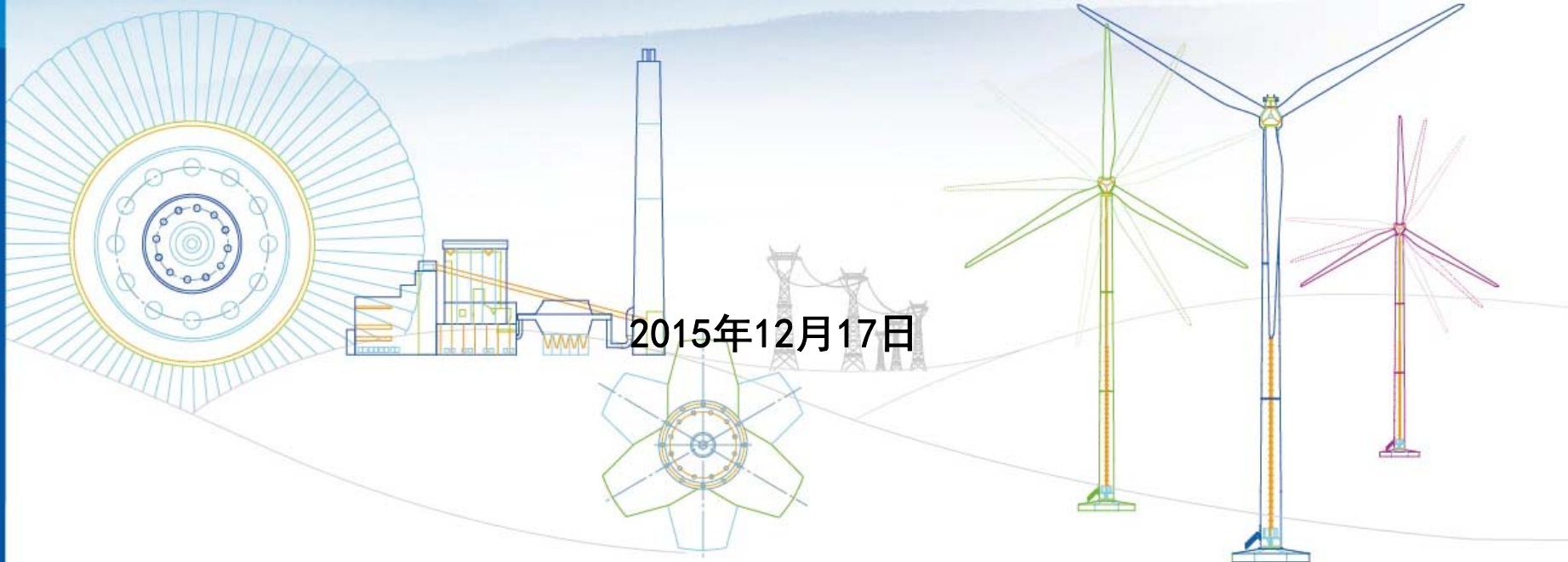


二次再热及高效超超临界机组 技术交流会

——汽轮机部分



主要内容

01

高效超超临界技术发展

高效超超临界的发展历程

02

二次再热关键界技术特点

二次再热汽轮机的技术先进性

03

投运过程中的注意事项及优化措施

二次再热汽轮机的技术先进性

04

总结

国际首台百万二次再热汽轮机——国电泰州

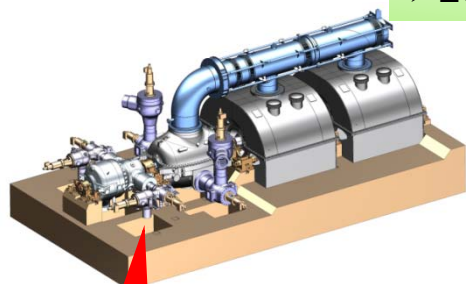
上海电气超超临界技术的发展

➤ 2006:玉环 N1000-26.25/600/600

➤ 2008:外高桥 N1000-27/600/600

➤ 2009:北疆 C1000-26.25/600/600

➤ 2009:望亭 N660-25/600/600



196
玉环

B196
北疆

195
望亭

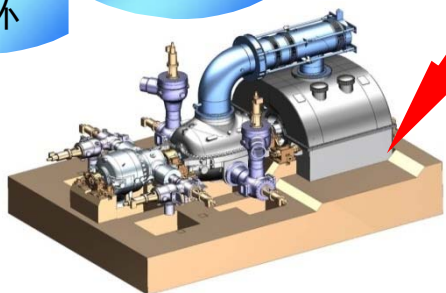
C195
布连

➤ 2012:布连 NZK660-27/600/600

➤ 2013:田集 N660-27/600/620

➤ 2014:长兴 N660-28/600/620

➤ 2015:泰州 N1000-31/600/610/610



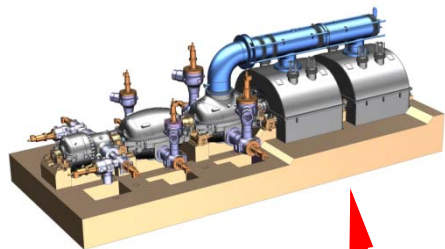
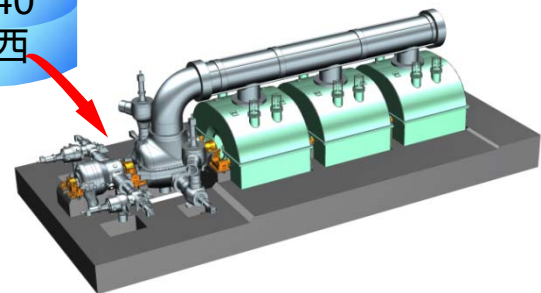
E195
田集

F195
长兴

1240
阳西

DR96
泰州

35MPa
>700°C



上海电气超超临界技术的发展

➤2012:布连NZK660-27/600/600超超空冷投运

国电内蒙古电厂

超超临界三缸两排汽660MW直接空冷机组，供电煤耗达到292.9克/千瓦时。处于国内空冷机组的最优水平。

国电哈密大南湖

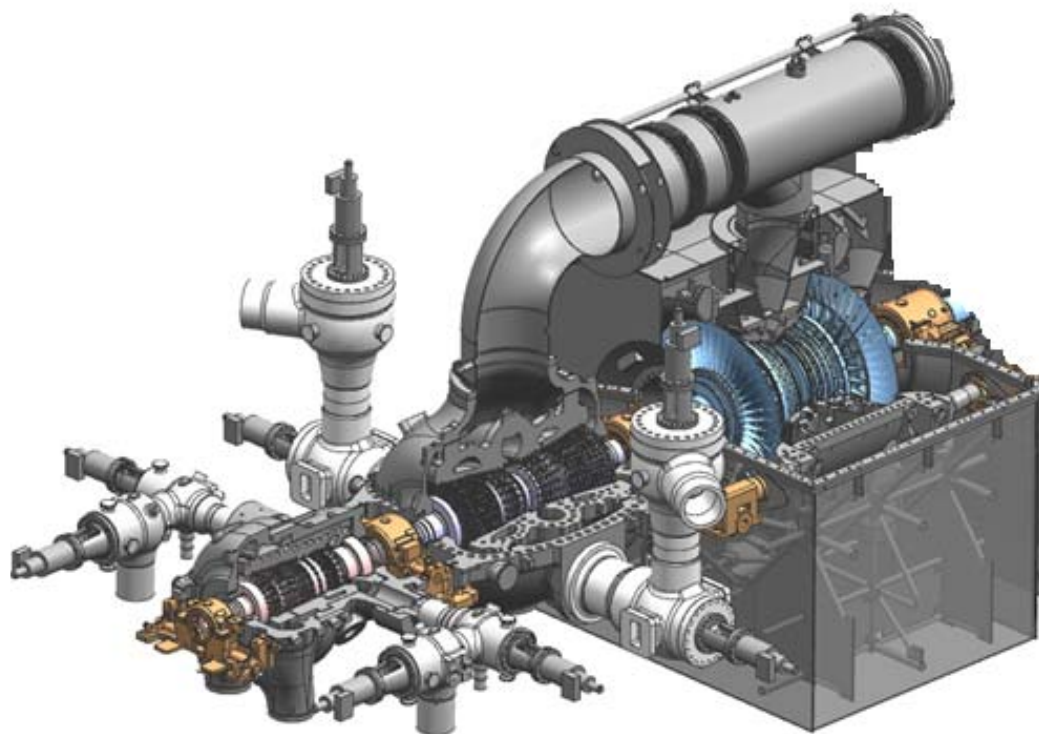
NJK660-27/600/610

华能宁夏大坝

NJK660-27/600/620

国电宁夏方家庄

NJK1100-28/600/620



上海电气超超临界技术的发展

► 2013:田集N660-27/600/**620**高效超超投运

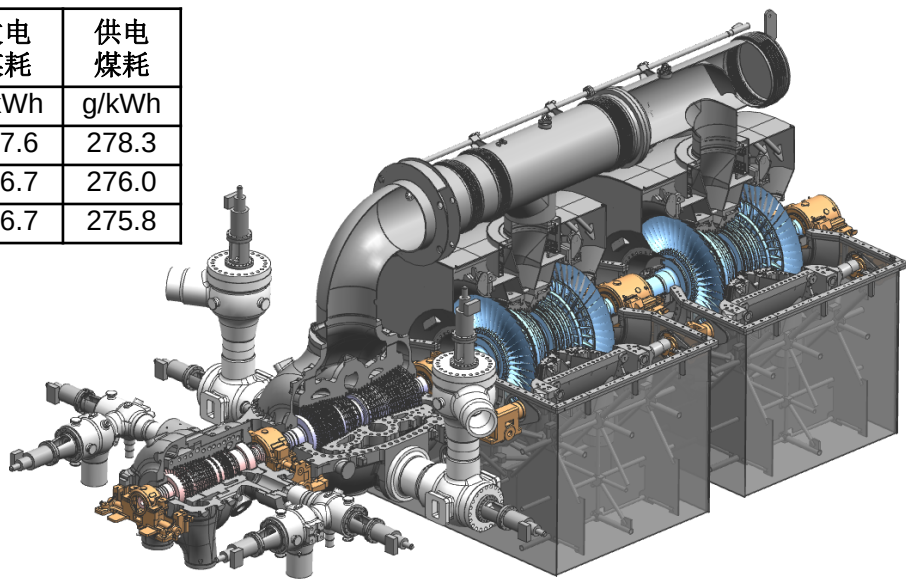
项目	缸效率			热耗值	厂用电率	发电煤耗	供电煤耗
	高压缸	中压缸	低压缸				
单位	%	%	%	kJ/kWh	%	g/kWh	g/kWh
THA设计值	90.33	93.00	89.30	7292.0	4.14	267.9	279.1
#3机	90.63	93.12	90.55	7273.1	4.08	266.8	278.2
#4机	90.57	93.11	90.14	7271.9	3.70	265.9	276.1

淮沪煤电公司田集电厂是**国内首个再热温度达到620°C的火电项目**，实现了60万等级机组技术经济指标达到百万机组领先水平行列的历史性突破。

► 2014:长兴N660-**28**/600/**620**高效超超投运

项目	缸效率			热耗值	厂用电率	发电煤耗	供电煤耗
	高压缸	中压缸	低压缸				
单位	%	%	%	kJ/kWh	%	g/kWh	g/kWh
THA设计值	90.28	93.01	89.82	7344.0	3.82	267.6	278.3
#1机试验值	90.25	93.58	88.46	7309.6	3.37	266.7	276.0
#2机试验值	90.01	93.54	90.15	7316.2	3.28	266.7	275.8

华能长兴电厂N660-28/600/620，再度刷新国内一次再热机组的最高参数，标志着中国电力设计、制造、安装和调试水平又迈上了一个新的台阶。



上海电气超超临界技术的发展

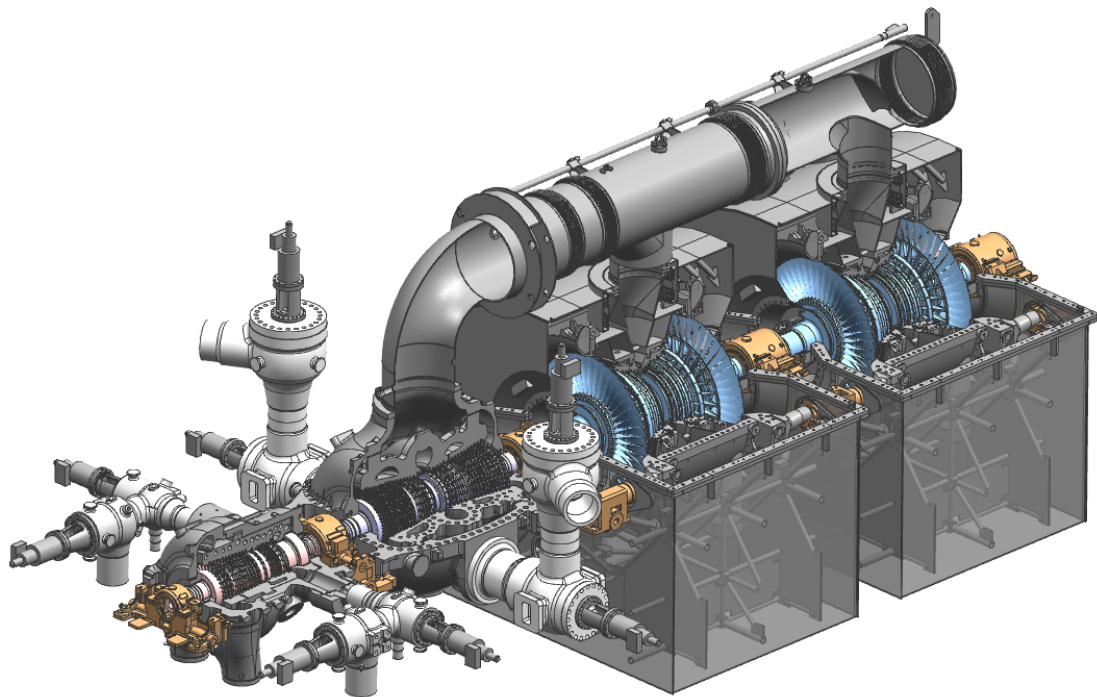
► 2015: 安庆 N1050-28/600/620 高效超超投运

项目	效率			热耗值	厂用电率	供电煤耗
	高压缸	中压缸	低压缸			
单位	%	%	%	kJ/kWh	%	g/kWh
THA设计值	89.76	93.07	89.43	7231.0	4.11	274.2
#3机	89.50	93.27	89.48	7219.1	4.01	272.5
#4机	89.77	93.02	89.68	7220	4.06	273.9

以上为电厂运行估算值，性能试验数据还在整理

神皖安庆电厂

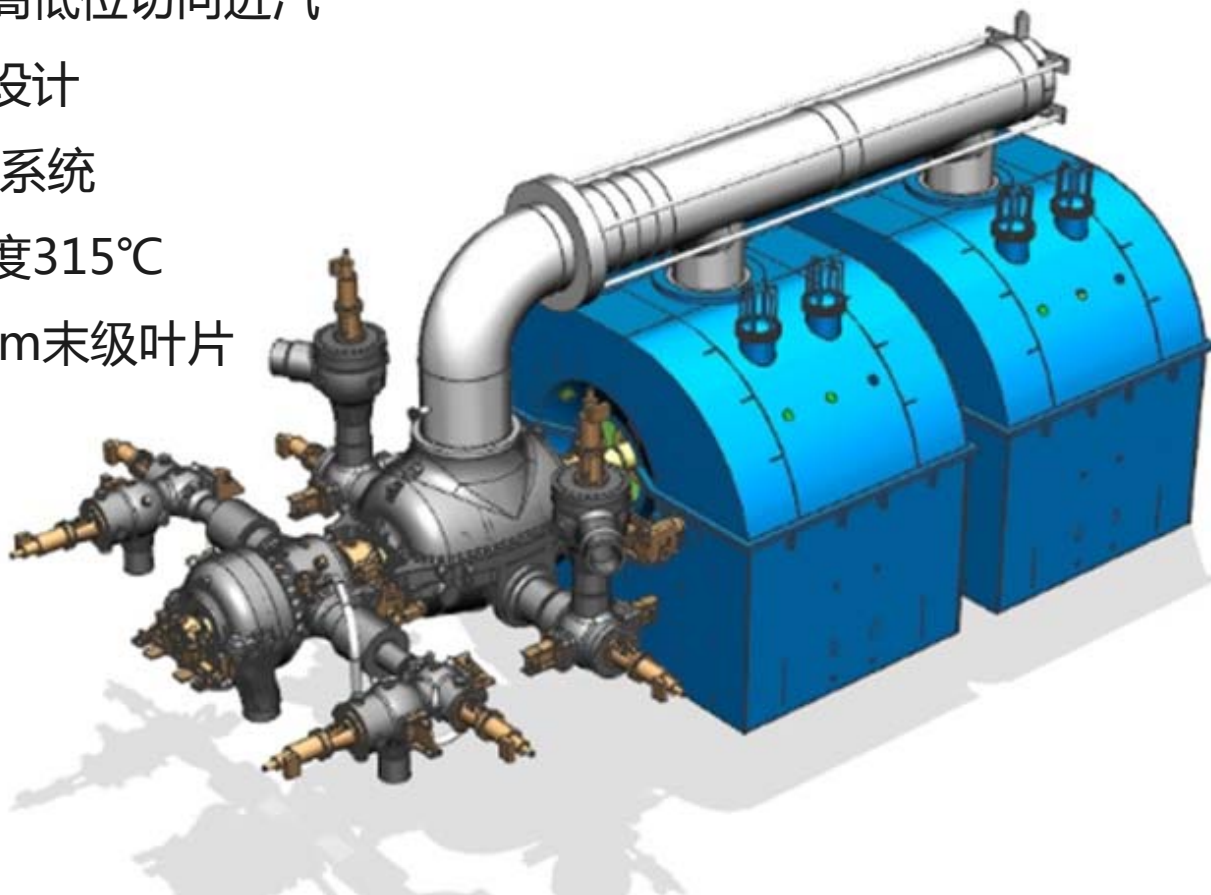
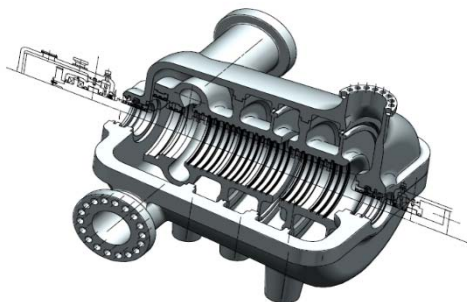
N1050-28/600/620，机组采用9级回热，主要经济技术指标创全国同类型最优记录，实现了“近零排放”的高标准，设计厂用电率4.11%，供电煤耗274.2g/kWh。



上海电气超超临界技术的发展

► 全新一代高效超超临界 N1000-28/600/620

- 高压模块采用新型优化高低位切向进汽
- 带补汽阀的一体式阀门设计
- 采用BEST透平双机回热系统
- 十级回热，最高给水温度315℃
- 全新特大长叶片1220mm末级叶片



主要内容

01

高效超超临界技术发展

高效超超临界的发展历程

02

二次再热关键界技术特点

二次再热汽轮机的技术先进性

03

投运过程中的注意事项及优化措施

二次再热汽轮机的技术先进性

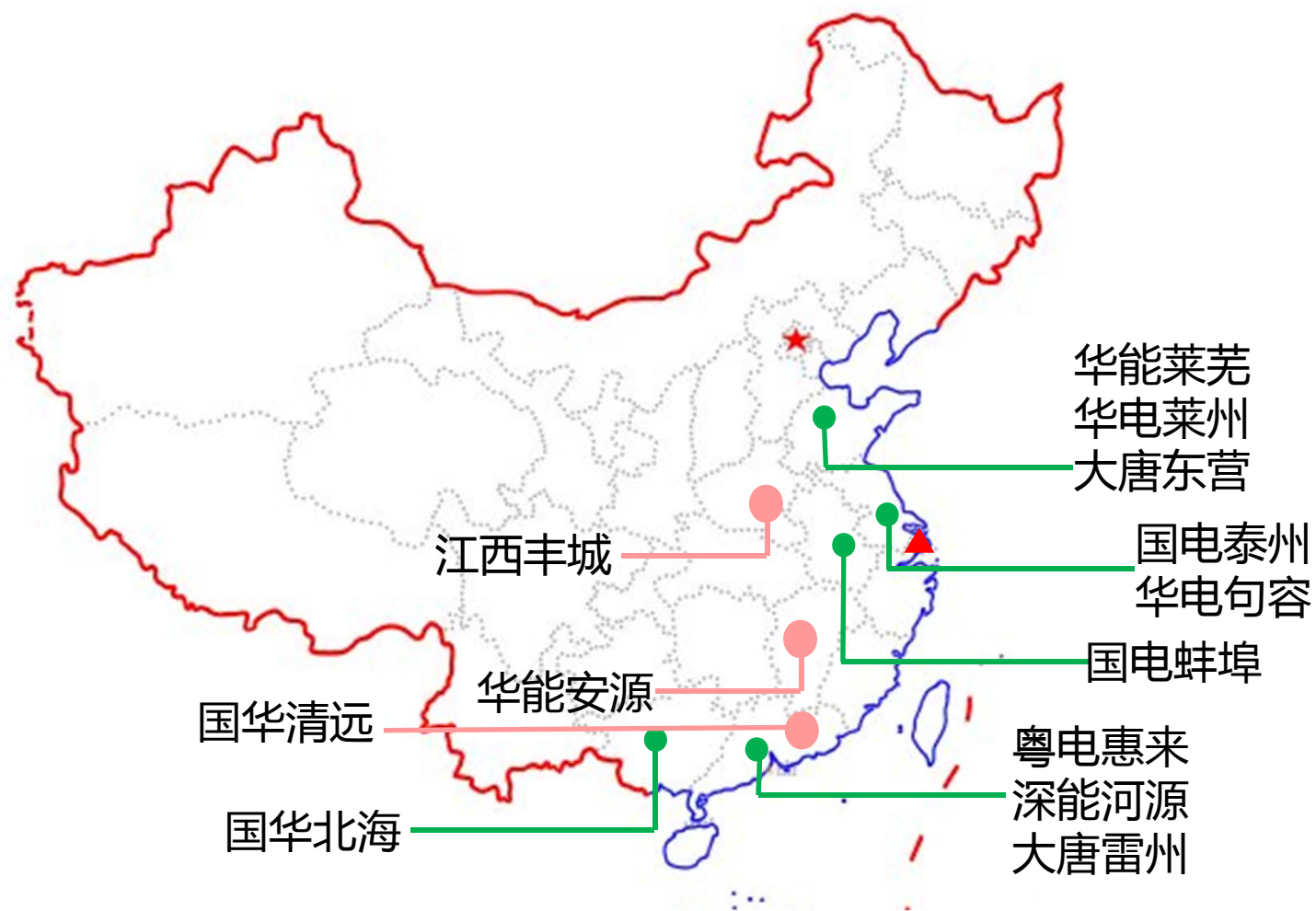
04

总结

国际首台百万二次再热汽轮机——国电泰州

上海电气二次再热发展情况

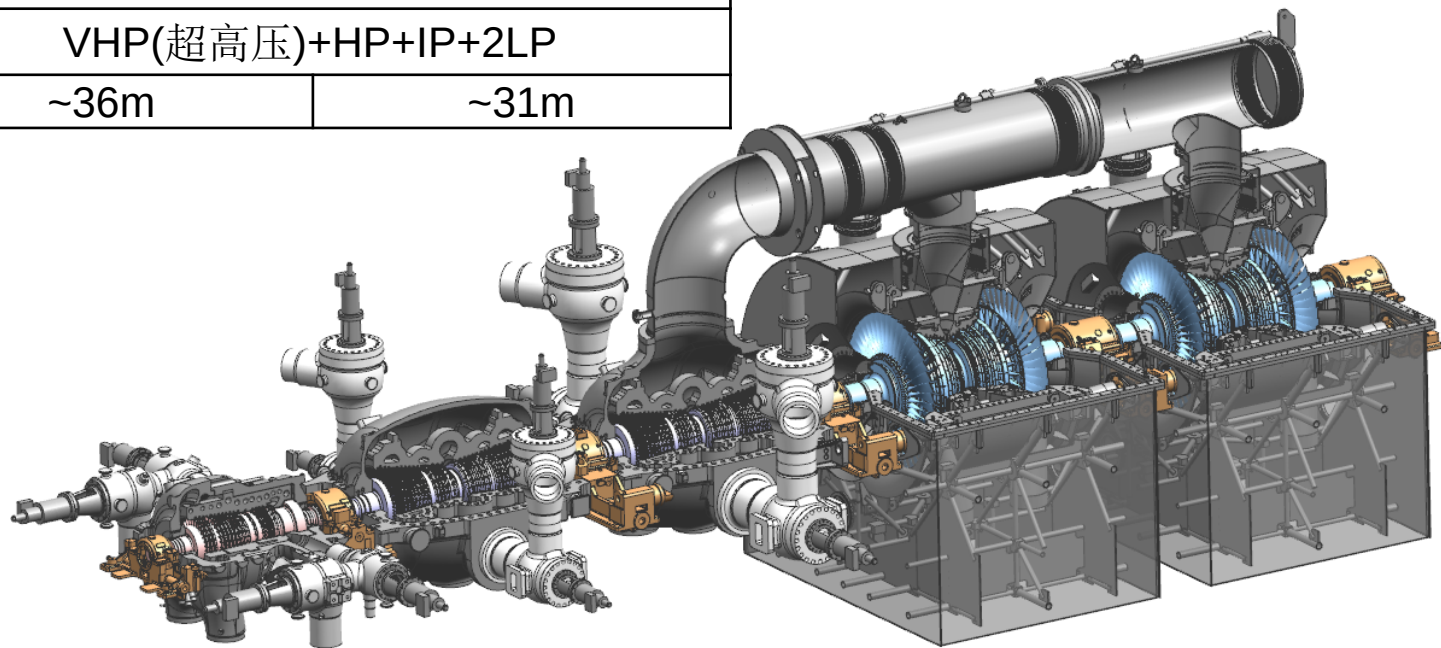
目前STP在国内二次再热机组中订单数量国内遥遥领先



上海电气二次再热基本技术特点

	二次再热超超临界机组	
结构型式	单轴、五缸四排汽、二次再热凝汽式	
额定出力	1000MW	660MW
进汽参数	31MPa-600°C/610°C/610°C 31MPa-600°C/620°C/620°C	
回热系统	4高+1除氧+5低	
热耗收益	~3.3%~3.6%	
模块组合	VHP(超高压)+HP+IP+2LP	
机组总长	~36m	~31m

- ✓ 无台板、轴承座整体灌浆
- ✓ 低压外缸与凝汽器刚性连接
- ✓ 无导汽管、单联通管
- ✓ 超高、高、中压缸整体发运
- ✓ 可靠性高、12年一次大修



上海电气二次再热基本技术特点

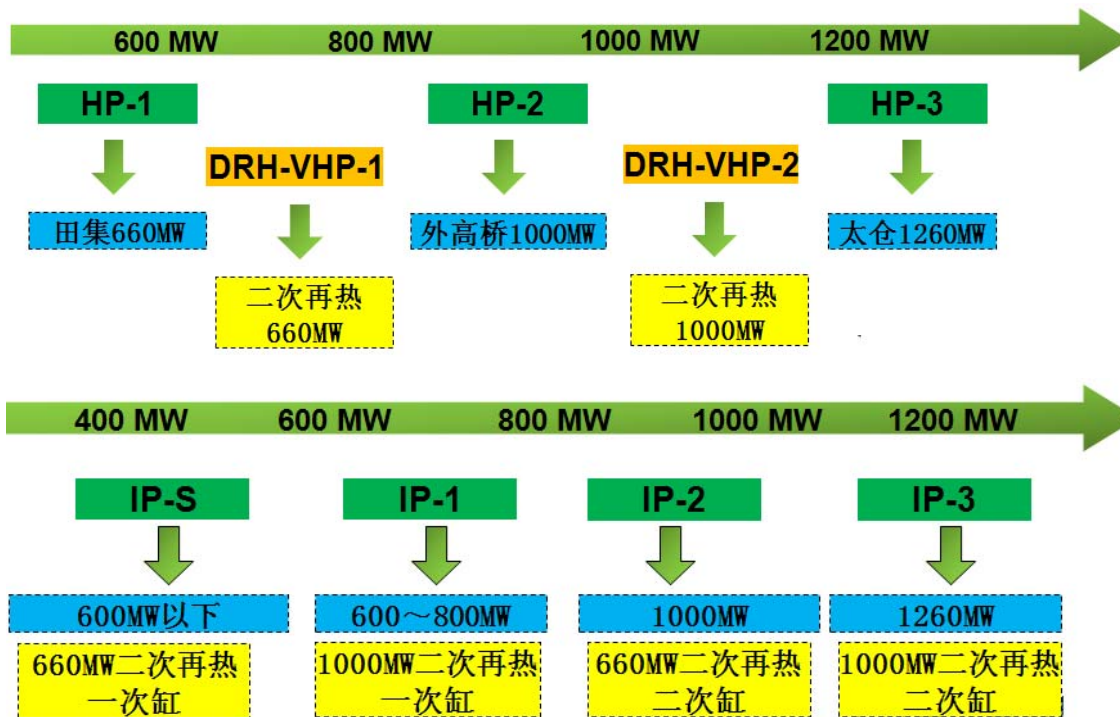
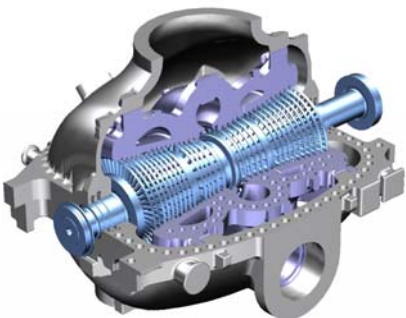
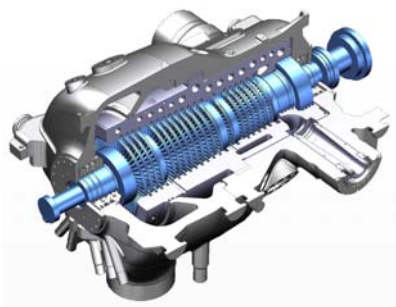
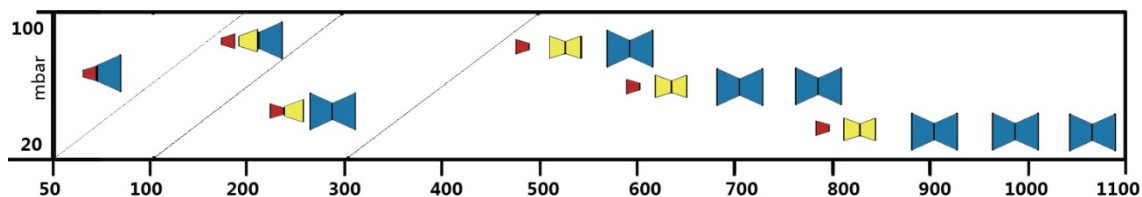
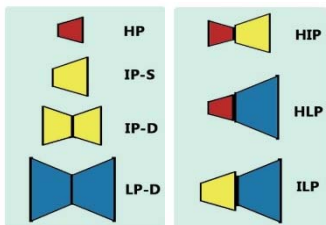
国电泰州电厂二期：N1000-31/600/610/610；是目前世界上最先进、容量最大的二次再热机组，机组发电效率高达47.82%，比当今世界上最好的二次再热发电机组效率高0.82%，实测发电煤耗256.8g/kwh，供电煤耗266.5g/kwh。

项目	效率			热耗值	厂用电率	供电煤耗
	超高压缸	高压缸	中压缸			
单位	%	%	%	kJ/kWh	%	g/kWh
THA设计值	89.96	92.14	92.94	7070	3.91	267.9
#3机焓降	91.40*	90.35*	93.66*			266.5

国电蚌埠电厂：N660-31/600/620/620；

项目	效率			热耗值	厂用电率	供电煤耗
	超高压缸	高压缸	中压缸			
单位	%	%	%	kJ/kWh	%	g/kWh
THA设计值	89.26	91.57	93.02	7109	4.578	270.27

二次再热关键技术——模块化的设计理念

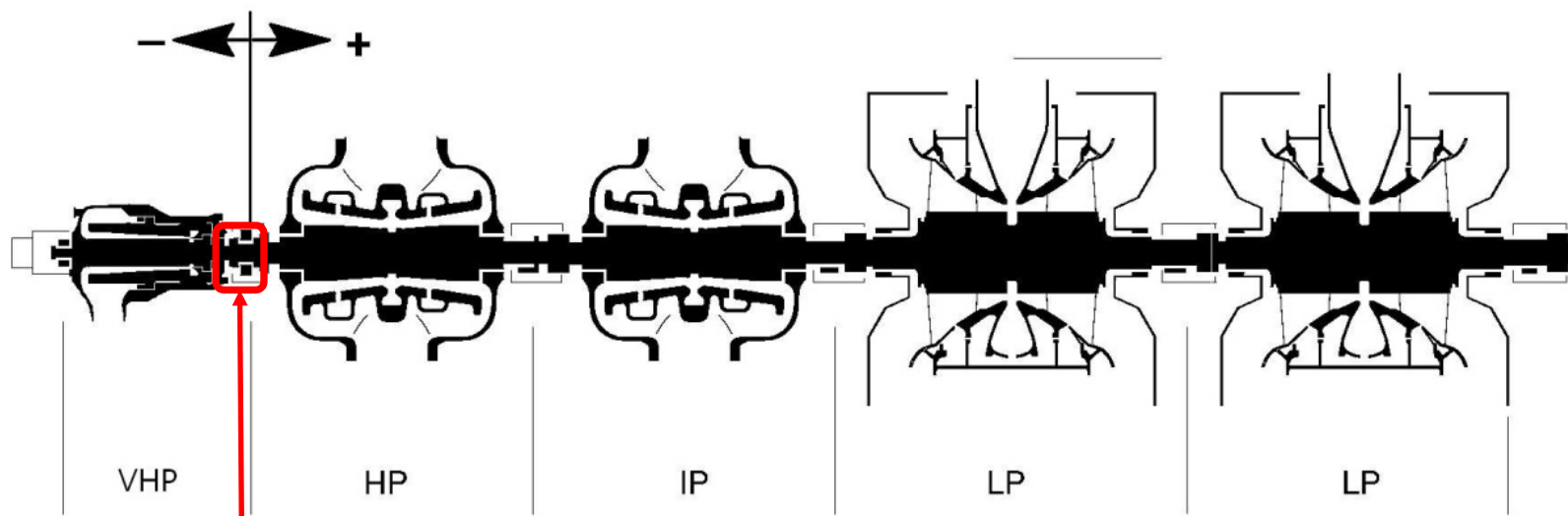


二次再热关键技术——高温材料的应用

STP在高温材料的应用方面始终保持与欧洲最高标准接轨。
将机组长期安全可靠运行作为目标，保证10万小时免维护。

时间	节点指标
2011.8	已订购全尺寸FB2中压转子毛坯
2012.3	配套铸件厂宏钢公司试制CB2再热主门阀壳毛坯浇注成功
2012.4.27	新型球墨铸铁中压外缸毛坯浇注成功
2012.5.31	CB2再热调阀毛坯成功
2013.2	FB2中压转子到厂
2013.4	CB2中压内缸到厂
2013.12	中国首台再热温度620度田集项目投运

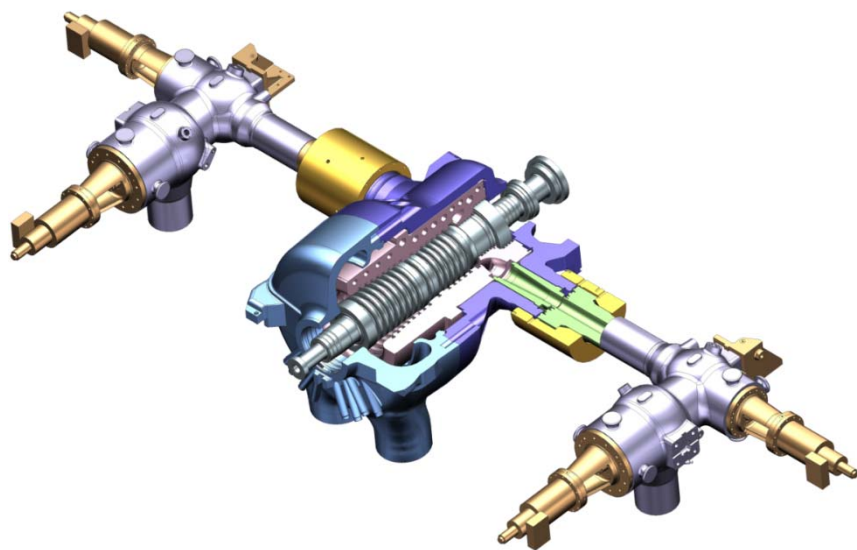
二次再热关键技术——单轴承支撑



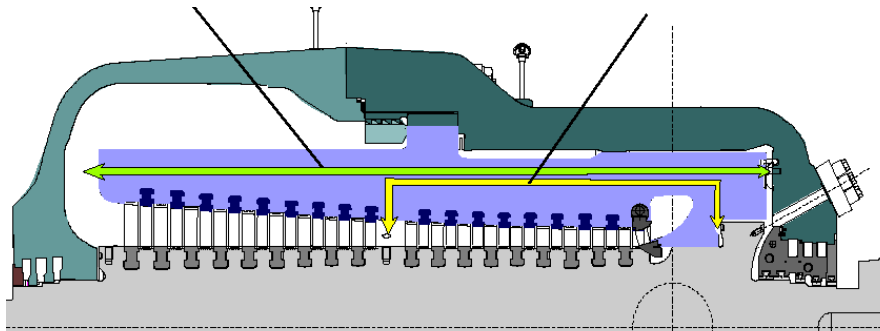
机组死点

- 单轴承支撑，轴承数量 $N+1$ 个，轴系短；轴系总长约36米，
- 动静死点位于#2轴承，低压内缸采用独特的推拉杆与中压外缸连接。
- 任何情况下汽缸与转子都是同向膨胀，差胀非常小；
- 转子支撑落地，机组的轴系稳定；
- 单轴承比压大，采用高粘度油，抗干扰稳定性好；

二次再热关键技术——超高压缸

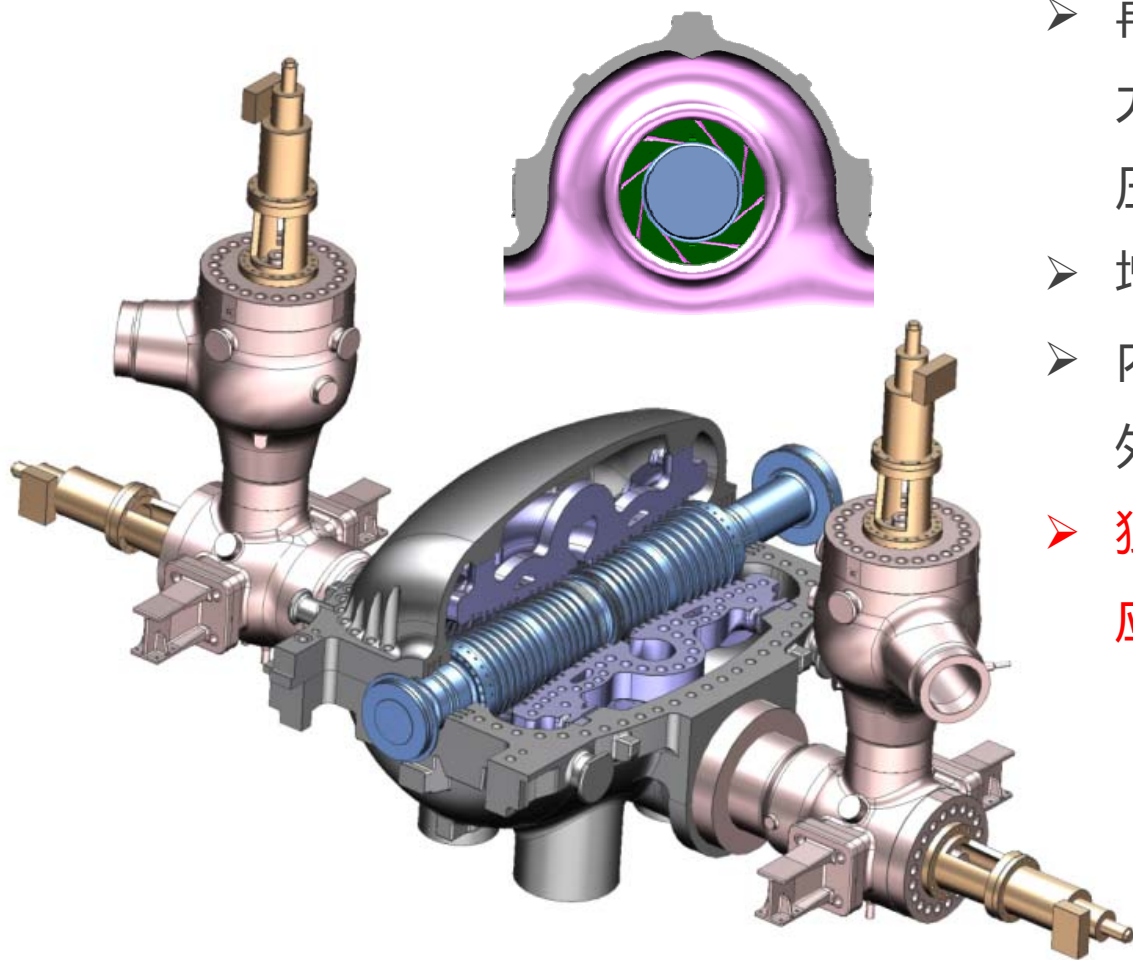


STP独特的内部冷却技术



- 典型的圆筒形缸，在主蒸汽温度不变的前提下，主蒸汽压力设计压力可达**35MPa**，材料不变；
- **独特的高压转子自冷及压力载荷分配结构**，内外缸分担承受压力；
- 调整内外缸壁厚、结构尺寸、夹层压力分配以满足压力升高要求
- 取消原1抽抽汽口、补汽腔室及接口，缸体旋转对称性更好。

二次再热关键技术——高压缸

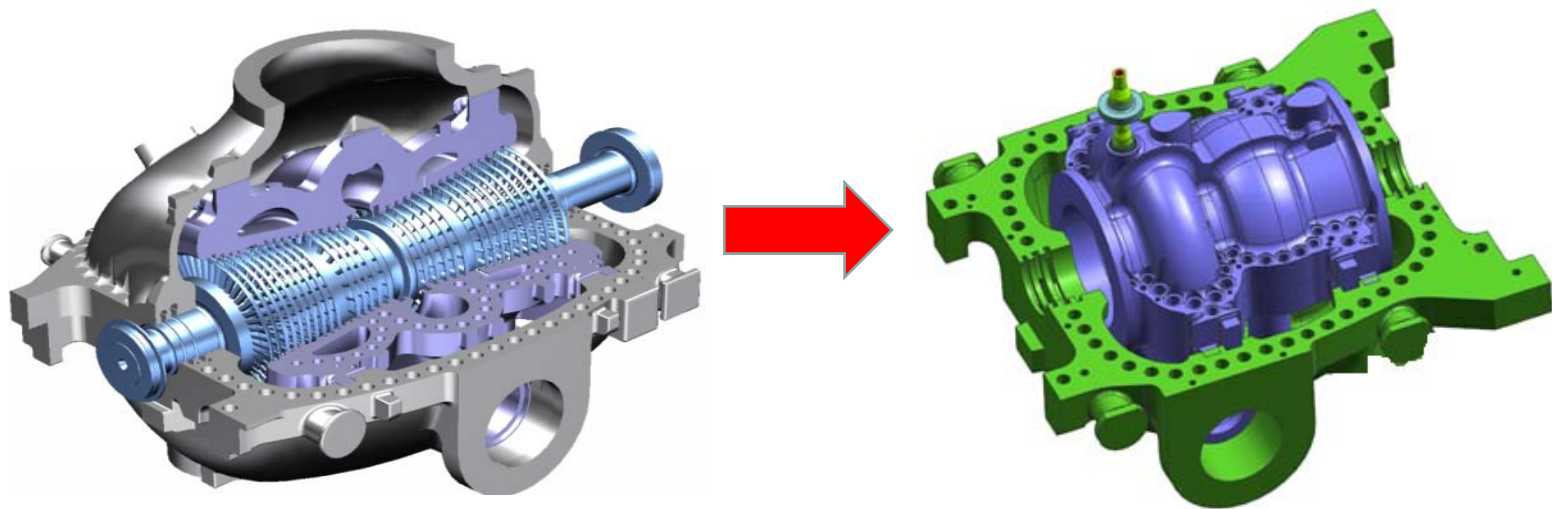
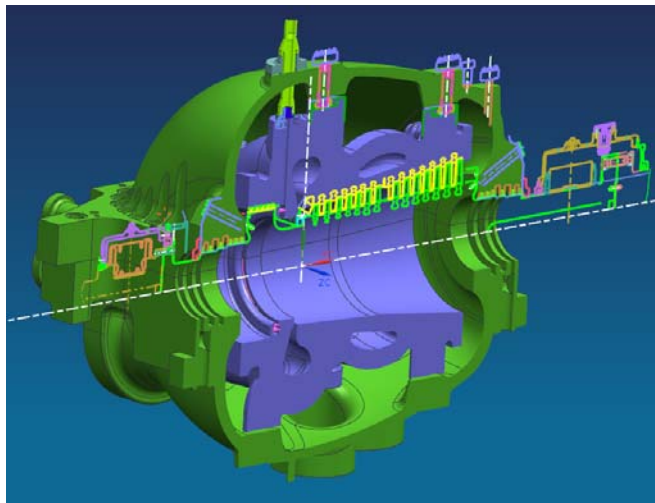


- 再热温度达到 620°C ，再热压力提高到约 12MPa.a ，在原中压模块上进行改型设计
- 增加阀门、汽缸的壁厚
- 内缸、阀壳、转子材料提升，外缸由球墨铸铁改为铸钢件
- 独特的涡流冷却技术，完美适应再热温度提升的要求

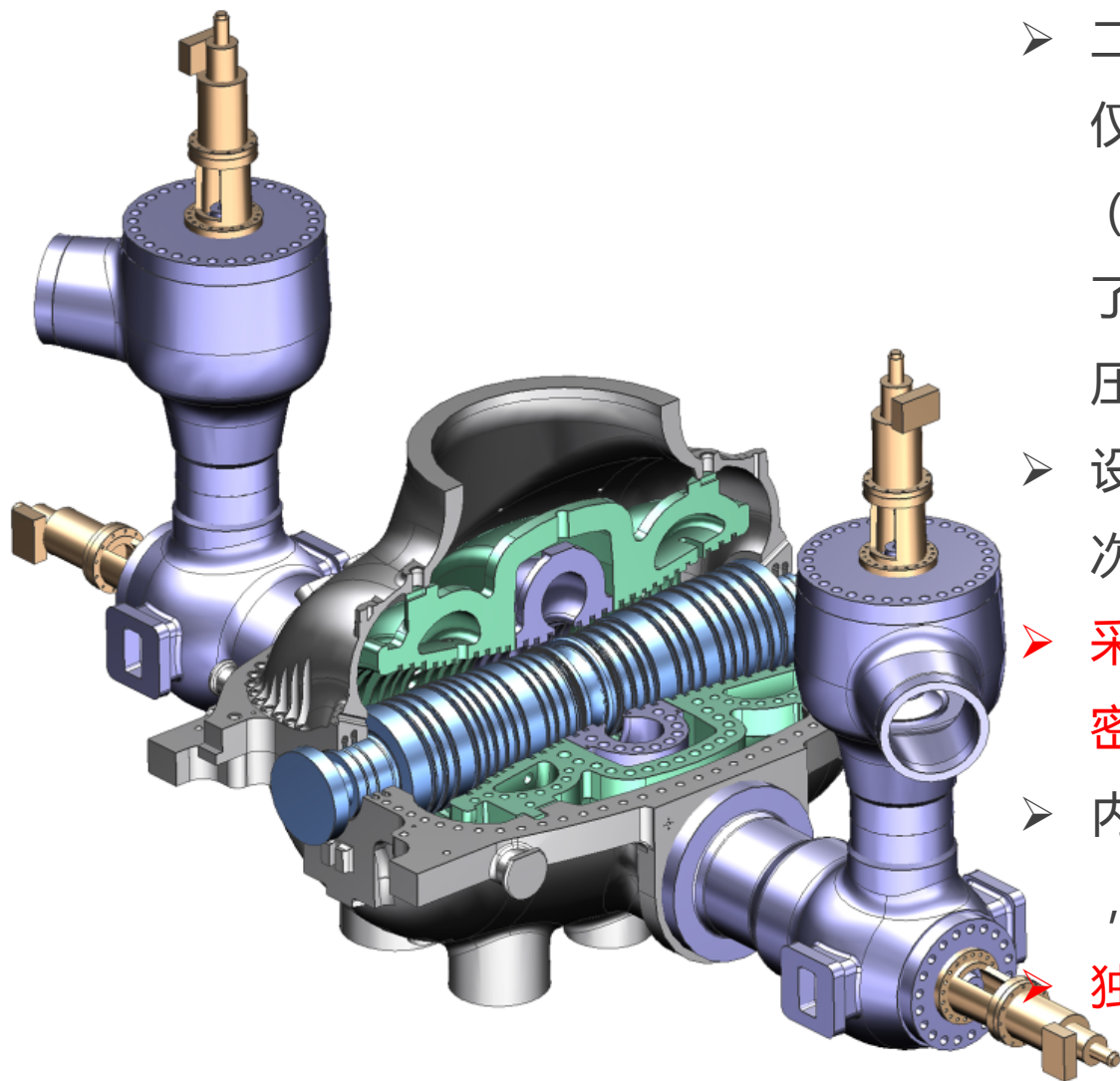
二次再热关键技术——单流高压缸

660MW二次再热高压缸采用单流设计，
单流设计有什么好处

基于合适的容积流量，采用单流程通流设计，叶片级损失减小，有利于控制叶片高度，有效提高整缸通流效率；

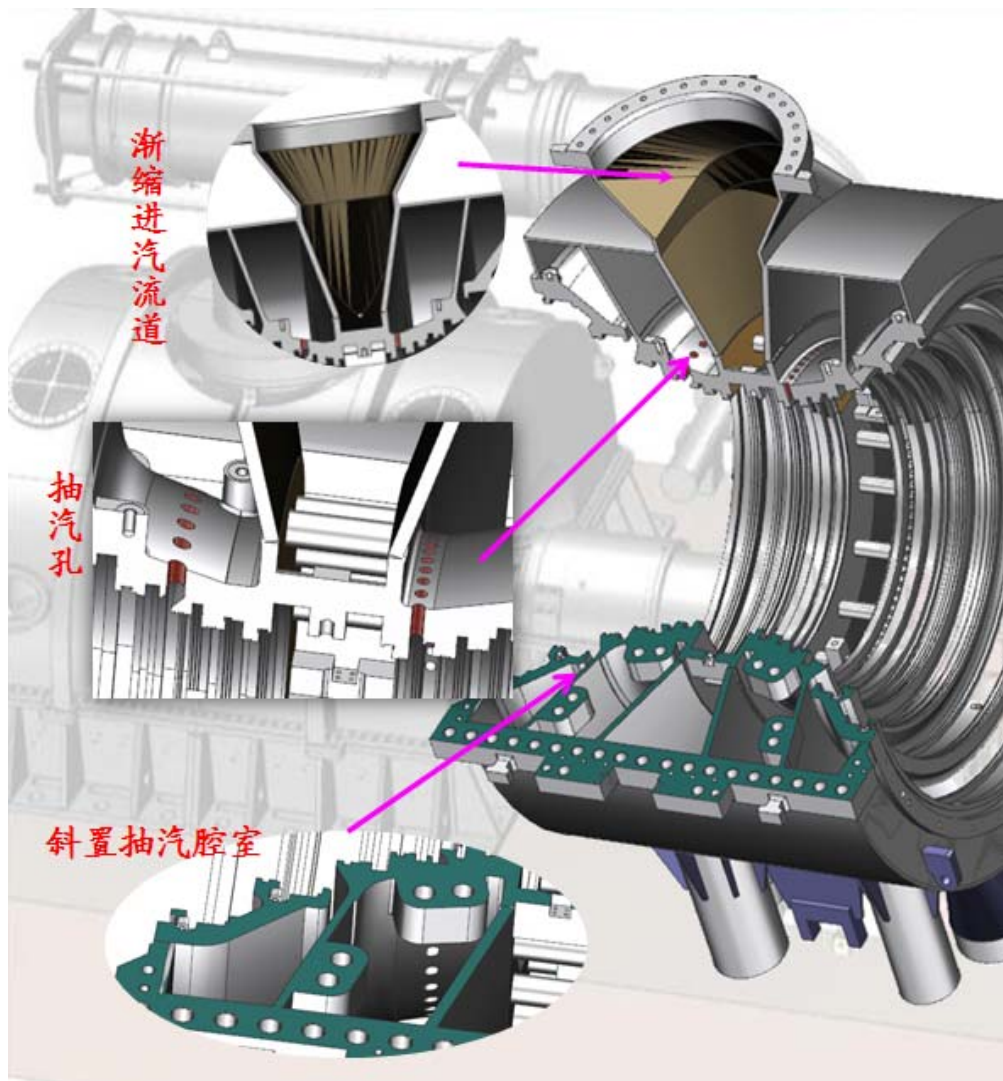


二次再热关键技术——中压缸



- 二次再热中压缸进、出口压力仅为原来一次再热中压缸的1/2（3~4MPa），蒸汽比容增加了~50%，必须采用更大的中压缸。
- 设有四级回热抽汽口，满足二次再热十级回热抽汽要求
- 采用双层内缸结构满足中分面密封要求。
- 内缸、阀壳、转子采材料提升，外缸采用新型球墨铸铁
- 独特的涡流冷却技术

二次再热关键技术——低压缸



➤成熟的低压模块

➤成熟的末级叶片



内缸猫爪支撑在轴承座上，外缸和凝汽器刚性连接，凝汽器真空变化不影响内缸及转子。

二次再热关键技术——控制技术

汽轮机设计发展到今天，在追求高效的同时，STP一直将控制自动化程度作为一项重要的指标。

STP超超临界机组提供了完备的热应力计算以及相应的控制功能。其核心是温度裕度准则。它通过测量汽轮机关键部件实际温差和设计许用温差进行比对，实时监测，通过DEH实现启动、运行的自动化控制

图 2-4 高压转子许可温差 $\Delta\vartheta$

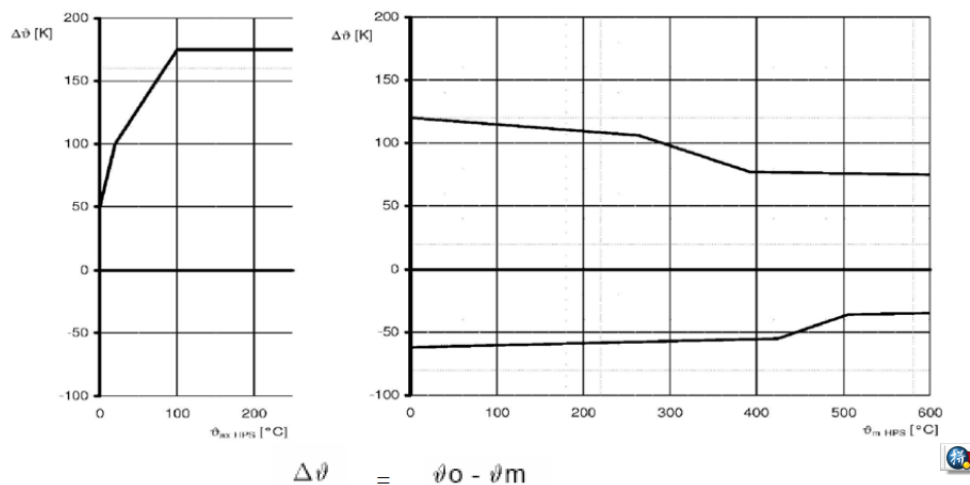
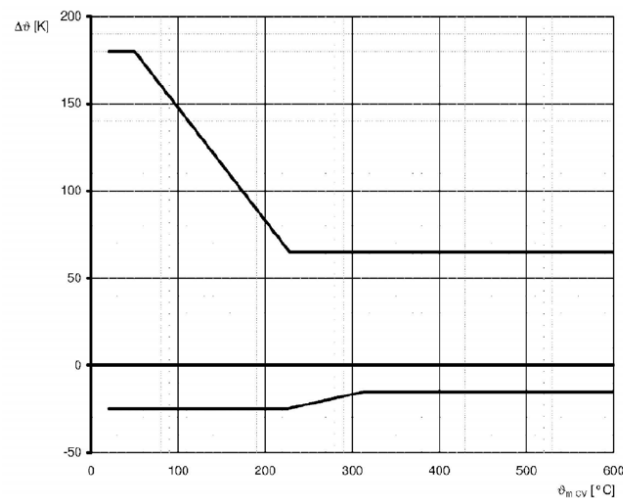


图 2-2 主调阀壁许可温差 $\Delta\vartheta$



二次再热关键技术——控制技术

西安热工院朱宝田《三种超超临界1000MW汽轮机简介》的数据比较

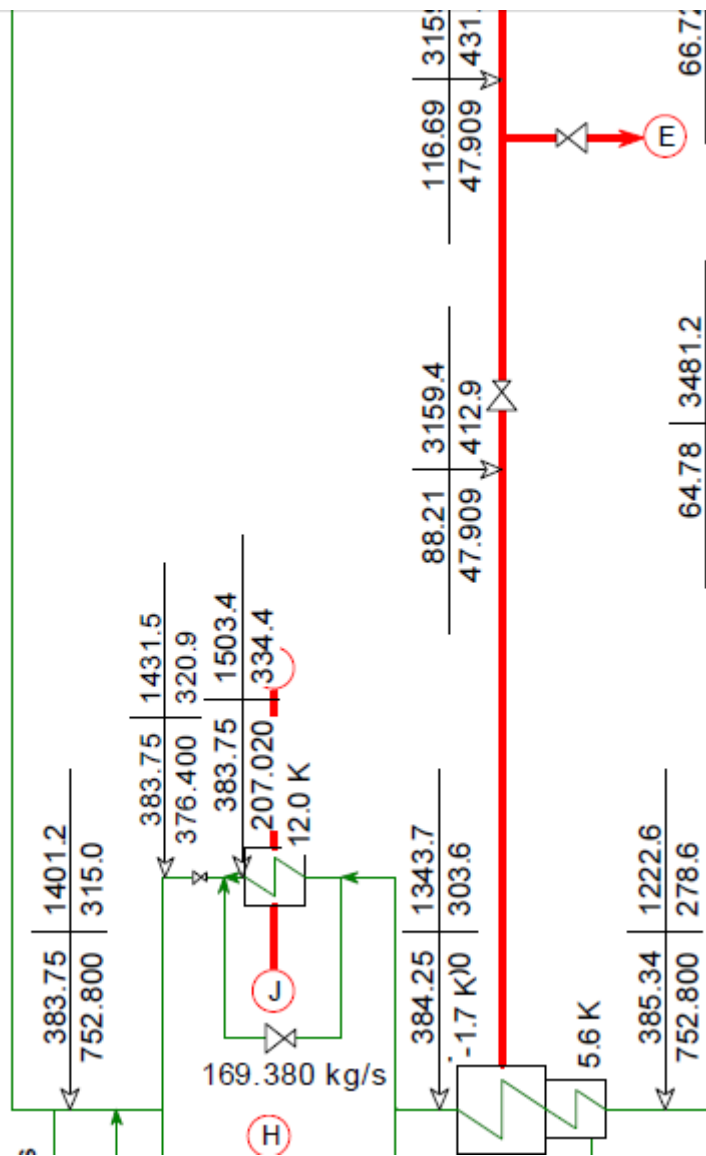
项目		东汽	哈汽	上汽
启动方式		高压缸启动	高中压缸联合启动	高中压缸联合启动
冲转至额定负荷时间 (min)	极冷态/冷态	302	360	325/125
	稳态	182	195	55
	热态	90	110	29
	极热态	90	110	10

- DEH/ETS系统一体化，自动控制，一键启动
- 除大修后初次启动外，5分钟达到3000r/min
- 独特的膨胀系统及高轴系稳定性，快速升转速；
- 超高压缸结构独特、无热应力约束，可承受更高排汽鼓风发热。

二次再热关键技术——宽负荷运行

STP在汽轮机设计过程中，充分考虑宽负荷运行例如通流部分、回热系统、补汽阀的设置，均是针对项目特点，结合用户的实际需求，在成熟的模块化体系内，实现量身定制。

两次再热机组超高排作为#1回热汽源，设计最高压力约12MPa，高负荷时与#1高加入口保持一定的节流，部分负荷时取消节流，满足宽负荷运行的要求。同时具备一定的调频能力。



主要内容

01

高效超超临界技术发展

高效超超临界的发展历程

02

二次再热关键界技术特点

二次再热汽轮机的技术先进性

03

投运过程中的注意事项及优化措施

二次再热汽轮机的技术先进性

04

总结

国际首台百万二次再热汽轮机——国电泰州

注意事项及优化措施

密切与设计院及安装公司配合,以防止机组在各运行工况下的各大管道对汽缸的倾覆,跑偏及脱空。

各主调门的结构设计、阀门的支撑方式和布置包括与进口管道的配合,充分考虑了阀门大流量下的气动性能,大尺寸阀门阀杆阀碟的灵活性能(防卡涩),抗冲击性能等

根据客户要求定制汽轮机

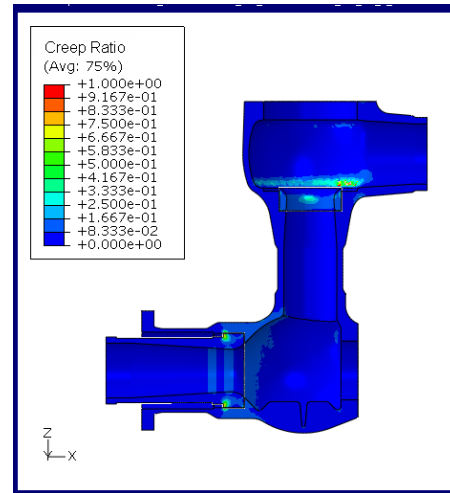
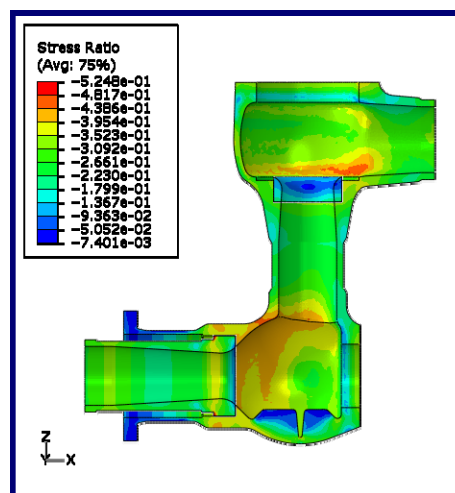
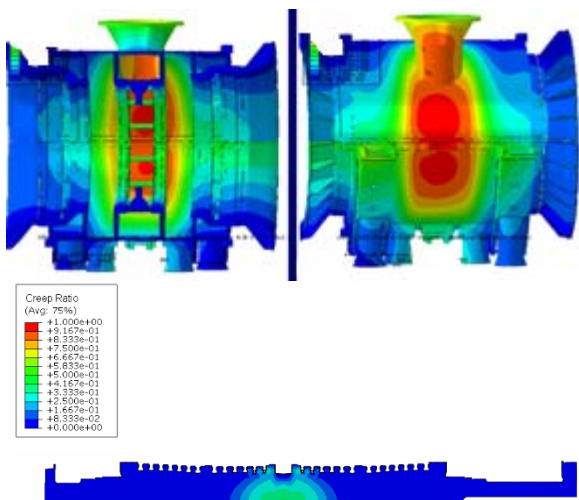
先进的模块化的开发体系

先进的轴系设计体系

先进的强度设计体系

先进的流场计算分析体系

先进的焊接转子设计体系



注意事项及优化措施

超高排逆止阀

由于二次再热机组的超高压排汽参数较一次再热机组的高排参数有大幅提升，因此要特别关注该阀门的实际使用情况。

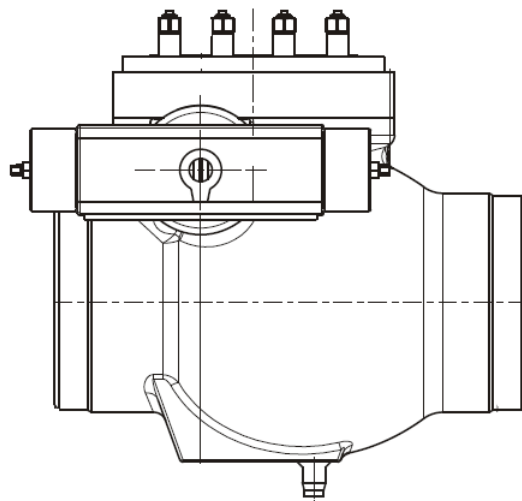
二次再热机组超高排参数

~425°C/11MPa

一次再热机组高排参数

~380°C/6MPa

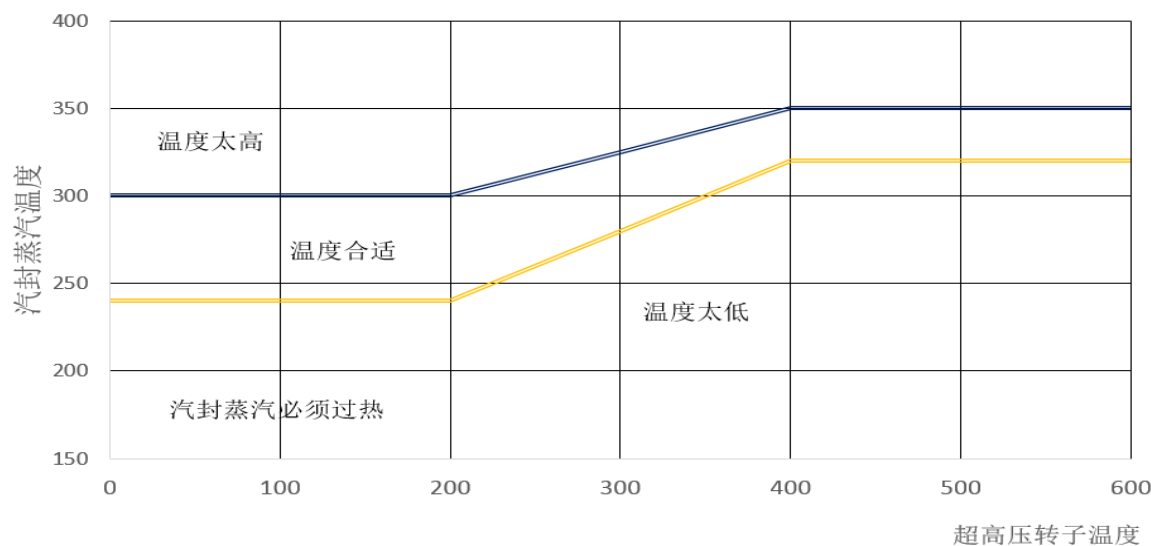
- 阀门安装要点
- 阀门保温要点
- 阀门工作状态监控
- 阀门问题处理



注意事项及优化措施

- 轴封供汽温度优化改进

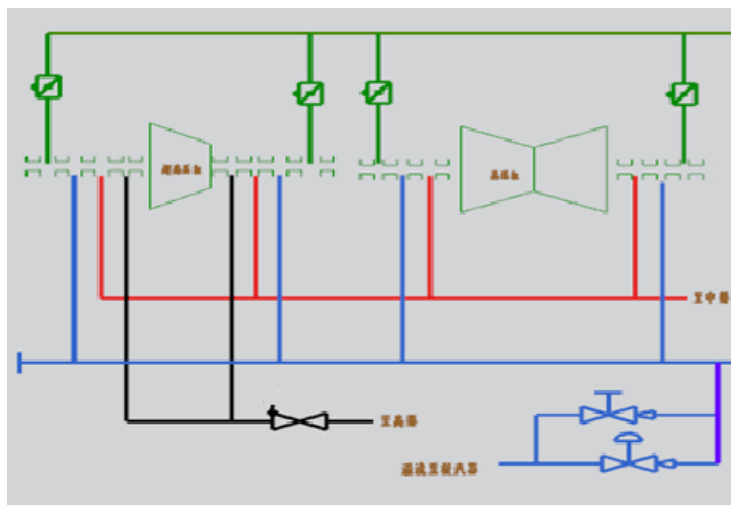
相较于与常规百万超超临界机组，二次再热机组轴封系统更为复杂。针对二次再热机组轴封辅助蒸汽与转子温度的匹配进行优化，适当提高供汽阀门站前辅助蒸汽温度（见下图）。系统内部设置减温器以匹配低压轴封供汽温度的需求。



注意事项及优化措施

- 轴封漏汽至高排管路增设逆止阀

由于二次再热机组启动工况复杂，为防止切除超高压缸启动过程中，高排蒸汽经由超高压轴封漏汽至中排管路反窜至超高压缸内导致超高压缸继续超温。在超高压轴封漏汽至高排管路上设置逆止阀（下图黑色示意），确保机组各工况下的安全稳定。



精装发运、规范化监装

超高压、高压、中压，均采用厂内精装，整体发运。

监装工作可以极大程度的为用户提供规范化的指导，保证机组后续的安全稳定运行。

现场监装概述

为全面监控现场重要安装节点，在与业主、监理、施工单位沟通取得一致意见后，由服务团队在现场按计划对各个部件和节点的安装质量进行监督和把关，发现问题及时指出并要求整改，避免或减少因安装不当导致的质量问题。监装计划表如下：

(W 点是现场见证点 R 点是记录点 H 点是停工待检点)

序号	监装项目	监装注意点	责任人	监装时间	H	W	R
1	轴承座及中心导向销						
1.1		按轴系找中图调准各轴承座的标高，调整各轴承座底部的螺钉来调准标高。	工代	视实际需要安排		√	
1.2		低压轴承座垫泡沫塑料	工代	视实际需要安排		√	
1.3		中心导向销焊接前后都要保证其扁身垂直，焊接时监视其位置，防止中心走动	工代	视实际需要安排		√	
1.4		焊接时监视其位置，防止中心走动	工代	视实际需要安排			
1.5		轴承座及中心导向销灌浆具体要求见安装质量提示表 2	工代	视实际需要安排			
1.6		轴承座地脚螺栓拧紧力矩	工代	视实际需要安排			√
2	低压外缸						

低压内缸装配

监装项目: 低压内缸

部件名称		低压内缸			
详细图号	项目	监装人员配置	见证现象描述	质量控制措施 (W/R/H)	结论
DR96.01.12 G01: DR96.01.16 G01	就位前的准备工作是否完成	工代	满足就位准备要求	逐条检查(W)	合格
	区分 LP1 静叶持环和 LP2 静叶持环	工代	按图纸和布套特征区分	对照图纸(W)	合格
	轴承与其支架的接触情况	工代	满足装质量提示表相关要求	对照图纸(W)	合格
	负荷分配	工代	满足装质量提示表相关要求	全称观察(W)	合格
	中分面间隙及通流间隙	设计	满足图纸和质量证明书要求	全称观察(W)	合格
监装结论:					
参建单位		签 字			
施工单位		年 月 日			
监理单位		年 月 日			
制造单位		年 月 日			
建设单位		工程部:	生产准备部:	年 月 日	

主要内容

01

高效超超临界技术发展

高效超超临界的发展历程

02

二次再热关键界技术特点

二次再热汽轮机的技术先进性

03

投运过程中的注意事项及优化措施

二次再热汽轮机的技术先进性

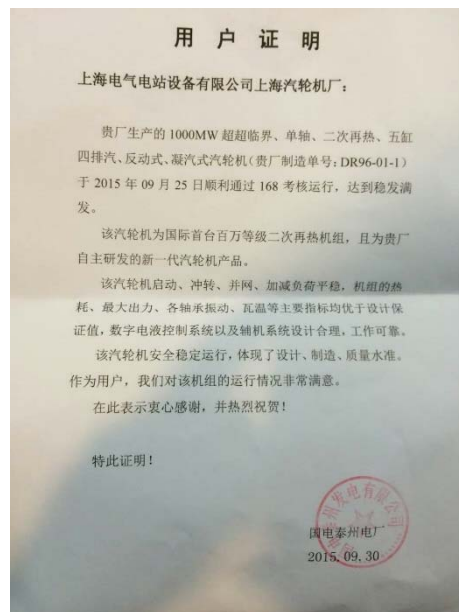
04

总结

首台二次再热汽轮机——国电泰州

泰州项目圆满顺利

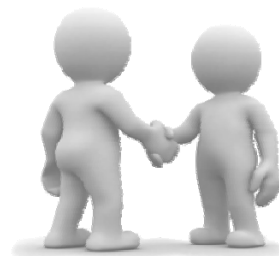
- 泰州项目#3机组于2015年8月4日顺利冲到3000转
- 主、再蒸汽参数，各缸排汽温度，机组金属温度及振动均正常
- 2015年9月2日顺利启动至3000转并网带初负荷至100MW
- 2015年9月6日机组带满负荷至1000MW
- 2015年9月25日晚17点58分顺利通过168试运行
- 目前一直在稳定运行中



总结



- 发展二次再热技术具有巨大的经济、社会效益；
- 1000MW二次再热项目为目前世界上最大的单轴高参数超超临界二次再热机组，经济指标最优，技术示范意义显著；
- STP独特的汽轮机结构，以及先进的通流整体优化设计技术保证机组经济性达到国际先进水平；
- STP成熟完善的技术开发体系，保证汽轮机技术方案先进可靠，满足机组安全运行。



零排放，扬帆绿色新生活

上海电气，与创造者共创未来

谢 谢!