

# 三峡工程管理模式及混凝土技术研究

曹广晶

(中国长江三峡工程开发总公司, 湖北宜昌 443002)

**[摘要]** 三峡水利枢纽是目前世界上规模最大的混凝土建筑物, 混凝土总量近  $2\ 800 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 除满足稳定性要求外, 还需要满足泄洪、发电、航运等方面的特殊要求, 具有结构复杂、施工强度高、技术标准高等特点。通过 10 年的工程实践, 三峡工程建设管理初步形成了具有三峡工程特色的管理模式。为保证混凝土优质快速施工, 研究和决策了若干新技术和新工艺, 论述了三峡工程的管理模式和三峡工程混凝土工程技术。

**[关键词]** 三峡工程; 管理模式; 混凝土

**[中图分类号]** TV512; TV43 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)08-0082-04

## 1 三峡工程概述

长江三峡水利枢纽是开发和治理长江的关键性骨干项目, 具有防洪、发电、航运等巨大的综合效益。三峡大坝控制流域面积  $100 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 总库容  $393 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。枢纽主要由拦河大坝、水电站、通航建筑物三大部分组成。大坝为混凝土重力坝, 大坝最高 181 m。水电站为坝后式, 安装 26 台 700 MW 水轮发电机组, 总装机容量 18 200 MW, 年平均发电量  $847 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。通航建筑物包括永久船闸和垂直升船机, 永久船闸为双线五级连续梯级船闸(封面), 可通过万吨级船队; 升船机为单线一级垂直提升式, 一次可通过一艘 3 000 t 级的客货轮。

三峡工程分三期进行施工, 总工期需 17 年。第一期工程 5 年(1993—1997 年), 以实现大江截流为标志; 二期工程 6 年(1998—2003 年), 以实现首批机组投入运行和永久船闸开始通航为标志; 三期工程 6 年(2003—2009 年), 以全部土建工程完工和全部机组投入运行为标志。1993 年开始按计划顺利实施, 目前已进入二期工程收尾阶段。

## 2 工程管理模式

### 2.1 招标管理

三峡工程实行招标承包制, 运用市场竞争机制, 择优选择承包商, 取得相对最优的施工组合。实行各工程项目分期分项招标、分项管理、整合汇总。招标时实行公开招标、公平竞争、公正评标、集体决策<sup>[1]</sup>。国家招标法公布实施后, 三峡总公司相应成立招标委员会, 实行依法招标, 统一组织各项目招标工作, 严格控制招标程序。招标由三峡国际招标有限责任公司负责代理, 评标专家组按招标法规定聘请并独立进行评定工作。

### 2.2 合同管理

三峡工程各单项工程合同金额巨大, 其中最大一笔为 66.85 亿元, 执行期长达数年。合同文本参照国际通用的 FIDIC 条款, 结合中国实际, 根据不同项目内容, 采用单价合同和总价合同两种形式。单价合同和总价合同根据合同执行期的长短又采用固定价和浮动价形式。三峡总公司通过工程建设部各项目部, 具体实施项目合同管理。

### 2.3 设计管理

工程设计由水利部长江水利委员会全面承担；技术设计由三峡总公司技术委员会负责组织审批；招标设计由三峡总公司负责审批；施工详图设计由三峡总公司工程建设部会同各监理单位审批。对工程中一系列的技术难题，广泛征求专家意见，鼓励创新，充分发挥集体智慧，避免决策失误。

### 2.4 监理管理

三峡工程的监理由三峡总公司工程建设部管理，对各分项施工监理进行协调整合。分项施工监理由三峡总公司选聘有资质的监理单位对承包单位进行施工监理。三峡工程第二阶段主体工程聘用5个监理单位，总人数达900余人。在混凝土、焊接、机电安装等施工专业，还聘请国内外高级咨询专家担任专业质量总监。各种闸门及原材料都实行驻厂监造，以确保质量。

## 3 工程质量、进度与造价的控制

### 3.1 工程质量控制

三峡工程质量，是“千年大计，国运所系”，必须有高标准的质量和完善的质量保证体系。

根据已有的国家标准、部颁行业标准、三峡工程设计的部分特殊要求以及三峡工程的施工特点，三峡总公司组织编制了《中国长江三峡工程质量评定标准》。至今已有90余个质量控制标准汇编成册并予实施。

建立质量管理机构及责任制。从原材料、加工制造、储存运输直到施工，建立层层责任制，并由参建各方组成三峡工程质量管理委员会，负责组织协调和指导，提出“零质量事故”管理目标。

建立质量事故处理程序、质量奖惩制度和单元质量评定制。1993年开工到2002年底，共评定135 107个单元工程，全部合格，优良率达81.06%；工程质量完全可以让全国人民放心。

建立质量检查逐级把关制度。原材料出厂检查由三峡总公司委托有资格的机构按照规定标准进行，执行出厂合格证签发制。钢结构及机组设备制造过程由三峡总公司委托有资格的国内外监造机构进行驻厂检查，定期向三峡总公司报告质量状况。运输过程实行到站检查、入关检查和现场检测。总公司材料试验中心、测量中心、安全监测中心、金属结构检测中心按有关规程实行归口检查。

国务院三峡建设委员会还专门成立国务院三峡

枢纽工程质量检查专家组，对三峡工程的施工质量定期进行权威检查和评价。

完整的质量监督体制对及时消除质量隐患，提高工程质量，争创一流工程起到了保证作用。

### 3.2 工程进度控制

总公司根据三个阶段目标制定工程的总进度计划，编制了各工程分项控制进度，并制定分项招标进度。施工中，通过合同管理及时调整分部进度，确保关键路线上的控制进度目标的实现。

1997年11月8日成功实现了大江截流，2002年5月1日和7月1日第二期上、下游围堰按计划破堰进水，并通过国家组织的阶段验收，圆满完成了第一阶段的建设任务。总进度计划得到较有效控制，各主要关卡已按计划顺利通过，预计整个工程可按计划在2009年竣工。

### 3.3 投资控制

国家批准的三峡工程投资概算是1993年5月末的价格水平。三峡工程建设期长达17年，为此采取了以下投资控制措施：

1) 静态控制。是指不突破国家批准的投资概算额度，用静态概算控制工程的投资，优化工程管理，降低成本和各种费用支出。

2) 动态管理。17年工期中每年物价指数都是变化的，建设期的利率是浮动的，每年都要按照当年的物价指数对比1993年价格进行价差调整。每年需要预测未来的资金需求，实行动态管理，用动态的价差支付，用多种融资措施降低融资成本。

3) 价差管理。三峡工程的主体工程合同周期较长，大部分合同实行价差调整，每年一次补偿给承包商。三峡总公司委托中介机构对全国的建材、器材、各类商品、人工费等价格进行分析，提出影响三峡工程环比和基比的价差率，报三峡建委，由三峡建委会同国家计委和中介机构的专家核定。每年核定上一年的价差比率，三峡总公司按承包商投标及合同当年的报价补偿其差额。

4) 概算控制。在国家批准的初步设计概算总量控制基础上，根据技术设计进行调整，编制业主执行概算。再按招标的分项合同价，编制分项合同的实施控制价。每年都要进行概算执行和控制分析，以此做到分项和整体的概算控制。实际表明，三峡总公司的投资控制情况良好。

## 4 三峡大坝混凝土施工

### 4.1 三峡大坝混凝土施工特点

1) 混凝土量巨大, 施工强度极高。三峡工程混凝土总量近  $2\ 800 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 二期工程施工强度更为突出, 1999, 2000 和 2001 年 3 年分别浇筑混凝土  $458 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,  $548 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $402 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 连续 3 年远远超过原苏联古比雪夫电站创造的  $364 \times 10^4 \text{ m}^3$  的世界纪录。

2) 结构复杂。三峡大坝不是普通实体挡水大坝。由于长江洪峰量大, 加上分期导流要求, 泄洪坝段共设三层泄洪孔口, 使得坝体结构异常复杂, 而且导流底孔和为深孔的高速水流流速均达  $30 \text{ m/s}$  以上, 体形要求和表面平整度要求极高, 给施工以及质量控制带来极大难度。

3) 混凝土温控难度大。大坝混凝土属大体积混凝土, 必须采取严格的温控措施, 保证大坝不出现危害性裂缝。要严格控制混凝土内部最高温升、上下层温差、基础温差、混凝土内处温差。而且三峡地区夏季炎热, 温控难度尤其大。

4) 耐久性要求特别高。这是由于三峡大坝的特殊重要性, 大坝混凝土的抗冻性要求: 内部混凝土 D100、外部达到 D250, 抗渗要求内部要达到 S8, 外部要达到 S10 ( $10^{-9} \text{ cm/s}$ )。

#### 4.2 混凝土配合比设计

三峡大坝混凝土是用大坝基坑和船闸开挖出来的新鲜岩石作骨料, 岩性为闪云斜长花岗岩, 这种岩石具有较高的抗压强度 ( $100 \text{ MPa}$  以上), 但是其拉压比小, 骨料中含有较多的云母, 破碎过程中容易产生隐性节理, 而且易产生泌水。因此, 给最大限度地减少水泥用量, 优化配合比, 尽可能减少水化热带来了极大的困难。另外, 由于对混凝土质量要求中, 又特别突出了耐久性问题, 因此, 在混凝土配合比设计中, 各种技术指标相互制约, 必须与温度控制要求进行全面平衡和优化, 这是一个十分复杂的技术难题。为此做了大量的试验研究工作, 所采取的主要措施有:

1) 优选混凝土原材料, 高掺优质粉煤灰。a. 主要选用 525<sup>#</sup> 中热水泥, 并尽可能多掺粉煤灰。如坝内混凝土最大可掺量达  $40\% \sim 45\%$ , 结构混凝土可掺  $20\%$ 。水泥熟料中的  $\text{MgO}$  含量控制在  $3.5\% \sim 5\%$ , 使混凝土具有微膨胀性, 补偿混凝土降温阶段体积收缩, 减少混凝土裂缝。b. 采用 I 级粉煤灰, 坚持将 I 级粉煤灰作为功能材料掺用, 以取代部分水泥。由于 I 级粉煤灰具有减水效果, 可降低混凝土用水量<sup>[2]</sup>。利用 I 级粉煤灰的

微珠效应, 还可大大改善混凝土的和易性。I 级粉煤灰具体参数为: 细度 ( $0.045 \text{ mm}$  方孔筛余量)  $\leq 12\%$ ; 需水量比  $\leq 95\%$ , 烧失量  $\leq 5\%$ , 含水量  $\leq 1\%$ ; 三氧化硫含量  $\leq 3\%$ 。

2) 采用高效减水剂。为有效解决花岗岩人工骨料混凝土用水量高的难题, 选用了与其他原材料有良好适应性, 且减水率在  $18\%$  以上、其他指标满足国标一等品的高效减水剂, 这是降低混凝土用水量的一个非常重要的措施, 为配制高性能大坝混凝土创造了条件。

3) 坚持在混凝土中全部掺引气剂。这是提高混凝土工作性、保证三峡大坝混凝土耐久性和使用寿命的重要措施。

另外, 为了防止发生碱骨料反应, 严格限制原材料的碱含量和混凝土总碱量: 中热水泥的碱含量小于  $0.6\%$ ; 粉煤灰碱含量小于  $1.5\%$ ; 混凝土总碱量小于  $2.5 \text{ kg/m}^3$ 。

混凝土配合比采用缩小水胶比、增加粉煤灰掺量的技术路线。水胶比是影响混凝土强度和耐久性的重要因素; 水胶比越小, 混凝土孔隙率越小, 强度越高, 耐久性越好。优化后的三峡坝体外部混凝土水胶比小于  $0.5$ , 水位变化区的  $< 0.45$ , 内部混凝土的不大于  $0.55$ , 高速水流区小于  $0.35$ 。

由于采取了多项技术措施, 优选出的混凝土配合比使混凝土具有优越的性能。例如, 混凝土内部抗冻性可达 D250 以上、水变区可达 D300 以上。四级配混凝土用水量由原来的  $110 \text{ kg/m}^3$  降至  $85 \text{ kg/m}^3$ , 同时降低了大体积混凝土的绝热温升和干缩, 提高了抗裂性、体积稳定性和耐久性等, 并使混凝土具有良好的施工和易性和经济性。在查知骨料种类的配合比中, 以花岗岩作骨料的大坝混凝土最低用水量为  $100 \text{ kg/m}^3$ 。三峡大坝混凝土采用 90 天龄期强度设计, 主要指标如表 1。

#### 4.3 混凝土施工方案

合理的施工方案是施工进度和混凝土施工质量的根本保证。根据三峡二期厂坝工程的施工特点, 经过综合比较, 选择了以塔带机为主、摆塔式缆机和高架门机 (塔机) 为辅的施工方案。优点是可以将混凝土垂直输送和水平传送结合起来, 实现从拌和楼至浇筑仓面混凝土的连续供应, 达到快速、连续、高强度施工的目的。实践证明, 正是由于这一方案才保证了连续 3 年的高强度施工。

表 1 三峡工程大坝混凝土设计主要指标

Table 1 Major design specifications of TGP concrete

使用部位	设计标号	水灰(胶)比	最大骨料/mm	抗冻性	抗渗性	极限拉伸值/ $10^{-4}$	粉煤灰最大掺量/%	总碱含量控制/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
大坝内部	R <sub>90</sub> 150 <sup>#</sup>	0.55	150	D100	S8	0.70~0.75	40~45	2.5
大坝基础	R <sub>90</sub> 200 <sup>#</sup>	0.50	150	D150	S10	0.80~0.85	35	2.5
大坝外部	R <sub>90</sub> 200 <sup>#</sup>	0.50	150	D250	S10	0.80~0.85	30	2.5

#### 4.4 混凝土温度控制

三峡工程大坝柱状块尺寸大, 基础温差标准高, 温控措施要求严格。为此, 三峡工程在广泛分析国内外工程已采取单项或多项温控措施现状的基础上, 首次实施全过程、全方位、高标准、大容量的综合温控技术, 以确保混凝土施工质量<sup>[3]</sup>。由于塔带机混凝土输送过程中温度回升率缺乏与之对应的参照资料, 必须寻求理论计算等方法, 对此, 建立新的计算模型, 解决了混凝土温度回升计算的难题。高温季节塔带机快速高强度浇筑坝体约束区混凝土, 在国内外为首次, 没有可借鉴的施工经验及有关计算分析方法, 经过研究论证提出了高温季节塔带机快速高强度浇筑坝体约束区混凝土的温控要求和综合措施, 并实施成功。自 1999 年以来施工的大坝混凝土至今未发现危害性深层和贯穿裂缝, 一些浅表层裂缝均进行了严格处理。三峡工程各建筑物孔洞多, 结构复杂, 混凝土温控防裂难度大, 更增加了研究的难度; 坝区气温骤降频繁, 混凝土表面防裂难度大。由此可见, 三峡工程混凝土

温度控制难度超出国内外已建及在建工程, 所采用的大柱状块温差标准及综合温控防裂措施均严于国内外先进水平。

## 5 结语

三峡工程是当今世界特大水利枢纽工程, 其规模宏大、技术问题复杂、施工强度大。通过 10 年的工程实践, 已经初步形成了三峡工程特色的建设模式, 创造了一批水电建设史上新的世界记录。2003 年实现工程蓄水、发电和通航的建设目标, 它的建成, 无疑是中国工程的一座丰碑。

#### 参考文献

- [1] 陆佑楣. 团结一致 扎实工作 打好攻坚仗 迎接新世纪 [J]. 中国三峡建设, 1999, (3): 1~7
- [2] 李文伟, 陈文耀. 三峡工程混凝土的耐久性 [J]. 中国三峡建设, 2001, (7): 15~17
- [3] 曹广晶, 彭 冈. 三峡二期厂坝工程混凝土施工质量控制 [J]. 水力发电, 2001, (6): 38~42

## Management Mode and Concrete Construction for the Three Gorges Project

Cao Guangjing

(China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] The Three Gorges Project (TGP) is the largest concrete structure in the current world. The Project, with a total amount of approximately 28 million  $\text{m}^3$  of concrete, is characterized by complicated structure, intensive construction and high technical standards, which should not only meet the requirements for stability but also meet the special requirements for flood releasing, power generation and navigation improvement. Through a decade of engineering practice, a management mode with the TGP's characteristics has been formed in the TGP construction management. Various new techniques and technologies have been used to ensure the concrete quality. Design, construction and management measures adopted for the concrete works of the Project are discussed in this article on an overall basis.

[Key words] Three Gorges Project; management mode; concrete