

谈长江三峡水利枢纽工程中的基础性研究工作

陈式慧

(国家自然科学基金委员会 材料与工程科学部)

在世界第三大河—长江险峻的三峡河段,修筑三峡水利枢纽,防洪发电,造福人民,这是中国民主革命先驱孙中山以来几代人的宿愿。为了将其实现,国内外许多专家、学者倾注了大量心血,经过充分论证,总的结论是:三峡工程对四化建设是必要的,技术上是可行的,经济上是合理的,建比不建好,早建比晚建有利。

一、三峡水利枢纽概况

三峡水利枢纽坝址位于湖北西陵峡的三斗坪,距下游葛洲坝水利枢纽 38km。坝址控制流域面积 100 万 km^2 ,多年平均年径流量 4510 亿 m^3 。是一座具有防洪、发电、航运、养殖、供水等巨大综合利用效益的特大水利工程。

三峡水利枢纽的综合效益包括:1)防洪:三峡水库总库容 393 亿 m^3 ,其中防洪库容 221.5 亿 m^3 ,可大大缓解长江中游的洪水威胁,减少荆江分洪的压力,如发生特大洪水,通过水库控制避免在荆江河段发生毁灭性灾害;2)发电:总装机容量 1768 万 kw,年发电量 840 亿 kw·h,相当于建造 7 座 240 万 kw 的火电厂和年产 4000~5000 万吨的煤矿的总和,同时还可大大减少环境的污染;3)航运:修建水库后有上蓄下调的作用,从根本上解决了长江上游的航运条件,当库水位达到 175m 时,川江航道的险滩全部淹没,万吨船队可从武汉直航重庆。4)其它效益:对水产养殖、城市供水、南水北调提供充足的水源。

三峡水利枢纽重新论证的推荐方案及枢纽布置(见封三彩图)

推荐方案:一级开发,一次建成,分期蓄水,连续移民。一级开发是指三斗坪到重庆市 630km 长的江段只建一座水利枢纽;一次建成是指枢纽建筑物(包括大坝、厂房、船闸等)均一次建到 185.0m 高程;分期蓄水是指初期蓄水位为 156.0m,检验大坝安全及回水变动区及泥沙淤积的规律,后期蓄水位为 175.0m;连续移民是指从准备工程开始到枢纽全部建成后两年为止,连续不间断地移民。

枢纽布置:

1)挡水及泄水建筑物:为混凝土重力坝,坝顶高程 185.0m,最大坝高 175.0m,坝顶全长 2546m,泄洪段布置在中间,由 22 个宽 8.0m 表孔(堰顶高程 156.0m)和 23 个 $7\times 9\text{m}$ 的深孔(孔底高程 90m)组成,表孔、深孔相间布置,采用排流消能。此外,在左导墙内设 2 个 $6\times 9\text{m}$ 深孔,在右导墙内设 2 个 $8\times 11\text{m}$ 中孔。

2)坝后式厂房:左侧厂房段长 634m,装机 14 台,右侧厂房段长 576m,装机 12 台。总装机 26 台 68 万 kw 机组,装机容量共 1768 万 kw。在安装场下设 5 个 $4\times 5.5\text{m}$ 排沙孔(孔底高

75m)。

3)通航建筑物:由双线连续式五级船闸和垂直升船机组成,均布置在左岸。每级船闸闸室的有效尺寸为 $280 \times 34 \times 5\text{m}$,五级船闸可使过坝船只的最大升高达 113m。垂直升船机采用一级钢丝绳卷扬平衡重式升船机,为当今世界上最大的垂直升船机。

工期安排:

1)准备工程:工期 3 年,包括坝区施工征地和移民,场地平整,内外贯通,风、水电、通讯系统,砂石料及混凝土系统,附属企业系统及房屋建筑等。

2)一期工程:工期 3 年,中堡岛右侧导流明渠(兼作施工期临时通航用),左岸临时船闸。

3)二期工程:工期 6 年,大江截流后建造左侧混凝土重力坝,左侧厂房,双线五级船闸,垂直升船机等。二期工程的最后一年,第一批 2 台机组发电。

4)三期工程:工期 6 年,建设中堡岛右侧的混凝土重力坝及右侧厂房,这 6 年中,每年可有 4 台机组投产(272 万 kw,相当于每年建成一个葛洲坝电站)。

三峡工程的投资:

三峡工程的静态投资(按 1990 年价格,不包括施工期利息和物价上涨)为 570 亿元,其中枢纽工程投资 298 亿元,移民投资 185 亿元,输变电工程 87 亿元。

三峡工程投入大,产出也大,且投资分散在 20 年内最高峰不到投资总额的 $1/10$ 。到第一批机组开始发电时(主体工程开工后第 9 年)的投入不到总投资的一半(49%),此后电量逐年增加较快,到第 13 年开始发挥防洪效益时,年发电收入已超过当年投资及其他费用支出。从三峡工程投资占国民生产总值和国民收入的比例来看只占 0.73‰和 1.23‰,这一比例远远低于国外大型工程(如埃及阿斯旺大坝为 16.18‰及 16.32‰),也低于国内的大型工程(如宝钢工程为 2.16‰及 2.54‰),是国力可以承受的。

三峡工程对生态、环境的影响:

1)有利的影响:减轻中、下游洪灾威胁;提供大量清洁能源,减少火电污染(可减少相应容量的火电排放 CO_2 1 亿吨, SO_2 200 万吨, CO 1 万吨,氮氧化合物 37 万吨,工业废碴 1200 万吨)。可节约 4200 万吨煤;改善航运环境;扩大鱼类及水生物的生长环境。

2)不利影响:不可逆转的影响:文物、古迹、自然景观被淹;影响严重或较大:如白暨豚等珍稀物种资源,滑坡、诱发地震,库区资源移民安置等;影响较小:局地气候,人群健康等。

二、围绕三峡水利枢纽进行的基础性研究工作

三峡水利枢纽规模之大,在世界也属罕见,为了论证其技术上的可行性,保证工程的安全可靠和经济合理,我国水利工作者在自五十年代初期以来的四十多年中做了大量的基础性研究工作,概括起来有如下几个主要方面。

1. 基本资料的勘测与积累

枢纽设计离不开地形资料、地质资料、水文资料、气象资料、泥沙资料及社会经济现状及今后需求的资料,这些基础性资料的准确性直接影响到工程设计的质量。

1)地形地质资料:三峡工程选定的三斗坪坝址,是位于古老的前震旦纪结晶岩体上,坝址处河谷开阔,河床覆盖层厚度不大。基岩为花岗岩,岩性均一,岩体光整,力学强度高,坝址上

下游各十余公里范围内无活动断裂及大的不良物理地质现象,是一个难得的好坝址。为了弄清坝址及三峡工程的区域地质环境,地质部门采用地面地质、遥感地质、地球物理勘探、雷达扫描、高精度测量等先进手段进行勘探、分析和论证,认为三峡工程所在地区,是一个稳定程度较高的地区,区内地震活动水平不高,较强地震一般不超过五级。

为了弄清建库后是否会发生诱发地震,对库区的地震地质背景进行了详细的调查,并进行类比分析,作出估计。

经过三十多年的库岸稳定性调查(采用了高分辨率航空红外摄影,机载侧视雷达扫描,滑坡体变形和应力观测,稳定性数值解析以及涌浪水工模型试验等技术,进行了库岸稳定性及其失稳后对工程和航运安全影响的研究。现已查明,稳定性较差和正在发展,体积在 100 万 m^3 以上的崩塌、滑坡和危岩体共 22 处,从最坏情况估计,若这些危岩体全部失稳, $1/3$ 体积落入库内,也只占水库死库容的 0.8%。若距坝址 26—27km 处的链子崖和新滩滑坡体发生塌滑,造的涌浪向上下游传播衰减很快,最不利情况传到坝址处浪高仅为 2.7m,小于大坝的安全超高。

2) 水文、气象资料: 坝址处的代表站—宜昌站及入库代表站—寸滩站分别有 109 年和 94 年的气象、水位、流量等资料;有 40 年的泥沙测验资料,为枢纽设计及泥沙问题研究提供了科学依据。

长江流域洪水灾害分布很广,尤以中下游地区灾害最为严重频繁,从汉代到清末 2000 年间,长江中下游共发生洪水灾害 200 多次,平均 10 年一次。1860 年和 1870 年两次特大洪水,宜昌站最大洪峰流量达 $92500 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $105000 \text{ m}^3/\text{s}$,这是三峡水库防洪设计的重要依据。

2. 三峡枢纽工程的优化布置研究

1) 正常蓄水位的选择:

正常蓄水位是决定工程规模的关键指标,1984 年 4 月,国务院曾原则批准了长办提出的正常蓄水位 150m 的可行性研究报告,1984 年 9 月,重庆市政府向国务院报告,要求把三峡正常蓄水位提高到 180m,以便万吨级船队能直达重庆港。重新论证期间,研究了 150m、160m、170m 和 180m 诸多方案,以及“一级开发、分期蓄水”与两级开发等三种类型六个方案进行论证。经过 14 个专家组的全面经济和技术论证,一致推荐 175m 正常蓄水位方案。该方案的汛限水位为 145m,初期运用水位为 156m。

2) 枢纽建筑物的优化布置: 枢纽建筑物包括挡水坝段、泄水坝段、厂房坝段、船闸、升船机等建筑物。这些建筑物如何布置(相对位置),各类建筑物本身的型式、断面尺寸,施工总体布置(包括施工总平面、进度工期等)以及施导流与大江截流的安排等,这是一个大系统优化问题,要设想出很多种方案进行优化比较,其目标函数应是工程造价低、工期短,便于施工及运用安全合理。通过分析计算、枢纽的水工模型试验、工程类比分析以及优化设计的方法来研究。

3. 三峡水库泥沙问题研究

三峡枢纽工程的泥沙问题一直受中央领导同志的重视,也受到国内外各界社会人士的关注。为了论证泥沙问题,由国内最优秀、最有经验的 36 位泥沙组成泥沙专家组,对三峡泥沙进行深入的研究。

三峡坝址平均年径流量 4510 亿 m^3 ,年输沙量 5.3 亿吨,平均含沙量约 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$,和黄河相比,三门峡的平均径流量 420 亿 m^3 ,年输沙量 16 亿吨,平均含沙量 $37.9 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。但长江

年输沙量的绝对值相当大,泥沙问题必须慎重对待,主要研究以下问题:水库是否会很快淤满失去作用?在变动回水区,泥沙淤积是否会影响航道和港区,重庆港是否会变成死港?

通过大量补充调查、计算、试验工作,经过反复讨论研究,专家们一致认为:“三峡工程的泥沙问题已基本清楚,是可以解决的。”

关于水库寿命问题:由于三峡水库是峡长的河道型水库,长江来沙又集中在洪水期,因此根据理论研究和实践经验,三峡水库采用“蓄清排浑”的方式运行,即汛期库水位降到“防洪限制水位”,腾出防洪库容,同时利用洪水流量通过底孔大量排沙,水库的大部分有效库容可以长期保留。在运行初期,由于进展泥沙在于排出泥沙,在死库容及近滩和库尾地段会有一些泥沙淤积,但经过数十年至一百年运行后,进、出的泥沙量将基本平衡,到运行 100 年时,三峡水库仍然能保持 85.8% 的防洪库容和 91.5% 的兴利库容。三峡水库常年回水区库段的滩险常被淹没,航道可得到显著改善;变动回水区库段的航道也有不同程度的改善,但在枢纽运行数十年后如遇特枯水年或丰沙年后,在水库水位消落后期,某些河段的航道将出现碍航和影响港区作业情况,对于这些问题可以从优化水库调度,结合港口改造和航道整治措施加以解决。

4. 通航建筑物的基础性研究

三峡船闸属世界一流水平,但不是最大的,但三峡五级船闸在总的提升高度(113m)和级数方面属世界首位。

三峡船闸的基础性工作包括:船闸基础的岩体力学参数和流变性的研究;船闸基础地应力的测试及回归反分析研究;地基渗流特性以及高边坡稳定性的分析(地质力学模型试验、离心模型试验及数值计算等),高边坡监测及加固措施的研究;闸首及闸室的稳定和应力分析以及闸首与闸室间岩体稳定和位移的研究。

三峡升船机为湿式平衡重钢丝绳卷扬垂直升船机,可通过 3000 吨级的客货轮,承船厢带水总重约 11500 吨,为世界规模最大的升船机,技术难度较大。主要研究的问题有:采取一系列措施(提高钢丝绳安全系数,设置钢丝绳断丝监察装置,沿程设置补水装置等)提高安全度;承船厢在悬吊状态下的动态稳定研究;通过规模较小的隔河岩升船机的制造取得经验,为三峡升船机取得可靠的设计、制造、运行的科学依据。

5. 挡水及泄水建筑物的基础研究

三峡工程的挡水及泄水建筑物为混凝土重力坝,对其抗滑稳定性进行了三维非线性有限元分析;采用多种方法,进行了坝体应力的静动分析(有限元计算、光弹试验、地质力学模型试验、温度应力计算);多层大孔口结构的结构分析优化及安全度研究。

6. 三峡工程二期高土石围堰的基础性研究

二期围堰高 84m,采用风化砂在深 60m 的水中抛填而成,其规模及技术难度在国内外均属罕见。为此研究了风化砂等的基本物理力学和化学特性,在深水中抛填堰体的性状,防渗墙结构的应力应变分析,围堰断面的优化研究,土工离心模型试验技术以及大型平面应变仪测试技术研究。

7. 三峡工程对环境影响评价

这是对三峡工程该不该建设争论的主要焦点之一,通过对建库后对环境有哪些影响的全面分析,研究如何将不利影响降低到最低限度;对开发性移民安置进行系统规划;对建库后可能发生的库岸塌滑、涌浪、水库诱发地震等不利影响研究防范措施。

通过全面的生态与环境评价研究,可以看出其有利影响主要在中游地区,不利影响主要在库区应采取措施防治或减轻。但总的来说还是利大于弊。鉴于生态和环境问题的长期性和隐蔽性,需要不断加强科学研究,建立三峡生态与环境监测网络,对三峡工程建设前后库区及长江中、上游的生态与环境实行全过程跟踪和管理。

总之,三峡水利枢纽的论证和设计过程就是进行大量科学研究的过程,由于不同意见的争论,促使研究工作做得更深入更细致,并且学术水平也在不断提高。

基金委所资助的基础研究课题,是从根本上解决工程设计中需要解决的基础理论问题,这些成果都直接或间接地为三峡工程的设计服务,如泥沙问题研究就有不少理论与试验是基金资助的成果。

由此可以更加明确地看出“科学技术是第一生产力”,中共中央提出的“经济建设必须依靠科学技术,科学技术工作必须面向经济建设”的方针是非常正确的。

本文写作中引用了《三峡水利枢纽》、《长江三峡工程专题论证报告》、《长江工程的论证》、《三峡工程的论证与决策》、《三峡工程论》等文献资料。

ABOUT BASIC RESEARCH IN THE THREE GORGES PROJECT

科学基金制完善与发展学术讨论会国内论文征稿通知

为了促进科学基金工作的理论研究和经验交流,加强我国与世界各国科学基金组织和学术机构的联系、交流和合作,值中国实施科学基金制十周年之际,国家自然科学基金委员会在世界银行的支持下,将于 1992 年 10 月 26 日至 30 日在北京举办题为“科学基金制完善与发展”的国际学术讨论会。国务委员、国家科委主任宋健同志担任会议名誉主席,国家自然科学基金委员会主任张存浩同志任会议主席,一些国家科学基金会领导将担任会议我联合主席,届时将有 20 多位国外科学基金组织的领导人和专家与会。

现将国内论文征集及有关事项通知如下:

1、征文范围

①我国的基础研究政策、资助方式及科学基金制的建立与发展;②基础研究的特点、地位及在人才培养、科技、经济和社会发展中的作用;③基础研究发展的战略;④基础研究的国际化和国际合作。

2、征集论文的要求

①接收论文摘要的截止日期:1992 年 5 月 15 日;②论文摘要(中文)不超过 1000 字;③同时提交中、英文论文摘要打印稿各 2 份,打印格式要求另附;④1992 年 5 月 30 日发论文录取通知,被录取者作为正式代表出席会议,注册费及会议期间费用享受优惠。⑤被录取论文全文(中、英)各 3 份请于 9 月 30 日前寄至组织委员会。