



利导江河

治水研究四十年回望

LIDAOJIANGHE
ZHISHUIYANJIU40NIANHUIWANG

殷瑞兰 编著

长江出版社



利导江河

治水研究四十年回望

LIDAOJIANGHE
ZHISHUIYANJIU40NIANHUIWANG

殷瑞兰 编著

长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

利导江河——治水研究四十年回望/殷瑞兰编著.

—武汉:长江出版社,2010.3

ISBN 978-7-80708-913-1

I. ①利… II. ①殷… III. ①水利工程—研究—中国
IV. ①TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 042467 号

利导江河——治水研究四十年回望

殷瑞兰 编著

责任编辑:贾茜

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉市首壹印务有限公司

规 格:787mm×1092mm

1/16

10.25 印张

250 千字

版 次:2010 年 4 月第 1 版

2010 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-80708-913-1/TV · 135

定 价:28.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)



作者简介

殷瑞兰，女，江苏海安人，1939年3月生，教授级高级工程师，享受政府特殊津贴。1962年毕业于武汉水利电力学院防洪与治河专业，同年分配到长江科学院工作，2001年退休。其间1970—1984年被派往宜昌葛洲坝工地负责现场泥沙模型试验研究。先后任专业组长、河流研究所副所长、长江科学院副总工程师兼科教处（研究生部）处长，现为长江水利委员会及长江科学院科技委员。曾兼任中国力学学会常务理事、湖北省力学学会副理事长等职。从事过数学模型计算、实体模型试验、基础研究工作，对模型相似理论、试验技术较为熟悉。主持过葛洲坝、三峡、南水北调、长江中下游防洪等大型工程的科研项目，承担了国家自然科学基金重大项目“洪水特性与减灾方法研究”的研究工作。在国家科技进步特等奖项目“葛洲坝二、三江工程及其发电机组”中获荣誉证书。编写过大量研究报告，在国内外有影响的刊物上发表了30余篇有价值的学术论文，多篇被工程索引EI收录，其中一些获全国水利学会及湖北省自然科学优秀论文奖。在国际、国内学术会议上发表论文十余篇并多次应邀作大会特邀报告。

序

本书作者以毕生精力，投身长江河道的综合治理开发，如葛洲坝、三峡、南水北调中线工程以及长江中下游的防洪与河道治理等的科学研究。本书作为她 40 余年科技生涯的回顾和总结，也概括了她对长江治水工作及水资源综合利用的作出的贡献。

作者重视理论与实践相结合，工作作风求新而务实，做出了一些有新意的科研成果。20 世纪 70、80 年代在葛洲坝工程上马初期，作者在工地现场参与主持大型水工模型试验，为枢纽布置以及各个设计阶段的设计、方案决策作出贡献。但是作者又是一个追求新思想的科技工作者，在以后的工作里，她曾应用医用 B 超声波仪进行葛洲坝三江引航道往复流的试验研究，这在国内外尚属首创。通过试验，清楚地观察到水流内部泥沙的运动状态，弄清含沙水流的往复流是单一往复流与异重流的叠加。运用突变理论与自组织临界性理论，研究三峡截流戽堤堤头坍塌的机理，取得了很好的研究成果。运用最小能耗率理论预测三峡投运后下荆江的演变趋向，提出下荆江不致更加蜿蜒。在南水北调中线穿黄工程的试验中，采用了先进的试验设备——粒子多通道摄像系统，清楚地观察到整个流速、流态的变化情况，提出了有说服力的试验成果，为穿黄工程采用隧洞方案的决策提供了科学依据。书中所述诸多研究成果，都有她独到的看法，阅后使人耳目一新。

本书还讲述了一些方案研究乃至争论的过程，不仅可以使读者了解当时情况，同时阐明了技术民主的重要性。特别是当年葛洲坝枢纽布置方案，争论十分激烈，可以说从领导到普通科技人员，以至一般工人、船员等都在关心着枢纽布置方案。不仅是会议上的争论，还进行了专门模型试验、实船试验以及进行国内有关枢纽的调查、收集国内外文献资料等，用事实说话，使问题不断深化，也不断明朗。可见当时是充分发扬技术民主，真正体现了群众路线。天然河势的诸多不利因素，给枢纽布置带来种种困难，但都经群策群力一一解决。其间提出的葛洲坝的河势规划、“静水通航、动水冲沙”运用方案、妥善解决凸岸下游建筑物的防沙减沙措施等工程方案，均属水利水电行业中的创举。葛洲坝已经正常运行近 30 年，未出现重大问题，说明对它的战略决策是完全正确的。取得这些成绩，除了有中央的直接领导、全体参加者的积极努力外，

充分发扬技术民主，兼听各方面的不同意见也是其中重要因素。历史证明，葛洲坝建设中的重大决策是正确的。

作者在第六章中，用她个人的经历，写了对治水研究的感悟、认识，例如怎样抓住主要矛盾和矛盾的主要方面，重理论同时要重实践，理论和实践相结合方能提高专业素质，如何正确处理治水中利与弊是十分重要而又非常不易之举，应妥善处理局部与全局、近期与长远的辩证关系，以及在河流处于常势与相对静态时，应认真研究它可能的变化，以动态观点分析认识河流等，这些都是治水中的原则和重要问题。第七章谈她个人考虑但未能研究的问题，其中有的问题已经有人在研究，有的目前尚未见有研究成果。然而这些问题的提出，是经她反复思考后写出的，可供读者参考。总之，本书是一本值得一读的好书。

葛洲坝水利枢纽布置，是经多次向国务院周总理汇报、讨论才选定的。每次进京汇报，作者都参与了。总理很谦虚，请女同志们上座，气氛轻松，她都能做到畅所欲言。

殷瑞兰同志分配到长科院，就长驻葛洲坝工地现场，调查研究，参加模型场地建设与试验，夫妻两地分居，带着两个孩子，住芦席棚集体宿舍，多年如一日，退休后，还带病完成“利导江河”这本总结。这种高度热爱事业的责任心，令人钦佩。

中国工程院院士

文 伏 波

2010. 3. 12

前 言

时间如白驹过隙，转眼已是垂暮之年。人老总爱回忆往事，我也一样，常回想以往工作之种种，有使自己欣慰之作，也有不尽人意之事。此外笔者提出了一些曾经思考过的问题，由于年龄和条件所限，不能继续研究，称之为未尽之思。希望有人能继续为之，以便将水利事业推向前进。

本人一生从事治河及防洪科学研究，主要工作为：第一，曾参加和主持过葛洲坝工程各个阶段的有关科研：立项前的初设要点报告、初步设计、技术设计、施工过程的泥沙问题、一期工程运行中有关课题，直至竣工后等全过程的科学研究，各个阶段都留有本人的心血和汗水。研究的范围从水库末端、库区、枢纽坝区直到下游影响河段都有研究任务，这些地区也都留下我的足迹。研究方法为采取现场查勘、分析计算、模型试验等多种手段，取得了不少研究成果，其中一些属开创性成果；第二，参加并主持了少量三峡工程的科研工作：如水库回水变动区一些河段的河道变迁，采用突变理论、自组织临界性理论研究大江围堰坍塌机理，三峡蓄水后坝下游一些河段的演变；第三，管理南水北调中线工程科研工作，并主持、参加其中有关课题，如：调水对水源区特别是汉江下游的影响，总干渠穿越黄河的方案及其对黄河河势的影响，冬季由南向北输水的冰问题等等；第四，研究长江中下游有关河段演变的机理及演变趋势，协助主持并具体参加国家自然科学基金重大项目“洪水特性与减灾方法研究”，结合1998年长江特大洪水的有关研究，对荆江河段、簪洲湾河段、沙市河段以及洞庭湖演变的研究。这些研究成果，不少已作为国家决策的依据和参考，有些已写成研究报告或论文，载入文档，有的积淀在自己脑海中，成为我多年来从事科研工作的基础。

本书除前言、后记外，共分七章：治水之博大精深、跟踪葛洲坝工程全程研究、南水北调中线工程中的几个重要课题、长江中游洪水灾害与河道演变、模型的相似与偏离、治水研究之感悟以及未尽之思。书中除记述主要研究成果外，也记述一些研究过程和研究方法手段，以及不同观点的争议，以使读者了解科研成果形成的过程。

本书是我生平工作之回顾，如能对后来者有益所裨，则衷心深感快慰。书中难免有不当之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 治水事业博大精深	1
第一节 进入水利行业	1
第二节 古老而新兴的治河专业	2
第三节 治水之博大精深	3
第二章 跟踪葛洲坝工程的全程研究	5
第一节 葛洲坝河段的基本情况和历史演变	5
第二节 河势规划与枢纽布置	10
第三节 引航道通航与泥沙的矛盾统一	21
第四节 电站防沙	45
第五节 长期使用水库调度方式的应用	50
第三章 南水北调中线工程代表性课题	54
第一节 穿黄工程以隧洞为好	55
第二节 冰期输水是中线工程的重大技术问题	68
第三节 引水对汉江中下游的影响	73
第四章 长江中下游洪水灾害与河道演变	79
第一节 长江中下游洪灾成因与对策研究	79
第二节 典型河段演变机理及趋势	100
第三节 三峡枢纽运行后荆江河段演变预测	112
第四节 用突变理论研究三峡围堰戕堤坍塌机理	123

第五章 模型的相似与偏离	131
第一节 模型设计是模型成功的前提	131
第二节 验证试验须重原型河段实际特征	135
第三节 试验成果的分析、提供	136
第四节 量测技术先进是科研成果深化的条件	138
第六章 治水研究之感悟.....	141
第一节 分清主次,抓住关键	141
第二节 利与弊的思考	143
第三节 实践与理论并重,推动水利学科前进	145
第四节 从相对静态中看到河道可能的演变	148
第七章 未尽之思	150
后记	154

第一章 治水事业博大精深

第一节 进入水利行业

1957 年我考进武汉水利电力学院, 次年秋, 学校决定增设治河和施工两个系, 我们班被成建制调入治河系, 学的是防洪与河道整治专业。本专业共计设有 33 门课程, 涉及数学、力学、水文、地质、地貌等诸多门类。通过学习, 我逐渐感到这个专业并不简单, 有些内容比较深奥, 要学好、学懂, 真得花些气力。所幸的是给我们上课的老师, 无论是大课老师还是习题课老师都很有水平, 讲课十分精彩, 这样慢慢增加了我们对专业的兴趣和学习动力。特别是河流动力学的大课老师, 著名的河流泥沙专家——张瑞瑾教授和谢鉴衡教授(他们曾先后担任学校的院长和副院长, 谢鉴衡教授后为工程院院士), 他们学识渊博, 讲课的内容丰富生动、概念清楚、逻辑性强, 不仅使学生获得许多科学知识, 而且由于他们讲课的口才好, 黑板的版面有序清晰, 笔记好做, 因此听课效果好, 学生学习成绩不断上升, 我也慢慢喜爱这个专业了。

通过五年的学习, 我于 1962 年大学毕业, 被分配到长江水利委员会(其时为长江流域规划办公室)长江科学院(原长江水利水电科学院)河流室, 从事河流泥沙科学研究, 从此, 开始了我的水利水电科研生涯。来院初期, 我参加了水库泥沙冲淤计算, 开始把我学到的知识用于生产实践, 还提出过计算方法中一些小的改进, 得到前辈的好评。这时原长江水利委员会主任林一山先生提出长期使用水库的设想, 即采用水库调度的方法, 在汛期水流的含沙量较高时, 降低水库水位, 使大量泥沙随水流排往下游, 从而大大减少水库的淤积。汛后水流含沙量少时, 再抬高水位运行, 使库容、水头增大, 以满足发电及其他兴利所需, 这样可以使水库长期保留一定库容。我有幸参加了这一课题的研究, 研究初期我参加了对一些北方多沙水库的现场查勘; 研究组并对此设想中的有关问题进行研究, 提出了解决办法, 同时发展了计算方法, 并将此成果运用于多个水库淤积的预测计算中, 作为规划或初步设计的依据。这是我初次参加的研究课题, 引导了我对水利科学研究的志趣。

若说参加《长期使用水库》课题是我对水利科研工作的入门, 后来参加葛洲坝工程全过程的研究, 则使我对水利水电科研工作的特点、方法有了较为深刻的理解。以后又参加和主持了三峡、南水北调、长江中下游河段演变及防洪等有关课题的研究, 使我进一步认识到水利事业的复杂性、关联性、综合性以及不确定性, 它具有自然科学和社会科学的双重属性, 因此要求从事水利水电科研的人, 必须要有深厚的本学科理论功底和勇于实践的精神, 而且还要有多学科的综合知识的支撑。治水事业虽然古老, 但却不成熟, 下节中将阐述。水利专业的理论的不成熟性、经验性使之具有一定

的局限性,这是它的不足之处,但是却给后来者留下了很大的研究发展空间。回望四十余年的工作历程,我深深感悟到治水事业博大精深,要求从事这项事业的人们,要付出十分的艰辛去学习、领悟,谨慎实践,以使治水工作尽量符合自然规律。

第二节 古老而新兴的治河专业

在中国,治水已有数千年的历史,人们熟识的鲧和禹采用堵与疏的不同治水理念,李冰父子在都江堰建筑鱼嘴工程,以后历朝历代,凡稍有作为的统治者,都会重视治水。中国的百姓于治水中积累了丰富的经验,在我国水利史册中留下光辉的一笔。古代治水,其主要任务就是防洪,有时兼有航运。而防洪又常以修筑堤防、疏浚河道为主,其中修筑堤防成为水利行业的主要任务,素有年年岁修年年修之说,在过去的几千年里,历朝历代几乎都是这样做的。因此人们提起水利,就会想到挑土筑堤,挖河疏浚,乡土气极浓重,可谓是一个具有数千年历史的古老的行业。

说它是新兴专业,基于三点认识:其一是理论上的不成熟,随着自然科学技术的发展,一些新的学科知识被引入到水利专业中,并设有专门的大学或设专业的专业,培养水利科技人才,以水力学、水文、流体力学、河流动力学、水利计算、建筑力学、地质地貌等为其基础理论。这些理论和技术的应用,使水利工作纳入更为科学的轨道。然而这些新兴学科中,不少理论并不成熟,很多是经验性的,不少表达式是建立在原型实测资料或室内实验数据的基础上的经验公式,其中专业课程中的经验公式更多。经验公式的取得,一般是通过理论分析,确定影响因子,再采用原型资料和试验资料点绘相关图,求得影响因子的相关关系,定出表达式。如果仔细一点,还可用因次分析法即 π 定律,使公式中的因次协调。这些经验公式的系数、指数,主要靠实验或观测资料定取,因此一般不具有普适性,譬如黄河的公式不能用于长江,上游的公式不能用于下游。由于使用资料的局限性,表达式只能有条件地应用,使用时必须弄清它的适用条件。例如水力学中最常用的曼宁公式、河流动力学中众所周知的悬移质挟沙力公式、推移质运动公式、输沙率公式等等都是经验或半经验式。用它们计算工程问题,往往与实际有一定的偏差,有时甚至较大,这些都是因表达式的经验性、局限性使然。河流的边界条件十分复杂,无法用公式描述,计算中往往采用众多简化措施,必然会产生不同程度的误差。如河段的冲淤量常用断面法计算,而断面布设的疏密不同,可能使计算结果相去甚远。多年来,大量的科研成果不断深化人们的认识,但是理论上的进展并不理想,经验性成果仍然占主导地位。其二,人类活动的影响,使河流的变迁趋复杂化,由此将不断提出新的课题。例如,河流兴建大型水利枢纽后,上游水位大幅度抬升,河床淤积,不仅淤毁不少土地、植被、建筑物,而且由于水位的上升,有可能使岸壁崩塌以至诱发地震等其他灾害。水位的大幅度升高,使近水面层的大气运动也随之发生变化,可能引起附近的降水及河流水文系列的变化。在坝下游往往发生长距离冲刷及水位下降,不仅给航运、引水带来一定影响,同时局部地下水位随之下降,湿地将呈减少趋势,对生态环境也会带来新的影响。以上只是目前可以预计到的问题,今后也许还会出现一些其他未知的新问题。上述种种,有的已组织深入

研究,有的尚未得到重视或者尚未被认识。其三,全球气候变暖,河流、海洋将受到重大影响。气候变暖后冰川后退,海平面上升,降水量及分布改变,河流水量和水文系列将发生新的复杂变化。近年来全球极端气候事件增多,例如河流发生全流域大洪水、海滨出现风暴潮、很多地区连下暴雪等,也将给河流带来新的影响。另一方面因温室气体的增多,可能使河流的水质及流域的生态环境均受到影响。也许目前人们对此问题重要性、复杂性尚未有足够重视,认识的滞后是问题关键所在。

进入现代化时代以来,高新技术不断产生、发展,例如计算机技术的广泛应用,GIS、GPS、RS 3S 技术的问世,以及先进的量测技术等等,不仅使野外和实验室的资料的获取更及时、广泛、精确,而且使计算能力也大为提高,这对水利科研工作十分有利。另一方面,社会的发展对水利提出了更高的要求,例如人口的大幅度增加,使人水争地的矛盾日益突出,一度有小水大灾之说;观念的变化,人类对环境的保护更为重视,因此对水利工程的生态环境影响更为关注。这些新的形势,给水利科学研究带来希望,同时也提出新的挑战。

水利是一个具有几千年历史的古老行业,新的学科知识的引入,时间并不长。它的理论尚不成熟,同时人类活动的影响,不断提出新的高难度的问题,因此我认为它又是一门新兴的学科。随着社会的发展,水利研究也面临新的形势。我坚信由于科技水平的提高,高新技术的应用,治水事业将会得到长足的发展。

第三节 治水之博大精深

如前所述,用以支撑水利工作所需的学科很多,包括数学、力学、哲学、水文气象、地质地貌、生态环境、电学以及历史、地理、人文科学,等等。例如,某处发生险情,出现崩岸,首先分析其发生的原因:该段河岸微凸,因水流有大水取直的特性,水位上涨时,主流靠岸,加大冲刷,这是外因,属水力学、河流动力学范畴;再看河岸本身为二元结构,上层为粘土,下层则为细砂,坡脚处水流冲破粘土至砂层,使岸壁失稳而发生坍塌,这是内因,属地质、土力学、材料力学问题;崩岸后引起的问题:可能引起上下河势的变化,也可能发生溃口而引发洪灾,属河流动力学、灾害学问题;处理办法:堵口修复,又是土力学、施工问题。一个看似简单的崩岸,却涉及多门学科知识;可想而知一个大型水利工程所涉及的科学问题就更多了,特别是规划某条河流或某个地区的治水,不仅需要运用自然科学中多学科知识,还将涉及诸多社会科学问题。

河流由河道与水组成,河流的演变是水与河道相互作用的结果,泥沙的冲淤是演变的纽带,挟沙能力大于来沙量则冲、反之则淤。河流是一个开放性的巨系统,与其环境既有能量的交换,又有物质的交换。河流的运行,时有因自身的突变,例如崩岸、溃堤、分汊、淤堵等,或受外力的作用,如洪水、人类活动的影响等,使河流失去原有的平衡,在不断的调整中,由远离平衡态逐渐向近平衡态变化,这就是河流演变。河流的调整过程中,该河段的上下游、左右岸,都将受到影响,同时这些因素也制约着该河段的演变。例如,下荆江为典型的蜿蜒性河流,于 1967—1972 年期间发生了一

次自然裁弯和两次人工裁弯。系统裁弯后河长大大缩短，比降变陡，流速加大，因而本河段发生大量冲刷，使河段水位降低，继而导致上荆江河段发生沿程冲刷和溯源冲刷，水位相应降低。上荆江河段现有淞滋、太平、藕池三口与洞庭湖相通，水位的下降是长江向洞庭湖分流量减少的一个重要原因。而荆江河段冲起的泥沙被带往下游，又使城陵矶至武汉河段出现淤积，城陵矶水位增高，对防洪、航运等产生新的影响。如果建水坝或大型水利水电工程，则影响范围将更大，变化因素更复杂。水利水电工程多为防洪、航运、发电、灌溉、旅游等多目标开发，综合利用。很多河流的规划中，拟建多级水库，这种梯级开发所带来的影响以及以后的运行均将十分复杂。

水利既有自然科学属性，又有社会科学属性。一个治水方略，或工程、设施，都会涉及方方面面之利与弊，相邻省份乃至相邻国家、相邻地区、河流的上下游、左右岸、不同行业、不同单位、近期与远景，所受到的利弊影响的程度均不相同，矛盾总是存在。因此须用社会科学的理论、方法、动员社会组织力量解决。决策时必须尊重科学，从全局出发，要远近结合，并兼顾各方利益的原则，妥善解决诸方面矛盾。周恩来总理曾说过：“解放后二十年，我关心两件事，一个是水利，一个是上天”，说明水利对国计民生之重要。日本民间流传一句至理名言：“会治水的人会治国”，可见日本民众对治水事业何等重视，对治水者十分推崇。治水对国计民生的重要性、治水工作的复杂性自在民心。治水工作不仅要靠众多的学科的支撑，有自然科学和社会科学，又因其自身的复杂性、不确定性，可谓博大精深。

第二章 跟踪葛洲坝工程的全程研究

葛洲坝工程于1970年12月26日批准,于12月30日正式破土动工。毛泽东主席的批示为:“赞成兴建此坝。现在文件设想是一回事,兴建过程中将要遇到一些现在想不到的困难问题,那又是一回事,那时要准备修改设计。”这个批示非常全面,非常英明。毛主席首先赞成兴建此坝,即批准了工程上马。同时从认识论的高度,预料到在长江上修建第一坝的复杂性,深知制定的设计方案到以后实施过程还会有差距,指出了将要遇到一些现在意想不到的困难问题,要求我们根据实际情况修改设计。

在此之前,我已经为此工程的科学研究紧张工作近一年。1970春节前接到参加葛洲坝现场设计的通知,2月14日出发前往三峡茅坪镇,一行28人在茅坪中学住下,进行葛洲坝工程初设要点报告的设计、科研工作,历时三个月。同事、老同学刘文键和我担负枢纽及水库泥沙问题的分析计算,5月份完成任务。刚回武汉还不到一个月,又接到通知,立即前往葛洲坝现场建造模型并进行试验研究。10月份完成任务后,听说葛洲坝暂不上马,回到武汉后即去上海姐姐家接回孩子。刚到武汉又接到通知,让我立即下工地,于是带着孩子去宜昌。从此以后,我在葛洲坝现场坚守14年,把最好的年华献给了葛洲坝工程。葛洲坝开工前后,生活十分艰苦。住的是芦席棚,一旦下雨,是“外面大下、里面小下,外面不下,里面还滴答”,每每雨夜之后,清晨醒来,被窝上却湿了一大片。夏天吃的是“瓜瓜椒”,即冬瓜、南瓜、辣椒,经常连“瓜瓜椒”也吃不上,只有咸萝卜干。我们的办公条件也很差,把铺盖卷起来,床板就是我们的办公桌,用一个腌菜坛子反过来当凳子。在这艰苦的生活中,大家仍然十分乐观,对待工作更是兢兢业业、认认真真。

我先后参加了工程的初步设计、技术设计,一、二期工程施工期以及竣工后各个阶段的枢纽及水库泥沙科学研究。1970年12月我有幸参加首次向国务院业务组、后向周恩来总理汇报葛洲坝设计工作,我作为代表,汇报了枢纽泥沙问题的研究解决。又于1971年6月,第二次参加向国务院业务组和向周恩来总理汇报葛洲坝的枢纽布置。在工程上马、枢纽布置以及各个阶段的枢纽泥沙和水库泥沙的科学研究中,我都尽力作出自己的贡献。

第一节 葛洲坝河段的基本情况和历史演变

为了优质、高效地研究葛洲坝建坝后的河势、泥沙问题,正确布置枢纽建筑物方案,预测河段的未来变迁,我们首先了解它的现状,并认真研究了它的过去,弄清它的演变过程和规律,为下一步的研究打下良好基础。为此我们进行了大量的调查研究工作,同时委托兄弟单位的专家进行相应研究,取得了大量有价值的研究成果。

一、葛洲坝河段的基本情况

(一) 河段位置及河道特性

葛洲坝河段位于长江上游，三峡出口处，下游毗邻宜昌市，自南津关至宜昌胭脂坝全长18km。该河段地处由山区性河流向平原性河流过渡的上段，河道形态变化多端，有急弯、展宽、分汊、反坡等多种复杂态势。河流于向家嘴急剧右转，流向由趋东转为趋南，转角近 90° ，转弯半径不足1000m，至下游镇川门附近，又左转而趋东，为两个反向弯道组成。河段的河宽变化甚大，南津关以上河宽甚窄，仅300m左右，最窄处只有250m。出南津关以后河道迅速展宽，至南津关以下约2.3km的坝轴线处，河宽已达2200m，至下游宜昌一带，河宽又缩至800m左右。南津关上下河床高程，由最深点-40m，在约500m的距离内上升到+30m，竟升高达70m之多，形成约 $1/7$ 的倒坡。上述特性，使该河段出现了环流、回流、泡漩、急流、缓流等各种流态交织在一起，水流态势十分复杂。坝线上下，有江中小岛葛洲坝和西坝，将长江分为大江、二江、三江，三条汊道如图2-1。其中大江河宽约800m，河底高程为30m左右，最低处仅10m；二江宽200~300m，河底高程约40m；三江宽300~400m，河底高程44m。

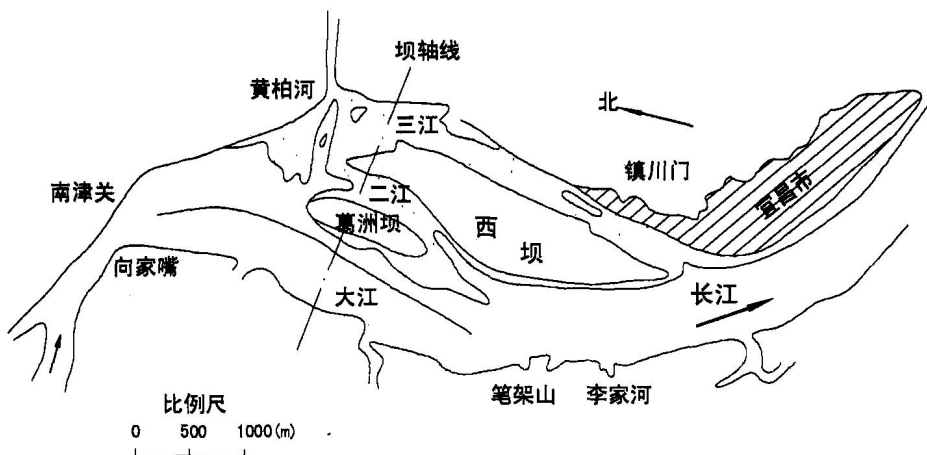


图2-1 葛洲坝河段天然情况河道平面图

(二) 河段水文特性

长江的水量和长度都居我国第一，世界第三。本河段的宜昌水文站为长江中游的重要水文站之一，水文系列长，自1890年开始水位观测，以后陆续开展了水文以及泥沙观测。据统计，其多年平均年径流量约为4500亿 m^3 ，约为长江口多年平均径流量的一半，宜昌站平均流量为 $14400\text{m}^3/\text{s}$ ；自1890年以来，实测的最低水位为38.87m（1934年4月3日），相应流量为 $2770\text{m}^3/\text{s}$ ；实测最大流量为 $71100\text{m}^3/\text{s}$ （1896年9月4日），相应宜昌水位为55.94m；调查历史最高洪水位为59.14m（1870年）、最大洪峰流量为 $110000\text{m}^3/\text{s}$ 。宜昌站多年平均输沙量为5.4亿t，平均含沙量为 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ，最大含沙量曾达到 $10.6\text{kg}/\text{m}^3$ ，而最小含沙量可小于 $0.01\text{kg}/\text{m}^3$ 。曾在1966年初步估算

南津关出峡卵石推移质量约为每年 2.2 万 m^3 ，最大粒径 196 mm ，中数粒径 102 mm 。据有关报告，宜昌站 1980 年前多年来平均沙质推移质为 686 万 t ，卵石推移质 64 万 t 。长江水量丰沛，来沙量较小，相对而言为少沙河流。河床物质组成大致为：大江河床较粗，为卵、砾石，二江河床质有砾石、粗砂，三江则为细沙，自右至左逐渐变细。上述资料主要为 1970 年之前的统计数值，随着时间的推移，水文系列也增长，上述统计数值也将发生变化。

主河道居大江，常年过流，当流量超过 $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，二江开始分流，至 $21500 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，三江分流。当长江总流量达到 $60000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，大江分流约为 80%，二、三江分流约 20%。同时具有随着流量增加、水位增高，主流也向左偏移，水位回落，又逐渐右移回到大江的变化规律。

二、河段的演变历史

初去现场查勘，并无具体问题，只是泛泛观察而已，正如老子所云“故常无，欲以观其妙”。然而，当我一到现场，脑海中却很快浮起一个问题：长江出南津关后为什么会急剧右转？按理左侧河势较顺，河谷平坦，河床组成物较细，岩石较软弱，而右侧正相反，悬崖陡壁，基岩坚硬，河床组成较粗，河势实为不顺。左易右难，若无原因，不致右转。问题很快出现，“常无”变为“常有，欲以观其微”。为此我们进行了查勘，向有关部门、人员请教、参阅了有关的典籍、志书。由书可见，历史时期该河段的变化并不大。例如，距今约 1400 年北魏时期酈道元的水经注记载，葛洲坝长 2 里，广 1 里。当时的计量长度单位中 1 里为 300 步，1 步为 6 尺，此时的 1 尺合 23.1 cm 。折合成公制，则当时的葛洲坝长约 850 m ，宽约 420 m ，与建坝前葛洲坝长 1500 m ，宽约 280 m 相比，现代葛洲坝的坝身增长、缩窄了。增长是因堆积所致，缩窄则为侧蚀作用使然。由此可见经过 1400 年，葛洲坝并无本质变化。从近代的县志、府志的描述以及近百余年来的航道图、地形图比较，葛洲坝几乎无明显变化。可见葛洲坝河段的演变，以及复杂的河势地形，并不是历史时期形成的，而是一个地质地貌问题，这一问题的研究，后因试验任务太忙而搁置了。

直到 20 世纪 70 年代末，要紧赶急的试验任务告一阶段，于是腾出手来又将上述问题捡起来。既然这是一个地质地貌问题，则单靠自己的力量是不行的，查勘、访问，只能了解现状或者近期发生的情况；阅读志书、典籍，也只能了解人类有史以来的情况，有的仅几百年上千年的事，不足以解决河流地质年代的演变问题。于是决定请教专家，为此，我院委托中国科学院地理研究所进行了专门研究。地理所委派一位地貌专家孙仲明先生和一位历史学家黄盛璋老先生来到现场，我和泥沙试验组的同事们陪同他们到现场查勘，深深感到向他们学到很多知识，开阔了思路。孙先生告诉我们南津关以上的三峡地区有九级阶地，南津关以下只有五级阶地，主要分布在左岸，而右岸阶地不明显。并讲述了埋藏在三江河床一线的大蛮石、已经碳化的树木的来历等等。黄老先生是位历史学家，断代更是他的擅长。一路上黄老先生根据瓦砾上的绳纹，断定它的朝代。在三游洞顶的张飞台上、西坝、葛洲坝，黄老先生均发现大量汉代的瓦砾，在右岸卷桥河一带的长江岸滩上，发现唐宋时期的瓦砾和宋朝炼铜窑的遗迹。这

次查勘收益匪浅,使我们对葛洲坝河段的历史演变有了粗浅认识,对一些地质现象产生的原因,也有了些微了解。

不久,由孙仲明先生执笔的研究报告完成,对葛洲坝河段的历史演变,进行了全面而详尽的阐述。孙仲明先生的研究结果认为,葛洲坝河段的历史演变分三个时期:

(一)单一河槽时期

大约在晚更新世前,葛洲坝河段尚未分汉,长江出南津关后河谷展宽,河宽3~4km,左岸紧靠镇静山、东山西麓一线,右岸为现在的大江,长江主流紧靠左岸(见图2-2a),此时本河段的河势除迅速展宽,南津关以下主流呈微弯之势,较为顺畅。

(二)三槽时期

大约在晚更新世末,因新构造运动,地壳上升,河流下切,此时西坝、宜昌的樵湖岭、罗家台逐渐露出水面,成为江心岛,从而形成由大江(涵盖现在的二江)、三江和古河道四江组成的三个汉道(见图2-2b)。此时长江主流已渐渐移至三江,理由是:在一级阶地的底部有条带状大块石,分布于自南津关的老虎咀至三江的漫水桥,为主流搬运使然。在大块石之上,为距今 6570 ± 110 年的古树堆积层,因此估计大块石的堆积应在全新世初期。

由于西坝、樵湖岭成陆后,使江面缩窄,因而水流的下切冲蚀以及侧向旁蚀作用增强,继而又使河面增宽,河流对右岸的侧蚀远强于左岸。水面增宽,促进了泥沙淤积,主要淤在左侧,形成右冲左淤的态势。此时西坝和樵湖岭边滩不断增宽,现葛洲坝和宜昌分别成为西坝和樵湖岭边滩的一部分。与此同时,三汉道的河床冲刷下切力也出现明显的差异,形成河床高程的明显差异,其中大江最强,河床高程最低,三江次之,四江冲刷最弱,河床最高。

(三)四槽时期

距今约6000年前,当时长江中游气候温暖湿润,森林茂密,在一次自然灾害中,大量树木被推入三江入口上下,埋入江底,造成三江汉道进水受阻,加上岩性侵蚀的差异,使主流逐渐由三江移到大江。此时大江出现两条深槽,一为现在的大江,紧靠右岸,一条则为现在的二江。此后随着新构造运动,地壳继续上升,河床下切,葛洲坝慢慢露出水面,形成四槽的分汉河段(见图2-2c)。

随着时间的推移,四江慢慢萎缩淤堵,不再是长江为一汉,而成为我们当初见到的一条小沟——四江古道。至此,长江葛洲坝河段形成自然状态的三汉:大江、二江、三江(见图2-1)。各江的基本特征值见表2-1。由表2-1可见,无论是河床高程还是基岩高程均呈由四江、三江、二江到大江逐渐降低,二者递减的数值也大体相近。表中数值表明,越是早期的四江河道越高,新近活跃的大江最低,反映了汉道由左向右迁移的轨迹。表中二江与三江的差异较小,可能是南津关下游的基岩横梁子的阻水挑流作用,使二江的发育受制,因此在三江下切停止时,二江也很快停止发展。