



长江三峡工程 泥沙问题研究

2001—2005
(第二卷)

三峡水库泥沙淤积研究

国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙专家组
中国长江三峡工程开发总公司三峡工程泥沙专家组

知识产权出版社

长江三峡工程泥沙问题研究 (2001—2005) 第二卷

三峡水库泥沙淤积研究

国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙专家组
中国长江三峡工程开发总公司三峡工程泥沙专家组 编

长江三峡工程泥沙问题研究
(2001—2005)
第二卷

国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙专家组
中国长江三峡工程开发总公司三峡工程泥沙专家组

责任编辑：王红宇、王红宇
封面设计：王红宇、王红宇
出版：中国三峡出版社
地址：北京市西城区
电话：010-68888888
邮编：100000
ISBN 978-7-80188-880-4
定价：90.00元(全卷5卷)

知识产权出版社

图书在版编目(CIP)数据

三峡水库泥沙淤积研究/国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙专家组,中国长江三峡工程开发总公司三峡工程泥沙专家组编. —北京:知识产权出版社,2008.5

(长江三峡工程泥沙问题研究:2001—2005;2)

ISBN 978-7-80198-689-4

I. 三… II. ①中…②国… III. 三峡工程—水库泥沙—水库淤积—研究报告 IV. TV145 TV882.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 045334 号

长江三峡工程泥沙问题研究
(2001—2005)
第二卷

国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙专家组 编
中国长江三峡工程开发总公司三峡工程泥沙专家组

责任编辑/石红华 范 昭
封面设计/赵景伟 段维东
出版发行/知识产权出版社(北京海淀区蓟门桥西土城路6号)
印 刷/北京市兴怀印刷厂
开 本/889毫米×1194毫米 1/16
印 张/49.875
字 数/1490千字
版 次/2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷
印 数/500套
书 号/ISBN 978-7-80198-689-4/T·244
定 价/900元/套(全套6卷)

三峡工程泥沙专家组

顾 问 林秉南 谢鉴衡
组 长 张 仁
副组长 戴定忠
成 员 陈济生 韩其为 潘庆燊 荣天富 谭 颖 王桂仙 谢葆玲 邓景龙
李昌华 唐存本 曹叔尤

三峡工程泥沙专家组秘书组

组 长 戴定忠(兼)
副组长 谭 颖(兼) 胡春宏
成 员 王桂仙(兼) 朱光裕 范 昭

三峡工程泥沙专家组联络员

曹文洪 卢金友 陈松生 周建红 窦希萍 陈 立 纪国强 潘育明 安凤玲
韩 飞 李国斌 王永忠 胡向阳

出版说明

在“九五”(1996—2000)长江三峡工程泥沙问题研究计划完成后,国务院三峡工程建设委员会办公室(简称三峡建委办)和中国长江三峡工程开发总公司(简称三峡总公司)共同出版了《长江三峡工程泥沙问题研究》(1996—2000)1~8卷本(由知识产权出版社出版并出电子版)。2000年4月起三峡工程泥沙专家组及相关的科研工作由三峡建委办转归三峡总公司管理。在三峡总公司的领导和支持下,制订了“十五”(2001—2005)计划。其中坝下游限到杨家脑河段,距葛洲坝工程约90km。杨家脑以下河段未再列入本次计划(分工由水利部另行考虑)。

2001年1月三峡总公司以三峡技字[2001]12号文“关于长江三峡工程‘十五’期间(2001—2005)泥沙问题研究计划的复函”,原则同意该计划共设5个专题:

- 105-1 三峡水库上游来水来沙的变化及其影响研究;
- 105-2 三峡水库泥沙淤积研究;
- 105-3 三峡工程坝区泥沙问题研究;
- 105-4 三峡水库下游河道演变及对策研究;
- 105-5 课题研究成果综合分析。

此后,三峡总公司还专门委托进行了“2007年蓄水位方案泥沙专题研究”。各项研究的具体内容是在“九五”计划的基础上,紧密结合工程建设和运行的新进展和新需求来安排的。

“十五”计划的研究工作,在三峡总公司的支持下,经过各承担单位的共同努力,已经全面完成各项任务。各项成果经泥沙专家组评议后,由三峡总公司按合同要求进行了验收。为了与“九五”研究成果相衔接,“十五”的研究成果文集仍沿用原名,仅将年份更改,即为《长江三峡工程泥沙问题研究》(2001—2005)。上述每个专题编为一卷,共六卷:

- 第一卷 三峡水库上游来水来沙的变化及其影响研究;
- 第二卷 三峡水库泥沙淤积研究;
- 第三卷 三峡工程坝区泥沙问题研究;
- 第四卷 三峡水库下游河道演变及对策研究;
- 第五卷 2007年蓄水位方案泥沙专题研究;
- 第六卷 长江三峡工程“十五”泥沙研究综合分析。

本书第一至第五卷汇集的是各单位的研究成果。有个别文章持有不同观点,未强求一致,尊重作者的看法,但不代表泥沙专家组的意见或观点。第六卷综合分析报告是由专家组组织编写、经集体讨论写成的。全书编审工作在泥沙专家组顾问林秉南院士、谢鉴衡院士,组长张仁教授指导下进行。参加各卷编审工作的有戴定忠、陈济生、韩其为、潘庆燊、荣天富、谭颖、王桂仙、谢葆玲、邓景龙、唐存本、曹叔尤。承担主要编辑工作的有戴定忠、谭颖、潘庆燊、胡春宏、王桂仙、朱光裕、范昭。各有关单位及曹文洪、卢金友、陈松生、周建红、窦希萍、陈立、纪国强、潘育明、安凤玲等为“十五”计划的完成和本书的编辑出版做出了贡献,特此致谢。

限于水平,错误与遗漏在所难免,敬请批评指正。

编者
2007年4月

目 录

三峡水库淤积计算分析	
..... 长江科学院 中国水利水电科学研究院 清华大学 长江勘测规划设计研究院(1)	
三峡水库水位逐步上升方案及上游建水库拦沙后联合调度的方案研究	
..... 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院(60)	
三峡水库动、静库容比较分析	长江水利委员会长江勘测规划设计研究院(66)
三峡水库蓄水位逐步上升方案水库淤积计算分析	长江水利委员会长江科学院(72)
上游建库后三峡水库淤积计算分析	长江水利委员会长江科学院(97)
三峡水库运用不同时期水库静、动库容计算	长江水利委员会长江科学院(111)
三峡工程施工期水库泥沙淤积验证计算	长江水利委员会长江科学院(127)
三峡水库淤积计算分析	中国水利水电科学研究院(131)
三峡水库蓄水后水库、径流、泥沙、运行和水库泥沙数学模型验证等相关问题研究	
..... 清华大学水利水电工程系(151)	
重庆主城区河段走沙规律分析	长江水利委员会长江科学院 长江水利委员会水文局(209)
重庆主城区河段泥沙冲淤变化对港口、航道的影响及治理措施研究报告	
..... 西南水运工程科学研究所(240)	
长江上游建库对重庆主城区河段泥沙淤积影响河工模型试验研究报告	
..... 长江水利委员会长江科学院(273)	
三峡工程运行初期重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告	长江水利委员会长江科学院(303)
三峡水库回水变动区重庆主城区河段泥沙冲淤变化对防洪航运影响及对策研究	
..... 南京水利科学研究院(341)	
三峡水库变动回水区重庆主城区河段泥沙模型设计和验证试验报告	
..... 清华大学水利水电工程系(359)	
三峡水库变动回水区重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告	
——正常调度运行 30 年	清华大学水利水电工程系(374)
三峡水库变动回水区重庆主城区河段泥沙模型试验研究报告	
——分期蓄水和汛后推迟蓄水方案	清华大学水利水电工程系(401)
2003 年蓄水后回水末端冲淤变化与航道条件调查研究及对比分析	长江航道局(426)
重庆主城区河段走沙规律研究	长江航道局(447)
重庆主城区及以上河段采砂调查与推移质输沙量变化研究	
..... 长江水利委员会长江上游水文水资源勘测局(465)	
2003 年蓄水前后库区泥沙原型观测成果分析	长江水利委员会长江科学院(484)
三峡库区泥沙淤积规律分析报告	长江水利委员会长江科学院(577)
三峡库区变动回水区冲淤分析报告	长江水利委员会长江科学院(615)
2003 年蓄水前后重庆主城区河段冲淤及走沙冲淤分析报告	
..... 长江水利委员会长江科学院 中国水利水电科学研究院(634)	
三峡水库 2003 年蓄水初期库区泥沙淤积计算分析	长江水利委员会长江科学院(659)
三峡工程库区水面比降及糙率分析	长江水利委员会长江科学院(668)
三峡库区 2003 年蓄水前后泥沙原型观测成果分析	长江水利委员会水文局(676)

三峡水库淤积计算分析

长江科学院 中国水利水电科学研究院
清华大学 长江勘测规划设计研究院

1 前言

三峡工程初期蓄水运用已近3年,2006年水库将按156m蓄水位方案运用,以后库水位上升方案如何确定,何时上升到175m,尤为国内外所关注。由于国民经济发展的需要,我国西部水电开发利用加速,特别是长江上游溪洛渡水电站已开工建设、向家坝水电站等大型水电工程的兴建也势在必行。这些水库建成后,在一定时间内,拦截部分泥沙,对减少三峡水库泥沙淤积,特别是对减少三峡水库变动回水区的泥沙淤积,将起到良好的作用。为此开展三峡水库蓄水位不同上升方案,考虑减淤措施的双汛限、多汛限调度方式的水库淤积计算,上游建溪洛渡、向家坝和亭子口水库后三峡水库淤积计算以及三峡水库库容计算,分析研究三峡水库淤积量、淤积分布、水库运用不同时段水库静、动库容,以及变动回水区洪水位变化趋势等,为制定三峡水库近期蓄水方案,以便尽早发挥三峡工程防洪、发电、航运等效益提供依据,非常重要而迫切。本报告是“水库淤积计算分析”(105-2-1)子题的总报告。

2 三峡水库库区概况

2.1 库区河道概况

三峡水库正常蓄水位为175m,相应的库区范围从坝址至上游660~760km(江津—朱沱之间),库区面积1084km²。图2-1-1为库区朱沱至坝址段的示意图。三峡水库穿行于川东低山丘陵和川鄂中低山峡谷区,根据河道地形地貌特征,库区朱沱至坝址可分为以下四段:

朱沱至江津油溪段,长约100km,两岸为起伏平缓的丘陵,地质构造为宽广的复向斜,没有峡谷,地形平缓,河床开阔,枯水河宽300~500m,洪水河宽600~1000m,河床组成多为卵石,部分滩口的江底层为岩盘。

江津油溪至涪陵段,长222km,沿江地势起伏较大。长江自西向东依次横切6个背斜山脉,形成华龙峡、猫儿峡、铜锣峡、明月峡、黄草峡、剪刀峡等著名峡谷。当经过向斜谷地后河谷宽广,故本河段峡谷与宽谷交替出现,江面宽窄悬殊,最宽处达1500m,最窄处仅250m。峡谷一般不长,江面狭窄,谷坡陡峭,基岩裸露,两岸山峰矗立,高出江面300~400m;宽谷段江面开阔,岸坡缓坦,水道弯曲,两岸山峰距江较远,阶地发育,河漫滩宽,江心常有石岛,岸边则多碛坝。峡谷水急,宽谷多滩,大水阻于峡,小水阻于滩,无论大水小水,航行都不便,唯中水较佳。

涪陵至奉节段,长约323km,其中上段长江流向东北,至万州市急转东,到白帝城入三峡。河段内河

报告编写人:黄悦 卢金友 胡向阳 毛继新 周建军 纪国强

编写日期:2006年5月

项目负责人:卢金友 黄悦 董耀华

主要参加人:龙超平 张杰 黄仁勇 李荣辉 方春明 鲁文 钟正琴 李文俊 张先平 黄国鲜 金勇

谷基本沿向斜层发育,流向与构造线一致。谷地宽阔,江面最宽处达 1500~2000m,谷坡平缓,河道弯曲,磧坝很多,两岸丘陵起伏,支沟稠密。万州市以下的巴阳峡,系长江下切石质河漫滩造成,江面窄,水流急,奉节稍上是关刀峡,宽仅 150~200m,至奉节河谷又放宽。

奉节至坝址长 167 余公里,为著名的三峡河段,由瞿塘峡、巫峡、西陵峡三个主要峡谷段组成。峡谷为中、高山峡谷,峡谷间为低山丘陵宽谷,白帝城至庙河为碳酸盐岩夹碎屑岩中山峡谷库段,庙河至坝址为结晶岩低山丘陵宽谷段。峡谷段江面狭窄,岸壁陡峭,基岩裸露,河宽一般为 200~300m,最窄处仅 100 余米;宽谷段江面比较开阔,岸壁平缓,汛期河宽一般达 600~800m,个别达 1000~1500m。峡谷上游的开阔段,往往形成峡口滩,呈汛期淤积、汛后冲刷的周期性冲淤变化。两岸溪流入汇,且来沙颗粒较粗,停于溪口,形成溪口滩。滩段或束窄江流,或流势险恶,或形成跌水,成为碍航的急流滩或险滩。葛洲坝枢纽修建后,其中大部分滩险已被淹没或得到改善。

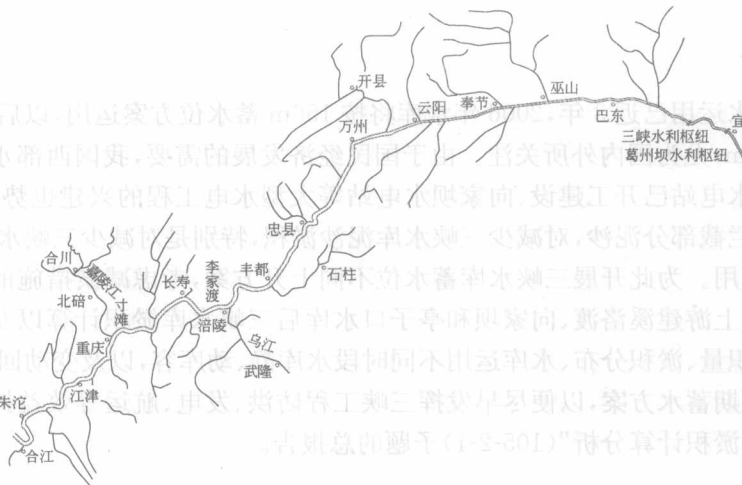


图 2-1-1 三峡水库库区示意图

库区河道水面比降大,水流湍急。江津至长寿河段水面比降为 2.29‰~1.79‰,随着流量增大而减小;长寿至丰都河段为 2.15‰~1.65‰,随流量增大而增大;丰都至奉节河段为 1.9‰~0.98‰,随流量增大而减小;奉节至坝址为 3.17‰~2.07‰,随流量增大而增大。平均水面比降约为 2‰,急流滩处水面比降达 10‰以上。由于河谷宽窄相间,在峡谷上游的宽阔河段,汛期峡谷壅水,卵石输移率减小,而枯期则增大;峡谷段则相反。

2.2 干流库区形态特征

三峡水库受河道地形地貌约束,库面平面形态宽窄相间(图 2-2-1),除坝区段和峡谷河段外,大部分库段库面宽度不超过 1000m,宽于 1000m 的库段大都分布在万州至忠县库段内。水库淤积前干流库区纵剖面深泓变化较大,一般峡谷段深泓高程较低,宽谷段的深泓高程相对较高,平均深泓变幅在 11~67m,呈锯齿形态(图 2-2-2)。由图 2-2-2 看出,奉节至坝址段的巫峡深泓最低点达到 -34m,平均最低与最高点变幅大于 77m,丰都河段的灶门子附近深泓最低点达到 44.5m,最低与最高点变幅大于 80m。断面特征值宽深比(\sqrt{B}/H ,下同)自坝前至库尾由小变大(图 2-2-3)。随着蓄水位上升,库面宽度也相应增加,而宽深比则相对变小。不同蓄水位库区各段平均库面宽度及平均宽深比见表 2-2-1,表中数值均以水库运用前的起始地形计算,未计入泥沙淤积量。

三峡水库坝区段(太平溪至坝址)库面较宽,坝前水位 139m 时,该段库面平均宽度为 1904m,相应的平均宽深比为 0.80;坝前水位达到 175m 时,该段库面宽度相应增加,而宽深比则相对减小,平均库面宽度为 2387m,平均宽深比为 0.64。

奉节白帝城至太平溪段主要为峡谷河段,区间有诸多中小支流和小溪入汇,形成较宽的溪口滩。坝前水位 139m 时,该段峡谷段平均库面宽度为 566m,相应的平均宽深比为 0.35;宽谷河段平均库面宽度为

表 2-2-1 三峡工程蓄水后干流库区各库段断面特性

干流库段	河谷类型	坝前水位 139m			坝前水位 156m			坝前水位 175m		
		平均河宽 B(m)	平均水深 H(m)	\sqrt{B}/H	平均河宽 B(m)	平均水深 H(m)	\sqrt{B}/H	平均河宽 B(m)	平均水深 H(m)	\sqrt{B}/H
朱沱-朝天门	宽谷	472	5.48	3.97	472	5.48	3.97	558	6.93	3.41
	峡谷	242	30.56	0.51	242	30.56	0.51	249	30.82	0.51
朝天门-涪陵	宽谷	460	6.85	3.13	672	10.76	2.41	930	24.96	1.22
	峡谷	269	27.80	0.59	305	31.02	0.56	402	39.31	0.51
涪陵-忠县	宽谷	813	12.61	2.26	987	27.46	1.14	1125	42.51	0.79
忠县-万州段	宽谷	879	28.40	1.04	1047	39.70	0.82	1232	51.47	0.68
万州-白帝城	宽谷	1044	42.57	0.76	1173	53.77	0.64	1317	65.74	0.55
	峡谷	638	44.71	0.57	720	56.02	0.48	829	66.65	0.43
白帝城-太平溪	宽谷	1054	68.06	0.48	1135	79.64	0.42	1225	92.11	0.38
	峡谷	566	68.17	0.35	623	78.49	0.32	684	89.87	0.29
太平溪-坝址	宽谷	1904	54.27	0.80	2224	61.81	0.76	2387	76.22	0.64

注:入库流量为 4100m³/s。

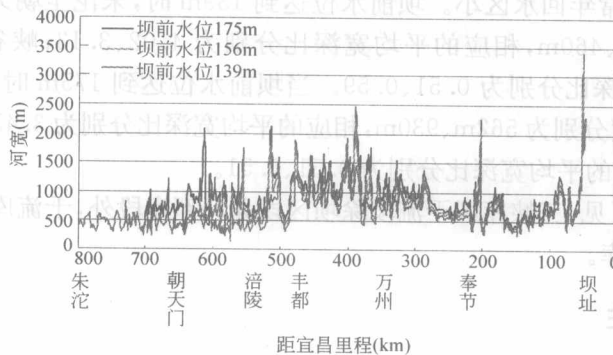


图 2-2-1 三峡水库淤积前干流库区库面宽度变化

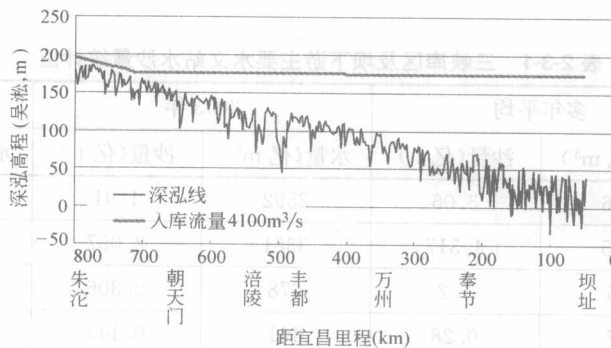


图 2-2-2 三峡水库淤积前干流库区纵剖面深泓图

1054m,相应的平均宽深比为 0.48。当坝前水位达到 175m 时,该段峡谷段平均库面宽度为 684m,相应的平均宽深比为 0.29;宽谷河段平均库面宽度为 1225m,相应的平均宽深比为 0.38。

万州沱口至奉节白帝城段为开阔至峡谷过渡段,库面宽度比下游段稍宽。坝前水位 139m 时,峡谷段平均库面宽度为 638m,相应的平均宽深比为 0.57;宽谷河段平均库面宽度为 1044m,相应的平均宽深比

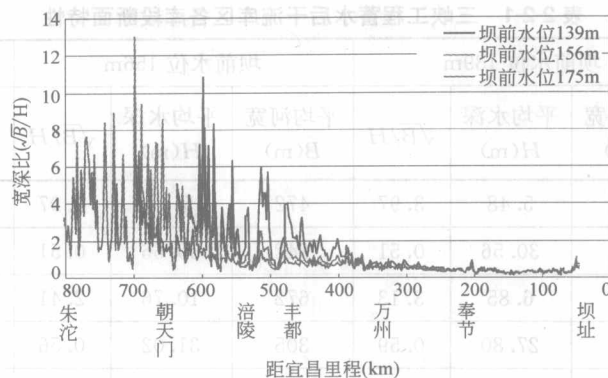


图 2-2-3 三峡水库淤积前干流库区宽深比

为 0.76。当坝前水位达到 175m 时,峡谷段平均库面宽度为 829m,相应的平均宽深比为 0.43;宽谷段平均库面宽度为 1317m,相应的平均宽深比为 0.55。

涪陵至万州沱口段主要为开阔段或宽谷河段,库面较宽。坝前水位 139m 时,涪陵至忠县段平均库面宽度为 813m,相应的平均宽深比为 2.26;忠县至万州段平均库面宽度为 879m,相应的平均宽深比为 1.04。当坝前水位达到 175m 时,涪陵至忠县段平均库面宽度为 1125m,相应的平均宽深比为 0.79;忠县至万州段平均库面宽度为 1232m,相应的平均宽深比为 0.68。

朱沱至涪陵段为平缓的丘陵河段和宽谷与峡谷交替段,处于变动回水区,蓄水后该段水位抬高相对比下游段少,库面宽度较库区常年回水区小。坝前水位达到 139m 时,朱沱至朝天门、朝天门至涪陵宽谷段平均库面宽度分别为 476m、460m,相应的平均宽深比分别为 4.02、3.13;峡谷段平均库面宽度分别为 242m、269m,相应的平均宽深比分别为 0.51、0.59。当坝前水位达到 175m 时,朱沱至朝天门、朝天门至涪陵宽谷河段平均库面宽度分别为 562m、930m,相应的平均宽深比分别为 3.45、1.22;峡谷段平均库面宽度分别为 249m、402m,相应的平均宽深比分别为 0.51、0.51。

由以上库区形态分析可见,三峡库区干流段除坝区段和局部库段外,干流库区库面宽度一般为 700~1700m,为典型的河道型水库。

2.3 水库来水来沙特性

三峡水库径流丰沛,但年内分布不均,主要集中在汛期。蓄水前库区控制站寸滩和坝下游宜昌站年径流量多年平均值为 3475 亿 m^3 和 4369 亿 m^3 ,79% 的径流量集中在汛期 5~10 月(1950~2002 年统计值)。

表 2-3-1 三峡库区及坝下游主要水文站水沙量统计值

站名	多年平均		2003 年		2004 年	
	水量(亿 m^3)	沙量(亿 t)	水量(亿 m^3)	沙量(亿 t)	水量(亿 m^3)	沙量(亿 t)
朱沱	2696	3.06	2592	1.91	2676	1.64
寸滩	3475	4.317	3361	2.057	3315	1.73
北碚	655	1.2	678	0.306	516	0.175
武隆	497	0.28	461	0.144	510	0.108
清溪场	4052	4.47	3918	2.114	3897	1.66
万州(沱口)	4195	4.74	3970	1.641	3941	1.29
黄陵庙(坝下游)			4094	0.886	4126	0.637
宜昌(坝下游)	4369	4.92	4100	0.979	4141	0.64

注:表中朱沱、寸滩、宜昌站统计年份为 1950~2002 年,其他站从有资料的年份起至 2000 年。

库区河道泥沙输移以悬移质运动为主,年输沙量较大。寸滩站悬移质年输沙量多年平均值为 4.317 亿 t,宜昌站为 4.92 亿 t(1950~2002 年统计值)。寸滩站多年平均含沙量为 1.33kg/m³,宜昌站为 1.125kg/m³。泥沙输移集中在汛期 5~10 月,输沙量占全年的 95.5%。

20 世纪 90 年代以来,长江上游年水量变化不大,但年输沙量呈减少趋势,特别是 2003 年三峡水库蓄水后,年输沙量减少更多,2003 年、2004 年长江干流年输沙量(朱沱站)分别为 1.91 亿 t 和 1.64 亿 t;支流嘉陵江年输沙量减少更多,2003 年、2004 年年输沙量分别为 0.306 亿 t 和 0.175 亿 t(北碚站),相对多年平均值分别减少 75%和 85%;乌江年输沙量也有减少,2003 年、2004 年年输沙量分别为 0.144 亿 t 和 0.108 亿 t(武隆站),相对多年平均值分别减少 49%和 61%(表 2-3-1),主要受三峡水库上游建库、水土保持工程和其他因素的影响。

3 三峡水库泥沙淤积计算方案拟定

以初步设计的分期蓄水方案为基础,结合工程防洪、发电、航运等综合利用任务,以合理可行为原则,拟定水库蓄水位逐步抬升的组合方案。

三峡工程规模巨大,逐步抬高蓄水位运用,可及早发挥工程的综合利用效益。根据当前入库泥沙及水库淤积的情态,有可能在按初期 156m 水位方案运用基础上尽早达到按 175m 水位方案运用的目标。

3.1 水库蓄水位上升方案

3.1.1 蓄水位组合方案

依据以上原则,拟定不同蓄水位及相配套的汛期防洪限制水位、枯水期最低消落水位的方案。

- (1)蓄水位 165m 方案:汛期防洪限制水位 135m,枯水期最低消落水位 140m(165~135~140m)。
- (2)蓄水位 172m 方案:汛期防洪限制水位 143m,枯水期最低消落水位 152m(172~143~152m)。
- (3)蓄水位 175m 方案:汛期防洪限制水位 145m,枯水期最低消落水位 155m(175~145~155m)。

3.1.2 蓄水位上升方案

根据水位上升原则和特征水位分析,结合三峡工程施工进度,拟定三种水库蓄水位上升方案。

(1) 基本方案

2003 年 6 月 15 日至 2006 年 9 月 30 日坝前水位按 135m 常年运用;2006 年 10 月 1 日至 2013 年 9 月 30 日坝前水位按 156~135~140m 方案运用;2013 年 10 月 1 日以后坝前水位按 175~145~155m 方案运用。

(2) 坝前水位逐步上升方案 A

2003 年 6 月 15 日至 2006 年 9 月 30 日坝前水位按 135m 常年运用;2006 年 10 月 1 日至 2009 年 9 月 30 日坝前水位按 156~135~140m 方案运用;2009 年 10 月 1 日至 2013 年 9 月 30 日坝前水位按 165~135~140m 方案运用;2013 年 10 月 1 日以后坝前水位按 175~145~155m 方案运用。

(3) 坝前水位逐步上升方案 B

2003 年 6 月 15 日至 2006 年 9 月 30 日坝前水位按 135m 常年运用;2006 年 10 月 1 日至 2009 年 9 月 30 日坝前水位按 156~135~140m 方案运用;2009 年 10 月 1 日至 2013 年 9 月 30 日坝前水位按 172~143~152m 方案运用;2013 年 10 月 1 日以后坝前水位按 175~145~155m 方案运用。

以上拟定的三峡水库蓄水位逐步上升方案,有利于尽快发挥工程的综合利用效益。在防洪方面,汛期水库的防洪库容可逐步增加;在发电方面,发电水头的提高和调节库容的增大将增加发电效益;在航运方面,抬高了库区通航水位,增加了库区航道改善长度,加大了枯水期下泄流量。上述三种上升方案可简化表示如表 3-1-1。

蓄水位 156~135~140m 方案、165~135~140m 方案、172~143~152m 方案、175~145~155m 方案坝前水位调度过程见图 3-1-1,相应的水库下泄流量过程见图 3-1-2。

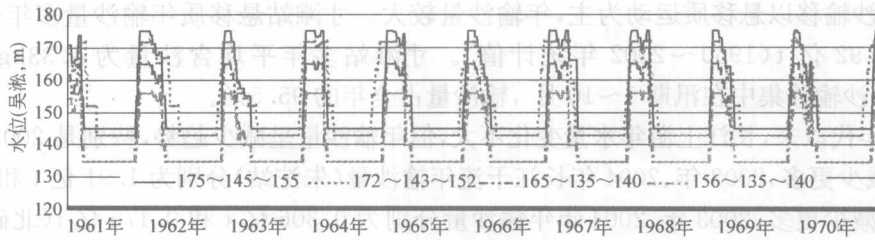


图 3-1-1 三峡水库不同运用方式坝前水位过程

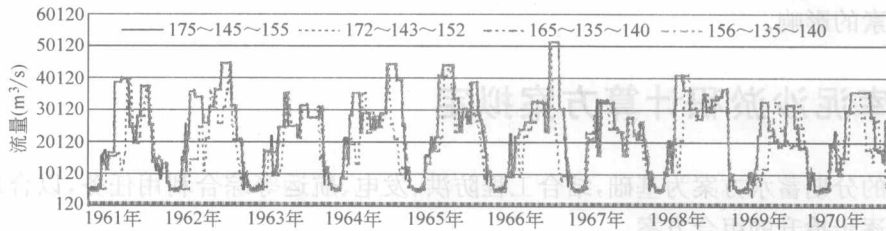


图 3-1-2 三峡水库不同运用方式下泄流量过程

表 3-1-1 不同蓄水位上升方案各时段的水位表

方案名称	2003 年 6 月~ 2006 年 9 月	2006 年 10 月~ 2009 年 9 月	2009 年 10 月~ 2013 年 9 月	2013 年 10 月以后
基本方案	135m	156~135~140m		175~145~155m
上升方案 A	135m	156~135~140m	165~135~140m	175~145~155m
上升方案 B	135m	156~135~140m	172~143~152m	175~145~155m

3.2 双汛限、多汛限水位调度方案

三峡水库蓄水运用后,泥沙淤积将导致库容损失。为了减少库区淤积,增加防洪库容,在汛期采用有条件的降低水位运用,即双汛限、多汛限水位调度方式,以排走更多的泥沙,使三峡水库保持更大的防洪库容。为此,采用长江设计院拟定的双汛限、多汛限水位调度方案进行水库淤积计算。

(1) 双汛限方案 1

当坝址流量超过 $45000\text{m}^3/\text{s}$,并且依据来水趋势预计其后将出现超过 $50000\text{m}^3/\text{s}$ 流量时,开始实施预泄,预泄流量按不超过 $50000\text{m}^3/\text{s}$ 控制,同时维持较低的坝前水位($135\sim 137\text{m}$)以利排沙。在洪水退水阶段,当来量不超过 $45000\text{m}^3/\text{s}$ 时,下泄流量按 $15000\text{m}^3/\text{s}$ 控制,并使坝前水位尽快回蓄至 145m 。坝前水位调度过程见图 3-2-1,相应出库流量过程见图 3-2-2。由图看出,计算系列年(1961~1970 年)中,出现汛期入库流量(寸滩)大于 $50000\text{m}^3/\text{s}$ 的年份有 1961 年、1962 年、1966 年和 1968 年,四年中有 8 次可按第二汛限水位运用,即坝前水位由 145m 降至 $135\sim 137\text{m}$,其他时段仍按汛限水位 145m 运行。

(2) 双汛限方案 2

当预报坝址流量超过 $45000\text{m}^3/\text{s}$,并且依据来水趋势预计其后将出现超过 $55000\text{m}^3/\text{s}$ 流量时,即开始实施预泄,预泄流量按不超过 $50000\text{m}^3/\text{s}$ 控制,汛限水位调度方式同双汛限方案 1。坝前水位及下泄流量过程见图 3-2-1、图 3-2-2。在计算系列年中,汛期入库流量(寸滩)大于 $55000\text{m}^3/\text{s}$ 的年份有 1962 年、1966 年和 1968 年,这三年中有 3 次可按第二汛限水位运用($135\sim 137\text{m}$),其他时段仍按汛限水位 145m 运行。

(3) 多汛限方案 1

多汛限水位调度方式按坝址流量不超过 $25000\text{m}^3/\text{s}$ (电站机组满发流量),并且依据来水趋势预计其后连续数天将不超过 $25000\text{m}^3/\text{s}$ 流量,即开始减少泄量使坝前水位从 145m 蓄至 148m ;当坝址流量超过

25000m³/s,并且依据来水趋势预计其后连续数天将超过 25000m³/s 流量时,加大泄量使坝前水位从 148m 降至 145m;在坝前水位为 145m 运行时,当坝址流量超过 45000m³/s,下泄流量按不超过 45000m³/s 控制,坝前水位最低至 143m,维持较低的库水位进行排沙;在洪水退水时段,当来量小于 40000m³/s 时,坝前水位尽快回蓄至 145m。汛期 6~9 月按汛限水位 148m、145m、143m 控制运用,坝前水位调度过程见图 3-2-3。

(4) 多汛限方案 2

在多汛限方案 1 基础上,对多汛限方案 1 进行优化,选择汛期洪峰最大的一年(1966 年,洪峰流量 59600m³/s),在洪峰时段进一步降低坝前水位至 135~137m 以加大排沙能力,其他年汛期水位调度方式同多汛限方案 1 不变,汛期 6~9 月按汛限水位 148m、145m、143m 和 135m 控制运用(图 3-2-3)。

(5) 多汛限方案 3

为了分析洪峰时段降低坝前水位至 135m 的库区冲刷效果,在基本方案 1 的基础上,选择汛期洪峰最大的 1966 年型进行低水位运用,即洪峰流量大于 55000m³/s 时坝前水位降低至 135~137m 以加大排沙能力,其他汛期汛限水位仍按 145m 控制(图 3-2-4)。

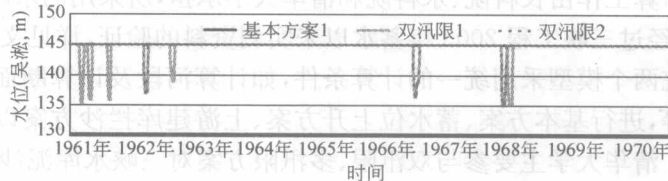


图 3-2-1 双汛限方案坝前水位过程(6~9月)

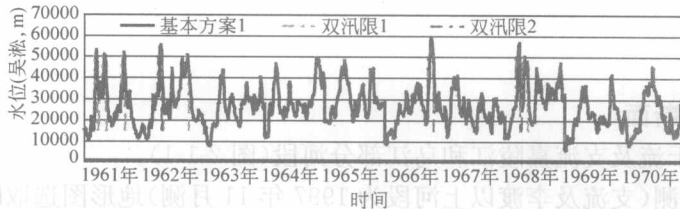


图 3-2-2 双汛限方案下泄流量过程(6~9月)



图 3-2-3 多汛限方案 1、多汛限方案 2 坝前水位过程(6~9月)

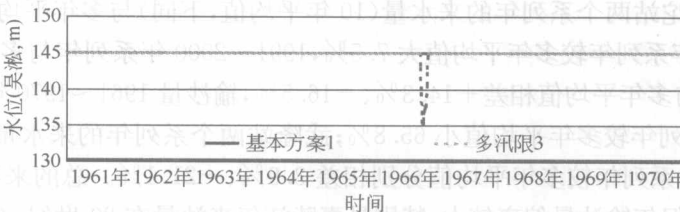


图 3-2-4 多汛限方案 3 与基本方案 1 坝前水位过程(6~9月)

3.3 上游建库方案

长江泥沙主要来自宜昌以上的上游地区,金沙江和嘉陵江是长江上游泥沙的主要来源。据 1952~

2002年资料统计,寸滩站悬移质年输沙量多年平均值为4.317亿t,宜昌站为4.92亿t。朱沱站多年平均输沙量为3.06亿t,占宜昌站的60.9%;嘉陵江北碛站多年平均输沙量1.2亿t,占宜昌站的24.0%。根据目前长江上游干支流水电的开发形势,研究溪洛渡、向家坝、亭子口等大型水库与三峡水库联合运用,对三峡水库泥沙淤积的影响。

(1) 上游建库方案 A

三峡水库运用前12年同基本方案,从2015年1月1日起考虑溪洛渡、向家坝枢纽同时运用至2102年12月31日。

(2) 上游建库方案 B

三峡水库运用前12年同基本方案,从2015年1月1日起同时考虑溪洛渡、向家坝枢纽运用,2018年1月1日起再加入亭子口枢纽运用至2102年12月31日。

4 三峡水库泥沙淤积一维数学模型计算

三峡水库泥沙淤积计算工作由长科院、水科院和清华大学承担,所采用的水库淤积一维恒定及非恒定不平衡水沙数学模型,均经过三峡工程2003年蓄水以来实测资料的验证,详见文献[1]、[2]、[3]。水库淤积计算中,长科院、水科院两个模型采用统一的计算条件,如计算河段及计算断面、三峡水库入库水沙、水库蓄水方式及水库调度等,进行基本方案、蓄水位上升方案、上游建库拦沙方案以及考虑双汛限和多汛限等方案的水库淤积计算。清华大学主要参与双汛限、多汛限方案对三峡水库泥沙淤积的影响研究,计算采用一维非恒定水流泥沙数学模型,计算条件及方案与前两个模型有所不同。以下分述三个模型的计算成果及综合比较分析。

4.1 计算条件

4.1.1 计算河段及计算断面

计算河段包括长江干流及支流嘉陵江和乌江部分河段(图2-1-1)。

根据2003年3月实测(支流及李渡以上河段为1997年11月测)地形图选取断面:长江干流自朱沱至三斗坪坝址,河段全长约760km,剖取计算断面370个,平均2.1km一个断面;嘉陵江自北碚至入汇口,长61.3km,剖取断面26个,平均2.4km一个断面;乌江自武隆至入汇口,长67.7km,剖取断面36个,平均1.9km一个断面。

4.1.2 入库水沙条件

(1) 入库水沙系列年

以1961~1970年系列年和1991~2000年系列年长江干流朱沱站、嘉陵江北碛站、乌江武隆站的水沙资料作为入库水沙控制条件(表4-1-1)。出库流量及坝前水位为水库调度演算值(由长江设计院提供)。入库流量与出库流量之差,在涪陵与坝址之间按距离分配。

由表4-1-1看到,朱沱站两个系列年的来水量(10年平均,下同)与多年平均值相近,输沙量(10年平均,下同)1961~1970年系列年较多年平均值大7.5%,1991~2000年系列年与多年平均值接近;北碛站两个系列年的来水量分别与多年平均值相差+14.3%、-16.5%,输沙量1961~1970年系列年较多年平均值大49.3%,1991~2000年系列年较多年平均值小65.8%;武隆站两个系列年的来水量分别与多年平均值相差2.6%、8.1%,输沙量两个系列年较多年平均值分别相差3.9%、-21.1%。总的来看,两个系列年的年水量与多年平均值偏离较小,但年输沙量偏离较大,特别是嘉陵江年来沙量在20世纪90年代变化较大。两个系列年的来水来沙量与多年平均值比,1961~1970年系列年的水沙条件较接近多年平均值。

(2) 入库泥沙级配换算

1986年以后,长江流域悬移质粒径小于0.07mm的泥沙颗粒分析方法由粒径计法(简称“粒”)改为移液管法(即吸管法,简称吸),而以往数学模型的参系数包括挟沙力系数、泥沙沉降速度等均由1986年以前

表 4-1-1 三峡水库入库控制站年水沙量统计表

年份	朱 沱		北 碚		武 隆	
	年水量(亿 m ³)	年输沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年输沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年输沙量(亿 t)
1961	2765	4.2	898.7	1.72	425.6	0.116
1962	2964	3.34	652.1	1.06	444.7	0.12
1963	2531	2.38	875.4	1.72	493.6	0.328
1964	2962	3.12	986.6	2.93	679.1	0.421
1965	3257	3.72	704.8	1.72	535.8	0.274
1966	3066	4.23	583	2.19	318.7	0.111
1967	2279	2.233	844.8	2.53	620.5	0.495
1968	2887	5.157	867.2	2.15	571.9	0.303
1969	2050	2.016	505	0.93	506.9	0.438
1970	2401	2.946	576.6	0.979	507.5	0.303
10 年平均	2716	3.334	749.4	1.793	510.4	0.291
1991	2867	4.07	495.9	0.484	492.5	0.26
1992	2399	1.86	723.8	0.748	447.9	0.152
1993	2707	3.18	739	0.626	509.1	0.205
1994	2087	1.73	483.5	0.19	394.3	0.0751
1995	2642	2.99	472.6	0.348	583.2	0.218
1996	2504	2.49	420.9	0.135	657.5	0.358
1997	2374	3.19	308.1	0.061	537.2	0.164
1998	3170	4.84	709	0.99	574.5	0.317
1999	3059	3.38	529.3	0.164	601.9	0.235
2000	2882	2.77	593.1	0.363	579.7	0.225
10 年平均	2669	3.05	547.5	0.411	537.8	0.221
多年平均	2696	3.06	654.9	1.158	497.5	0.273

注:朱沱站 1967~1970 年实测资料不全,系插补值。多年平均统计年份至 2002 年。

实测的泥沙颗粒级配(粒径计法)率定得到。因此,为便于对历年数学模型计算成果作比较,对 1986 年以后的泥沙颗粒分析资料采用粒径计法(粒)与移液管法(吸)关系式换算。根据长江委水文局的研究成果^[4],选用长江上游干流的计算式

$$D_{吸} = 1.26D_{粒}^{1.32}$$

或

$$D_{粒} = 0.839D_{吸}^{0.758}$$

换算。该式适用于粒径小于 0.10mm 的泥沙。

三峡水库入库控制站朱沱、北碚、武隆 1992~2000 年年平均级配曲线的粒径(移液管法),经上式换算成粒径计法的粒径值见表 4-1-2。

表 4-1-2 移液管法与粒径计法分析的粒径

类 别	粒 径 组 (mm)				
	0.004	0.008	0.016	0.031	0.062
实测 $D_{吸}$	0.013	0.022	0.037	0.060	0.102
修正 $D_{粒}$	0.004	0.008	0.016	0.031	0.062

由表 4-1-2 看到,换算后的泥沙粒径大于 0.01mm,尚缺小于 0.005mm 和 0.005~0.01mm 两组,在没有资料的条件下,暂时按换算后的粒配曲线延伸确定。

(3) 考虑溪洛渡、向家坝、亭子口水库拦沙作用

向家坝、溪洛渡水库蓄水运用后,水库拦截了大量的悬移质泥沙及全部推移质泥沙。向家坝水库坝址至朱沱河段全长 279km,河床组成为卵石河床,床沙中 $d \leq 1\text{mm}$ 的泥沙含量甚微,因此向家坝、溪洛渡水库蓄水运用后,悬移质泥沙较之天然情况明显减少。根据计算成果分析^[5],由于向家坝水库上游建有溪洛渡水库,两库同时运行 10~60 年,拦沙率为 60%~63%(与朱沱站 1961~1970 年 10 年平均值 3.33 亿 t 比较),二库同时运用至 90 年,拦沙率为 46.1%(表 4-1-3),朱沱站悬移质输沙量仍未恢复到建库前的状态。

根据亭子口水库运用 1~90 年泥沙淤积计算成果分析^[6],亭子口水库建成运用后,北碚站悬移质输沙量较不建亭子口水库时的年输沙量(1961~1970 年 10 年平均值 1.79 亿 t)有所减少,当亭子口水库运用 10 年时,北碚站悬移质泥沙较建库前减少 31%;亭子口水库运用至 40 年末,北碚站悬移质泥沙减少 27.3%;水库运用至 90 年末,北碚站悬移质泥沙仍未达到建库前实测值,悬移质泥沙减少 18.3%(表 4-1-3)。

表 4-1-3 不同建库方案三峡水库入库沙量变化(10 年平均值)

单位:亿 t

运用年限 (年)	朱沱 1961~1970 年平均沙量	溪洛渡、向家坝水库运 用后干流入库沙量	拦沙率 (%)	北碚 1961~1970 年 平均沙量	亭子口水库运用后 嘉陵江入库沙量	拦沙率 (%)
1~10 年	3.333	1.258	62.3	1.79	1.24	31.0
10~20 年	3.333	1.258	62.3	1.79	1.25	30.0
21~30 年	3.333	1.277	61.7	1.79	1.28	28.6
31~40 年	3.333	1.303	60.9	1.79	1.30	27.3
41~50 年	3.333	1.327	60.2	1.79	1.33	25.9
51~60 年	3.333	1.365	59.1	1.79	1.36	24.1
61~70 年	3.333	1.445	56.6	1.79	1.39	22.3
71~80 年	3.333	1.590	52.3	1.79	1.44	19.4
81~90 年	3.333	1.798	46.1	1.79	1.46	18.3

4.1.3 时段划分

水库淤积计算时段划分根据选定的 1961~1970 年系列年和 1991~2000 年系列年的年水沙过程(寸滩站),将每年划分为 80 个时段。为了较好反映全年水沙过程和河床变形过程,汛期时段划分较多,时段历时最短为 1 天;枯期时段划分较少,时段历时最长为 11 天。在双汛限、多汛限方案计算中,长科院数学模型的计算时段细化,按一天一个时段计算。

4.1.4 计算方案

三峡水库淤积计算基本方案考虑两个水文系列年:1961~1970 年系列年和 1991~2000 年系列年。不同蓄水位上升方案均按 1961~1970 年系列年考虑,根据不同阶段采用不同蓄水位上升方案组合成 2 个计算方案。为了减少库区淤积,增加防洪库容,在汛期采用有条件的低水位运用,即双汛限、多汛限水位调度方式,以排走更多的泥沙,增加三峡水库的有效库容。为此在三峡水库淤积计算分析中,考虑双汛限、多汛限水位调度方案,分析双汛限、多汛限方案运用对水库的减淤效果。各计算方案具体组合见表 4-1-4。