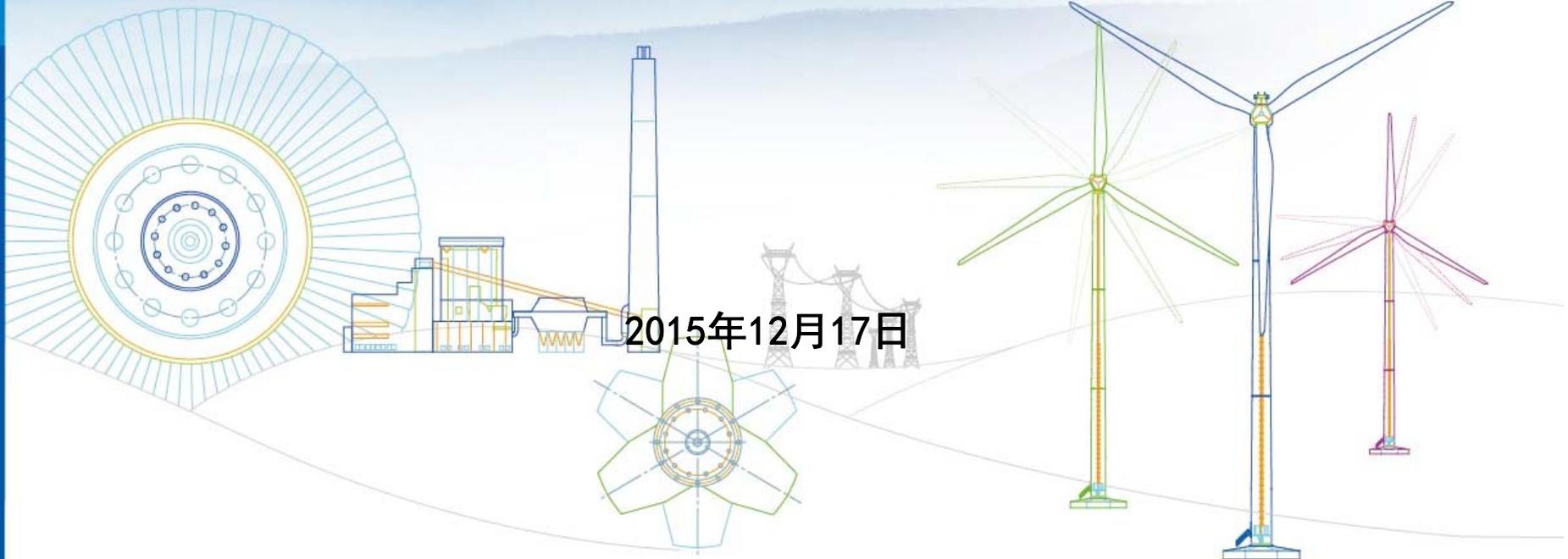


# 二次再热及高效超超临界机组 技术交流会

——汽轮发电机部分



2015年12月17日

主要内容

01

先进的发电机技术

02

水氢冷产品

03

双水内冷产品

04

总结



# 1、先进的发电机技术

## □ 第三代发电机技术

### 第一代发电机技术 /1G

- 边学习、边摸索、边开发、徒手计算
- 手加工制造
- 自主开发技术实现从无到有的过程

### 第二代发电机技术 /2G

- 引进国外成熟技术、简化计算程序
- 机械化的制造
- 技术消化、吸收，以满足运行要求

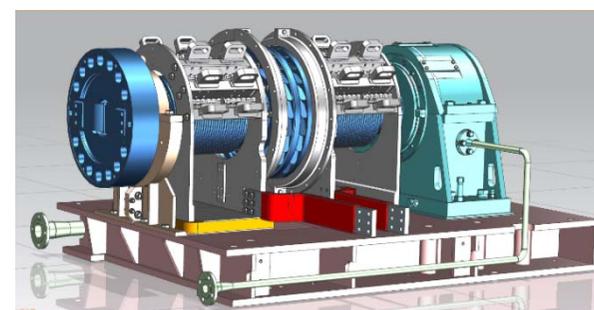
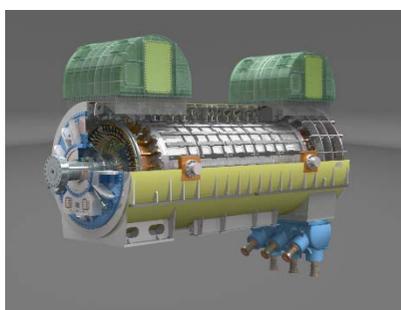
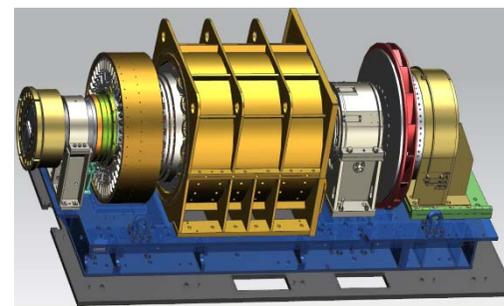
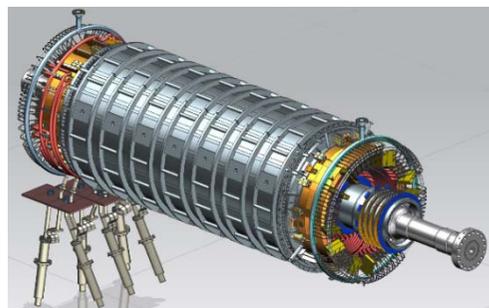
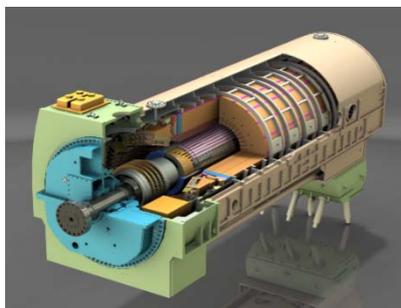
### 第三代发电机技术 /3G

- 三维设计，数值模拟和试验技术，模块化、系列化开发平台，精细化计算
- 智能化制造
- 性能、可靠性、成本等全方位优化



# 1、先进的发电机技术

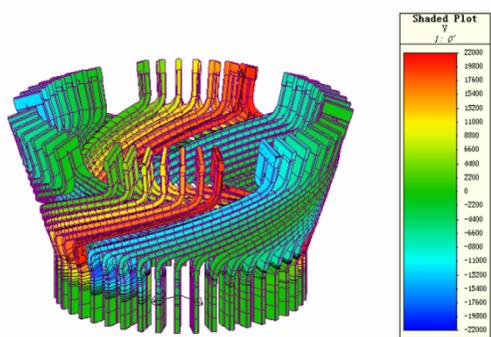
## □ 全三维设计



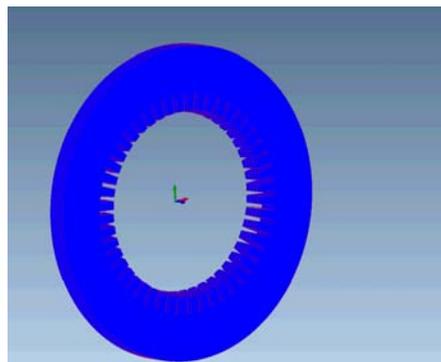


# 1、先进的发电机技术

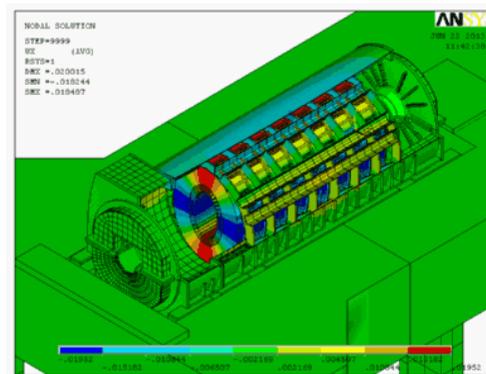
## □ 数值模拟技术



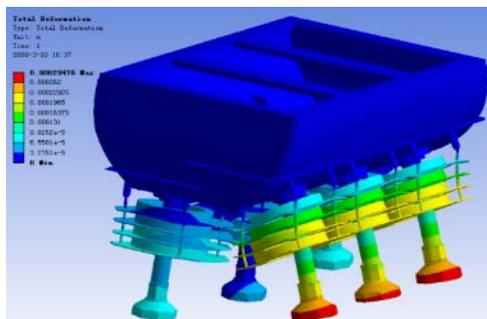
定子线圈端部电磁场分析



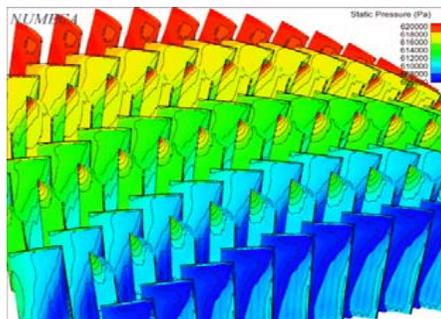
定子电磁场分析



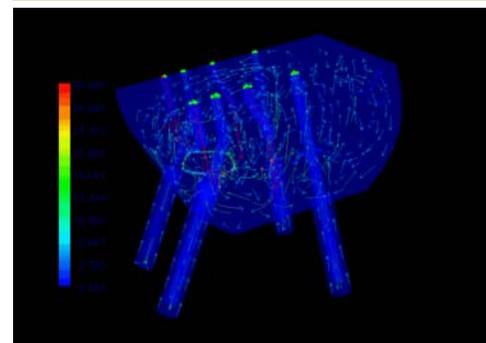
机座、铁心振动模态分析



出线盒及出线套管强度分析



多级轴流风扇气动特性分析



氢冷主引线、出线盒流场分析



## 1、先进的发电机技术

### □ 智能制造

智能制造取代传统手加工工作，降低工艺制造分散性，使发电机质量取得质的飞跃。



定子线圈绝缘云母带自动叠包，替代人工叠包，提高定子线圈绝缘可靠性



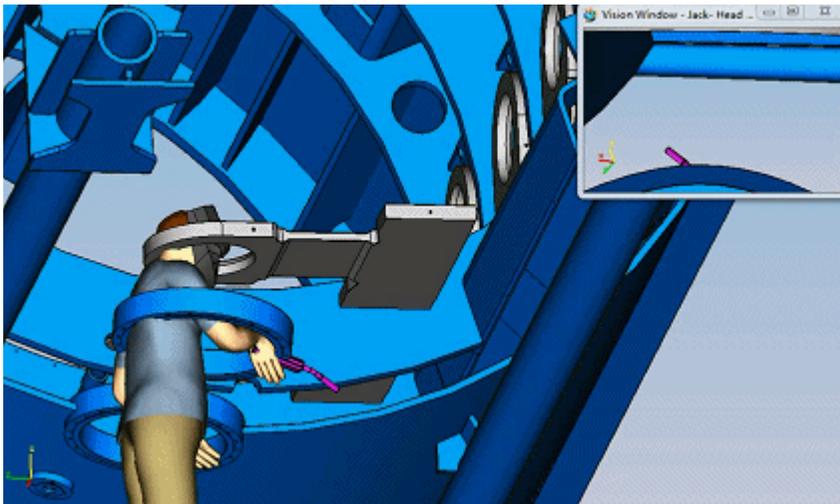
定子铁心机器人智能叠装替代人工叠装，提高叠装精度，提升铁心压装性能



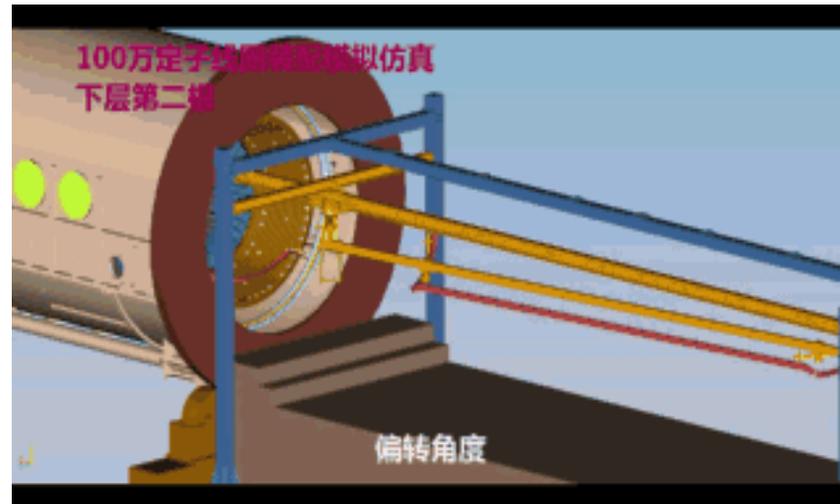
## 1、先进的发电机技术

### □ 三维工艺模拟

工艺过程质控明晰化，消除工艺死点，确保工艺质量。



机座焊接三维工艺模拟



定子嵌线三维工艺模拟



## 1、先进的发电机技术

### □ 现场服务

□ 工艺性指导文件：用户根据我厂资料（图纸、安装导则、说明书、安装实用指导手册等），作为现场安装准则。

□ FAQCR：安装过程中对各项信息进行记录、监控。

□ 设备安装不符合项通知单：实时监控安装过程，对不符合厂家要求的情况，进行及时的指正。

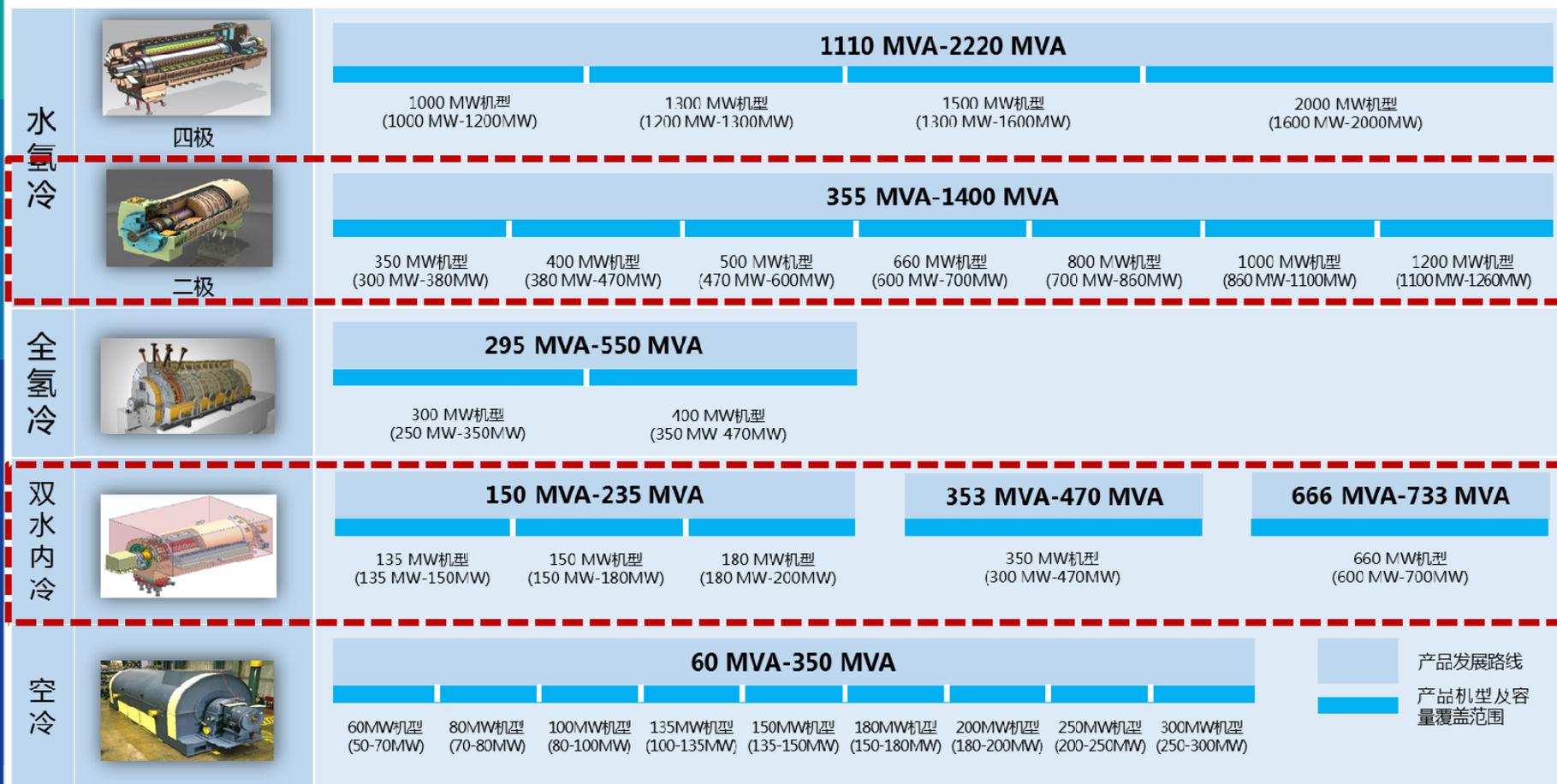
□ 24小时服务响应，建立应急服务体系。





# 1、先进的发电机技术

## □ 第三代发电机产品发展路线





## 2、水氢冷产品

□ 1000MW / 1200MW机型

水  
氢  
冷



二极

355 MVA-1400 MVA

350 MW机型  
(300 MW-380MW)

400 MW机型  
(380 MW-470MW)

500 MW机型  
(470 MW-600MW)

660 MW机型  
(600 MW-700MW)

800 MW机型  
(700 MW-860MW)

1000 MW机型  
(860 MW-1100MW)

1200 MW机型  
(1100MW-1260MW)

2002年

2003~  
2006年

2008~  
2009年

2011~  
2012年

与西门子合作生产  
外高桥2#发电机

全面引进西门子技术，  
国产首台百万自主产品

内陆运输百万产品  
1200MW模块化、系列化产品

配二次再热、高  
参数百万火电

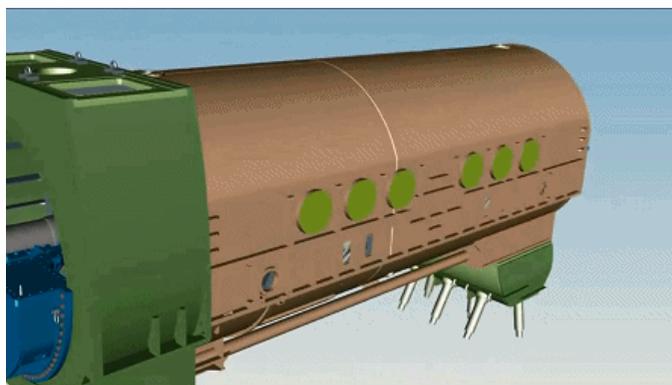
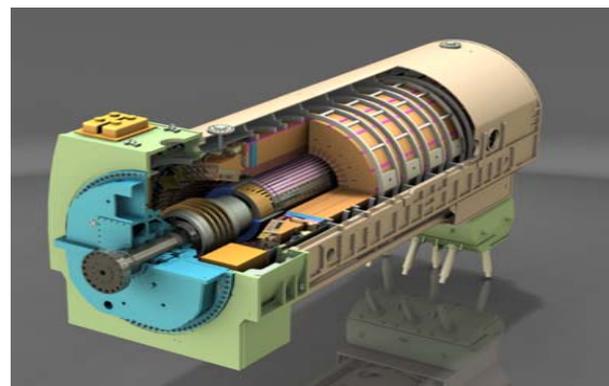
□ 当前上海电气百万千瓦级火电发电机投运**41**台（无刷励磁**22**台，静态励磁**19**台），订单**119**台，订单承接占国内市场**68%**以上。

□ 首台印尼芝拉扎电厂出口项目，1000MW，pf=0.85。



## 2、水氢冷产品

□ 1000MW / 1200MW机型



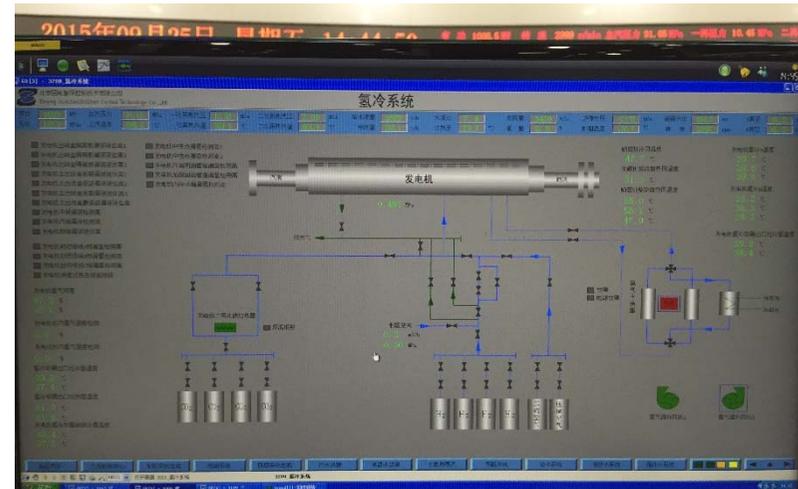
		1000MW 机型	1200MW 机型	
容量	MVA	1111	1177	1378
出力	MW	1000	1000	1240
功率因数	-	0.9 (滞后)	0.85 (滞后)	0.9 (滞后)
额定电压	kV	27	27	27
效率	%	99.00	99.02	99.05
短路比	-	0.48	0.5	0.45



## 2、水氢冷产品

□ 1000MW / 1200MW机型

➤ 泰州3#机





## 2、水氢冷产品

□ 1000MW / 1200MW机型

➤ 泰州3#机

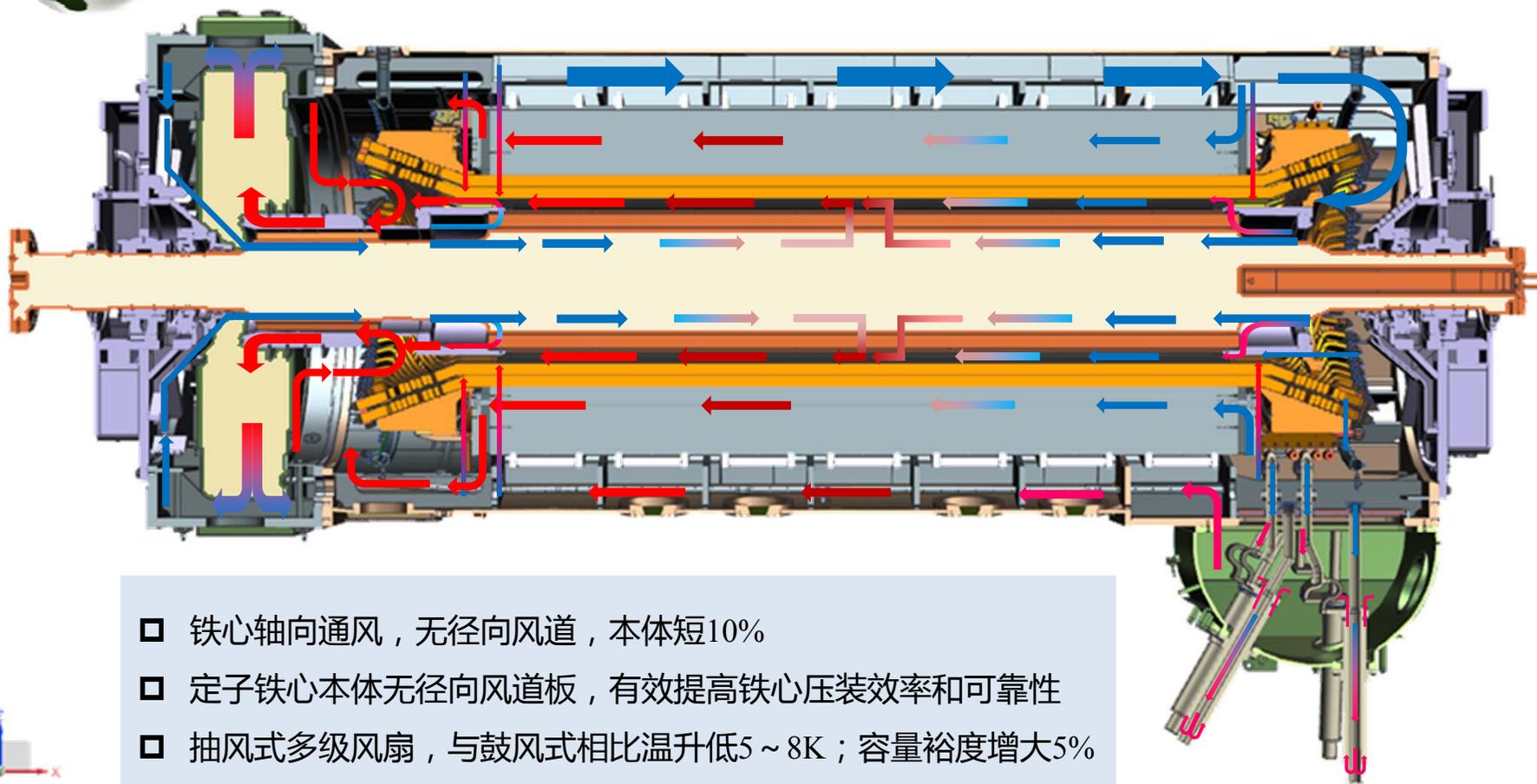
1000MW , pf=0.99		泰州3#机	标准限值
振动 ( $\mu\text{m}$ )		7#轴瓦 57.5 8#轴瓦 47.2 9#轴瓦 40.4	$\leq 80$ ( A区 )
漏氢量 ( $\text{Nm}^3/\text{d}$ )		$\leq 11$	$\leq 11$ ( 优等品 )
温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	定子线圈层间温度	平均温度 : 62.1 最高温度 : 64.0	$\leq 90$
	上下层线棒出水温度	上层出水 : 64.8 下层出水 : 59.3	$\leq 90$
	铁心最高温度	88.3	$\leq 120$



## 2、水氢冷产品

□ 1000MW机型

➤ 多级风扇轴向通风技术



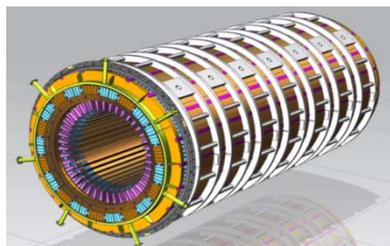
- 铁心轴向通风，无径向风道，本体短10%
- 定子铁心本体无径向风道板，有效提高铁心压装效率和可靠性
- 抽风式多级风扇，与鼓风式相比温升高5~8K；容量裕度增大5%
- 系统风量较其他通风方式低约20%，通风效率高



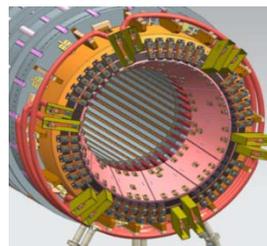
## 2、水氢冷产品

□ 1000MW机型

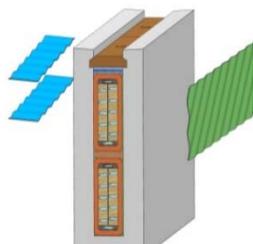
➤ 高可靠性



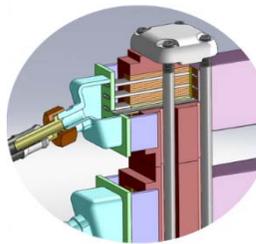
全补偿、抗蠕变定子铁心结构  
，避免局部松动



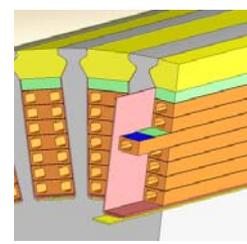
定子端部整体灌胶，整体性好  
，防水防油防异物



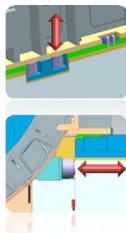
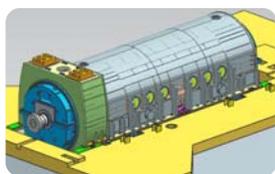
槽内弹性防松技术  
2个大修周期免测槽  
楔松紧度



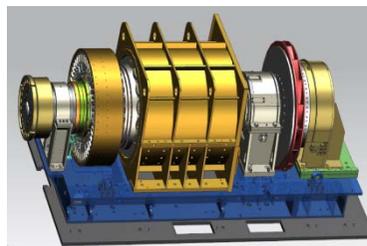
SVPI和不锈钢通水管  
冷却定子线圈



无缝拼接组合式转子  
线圈匝间绝缘结构



定子安装采用液压千斤顶  
调节定位，较传统垫片式  
减少安装周期7天以上



独有的无刷励磁机技术  
从设备运行安全性、少维护、免  
维护等角度考虑，优先推荐无刷  
励磁方式

在没有突然短路等特殊情况发生的前提下，可以实现免抽转子大修。



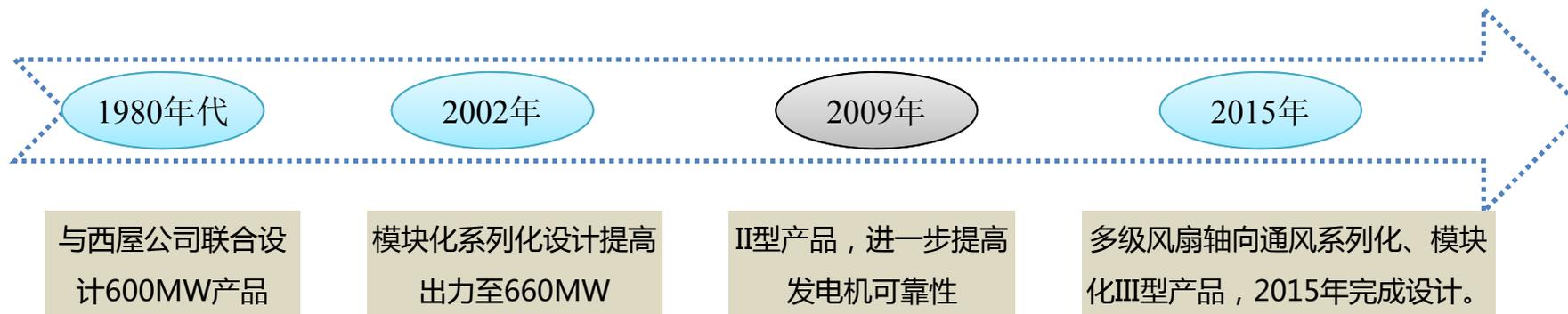
## 2、水氢冷产品

### □ 660MW机型

水  
氢  
冷



二极

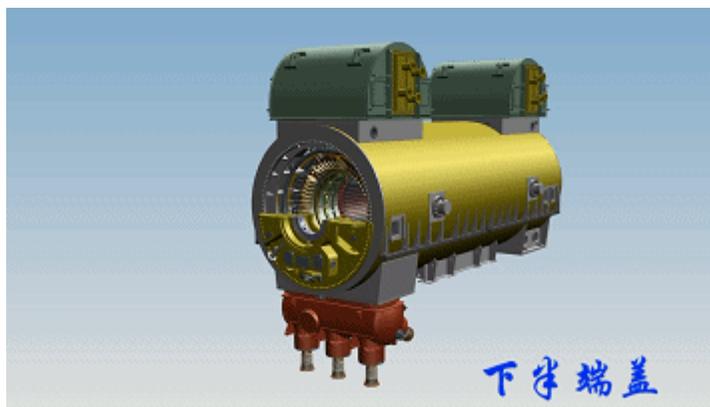
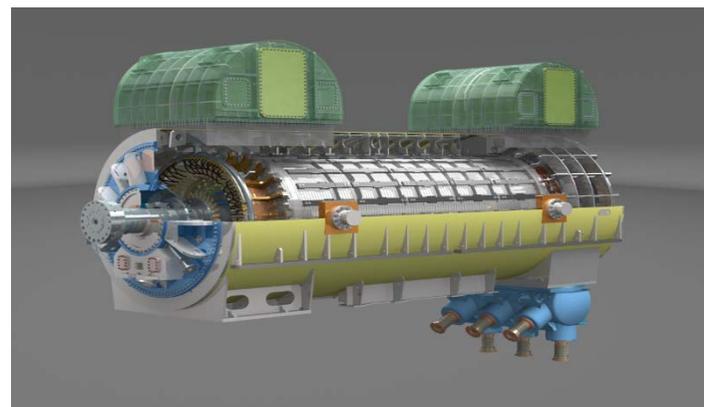


- 当前上海电气660MW等级汽轮发电机累计订货超过250台，投运的机组已超过170台；
- II型机目前订单98台，投运机组41台。



## 2、水氢冷产品

### □ 660MW机型



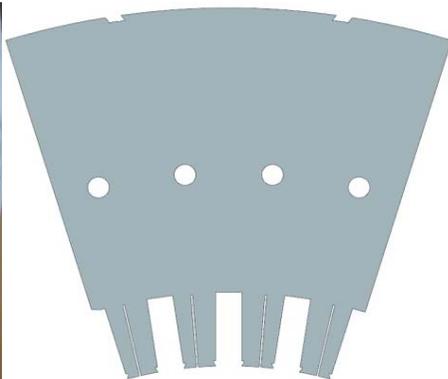
容量	MVA	733	776	667
出力	MW	660	660	600
功率因数	-	0.9 (滞后)	0.85 (滞后)	0.9 (滞后)
额定电压	kV	20	22	20
效率	%	99.03	98.90	99.00
短路比	-	0.50	0.50	0.53



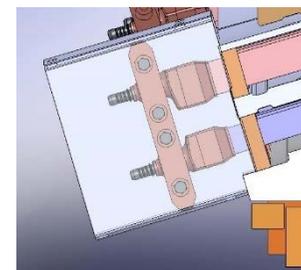
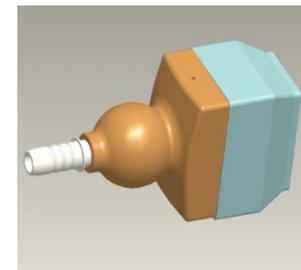
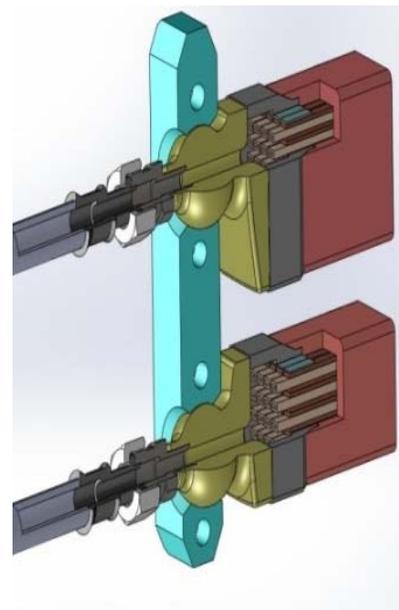
## 2、水氢冷产品

□ 660MW机型

➤ 高可靠性



不锈钢通风条激光点焊风道板  
提高平整度，彻底杜绝风道板脱落、断齿问题



定子线圈球形接头连接结构  
减少装配误差，抗冲击能力强

在没有突然短路等特殊情况发生的前提下，可以实现免抽转子大修。



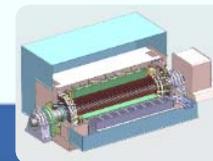
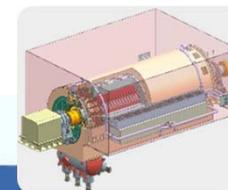
### 3、双水内冷产品

#### □ 双水内冷技术发展历程



1985年：双水内冷发电机  
获得首届国家科技进步一  
等奖

2014年：完成双水内冷660MW级发电  
机设计方案，通过了行业资深专家的评  
审



2014年：完成350MW III型产品  
设计开发



1994年：研制成功第一台  
300MW II型双水内冷发电机



1974年：研制成功国内第一  
台300MW双水内冷发电机



1958年：研制成功世界首台双  
水内冷发电机，12MW



## 3、双水内冷产品 / 双水内冷技术发展历程

### 评审意见

2014年7月8日,上海电气电站集团在上海组织召开了“660MW双水内冷汽轮发电机开发设计”评审会。评审专家听取了上海电气电站设备有限公司发电机厂(以下简称“上海发电机厂”)关于660MW双水内冷汽轮发电机开发设计报告,并审查了相关资料。经与会专家充分讨论,形成评审意见如下:

1. 提供的评审资料齐全、完整,符合设计评审要求。
2. 双水内冷汽轮发电机是上海发电机厂世界首创的自主创新产品,660MW双水内冷汽轮发电机是在总结了上海发电机厂双水内冷汽轮发电机设计制造经验的基础上,采用了660MW和1000MW水氢冷汽轮发电机的先进技术,进行系列化、模块化开发设计,具有完全自主知识产权。
3. 该产品采用上海发电机厂的技术开发平台,进行了电磁、通风冷却、机械、绝缘系统及结构设计的计算分析,计算分析方法成熟可靠。
4. 在开发设计过程中,攻克了诸多技术难点,形成了以下创新点:
  - 4.1 通过优化电磁设计、采用优质铁心材料等措施,该汽轮发电机效率达到98.95%,与当代水氢冷汽轮发电机效率相当。
  - 4.2 采用计算流体力学(CFD)仿真方法,进行了汽轮发电

机风扇和风路的优化设计,定子铁心温升与350MW双水内冷汽轮发电机相当。

4.3 运用有限元分析方法,进行了定子端部结构件温升研究和通风结构的优化,该汽轮发电机定子端部结构件温升低。

4.4 采用先进的流体网络节点法,进行转子水流量和温升的计算分析,优化了转子线圈水路,转子线圈温升低。

5. 定子线圈采用三级防晕结构,均匀定子线圈端部场强;绕组端部采用整体灌胶固定技术,提高了汽轮发电机防晕能力,该汽轮发电机可以在高海拔地区运行;端部灌胶固定技术也提高了汽轮发电机抗突然短路能力。

综上所述,上海发电机厂开发设计的660MW双水内冷汽轮发电机性能优良、结构可靠,主要性能优于有关国内外标准要求,达到国际先进水平。该产品适合国内外市场需求。

评委会专家一致同意通过评审。

专家评审组组长(签字):

都兴有  
饶方权

二〇一四年七月八日



**2015年：山西赵庄金光电厂2台，青海桥头电厂3台，共5台订单，首台2017年2月交货。**



### 3、双水内冷产品

#### □ 双水内冷优势及适用性

#### 双水内冷优势

□ 无需充排氢，可快速启停，运行安全可靠。

□ 无氢系统和密封油系统，方便巡检和就地检修，大小修周期短。

□ 机座不用防爆设计，定子运输重量较轻。



#### 双水内冷适用性

- 城市供热机组
- 无氢系统运行维护经验
- 运输尺寸受限地区

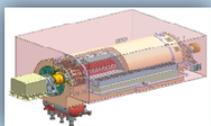
2×350MW双水内冷与同容量水氢冷机组相比：

- 一次性投资少，两台约少930万。
- 运行成本低，两台约少410万。



## 3、双水内冷产品 / □ 660MW机型

双水内冷



### 150 MVA-235 MVA

 135 MW机型  
(135 MW-150MW)

 150 MW机型  
(150 MW-180MW)

 180 MW机型  
(180 MW-200MW)

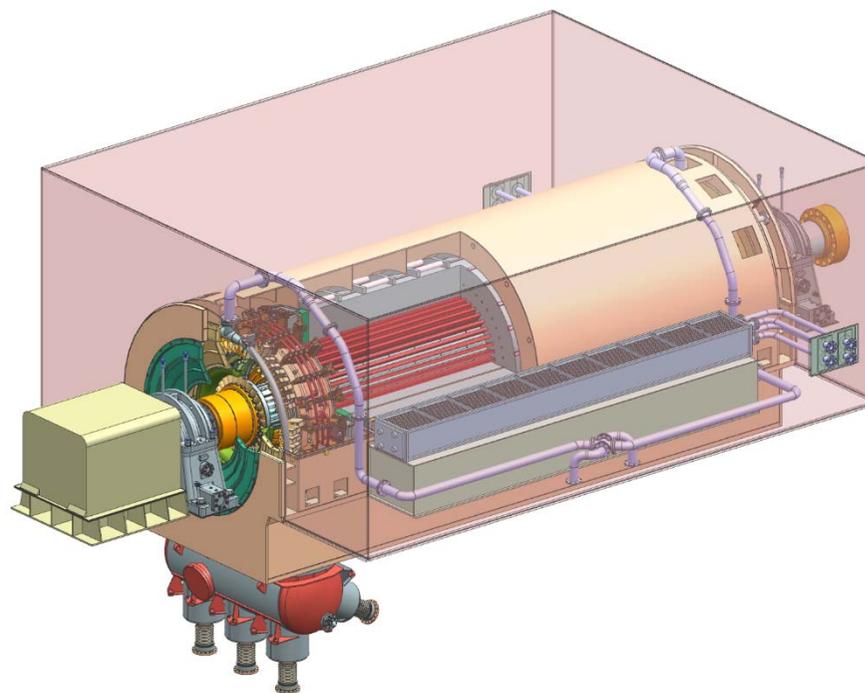
### 353 MVA-470 MVA

 350 MW机型  
(300 MW-470MW)

### 666 MVA-733 MVA

 660 MW机型  
(600 MW-700MW)

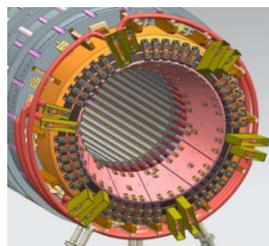
容量	MVA	733
出力	MW	660
功率因数	-	0.9(滞后)
额定电压	kV	20
励磁方式	-	静态
效率	%	98.95
短路比	-	0.48



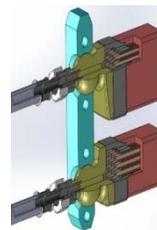


### 3、双水内冷产品 / □ 双水内冷技术特点

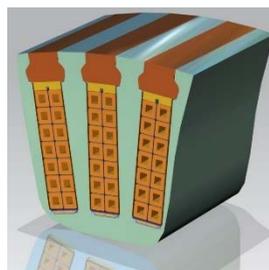
采用百万千瓦级水氢冷和西门子空冷发电机的先进技术



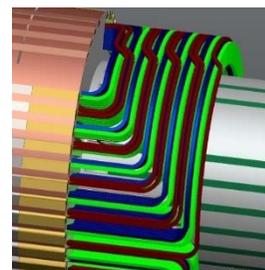
**整体灌胶定子端部结构**  
防水、防油、防异物，整体性好，线圈受力均匀，抗SSC能力高



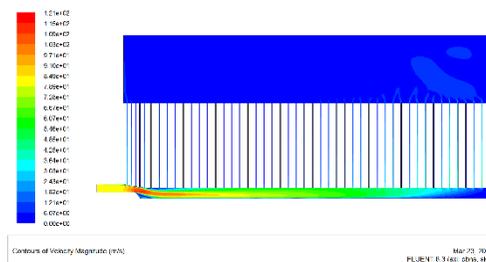
**定子线圈球形接头连接结构**  
减少装配误差，抗冲击能力强



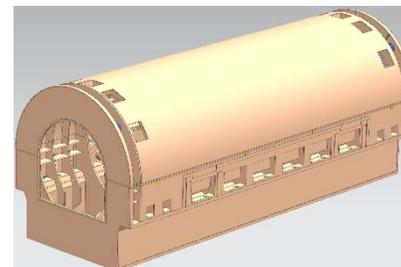
**水冷式连续绝缘转子绕组**  
彻底杜绝转子匝间短路可能性，绝缘寿命可达50年以上



**不锈钢引水拐脚和钢丝编织聚四氟乙烯管引水结构**  
杜绝引水管漏水问题



**边端铁心变风道设计**  
降低热点温度，提高发电机出力和进相运行能力



**上下哈夫罩壳**  
降低发电机噪声至85dB ( A ) 以下



## 4、总结



□ 先进的技术开发平台和产品智能制造技术确保第三代发电机的技术领先。

□ 模块化、系列化设计实现产品系列和容量全覆盖，确保产品的高性能、高可靠性、高适应性。订制机型、高品质产品服务满足用户个性化需求。

660MW汽轮发电机装配动画

□ 加法让能源可再生，减法让能源更高效。与客户携手上海电气绿色能源战略，持续创造社会和经济效益。



**谢 谢!**

