

振兴装备工业必须依靠 企业自主研发和政府的引导支持

梁维燕¹, 苗立杰²

- (1. 中国机械工业联合会三峡装备办公室, 哈尔滨 150040;
2. 发电设备国家工程研究中心, 哈尔滨 150040)

[摘要] 有关的制造企业通过吸收三峡工程左岸机组引进技术并参与设计制造, 使我国的水电机组设计制造达到国际先进水平, 对振兴我国装备制造工业, 参与三峡工程右岸前4台机组的国际投标创造了条件, 并提供了许多有益的经验。

[关键词] 装备制造; 三峡工程; 水力发电机组; 设计制造

[中图分类号] TK73 **[文献标识码]** C **[文章编号]** 1009-1742(2004)09-0029-04

1 政府引导

1983年国务院成立重大技术装备领导小组, 将三峡工程机电设备列为12个国家重大技术装备项目之一。从“六五”计划开始, 每个五年计划都列出用户主管部门和装备制造主管部门的具体计划项目, 由国务院重大技术装备领导小组办公室(简称国务院重大办)与有关部门签订合同实施。1998年转由国家经贸委技术进步与装备司负责, 2003年转由国家发改委高技术产业司负责。三峡工程机电设备科技攻关课题均委托原机械工业部重大装备办公室, 1993年后转由机械工业部三峡装备办公室组织有关企业与科研、高校等单位按合同开展工作, 1998年改组为国家机械工业局, 2001年组建中国机械工业联合会, 继续由三峡装备办公室负责组织三峡工程机电设备的科技攻关工作。2003年9月按国家发改委的要求, 中国机械工业联合会三峡装备办公室对“十五”三峡工程水电机组科技攻关课题进行中期评估。

从“六五”到“十五”期间, 我国研究开发大电机、水轮机的行业单位——哈尔滨大电机研究所

(哈大所)和骨干企业哈尔滨电机厂(哈电)、东方电机厂(东电), 通过三峡机组课题的科技攻关为企业自主研发大型水电机组奠定了基础。“六五”计划期间, 哈大所和东电先后建立了符合IEC标准的高水头水力试验台, 开展水轮机水力设计和模型转轮的试验研究以及用模型转轮验收水轮机工作。以广西岩滩、青海龙羊峡水电站自行设计制造的大型混流式水电机组为三峡工程的中间试验机组; “七五”期间, 哈大所和东电分别建立3000t和1000t推力轴承试验台, 进行三峡机组推力轴承的研究, 并为三峡工程机电专家组、长江水利委员会设计院提供三峡机组技术参数及国内制造的可行性研究成果; “八五”期间, 参与国务院三峡工程建设委员会(三峡建委)办公室组织外商来华技术交流, 国内各方先后组团到国外技术考察, 哈电、东电分别编制了三峡工程700MW水电机组方案设计并通过了专家审查; 在此期间, 国家自然科学基金委和机械工业技术发展基金会立项开展5个理论课题的研究并通过了验收。在政府的支持下, 哈电、东电投入了大量人力、财力开展科技攻关工作, 为三峡机组自主研发奠定了基础。

[收稿日期] 2004-04-29

[作者简介] 梁维燕(1929-), 男, 山西襄汾县人, 中国工程院院士, 哈尔滨动力设备股份有限公司研究员级高级工程师
苗立杰(1956-), 男, 河北肃宁县人, 博士, 哈尔滨电站设备集团公司研究员级高级工程师

2 制定合理的国际招标文件

在三峡工程左岸电站 14 台 700 MW 水电机组国际招标文件中,明确“联合设计、转让技术、合作制造”的原则,收到良好的效果。在三峡建委领导下,确定三峡工程左岸电站 14 台 700 MW 水电机组采用国际招标,在业主单位——中国长江三峡工程开发总公司(三峡总公司)大力支持下,经过多次讨论,于 1996 年 6 月发出招标文件,规定 14 台机组一次招标,责任方为外商,前 12 台以外商为主,中方参与,中方分交份额的比例按合同总价计算不低于 25%,鼓励中方份额多分交一些,后 2 台机组以中方为主;要求外商和中方联合设计,合作制造,并向中方转让技术。哈电和东电符合中方分包商的资格,中标外商分包给在中国控股子公司制造企业的份额另计。在投标前,外商分别与哈电和东电签订技术转让和分包协议,做为投标文件的必要内容,1996 年 12 月共有 5 家外商或联合体投标,经过议标选定,Alstom 与 ABB(发电设备部分现已并入 Alstom)中标 8 台,采用 Kvaerner(水轮机部分现已并入 GE Hydro)水力设计与模型转轮,由哈电分包与联合设计并接受转让技术;选定 VGS 联合体(Voith, GE, Siemens)中标 6 台,由东电分包与联合设计并接受转让技术。于 1997 年 9 月 2 日三峡总公司与中标外商签订合同,技术转让和分包协议相继生效。

哈电、东电分别派人到主承包外商所在地参加联合设计和接受技术转让,包括核心技术的计算机软件,其后分别在两厂计算得出与国外相同的结果,并稳定运行一年后验收再支付技术转让费。掌握了水轮机水力设计与模型试验、机组大部件刚度强度计算、轴系稳定性计算、发电机电磁设计、推力轴承计算、通风冷却计算等设计技术和关键工艺技术,培养了一批中青年技术骨干,具备自行研究开发设计大型水电机组的能力。

1994 年原国家计委批复增加大型水电设备制造能力的项目建议书,哈电、东电分别利用银行贷款和自筹资金进行企业技术改造,增建水力试验台等科研设施,购置加工水轮机转轮叶片型线和焊接坡口的 5 轴联动数控龙门铣床、加工转轮、顶盖、底环和活动导叶轴孔的 $\phi 16\text{ m}/\phi 22\text{ m}$ 数控立式车床、加工主轴的 $\phi 4.2\text{ m}\times 18\text{ m}$ 数控卧式车床、数控落地镗铣床、焊接设备等,满足加工三峡等大型

水电机组零部件的需要,已经发挥了重要的作用。

中央领导多次强调三峡工程的重要性和保证质量的要求,哈电、东电制订和贯彻专门的质量保证体系,接受主承包外商的技术指导、监督和三峡总公司聘请的 BV/EDF 全过程监造,两厂干部与职工高度重视,认真地执行分包合同项目。哈电、东电分包合同占总价近 30%,占除掉水轮机埋入件的总重量约 45%,关键部件都在两厂制造供货 2 台份以上,只有磁轭各供 1 台,空气冷却器和油冷却器是从其他厂采购的,国内没有分包。其中水轮机转轮哈电受 Kvaerner (GE Hydro) 委托,在葫芦岛大件厂用专用回转架和两台埋弧自动焊机焊接、热处理及加工制造 3 台,哈电分包制造 2 台,受 Alstom 委托制造 1 台,东电分包在四川本厂制造 2 台;发电机定子线棒哈电分包 3 台份、东电分包 2 台份等。2003 年三峡电厂运行 6 台机组中,每台都有两厂制造的部件。Alstom 和 VGS 安排其在中国的子公司制造关键部件,天津 Alstom 制造导水机构,上海希科制造 2 台水轮机转轮和大型结构件;14 台水轮机埋入件包括涡壳制造都由中国水电第八工程局中标在工地下料、成型、焊接。总计三峡工程左岸 14 台机组在中国制造的份额约占总价的 51%,所有部件都满足主承包外商的技术要求,得到设备监造外商 BV/EDF 的认可。其中最关键部件如水轮机转轮、发电机定子线棒等在制造完成后都经过三峡总公司派人到制造场地验收合格后运出。三峡工程左岸电站水轮机转轮由 Alstom/VGS 设计,最大外径 10 600 mm/10 080 mm,高 5 080 mm/5 565 mm,重 450 t/410 t,是世界上最大尺寸和重量的混流式转轮,制造难度大,14 台转轮中有 10 台在中国制造,哈电、东电在数控龙门铣床加工叶片型线和焊接坡口,与上冠、下环组焊、热处理、加工并整体转轮运输到工地,说明工艺水平的提高和技术改造的成功。三峡工程左岸电站 14 台 700 MW 水电机组招标文件确定的原则和实践推动了国内水电设备制造企业的技术和管理水平的提高,增强了国际竞争能力,取得了良好的效果。三峡工程左岸电站机组分包项目中,由于国际招标等原因, $\geq 120\text{ mm}$ 厚钢板,磁轭钢板、硅钢片等采用了进口材料,冶金企业须努力得到使用单位的信任;国内制造的 10 台水轮机转轮的毛胚中只有一个上冠和一个叶片是国内铸

造的，重机企业须努力在国际竞争中取胜。

3 促进重大装备工业的技术进步

三峡工程右岸 12 台机组中前 4 台的国际招标和后 8 台的设计制造，是对国内制造企业的又一次考验。三峡左岸电站水轮机模型转轮验收时，Alstom（采用 Kvaerner 模型转轮）和 VGS（采用 GE Hydro 模型转轮）能量指标及空化性能都很好，但压力脉动值两次试验都没有达到合同保证值，在高部分负荷区存在一个压力脉动带，真机运行时要避开振动区，以保证运行的稳定性。三峡建委三峡工程质量检查专家组建议，待两种机型真机运行后再进行右岸电站机组招标。经专家论证，三峡总公司提出额定水头从左岸的 80.6 m 提高到 85 m 左右，机组转速可以采用 75 r/min 或 71.4 r/min。为了促进国际竞争，提高机组水力稳定性，三峡建委确定右岸电站 12 台 700 MW 机组中前 4 台采取国际招标，哈电、东电具有投标资格，要求在投标时提供水轮机模型试验装置并在国内水力试验台同台对比。2003 年 6 月发售招标文件，共有哈电、东电、Alstom 和 Voith Siemens Hydro 4 家公司投标，10 月 15 日开标，国内机组价格比国外两家低 12%~19%；在中国水利水电科学研究院水力机电研究所的水力试验台上历经两个多月，对 4 家水轮机模型装置逐个试验，与制造厂内试验结果相当，水力性能都优于左岸，稳定性有明显改善。经过评议对比，Alstom 的 71.4 r/min 模型试验结果最好，在运行范围内的尾水管和无叶区的压力脉动值都达到保证值，没有发生叶道涡和卡曼涡，消除了高部分负荷区的压力脉动带，比左岸电站模型转轮的稳定性有很大改善；哈电、东电的 75 r/min 水力模型试验结果较好，比左岸电站模型转轮的稳定性也有很大的改善，哈电模型转轮试验与 Alstom 结果相近，只是在刚刚超过出力限制线有几点较大的压力脉动和加权平均效率略低。右岸电站前 4 台 700 MW 机组经过评标选定 Alstom 中标。根据哈电、东电在左岸电站机组技术引进、技术改造和分包制造的表现和右岸电站机组自主研发设计参与前 4 台投标的实际情况，三峡建委确定右岸电站后 8 台机组由哈电、东电按各自投标文件的承诺和水轮机模型试验的结果各制造 4 台（已于 2004 年 3 月 27 日与三峡总公司签订设备供货合同）。三峡右岸电站机组计划 2007 年和 2008 年各 6 台发电。三峡工程

右岸电站前 4 台机组的国际招标又促进了国内外水电设备制造企业的技术进步，国内在水力设计模型转轮研究工作中，消化吸收引进技术并有所创新，建立了具有自主知识产权的水轮机模型转轮。哈电、东电在三峡右岸电站机组竞争中，独立编制自主研发 700 MW 水电机组的投标文件和答疑澄清文件，均达到了业主要求。在合同执行中保证质量，按期交货，做好售后服务，指导设备安装与调试的任务十分繁重，将是又一次新的考验。

4 企业自主研发与政府引导支持

从三峡工程水电机组的研制看振兴装备工业特别是重大技术装备的发展必须依靠企业的自主研发和政府的引导支持。从“六五”计划开始，国务院重大办把三峡机电设备列为重大技术装备项目，明确哈大所、哈电、东电是三峡机组的研制单位，企业内部组织专门队伍与科研单位和高校合作开展科技攻关，增加科研试验手段，自主研发三峡水电机组。从“八五”计划政府批准哈电、东电进行技术改造，增加大型水电机组生产能力；确定国际招标采购水电机组时，政府确定了联合设计、转让技术、合作制造的原则；三峡右岸电站前 4 台机组国际招标时，政府确定哈电、东电可以参与投标等等，哈电、东电在各阶段都得到政府和业主的支持，目的就是要使国内企业能够自主研发设计制造国内需要的三峡水电机组。实现国产化，其中重要的一点是企业内部首先是自主开发和培养了人材，才能顺利地消化吸收引进技术，再深入研究开发，才能有所创新。经过 20 年的实践历程，哈电、东电才具备参与象三峡水电机组的投标资格。现在看，20 年的时间是太长了，表明我国的重大技术装备必须加快发展，才能赶上国际先进水平，参与国际竞争。

在建设社会主义市场经济体制的现阶段，国内企业距离成为技术创新的主体相差甚远。6 年来，发电设备制造工业市场衰落，建设项目少，国内三大发电设备制造基地技术水平大体相当，靠降价争夺项目，投入研究与开发费用少，以哈尔滨动力设备股份公司（哈尔滨三大动力厂与电站工程公司）为例，2002 年仅为销售额的 1.2%。2003 年发电设备市场突涨，产品价格有所回升，但钢材价格猛涨，使企业产品成本难以承受，研发费用很难增加，亟需政府加强宏观调控。

5 结论

三峡工程水电机组的研制走出了一条成功的“自主研发、引进消化、博采众长、创新跨越”的技术路线，对我国研制重大技术装备可资借鉴。

1) 政府对重大技术装备研制的引导与支持，组织协调业主及其主管部门和制造企业及其主管部门的供需关系，必要引进技术时，以市场换技术，支持企业技术改造，加快国产重大技术装备的

进程。

2) 企业为技术创新的主体，产学研结合开展科技攻关，明确研制重大技术装备的企业，依靠企业的自主研发和消化吸收必要的引进技术，建立研制重大技术装备的责任制。

3) 必须做好重大技术装备的前期研发，才能成功地消化吸收引进技术；继续研发才能有所创新，实现自主设计制造重大技术装备。

Self-reliant Way for Manufacturing Rejuvenation

Liang Weiyan¹, Miao Lijie²

(1. TGP Equipment Office, China Machinery Industry Federation, Harbin 150040, China;

2. National Engineering Research Center for Power Equipment, Harbin 150040, China)

[Abstract] Through the digestion of the imported technology for the generating sets at TGP's left bank and the participation in the design and manufacturing work by the joint effects of the relevant manufacturing enterprises. China's design and manufacturing of hydropower generating units has reached the world advanced level. It lays foundation for the rejuvenation of china's manufacturing industry and for the international bidding for the first 4 generating sets at TGP's right bank. It also provide useful experiences.

[Key words] equipment manufacturing industry; TGP; hydropower generating units; design and manufacturing

《中国工程科学》2004 年第 6 卷第 10 期要目预告

中国的极轨气象卫星	孟执中
超光速研究的 40 年——回顾与展望	黄志洵
基于 ANFIS 系统的基结构自适应生成	李 昊等
WLAN802.11/11b 数据加密机制的安	宋宇波等
全分析	宋宇波等
基于频域的多变量广义 (MIMO-GPC)	孙青林等
稳定性分析	孙青林等
机械结构虚拟优化设计技术与应用研究	胡如夫等
一类灰色模糊决策问题的熵权	罗 党等
规则库自提取和简化的模糊系统	郭海湘等
非爆炸且不可还原农用硝酸铵的	
热稳定性评估	汪旭光等

参数自寻优模糊控制器在中央空调	
温度控制系统中的应用	吴爱国等
基于 I-deas 的工装 CAD 系统中知识库	
系统的研究	尹晓伟等
柴油在热壁面上的着火	栗元龙等
液体射流技术在油田开发中的新应用	
.....	吴太平等
贴玻璃钢加固混凝土组合梁挠度研究	
.....	段敬民等
大庆油田台肇地区低渗透储层裂缝	
及其开发对策研究	曾联波等
企业知识产权战略设计与核心竞争力	
.....	袁 俊
对 MRPII/ERP 系统的分析与展望	张建辉