

三峡工程泥沙问题 研究进展

潘庆荣 陈济生 黄悦 胡向阳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

三峡工程泥沙问题 研究进展

潘庆棠 陈济生 黄悦 胡向阳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统总结了三峡工程泥沙问题 50 余年的研究成果。全书共分七章：第一章总论，第二章三峡工程泥沙问题研究方法，第三章三峡水库来沙问题研究，第四章水库泥沙问题研究，第五章坝区泥沙问题研究，第六章坝下游河道冲刷问题研究，第七章结语。并附有历年研究成果总目录和部分成果。

本书可供三峡工程技术人员和其他江河泥沙研究技术人员实用，也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目（C I P）数据

三峡工程泥沙问题研究进展 / 潘庆棠等著. — 北京：
中国水利水电出版社，2014. 5
ISBN 978-7-5170-2133-9

I. ①三… II. ①潘… III. ①三峡水利工程—水库泥
沙—研究进展 IV. ①TV145

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第120319号

书 名	三峡工程泥沙问题研究进展
作 者	潘庆棠 陈济生 黄悦 胡向阳 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 26 印张 466 千字
版 次	2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—1600 册
定 价	98.00 元



凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

泥沙问题是长江三峡水利枢纽（简称三峡工程）的关键技术问题之一，关系到水库长期使用、库区淹没、变动回水区航道与港区正常运用、坝区船闸与电站正常运行，以及坝下游河道冲刷对防洪、航运的影响等一系列重大而复杂的技术问题。20 世纪 50 年代以来，长江水利委员会^①和全国有关科研单位、高等学校密切协作，对三峡工程泥沙问题持续进行了 50 余年的研究，取得了大量研究成果，为三峡工程论证、设计、施工和运行提供了可靠的科学依据。

20 世纪 50 年代以来，长江水利委员会和全国有关科研单位、高等学校，采取原型观测调查、泥沙数学模型计算和泥沙实体模型试验相结合的研究方法开展三峡工程泥沙问题研究。20 世纪 60 年代初期，长江水利委员会水文局即开始进行长江上游泥沙测验和重庆河段河道演变观测，长江水利委员会长江科学院（简称长江科学院）开展水库淤积计算，与武汉水利电力大学等单位协作进行三峡水库泥沙淤积模型试验。20 世纪 70 年代初期，长江科学院根据不平衡输沙原理与武汉大学数学系协作，研制了水库泥沙淤积电子计算机计算程序进行水库泥沙淤积计算；长江水利委员会水文局先后开展丹江口和葛洲坝水利枢纽水库泥沙淤积与坝下游河道冲刷观测分析，收集了系统的观测资料，为三峡工程泥沙数学模型计算和泥沙实体模型试验提供了验证依据；长江科学院还通过葛洲坝水利枢纽泥沙问题研究与工程实践，为研究三峡工程泥沙问题做了“实践准备”。20 世纪 80 年代以来，三峡工程泥沙问题研究全面开展。1983 年 5 月，正常蓄水位 150m 方案的《三峡水利枢纽可行性研究报告》通过国家计划委员会组织的审查后，水利电力部委托张瑞瑾教授

^① 水利部长江水利委员会成立于 1950 年，1956—1989 年改名为长江流域规划办公室（属国务院编制）。1980 年长江流域规划办公室水文处改名为长江流域规划办公室水文局。1986 年长江流域规划办公室长江水利水电科学研究院改名为长江流域规划办公室长江科学院。

主持（陈济生、谢鉴衡协助）三峡工程泥沙试验研究工作的协调事宜。1986年7月，三峡工程论证领导小组成立三峡工程论证泥沙专家组，主持泥沙问题论证工作，林秉南任组长，窦国仁、谢鉴衡任副组长。1993年9月，国务院三峡工程建设委员会决定在三峡工程建设委员会办公室下设泥沙课题专家组，协调三峡工程泥沙问题研究工作，林秉南任组长。30年来，长江水利委员会和全国有关科研单位与高等学校结合三峡工程150m正常蓄水位方案的初步设计、三峡工程可行性重新论证，以及175m正常蓄水位方案的设计、施工和运行，共同进行库区、坝区和坝下游河道泥沙问题研究，为三峡工程可行性论证、设计、施工及运行提供了可靠的科学依据。

长江水利委员会历来重视工程技术总结。丹江口水利枢纽、葛洲坝水利枢纽建成后，长江水利委员会及时组织科技人员进行了各专业的技术总结。1997年长江水利委员会组织长期从事工程论证与设计的工程技术人员编撰了一套准确反映三峡工程规划、勘测、设计、科研、移民、生态环境及经济研究的《长江三峡工程技术丛书》，长江科学院有关专业人员编撰的《三峡工程泥沙研究》即为其中之一。2003年长江水利委员会技术委员会组织编写了总结三峡、丹江口、葛洲坝、乌江渡、万安、隔河岩等大中型水利水电工程实践经验的《大中型水利水电工程技术丛书》，《长江水利枢纽工程泥沙研究》即为其中之一。三峡工程175m试验性蓄水运用期间，2010年长江科学院有关专业人员在已往工作基础上开展三峡工程泥沙问题研究方面的阶段性技术总结，经有关专业人员的共同努力，完成《长江三峡工程泥沙问题研究进展》的撰写工作。全书共分七章，第一章为总论，第二章为三峡工程泥沙问题研究方法，第三章～第六章分述水库来沙、库区、坝区和坝下游河道泥沙问题研究进展，第七章为结语。第一章由陈济生、潘庆葵撰写，第二章由潘庆葵、黄悦撰写，第三章由潘庆葵、胡向阳撰写，第四章由潘庆葵、黄悦撰写，第五章、第六章由潘庆葵、胡向阳撰写，第七章由陈济生、潘庆葵撰写。袁莉承担了全书文字与图表的汇总工作。为了便于后续研究工作的开展，将历年研究成果总目录和部分成果附录于后。其中包括原长江水利委员会主任林一山1964年率领技术人员进行国内已建水库考察后的研究成果。

三峡工程泥沙问题研究是一项长期任务。三峡工程初期蓄水运用至今仅 10 年，而且在此期间未遇大水丰沙年及水沙特枯年份，泥沙问题尚未充分显现。金沙江向家坝和溪洛渡水电站分别于 2012 年 11 月和 2013 年 7 月实现初期蓄水发电，嘉陵江亭子口水利枢纽也于 2013 年 8 月实现初期蓄水发电，三峡水库进库水沙条件发生新变化。三峡工程泥沙问题仍须继续进行研究，通过监测，对已有研究成果进行检验，针对工程运行过程出现的新问题及时研究解决。本书的编写出版将有助于今后研究工作的开展。

在本书撰写完成之际，谨向 50 余年来长江水利委员会和全国有关单位、高等学校为三峡工程泥沙问题研究和工程实践付出辛勤劳动和毕生精力的同仁表示崇高的敬意。限于编写人员的水平，书中疏漏和不妥之处敬请指正。

作者

2013 年 10 月

目 录

前言

第一章 总论	1
第一节 三峡工程泥沙问题研究的重要性	1
第二节 三峡工程泥沙问题研究的内容和研究方法	2
第三节 三峡工程泥沙问题研究历程	4
参考文献	19
第二章 三峡工程泥沙问题研究方法	25
第一节 原型观测调查	25
第二节 泥沙数学模型	38
第三节 泥沙实体模型	71
参考文献	97
第三章 三峡水库来沙问题研究	102
第一节 概述	102
第二节 长江上游产沙特性	105
第三节 悬移质来沙研究	113
第四节 卵石推移质来沙研究	123
第五节 砾石和沙质推移质来沙研究	127
参考文献	127
第四章 水库泥沙问题研究	130
第一节 概述	130
第二节 水库长期使用问题研究	135
第三节 三峡水库变动回水区泥沙问题研究	155
第四节 三峡水库排沙调度研究	218
参考文献	226

第五章 坝区泥沙问题研究	232
第一节 概述	232
第二节 坝区泥沙淤积及河势调整	234
第三节 枢纽总体布置	238
第四节 通航建筑物引航道布置	239
第五节 通航建筑物引航道防淤和清淤措施	254
第六节 电站引水防沙措施	262
第七节 三峡工程施工期坝区泥沙问题研究	277
第八节 三峡工程 2003 年初期蓄水运用以来观测成果分析	283
参考文献	296
第六章 坝下游河道冲刷问题研究	300
第一节 概述	300
第二节 坝下游河道冲刷预测	305
第三节 坝下游河道演变研究	323
第四节 坝下游河道冲刷对防洪的影响	329
第五节 坝下游河道冲刷对航运的影响	332
第六节 三峡建坝对长江口岸滩的影响	346
第七节 三峡工程初期蓄水运用后坝下游河道演变观测分析	349
参考文献	368
第七章 结语	374
附录一 历年三峡工程泥沙问题研究成果总目录	380
附录二 水库淤积调查报告	382
附录三 水库长期使用问题	393
附：水库长期使用问题是怎样研究成功的	404

第一章 总 论

第一节 三峡工程泥沙问题研究的重要性

长江三峡水利枢纽（简称三峡工程）是治理开发长江的关键性骨干工程，具有防洪、发电、航运和取水等综合效益。三峡工程泥沙问题是三峡工程关键性技术问题之一，研究的重要性主要表现在如下几个方面。

一、泥沙问题的全局性

就影响程度而言，泥沙问题涉及三峡水库能否长期使用，综合效益能否长期发挥，库区淹没范围，水库变动回水区航道、港口能否保持畅通，枢纽船闸、升船机和电站能否正常运行，以及坝下游河道堤防安全和航道畅通等。

就三峡工程泥沙问题研究的地理范围而言，从水库变动回水区、常年回水区和坝区，直到坝下游整个长江中下游河道均属直接研究范围，全长约 2600km。

就三峡工程泥沙问题研究涉及的地理范围而言，三峡水库上游来水来沙状况涉及其上游干支流水库群的联合运用，上游水土保持工程的实施进程等。

二、泥沙问题的长期性

三峡水库在单独运用条件下泥沙淤积和坝下游河道冲刷达到相对平衡的历时近百年，受其上游干支流新建水库和水土保持工程拦沙的影响，三峡水库达到相对平衡的历时将长达数百年。

在三峡工程泥沙问题研究过程中，针对三峡工程的可行性论证、设计、施工和运行不同阶段，研究内容各有侧重。工程可行性论证阶段，重点研究水库泥沙淤积和长期使用问题；设计和施工阶段重点研究枢纽总体布置和通航建筑物与电站有关的泥沙问题，以及坝下游河道冲刷对防洪、航道的影响和对策；运行阶段重点研究水库优化调度和上游干支流水库群联合调度

问题。

三、泥沙问题的复杂性

泥沙问题受流域地理位置、地形、地貌、地质、气候等自然因素，以及人为因素的影响，异常复杂。泥沙学科是涉及河流力学、地理学和地质学等学科的交叉学科，是一门发展中的新学科。泥沙问题的复杂性增加了解决泥沙问题的难度，由此也说明了泥沙问题研究的重要性。

第二节 三峡工程泥沙问题研究的内容和研究方法

一、主要研究内容

三峡工程泥沙问题涉及水库泥沙淤积与长期使用，库区淹没，水库变动回水区航道与港区的冲淤变化，枢纽通航建筑物和电站的正常运行，以及枢纽下游河床冲刷和河道演变对防洪、航运影响等一系列重要而复杂的技术问题。研究的主要内容包括：

- (1) 水库泥沙淤积和水库长期使用。
- (2) 水库变动回水区泥沙淤积对航道、港区以及洪水位的影响。
- (3) 坝区泥沙淤积对枢纽通航建筑物和电站运行的影响。
- (4) 枢纽下游河床冲刷和河道演变对防洪、航运、取水和江湖关系的影响。
- (5) 三峡水库上游地区来沙变化趋势。

二、基本研究方法

在三峡工程长期论证过程中，对工程泥沙问题一直采用原型观测与调查、泥沙数学模型计算和泥沙实体模型试验相结合的基本研究方法。

原型观测与调查方面，包括坝址及其上下游河段水文、地形、地质、地貌、河道演变等基本资料观测；重点河段河道演变过程观测；国内外已建水库的调查研究等。

泥沙数学模型计算和泥沙实体模型（简称泥沙模型）试验方面，采用一维泥沙数学模型进行水库泥沙淤积和坝下游冲刷计算；水库变动回水区重点河段、坝区以及坝下游重点河段冲淤则进行泥沙实体模型试验和二维泥沙数学模型计算。

在三峡工程长期论证过程中，研究工作具有以下特点：

(1) 重视多学科和多部门的协作。泥沙问题涉及多门学科和多部门。研究过程中应用地质、地理、水文、河流力学等学科对河道演变、泥沙岩性组成、悬移质和推移质泥沙来源与输移等进行综合研究。研究过程中还实行设计、科研、水文与河道观测、工程施工，以及枢纽运行管理等单位的协作，力求研究结果更为可靠和切合实际。

(2) 多单位协作研究，重大问题多单位平行研究。三峡工程泥沙问题是三峡工程关键技术问题之一，1958 年国家科学技术委员会和中国科学院成立三峡科研领导小组，组织全国科研单位和高等学校协作研究。1986—1995 年，国家科学技术委员会将三峡工程泥沙问题研究列入“七五”、“八五”国家重点科技攻关项目，组织全国科研单位和高等学校共同研究。1996 年起，三峡工程泥沙问题研究工作按照国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组制定的“九五”、“十五”、“十一五”研究计划组织全国科研单位、高等学校、设计单位和运行管理部门共同开展研究工作。

对于重大问题，组织两个以上单位按统一的条件和要求分别平行研究，及时交流讨论，集思广益，相辅相成，使研究工作更深入，对关键性的问题得出论据充分的结论。

(3) 充分利用丹江口和葛洲坝水利枢纽工程实践经验。丹江口和葛洲坝水利枢纽是长江干支流上建设的大型水利枢纽，在设计、施工阶段和运行以来，有关单位就泥沙问题进行了大量原型观测与研究工作，积累了系统的原型观测资料和丰富的实践经验，为解决三峡工程泥沙问题提供了极其重要的有利条件。

(4) 研究工作从难从严，注意留有余地。三峡工程泥沙问题的研究时段从枢纽运行初期直到水库泥沙淤积和坝下游冲刷基本平衡阶段，以全面研究枢纽运用各阶段的工程泥沙问题。

为了使三峡工程泥沙问题研究成果充分可靠，在三峡工程可行性重新论证阶段和设计阶段，各项泥沙数学模型计算和实体模型试验采用的上游来水来沙条件均未考虑三峡水库上游新建水库和水土保持工程的拦沙效果。为了保证研究成果偏于安全，采用的上游来水来沙条件为 1961—1970 年典型年系列的实测水沙资料，该系列年来水、来沙量较实测长系列年略偏大，并且包括丰水丰沙年、中水中沙年和小水少沙年；另外，三峡工程技术设计阶段，在水库按 1961—1970 年系列年循环运行 70 年的过程中，还于运行至 30 年、50 年和 70 年时分别加入含有 1954 年丰水丰沙年的 1954 年、1955 年连续两年来水来沙条件。

第三节 三峡工程泥沙问题研究历程

1956 年长江水利委员会全面开展长江流域综合利用规划工作。同时, 开始进行三峡水利枢纽的勘测设计和科学研究工作。1958 年, 根据党中央提出的“积极准备, 充分可靠”的建设方针, 开展编制三峡工程初步设计要点报告阶段的科学研究工作, 其中, 作为三峡工程 17 个重大科学技术问题之一的“三峡水库调度和水库淤积问题”也逐步开展。

三峡工程泥沙问题关系到水库寿命、库区淹没, 库尾段航道、港区和坝区船闸、电站的正常运用以及坝下游河道演变对防洪和航运的影响等一系列重要而复杂的技术问题, 难度很大。

三峡工程泥沙问题研究可分为五个阶段: 1958—1970 年“积极准备, 充分可靠”和“雄心不变, 加强科研”阶段; 1971—1983 年修建葛洲坝枢纽为三峡工程做“实战准备”阶段; 1983—1992 年三峡工程可行性重新论证阶段; 1992—2002 年三峡工程设计与施工阶段; 2003 年 6 月以后初期蓄水运用阶段。

一、1958—1970 年阶段

1958—1970 年是编制三峡工程初步设计要点报告和专门研究人防与水库泥沙问题的阶段。

1958 年 3 月党中央成都会议通过了《中共中央关于三峡水利枢纽和长江流域规划的意见》, 对三峡工程提出“积极准备, 充分可靠”的建设方针。会后根据周恩来总理的指示, 国家科学技术委员会和中国科学院成立三峡科研领导小组 (简称科委三峡组), 组织全国性的科研大协作。同年 6 月在武汉召开了三峡水利枢纽科学技术研究会议第一次会议, 三峡工程泥沙问题全面开展研究。1959 年 10 月召开第二次会议, 将“三峡水库调度和水库淤积问题”列为三峡工程重大科学技术问题之一。1960 年国家遇暂时经济困难, 科委三峡组根据周恩来总理关于三峡工程“雄心不变, 加强科研”的指示精神, 安排 1963—1972 年十年科研规划, 三峡水库泥沙淤积问题是主要研究课题之一^[1-3]。该阶段三峡工程泥沙问题研究的重点为长江上游悬移质和卵石推移质的来沙量和三峡水库泥沙淤积问题, 主要内容如下。

(一) 枢纽来沙研究

1949 年以来, 长江干、支流控制水文测站即系统地开展悬移质泥沙测验。

1956 年开始研究悬移质泥沙粒径分析方法, 1960 年以后, 干支流控制测站均采用粒径计法系统进行分析。1969 年 7 月—1970 年 9 月, 长江科学院和长江水利委员会水文局对长江干支流 129 个测站的悬移质泥沙资料进行整编, 提出近 20 年系列整编成果。推移质泥沙包括沙砾(粒径 0.1~10mm)和卵石(粒径 10mm 以上), 由于测验技术尚未完全解决, 该阶段从多种途径进行研究。

1. 推移质泥沙测验技术研究

1956 年宜昌站开始采用苏联顿式测验仪器施测沙砾推移质; 1961 年寸滩站采用软底网式测验仪器施测卵石推移质。为了提高测验技术, 在测验过程中, 一方面根据推移质泥沙在该河段的输移、运动规律, 研究制定测验技术规程, 如取样历时、垂线分布、测次分布等; 同时对测验仪器的性能进行研究改进。1967—1970 年长江科学院和长江水利委员会水文局先后在四川都江堰柏条河干渠和长江科学院试验水槽进行试验, 研究改进卵石推移质测验仪器的性能; 同时, 对沙砾推移质测验仪器的性能, 也经过野外和室内试验, 研究改进。1973 年在都江堰柏条河干渠分别对采用的沙砾、卵石推移质测验仪器根据器测和坑测资料, 确定测验仪器的采样效率。

2. 长江上游卵石推移质查勘调查

为研究川江卵石推移质特性, 调查三峡水库卵石推移质来源和数量, 该阶段多次进行查勘调查。1959 年 12 月—1960 年 1 月, 长江科学院、成都工学院、武汉水利电力学院^①(简称武水院)、武汉水运工程学院、水利水电科学研究院(简称水科院)、南京水利科学研究所(简称南科所)、西北水利科学研究所(简称西科所)、中国科学院四川分院、成都水电设计院、长江航道局川江航道处等 10 个单位, 重点查勘大渡口至寸滩河段和嘉陵江澄江镇至河口河段的河床组成, 卵石的形状、排列、堆积和运动特性, 为研究三峡枢纽兴建后卵石推移质淤积对重庆河段港区和航道的影响搜集资料^[4]。以后又由长江科学院和有关单位对川江卵石推移质特性进行多次查勘调查。1960 年后, 长江科学院和南京大学(简称南大)地理系组织多次查勘, 调查川江卵石岩性(矿物), 分析三峡枢纽卵石推移质的来源和数量, 查明川江万县以上卵石推移质主要来源于金沙江, 其次为岷江、嘉陵江, 卵石岩性以火成岩为主。在第二研究阶段中, 1973—1974 年, 长江科学院、长江水利委员会水文局、长江水利委员会勘测处、南大地理系继续进行卵石推移质的来源和数量调查,

^① 武汉水利电力学院 1993 年改名为武汉水利电力大学, 2000 年并入武汉大学。

对川江万县至宜都河段干支流近 10 万颗卵石采样分析岩性（矿物），并通过黄柏河干支流水库淤积的卵石推移质数量实测资料对计算方法进行验证，计算得出宜昌河段多年平均卵石推移量为 64 万 t，其中，三峡区间补给约占 57%^[5]。

（二）三峡水库库区典型河段观测研究

长江水利委员会荆江河床实验站于 1960—1961 年对重庆猪儿碛河段、嘉陵江金沙碛河段进行观测研究；1962—1963 年对奉节臭盐碛河段进行观测研究。上述河段观测项目包括水位、流量、含沙量、床沙和断面地形等，资料比较全面系统。为研究重庆河段卵石运动规律，1960 年长江科学院、长江水利委员会重庆水文总站、水科院在寸滩河段开展同位素铀 65 示踪标记卵石试验研究，查明川江卵石在河床中运动具有很大的间歇性，时滚时停，平均运行速度很小。

（三）三峡水库长期使用研究

该阶段长江科学院采用平衡输沙有限差分法和一些估算方法对三峡水库不同正常蓄水位、死水位方案水库淤积过程、淤积数量、淤积分布、淤积平衡年限以及对重庆港区影响等问题进行了大量计算，提出第一阶段技术总结^[6]。60 年代初期，黄河三门峡水库蓄水运用后，库区严重淤积，毛泽东主席、周恩来总理非常关心三峡水库的寿命问题。1964 年长江水利委员会主任林一山写出《关于水库长期使用的初步探索》^[3]，并于当年 8 月带领科技人员赴华北、东北、西北各地调查官厅、大伙房、闹德海、红山、青铜峡、三门峡、长山头、张家湾等 8 个水库，搜集大量水库淤积和运用资料，提出水库调查报告。报告指出：根据水库淤积规律和天然河流水沙过程年内分布特点，通过水库的合理运用，主要是汛期降低坝前水位泄洪排沙、汛后蓄水的运用方式，可以长期保留水库的大部分有效库容，做到长期使用^[7]。1966 年，长江科学院又对黄河三门峡、盐锅峡水库进行调查，并参加黑松林水库、水槽子水库排沙实验。同年林一山主任写出《水库长期使用问题》，对不同库型长期保留有效库容的比值，进行了分析^[8]。第二研究阶段 1978 年，长江科学院对长期使用水库的平衡形态和淤积计算方法进行了研究^[9]。

（四）重庆河段卵石推移质泥沙模型试验研究

1960—1964 年长江科学院、武水院主持，水科院、南科所、成都工学院和武汉水运工程学院等单位协作，在武水院露天试验场兴建平面比尺 500、垂直比尺 100 的重庆河段模型。河段干流从合江至涪陵，嘉陵江从北碚至河口。采用天然沙做模型沙，粒径比尺为 78。模型对三峡水库正常蓄水位 200m、死

水位 170m 方案卵石推移质淤积对重庆市港区、航道的影响,进行了试验研究,阐明了库尾段卵石运动的间歇性及冲淤分布的分散性等特点^[10]。

(五) 长江河流泥沙运动规律研究

为研究三峡工程泥沙问题,该阶段开展河流泥沙运动规律研究,内容包括:

(1) 水流挟沙能力研究。1956—1957 年,长江水利委员会水文局根据长江中游宜昌等站资料,建立长江荆江河段全沙和床沙质的水流挟沙力经验公式。1958 年由武水院主持从能量平衡出发,导出长江中下游水流挟沙力(床沙质)公式^[11]。1963 年以后,长科院根据水库实测资料,提出该公式适合水库淤积计算水流挟沙能力的系数和指数值。

(2) 川江卵石起动流速试验研究。1960—1962 年,长江科学院和武水院协作,根据川江卵石形状、排列、床面不同糙度等特点,对川江卵石推移质起动流速进行试验研究,得出不同条件下卵石起动流速公式。1965 年,长江科学院在岷江支流茫溪河的渡船嘴处开挖长 12m、宽 1.2m 的试验水槽,开展卵石起动流速试验,提出卵石起动流速公式。

(3) 长江沙波运动观测研究。1958—1959 年,长江水利委员会水文局在长江陈家湾、汉口和南京等河段进行沙波运动观测研究。观测项目包括流速、水深、比降、水温、床沙粒径及波高、波长、波速等,资料比较全。1959 年长江水利委员会南京观测队、汉口观测队分别提出沙波测验分析报告。1960 年长江水利委员会汉口观测队提出长江沙波运动基本规律分析报告,对长江沙波形态特征和运动速度与水力泥沙因子的关系,提出计算公式。

(4) 长江黏性土壤冲刷观测试验研究。1961 年长江科学院为研究下荆江裁弯工程新河冲刷发展情况,进行荆江地区黏性土壤冲刷室内试验,提出试验小结。1969—1970 年,长江水利委员会荆江河床实验站在上车湾裁弯新河进行原型观测,实测黏土冲刷流速值与室内试验成果基本相同。

(六) 丹江口水库滞洪期和蓄水运用期观测研究

丹江口水利枢纽于 1960 年围堰滞洪,1968 年蓄水运用。该阶段长江科学院对丹江口水库滞洪期及蓄水运用后,库区泥沙淤积、排沙措施以及坝下游河床冲刷进行了大量计算。枢纽蓄水运用后,长江水利委员会水文局组建丹江口水利枢纽水文实验站,对水库淤积、坝下游河段冲刷演变开展观测研究,为三峡工程泥沙问题研究提供重要参考资料。

该阶段(1958—1970 年)三峡工程泥沙问题研究取得的主要研究成果如下:

(1) 悬移质泥沙方面, 提出近 20 年系列整编成果。推移质泥沙方面, 研究改进测验仪器性能, 提高测验技术, 为以后系统开展测验提供了条件。此外, 通过卵石岩性(矿物)调查分析, 提出三峡枢纽卵石推移质的来源和数量, 为测验成果提供验证资料。

(2) 提出长期使用水库的调度运用方式, 长期保留水库大部分有效库容, 解决水库寿命问题。

(3) 开展三峡水库库区典型河段和丹江口水库及下游泥沙问题观测研究, 为研究三峡水库变动回水区航道泥沙问题, 提供重要资料。

(4) 提出长江水流挟沙力公式。

二、1971—1983 年阶段

1971—1983 年是通过兴建葛洲坝水利枢纽为三峡工程做“实践准备”和编制正常蓄水位 150m 方案的三峡水利枢纽可行性研究报告阶段。

葛洲坝水利枢纽于 1970 年 12 月开工, 1972 年 11 月周恩来总理决定主体工程暂停施工, 同年成立工程技术委员会, 由长江水利委员会负责修改初步设计。根据党中央关于修建葛洲坝枢纽为三峡工程作“实战准备”的指导方针, 该阶段有关三峡工程泥沙问题研究的重点为通过葛洲坝枢纽工程泥沙问题研究, 为解决三峡工程泥沙问题研究做“实战准备”, 通过丹江口水库泥沙冲淤观测分析, 提出水库冲淤过程的计算方法。研究的主要内容如下。

(一) 枢纽来沙研究

悬移质泥沙方面, 根据钱宁教授的建议, 于 1973—1977 年在寸滩、宜昌等水文站开展近底层悬移质泥沙测验, 即采用 10 线 7 点法(相对水深 1.0、0.8、0.4、0.2、0.1 及河底以上 0.5m、0.1m)进行精密悬移质泥沙测验。根据大量实测资料分析, 宜昌站历年实测粒径大于 0.1mm 的床沙质泥沙年输沙量平均偏小约 5.7%, 约 350 万 t。为了研究悬移质泥沙物质组成, 长江科学院与南大地理系协作, 通过对长江干支流 19 处控制测站的沙样分析, 查明长江悬移质泥沙以石英、长石为主, 硬度大于 5 的矿物含量达 80%左右, 沙粒磨圆度以棱角状为主^[12]。该阶段长江科学院对长江上游流域产沙(悬移质)特性以及来沙量多年变化进行了分析。流域产沙特性主要是强产沙区面积小, 仅占长江上游流域总面积的 7%; 地表侵蚀物质的颗粒粗, 泥沙输移比远小于 1; 干支流主要测站的来沙量与上游降水量、降水强度和降水地区关系密切。近代长江上游水土流失虽较严重, 但根据长系列年实测资料分析, 来沙量没有增长趋势^[13]。

推移质泥沙方面,1973年长江科学院与长江水利委员会水文局整理分析宜昌站和寸滩站历年实测沙砾、卵石推移质资料。在前阶段提高测验技术的基础上,1972年后,又相继在三峡枢纽上下游朱沱、寸滩、万县、奉节、宜昌五个测站全面开展卵石推移质测验;奉节、宜昌二站同时开展沙砾推移质测验。根据各站大量实测资料,对照前阶段采用卵石岩性(矿物)调查分析的成果,三峡枢纽不同库段的卵石、沙砾推移质的年输沙量、粒径和岩性等均已基本清楚。1978年,长江科学院韩其为根据川江卵石床面运动的随机性,提出《泥沙运动统计理论》(征求意见稿)。

根据各站实测卵石推移质资料,汛期5—10月的输沙量一般占年总输沙量的99%以上;但位于瞿塘峡上游的奉节站因汛期受峡谷壅水影响,枯水期的输沙量可占年总输沙量70%以上。可见在河谷宽窄相间的川江河段,卵石推移质的输移在时间和空间都是不连续的。

(二) 水库不平衡输沙观测研究及水库冲淤过程计算方法研究

丹江口水库蓄水运用后,丹实站除系统地开展水库上下游泥沙冲淤观测研究外,1970年、1971年和1973年在水库常年回水区上段,距坝约92km上游长约25km的库段,系统地开展水库不平衡输沙观测研究,详细观测水沙变化过程、断面冲淤变化、淤积物粒径变化。1972年长江科学院提出水库不平衡输沙的初步研究^[14]。1973年长江科学院在武汉大学数学系的协作下,提出水库冲淤过程计算方法及电子计算机的应用^[15]。水库不平衡输沙方法的主要特点是每一断面的含沙量不一定刚好等于其水流挟沙力,同时还考虑了冲淤过程悬移质粒配和床沙粒配的沿程变化;在计算技术方面应用电子计算机运算。经过大量实测资料验证后,1972年应用于葛洲坝库区悬移质淤积计算。

(三) 葛洲坝枢纽坝区泥沙问题研究

葛洲坝枢纽是三峡枢纽的反调节枢纽,属于低水头枢纽。单独运用时,坝区泥沙问题十分复杂,是工程泥沙问题研究的重点。1971年以来,为研究坝区河势规划、船闸上下游引航道的航行水流条件和泥沙淤积问题以及电站引水防沙问题,开展了大量原型观测调查和泥沙模型试验研究。

原型观测调查方面主要有:1971年6—11月由三三〇工程指挥部勘测设计团组织的船闸淤积问题调查组去广西、广东、湖南三省(自治区),对23个设有船闸或筏道的水利枢纽的泥沙淤积问题进行调查。调查重点是广西郁江的西津枢纽和广东湛江地区鉴江干流的六个梯级;其中鉴江梯级在1975年又由三三〇工程局试验室、武水院等单位进行河势调查。经过调查,提出在枢纽布置须特别考虑的三个因素:建坝前后的河势问题、凸岸与凹岸的差别