

长江三峡工程 泥沙问题研究

2001—2005
(第五卷)

2007年蓄水位方案泥沙专题研究

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)
第五卷

2007 年蓄水位方案泥沙专题研究

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

知识产权出版社

图书在版编目(CIP)数据

2007年蓄水位方案泥沙专题研究/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;5)

ISBN 978-7-80198-689-4

I. 2… II. ①中…②国… III. 三峡工程—水库泥沙—研究报告—2007 IV. TV145 TV882.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第045336号

长江三峡工程泥沙问题研究
(2001—2005)
第五卷

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/30.5

字数/913千字

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 潘庆荣 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、潘庆荣、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、潘庆荣、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6月

目 录

三峡工程 2007 年蓄水位方案泥沙专题研究报告和建议	三峡工程泥沙专家组(1)
长江上游岷江及嘉陵江等河流的来水来沙情况和变化趋势调查报告	长江水利委员会水文局、北京国沙科技咨询中心(20)
嘉陵江流域水保措施减沙效益遥感分析	中国水利水电科学研究院遥感技术应用中心(80)
运用水位及设计参数确定初步研究	长江水利委员会长江规划勘测设计研究院(110)
172/170m 蓄水位方案三峡水库泥沙淤积—维数模计算分析	长江科学院(116)
重庆主城区河段二维水沙数模计算分析	长江科学院(152)
172/170m 蓄水位方案三峡水库泥沙淤积计算	中国水利水电科学研究院(174)
重庆河段水流泥沙二维数学模型计算	中国水利水电科学研究院(201)
数学模型初步验证及各蓄水方案的水库淤积计算	清华大学水利水电工程系(245)
重庆主城区河道泥沙模型试验成果报告	西南水运工程科学研究所(286)
重庆主城区河道泥沙模型验证报告	南京水利科学研究院(326)
重庆主城区河段泥沙模型验证试验报告	长江科学院(348)
重庆主城区河道泥沙模型验证试验报告	清华大学(384)
重庆主城区实体模型试验研究报告	清华大学(406)
三峡水库正常蓄水位 170m 或 172m 时通航条件及对策分析研究	长江航道局(447)

三峡工程 2007 年蓄水位方案泥沙专题研究报告和建议

三峡工程泥沙专家组

1 三峡工程“分期蓄水”过程中的泥沙问题

在天然情况下,重庆河段的港口码头区存在着洪淤枯冲的规律。在汛期,重庆地区的九龙坡、朝天门、嘉陵江口等港区前沿都会发生泥沙淤积,在汛末洪水退落时,河道发生冲刷,全年基本上可以达到冲淤平衡。近年来(2002 年和 2003 年)的原型观测还得到了以下的结论:“汛期淤积量大小主要取决于来水来沙条件,一般是来沙量越大,汛期淤积量越多,汛后走沙量也就越大,反之则小。汛后走沙量主要集中在 9 月中旬至 10 月中旬,其走沙量约占当年汛后走沙量的 80% 以上。”^[1]

修建三峡工程后,按设计规定:水库在 10 月 1 日开始蓄水,在一般年份,水库在 10 月底蓄满至正常蓄水位 175m,水库的壅水作用缩短了河道冲刷走沙的时间,使汛期淤积下来的泥沙不能完全冲走,在第二年水库水位消落时,港区前沿就会有边滩裸露,影响码头的正常作业。在三峡工程可行性论证阶段,泥沙专家组提出:“变动回水区的泥沙问题及其对航运的影响已经基本清楚,……以上港口和航道存在的问题可以从优化水库调度、结合港口改造、认真研究整治和疏浚措施,加以解决。”^[2]在综合各方面意见的基础上,三峡工程论证领导小组确定了“分期蓄水”的建设方针,在三峡工程初步设计中规定:“三峡工程开工第 11 年(2003 年),水库水位蓄至 135m,……至第 15 年(2007 年),水库开始按初期蓄水位 156m 运行。初期蓄水位 156m 运行若干年后,水库再抬高至最终正常高水位 175m 运行。初期蓄水位运用的历时,可根据水库移民安置情况,库尾泥沙淤积实际观测成果以及重庆港泥沙淤积影响处理方案等,届时相机确定。初步设计暂定安排 6 年,即第 21 年(2013 年)水库可蓄至 175m 最终正常蓄水位运行。”(参见三峡水利枢纽初步设计,第一篇综合说明书,1-1-10)。

随着三峡工程建设顺利进行,2001 年 4 月 10 日,国务院三峡工程建设委员会召开会议讨论了三峡水库的分期蓄水实施方案等重大问题,针对当时社会上对三峡工程分期蓄水实施方案的一些意见,泥沙专家组部分成员提出了建议:“三峡工程正常蓄水位从 156m 抬高到 175m 应采取渐进的过程,逐步检验,逐步提高,进可以攻,退可以守,这样可以不至于发生严重的泥沙淤积事故,同时又可以充分发挥三峡工程的综合效益。”^[3]会议同意了上述建议,会议纪要指出:“会议一致认为,关于三峡水库运行的两种意见,即一是 2007 年后较长期停留在 156m 水位下运行,另一种是 2007 年后很快抬高至 175m 运行,这两种意见都不可取。有关专家提出了在 2007 年后,根据泥沙观测的成果,以分期、渐进地抬高方式比较合理。”会议纪要还指出:“初步设计中对 156m 的运行历时没有作出明确规定,提出暂定 6 年,对 156m 水位运行后,水位如何抬高到 175m,也没有作出明确规定。这些都是需要通过研究和观测提出建议,经过必要的程序审查后确定”^[4]。

2 “十五”期间的泥沙研究工作和成果

针对以上问题,泥沙专家组在“十五”期间组织了四个泥沙实体模型和三个数学模型,用以研究解决重庆河段港区、航道的泥沙问题的措施。研究的途径包括通过推迟蓄满水库的调度方式以增加冲刷走沙时间和通过港口、航道整治以减少码头前淤积和改善通航条件的两个方面进行。

以清华大学的实体模型的试验结果为例,水库优化调度的模型试验表明^[5],在三峡工程建设和水库

决的。同时,研究工作也证实了这样一种看法:必须将三峡水库的正常蓄水位抬高至 156m 以上,才能观测到三峡工程建成蓄水对重庆河段泥沙冲淤的影响,也才能通过优化调度或整治工程找到解决重庆河段泥沙问题的方法。将正常蓄水位长期维持在 156m,对研究和解决重庆河段的泥沙问题不利。

3 长江上游来沙量减少的成因分析和近期来沙量预估

20 世纪 90 年代以来,进入三峡工程库区的径流量变化不大,但来沙量则有明显的减少趋势。特别是嘉陵江流域的来沙量减少将近 3/4(参见表 1)。

表 1 三峡水库入库沙量变化情况^[6]

项 目	年 份	屏山	高场	李家湾	朱沱	北碚	寸滩
径流量 (亿 m ³)	1990 年前	1437	878	126	2695	700	3518
	1991~2003	1509	814	106	2666	541	3339
来沙量 (亿 t)	1990 年前	2.46	0.53	0.12	3.16	1.42	4.61
	1991~2003	2.72	0.36	0.04	2.85	0.37	3.28

以 1991~2003 年的年来沙量和 1990 年前的来沙量相比,嘉陵江(北碚)减少 1.05 亿 t,金沙江(屏山)增加 0.26 亿 t,岷江(高场)减少 0.17 亿 t,沱江(李家湾)减少 0.08 亿 t,从而使寸滩站的年来沙量减少 1.33 亿 t,占总来沙量的 28.9%,而在相同时期内,径流量只减少了 179 亿 m³,占总径流量的 5%(参见图 2)。

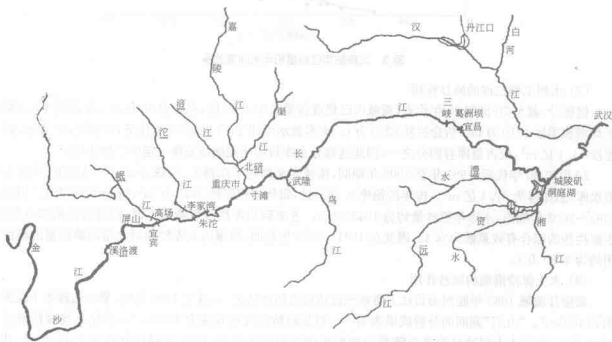


图 2 长江上中游形势图

由于长江上游来沙量对重庆河段泥沙淤积问题的解决具有重要影响,一些专家提出了在三峡工程蓄水至 156m 后,可以较快地抬升水库水位,以更好地发挥三峡工程综合效益的意见,这一想法得到了三峡总公司领导的赞同,在多次会议上总公司领导明确提出了要进行 2007 年将三峡水库正常蓄水位抬高至 170m 或 172m 的研究。2004 年初泥沙专家组组织了 2007 年三峡工程正常蓄水位泥沙专题的研究^[7,8],

研究内容包括:(1)90年代以来长江上游来沙减少趋势的成因分析和近以来沙量的预测;(2)2007年将三峡水库的正常蓄水位提高至170m或172m后,重庆河段的泥沙冲淤情况,并研究遇到丰沙年重庆河段有泥沙淤积问题的解决办法;(3)研究水位抬高前需要进行的航道治理等问题。

下面首先介绍长江上游来沙减少趋势成因分析和近以来沙预测的研究成果。

3.1 嘉陵江减沙的成因分析和近以来沙预估^[9]

嘉陵江流域1991~2003年期内减沙的原因大致有以下几方面:

(1) 降雨量减少

在1990年前和1991~2003年两个时期中,流域年平均降雨量分别为944mm和828mm,后者偏少约12%,相应平均年径流量减少159亿 m^3 。根据北碚站年径流量和年输沙量的关系(参见图3),可计算得到,径流量减少引起的北碚站输沙量减少在3500万t左右。

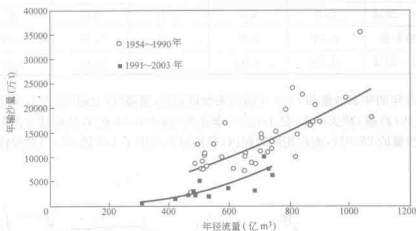


图3 北碚站年径流量和年输沙量关系

(2) 水利工程拦沙的减沙作用

据统计,截至20世纪80年代末,流域内已建成各类水库4542座,总库容56亿 m^3 ,年淤积率0.86%,年均淤积泥沙4810万 m^3 ,折合拦沙6250万t。大多数水库建于20世纪60年代至80年代,30年来,拦截泥沙14.4亿 m^3 ,仅占总库容四分之一,因此这部分水库目前还能继续发挥一定的拦沙作用。

20世纪80年代后,1991年至2003年期间,流域内又修建了东西关、宝珠寺、江口、马回等20座大中型水库,总库容为37.4亿 m^3 。按年淤积率0.86%计,每年淤积泥沙3220万 m^3 ,折合4180万t。因此在1991~2003年期内,水库年拦沙量约为10430万t。考虑到水库拦沙后清水下泄,河道将补给部分泥沙,水库拦沙的综合有效系数为0.43,因此在1991~2003年期间,流域内水库拦沙对北碚站输沙量的减沙作用约为4480万t。

(3) 水土保持措施的减沙作用

嘉陵江流域1989年起列为长江上游水土保持重点防治区之一,截至1996年底,累计治理水土流失面积21400 km^2 。“九五”期间的分析成果表明^[10],对北碚站的减水效益为1%~3%,多年平均减沙效益为1200万t。由于水土保持减沙效益随着治理面积增加而逐年增大,1996年减沙效益为2245万t。截至2000年,流域内累计治理水土流失面积33200 km^2 ,比1996年底增加55%,因此,初步估计在1991~2003年期间,水土保持对北碚站多年平均的减沙作用约为1800万t。

利用遥感技术对嘉陵江流域土壤侵蚀状况进行分析的结果表明实施“长治工程”以来,1996年和1986年相比,流域的土壤侵蚀总量减少约15.7%,和北碚站1996年水土保持的减沙百分数相近。^[11]

(4) 人工挖沙的减沙作用

嘉陵江穿过重庆市区,河道采沙数量可观。2002 年调查表明,自朝天门至合川 104km 范围内,年采沙量为 357 万 t。

综上所述,在 1991~2003 年间,嘉陵江北碛站输沙量减少的因素和数量如下:

(1) 降雨减少的减沙作用	3500 万 t
(2) 水库拦沙	4480 万 t
(3) 水土保持减沙	1800 万 t
(4) 人工采沙	357 万 t

小计: 10137 万 t

根据统计,1991~2003 年期间北碛站平均实测年来沙量为 0.37 亿 t,比 1990 年前平均值 1.42 亿 t 减少 1.05 亿 t,与成因分析的结果相符,说明 20 世纪 90 年代以来嘉陵江来沙量大量减少的原因除降雨减少的影响外,水库拦沙、水土保持和采沙等都起到了重要的作用,而且这些因素是可以持续发挥作用的。

由于溪落渡、向家坝工程在 2013 年建成后三峡工程的人库泥沙将大量减少,因此在研究重庆河段泥沙淤积问题时,目前需要研究的是近期(2007~2013 年期间)的可能来水来沙情况。下面根据长江委水文局的研究成果估计如下:

20 世纪 80 年代以前和 90 年代以来修建的水库将继续发挥拦沙作用,同时由于嘉陵江河道上已修建大量梯级工程,河道补给泥沙能力大大削弱,水库减少的有效系数可以提高到 0.95,对 1990 年以前的来沙量来说,20 世纪 80 年代以前已建水库的减沙作用为 3250 万 t,20 世纪 90 年代以来已建的水库的减沙作用为 3970 万 t,目前在建并将在近期建成的水库总库容为 18.2 亿 m^3 ,年有效减沙量为 1930 万 t,三者相加,近期嘉陵江流域水库的减沙作用大致可以估计为 9150 万 t。水土保持考虑 2000 年的治理面积达到 3.3 万 km^2 ,减沙作用将按比例增加到 3480 万 t,人工采沙的减沙量仍维持在 357 万 t。考虑年降雨量恢复到 1990 年以前的情况,流域产沙量将比 20 世纪 90 年代以来增加 3500 万 t。综合以上各种影响因素,近期嘉陵江流域来沙量比 1990 年以前多年平均来沙量大致将减少 1 亿 t。

3.2 岷江减沙的成因分析和近期来沙预估^[8]

岷江流域出口站为高场站,1990 年以前多年平均来沙量为 5260 万 t,1991~2003 年平均年来沙量为 3550 万 t,减少 1710 万 t,占多年平均来沙量的 32.5%。

根据长江委水文局的统计和分析,在 1990 年以前和 1991~2003 年期间流域平均年降雨量分别为 1053mm 和 985mm,20 世纪 90 年代以来偏少 7%,导致高场站径流量减少 64 亿 m^3 。根据高场站的年径流量和年输沙量关系,由径流量减少引起的减沙量约在 400 万 t。

除了降雨减少的减沙作用外,流域内水利建设也发挥了重要的减沙作用。截至 20 世纪 80 年代末,岷江流域已建成各类水库 893 座,总库容 16 亿 m^3 ,年淤积率 0.81%,年均淤积泥沙 1300 万 m^3 ,折合 1690 万 t。30 年来淤积总库容约 1/4,这部分水库目前还能发挥一定拦沙作用。1991 年以来,流域内陆续修建了 10 余座大中型水库,总库容为 3.64 亿 m^3 。按 0.81% 计算,1991 年以来,流域内水库年拦沙量为 1650 万 m^3 ,折合 2150 万 t。除铜街子水库离高场站较近,有效减沙系数可采用 0.65,年均减沙量约为 1300 万 t,其他水库离高场站距离较远,对高场站的减沙作用基本上可忽略不计,由此可见,20 世纪 90 年代以来岷江流域减沙 1700 万 t,大致是由降雨减少和水库拦沙的两项作用形成的。

目前,岷江流域内龚嘴、铜街子等水库已接近冲淤平衡,2007 年后将不再具有减沙作用,但正在修建的瀑布沟水库(库容 52 亿 m^3)、紫坪铺水库(库容 11 亿 m^3)均将于近日建成投产,每年将新增拦蓄泥沙约 2690 万 t。考虑河道补给后有效减沙系数为 0.65,高场的减沙量仍可达到 1750 万 t 左右,因此,在近期内,保持 90 年代以来的减沙作用是有可能的。

3.3 金沙江减沙趋势的讨论

金沙江出口站为屏山站。20 世纪 90 年代屏山站的输沙量和 1990 年以前的数量还略有增大(参见表 2),但 2002 至 2004 年则有较显著的减少。

有的研究报告中提出,金沙江近期减沙的原因可能是雅砻江上二滩水库 1999 年建成投产拦沙的影响。二滩电站总库容 58 亿 m^3 ,控制流域面积 11.6 万 km^2 ,约占屏山站以上流域面积 1/4,在经过几年清水冲刷后河道库沙粗化,使屏山站输沙量有一定数量减少是可能的。但二滩水库多年平均来沙量为 2810 万 $\text{t}^{[10]}$,即使二滩水库全部拦住入库泥沙,也不可能使屏山站减沙量达到 0.59~0.98 亿 t (参见表 2),仅从这一因素还难以说明金沙江近年来减沙趋势是稳定的。所以,在确定近期(2007~2013 年)设计水沙系列时暂时不考虑金沙江 2001 年以后的减沙情况。

表 2 屏山站历年径流量和输沙量

年 份	年径流量(亿 m^3)	年输沙量(亿 t)	年 份	年径流量(亿 m^3)	年输沙量(亿 t)
1990 年以前平均	1437	2.46	1999	1752	3.10
1991	1658	3.78	2000	1772	2.72
1992	1116	1.30	1991~2000 平均	1483	2.95
1993	1490	2.75	2001	1742	2.43
1994	1064	1.70	2002	1503	1.87
1995	1320	2.91	2003	1547	1.56
1996	1325	2.58	1991~2003 平均	1509	2.72
1997	1357	3.92	2004	1552	1.48
1998	1971	4.70			

3.4 近期设计水沙系列的确定

为了研究近期内重庆河段的泥沙淤积和治理措施,需要确定一个设计水沙系列。在已进行的成因分析的基础上,泥沙专家组建议采用 1991~2000 年的十年水沙系列作为研究问题的基础。这个系列的特点是嘉陵江流域来沙量比 1990 年以前的系列减少约 1 亿 t ,长江干流朱沱站来沙量则和多年平均值则基本相当。表 3 给出了 1990 年以前多年平均值、三峡工程规划设计阶段采用的入库水沙系列和 1991~2000 年水沙系列的比较。

表 3 各水沙系列的比较

项 目	系 列	屏 山	朱 沱	北 碚	寸 滩
年径流量 (亿 m^3)	1990 年以前	1437	2695	700	3518
	1961~1970	1511	—	754	3690
	1991~2000	1483	2670	548	3360
年输沙量(亿 t)	1990 年以前	2.46	3.16	1.34	4.61
	1961~1970	2.51	—	1.79	4.82
	1991~2000	2.95	3.05	0.41	3.56

由表 3 可见,采用 1991~2000 年水沙系列研究重庆河段的泥沙问题和解决措施,实质上是在多年平均来水来沙条件的基础上,考虑了流域内水利、水保等措施的减沙作用后的结果。由于没有考虑 2001 年以后金沙江来沙减少的影响,同时系列中已经包括了 1998 年型的大水丰沙年(按宜昌站资料的统计,洪峰流量是 7 年一遇,30 天洪量是百年一遇)^[12]所以,这个水文系列是安全的。

4 采用 172-144-152m 调度方案条件下,近期重庆河段泥沙冲淤研究成果

采用 1991~2000 年水沙系列,按照从 2007 年起三峡水库蓄水位抬升至 172m 运行,进行了重庆河段

的泥沙冲淤实体模型试验和数学模型计算的研究。在进行泥沙实体模型和数学模型的研究前,对2003年的原型观测资料进行了验证。

4.1 实体模型试验的研究成果

清华大学、西科所、长科院、南科院四个实体模型都验证了2003年5月23日至11月12日的重庆河段的水力流态和泥沙冲淤过程,虽然各个模型采用了不同的模型比尺、模型沙和模拟了不同的泥沙粒径范围,但试验的结果都能做到和原型基本一致,证明了上述实体模型具有的可信程度。^[13,14,15,16]

在2007年三峡工程蓄水位泥沙专题研究课题中,清华大学和西科所承担了172-144-152m运用方案的试验研究。为了使试验中能包括1998年的大水丰沙年,试验系列从1994年10月开始,一直做到1991年12月。三峡水库的运行年份和试验中采用的水文系列年对应关系见表4,作为比较,还平行进行了采用1961~1970年的水沙系列的模型试验。

表4 三峡工程运行和试验采用水文年对应关系

三峡工程运行年份		2006.10.1 ~12.31	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013.12.31
90年代	水文年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1991
60年代	水文年	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1961

两个系列的来水来沙量和泥沙颗粒级配见表5-7。

表5 90年代水文系列年水量和年沙量

水文年	干 流		支 流		寸 滩	
	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)
1995	2637	2.99	470	0.34	3107	3.33
1996	2507	2.50	421	0.14	2928	2.64
1997	2371	3.09	308	0.06	2679	3.15
1998	3163	4.89	709	1.00	3872	5.89
1999	3056	3.38	530	0.16	3586	3.54
2000	2882	2.77	640	0.37	3522	3.14
1991	2863	4.05	496	0.52	3359	4.57
平均	2783	3.38	511	0.37	3293	3.75

表6 60年代水文系列年水量和年沙量

水文年	干 流		支 流		寸 滩	
	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)	年水量(亿 m ³)	年沙量(亿 t)
1965	3257.32	3.71	704.67	1.69	3962	5.40
1966	3066.45	4.21	582.90	1.81	3649	6.02
1967	2279.33	2.12	884.62	2.75	3164	4.87
1968	2887.38	5.05	867.30	2.30	3755	7.35
1969	2049.99	2.06	503.88	0.91	2554	2.97
1970	2401.32	2.95	576.62	0.99	2978	3.94
1961	2764.81	4.10	898.04	1.85	3663	5.95
平均	2672.37	3.46	716.86	1.76	3389	5.21

表 7 两个系列寸滩站悬移质级配

$D(\text{mm})$	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0	D_{50}
90 年代(%)	19.7	23.8	44.1	66.8	86.1	98.8	100	100	0.030
60 年代(%)	11.2	18.8	37.1	62.6	83.9	94.5	99.8	100	0.036

由表 5~表 7 可见,90 年代系列比 60 年代系列来水量基本相同,来沙量减少 28%,泥沙颗粒级配有了一定程度的变细。

4.1.1 采用 90 年代水沙系列重庆河段的淤积量将有所减少

清华大学的试验表明,采用 90 年代系列后,重庆河段年末的泥沙淤积量比 60 年代系列有所减少。90 年代系列为 657~1080 万 m^3 ,而采用 60 年代时,剩余的淤积量为 945~2189 万 m^3 ,减少 45.3%,详见表 8。

西科所的试验也得到了相似的结果,但淤积量减少 26.5%。

表 8 试验河段年末的淤积量比较

三峡水库 运行年	90 年代系列			60 年代系列		
	水文年	淤积量(万 m^3)		水文年	淤积量(万 m^3)	
		清华	西科所		清华	西科所
2007	1995	771	333	1965	945	478
2009	1997	657	765	1967	1081	1065
2010	1998	1080	1129	1968	2189	1508
2011	1999	840	1256	1969	1607	1686
2013	1991	1029	1658	1961	2178	2259
小计		4377	5141		8000	6996

4.1.2 四个重点河段的冲淤过程

在清华大学的试验中,对四个重点的河段(九龙坡 CY34~CY30,朝天门 CY23~CY15,嘉陵江口 CY46~CY41,寸滩 CY10~CY07)的泥沙冲淤过程进行了观测,每年三次,年初为 5~6 月,年中为 8~9 月,年末为 11~12 月,测量结果见下表 9。

表 9 重点河段年内冲淤过程

单位:万 m^3

水文年	系列年	九龙坡(CY34~CY30)			朝天门(CY23~CY15)		
		年初	年中	年末	年初	年中	年末
1995	2007	—	99	75	8	45	68
1996	2008	64	64	39	34	46	14
1997	2009	34	174	70	9	65	67
1998	2010	90	355	117	91	15	101
1999	2011	65	185	91	122	54	61
2000	2012	72	182	111	106	63	61
1991	2013	98	250	126	76	73	95
平均		75	187	90	63.7	51.6	66.7
水文年	系列年	寸滩(CY10~CY07)			嘉陵江口(CY46~CY41)		
		年初	年中	年末	年初	年中	年末
1995	2007	10	20	25	45	116	116
1996	2008	26	20	16	34	56	111
1997	2009	15	12	26	62	113	44
1998	2010	24	10	43	92	267	161
1999	2011	20	19	34	102	223	113
2000	2012	26	25	29	134	125	81
1991	2013	29	26	50	55	227	146
平均		21.4	18.9	31.9	74.9	161	110.3

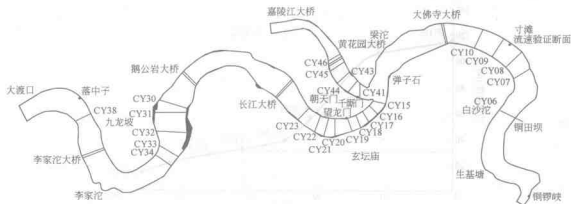


图4 重庆河段测量断面布置

模型试验表明,按照 1991~2000 年来水来沙情况,在 172-144-152m 的运行方式条件下:

九龙坡河段的淤积量可以达到 250~355 万 m^3 ,经过汛末蓄水前短期的冲刷,1998 年、1999 年、2000 年、1991 年四年,还剩余泥沙 100 多万 m^3 ,到第二年水位消落时,边滩出露,将影响码头的正常作业。

朝天门河段由于滨江工程束窄了江面,水流流速加大,汛期淤积量很小,对港区作业影响不大。但主流向右岸偏移,使夫归石附近形成中水急流滩,影响船舶航行安全,需要整治。

嘉陵江口因 90 年代来沙量大量减少,加上左岸金沙碛造地工程束窄了河道,嘉陵江口 1~4 号码头范围内未出现碍航的淤积。

寸滩河段是重庆市新建的码头区,处于长江左侧凹岸段内,无论汛期、非汛期,均无明显淤积。

由此可见,在 1991~2000 年来水来沙系列的条件下,如果按照 172-144-152m 运用,除九龙坡河段某些年份还存在汛后泥沙淤积不能冲刷完的问题外,其他河段只存在一些航道整治的问题,是可以通过炸礁、疏浚、改善水流等措施解决的。

4.1.3 九龙坡码头前沿的泥沙冲淤过程

图 5 是九龙坡 CY31 断面在 1998 年的泥沙冲淤过程。由图可见,至 9 月 15 日,九龙坡码头前沿的淤积量达到最大值,至 9 月底泥沙淤积已冲掉约 30%,但由于汛后蓄水,冲刷时间缩短,至年末,边滩淤积还有大约一半不能冲去。当第二年初水位消落时,边滩出露,5 月 1 日冲刷恢复,一直要到 5 月底才能把边滩基本冲完(参见图 6)。西科所的试验结果基本相似(参见图 7)。

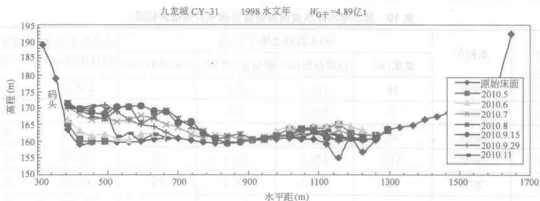


图5 九龙坡 CY31 1998 年水文年边滩淤积冲淤图

4.1.4 码头正常作业条件和九龙坡疏浚量匡算

根据川江沿岸航道适航水深的考核规定和重庆港有关保证九龙坡集装箱码头正常作业条件的专题研究成果,泥沙专家组成员荣天富总工程师经与港口部门的专家协商,确认衡量码头前沿是否碍航应以能否

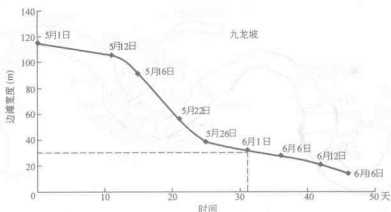


图6 1998年大水后至1999年初边滩冲刷过程

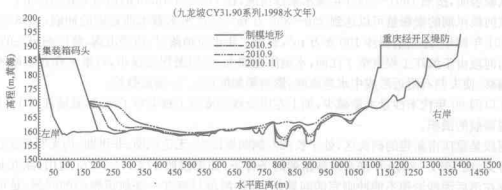


图7 九龙坡CY31 1998年水文年边滩淤积冲刷图

满足以下要求为准,在各级水位条件下,码头岸边水没线外30m处水深不小于4.0m,达到该水深的水域宽度不小于200m;当流量小于、等于25000m³/s时,表面流速不大于2.5m/s。

清华大学研究了采用机械疏浚措施解决九龙坡码头前沿碍航淤积的问题,认为如果在第二年水库水位消落后期进行一次性的清淤,则可框算出每年的疏浚量,大致情况见表10。边滩碍航淤积量是按CY31断面边滩宽度、清淤高程160m、清淤长度500m计算得出的。

表10 第二年水库水位消落后需要疏浚的碍航淤积量

水文年	系列年	码头前沿边滩(CY31)				次年初生基塘	干流年输沙量
		宽度(m)	边滩高程(m)	淤积量(万m ³)	冲刷历时(天)	最低水位(m)	(万t)
1995	2007	18	170.5	8.4		164.0	2.99
1996	2008	7	165.5	1.0		162.85	2.50
1997	2009	35	166.6	9.4		162.46	3.09
1998	2010	115	170.5	60.4	25	163.05	4.89
1999	2011	91	168.0	28.4	24	161.32	3.38
2000	2012	77	167.0	21.2		164.89	2.77
1991	2013	105	170.0	46.0			4.05

4.1.5 港区和航道的流态

清华大学模型试验还表明,当寸滩流量小于20000m³/s时,铜锣峡壅水作用不明显,河道中流速随流

量增大而增大,当流量超过 $30000\text{m}^3/\text{s}$ 时,铜锣峡壅水作用明显,重庆河段流速反而有下降趋势,当流量在 $20000\text{m}^3/\text{s}$ 和 $30000\text{m}^3/\text{s}$ 之间时,均处于流速较大时期,因此试验中选择了寸滩站 $21120\text{m}^3/\text{s}$ 和 $32227\text{m}^3/\text{s}$ 两级流量进行流场的量测。量测结果见表 11,表内列出了计算航道宽度内的平均流速、码头前沿流速和最大流速值。结果表明,在这两级流量条件下,航道平均流速及码头前沿流速均小于 2.5m/s ,但干流航道中最大流速均已超过 2.5m/s 。说明进行某些航道的整治工程是必要的。西科所主要码头区的流态资料见表 12。

表 11 主要码头区流速表(清华大学)

试验流量	量测项目	九龙坡	朝天门	嘉陵江	寸滩
	计算航宽	350m	300m	250m	300m
$21120\text{m}^3/\text{s}$	平均流速	2.32	2.21	1.40	2.43
	码头前沿	1.89	1.76	1.27	2.00
	最大流速	2.67	2.57	1.58	2.89
$32227\text{m}^3/\text{s}$	平均流速	1.90	2.00	1.29	2.20
	码头前沿	1.14	1.66	1.59	2.12
	最大流速	2.57	2.53	1.69	2.67

表 12 主要码头区流速表(西科所)

日期 水文(系列)	流量 m^3/s	项目	九龙坡	朝天门	寸滩	嘉陵江
1968 年 8 月 (2010 年 8 月)	大渡口/井口 26040/6510	码头前沿	0.6~1.5	1.5~2.0	1.3~2.2	0.5~1.4
		最大流速	3.0	3.3	3.95	1.5
1961 年 7 月 (2013 年 7 月)	大渡口/井口 16720/3870	码头前沿	1.0~2.0	1.3~2.3	1.5~2.5	0.6~1.8
		最大流速	3.3	3.2	3.9	1.9
1998 年 8 月 (2010 年 8 月)	大渡口/井口 26900/5200	码头前沿	0.5~1.2	1.9~2.6	1.5~2.4	0.3~0.8
		最大流速	3.1	4.0	4.4	1.4
1991 年 7 月 (2013 年 7 月)	大渡口/井口 16910/2810	码头前沿	1.0~2.0	2.0~2.5	1.7~2.7	0.3~1.1
		最大流速	3.2	4.1	4.0	1.2

4.1.6 不同调度方案的比较

为了探索解决九龙坡前沿泥沙淤积问题的优化调度方案,针对九龙坡码头前沿泥沙淤积量最大的 1968 年水文年进行了两组优化调度试验。第一组调度方案是 170-144-152m。第二组是调度方案依旧为 172-144-152m 但推迟水库蓄满的时间至 11 月 20 日。包括原调度方案 172-144-152m 在内的三种调度方案的重庆河段出口断面生基塘的水位过程如图 8 所示。

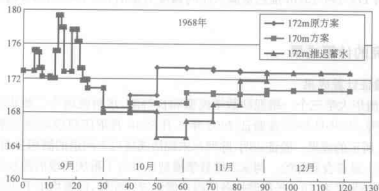


图 8 三种调度方案重庆河段出口生基塘水位过程