

“七五”国家重点科技项目（攻关）

编号：75-16-01

长江三峡工程
泥沙和航运关键技术研究
成果汇编

（上册）

交通部三峡工程航运办公室编

一九九一年六月

内 容 提 要

“七·五”国家重点科技项目（攻关）长江三峡工程泥沙和航运关键技术研究成果汇编，包括三峡库区泥沙和航道、坝区泥沙和通航条件、船闸引航道和通航尺度标准、船舶操纵电子模拟器、船闸水力学、电站日调节不稳定流和大坝泄洪对通航水流条件的影响、航运经济和营运等方面物理模型、数学模型、实船试验、原型观测等的成果，反映了我国当代研究成果已达到国际先进水平。可供航运、水利、水电等部门有关设计科研单位科技、管理人员，大专院校师生参考。

长江三峡工程泥沙和航运关键技术研究成果汇编

交通部三峡工程航运办公室编

仰山印刷厂印刷

开 本：16 印 张：28 字数：6584

1991 年 9 月第一版，1991 年第一次印刷

印 数：1—2000 册 定价：40

前 言

“七·五”国家重点科技项目（攻关）第16项“长江三峡工程重大科学技术研究”的课题“三峡工程泥沙和航运关键技术研究”（75-16-01）由水利部科技教育司和交通部三峡工程航运领导小组办公室共同主持，在国家科委和水利、交通两部的领导下，在中国三峡工程开发总公司（筹）的大力支持下，组织有关科研院所、高等院校和运行管理部门近千名科技人员五年攻关，已全面完成了攻关计划，取得丰硕成果，全部通过了专家鉴定和国家验收。课题成果整体水平达当代国际先进，部分成果达到国际领先水平。为三峡工程论证提供了科学依据。

为便于领导部门和有关单位使用研究成果，将我办主持的（75-16-01-03）、（75-16-01-07）、（75-16-01-08）、三个专题和（75-16-01-04）、专题的第二部分及各子题成果汇编成册。成果汇编共分上、中、下三册，课题和专题成果为上册，（75-16-01-03）的各子题成果为中册，我办主持的其他各子题成果为下册。

汇编工作由石衡指导，王作高、涂启明、王国扬、吴仁初编审，马翠颜、杨树忠、张晓杰、李永恒、刘峰助编。

项 目 名 称: 三峡工程重大科学技术研究 (75-16)

课 题 名 称: 三峡工程泥沙与航运关键技术研究
(75-16-01)

课题主管部门: 水利部科技教育司

交通部三峡工程航运领导小组办公室

课 题 主 管: 戴定忠 (水利部科技教育司副司长、高级工程师)

王作高 (交通部三峡工程航运领导小组办公室副主任、教授级高级工程师)

课 题 负 责 人: 谢鉴衡 王作高

课题报告编写: 王作高 谢鉴衡 荣天富 陈志轩

泥沙（攻关）专家组

组 长 林秉南

副组长 窦国仁 谢鉴衡

成 员 （以姓氏笔划为序）

丁联臻 王作高 华国祥 刘建民

周耀庭 唐日长 荣天富 张 仁

张启舜 戴定忠

秘 书 陈志轩

航运（攻关）专家组

组 长 张 奇

副组长 董士镛 王作高

成 员 （以姓氏笔划为序）

冉毅泉 刘书伦 邹觉新 荣天富 须清华

涂启明 曾庆华 喻献焕 蔡志长

秘 书 吴仁初

协调组成员

魏金石 戴定忠 王作高 于世中

目 录

(上 册)

第一篇	三峡工程泥沙与航运关键技术研究 课题报告 (75—16—01)	1
第二篇	三峡工程坝区泥沙及通航条件研究 专题报告 (75—16—01—03)	43
第三篇	原型观测及原型观测新技术研究 专题报告 (下) (75—16—01—04)	264
第四篇	三峡工程航运经济与营运研究专题报告 (75—16—01—07)	333
第五篇	两坝间 (葛洲坝—三峡) 通航水流 技术标准试验研究专题报告 (75—16—01—08)	361

“七五”国家重点科技项目（攻关）

编号：75-16-01

第 一 篇

三峡工程泥沙与航运关键技术 研究课题报告

水 利 部 科 技 教 育 司

交通部三峡工程航运办公室

一九九一年二月

目 录

第一章 基本情况	5
第一节 任务的提出	5
第二节 “七五”期间的攻关目标与任务分解	5
第三节 攻关合同的执行情况	8
第二章 研究成果	9
第一节 三峡水库来水来沙条件的研究	9
第二节 三峡水库库区泥沙冲淤、河床演变及对防洪和航运的 影响及其对策研究	10
第三节 三峡工程坝区泥沙及通航条件的研究	14
第四节 原型观测及原型观测新技术的研究	18
第五节 三峡水库下游冲刷引起的水位降低及其对河口地区的可能影响	20
第六节 泥沙数学模型及糙率的研究	22
第七节 三峡工程航运经济和营运研究	23
第八节 两坝间（葛洲坝～三峡）通航水流技术标准试验研究	28
第三章 主要结论和科技成就	31
第一节 三峡工程泥沙与航运问题的主要结论	31
第二节 在科学技术上取得的主要成就	32
附录 1 “七五”国家重点科技项目（攻关）三峡工程泥沙与航运关键技术 研究课题成果一览表	35
附录 2 对下步工作的建议	38
附录 3 鉴定委员会鉴定意见	40
附录 4 课题验收组验收结论	41
附图	42

第一章 基本情况

第一节 任务的提出

三峡工程泥沙与航运问题的研究开始于五十年代末。我国的水利工程和航运工程建设,特别是七十年代初的葛洲坝工程建设,使我国的泥沙科技和通航技术取得了较大的成就,也为三峡工程的泥沙与航运问题的研究提供了可贵的经验,积累了入库悬移质、沙质和卵石推移质的长系列资料。已建水库的运用实践,摸索了一条有效控制水库泥沙淤积的运用方式,即蓄清排浑的运用方式。在研究方法上,形成了以原型观测与分析为基础、泥沙数学模型与泥沙河工模型相结合的方法。1983年以后,组织了较多单位对150米蓄水位方案变动回水区的泥沙淤积问题及其对航运的影响进行了泥沙河工模型试验,对过坝通航问题进行了水工模型试验,对不同蓄水位方案的水库泥沙淤积问题进行了初步计算,取得了丰富的成果,获得了对三峡水库泥沙淤积问题尤其是变动回水区泥沙淤积与水位选择的关系等方面的进一步的认识。在此基础上,原水利电力部科技司、交通部三峡工程航运领导小组办公室共同编写了“七五”国家重点科技项目(攻关)《三峡工程泥沙与航运关键技术研究(75-16-01)课题可行性研究报告》,并于1987年2月获国家科委的批准。

第二节 “七五”期间的攻关目标与任务分解

根据先期研究所获得的认识,以及泥沙、航运专家组对本课题研究工作的建议,经国家科委同意,“七五”期间本课题拟定的攻关目标为:

- 1.在分析长江上游流域的来水来沙特征的基础上,研究三峡水库的水库淤积过程、长期保留的有效库容及库尾洪水水位的变化,包括不同洪水类型和不同防洪调度方式及不同来沙条件下对水库淤积及保留库容的影响研究。

- 2.三峡水库变动回水区泥沙冲淤河床演变以及对航道和港区(特别是重庆港区)的影响及其治理措施的初步研究。

- 3.研究三峡枢纽坝区泥沙淤积及其对引航道和电站运行的影响,并进行防淤、减淤措施的初步研究。通过多种途径和方法,对三峡枢纽坝区及两坝间通航水流条件进行研究。

- 4.初步研究三峡水库蓄水后,下泄水流对长江中下游河道演变、坝下游河道防洪、航运和长江河口地区的可能影响。

- 5.研究三峡水库的航运效益及万吨级船队渝汉直达技术经济和船舶革新可行性。

- 6.开展原型观测与原型观测新技术的研究。

- 7.结合三峡工程,对泥沙运动的机理及泥沙运动模拟中的关键技术进行研究。如泥沙河工模型试验技术、二维泥沙数学模型及糙率的研究。

根据以上攻关目标及各单位的研究条件和基础,分列成8个专题,研究工作的分工详见表1。

表1 “七五”国家重点科技项目（攻关）三峡工程泥沙与运关键技术研究课题分解表

专题编号	专题名称	主持部门	子题名称或内容	承担或参加单位
75—16—01—01	三峡水库来水来沙条件的分析研究	水利部科教司	(1) 上游支流水库群对三峡水库来水来沙条件的影响研究 (2) 上游重点流域产沙及上游人类活动对三峡水库来水来沙条件影响研究	长委会水文测验研究所、清华大学水利系、长江水土保持局、湖南省水利水电科研所、葛洲坝水电工程学院
75—16—01—02	三峡水库回水变动区泥沙淤积、河床演变及对防洪和航运的影响及其对策研究	水利部科教司	(1) 重庆河段泥沙模型试验研究 (2) 铜锣峡河段泥沙模型试验研究 (3) 王家滩河段泥沙模型试验研究 (4) 青岩子河段泥沙模型试验研究 (5) 回水变动区长河段泥沙模型试验研究与原型观测* (6) 水库泥沙冲淤计算与分析	清华大学水利系、水利水电科学研究院、长江科学院、天津水运工程科学研究所、南京水利科学研究所、长江航道局、武汉水利电力学院、长江科学院、国际泥沙研究培训中心、丹江口水文实验站
75—16—01—03	三峡工程坝区泥沙及通航条件的研究	交通部三峡办	(1) 三峡枢纽泥沙淤积、施工通航、永久通航及枢纽防淤减淤措施的研究 (2) 通航水流条件技术标准的试验研究 (3) 船闸引航道尺度及坝上、下游航道尺度和实船试验研究 (4) 综合研究船闸引航道和中间渠道尺度的电子模拟器实态模拟试验 (5) 设中间渠道船闸的中间渠道涌浪及改善措施的试验研究（水工模型和数学模型）	南京水利科学研究所、长江科学院、天津水运工程科学研究所、长江航务管理局、长江轮船总公司、长江航道局、上海船舶运输科学研究所
75—16—01—04	原型观测及原型观测新技术的研究	水利部科教司 交通部三峡办	(1) 川江推移质观测研究 (2) 典型浅滩河段河床演变观测研究 (3) 丹江口水库回水变动区浅滩演变观测、试点整治工程及其下游观测 (4) 葛洲坝工程下游原型观测 (5) 原型观测新技术研究	长委会重庆水文总站、科大水科所、长委会葛洲坝水利枢纽水文实验站、长江航道局重庆工程局、湖北省交通规划设计院、长委会丹江水利枢纽水文实验站、湖北航务管理局、长委会荆江河床实验站、长江航道局规划设计研究所、长委会水文局、天津水运工程科学研究所

续表 1

专题编号	专题名称	主持部门	子题名称或内容	承担或参加单位
75—16—01—05	三峡水库下游冲刷引起的水位降低及其对下游和河口地区的可能影响	水利部科教司	(1) 过坝下泄水流对坝下游河床演变影响的数学模型研究 (2) 建坝前后荆江河势控制方案的研究 (3) 建坝前后的江湖关系及对下游河道影响的分析 (4) 坝下游浅滩演变和整治措施的试验研究 (5) 坝下游河道冲刷对防洪的影响研究 (6) 建坝对河口地区河床演变和盐水上溯的可能影响	水利水电科学研究院、长江科学院、清华大学、天津水运工程科学研究所、南京水利科学研究院、长委会荆江河床实验站、长委会水文局、武汉水利电力学院、河海大学、长江航道局科研所
75—16—01—06	泥沙数学模型及糙率的研究	水利部科教司	(1) 二维泥沙运动数学模型的建立和验证 (2) 局部河段二维和三维计算研究 (3) 泥沙数学模型及糙率的研究	国际泥沙研究培训中心、南京水利科学研究院、武汉水利电力学院、水利水电科学研究院水力学所、河海大学、长江航道局科研所、清华大学、水科院泥沙所、成都科技大学、天津大学研究生院、天津水运工程科学研究所
75—16—01—07	航运经济和营运研究	交通部三峡办	(1) 不同蓄水位方案航运效益分析研究 (2) 万吨级船队渝汉直达技术经济和船舶革新可行性研究	长江航务管理局、长航职工大学、重庆长江轮船公司
75—16—01—08	两坝间（葛洲坝——三峡）通航水流技术标准	交通部三峡办	三峡电站日调节非恒定流和大坝泄洪对两坝间（葛洲坝——三峡）通航水流条件影响的研究（比尺 1：150 及 1：110 水工模型）	交通部西南水运科学研究所、长江科学院

* 国家科委委托交通部三峡办归口管理的子题。

第三节 攻关合同的执行情况

经过“七五”期间近五年的工作，承担和参加各专题和子题研究工作的单位相互协作，共同攻关，取得了丰富的成果，截至 1990 年 12 月，本课题及所属专题和子题均提出了研究报告，其中课题报告 1 份，专题报告 8 份，子题研究报告 58 份，阶段研究报告（含附件）306 份（详见附录 1）。到目前为止，本课题及所属的专题和子题均已通过了鉴定和验收，其中达到国际领先水平的专题 1 个，达到国际先进水平的专题 5 个，达到国内领先水平、部分处于国际先进水平的专题 1 个，达到国内领先水平的专题 1 个。在五年攻关过程中，本课题的研究紧密联系了三峡工程可行性论证，在 1986 年至 1987 年期间，研究围绕 150m 至 180m 各种蓄水位方案进行，1987 年 5 月，论证领导小组确定初选 175m 方案，即一级开发，一次建成，分期蓄水，连续移民的方案，坝顶高程 185m，初期按 156—135—140m 运用，后期按 175—145—155m 运用。此后，本课题的研究工作又转入了以初选 175m 方案为主。

本报告是由课题主管部门水利部科技教育司、交通部三峡工程航运领导小组办公室安排并组织部分专家和课题研究人员，根据各专题和子题的研究成果汇总编写而成。在编写过程中，按专题进行了归纳和总结，并重点介绍了在“七五”期间所获得的研究成果。除此之外，还根据目前的认识，提出了对下阶段研究工作的建议（详见附录 2）。至 1990 年 12 月，全面完成了本课题的研究任务，达到了“七五”期间的攻关目标，并于 1991 年 4 月通过了课题的鉴定和验收（附录 3、4）。

本报告根据课题鉴定意见、验收结论及项目总结会议的精神和要求作了修改。

第二章 研究成果

第一节 三峡水库来水来沙条件的研究

三峡水库的来水来沙条件是运用各种方法预测由建库引起的泥沙冲淤变化的主要依据,对预测三峡工程泥沙问题有决定性的影响,对这一问题各方面都十分关注,进行较深入的研究有利于澄清争议,取得共识。

在研究过程中,收集并整理分析了宜昌以上 178 个水文站极为丰富的实测资料、用遥感技术编制的土壤侵蚀资料、以及水库塘堰拦沙资料等,对重点产沙区进行了范围广泛的调查,为阐明不同土壤、坡度、覆盖度的降雨产沙关系进行了人工模拟降雨试验。所用的分析方法,除习用的数理统计方法外,还用灰色理论、模糊数学等新近发展起来的研究手段,对一些贫信息的不确定复杂现象,作出定性以至定量的探讨,以便相互印证,提高研究成果的可信性。

研究获得的主要认识为:

一、长江上游水土流失面积 $35.2 \times 10^4 \text{km}^2$, 约占长江上游总流域面积的 35.0%, 地表平均年侵蚀量为 $15.68 \times 10^8 \text{t}$, 但长江上游地区出口控制站宜昌站的多年平均输沙量为 $5.3 \times 10^8 \text{t}$, 说明河流输沙量远小于地表侵蚀量, 即泥沙输移比远小于 1。典型流域计算结果表明, 输移比介于 0.14~0.61 之间。对影响流域产沙的因素也进行了研究, 认为自然因素是引起地表侵蚀改造发生、发展的潜在条件, 而人为因素则起到加速或延缓侵蚀的作用。在自然因素中引起流域产沙的主要因素是气候因子及下垫面因子, 而前者又远较后者活跃。用灰色理论及方法对典型流域的定量研究揭示, 径流是降雨的直接反映, 是引起地表侵蚀的主要动力, 反映出水丰沙多, 水枯沙少的规律。

二、长江上游输沙模数大于 $2000 \text{t} / \text{km}^2 \cdot \text{a}$ 的重点产沙区主要分布在金沙江上游干流渡口、雅砻江至屏山区间以及嘉陵江上游支流西汉水、白龙江流域, 其面积约为 $4.6 \times 10^4 \text{km}^2$, 占长江上游总面积的 4.6%, 多年平均年输沙量约 $1.7 \times 10^8 \text{t}$, 分别占寸滩站和宜昌站的 37.5% 和 33.0%。重点产沙区到三峡水库之间广大区间的河道会起泥沙调整作用, 各江来水来沙也会相互调整, 这就在一定程度上削弱了重点产沙区对三峡水库来沙条件的影响, 另外, 长江上游非重点产沙区面积大, 输沙量往往占三峡水库来沙的一半以上, 其在三峡水库来沙条件中的地位也不可忽视。

三、长江上游已建大、中、小型水库约 11926 座, 总库容约 $188.9 \times 10^8 \text{m}^3$, 控制流域面积 $18 \times 10^4 \text{km}^2$ 。已建水库群现状年拦沙量约 $1.5 \times 10^8 \text{t}$, 约占上游流域年产沙量的 10.5%, 塘堰群现状年拦沙量约 $0.8 \times 10^8 \text{t}$, 约占上游流域产沙量的 5.4%。拦沙最多的流域是嘉陵江流域, 拦沙最多的工程是塘堰群和大型水库群, 由于长江上游已建水库群控制的流域面积有限, 且绝大多数分布在非重点产沙区, 大型水库离三峡水库较远, 其拦沙作用对三峡水库的入库沙量影响不大。计算表明, 各水库群拦沙减少三峡水库的年入库沙量约 $158 \sim 1953 \times 10^4 \text{t}$, 约占三峡入库沙量的 3.2~4.0%。由于水库塘堰还将继续兴建, 这一拦沙影响今后还将存在并有所增长, 预计到 2000 年, 较现状多减沙 2.5%, 20~30 年

后较现状多减沙 16.2%；后者是由于远期在金沙江和乌江拟建的大型水库距三峡水库较近的缘故。

积极开展水土保持是改善三峡水库来沙条件的另一重要环节，因此，水土保持工作必须大力抓好。

四、随机模拟、灰色理论及统计分析等多种方法分析计算表明，长江三峡水库由宜昌等七个干支流主要控制站获得的水沙资料均具有一定的随机性，而无明显的趋势性，并具有较好的代表性，三峡水库水沙条件相对稳定。运用模糊数学方法对寸滩、宜昌站长系列实测资料进行分析得出的水沙典型年及典型系列与以往研究成果基本一致，表明泥沙数学模型及泥沙河工模型采用的典型系列是合理的。各种研究成果显示，三十多年来及今后一段时间内宜昌等主要控制站输沙量没有明显的增加趋势，多年平均值相对稳定，历年输沙量围绕长系列均值波动。

第二节 三峡水库库区泥沙冲淤、河床演变对防洪和航运的影响及其对策研究

三峡工程规模巨大，影响深远，其兴建在国民经济建设中属于千秋大业的重大工程，从防沙治沙的角度着眼，在可行性研究中必须首先回答的主要问题有三：第一，水库长期使用问题，即在三峡水库修建后，其兴利库容，包括防洪库容与调节库容，能否长期保留？有多少可以长期保留？第二，三峡工程变动回水区的水沙运动及河床演变对航运有何利弊及影响？不利影响的严重程度如何？能否解决？可能采取何种工程措施解决？第三，回水末端的重庆市由建坝及淤积引起的洪水抬高究竟严重到什么程度？对这三个问题，作出科学的回答，对三峡工程是否可行具有决定性的意义。

对于这三个问题，采用泥沙数学模型和泥沙河工模型相结合的方法进行了研究。研究手段主要有两类，一类是全库区的一维泥沙数学模型计算，安排了两个研究单位平行进行；另一类是变动回水区的泥沙河工模型试验，安排了六个研究单位（包括大专院校）采取两种办法同时进行，第一种办法是将变动回水区分成若干典型河段，分别进行泥沙河工模型试验；第二种办法是将整个变动回水区做成一个长河段泥沙河工模型进行试验，两种泥沙河工模型的边界条件均由一维泥沙数学模型的计算结果提供。长系列泥沙河工模型和数学模型的验证表明，三峡工程泥沙研究中采用的数学模型在预报水库淤积过程、数量淤积、沿程分布及洪水水位方面均具有较高的精度。泥沙河工模型能够在淤积形态、淤积部位及局部航道条件等诸方面做到较好的相似，能够较为准确地预报和复演泥沙冲淤规律。实践表明，采用原型观测与分析数学模型计算、泥沙河工模型试验相结合的方法是合理可行的。

一、一维泥沙数学模型计算

1. 计算方法

两个研究单位采用的泥沙数学模型均为恒定流不平衡输沙一维数学模型，模型的主体部分基本一致，仅部分计算细节上有所不同，这一数学模型所采用的基本方程式，在水流方面有水流连续方程及水流运动方程。在泥沙方面有泥沙扩散方程或称不平衡输沙方程及河床变形方程。为减少计算工作量使长时期、长河段的计算成为可能，将非恒定流化作梯