

发电装备

30年来，特别是近10年，我国发电装备高速发展。从2006年开始，发电装备产量连续7年超过1亿kW，产量位居世界第一，水电并网装机容量、核电在建规模、风电并网装机容量均居世界第一。

一、超（超）临界火电机组

到2013年底，我国已经生产了314套600~660MW超临界火电机组，67套600~660MW超（超）临界火电机组，产品等效可用系数高达91.44。生产了77套1000MW超（超）临界火电机组，产品等效可用系统高达92.79，产量均位居世界第一。

（一）超临界火电机组

图1是河南沁北电厂一期600MW超临界火电机组，为国产首台（套）示范工程，其中三大主机设备分别由中国东方电气集团有限公司（以下简称东方电气集团）东方锅炉厂（以下简称东锅）、哈尔滨电气集团公司

(以下简称哈电集团)哈尔滨汽轮机厂(以下简称哈汽)、哈电集团哈尔滨电机厂(以下简称哈电)制造,蒸汽参数为24.2MPa、566℃/566℃;1号机组和2号机组分别于2004年11月23日和2004年12月13日投运。

三大主机设备分别由哈电集团哈尔滨锅炉厂(以下简称哈锅)、东方电气集团东方汽

轮机厂(以下简称东汽)、上海电气集团股份有限公司(以下简称上电集团)上海汽轮发电机厂(以下简称上电)承制的江苏常熟电厂600MW超临界火电机组;三大主机设备由上电集团制造的江苏镇江电厂600MW超临界火电机组(见图2)分别于2005年3月和2005年7月投运发电。



图1 河南沁北电厂一期600MW超临界火电机组



图2 上电集团制造的江苏镇江电厂600MW超临界火电机组

国家重大技术装备 **30** 年

哈电集团、上电集团和东方电气集团三大发电设备集团自主设计制造的600MW超临界火电机组，其性能经西安热工研究院有限公司（以下简称西安热工研究院）和上海发电设备成套设计研究院（以下简称上海成套院）测试，热耗约为7528kJ/(kW·h)，供电煤耗为293g/(kW·h)，达到了国际先进水平。

（二）超超临界火电机组

以华能集团浙江玉环电厂（以下简称浙江玉环电厂）为依托工程，国产首台（套）1000MW超（超）临界火电机组（见图3）于2006年11月18日正式投运，其三大主机设备分别由哈锅、上电集团上海汽轮机厂（以下简称上汽）和上电承制。图4是上汽制造的1000MW超超临界火电机组的转子。



图3 浙江玉环电厂国产首台（套）1000MW超（超）临界火电机组





图4 上汽制造的1000MW超（超）临界火电机组的转子

由东方电气集团制造三大主机设备的山东邹县发电厂1000MW级超（超）临界火电机组（见图5）于2006年12月投运，参数为25MPa、600℃/600℃。

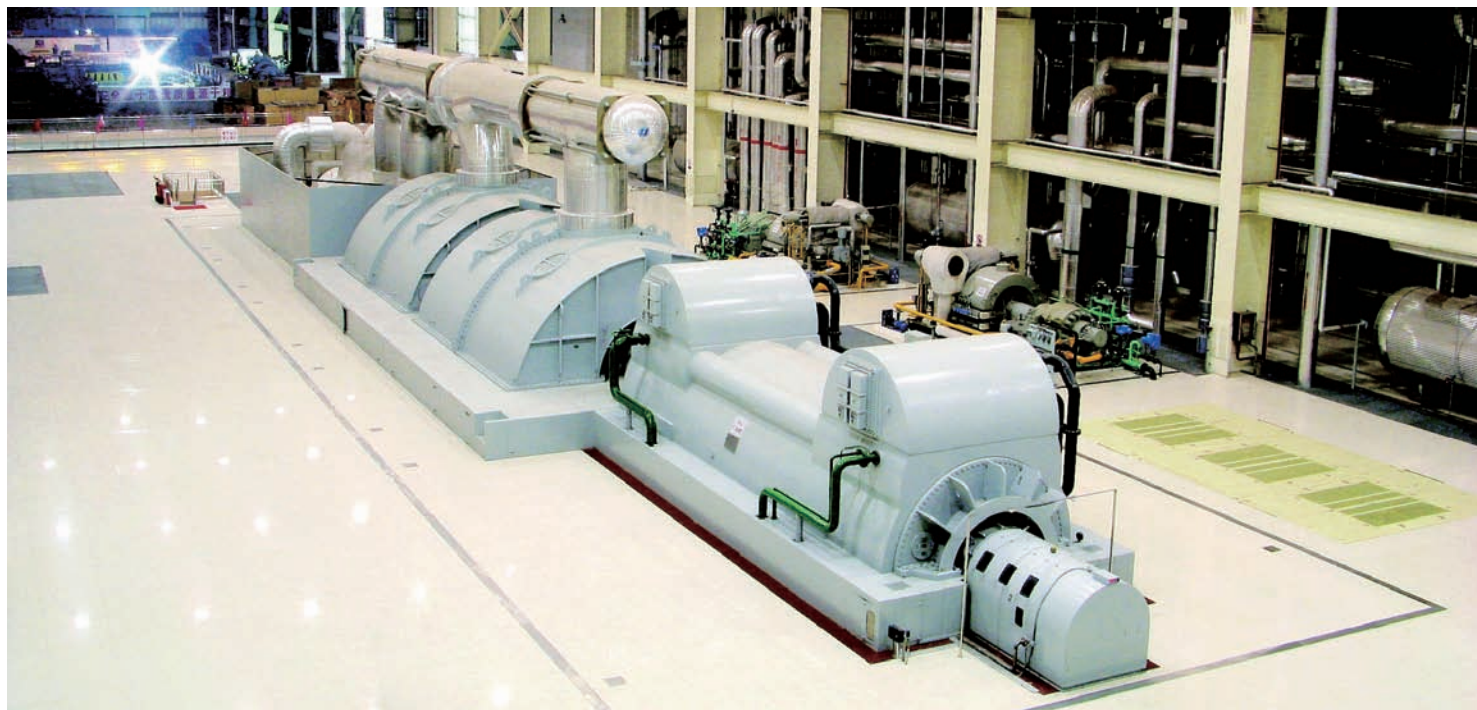


图5 东方电气集团为山东邹县制造的1000MW超（超）临界火电机组

由哈电集团制造三大主机设备的江苏泰州电厂1000MW级超（超）临界机组于2007年12月投运，参数为25MPa、600℃/600℃。

我国制造的1000MW超（超）临界火电机组经过西安热工研究院和上海成套院性能测试，热耗约为

7296kJ/（kW·h），供电煤耗为285g/（kW·h），达到了国际先进水平。

（三）大型超临界空冷机组

我国是世界上拥有空冷机组最多的国家，到2012年底，已投运300MW空冷机组90余台，空冷机组最高可节水3/4。

哈汽、上汽和东汽相继成功地制造了300MW和600MW亚临界直接空冷机组，2006年又开始自主设计开发三缸四排汽和双缸双排汽的600MW超临界直接空冷机组。东汽于2008年7月制造出首台双缸双排汽的600MW超临界直接空冷机组，并在华能集团河北上安电厂投入运行。该机组将高效率、低消耗的超临界技术与节水的直接空冷技术相结合，节能、节水环保效果显著，各项性能指标已达到世界先进水平。

2007年9月，国家以宁夏灵武电厂二期建设为示范工程，启动了1000MW超（超）临界直接空冷机组的研制，于2010年12月成功投运，这也是全球首台1000MW级超（超）临界直接空冷机组。图6是东汽为该示范工程研制的全球首台1000MW超（超）临界直接空冷机组。



图6 东汽为宁夏灵武电厂二期研制的全球首台1000MW超（超）临界直接空冷机组

(四) 大型循环流化床 (CFB) 锅炉

到2012年底，我国引进技术型和自主开发型300MW循环流化床锅炉已建成83台。

2003年，国家将四川白马电站作为示范工程，由东锅承担，通过技贸结合方式，引进了法国阿尔斯通公司300MW循环流化床锅炉的设计制造技术，该CFB锅炉于2005年底顺利并网发电（见图7）。与此同时，国内多家骨干锅炉制造企业与科研院所合作，自主研发了具有中国特色的300MW CFB锅炉，其性能与引进型锅炉相当。

为进一步提高能源利用效率，发展我国洁净煤发电技术，在引进消化吸收300MW CFB锅炉技术的基础上，国家将大型超临界CFB锅炉技术列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006~2020年）》。经过长时间技术跟踪、消化吸收和自主创新研究实践，我国具备了研发拥有自主知识产权的600MW超临界CFB锅炉的能力，2009年，依托四川白马电站，东锅自主开发、设计制造世界首台600MW超临界CFB锅炉机组，并于2013年4月成功投入商业运行（见图8）。



图7 东锅通过技贸结合、引进法国阿尔斯通公司设计制造技术研制的四川白马电站示范工程300MW循环流化床锅炉现场



图8 由东锅自主开发设计制造的世界首台600MW超临界CFB锅炉机组在四川白马电站运行

二、水电机组

(一) 三峡水电站

2008年10月，三峡电站26台（套）700MW水电机组全部投入运行，配套的输变电工程也全部建成。其中，哈电、东方电气集团东方电机厂（以下简称东电）两家企业共生产了具有自主知识产权的12套700MW水电机组（右岸8

套，地下4套）。图9是哈电自主制造的三峡右岸电站23号700MW水电机组，图10是东电自主研发的700MW水电机组核心部件——转轮，图11是哈电自主研发的三峡右岸1号700MW水电机组转轮剪彩仪式，图12是哈电生产的三峡右岸26号700MW水电机组机定子。2010年10月26日，三峡水库坝前水位首次达到175m设计高程。



图9 哈电自主制造的三峡右岸电站23号700MW水电机组



图10 东电自主研发的700MW水电机组核心部件——转轮



图11 哈电自主研发的三峡右岸1号700MW水电机组转轮剪彩仪式

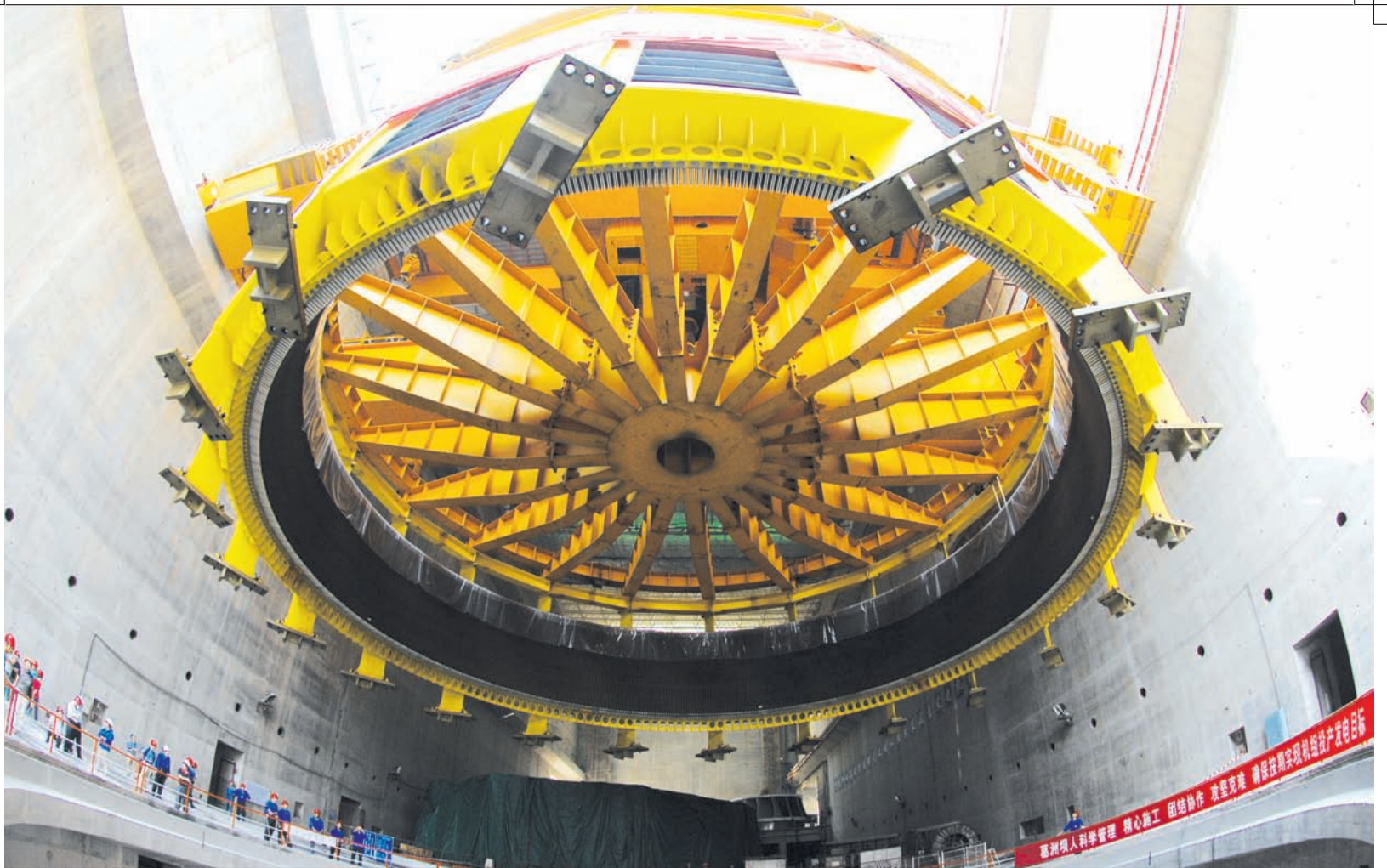


图12 哈电生产的三峡右岸26号700MW 水电机组定子

哈电和东电在为三峡电站右岸提供的8台（套）机组的设计制造中，立足于对引进技术的消化吸收再创新，实现了技术水平的跨

越。三峡水电站装机32台700MW机组，2台50MW机组，总装机容量22500MW，位居世界第一。



图13 三峡水电站外景

(二) 溪洛渡水电站

2005年12月26日，备受瞩目的我国第二大水电站——溪洛渡水电站工程正式开工。这是我国“十五”期间金沙江下游梯级电站的第一个开工建设项目，标志着金沙江干流水电梯级开发迈出了实质性步伐。该电站2007年11月7日截流，2013年底实现12套机组发电，其中东电投产6套，哈电投产3套。整个电站预计于2015年竣工。

溪洛渡水电站总装机容量13860MW，位居中国第二。其预计安装770MW水电机组18套，其中，东电生产9套、哈电生产6套，均具有知识产权。图14是东电自主研制的溪洛渡右岸770MW水电机组转轮。图15是哈电生产的溪洛渡左岸770MW水电机组转子。

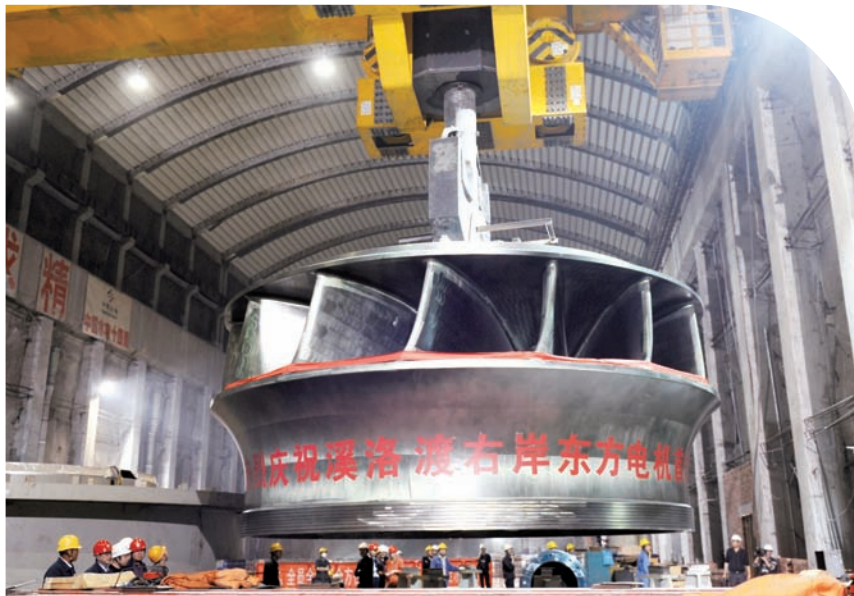


图14 东电生产的溪洛渡右岸770MW水电机组转轮



图15 哈电生产的溪洛渡左岸电站770MW水电机组转子正在吊装

（三）向家坝水电站

向家坝水电站是金沙江下游梯级开发中的最末一个梯级，于2006年11月26日正式开工建设，2015年将全面投产。向家坝水电站装机8套800MW水电机组，其中哈电生产了4套，并具有自主知识产权，总装机6400MW，是世界上单机容量最大的水电站之一。图16~图18分别是哈电自主研发的首台向家坝800MW水电机组导水机构、机顶盖和主轴。

向家坝水库为峡谷型水库，面积95.6km²，水库总库容51.63亿m³，回水长度156.6km；控制流域面积45.88万km²，占金沙江流域面积的97%。向家坝水电站正常蓄水位380m，死水位（供水期末发电消落水位）370m，保证出力2009MW，年平均发电量307.47亿kW·h。2013年10月24日，哈电集团提供装备的80万kW机组在向家坝水电站成功并网发电，创造了我国水电装备制造的新纪录。



图16 哈电自主研发的首台向家坝800MW水电机组导水机构



图17 哈电自主研发的向家坝800MW水电机组机顶盖



图18 哈电自主研发的向家坝800MW水电机组主轴

(四) 抽水蓄能机组

2007年，国家以安徽响水涧水电站的4台（套）250MW抽水蓄能机组作为国内企业自主化研发的依托工程，由哈电承担研制任务，首台（套）抽水蓄能机组于2011年投运，2012年全部投产。图19是哈电研制的安徽响水涧水电站250MW抽水蓄能机组安装现场，图20是哈电研制的安徽响水涧水电站250MW抽水蓄能机组首台球阀在验收试验中。



图19 哈电研制的响水涧水电站250MW抽水蓄能机组安装现场



图20 哈电研制的响水涧水电站250MW抽水蓄能机组首台球阀在验收试验中

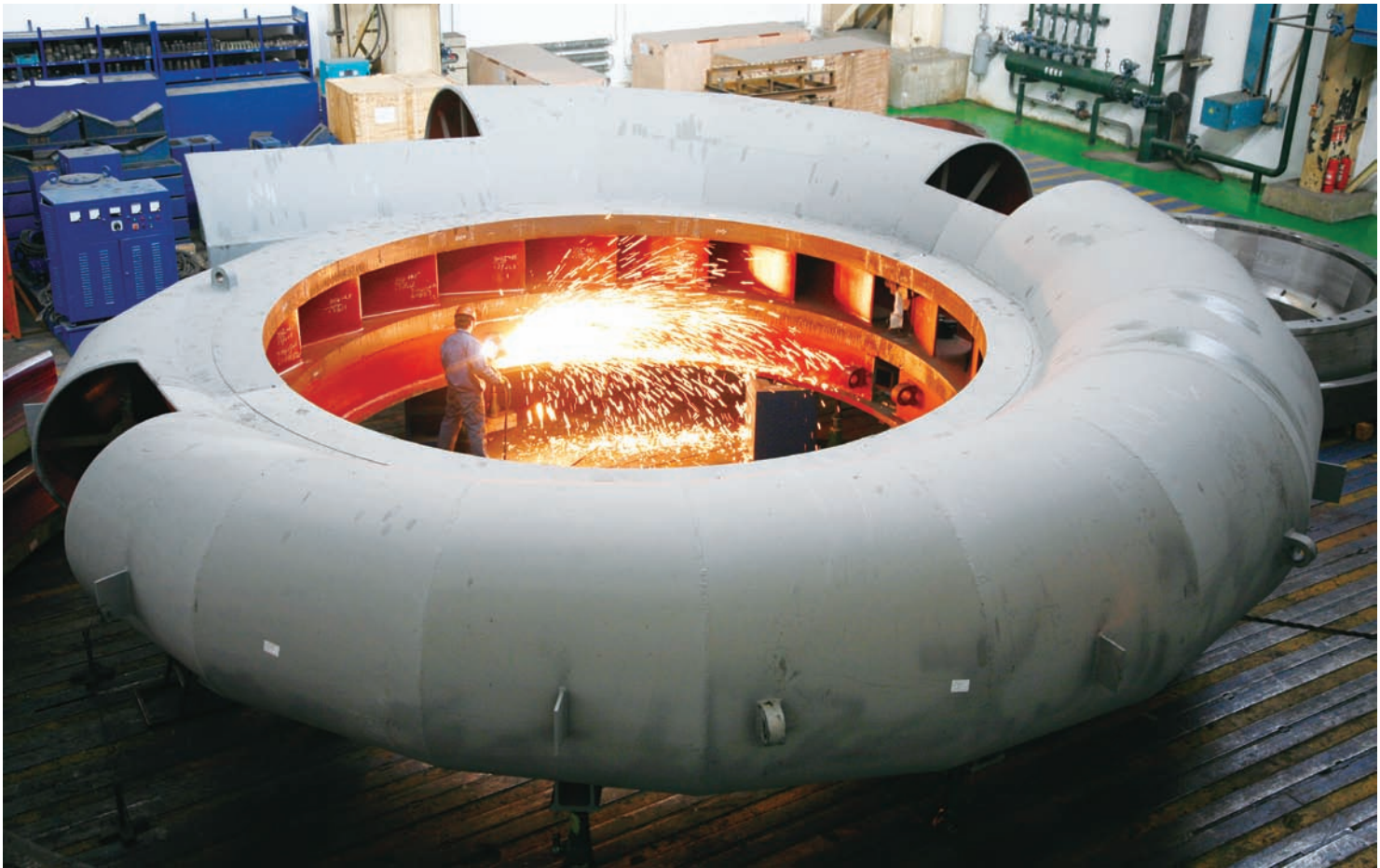


图21 哈电生产的蒲石河水电站300MW抽水蓄能机组蜗壳在焊接中

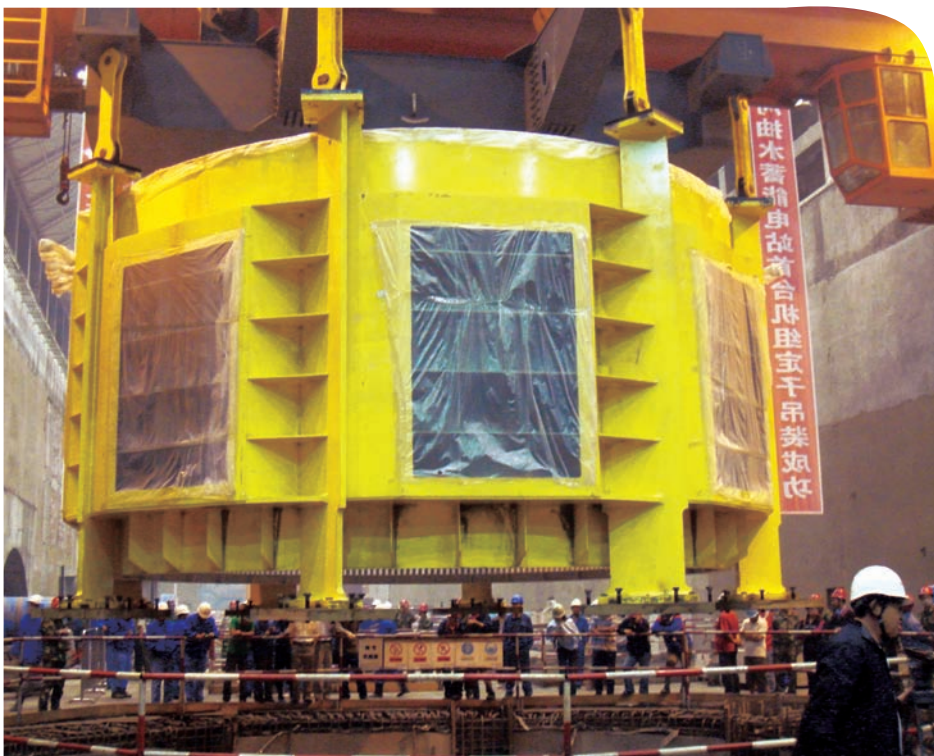


图22 哈电生产的蒲石河水电站300MW抽水蓄能4号机组定子整体吊装

2008年后，在相继开工的湖南黑麋峰、内蒙古呼和浩特和辽宁蒲石河水电站300MW抽水蓄能机组后续项目中，哈电、东电各生产具有自主知识产权的300MW级机组10套。图21、图22是哈电生产蒲石河水电站300MW抽水蓄能机组的部分场景。2009年底，黑麋峰水电站4台（套）300MW抽水蓄能机组已全部投产。蒲石河和呼和浩特水电站各4台（套）300MW抽水蓄能机组分别于2011年和2012年全部投产。

东方电气集团提供装备的高水头仙游抽水蓄能电站1号机组2013年4月16日并网发电，标志我国抽水蓄能技术迈上新台阶，填补了国内国产化抽水蓄能机组的空白。

通过这些依托工程的实践，我国已具备独立承担500m水头、300MW等级抽水蓄能机组设计和制造的能力，标志着我国水电设备企业向自主设计制造大型高水头抽水蓄能机组迈进了一大步。

三、核电设备

自第一座核电站——秦山核电站建成以来，我国在核电技术研发、核电厂设计、设备制造、工程建设、运营管理、核燃料供应和乏燃料处理以及技术服务和培训等方面有了长足的进步。通过消化吸收国外先进技术和自主攻关，国内装备制造企业已逐步掌握了核岛和常规岛大多数关键设备的设计制造技术，具

备了300~600MW压水堆核电装备的自主设计能力；1000MW二代加技术已投运3套；三代AP1000引进技术正在兴建，预计第一台2014年底投运；四代核电技术已经有示范项目。

(一) 岭澳核电站二期

岭澳核电站二期是在中国广东核电集团（简称中广核）继大亚湾核电站、岭澳核电站一期工程投产的基础上，我国在广东地区建设的第三座大型商用核电站。项目规划建设2台1000MW级压水堆核电机组，已于2011年8月全面建成投入商业运行。2008年10月，中国首台1000MW级核能发电机——岭澳二期3号机组1150MW发电机在东电完成制造（见图23）。



图23 中国首台1000MW级核能发电机——岭澳二期3号机组1150MW发电机在东电完成制造



图24 中国首台1000MW级核电站反应堆压力容器在东电制造完成

2009年，中国首台1000MW级核电站反应堆压力容器在东电制造完成（见图24）。

（二）宁德核电站

具有自主品牌的二代加CPR1000MW福建宁德核电站号机组2013年4月18日已投入商业运行，功率达到1150MW，国产化率超过80%。其中东方电气集团承担了发电机和汽轮机、压力容器、蒸汽发生器和稳压器研制；上海电气核电设备有限公司（简称上核）承担了棒驱动机构和堆内构件的研制；陕西柴油重工有限公司（简称陕柴）承担了应急柴油机的研制；太原重型机械集团有限公司（简称太重）承担了环吊的研制；北京广利核系统工程有限公司（简

称广利核）承担了DCS（分散控制系统）的研制。图25 是宁德核电站1150MW核能发电机转子在东电制造，图26是东电制造的宁德核电站1号核能发电机组。

（三）红沿河核电站

红沿河核电站在建设之初就确定了自主设计、自主制造、自主建设和自主营运的基本原则。明确提出，一期工程4台1000MW级机组中，1号和2号机组国产化率为70%，3号和4号机组国产化率为80%，全部关键设备的国产化率为85%，成为中国核电站建设的示范项目创造了中国核电建设的新纪录。2013年2月17日，红沿河核电站1号机组已投入商业运行。



图25 宁德核电站1150MW核能发电机转子在东电制造



图26 东电制造的宁德核电站1号核能发电机组



图27 哈电研制的三门核电站发电机转子正在吊运

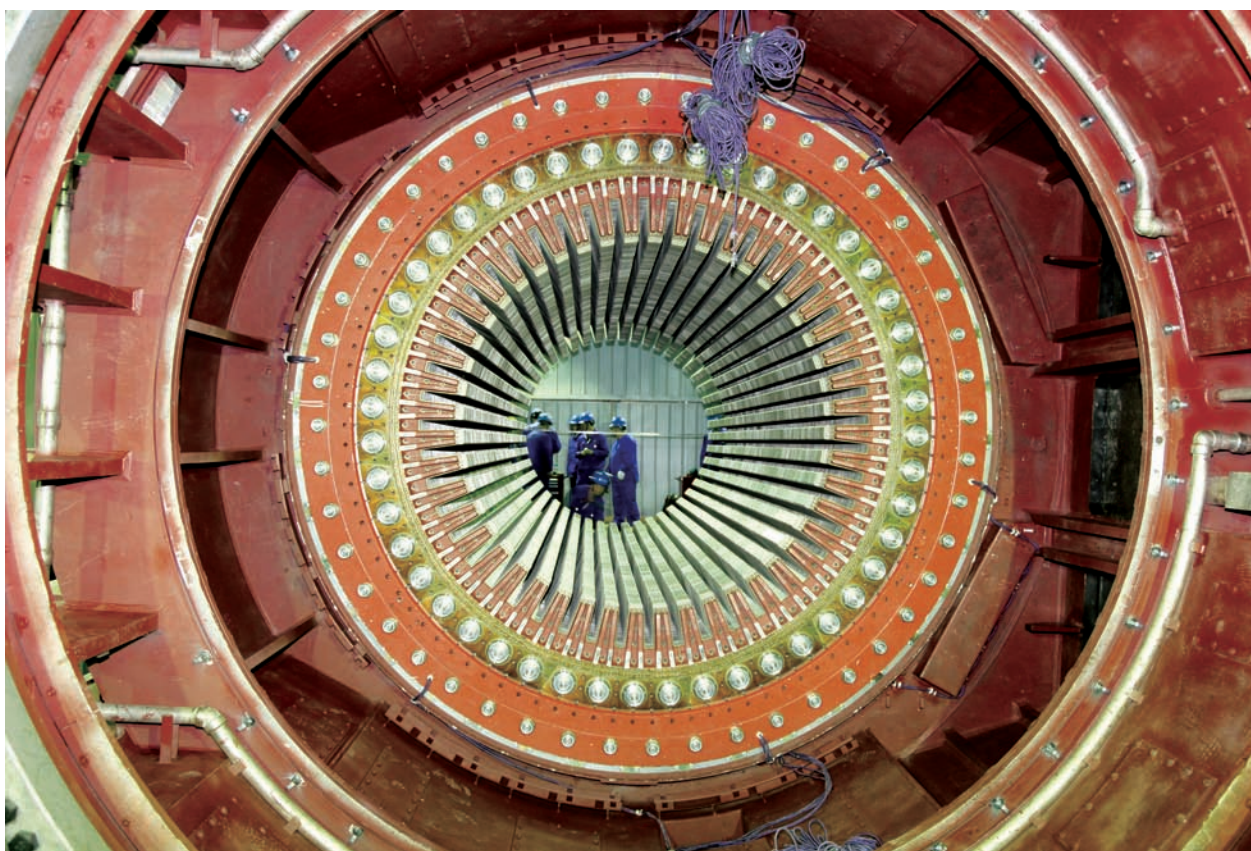


图28 哈电研制的三门核电站2号发电机定子装压

(四) 三门核电站

2004年7月，位于浙江南部的三门核电站一期工程建设获得国务院批准。这是继我国第一座自行设计、建造的核电站——秦山核电站之后，获准在浙江省境内建设的第二座核电站。三门核电站是引进美国三代核电技术，也是全球首座AP1000核电站，图27是哈电研制的三门核电站发电机转子正在吊运，图28是哈电研制的三门核电站2号发电机定子装压。

(五) 核电汽轮机叶片

我国核电装备关键零部件的国产化也取得了较大成绩。图29是无锡透平叶片有限公司（简称WTB）研制的第三代技术CAP1400（1700）常规岛半转速大容量汽轮机1.83m（72英寸）末级长叶片。其锻件总长2106mm，叶根宽度624mm，投影面积0.9m²，是当前世界上研制成功的最长的核电汽轮机叶片。

WTB通过对新的热加工体系设备特性、大型核电叶片制坯工艺、数值模拟模锻工艺、大型锻模设计与制造、锻件热处理工艺、锻件变形及矫正控制等内容的研究，形成了系统的核电大叶片锻造工艺技术。目前正在积极研制1.88m（74英寸）、1.9m（75英寸）核电大叶片，进一步强化核电大叶片制造能力。

四、风电设备

2005年以来，通过联合研制或自主研发，我国风电设备制造能力得到了大幅度提高，迅速与世界风电技术接轨。到2013年底，我国上网风电已达7548万千瓦，装机容量世界第一。其中，单机容量1.5MW的风电机组已实现批量生产，成为市场主力；变桨变速风电机组技术



图29 WTB研制的第三代技术CAP1400（1700）常规岛半转速大容量汽轮机1.83m（72英寸）末级长叶片

国家重大技术装备 30年

已成为标准配置；3MW风电机组已投入运行；5MW风电机组已研制成功。同时，我国已解决了风电设备的齿轮箱、发电机、桨叶、变频器和控制器等技术难题，使关键零部件本土化生产能力达到80%以上，基本形成了完整的制造产业链。风电机组的应用已从过去主要依靠进口向国产化转变，2007年新增装机份额中内资

企业首次超过外资，2009年内资企业累计装机容量占比达到80%以上。

2009年，大连华锐风电科技有限公司（以下简称华锐风电）研制的3MW海上风电机组在上海东海大桥100MW海上风电场顺利安装投运（见图30），这是目前我国投运的第一个海上风电场。



图30 华锐风电研制的3MW海上风电机组在上海东海大桥100MW海上风电场顺利安装投运

2010年10月，湘电集团有限公司（以下简称湘电集团）成功研制了5MW永磁直驱海上风力发电机，并在荷兰北部投运（见图31）。

2012年底，东汽生产的5.5MW风电机组正式向江苏如东龙源海上试验风场发运（见图32）。

2012年，国电联合动力技术有限公司（简称国电联合动力）自主设计研发的6MW海上风力发电机组在山东潍坊风场顺利并网发电，这标志着我国海上风电机组成功迈入“6.0”时代。



图31 湘电集团研制的5MW永磁直驱海上风电机组在荷兰北部投运



图32 东汽生产的5.5MW风电机组在江苏如东龙源海上试验风场