

三峡工程 技术设计中的 若干问题与决策

潘家铮

提 要 由于三峡水利枢纽技术的复杂性和受设计阶段的限制,在初设审查批准后,国务院三峡委责成设计部门对8个单项技术设计进行深入研究,并由业主组织逐项进行审查,以提出供决策的结论性意见。这8个单项技术设计涉及压力钢管型式、大坝稳定和基础处理、坝体导流和消能、厂房布置和结构、二期深水围堰填筑等重大技术问题。

关键词 三峡水利枢纽 技术审查 技术设计

三峡水利枢纽是目前世界上已建和在建中的最大的水利水电工程,面临众多复杂的技术问题,工程开工前虽已经过长期的试验研究和论证,解决或明确了一些原则性的问题,但受设计阶段限制,不可能把具体问题都研究透彻。鉴于三峡工程的规模和复杂性,国务院三峡工程初设审查委员会在批准初设的同时,决定责成设计部门编制8个单项技术设计,包括4座主要的建筑物(大坝、厂房、永久船闸和升船机)、机电、二期围堰、建筑物的监测和泥沙专题。其后,国务院三峡工程建设委员会又决定授权三峡工程开发总公司负责组织审查8个单项技术设计。

技术设计由长委会负责,总公司成立技委会并在全中国聘请专家负责审查工作。应该指出,技术设计是在施工准备工作已经开始、急待提出招标设计情况下突击进行的,有些问题还要补充做试验研究,任务特别紧急,困难也很多。所幸二年来,总公司、专家组和长委会密切合作,采取了多种方式把设计、科研和审查工作有机地结合起来,在有关院校和科研单位的支持协作下,技术设计的审查工作按计划顺利开展,满足了招标设计和施工的需要。目前,不少单项技设已完成终审,许多较重要的问题或方案已经明确(当然也还有少数复杂问题在继续深入研究和协调中)。现将若干问题的研究结论和供决策的意见介绍于下:

1 压力钢管形式

三峡工程压力钢管直径和 PD^2 数值之大已趋世界之冠。经过反复比较研究,确定采用钢衬钢筋混凝土联合受力方案;这不仅可以减少极厚钢管制作和施工的困难,而且也可减小极端情况下压力钢管爆破事故概率。

2 大坝稳定和基础处理

三峡大坝坝基地质条件总的讲是良好的,但在局部地段如左岸1~5号厂房坝段,坝基下存在不利的缓倾结构面,大坝下游又有较深开挖形成的临空面,影响其稳定性。经深入分析研究,决定适当降低建基面高程,并将坝体与厂房紧密结合,基础采用抽排等措施,以确保大坝的深层抗滑安全系数满足要求。

3 坝体导流及泄洪消能

坝体底部预留的导流底孔是保证后期施工中大坝安全度汛的措施。经详细试验比较了“短有压管(即明管)”和“长有压管(即压力洞式)”方案的优缺点,综合考虑各种因素后,决定采用长有压管(即压力洞)方案,以提高安全度。对于坝体泄洪总布置、表、深、底孔的具体体型设计及水力试验,也经多次讨论、审议,不断改进和优化。

4 大坝部分采用碾压混凝土问题

大坝部分区域(主要在底部)采用碾压混凝土,有许多优点,但必须采取相应措施确保施工质量,并要充分发挥碾压混凝土的特点,争取压缩更多的工期。审查后已决定在二期混凝土围堰上进行全面的现场生产性试验。但审议中不少专家认为,针对三峡工程的具体情况,是否适宜和必须采用碾压混凝土值得商榷;而且一期围堰试验中也出现一些问题。这个问题尚待结合施工设备的招标采购情况作综合考虑后确定。

5 厂房布置和结构

三峡工程的厂房是目前世界上最大的水电站厂房,汛期尾水位也很高,要妥善解决从进水口到尾水管的布置、结构和水力学上的问题。在设计和审议中,搜集了许多世界上巨型水电站厂房的资料进行分析对比,尤其对厂房结构刚度、

下游墙体结构方案和蜗壳外围混凝土结构形式等问题研究更多,以期提高厂房的抗震能力。有些问题还在进一步比较中。

6 永久船闸

三峡的永久船闸是当今世界上级数最多规模最大的双线船闸,设计中要解决好总体布置、水工结构、金属结构、高边坡稳定和闸阀水力学等一系列重大问题。经过长期的设计、试验和审议讨论,目前船闸的轴线、总体布置、闸室和闸墙结构、输水系统布置和结构等均已确定。由于输水闸阀的水头特高,防止空化是个重要课题。经反复研究,确定采用反向弧门,因为在国内外均有成熟经验,在葛洲坝工程亦经过长期考验。同时,用增大初始淹没水深、快速启门和在门后设置顶扩、底扩等措施解决消能和防蚀等问题。

船闸的人字门承受极其巨大的水压力,为保证安全,确定超灌水深不得超过20cm,开启时间控制在2分钟左右、启闭机采用液压直推式,并在闸门设计和安装中留有适当余地,以适应两侧闸墙可能发生的变形。

永久船闸闸室系从岩石中开挖而成,形成高边坡,必须保证其安全稳定,为此进行大量科研和试验工作。按动态原则进行设计,采取多种措施加固,并从施工期起就进行监测。

7 升船机

根据技术设计阶段的研究,将升船机位置适当左移,并将其轴线扭转一小的角度。这样可为今后有需要时在升船机右侧修筑实体隔流堤留下余地。升船机的初始运行水位也根据实际情况提高到145m。

根据国务院批示,决定三峡枢纽的升船机缓建。这样有较充裕时间可对其结构和机电部分的设计进行更深入的研究和优化,但大部分土建工作仍需先行完成。和左岸1~5号厂房坝段地质条件相似,升船机上闸室地基也存在不利结构面和稳定问题。经研究后决定,把建基面高程由110m降到90m,闸基长度由95m增到130m,闸室墙下游垫层

厚度由15m增到30m,并适当嵌入基岩,以确保闸室结构在缓建期和运行期内的安全。

8 二期围堰

二期围堰修建在深水中的淤沙地基上,挡水高度和工程量都很大,是影响三峡工程施工成败的关键性施工建筑物,所以专门进行单项技术设计。现在堰址的地质条件已基本查清,围堰的布置、堰顶高程和基本结构型式都已确定。围堰的第一年度汛标准确定采用20年一遇($72\ 300\text{m}^3/\text{s}$),较初设定的百年标准有所降低,正报批中。结构型式,在深槽段决定采用低双塑性混凝土防渗墙上接土工膜心墙防渗,塑性墙厚为1m;其它部位采用单塑性混凝土防渗墙,墙厚0.8~1m。防渗墙适当嵌入弱风化基岩。

截流合龙时间定在1997年11月下旬至12月上旬,力争提前,并采用该时段内5%频率的日平均流量 $14\ 000\sim 9\ 010\text{m}^3/\text{s}$ 为截流设计流量。截流戗堤设置在上游围堰的下游侧,采用单戗双向立堵进占、下游围堰尾随的截流方案。为此将做1:80比例尺的动床模型试验。龙口段的淤沙是清除还是保留涉及一系列问题,将视试验成果确定。

围堰施工中的两大关键是截流和防渗墙施工。设计已提出了围堰施工的程序、进度、方法和现场布置等。龙口抛投的最大水深为60m,要确保在最后阶段截流戗堤堤头的稳定,届时将根据试验决定对策必要时调整龙口布置。防渗墙采用“两钻一抓”工艺施工。主孔采用冲击反循环钻机造孔,副孔用液压导板抓斗成孔。防渗墙须嵌入陡岩,有时要钻透复盖层中的块球体,难度很大,对工期尤有影响,拟引进双轮铣槽机来保证防渗墙施工进度。

9 机电设备

三峡枢纽的水轮发电机组单机容量达70万kW,属于世界上最大水轮机组之列,而且运行技术条件极为复杂,制作与安装工期很紧。为此,在技术设计中研究和审议了以下问题:

9.1 三峡枢纽将分期蓄水,前后期水头变幅很大,故前4~6台机组将更换转

轮,初期转轮按61~94m水头设计。

9.2 机组安装进度仍按2003年投产2台,以后每年投产4台考虑。

9.3 为提高电站运行的稳定性和运行效率,将尾水管长度增加到50m,深度定为30m。

9.4 发电机优先采用空冷方式,推力轴承优先采用布置在水轮机顶盖上的方案。

9.5 机组的订购根据技术和融资方面的考虑,三建委确定第一批(12台)机组进行国际招标,由外国厂家负责,国内厂家参与,并逐步增加参与比重;第二批(14台)机组以国内为主制造。

9.6 厂房内的桥机采用2台1200/200t桥机加2台100/32t小机的方案。大小桥机分两层布置,大机在下。

9.7 左右岸首端换流站的布置,在技设中从技术和经济上考虑,推荐将它们与电站500kV开关站结合的接线方式,并布置在三峡枢纽范围内。电力部门从管理和发展角度考虑,建议采取分开布置的方案,最终需由三建委确定方案。

10 坝区泥沙

坝区泥沙问题以通过模型试验研究为主,并在三、四个地方进行独立试验以资验证校核。技术设计中,统一了试验的条件,集中力量研究在采取不同布置方案和措施下,航道上口门和航道内外泥沙冲淤及水流条件,对通航建筑物的防淤、清淤、减淤等有关措施进行试验比较,为最终选定方案创造条件。

11 安全监测

目前已确定了三峡工程安全监测系统的总体结构设计,各建筑物及独立子系统的监测项目和测点布置,以突出重点,精简布置为原则。比选了监测仪表和自动化系统,研究了建立变形、水力学及动力监测网等问题。对二期围堰的监测实施计划也作了研究。对部分已开工的项目如船闸高边坡等抓紧审定设计,及时开展监测以取得原始和基本数据。

12 概算

在技术设计中审定了三峡工程业主
(下转第16页)

目前三峡工程供灰的情况分析,运输与装卸费用要占粉煤灰总费用的 $\frac{1}{4}$ 以上,而运输每一吨粉煤灰,不论是二级灰还是一级灰,运价是一样的。在一般情况下,烧失量与电厂的锅炉有关,如果燃烧过程完全,则烧失量小,一般就可控制在5%以下,而且灰多呈玻璃珠状,大量的微珠粒径在 $10\mu\text{m}$ 以下,在采用分选后 $>45\mu\text{m}$ 的粗颗粒即可筛去,一般说烧失量和细度均达到标准的粉煤灰,其需水量比较容易达到标准,见表1。如平圩田东两电厂粉煤灰都达到了一级灰的标准。此外,还有一个因素影响粉煤灰的活性,就是粉煤灰中CaO含量,CaO含量高,活性也高,但我们调查几个电厂粉煤灰的CaO含量多数 $<5\%$ 。根据一些文献资料看,国外一些大坝所采用的粉煤灰(国外叫飞灰 Fly ash)均在一级灰的指标以上,因此,在可能的情况下大坝选用一级灰是完全必要的。

4 砂的选用问题

由于三峡工程用砂量很大,天然砂无法大量供应,因此大坝混凝土只能采用人工砂,在究竟采用何种人工砂的问题上,一直存在激烈的争论。有的专家从有利于混凝土的抗裂性出发,一直坚持采用灰岩制砂,而另一部分专家则认为花岗岩制砂也可获得优质砂。这一争论在对外交通确定选用公路方案后,也

就附带选定了下岸溪花岗岩料源,但选用下岸溪花岗岩制造人工砂,必须从几方面来保证其质量:

- 4.1 必须严格控制人工砂中云母含量,长委混凝土设计中提出的标准是 $<2\%$,是可取的,但必须控制才能做到。
- 4.2 必须严格选用新鲜花岗岩石料,否则将严重影响混凝土的抗冻性,从表2可以看到同样的条件下,采用风化砂,即用强风化花岗岩制砂,所制备的混凝土其抗冻性,远远低于用新鲜花岗岩所制人工砂配制的混凝土。
- 4.3 制砂机的优选。长委施工处曾对人工制砂作过较长时间的研究,研究结果认为旋盘制砂机用于斑状花岗岩制砂效果较好,所制人工砂颗粒方正,极少有长条或扁平状颗粒,石粉率也较低,动力消耗少,他们认为比常用的棒磨机为优,

建议采用旋盘制砂机。

此外对人工砂的含水量控制,应严格稳定在一个水平上。

除上述原材料以外还有外加剂的选用也极为重要,还有一个重要问题是抗冲磨混凝土,由于篇幅所限,只能另外再谈。作者认为提高原材料的品质还是提高混凝土耐久性的第一步。混凝土的拌和、运输、浇筑、养护及一套严格的温控措施是更困难的一步,只有每一步都严格控制质量,才能建造出一流的三峡大坝。

【作者简介】

储传英 男 中国三峡总公司技术委员会委员 教授级高工 国家自然科学基金会“三峡工程原材料研究”课题组长 湖北省宜昌市 443002

(收稿日期:1996-01 编辑:李彦芹)

表2 三峡工程人工砂加气混凝土冻融耐久性试验

序号	水泥用量 / kg	用水量 / kg	含气量 / %	人工砂种类	28天 抗压强度 / MPa	快冻法 次数
1	250	125	5.5	下岸溪新鲜花岗岩	28.9	>300
2	250	125	5.1	下岸溪强风化花岗岩	29.8	172
3	250	125	5.1	下岸溪全风化花岗岩	26.8	101
4	250	125	4.9	朱家沟灰岩	30.8	227
5	250	125	5.1	白崖山灰岩	29.1	217

(上接第13页)

招标概算编制大纲和勘测设计费业主执行概算编制大纲。据此审定了右岸一期工程、左岸一期开挖工程和勘测设计费的业主执行概算,为实现科学管理、国家结算工程造价、控制静态投资、考核工程造价盈亏提供了依据。

13 应抓紧解决和决策的主要问题

三峡工程的技术设计虽已接近尾声,但由于工程规模大和问题复杂,仍然有些问题有待今后抓紧解决或决策。

主要待解决问题如下:

13.1 大坝是否部分采用碾压混凝土关系到大坝的施工进度、质量保证率、最终采取的浇筑手段和上坝能力,以及是否要争取提前发电或保留一些工期上的余地等问题。

13.2 厂房钢蜗壳与外围混凝土是否联合承载或部分联合承载,是否充水打压后浇灌混凝土,进水口采用单孔或双孔方案等问题。

13.3 永久船闸、升船机等通航建筑物在上游需设置隔流堤,目前提出三个方案:①短隔流堤方案;②将升船机置于隔流堤外的“小包方案”;③将升船机置于隔流堤内的“大包方案”。船闸进水也有正面进水、侧面进水两种方式。目前正由清华大学、长江科学院和南京水科院按统一条件进行比较试验。

从已做的泥沙和水力学试验成果来看,在三峡工程建成的二三十年内,坝前淤积不多,水深较大;即使汛期,水流也较平顺,船队可安全进出航道口门。到水库运行50~70年后,如不考虑上游建库影响,水库内的泥沙逐步淤高,水流动

速增加,船队航行将受到一定影响,需采取措施解决。

13.4 水轮发电机组,由于三峡水库水位变幅大,机组难以在各种水头下都处于高效率工况下运行。最大水头与额定水头之比达1.4,显然太大。在最大水头时水轮机的振动和空蚀较严重,难以稳定运行。因此在技术设计和审议中已提出多种措施,包括适当提高设计水头、增大发电机容量、降低水轮机转速,以及在初期运行时有一些机组采用初期转轮等。

【作者简介】

潘家铮 男 中国科学院院士 中国工程院副院长 电力部顾问 北京 100031

(收稿日期:1996-01-19 编辑:李彦芹)

New Progress Since the Three Gorges Project Commencement and Preparation for Closure of the Yangtze River

He Gong

[**Abstract**]The investment plan of annual fixed asset has been fulfilled assigned by the state, construction progress and quality meet with design requirements with a good investment control since one year of the Three Gorges Project's official commencement. The construction arrangement of the Project for the year of 1996 is to greet the closure of the Yangtze River in 1997 and a construction link—up preparation after the River closed. Therefore deepening reform and strengthening management is needed.

[**Key words**]Review Arrangement Management

Construction and Modern communication of the Three Gorges Project

Gao Xianglin

[**Abstract**]The communication system must be geared to the needs of the 21st century with a high technical requirement, a high starting point and keeping with direction and tendency of development of communication technology at the present time, ensuring the needs of communication for the Three Gorges Project. A principle of unified plan and enforcement in fractional steps will be adopted in the course of its construction, for it will serve the Three Gorges Project.

[**Key words**]Three Gorges Project Communication net Construction size Plan implement

Several Problems and Decisions in the Technical Design for the Three Gorges Project

Pan Jiazheng

[**Abstract**]The Three Gorges project will be the largest hydro project in the world. the Three Gorges Construction commission under the State Council of China had intrusted the design departments to continue studying the 8 individual technical designs thoroughly and examined them item by item after the examination on the primary design being approved, and made decisional opinions, which, although had been studied, expounded and proved for many years because of its sophisticated technology and limitation during design period. These opinions involve major technical problems such as types of the penstocks, dam stability and foundation treatment, diversion and baffle of the dam body, layout and structure of the powerhouse and filling of the stage—II deep water cofferdam, etc.

[**Key words**]Three Gorges Hydro Project Technical examination Technical design

Durability of Concrete of the Three Gorges Dam

Chu Chuanying

[**Abstract**]The durability of concrete of the Three Gorges dam is a common question paid a great attention to by the people, However, the quality of the raw materials for the concrete must be first increased so as to increase the durability; selections of cement, flyash and sand affect the durability of concrete directly, which