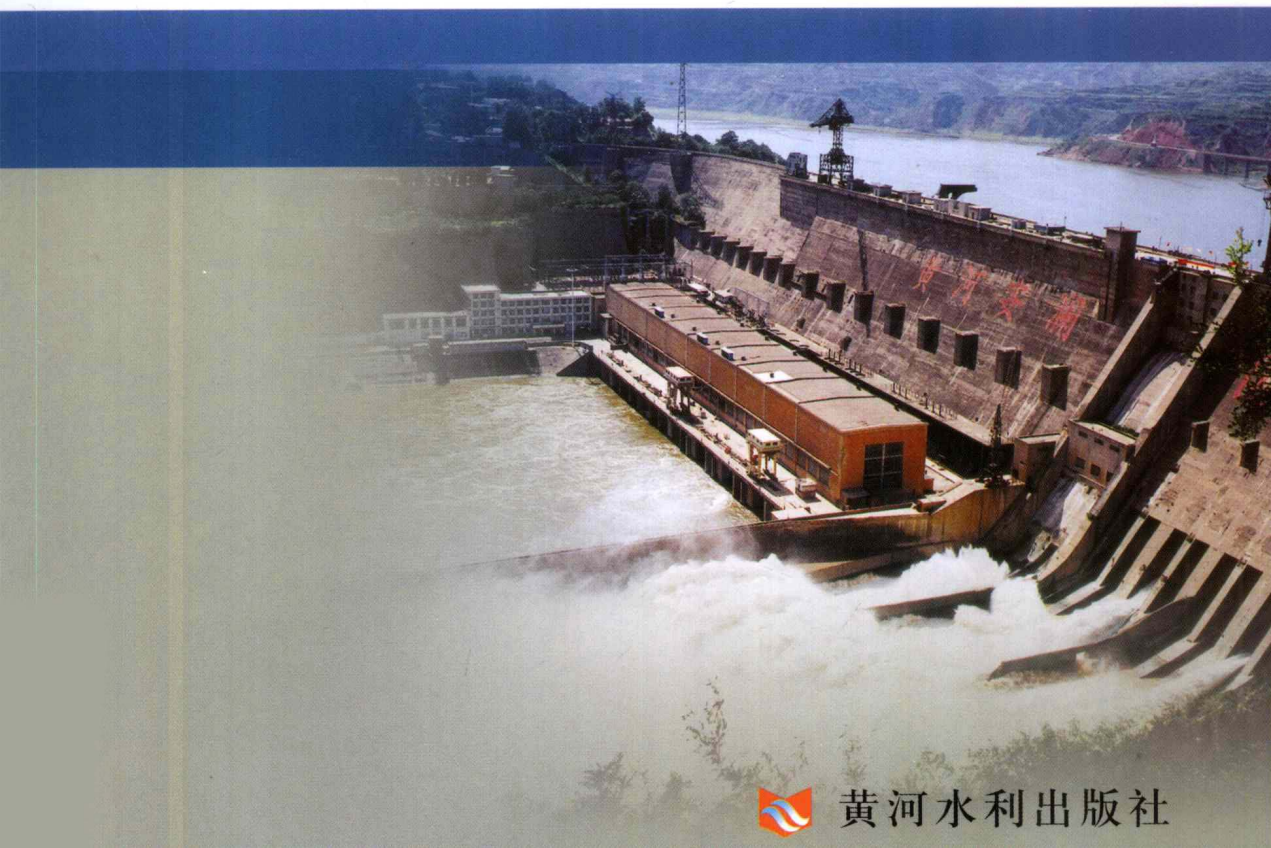


“十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAB06B02)

三门峡水库水沙 数学模型研究及应用

梁国亭 姜乃迁 余 欣 等著



黄河水利出版社

“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB06B02)

三门峡水库水沙数学模型 研究及应用

梁国亭 姜乃迁 余欣 等著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是有关三门峡水库水沙数学模型、水库运用方式、潼关高程演变规律以及库区河道泥沙问题的最新研究成果,主要内容包括:三门峡水库运用基本概况及水库河床演变特性;三门峡水库水沙数学模型研究及应用;潼关高程控制及三门峡水库运用方式的研究;潼关高程升降对渭河下游河道冲淤影响的研究;潼关河段清淤关键技术的研究;射流水力冲刷试验研究;北洛河改道入黄的效果分析;黄河小北干流放淤试验数学模型的研究与应用。

本书可供水利研究人员使用,也可供相关水利工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

三门峡水库水沙数学模型研究及应用/梁国亭等著.—郑州:
黄河水利出版社,2008.12

“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB06B02)

ISBN 978-7-80734-380-6

I. 三… II. 梁… III. 水库泥沙-数学模型-研究-
三门峡市 IV. TV145

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 202912 号

策划编辑:岳德军 电话:0371-66022217 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、66020550、66022620(传真)

E-mail:hslcbs@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:14.5

字数:335千字

版次:2008年12月第1版

印数:1—1 000

印次:2008年12月第1次印刷

定价:39.00元

前 言

三门峡水利枢纽是黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽,控制流域面积 68.8 万 km^2 ,占黄河流域总面积的 91.5%;控制了黄河干流三个洪水来源区中的两个和黄河来水量的 89%。工程自 1960 年 9 月 15 日正式蓄水运用以来,由于水库泥沙淤积问题突出,引发了枢纽工程的增建和改建。与此同时,水库运用方式也逐步得到调整和改善,先后经历了蓄水拦沙、滞洪排沙、蓄清排浑三个时期。自水库采用蓄清排浑调水调沙控制运用方式以来,水库配合防洪、防凌、灌溉、供水、发电等综合利用进行水沙调节,不仅保持了 335 m 以下约 58 亿 m^3 的库容,而且潼关高程在一定变幅范围内基本上保持了稳定,控制了淤积上延,对于黄河下游河道淤积并没有产生不利影响。实际资料表明,工程改建达到了预期效果,充分发挥了水库的综合效益,这为我国在多泥沙河流上修建工程、控制水沙、除害兴利摸索了一条途径。

20 世纪 80 年代末以来,随着枢纽工程泄流设施和泄流能力的变化以及流域降雨量的逐渐减少、黄河干流新建水库(如万家寨、小浪底等水库)的陆续投运、沿黄工农业用水量的增加和全河水量调度的实施,三门峡水库运用条件发生了很大变化。据对 1919 ~ 1998 年实测水沙资料分析,进入 70 年代以来水量、沙量都有较大幅度减少,尤其是进入 90 年代以来减少更大,水量较 70 年代减少近 100 亿 m^3 ,目前在 200 亿 m^3 左右,沙量较 30 ~ 60 年代减少约 50%,即 8 亿 t 左右,这主要是降雨量偏少、工农业耗水量不断增加、龙羊峡水库和刘家峡水库的调节以及水利水保工程拦减一定的水沙等多种因素作用的结果。由于汛期和洪水期水量减少,河道水流输沙能力大幅度下降,非汛期淤在主槽中的泥沙靠沿程冲刷和溯源冲刷已不能将潼关附近河段的淤积物全部冲刷出库,无法使潼关以下库区在年内达到冲淤平衡,出现累积性淤积。受淤积上延作用,潼关高程缓慢上升,并引发了许多新的问题。这不仅影响三门峡枢纽综合效益的发挥,而且直接影响三门峡库区的防洪安全。

作者长期从事三门峡水库库区河床演变和水库运用方式的研究工作,针对三门峡水库运用方式的调整、潼关高程抬升对渭河下游防洪的影响以及降低或控制潼关高程措施等水库泥沙问题,近十多年来系统开展了三门峡水库水沙数学模型、水库河床演变机理的研究。20 世纪 90 年代初在清华大学水利系攻读硕士研究生期间,在张仁教授的悉心指导下,研发了黄河中游一维水沙数学模型,在此基础上承担和完成了“八五”国家重点科技攻关项目专题“拦减粗泥沙对黄河中下游河道的影响”的子专题“黄河中游一维水沙数学模型研究与应用”的研究工作;为了应对黄河水沙条件的变化,在 90 年代还开展了三门峡水库水电站汛期发电试验研究工作,对三门峡水库的运用指标进行调整,提出:在基本保持潼关以下库区冲淤平衡和潼关高程稳定的前提下,主要应根据汛期入库水沙特性,进行科学调度,避免高含沙量时期发电,在较低含沙量时实行适度提高水位发电与间歇性降低水位排沙相结合,利用近坝段槽库容作冲洗式沉沙池调节发电,尽量发挥水库的综合

效益;1996年以后潼关高程出现了累积性上升趋势,引起国内领导和专家的关注,1996年作者开始进行潼关河段清淤工作,并对清淤关键技术,如清淤河段、清淤时机、射流水力冲刷试验以及清淤效果等方面进行了大量分析和研究工作,提出了利用清淤措施可以理顺河势、缩窄河槽、降低河床高程、增加河床比降、加大河流输沙能力,从而使渭河来水对潼关发生较大的冲刷作用;2003年陕西渭河大水,进一步暴露出渭河下游河道的防洪问题,再度引发了人们对三门峡水库的议论和关注,为此开展了水利部重大项目“潼关高程控制及三门峡水库运用方式的研究”的研究工作,利用三门峡水库水沙数学模型对三门峡水库不同运用方式对潼关高程升降及库区冲淤影响进行分析计算,为调整三门峡水库运用方式提供科学依据,同时还开展不同潼关高程对渭河下游河道影响的数学模型计算,提出了合理控制潼关高程及渭河下游河道治理的措施;为了降低或控制潼关高程,许多专家提出了不同措施,其中北洛河改道入黄是措施之一,为此利用水沙数学模型对北洛河改道入黄对渭河及潼关高程的影响进行计算,分析结果表明,北洛河改道入黄对渭河具有明显的减淤作用,但对于潼关高程升降有利有弊;另外,还开展了黄河小北干流放淤试验的淤区数学模型的研究和应用工作等。

本书涉及的内容不仅总结了作者近十多年来的研究成果,同时还主要介绍了水沙数学模型的原理,以及水沙数学模型在生产实践中的应用。研究成果不仅丰富了水库泥沙、河床演变学、数学模型应用的理论研究,而且为充分发挥水利枢纽工程综合效益,解决水库泥沙淤积问题提供了生产实践经验和应用理论基础。

值得一提的是,本书的编写和出版还获得了“十一五”国家科技支撑计划项目“基于GIS的黄河水沙输移模拟系统研发”(2006BAB06B02)的资助。除本书三位主要作者外,张翠萍、王普庆、王国栋、张隆荣、侯素珍、林秀芝、田玉青、韩巧兰、杨明、王艳平、常温华、卢冬梅、张晓丽、赖瑞勋、张防修、王敏、王明、伊晓燕、王平、汪大鹏、韩英等也参与了本书相关专题研究、编写或提供了无私的帮助,对此作者向他们表示真挚的感谢。在开展专题项目研究期间,作者还得到了清华大学水利系王兴奎教授、黄河水利委员会原总工程师龙毓骞教授、黄河水利科学研究院钱意颖教授以及黄河水利委员会许多专家的帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

最后,深深地感谢我的夫人卢冬梅给予我的理解、支持及生活照顾和帮助。

由于水平有限,书中可能出现错漏,敬请读者批评指正。

梁国亭

2008年11月

目 录

前 言

第一章 三门峡水库基本情况及库区演变特点	(1)
第一节 三门峡水利枢纽基本情况	(1)
第二节 水库来水来沙特点	(4)
第三节 库区冲淤分布及不同运用水位对库区淤积的影响	(7)
第四节 潼关以下库区汛期排沙规律分析	(13)
第五节 水库不同运用期潼关高程演变特点	(23)
第六节 主要结论	(30)
第二章 三门峡水库一维水沙模型研究及其率定与验证	(32)
第一节 黄河水沙数学模型发展概况	(32)
第二节 三门峡水库一维水沙数学模型	(33)
第三节 关键技术问题处理	(39)
第四节 三门峡水库水沙模型的率定与验证	(49)
第三章 三门峡水库汛期发电试验运用方式的研究	(59)
第一节 三门峡水库汛期调度基本特点	(59)
第二节 三门峡水库调度运用方案	(63)
第三节 不同运用方案计算成果分析	(68)
第四节 三门峡水库运用指标的确定	(79)
第四章 黄河三门峡水库运用方式及其影响的研究	(80)
第一节 问题提出与研究任务	(80)
第二节 三门峡水库不同运用方案计算	(82)
第三节 主要结论与认识	(93)
第五章 利用数学模型研究不同控制潼关高程对渭河下游冲淤的影响	(95)
第一节 问题提出与研究任务	(95)
第二节 不同控制潼关高程对渭河下游冲淤影响的分析计算	(96)
第三节 主要结论与认识	(115)
第六章 北洛河改道入黄效果数学模型分析计算	(117)
第一节 问题提出与研究内容	(117)
第二节 北洛河改道入黄对渭河下游减淤及潼关高程的影响	(117)
第三节 主要结论	(124)
第七章 黄河淤区数学模型的研究及其应用	(125)
第一节 问题提出与研究内容	(125)
第二节 淤区水沙数学模型的验证	(125)

第三节	淤区运用方式计算结果分析	(127)
第四节	淤区数学模型改进及率定	(139)
第五节	主要结论与建议	(147)
第八章	三门峡水库潼关高程演变对渭河防洪的影响及其对策研究	(149)
第一节	概 述	(149)
第二节	潼关河床高程冲淤演变特点	(149)
第三节	潼关高程升降基本规律及发展趋势	(151)
第四节	近期潼关高程居高不下原因分析	(155)
第五节	渭河下游近期来水来沙特点	(159)
第六节	渭河下游河道冲淤情况	(163)
第七节	近期渭河下游河道淤积对防洪的影响	(168)
第八节	潼关高程对渭河下游河道演变的影响	(171)
第九节	结 论	(176)
第九章	黄河三门峡水库潼关河段疏浚技术分析	(178)
第一节	潼关河段疏浚的措施和目标	(178)
第二节	疏浚河段	(178)
第三节	潼关河段清淤时机	(182)
第四节	潼关河段疏浚泥沙数量的预估	(184)
第五节	潼关河段清淤效果的初步分析	(185)
第六节	结 论	(192)
第十章	射流水力冲淤模型设计	(194)
第一节	引 言	(194)
第二节	模型试验的目的和任务	(194)
第三节	河道天然状况	(195)
第四节	野外射流冲淤试验设备概况	(196)
第五节	模型试验的总体考虑	(196)
第六节	模型相似基本准则	(196)
第七节	模型比尺计算与选择	(199)
第八节	原型量与模型量计算	(200)
第九节	试验设备规模	(202)
第十节	射流水力冲淤模型试验初步试验结果	(202)
第十一节	结 论	(207)
第十一章	潼关河段清淤效果的初步研究	(208)
第一节	1996 年洪水基本概况	(208)
第二节	用实测资料分析潼关河段清淤对洪水冲刷的作用	(209)
第三节	用水沙数学模型计算潼关河段清淤对洪水冲刷的作用	(217)
第四节	主要结论与建议	(222)
参考文献		(223)

第一章 三门峡水库基本情况及库区演变特点

第一节 三门峡水利枢纽基本情况

一、枢纽工程规划设计

黄河以其含沙量高、难以治理而闻名于世。1955 年第一届全国人民代表大会通过了《黄河综合利用规划技术经济报告》，确定三门峡水利枢纽为第一批重点工程，计划通过黄河中游水土保持和三门峡水库大库容拦洪作用，尽快解决黄河下游防洪、淤积问题。

三门峡水利枢纽是黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽，控制流域面积 68.8 万 km^2 ，占黄河流域总面积的 91.5%；控制了黄河干流三个洪水来源区中的两个，占黄河总来水量的 89%。三门峡水利枢纽工程大坝和水电站委托苏联电站部水电设计院列宁格勒分院设计，其余项目由国内承担。原设计指标为：将 1 000 年一遇洪峰削减至黄河下游堤防安全泄量 6 000 m^3/s ，电站装机 116 万 kW，设计正常高水位 360 m，总库容 647 亿 m^3 ，淹没耕地 325 万亩^①，移民 87 万人。

工程设计按“分期修筑、分期移民、分期抬高水位运用”进行。第一期工程按正常高水位 350 m 施工，运用水位 340 m，坝顶浇筑高程 353 m，相应库容 354 亿 m^3 。三门峡水库遇 1 000 年一遇设计洪水时，设计洪水位为 335 m，相应库容 96.4 亿 m^3 ，同时决定按 335 m 高程线移民。初期运用后为确保陕西省西安市的安全和减少库区淹没、淤积损失，不再进行枢纽工程大坝第二期工程。

二、枢纽工程建设及增建、改建

三门峡水利枢纽工程于 1957 年 4 月 13 日正式开工，1958 年 11 月 25 日实现截流，1961 年 4 月大坝全断面修建至第一期坝顶设计高程 353 m，主体工程基本竣工。

1960 年 9 月，三门峡水库开始进行蓄水拦沙运用，由于泥沙淤积严重，库容损失过快，淤积上延，支流渭河行洪不畅，严重威胁到渭河下游防洪和西安市的安全，1962 年 3 月决定将水库运用方式改为滞洪排沙运用。1964 年决定对枢纽工程进行第一次改建，也称增建“两洞四管”工程，即在大坝的左岸增建两条隧洞并改建四条原建的发电引水钢管为泄流排沙钢管。1966 年 7 月～1968 年 8 月“两洞四管”相继投运。

第一次改建阶段为 1965 年 1 月～1968 年 8 月，315 m 水位条件下，枢纽泄流规模由 3 084 m^3/s 增至 6 102 m^3/s 。第一次改建工程完成后，水库排沙比由 6.8% 增至 82.5%，

^①1 亩 = 1/15 hm^2 。

但仍有 20% 的来沙淤积在库内,潼关以下库区由淤积转变为冲刷,但冲刷范围尚未影响到潼关,潼关以上库区及渭河下游仍继续淤积。为进一步解决库区淤积问题,根据周恩来的指示,1969 年 6 月 13 ~ 18 日在三门峡市召开了晋、陕、豫、鲁四省及原水电部、黄河水利委员会(简称黄委会)、三门峡工程局参加的会议,即所谓的“四省会议”,会议着重讨论了三门峡水利枢纽改建和黄河近期治理问题,会后向国务院和周恩来总理呈报了这次会议通过的《关于三门峡水库工程改建及黄河近期治理问题的报告》,报告针对三门峡水利枢纽改建问题提出了进行第二次改建的意见,即打开原施工导流 1[#] ~ 8[#] 导流底孔。改建原则是:“……在确保西安、确保下游的前提下,合理防洪,排沙放淤,低水头径流发电……”。改建规模为:“……在坝前 315 m 高程时,下泄流量达到 10 000 m³/s……”。

第二次改建工程于 1969 年 12 月开工,1971 年 10 月 1[#] ~ 8[#] 底孔全部具备运用条件。1971 年 1 月开始将 1[#] ~ 5[#] 发电引水钢管进水口底坎高程由 300 m 下卧至 287 m,1971 年 10 月基本完成,随后安装 5 台单机 5 万 kW 的低水头发电机组,至 1979 年 1 月 5 台机组全部投运。即第二次改建阶段为 1969 年 12 月 ~ 1979 年 1 月,315 m 水位条件下,枢纽泄流规模由 6 102 m³/s 增至 9 059 m³/s。

1984 年以后,为解决泄流排沙底孔磨蚀以及工程遗留问题,原水电部批准对三门峡水利枢纽泄流工程进行二期改建,包括打开 9[#] 底孔、10[#] 底孔、两对双层孔增设一门一机、底孔抗磨蚀处理、底孔出口压缩、门槽改建等。该项工程自 1984 年 10 月 17 日特种深水围堰试验成功标志着正式开工,至 1990 年基本完成,1990 年 7 月 9[#] 底孔、10[#] 底孔相继投运。

进入 20 世纪 90 年代后,为提高三门峡水库非汛期水量利用率,于 1991 年开始将 6[#]、7[#] 泄流排沙钢管扩装为单机容量 7.5 万 kW 的发电机组,6[#]、7[#] 机组分别于 1994 年、1997 年正式投运。为进一步增加枢纽的泄洪排沙能力和启闭设施的灵活性,1998 年黄委会批准打开枢纽 11[#]、12[#] 导流底孔,1999 ~ 2000 年 11[#]、12[#] 底孔相继投运,2000 年对 1[#] 机组进行了技术改造使其装机容量由 5 万 kW 增至 6 万 kW。

至 2001 年 4 月,枢纽工程共有 27 个泄流孔洞(其中 12 个底孔、12 个深孔、2 条隧洞、1 条排沙钢管),7 台总装机容量为 41 万 kW 的水轮发电机组(1[#] 机 6 万 kW、2[#] ~ 5[#] 单机 5 万 kW、6[#]、7[#] 单机 7.5 万 kW),各泄流孔、洞、管和机组所处立体位置如图 1-1 所示。

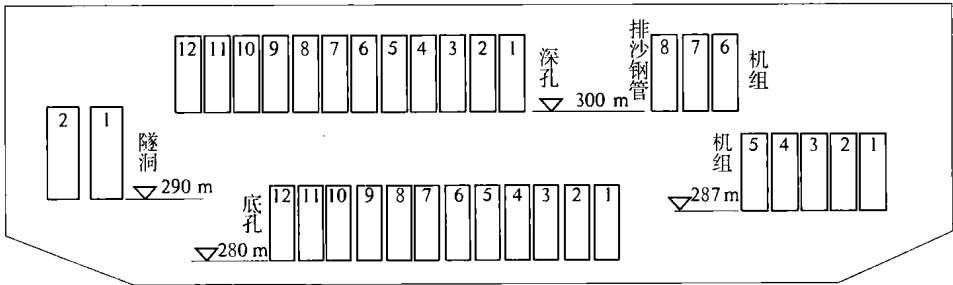


图 1-1 三门峡水利枢纽上游立视示意图

注:坝顶高程 353 m。

枢纽工程的改建与完善主要体现在泄流能力的进一步增加、启闭设施的机动灵活及发电机组装机容量的增加和机组改造等方面。

通过改建,尤其是 11[#]、12[#]底孔的投运,使 315 m 水位的泄流能力已达 9 701 m³/s(不含机组),与十几年前相比,泄流排沙条件大大改善,泄流重心也大大下移(见表 1-1)。总泄流能力 5 000 m³/s 时对应水位:改建前(1964 年)为 327 m,改建后(2000 年)为 304.15 m。若含 1[#]~5[#]机组的泄流能力,目前 305 m 水位条件下,总泄流能力已达 6 000 m³/s。闸门启闭总历时控制在 8 h 以内,能够做到快速启闭、机动灵活,使入库、出库洪水过程相适应,实现一般洪水不滞洪。目前正在进行闸门集控改造,使部分具备条件的孔洞由人工操作改为自动控制将会进一步缩短启闭时间;两台 350 t 门机经过 40 年的超负荷运行,已经接近报废边缘,正在规划设计新的门机,一旦批准,预计在 2~3 年内完成,闸门启闭历时还将缩短(启闭一个底孔历时减少 20 min)。此外,发电机组方面扩装了 2 台,1[#]机组整容改造后不仅容量增加而且抗高含沙水流磨蚀能力也有大幅度提高。枢纽工程各方面的改进与完善为运行方式的调整创造了条件。

表 1-1 不同时期三门峡水库各级水位泄流能力(不含机组) (单位:m³/s)

年份	各级水位泄流量						
	285 m	290 m	295 m	300 m	305 m	310 m	315 m
1964	0	0	0	0	612	1 728	3 084
1984	440	880	1 894	2 872	4 529	7 227	9 059
2000	565	1 188	2 265	3 633	5 455	7 830	9 701
1964~1984 年增加	440	880	1 894	2 872	3 917	5 499	5 975
1984~2000 年增加	125	308	371	761	926	603	642

三、水库运用方式变化

由于水库泥沙淤积问题突出,引发了枢纽工程的增建和改建过程。与此同时,水库运用方式也逐步得到调整和改善,即经历了蓄水拦沙、滞洪排沙、蓄清排浑 3 个时期。

蓄水拦沙运用期(1960 年 9 月~1962 年 3 月):1960 年 9 月水库开始蓄水,1961 年 2 月 9 日最高蓄水位达 332.58 m,至 1962 年 3 月累计入库水量为 717 亿 m³,沙量 17.36 亿 t,仅有 13% 的泥沙以异重流形式排至库外。由于回水超过潼关,库内淤积严重,潼关高程(1 000 m³/s 水位)上升 4.5 m,335 m 以下库容损失约 17 亿 m³。

滞洪排沙运用期(1962 年 3 月~1973 年 10 月):初期,泄流建筑物只有原建的 12 个深孔,虽然敞开闸门泄流排沙,水库排沙比由原来的 6.8% 增加到 58%,库区淤积有所缓解,但因泄流排沙设施不足,泄水建筑物进水口底坎位置较高,遇到 1964 年丰水丰沙,水库滞洪淤积严重。在此期间,水库淤积 25.7 亿 m³,库区淤积不断向上游发展,两岸地下水位抬高,沿岸浸没、盐碱化面积增大。为减缓水库淤积,枢纽工程先后进行了两次增改建后,低水位泄洪排沙能力加大,潼关以下库区冲刷 4 亿 m³,槽库容得到了较好恢复,形成高滩深槽,潼关高程下降 1.9 m,潼关以上库区淤积上延也大为减轻。

蓄清排浑控制运用期(1973 年 11 月至今):1973 年 11 月以后,在成功改建和改进水库运用方式的基础上,根据黄河汛期、非汛期水沙特点和汛期洪水在库区河段具有富余冲

刷能力的特性,对水库运用方式做了进一步改进,水库开始采用蓄清排浑控制运用方式,即在来沙少的非汛期蓄水防凌、春灌、发电,汛期特别是洪水期降低水位泄洪排沙,把非汛期淤积在库内的泥沙调节到汛期洪水过程排至库外。蓄清排浑控制运用方式使三门峡水库做到了水量和沙量的双重调节,较好地处理了兴利与除害之间的关系。

第二节 水库来水来沙特点

一、水沙特征

三门峡水库 1973 年年底开始采用蓄清排浑运用方式,潼关以下库区呈汛期冲刷、非汛期淤积的基本特性。其中,1974 ~ 1986 年,库区冲淤基本平衡,潼关高程保持相对稳定;1986 年以后,由于上游龙羊峡水库与刘家峡水库联合运用、工农业用水持续增加、降水量减少和水土保持的减水减沙作用等,水库的来水来沙条件发生了很大的变化,库区累积淤积,潼关高程持续抬升,给三门峡水库运用和渭河下游防洪均带来不良影响。水沙条件的变化主要表现在来水来沙数量、水沙年内分配、洪峰大小和频率上,而发展趋势则取决于上游水库运用、工农业用水量变化和气候因素等。

潼关水文站 1950 ~ 2000 年(指运用年,即上年度 11 月到本年度 10 月,下同)长系列平均水量 367 亿 m^3 ,沙量 11.8 亿 t,其中汛期水量 204 亿 m^3 ,沙量 9.8 亿 t,分别占年水量、沙量的 56% 和 83%。

1974 ~ 2000 年潼关站年均水量 322 亿 m^3 ,沙量 8.9 亿 t,其中汛期水量 170 亿 m^3 ,沙量 7.1 亿 t,分别占年水量、沙量的 53% 和 80%;年平均含沙量 28 kg/m^3 ,汛期平均含沙量 42 kg/m^3 ,非汛期平均含沙量 12 kg/m^3 ,见表 1-2。

表 1-2 不同时段潼关站水沙量

时段	水量(亿 m^3)			沙量(亿 t)			含沙量(kg/m^3)		
	非汛期	汛期	运用年	非汛期	汛期	运用年	非汛期	汛期	运用年
1950 ~ 2000 年	163	204	367	2.0	9.8	11.8	12	48	32
1974 ~ 1985 年	165	236	401	1.6	8.9	10.5	10	38	26
1986 ~ 2000 年	141	117	258	1.9	5.6	7.5	13	48	29
1974 ~ 2000 年	152	170	322	1.8	7.1	8.9	12	42	28

图 1-2 为蓄清排浑运用以来潼关站历年水沙过程,以 1985 年为界,来水量表现出明显的不同特征。1974 ~ 1985 年总体为丰水系列,12 年中除 1974 年和 1980 年来水量偏枯(少于 280 亿 m^3)外,其他年份或平或偏丰,其中 1975 年、1976 年、1981 年、1983 ~ 1985 年 6 年的来水量均超过了 400 亿 m^3 ,最丰的 1976 年达 539 亿 m^3 。而 1986 ~ 2000 年为连续枯水系列,15 年中来水最多的 1989 年为 377 亿 m^3 ,1987 年、1991 ~ 2000 年 11 年的来水量均少于 300 亿 m^3 ,1997 年的来水量最少,只有 161 亿 m^3 。

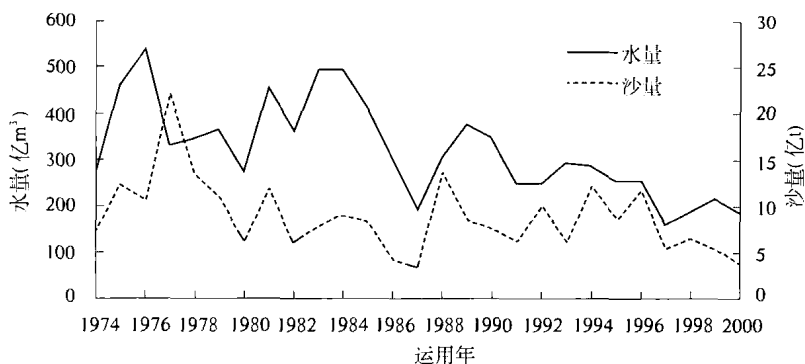


图 1-2 潼关站历年水沙过程

两个时段的来沙量与长系列相比均偏少,后一时段偏少更甚,但不像来水量那样表现出明显的系统差异。1974~2000 年 27 年中来沙量较多(超过 10 亿 t)的年份有 1975~1979 年、1981 年、1988 年、1994 年和 1996 年 9 年,其中 1977 年为特大沙年,来沙量达 22 亿 t;来沙量较少(6 亿 t 以下)的年份有 1982 年、1986 年、1987 年、1993 年、1997 年、1999 年和 2000 年 7 年,其中 1987 年来沙量最少,只有 3.2 亿 t。

表 1-3 给出了潼关站不同时期的水沙量变化特征值。1974~1985 年平均来水量 401 亿 m^3 ,与长系列相比偏丰 9%,其中汛期 236 亿 m^3 ,与长系列相比偏丰 16%;年平均来沙量 10.5 亿 t,与长系列相比偏少 11%,其中汛期 8.9 亿 t,与长系列相比偏少 9%。1986~2000 年平均来水量 258 亿 m^3 ,与长系列相比偏枯 30%,其中汛期 117 亿 m^3 ,与长系列相比偏枯 43%;年平均来沙量 7.5 亿 t,与长系列相比偏少 36%,其中汛期 5.6 亿 t,与长系列相比偏少 43%。

1986~2000 年与 1974~1985 年相比,潼关站年来水量减少 36%,汛期减少 50%,非汛期减少 15%,可见来水量减少主要发生于汛期;年来沙量减少 29%,汛期减少 37%,非汛期增多 19%。由于来水量减少的比例远大于来沙量,所以年均含沙量由 1974~1985 年的 26 kg/m^3 提高到 1986~2000 年的 29 kg/m^3 ,汛期平均含沙量由 38 kg/m^3 增加到 48 kg/m^3 ,非汛期平均含沙量由 10 kg/m^3 增加到 13 kg/m^3 。

表 1-3 潼关站不同时期的水沙量变化特征值

项目	系列年	非汛期	汛期	运用年	汛期占全年的比例(%)
水量距平(%)	1974~1985	1	16	9	59
	1986~2000	-13	-43	-30	45
沙量距平(%)	1974~1985	-20	-9	-11	85
	1986~2000	-5	-43	-36	75
水量的系列变化(%)		-15	-50	-36	
沙量的系列变化(%)		19	-37	-29	

注:距平是与 1950~2000 年相比较;系列变化为 1986~2000 年与 1974~1985 年相比较。

二、水沙年内分配

潼关站 1986~2000 年不仅来水来沙量比 1974~1985 年大大减少,而且由于上游龙

羊峡水库汛期蓄水、非汛期泄水导致水沙的年内分配也发生了较大变化。汛期来水量占全年的比例由 1974 ~ 1985 年的 59% 下降为 1986 ~ 2000 年的 45% ,汛期来沙量占全年的比例由 85% 下降为 75% 。

由表 1- 4 潼关站逐月水沙变化可见,与 1974 ~ 1985 年相比,1986 ~ 2000 年时段汛期减水量最大的月份是 10 月,由 60. 1 亿 m³ 减为 18. 7 亿 m³,减水幅度达 69% ,其次是 9 月,由 68. 4 亿 m³ 减为 30. 8 亿 m³,减水幅度达 55% ;非汛期减水主要发生在 11 月,由 28. 2 亿 m³ 减为 16. 3 亿 m³,减水幅度达 42% 。汛期减沙量最大的月份是 9 月,由 1. 866 亿 t 减为 0. 843 亿 t,减沙幅度达 55% ;其次是 8 月,由 3. 550 亿 t 减为 2. 604 亿 t,减沙幅度达 27% ;非汛期 6 月的沙量增加最多,由 0. 176 亿 t 增为 0. 390 亿 t,增沙幅度达 122% 。汛期减沙幅度最大的月份为 10 月,达 76% 。1986 年以后,汛期来水主要集中在 7 ~ 9 月,来沙则主要集中在 7 ~ 8 月,10 月的来水来沙不再具备汛期的特征。

表 1- 4 潼关站逐月水沙变化

月份	水量 (亿 m ³)				沙量 (亿 t)			
	1974 ~ 1985 年	1986 ~ 2000 年	变化量	变化率 (%)	1974 ~ 1985 年	1986 ~ 2000 年	变化量	变化率 (%)
1	16. 1	14. 4	- 1. 7	- 11	0. 159	0. 165	0. 006	4
2	19. 3	16. 6	- 2. 7	- 14	0. 185	0. 191	0. 006	3
3	26. 1	27. 2	1. 1	4	0. 249	0. 361	0. 112	45
4	25. 5	24. 5	- 1. 0	- 4	0. 199	0. 232	0. 033	17
5	18. 3	12. 6	- 5. 7	- 31	0. 155	0. 170	0. 015	10
6	13. 9	14. 6	0. 7	5	0. 176	0. 390	0. 214	122
7	44. 4	27. 8	- 16. 6	- 37	2. 469	1. 908	- 0. 561	- 23
8	63. 3	39. 9	- 23. 4	- 37	3. 550	2. 604	- 0. 946	- 27
9	68. 4	30. 8	- 37. 6	- 55	1. 866	0. 843	- 1. 023	- 55
10	60. 1	18. 7	- 41. 4	- 69	0. 962	0. 230	- 0. 732	- 76
11	28. 2	16. 3	- 11. 9	- 42	0. 309	0. 184	- 0. 125	- 40
12	17. 3	15. 4	- 1. 9	- 11	0. 177	0. 218	0. 041	23

三、水沙来源组成

潼关站的水沙量主要来自黄河龙门以上和渭河华县以上。1974 ~ 2000 年龙门站年平均水量 251 亿 m³,占潼关水量的 78% ,沙量 5. 6 亿 t;华县站年均来水量 60 亿 m³,占潼关水量的 19% ,沙量 2. 9 亿 t。由表 1-5 龙门站、华县站水沙变化统计可见,龙门站 1986 ~ 2000 年多年平均水量比 1974 ~ 1985 年减少 104. 8 亿 m³,华县站 1986 ~ 2000 年多年平均水量比 1974 ~ 1985 年多年平均水量减少 28 亿 m³,两站汛期、非汛期的减水幅度与潼关站同期相当。龙门站和华县站的沙量变幅与潼关站有较大差异,汛期两站的减沙幅度均小于潼关站,反映了汛期河道的淤积作用,非汛期两站的来沙量均有所提高,以华县站的提高更为显著。

表 1-5 龙门站、华县站水沙变化统计

站名	项目	系列年	非汛期	汛期	运用年	汛期占全年的比例(%)
龙门	水量 (亿 m ³)	1974 ~ 1985	135.8	173.5	309.2	56
		1986 ~ 2000	118.0	86.4	204.4	42
		1986 ~ 2000 年系列与 1974 ~ 1985 年系列相比的变化比例	- 13	- 50	- 34	
	沙量 (亿 t)	1974 ~ 1985	0.83	5.64	6.48	87
		1986 ~ 2000	0.89	4.01	4.90	82
		1986 ~ 2000 年系列与 1974 ~ 1985 年系列相比的变化比例	7	- 29	- 24	
华县	水量 (亿 m ³)	1974 ~ 1985	24.0	51.7	75.7	68
		1986 ~ 2000	21.2	26.8	48.0	56
		1986 ~ 2000 年系列与 1974 ~ 1985 年系列相比的变化比例	- 12	- 48	- 37	
	沙量 (亿 t)	1974 ~ 1985	0.22	2.93	3.15	93
		1986 ~ 2000	0.40	2.22	2.62	85
		1986 ~ 2000 年系列与 1974 ~ 1985 年系列相比的变化比例	82	- 24	- 17	

第三节 库区冲淤分布及不同运用水位对库区淤积的影响

一、非汛期运用水位变化及不同水位影响分析

(一)非汛期运用水位变化

三门峡水库自蓄清排浑运用以来,每年 11 月 ~ 次年 6 月进行防凌、春灌、发电运用。从史家滩非汛期日均水位过程线(见图 1-3)可知,史家滩水位从 11 月初的 308 m 左右起,一直保持上升,到 12 月 10 日左右达到 315 m;12 月 10 日 ~ 次年 1 月上旬,史家滩水位从 315 m 下降至 312 m 左右;1 月上旬 ~ 6 月上旬,三门峡水库进行防凌、春灌蓄水,水位较高。非汛期最高水位一般在 4 月出现,4 月的水位一般在 320 m 以上。

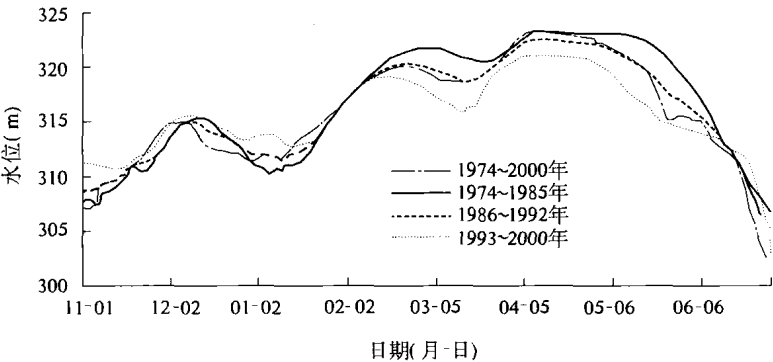


图 1-3 史家滩非汛期日均水位过程线

表 1-6 为不同时期史家滩各月平均水位,1974~2000 年 4 月为 322.24 m,2 月、3 月和 5 月,也都在 319 m 以上,11 月、12 月和 1 月在 312 m 左右。1986~1992 年和 1993~2000 年各月平均水位与 1974~1985 年相比,除 11 月和 1 月平均水位略有上升外,其他月份都有下降,3~5 月下降最为明显,其中 5 月水位下降最多,从 1974~1985 年的 321.88 m,下降到 319.08 m 和 316.64 m。

表 1-6 史家滩各月平均水位统计 (单位:m)

月份	1974~2000 年	1974~1985 年	1986~1992 年	1993~2000 年
11	310.40	309.76	310.34	311.39
12	313.96	314.04	313.22	314.49
1	313.00	312.28	313.48	313.68
2	319.16	319.80	319.04	318.28
3	319.56	321.06	319.43	317.43
4	322.24	322.94	322.84	320.66
5	319.60	321.88	319.08	316.64
6	311.63	312.39	310.47	311.49

从图 1-4 可以看出,1974~2000 年史家滩最高水位为 1977 年 3 月 1 日的 325.95 m,1999 年非汛期最高水位为 320.74 m。1974~1985 年有 7 年最高水位超过 324 m,3 年接近 324 m,另外两年的最高水位也在 323.50 m 以上;1986~1992 年,除 1986 年非汛期最高运用水位为 322.62 m 以外,另外 6 年最高水位都接近 324 m;1993~2000 年,除 1998 年 6 月因特殊原因水库运用水位达 323.73 m 和 1994 年达到 322.64 m 外,其他年份都在 322 m 以下,在此阶段非汛期最高水位明显下降。

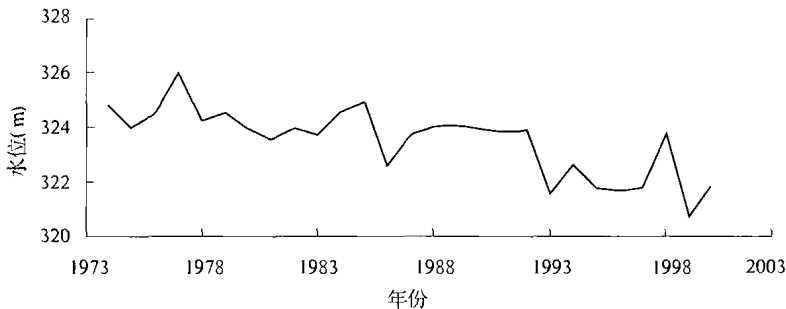


图 1-4 史家滩非汛期最高水位过程线

(二) 非汛期不同运用水位的回水影响范围

库区的回水影响范围受水库运用水位和库区边界条件(主要是纵比降)的影响。在库区纵比降变化不大的情况下,库区的回水影响范围主要取决于水库的运用水位。三门峡库区的回水影响范围可以直接利用库区实测水位资料分析确定,即用库区两水位站的水位差与坝前水位点相关关系,在非汛期入库流量变化不大,水位差出现明显变小时,表明两站中的下游水位站直接受到回水影响,分析成果见图 1-5。由图 1-5 中可以看出,直接受到回水影响的临界库水位北村为 308 m 左右、大禹渡为 314~315 m、埧埧约为 320 m。潼关站受回水影响的临界库水位由于潼关以上河段河道情况不同,需用另外的方法,

如据桃汛冲刷资料分析,潼关受回水影响的库水位为 323.50 m。

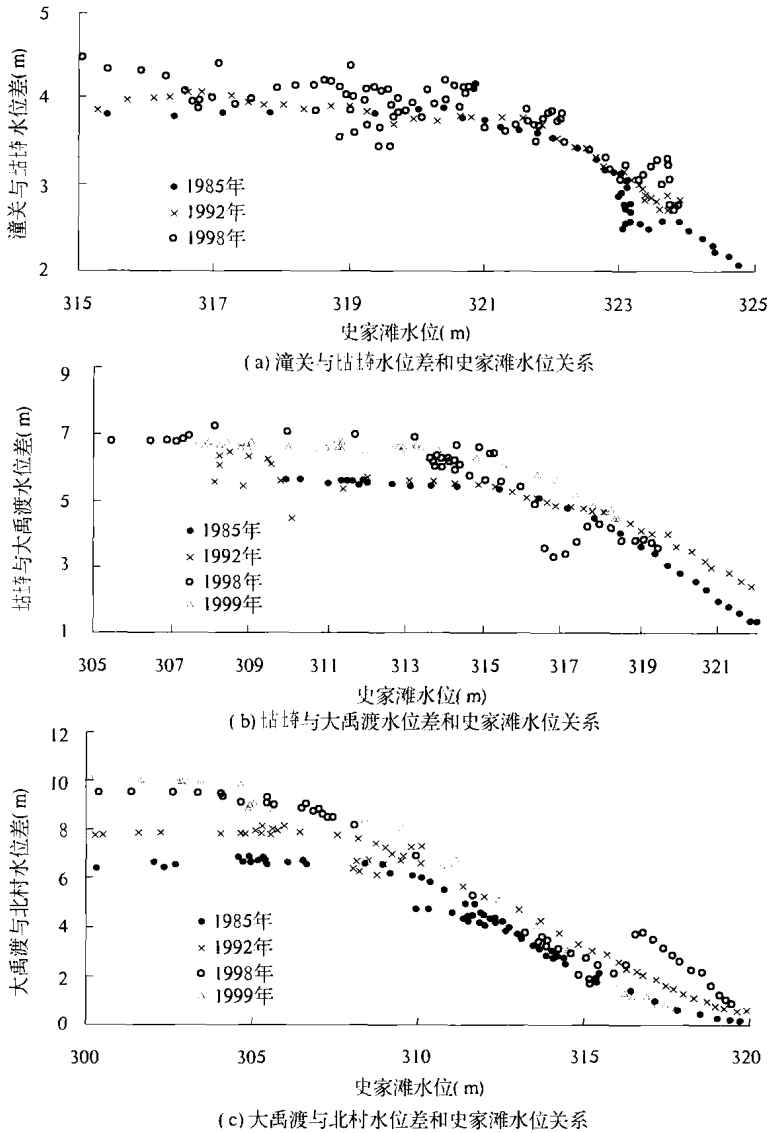


图 1-5 水位差与史家滩水位关系

(三) 非汛期各级运用水位对潼关河段的影响

非汛期各运用阶段的回水情况及其相对应时段的水沙过程决定了库区的淤积分布。例如,1976~1977 年非汛期潼关沙量 1.40 亿 t,高水位运用天数最多,超过 324 m 的 77 d,超过 320 m 的达 105 d。黄淤 30—黄淤 36 河段和黄淤 36—黄淤 41 河段淤积量占全河段淤积量的 33% 和 34%,即大部分泥沙淤积在黄淤 30 断面以上。从图 1-6 沿程淤积分布可以看出,淤积重心在黄淤 33—黄淤 39 河段。

1989~1990 年非汛期潼关沙量 2.11 亿 t,水库最高运用水位没有超过 324 m 的,水位为 320~324 m 的有 81 d。与全河段淤积量相比,黄淤 22—黄淤 30 河段淤积量占 43%,黄淤 30—黄淤 36 河段淤积量占 29%,黄淤 36—黄淤 41 河段淤积量只占 5%。与

1976 ~ 1977 年非汛期相比,淤积重心明显下移。

1998 ~ 1999 年非汛期潼关沙量 1.20 亿 t,水库最高运用水位不超过 322 m,大于 320 m 的只有 20 d。与全河段淤积量相比,黄淤 22—黄淤 30 河段淤积量占 52%,黄淤 30—黄淤 36 河段和黄淤 36—黄淤 41 河段淤积量分别占 24% 和 5%。与 1989 ~ 1990 年相比,黄淤 30—黄淤 41 河段淤积量减少。

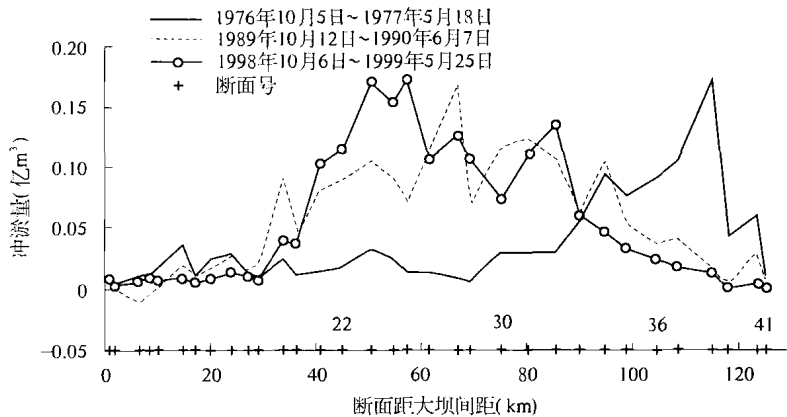


图 1-6 黄淤 1—黄淤 41 河段典型年非汛期冲淤量分布

二、纵向淤积分布特点

水库蓄水运用改变了河道的天然水流条件,降低了水流的挟沙能力,使库区河床发生淤积,河床组成、河床比降和河槽形态将相应进行调整,淤积分布状况取决于来水条件和运用水位。

(一) 沿程淤积分布规律

1973 年 11 月 ~ 2000 年 10 月整个时段,三门峡库区潼关以下河段共淤积 2.99 亿 m³,其中 1973 年 11 月 ~ 1985 年 10 月淤积 0.59 亿 m³,1985 年 10 月 ~ 2000 年 10 月淤积 2.40 亿 m³,后者占总淤积量的 80%,可见潼关以下库区的淤积基本为 1986 年以后造成的。1986 年以后,尽管非汛期坝前水位有所降低,但由于来水来沙量的趋势性减少,使得库区内年冲淤仍不能达到平衡。

1974 ~ 2000 年(运用年)非汛期,坝址—黄淤 41 河段共淤积泥沙 36.45 亿 m³。其中 1985 年 6 月以前淤积 15.86 亿 m³,占 44%;1985 年 10 月 ~ 1992 年 6 月淤积 7.83 亿 m³,占 21%;1992 年 9 月 ~ 2000 年 6 月淤积 12.76 亿 m³,占 35%。各阶段年均淤积量的差别不是很大,1992 年 9 月 ~ 2000 年 6 月最多,约为 1.59 亿 m³,1973 年 11 月 ~ 1985 年 6 月次之,为 1.32 亿 m³,1985 年 10 月 ~ 1992 年 6 月为 1.12 亿 m³。

受水库蓄水位高低的影响,不同时期泥沙淤积的部位也有变化。1973 年 11 月 ~ 2000 年 6 月非汛期泥沙主要淤积在黄淤 22—黄淤 36 河段,淤积量为 24.35 亿 m³,占淤积总量的 67%。黄淤 22—黄淤 30 河段和黄淤 30—黄淤 36 河段分别淤积 12.97 亿 m³ 和 11.38 亿 m³。其中 1973 年 11 月 ~ 1985 年 6 月非汛期泥沙主要淤积在黄淤 30—黄淤 36 河段,淤积量占全河段淤积量的 38%;1985 年 10 月 ~ 1992 年 6 月非汛期泥沙主要淤积在黄淤 22—黄淤 30 河段,淤积量占全河段淤积量的 39%;1992 年 9 月 ~ 2000 年 6 月,泥沙