

## 秦山二期核电汽轮机研制及国外合作模式探讨

梁国敬 王韩威 杨其国

(哈尔滨汽轮机厂有限责任公司, 哈尔滨 150046)

核电秦山二期是以我国自己力量为主的一项国家重点工程, 汽轮发电机组是其关键设备之一, 其研制及国外合作体现了以我为主、中外结合的方针, 充分借助了国外先进技术, 使业主和制造厂双双受益, 有一定典型意义。

### 1 以我为主, 中外结合

#### 1.1 国家定点, 分工明确

80年代末, 我国尚处于计划经济向市场经济转型时期。按国家计委定点意见, 把秦山二期核电站汽轮发电机组按汽轮机主机、辅机、汽水分离再热器 (MSR)、发电机分别定点于哈尔滨汽轮机厂 (哈汽)、上海电站辅机厂 (上辅)、上海汽轮机厂 (上汽) 和哈尔滨电机厂 (哈电)。

#### 1.2 调兵遣将, 研究开发

哈汽领导对核电机组研制极为重视, 1992年初成立了核电办公室, 直属厂长领导, 实行单独项目管理。哈汽设计研究所建立了以主任设计师为主的骨干研究队伍, 搜集资料, 研究方案, 配合电力设计院进行初步设计。进一步消化吸收引进技术, 了解核电与火电的区别, 归纳出28个技术难点问题, 准备通过科研攻关、院所合作、国外咨询等逐一解决。

结合与国家签订的三个核电“八五”重大科技攻关项目--《汽轮机设计制造技术研究》、《大型阀门设计和试验研究》和《末级长叶片研究》, 利用国拨和自筹资金, 与大专院校及科研院所协作, 将科研项目分解为若干子课题, 紧密结合秦山二期项目, 有针对性地解决技术难点问题。翻译出版了相关的技术文集, 向前苏联及ABB、GE、西屋等公司的有关专家咨询, 使研究工作逐步深入。

#### 1.3 配合设计, 技术协调

1992年, 哈汽提出了初步设计方案, 向华东电力设计院提供80多份设计资料, 满足了工程初步设计的需要。在技术设计中, 完成46项技术设计和论证工作, 通过厂内技术设计 (第一阶段) 审查。

1993年3月哈汽与核电秦山联营公司签订了技术协议。经与华东院及秦山二期业主多次讨论修改, 《汽轮机技术规范书》(第三版) 定稿并作为技术协议附件。技术协议确定了14项需从国外采购的零部件, 6项国外技术咨询技术问题和6个规范书中的遗留问题。

1994年5月哈汽与核电秦山联营公司签订了两台汽轮机订货合同。

为保证汽轮机主机、凝汽器、加热器、MSR和发电机各设备接口的一致性, 哈汽被确定为“技术总负责”单位, 负责上述设备之间的技术接口协调。哈汽代表在业主与上辅、上汽签订的技术协议上作为技术总负责单位签字, 并参与其设计审查。按行业规定作为归口单位与哈尔滨电机厂协调有关轴系、油系统的接口等问题, 参加其设计审查会。

### 2 联合设计, 合作制造

综 述  
核 电 设 计  
工 程 管 理  
工 程 建 造  
运 行 维 护  
核 安 全  
核 电 前 期  
核 电 论 坛  
核 电 经 济  
核 电 国 产 化  
质 量 保 证  
核 电 信 息

由于外部条件的变化, 核电秦山二期两台汽轮机改由哈汽与美国西屋公司联合设计、合作制造。

1995年1-2月, 以“技术规范书”和技术协议有关条款为基础, 先后与ABB、西屋公司谈判, 形成合同文本。其中商务条款由中国原子能工业公司作为哈汽的对外代理进行谈判, 并与哈汽共同签署。技术条款由哈汽与ABB、西屋谈判(最后与西屋)签署有关条款和附录-01技术规范、03验收试验、04技术文件、05联合设计、06检查和验收守则、07性能保证。

联合设计、合作制造的主要内容:

### (1) 联合设计

#### 1) 设计分工

概念设计:

西屋: 热平衡; 外形布置图。

哈汽: 参加设计(在美国6人月)。

施工设计:

西屋: 热力设计(热平衡、热力参数); 通流设计(通流尺寸、流道、动静叶); 动静叶片设计(几何尺寸、叶片型线、气动性能等); 轴系设计(横向、扭转振动、轴系稳定性等); 热膨胀设计(胀差); DEH(数字式电液调节系统)设计(硬、软件, 包括EH设备); 主汽调节阀、再热截止阀(软、硬件); 飞裂安全性分析。

哈汽: 汽缸(高、低压内外缸); 隔板套(高、低压); 隔板(高、低压各级); 汽封(汽缸端汽封、隔板及动叶顶部汽封); 轴承及轴承座; 油系统(主油泵、油蜗轮增压泵、辅助油泵); 本体辅助系统(汽封、疏水、喷水系统); 管道(主汽管、高压排汽管、低压进汽管); 基架及地脚螺栓; 基础预埋件等。

#### 2) 设计责任

西屋: 提供分工部分的设计图纸和技术文件; 向哈汽提供参考图和资料(哈汽分工设计部分); 回答哈汽提出的有关技术问题; 为中方人员在美国的联合设计活动提供方便(在国外60-90人月); 对哈汽设计进行审查。

哈汽: 转化西屋提供的图纸、文件(供用户和设计院); 提供分工部分的设计图纸和技术文件; 参加对西屋设计的审查; 负责西屋与设计院、业主之间技术问题的联络协调。

#### 3) 几条原则

a. 机组性能由西屋负责(性能试验在满负荷后8周内进行, 尽量不迟于6个月, 特殊情况可在第一次大修后进行);

b. 西屋采用的新技术(包括核心技术)只可用于秦山二期项目, 不得转让给第三方;

c. 西屋的核心技术不转让。

### (2) 合作制造

#### 1) 合同关系

a. 哈汽对核电秦山联营公司负责(汽轮机主机);

b. 西屋公司对哈汽负责;

c. 中国原子能工业公司以哈汽名义并代表哈汽与西屋签订联合设计、合作制造合同;

d. 哈汽作为技术总负责单位负责汽轮机本体、辅机（凝汽器、低加），汽水分离再热器（MSR）和发电机之间的接口协调。

## 2) 制造分工

西屋：第一台：转子（含动叶片）；主汽调节阀和再热蝶阀；DEH。第二台：动叶片；主汽调节阀和再热蝶阀；DEH。

哈汽：除上述以外的其他的有关部件（包括总装盘车）。

## 3) 制造责任

西屋：对西屋供货范围内的部件负责；对哈汽供货范围内的部件进行有关的质量检查，以判别对性能的影响；对哈汽分工的加工制造提供技术支持（含4次对中国的访问）。

哈汽：对哈汽供货范围内的部件负责；对西屋供货的部件开箱检验，在厂内装配，以保证总装盘车和现场总装的完成。

## 4) 质量监造

按合同规定的监造点，由哈汽、用户组成监造组对西屋供货的W点、H点进行现场监造，对于R点则由西屋提供制造质量记录。

## 2.2 执行合同，生产制造

核电秦山联营公司与哈汽于1994年5月正式签订了两台核电汽轮机的订货合同。

哈汽于1995年2月与西屋签订了联合设计、合作制造核电秦山二期两台汽轮机的合同。

1995年5月在北京召开设计联络会，决定联合设计的具体安排。

1995年7月，哈汽派人参加概念设计（在美国6人月）。

1996年5月至1997年1月，哈汽先后派出三批18人（在国外共69人月）在美国进行涉及10个项目的联合设计工作，完成后分专业进行设计审查。

1997年1月在北京召开由国家机械局主持的设计审查会，通过国家评审。

在联合设计中，哈汽技术人员根据总结出的技术难点，与西屋公司工程师紧密配合，查找资料，论证计算，先后解决了如高压缸中分面及螺栓布置设计、堆焊防浸蚀层设计、推力轴承及轴系结构、机组外型及接口受力、低压去湿、飞裂安全分析等设计难点。

在双方的相互审查中，提出若干需进一步解决的问题，以会议纪要明确，在审查之后逐一落实。

从1997年2月至1998年1月在不到一年的时间里，哈汽以年轻人为主的设计队伍不畏艰难，敢于攀登，完成了一、二类部套的施工设计，保证了生产制造的顺利进行，并将施工图提供给西屋进行审查。

对于技术协议中提出的6项国外咨询技术问题，通过联合设计、科研攻关等得到解决。在设计审查中向专家提出了审查报告，并通过了评审。

对于技术总负责，哈汽完成了多项接口技术协调工作，向用户提交了总结报告，目前还在继续做好这方面工作。

在制造过程中，公司领导始终坚持核电要出精品的原则，提出以GE缸、ABB隔板套（国外合作件）为具体样板，从工艺上针对核电机组特点，研究工艺方案，进行技术攻关，完成大量技术准备工作。其中包括：

（1）工艺技术准备：采用先进、成熟工艺；树立精品概念，坚持质量第一；工艺规程细化；工艺规程要按质量手册、质量计划和工艺方案。

（2）工艺方案内容：技术准备原则；主要依据；产品特点和技术要求；工艺方案；程序文件；科研

及攻关项目。

(3) 质量计划： 共11项（QP-H01-97001-011）。

(4) 工艺科研： 99科H-21-ZG0Cr13Ni 4Mo冶炼； 98科H-04-ZG0Cr13Ni 4Mo焊接性能研究； 98科H-06-ZG0Cr13Ni 4Mo加工工艺研究。

(5) 工艺攻关项目： 攻98- H01-02-15共 11项。

(6) 工艺试验及加工。高压外缸：（ZG15Cr2Mo1）厂内精加工、进汽插管焊接、泵水；高压内缸：（ZG15Cr2Mo1）铸造、堆焊耐腐蚀层；低压内缸：装焊工艺、焊接工艺评定、焊工培训、上岗、中分面及内孔加工（83 t）、泵水；隔板套：（ZG0Cr13Ni 4Mo）冶炼、补焊、加工；导叶片加工：数控 XK715B、XK755B粗精铣、精抛、三座标测量；焊接隔板：焊接收缩量控制、拂配、装焊夹具--Sa尺寸合格率90%以上；整体总装盘车：台板间隙、轴向、径向间隙（给现场留量）；第二台末级叶根槽加工：工艺试验、刀具准备、样板；第二台叶片装配：（整体围带叶片装配）严格按西屋工艺、工装、量具--西屋专家技术支持。

(7) 材料。材料转化： 百余种新材料的转化（PDS→B/HJ）， 20余种PS工艺文件消理解、应用；材料研究： ZG0Cr13Ni 4Mo火电没用过， 热处理工艺研究； 锻件： 编制转子锻件国内外采购技术条件， 完成订货； 无损检测： 委托和报告制度。

(8) 生产制造攻克的各项难关： 不锈钢件（隔板套等）铸造和加工； 静叶片精密浇注（末三级）、型线加工； 堆焊不锈钢防侵蚀层（高压内、外缸）； 末级叶根槽加工（刀具， 分度装置， 工艺试验）； 动叶片装配（第二台）； 总装盘车（轴向、径向间隙， 台板间隙）。

### 2.3 质量第一， 制造精品

哈汽始终把研制核电设备作为质量上台阶、管理上水平的大好机遇。初期， 进行核电知识教育（中层干部和职工）， 派人到秦山、大亚湾学习质量管理。1992年编制《质量保证大纲（核电机组）》， 经核电秦山联营公司认可， 1998年又对《质量保证手册》认可。

从产品设计开始就制定了《产品设计质量保证手册》等一系列文件， 对设计人员资格进行审查， 聘任机组主任设计师、主管设计师等设计主管人员。在设计中采用成熟技术， 重大技术问题经专题会议（专家参加）讨论落实。对文件的发放、传递、保存均有严格规定。对设计更改、不符合项处理严格按质保程序进行。

#### (1) 制造质量控制

- 1) 工艺规范严格遵照质量手册；
- 2) 编制质量计划， 包括哈汽供货范围的所有主要部套， 经核电秦山联营公司认可；
- 3) 实施质量计划： 秦山驻厂代表对见证点实施见证； 对不符合项， 填写不符合项报告， 并进行关闭；
- 4) 贯彻ISO9000系列标准： 举办各类学习班和调研； 质量保证大纲（核电机组）； 质量保证手册（第二版）；
- 5) 严格检验， 层层把关： 检查人员培训上岗； 漏检意味着下岗； 人人精品工程做贡献。

#### (2) 现场巡回服务， 专题会议

处理各种实际问题， 制定核电十条， 每周一次核电专题例会， 及时解决处理生产、质量方面的各种实际问题， 保证按期完成总装盘车任务。

#### (3) 总装盘车成功

经过哈汽全体职工的努力， 于1999年9月27日实现了我国首台650 MW核电汽轮机总装整体盘车一次成功。

### 3 国外合作模式探讨

核电秦山二期与国外合作的模式，是当时历史条件下形成的，有一定典型意义。

#### (1) 主要特点

- 1) 外方提供技术支持保证性能并对主要设备关键部件供货。
- 2) 中方设备制造厂为总的供货方，对最终用户（核电站）负责。
- 3) 汽轮机制造厂作为常规岛汽轮发电机设备的技术总负责单位，以协调有关技术接口。
- 4) 常规岛设计院仍为常规岛设计及BOP的负责单位。

#### (2) 主要优点

- 1) 由外方做性能及安全性保证，提高了经济性、安全性和先进性。
- 2) 国内设备制造厂承担大部分部件的供货，汽轮机主机国产化率两台平均达到74%（第一台68%，第二台80%），为进一步提高国产化率打下良好基础。
- 3) 通过联合设计使汽轮机厂基本掌握了核电设计、工艺技术，有利于实现设计自主化。
- 4) 为哈汽独立完成650 MW等级核电汽轮机和1000 MW全速核电汽轮机设计制造，培养锻炼了一批工程技术、管理质量保证人员。

#### (3) 需改进之处

- 1) 涉及国内外主要供货厂家约六家，其接口协调难度较大，与国外协调受条件限制，不太方便快捷。
- 2) 国外技术不转让，仅使用，不利于全面掌握国外先进技术。
- 3) 供货方与业主分别签合同，汽轮机厂仅做技术总负责（接口协调），对被协调方的约束力有限，关系较复杂。

### 4 几点体会

#### (1) 项目管理

对于核电站汽轮发电机组这样大型复杂的设备，涉及国内外几个供货厂家，常规岛系统和BOP设计一般由电力设计院负责，这几家之间的协调特别是技术及接口协调至关重要，容易出现问题和差错。与国外的合作涉及商务、供货范围及接口、技术责任、技术转让及协作、联合设计等，问题复杂，操作难度大。要求有强有力的专业班子做好项目管理（包括技术管理）。管理人员，既要善于管理，又要有责任心，要懂技术、会外语，否则难以胜任如此复杂的工作。

#### (2) 合同与技术协议

与外方的合同及技术协议条款要尽可能细化，使双方都全面理解。特别应该对国外供货方的管理方式、技术状况要有深入的了解。否则容易产生由于双方理解不同而带来的纠纷或分歧，使某些条款执行出现问题。

#### (3) 培养锻炼技术人员和管理人员

与国外合作需要一批懂管理、懂技术、懂外语的技术和管理人员。在联合设计中，我方人员的素质越高，我们越能掌握更多的先进技术，与外方的合作越顺利，设计自主化和国产化进程越快。选择和培养一批人材并非易事，必须给予足够的重视。

#### (4) 制造经验的积累

核电有许多与火电的不同点，在加工制造方面首先要掌握工艺制造技术。哈汽在火电制造技术基础上，采用西屋工艺标准和技术，结合工厂实际，圆满攻克了如不锈钢部件铸造、加工、末级宽体叶根槽加工、堆焊不锈钢防浸蚀层、总装盘车等制造难关，积累了实际经验。

#### (5) 质量保证

核电产品制造难度大，质量要求严，对工厂质保工作是一次考验。秦山驻厂代表实行现场实时监造，工厂紧密配合，使所有质量问题及时得到妥善解决处理。西屋公司对静叶片等加工要求严，其三座标测量结果满足了西屋标准要求。

#### (6) 设计先行

设计先行是保证建设周期的关键。由于核电秦山二期汽轮机并不是一个已经完成全部施工设计的定型机组，其资料提供往往与建设周期要求不相适应，往往是先提出初步（供参考）资料，再提出正式资料，给工程设计带来一定影响。

#### (7) 人员稳定

管理和技术人员应相对稳定，由于周期长、领导更迭等原因，从管理到技术人员都有一些变动，有的变动频繁，使工作受到一定影响。

核电秦山二期模式开创了一个新例，为我国核电汽轮机国产化及进一步发展积累了经验，值得借鉴。相信在此基础上进一步完善和发展，一定能创造出更适应我国核电汽轮机发展的模式。