

三峡工程科技进步与创新

张超然, 孙志禹

(中国长江三峡集团公司, 湖北宜昌 443002)

[摘要] 三峡工程在设计、建设和运行过程中,对我国水利水电工程建设、机电设备制造和生态环境保护等各个领域提出了巨大的挑战。针对三峡工程建设的关键技术和难题,国内各个领域的专家学者,进行联合科研攻关,取得了一系列重大创新成果,提高了我国相关领域的科技水平。简要列举了三峡工程建设和运行过程中形成的主要创新成果,对我国今后重大水利水电工程建设和水电清洁能源开发具有重要意义。

[关键词] 三峡工程;科技创新;生态环境保护

[中图分类号] TV632 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)07-0033-05

1 前言

三峡工程是开发和治理长江的关键性骨干工程,是世界上最大的水利枢纽工程,面临着一系列前所未有的世界级难题,决定了三峡工程建设必须走自主创新之路。三峡工程从构想、勘测、规划、论证、设计到施工,经过了几代人的不懈努力,凝聚了全国范围许多研究领域的专家学者的科技创新,取得了一系列的重大科技创新成果。自1994年工程正式开工至2010年底,三峡工程形成的科技成果获国家科技进步奖20多项,省部级科技进步奖200多项,专利几百项,建立工程质量和技术标准100多项。这些科技创新成果有力地促进了我国重大水利水电工程建设、水机电设备制造、生态环境保护和信息技术应用等领域的科学发展^[1]。

2 水利水电工程技术

三峡工程施工导截流与围堰、大坝混凝土、金属结构制作与安装等水利水电工程技术均取得了众多创新成果^[2]。在两次河道截流中,针对水深、堤头坍塌严重的难题,创造性地采用了深水平抛垫底措施;在围堰防渗施工中,引进了国际最先进的防渗墙设备,结合自行开发的新设备与新工艺,探索出世界

领先水平的水下防渗施工技术。在大坝混凝土施工中,首次使用了性能优良的I级粉煤灰和高效减水剂,并优化了混凝土配合比,使优选出的大体积混凝土配合比单位用水量达到世界领先水平;首创混凝土骨料二次风冷技术,创立了一套大容量、全方位、全过程的综合混凝土温控生产体系。在双线五级船闸建设中,取得了直立高边坡开挖、岩体锚固、船闸输水、超大规模人字门安装等几十项技术突破^[3]。下面仅列举大江截流与围堰技术、大坝混凝土快速施工与温控防裂技术进行扼要介绍。

2.1 大江截流与围堰技术

三峡工程施工导流及施工期通航方案,是一项庞大复杂的系统工程,最终确立采用“三期导流、明渠通航”方案。大江截流主河床深槽段最大深度达60多米,截流戗堤和堰体抛填过程中堤头容易坍塌,直接威胁施工人员和施工机械的安全。通过大量水力学模型试验、数值计算和机理分析,确定采用预平抛垫底、上游单戗立堵、双向进占、下游尾随跟进的实施方案。大江截流创造了截流流量8480~11600 m³/s、截流水深60 m及日抛投强度19.4万 m³等多项截流世界纪录。导流明渠具有高落差、河底光滑的特点,通过采用水下吊抛钢筋石笼或铅丝石笼形成加糙拦石坎、上下游双戗合龙的实

[收稿日期] 2011-05-11

[作者简介] 张超然(1940—),男,浙江温州市人,中国工程院院士,从事水利水电工程建设与管理;E-mail:zhangchaoran@ctgpc.com.cn

施方案,顺利完成截流。

二期土石围堰基础地质条件复杂,堰基粉细砂、块球体及花岗岩中强风化带、弱风化带的严重透水性是一般围堰工程中极少遇到的特殊地层,其技术处理方案直接关系到工程的成败。针对不同地层特征,采用铣削成槽法、铣砸爆结合成槽法、两钻一抓(铣)成槽法及上抓(铣)下钻成槽法等成槽新方法,极大地提高了成槽速度,攻克了架空层成槽、块球体的爆砸辅助成槽、钻头磨损、铁件打捞等难题,大规模冲击反循环成槽和优质固壁泥浆等技术都达到国内领先水平。同时,针对二期土石围堰堰高、变形的特点,研究提出并采用了新型塑性混凝土墙体材料,实践证明是成功的,围堰渗漏量远小于设计值。

三期碾压混凝土围堰是右岸主体工程的施工围堰,又是二期工程蓄水(135 m水位)、通航、发电的挡水“大坝”。基础部分随导流明渠施工先期完成,主体部分高90 m、长380 m,混凝土110.7万 m^3 ,需要在6个月时间内浇筑完成。通过优化混凝土分区与分缝分块,采用预制廊道、预制模板,钻孔法堰体排水管,以及变态混凝土的成功运用,有效解决了堰体结构与快速施工及方便拆除的矛盾。采用塔带机、汽车组合方式入仓,通仓薄层连续上升浇筑,较低的碾压混凝土拌和物VC值,连续翻转大型模版,保证了连续高强施工。创造碾压混凝土连续上升57.5 m、月最高浇筑45.7万 m^3 和日最高浇筑2.11万 m^3 的世界记录。

为满足右岸电站厂房进水条件和右岸排漂过流条件,需对三期碾压混凝土围堰(堰项高程140 m)高程110 m以上堰体混凝土部位进行拆除。经试验研究确定,采用水下定向倾倒爆破新技术,并于2006年6月6日成功实施。

2.2 大坝混凝土快速施工与温控防裂技术

三峡大坝孔洞多、结构复杂,坝块尺寸大,设计允许大坝基础混凝土最高温度要求严,混凝土温控防裂难度大。三峡主体工程混凝土总量达2800万 m^3 ,工程量大,工期紧,施工强度高,高峰期持续时间长,质量要求严。传统方案难以满足施工强度要求。经反复论证和研究,决定选用以6台套的塔带机为主,辅以少量门塔机、缆机的综合混凝土浇筑方案。该方案集混凝土水平运输和垂直运输为一体,混凝土从各拌和楼生产出来后,通过皮带机将混凝土输送到塔带机,再由塔带机直接将混凝土入仓。这是一种工厂化的生产方式,具有连续作业、均

匀高效、相互干扰小的优点。1999—2001年,三峡工程创造了连续几年混凝土年浇筑量超过400万 m^3 的世界纪录,其中2000年浇筑548万 m^3 ,远远超过了由古比雪夫工程保持的年浇筑313万 m^3 的前世界纪录。

三峡大坝坝体内过流孔及闸门槽(井)尺寸大、数量多、体型复杂,增加了混凝土温控防裂难度。在总结以往工程生产7℃预冷混凝土实践经验的基础上,三峡工程首创在混凝土拌合楼采用二次风冷骨料新技术,经二次风冷后,骨料平均冷却终温可达1℃~0℃。针对塔带机浇筑方案,通过采取措施,在高温季节将胶带输送预冷混凝土温度回升控制在4℃~6℃,回升率为0.17~0.18。为削减大坝混凝土最高温升,通水冷却采用“个性化”初期通水,提出了中期通水冷却的新工艺,并在入秋后将中期通水与后期通水冷却连续进行,降低了大坝混凝土内外温差,更有利于防裂。采用中热水泥高掺优质粉煤灰等技术措施优化大坝混凝土配合比。在大坝上、下游面粘贴聚苯乙烯泡沫板保温,取得良好保温效果。在总结左岸大坝施工经验和教训的基础上,三期右岸大坝进一步优化施工方案,实行精细化管理,大坝质量优良,受到国务院质量检查专家组的充分肯定。

3 机电设备制造与安装技术

三峡工程70万kW特大型水轮发电机组制造,经历了从左岸电站的参与分包,到右岸电站12台机组中的8台拥有完全自主知识产权的过程,推动中国走进大型水电设备设计制造的世界先进行列。1993年三峡工程开工之前,我国自主设计、制造的最大发电机组只有32万kW,在大型水电设备的设计制造上较发达国家落后近30年。从当时的技术实力来看,单纯依靠国内厂家制造70万kW的机组,技术和经验远远不够。仅仅靠采购国际一流制造厂家的先进设备,不但大量增加成本,而且永远摆脱不了对国外技术的依赖。在此背景下,明确提出依托三峡工程,走技术引进与自主创新相结合的道路。1996年三峡工程左岸14台机组招标明确提出“三个必须”:投标者必须与中国制造企业联合设计、合作制造;必须向中国制造企业全面转让核心技术,培训中方技术人员;中国制造企业分包份额不低于合同总价的25%,14台机组中的最后2台必须以中国企业为主制造。

2004年,三峡工程右岸电站12台机组采购合同签订,法国阿尔斯通、哈尔滨电机厂有限责任公司和东方电机股份有限公司各自中标4台机组的制造合同。从1996年到2004年,我国大型发电设备制造企业在三峡工程中由“配角”一跃成为“主角”,由国外厂商主导下的“分包商”变成了独立制造商,我国大型水轮发电机组的国产化时代已经开始。中国企业通过参与三峡工程建设和引进消化吸收再创新,拥有了水轮机水力设计、定子绕组绝缘、发电机蒸发冷却等具有自主知识产权的核心技术,具备了与国际水电巨头同台竞争的能力。

左岸电站首批2台机组于2003年7月并网发电,2005年9月左岸电站14台机组全部投入商业运行。右岸电站2007年6月首台机组并网发电,2008年10月右岸电站12台机组全部投入商业运行。至此提前一年全部机组投入运行,其机电安装质量优良,安装进度创世界记录。2010年三峡电厂全部机组1820万kW连续满出力运行1233h,全年发电量达843.7亿kW·h。我国自主设计、制造、安装特大型水轮发电机组的时代从三峡工程正式开始。

4 生态环境保护技术

4.1 高精度洪水预报与生态联合调度技术

为了提高三峡水库上游洪水预报精度,中国三峡集团投入了大量科研力量用于提高水库调度水平,利用组织参与国家十一五·科技支撑计划“特大型梯级水利水电工程安全及高效运行若干关键技术研究”和“水库群联合调度自动化系统开发集成关键技术研究”的契机,完善了三峡库区上游地区水情和气象遥测站点布设,在上游流域建成了全国最先进的水情自动测报系统。在确保防洪安全的前提下,开展了科学利用洪水资源的研究。在长江防总的直接指导下,进行了中小洪水调度的系列生产性试验。2010年汛期,长江防总下达防洪调度及指令28次,三峡水库进行了7次防洪运用,累计蓄洪量达264.3亿m³,有利保证了长江中下游的防洪安全,提高了洪水期葛洲坝和三峡工程两坝间及中下游的通航能力。同时,也实现了洪水资源的有效利用。据长江水利委员会发布的数据,三峡工程2010年直接防洪效益达266亿元。

4.2 中华鲟人工繁殖技术

三峡水库库区水生生物尤其是长江重要鱼类的

繁衍是受到公众关注的焦点,中国三峡集团已经投入了大量财力和人力进行科学研究,定期组织人工繁殖的长江珍稀水生动物中华鲟的放流活动,并且针对中华鲟与四大家鱼产卵生态水文和水力学条件、库区次级河流富营养化生态环境问题,对其长期生态学效应、库区支流水华爆发的水动力影响机制、中华鲟及四大家鱼自然繁殖需求等展开了相关研究,为三峡工程生态调度实践奠定了良好基础。

2009年10月4日,中华鲟研究所在三峡坝区基地成功培育出世界上第一尾全人工繁殖中华鲟鱼苗。这是人类在保护这一濒危物种过程中取得的重大技术突破,具有里程碑式的重要意义,标志着人类找到了不依赖稀有的野生亲鱼就能把中华鲟长期保存下来的有效途径,同时能使野生中华鲟的自然产卵行为免受人工捕捞的惊扰,从而更好地保护野生亲鱼资源。

4.3 三峡工程生态与环境监测系统

为长期系统地观察三峡库区生态与环境的发展变化,积累相应的数据资料,为三峡库区的生态与环境建设提供科学的依据,1996年国务院三峡工程建设委员会牵头建立了跨地区、跨部门、跨学科的“长江三峡工程生态与环境监测系统”(以下简称监测系统),对三峡工程相关生态与环境问题开展全过程跟踪监测。经过十几年的运行,监测系统取得大量生态、环境数据与资料,及时预警预报,为三峡工程建设及运行过程中环境与资源管理以及领导部门决策提供科学依据和技术支撑,为三峡工程生态环境管理发挥了重要作用。

三峡工程生态与环境监测系统,以库区为重点,延伸到长江中下游与河口相关地区,主要任务是监测因兴建三峡工程而引起生态环境各种因子的变化和发展趋势,了解掌握三峡建坝前后长江流域相关地区生态环境变化的时空规律;充分发挥工程的有利影响,促使受工程影响的地区及相关地区生态系统呈良性循环;针对三峡工程在生态与环境引起的主要不利影响。“监测系统”中将监测工作与减免对策应用结合起来,开展以经济、环境协调发展为目标的实验和示范研究,以期推广应用,达到监测工作作为改善生态环境服务的目的。对某些还认识不清的问题积极开展科学实验与应用研究,提出三峡工程及长江相关区域生态建设对策体系和对策优化的具体措施,以期为长江生态环境建设和经济同步发展做出贡献。

4.4 泥沙技术

为中国可持续发展的千年大计,泥沙问题被列入三峡工程建设中的一个重大技术问题,通过大量数学模拟计算、实体模型试验和原型监测分析相结合的综合方法,取得一大批高水平科研成果。研究成果表明:采用“蓄清排浑”的水库运行方式,水库初始运行30年内,无论坝区、变动回水区,泥沙淤积不会对航运和发电造成不良影响。初步设计时,三峡坝址处多年平均输沙量5.3亿t,平均含沙量 1.2 kg/m^3 。自20世纪90年代以来,特别是进入21世纪以后,三峡工程上游历年来水量变化不大,但来沙量明显减少。

三峡工程2003年6月开始蓄水,经历了三年的135 m围堰挡水运行期、两年的156 m初期运行期,2008年汛后开始175 m试验性蓄水,其中2010年10月26日首次蓄水至175 m正常蓄水位。三峡水库蓄水以来,入库泥沙年均约2亿t,淤积在水库内的泥沙约1.3亿t;水库排沙比约为40%,淤积部位主要集中在主槽;沿程分布看,越靠近坝前,淤积强度越大,最大淤积厚度为26.7 m,在坝前约3.4 km处。与论证和可行性研究阶段的成果比较,库区泥沙淤积基本在预测范围内,但水库泥沙淤积情况比预计有较明显减少。随着上游干流和支流修建水电站以及国家采取长江上游禁止砍伐天然林,并加速植树造林和水土流失治理工作进展,三峡水库泥沙淤积问题将向有利方面变化。下游河道冲刷和河道演变仍是今后关注的重点,已有监测成果初步分析,总体上在原来的预测控制范围以内。通过建立一套长效的科研机制和完善治理的综合体系,加强原型

监测,三峡工程泥沙问题可以得到解决。

5 信息技术应用

三峡工程信息化建设与工程建设同步推进,通过10多年的努力,已经开发出了在国际工程项目管理领域处于领先水平、具有自主知识产权的“三峡工程管理信息系统(TGPMS)”和“电厂运行管理信息系统(ePMS)”。

三峡工程管理信息系统推动了工程管理创新,提高了工程建设管理水平。TGPMS是在引进西方发达国家先进管理理念、方法、模型的基础上,结合三峡工程建设的实际情况,进行再造。该系统集工程管理模型、软件功能模块和数据体系三位于一体的集成化大型工程管理综合控制系统。该系统的开发与应用,创造了一套适用于我国工程管理特点的业务模型、编码标准、数据资源加工体系和实施方法论。TGPMS系统于1997年开始逐步投入三峡工程使用,如今系统已覆盖了工程管理的各个层面,有效控制了在建合同的100%,建设资金使用的100%,实现了跨部门、跨地域、全方位的规范化管理。对工程建设的进度、质量、安全和总投资控制等,发挥了重要作用。

参考文献

- [1] 曹广品. 三峡工程建设与我国水电技术进步, 中国水电100年[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 张超然,尹庭伟. 科学技术在三峡工程建设中的作用[J]. 水电发电,2003(12):12-16.
- [3] 张超然,陈先明,胡兴娥. 三峡工程试验性蓄水对若干技术决策的验证[J]. 水力发电,2009(12):5-9.

Scientific and technological progress and innovation of Three Gorge Project

Zhang Chaoran, Sun Zhiyu

(China Three Gorges Corporation, Yichang, HuBei 443002, China)

[**Abstract**] In the design, construction and operation periods of the Three Gorges Project (TGP), great challenges have been met in different fields such as water resources and hydropower project construction, electromechanical equipment manufacture and ecological environment protection. In view of the key techniques and difficulties in the construction period, S&T breakthrough have been performed by the experts and scholars of various fields and a series of innovative achievements are gained, which make the scientific and technological levels in relevant fields improved. Some major innovative achievements gained in the TGP construction and operation are enumerated, which are significant for the hydropower project construction and clean energy development in the future in China.

[**Key words**] Three Gorges Project; scientific and technological innovation; ecological environment protection

(上接 19 页)

The flood control and regulation of Three Gorges Project

Cai Qihua

(Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

[**Abstract**] The important role of TGP in the flood control of the Yangtze River Basin is summarized and the “*Optimum Regulation Schemes of the Three Gorge Reservoir*” is briefly described. In combination with practical flood regulation and operation, the flood regulation effect of TGP is analyzed; several problems related to reservoir flood regulation are discussed and suggestions are put forward for the future work.

[**Key words**] Three Gorges Project; flood control; regulation