

ANSYS®



ANSYS中国技术大会  
中国·上海

# CFD应用解决大型汽轮 发电机的通风问题

- 崔阳阳
- 上海电气电站设备有限公司发电机厂

# 目录

一、企业发展历程及主要产品介绍

二、汽轮发电机的原理及结构

三、汽轮发电机的通风及CFD运用

四、CFD应用实例

# 目录

一、企业发展历程及主要产品介绍

二、汽轮发电机的原理及结构

三、汽轮发电机的通风及CFD运用

四、CFD应用实例

## 一、企业发展历程及主要产品介绍



- 从1952年起研制汽轮发电机
- 约1500台汽轮发电机已投运
- 具有大型核电发电机研制经验

上海汽轮发电机  
有限公司

1995年

上海电机厂有限公司 60%  
+  
美国西屋公司 40%

上海汽轮发电机  
有限公司

1999年

西门子并购西屋股权，  
转为与德国西门子的合  
资企业

上海电气电站设备  
有限公司发电机厂

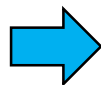
2008年

成为上海电气集团股份有  
限公司电站集团与西门子  
大合资公司—上海电气电  
站设备有限公司中的一员

# 一、企业发展历程及主要产品介绍

上海电机厂

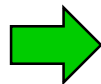
两极  
双水内冷：50-300MW  
四极  
空冷系列：3-125MW



自有技术和引进技术的有效融合

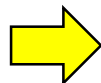
西屋公司

两极  
空冷：40-300MW  
全氢冷：200-600MW  
水氢冷：300-1000MW  
四极  
全氢冷：700MW  
水氢冷：1100MW  
1300MW



西门子公司

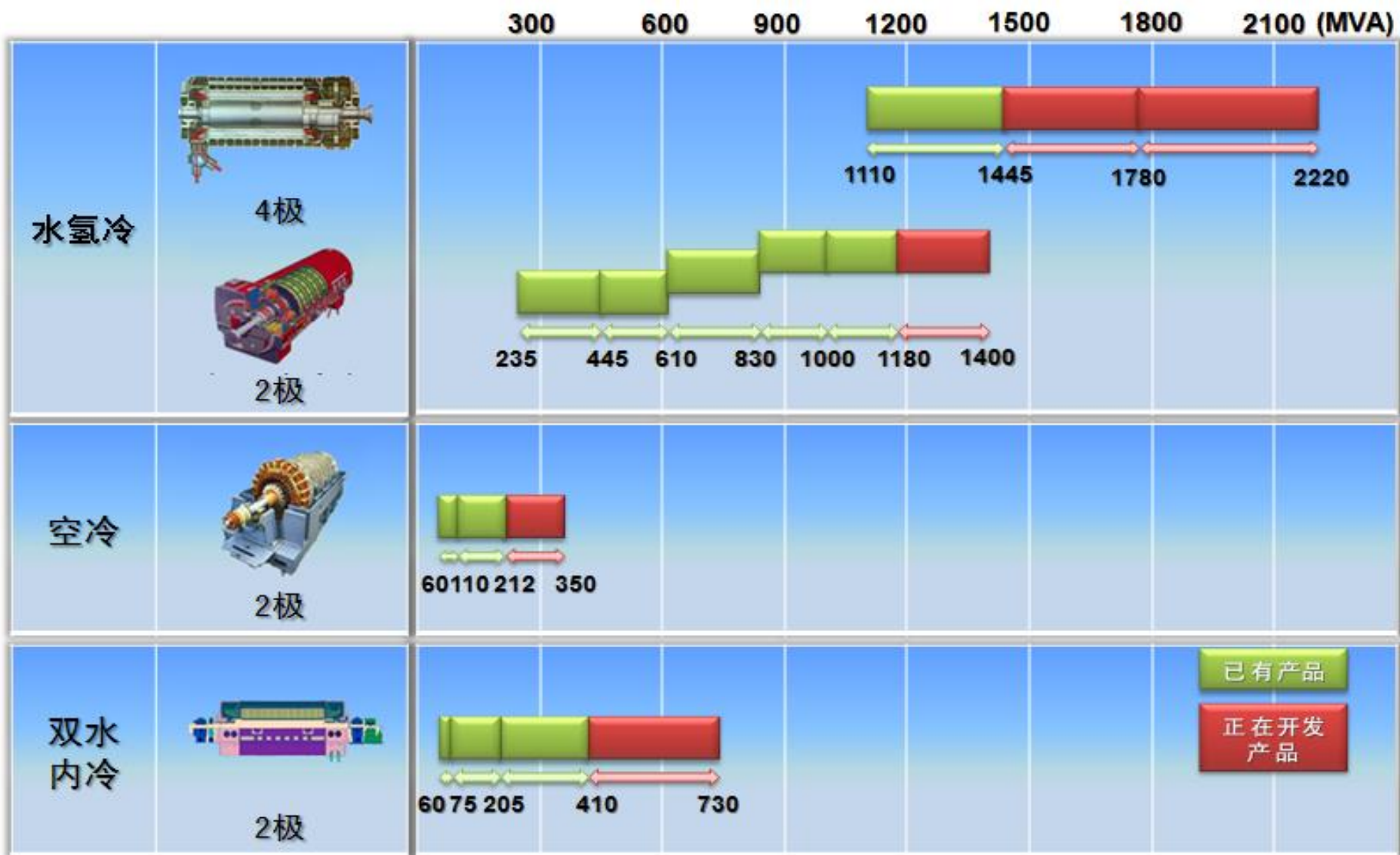
两极  
水氢冷：400-1200MW  
四极  
水氢冷：1000-1800MW



上海电气电站设备  
有限公司发电机厂

双水内冷  
QFS系列：50-350MW  
空冷  
QF系列：3-180MW  
全氢冷  
QFN系列：300MW  
水氢冷  
QFSN系列：300-350MW  
QFSN系列：600-680MW  
QFSN系列：900-1000MW  
四极水氢冷：1100MW

# 一、企业发展历程及主要产品介绍



已有产品  
 正在开发产品

# 目录

一、企业发展历程及主要产品介绍

二、**汽轮发电机的原理及结构**

三、汽轮发电机的通风及CFD运用

四、CFD应用实例

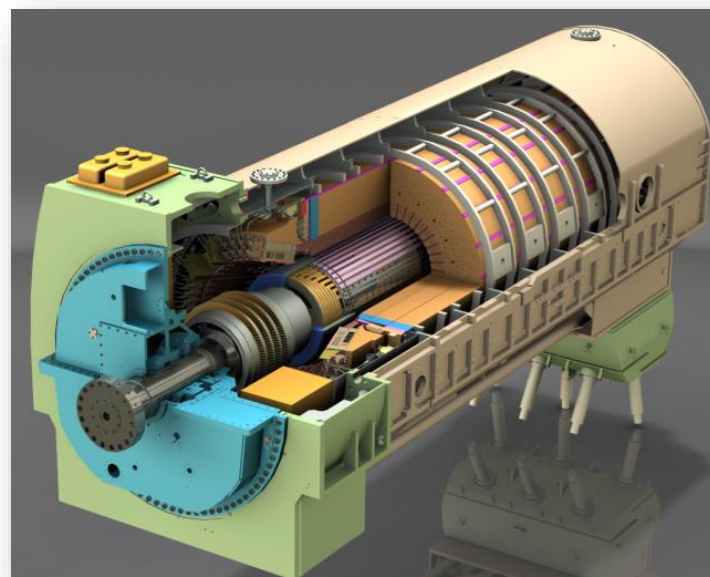
## 二、汽轮发电机的原理及结构

汽轮发电机是一种交流电机，是同步发电机的一种，其转子的转速  $n(\text{r/min})$  与电网频率  $f(\text{Hz})$  之间有着恒定的比例关系，即

$$n = 60f/p$$

式中  $p$ —电机的极对数

汽轮发电机由汽轮机驱动，由“锅炉”产生的过热蒸汽进入汽轮机内膨胀做功，使叶片转动而带动发电机发电，做功后的废汽经凝汽器、循环水泵、凝结水泵、给水加热装置等送回锅炉循环使用。

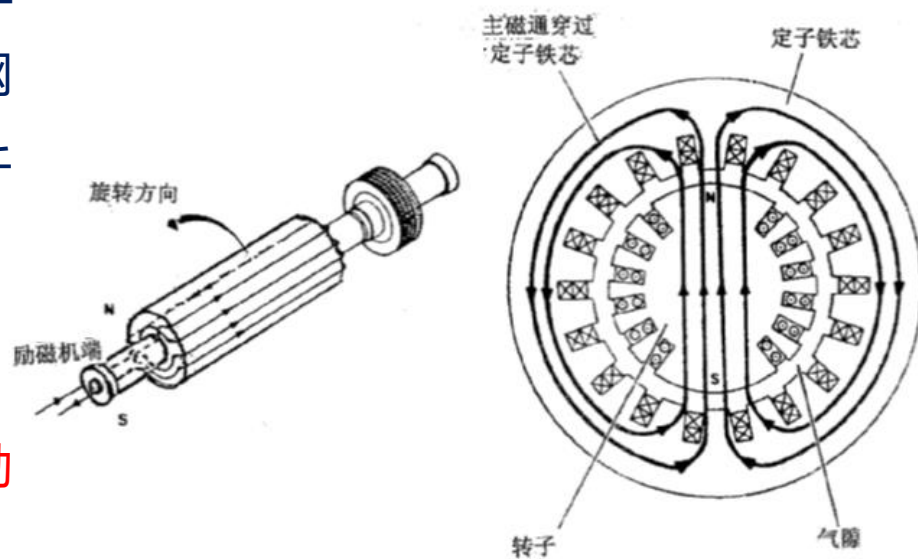


汽轮发电机



## 二、汽轮发电机的原理及结构

- 当转子旋转时,转子铁心与定子铁心形成磁场回路, 旋转磁场的磁力线切割定子线圈而产生感应电势即电压,该感应电势通过主引线输出,与变压器、电网相连接,即将机械能转为电能可以向千家万户供电
- **定子绕组**是发电机的核心部分
- 转子绕组为产生磁力线源所以亦称**励磁绕组**
- 定子:高电压、大电流
- 转子:高机械强度



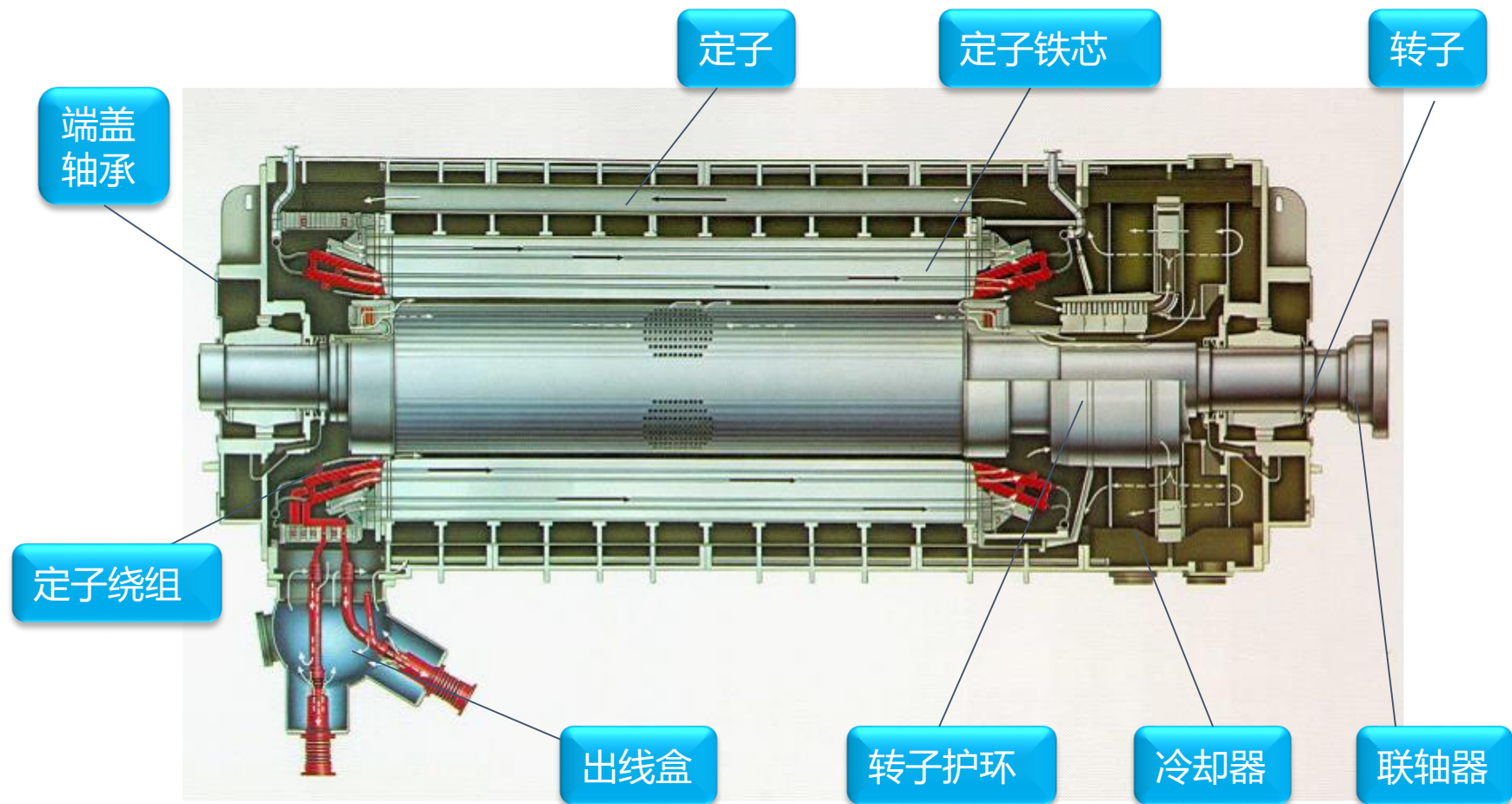
## 二、汽轮发电机的原理及结构

表 冷却介质性质

序号	冷却介质	相对比热容	相对密度	冷却介质相对 的消耗量	相对的吸热能力 (近似值)
1	空气	1.0	1.0	1.0	1.0
2	氢气 ( 3.4kPa表压 )	5.25	0.138	1.0	0.75
3	氢气 ( 0.31MPa表压 )	14.35	0.28	1.0	4.0
4	绝缘油 ( TRANSILOIL )	2.09	848	0.012	21.0
5	水	4.16	1000	0.012	50
6	氟利昂 ( 汽化 )	166*	1400	0.0012	280 ( 沸腾 )

汽轮发电机的冷却，无论是空冷、氢冷、油冷或水冷都是利用流动的气体或液体冷却介质的“比热”带走热量的，在汽轮发电机内部密封循环的气体压力愈大、密度愈高、容积比热愈大，带走的热量愈大。液体介质蒸发时所能吸收的热量则要比“比热”大得多。发电机中冷却介质的基本要求是比热容（或汽化热）大、粘度小、导热系数大、密度小、介电强度高，且应无毒、无腐蚀性、化学稳定、价廉易得。

## 二、汽轮发电机的原理及结构



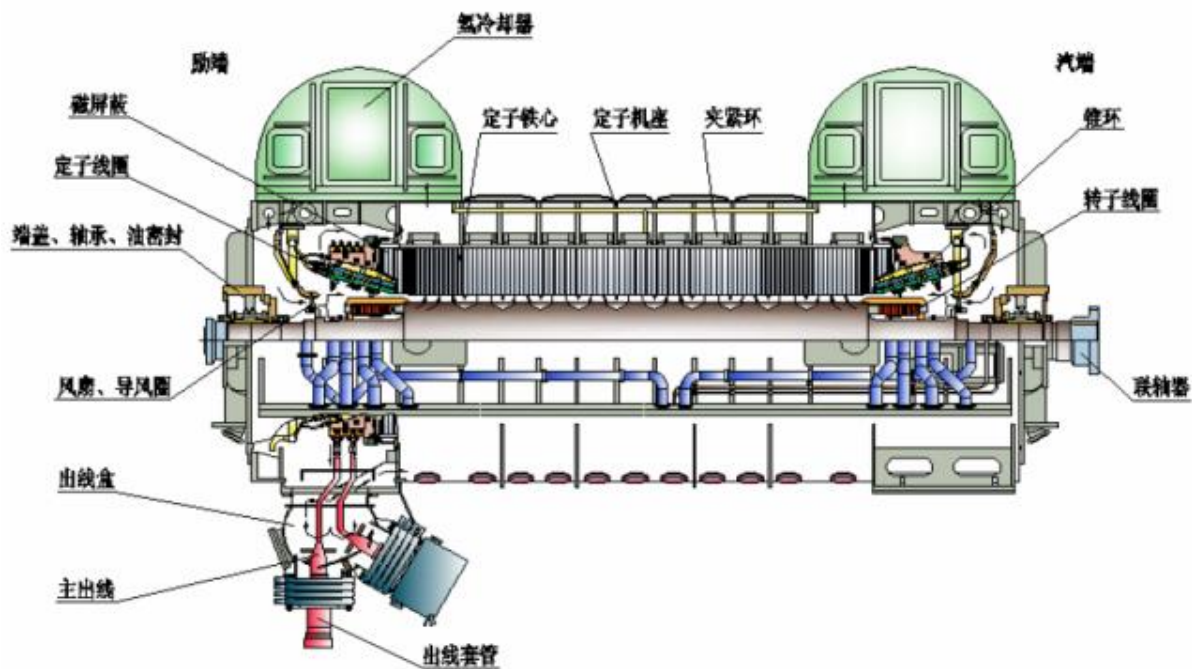
## 二、汽轮发电机的原理及结构

### ◆ 定子部分

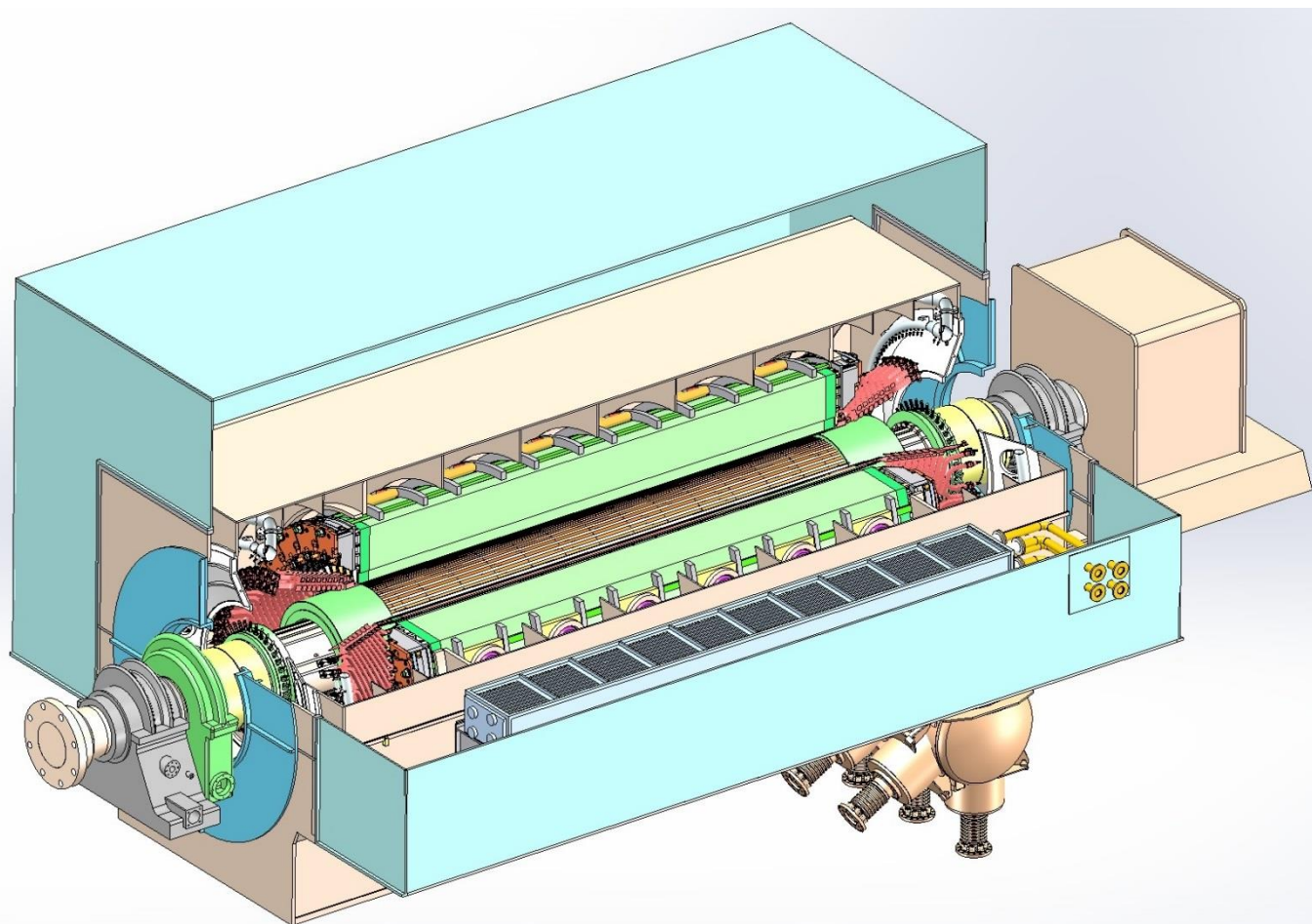
- 定子机座、铁心
- 定子线圈及装配
- 轴承、端盖、油密封等
- 密封等
- 出线盒、冷却器

### ◆ 转子部分

- 转轴
- 转子线圈
- 槽楔、护环、中心环、风扇、联轴器等



## 二、汽轮发电机的原理及结构



集电环外罩

双水内冷发电机结构

# 目录

一、企业发展历程及主要产品介绍

二、汽轮发电机的原理及结构

三、**汽轮发电机的通风及CFD运用**

四、CFD应用实例

## 三、汽轮发电机的通风及CFD应用

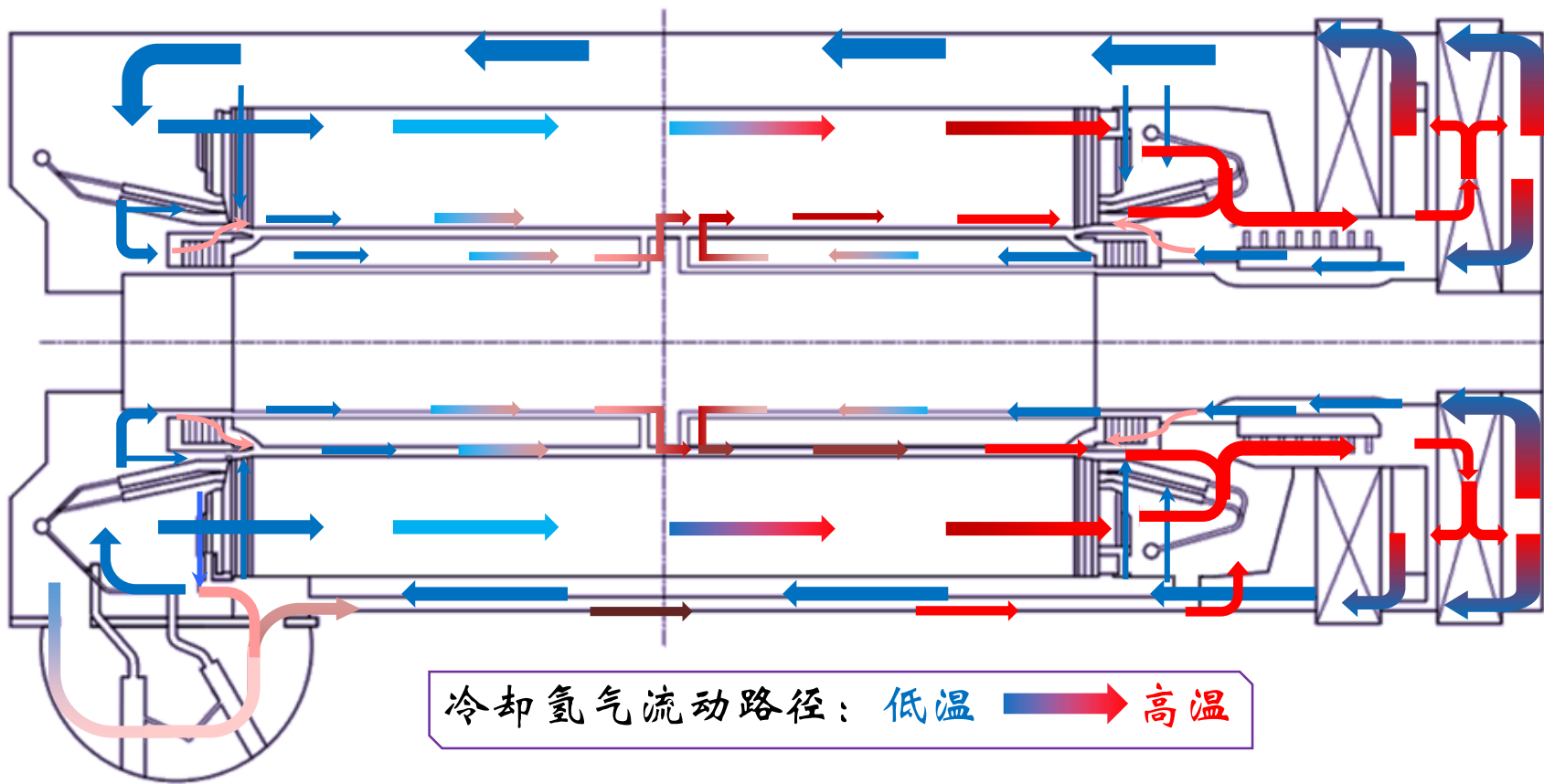
按冷却介质分类：

- 空冷(QF)
- 全氢冷(QFN)
- 水氢氢(QFSN)
- 双水内冷(QFS)
- 蒸发冷却 ( QFSF )

按转子冷却方式分类：

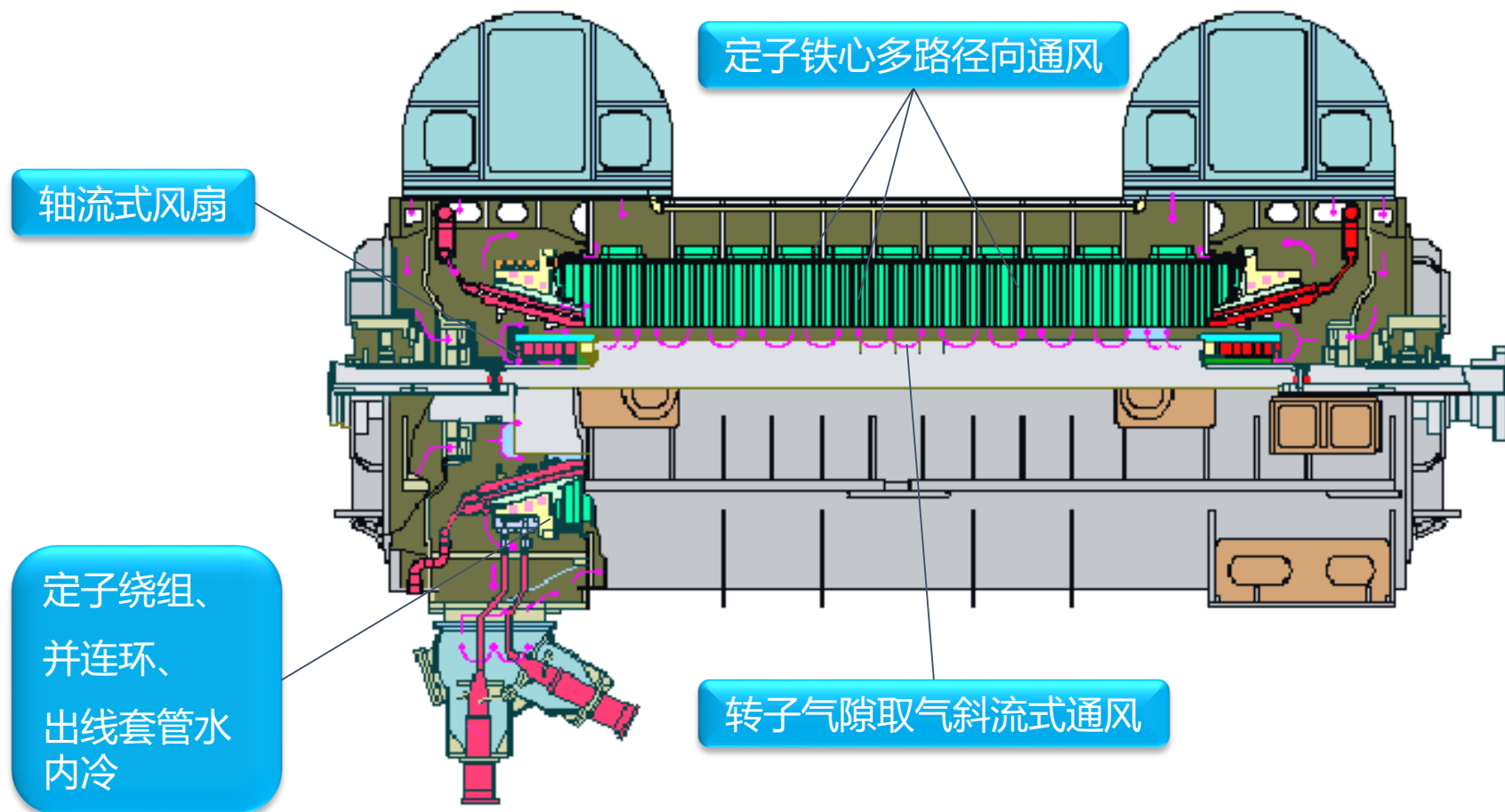
- 副槽通风(如：QF及QFSN-300)
- 气隙取气(如：QFSN-600)
- 轴向-径向(如：QFSN-1000)

### 三、汽轮发电机的通风及CFD应用



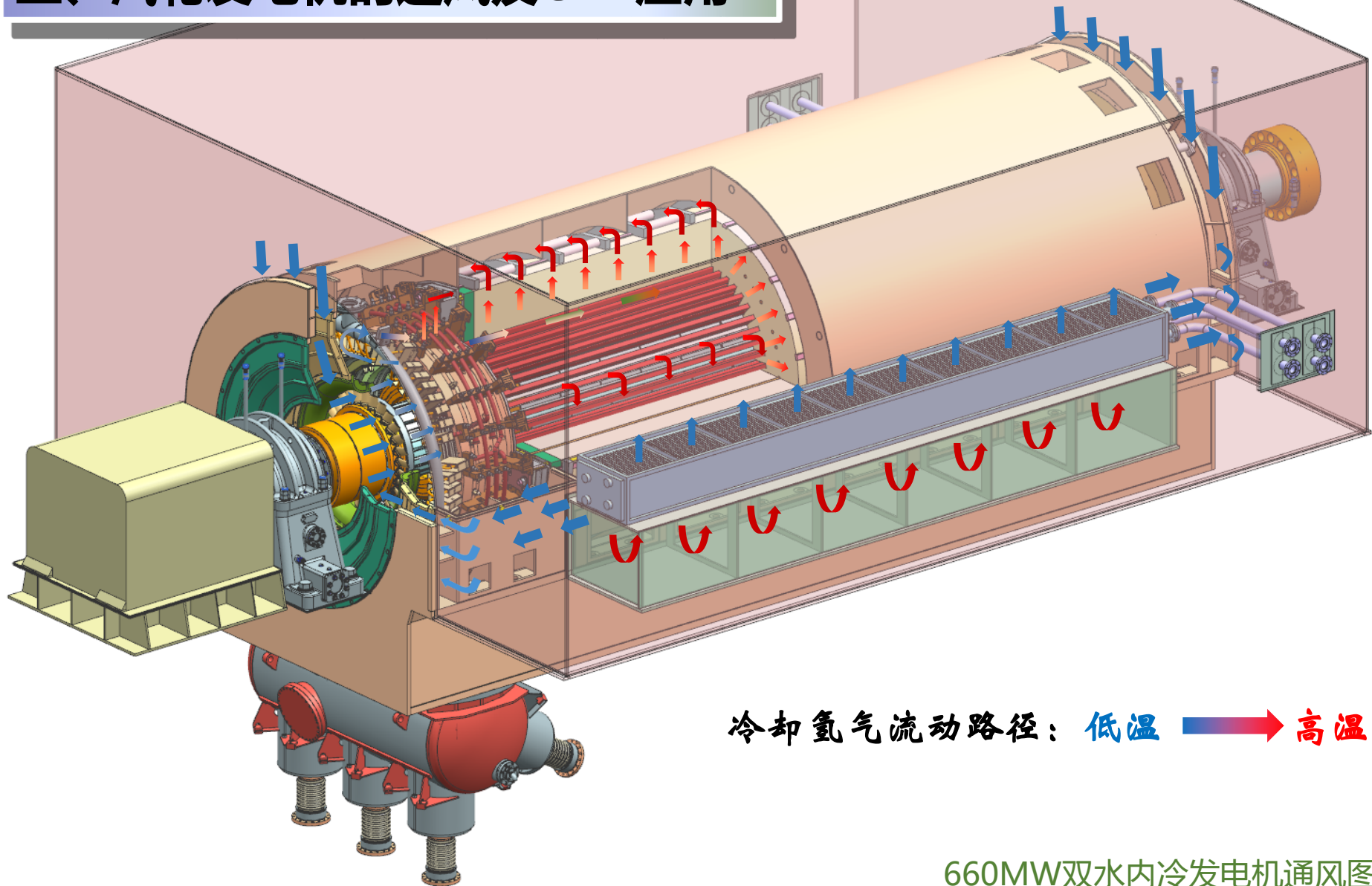


### 三、汽轮发电机的通风及CFD应用

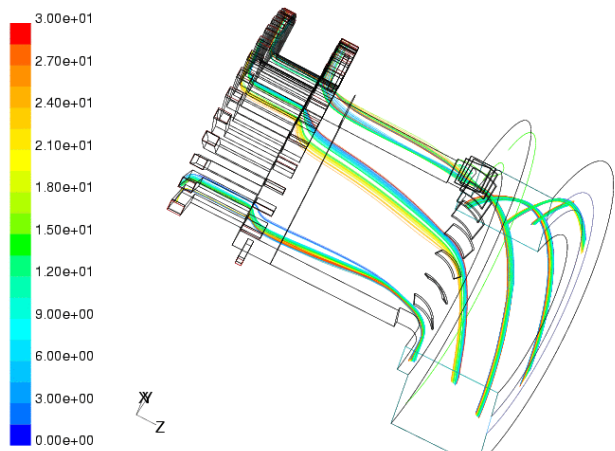


600MW水氢冷发电机通风图

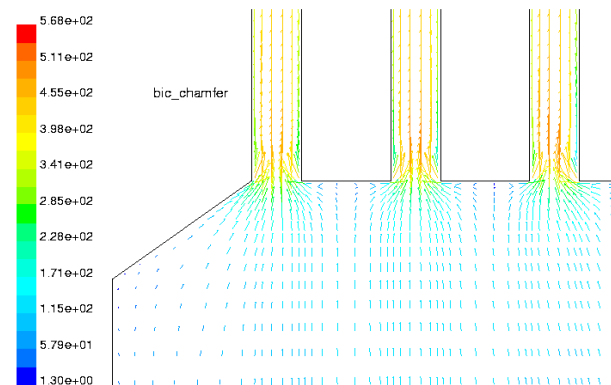
### 三、汽轮发电机的通风及CFD应用



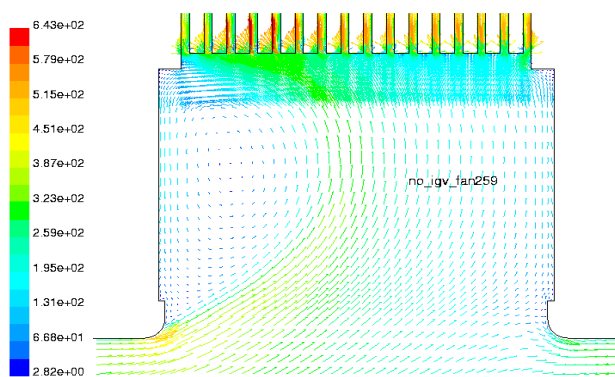
# 三、汽轮发电机的通风及CFD应用



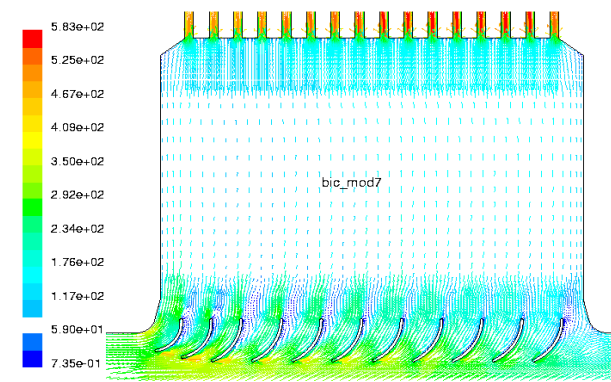
Path Lines Colored by Particle Id  
Jan 31, 2002  
FLUENT 5.0 (3d, segregated, ke)



Rel Velocity Vectors Colored By Relative Velocity Magnitude (ft/s)  
Feb 22, 2002  
FLUENT 5.5 (2d, segregated, ke)

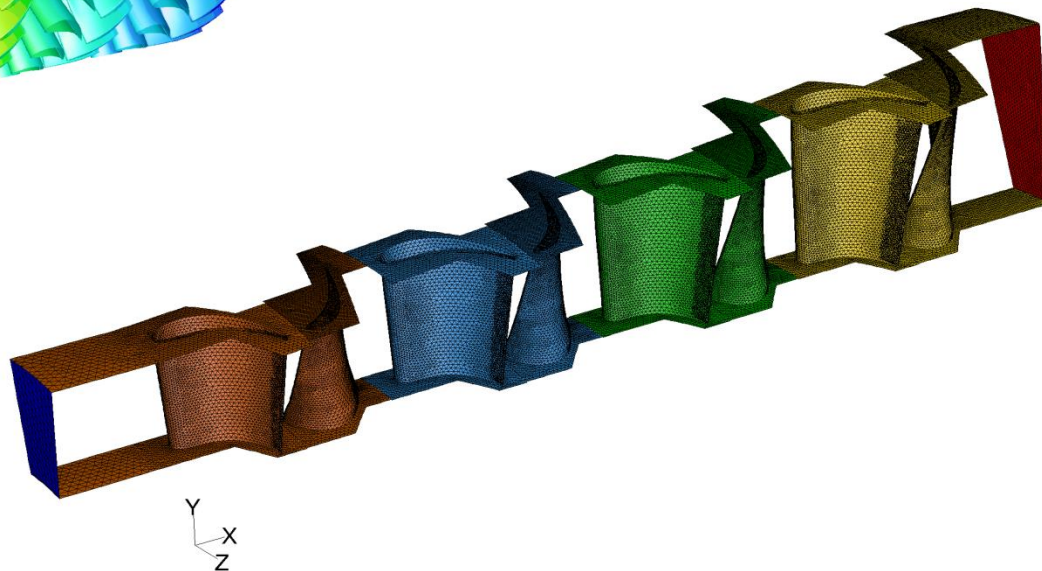
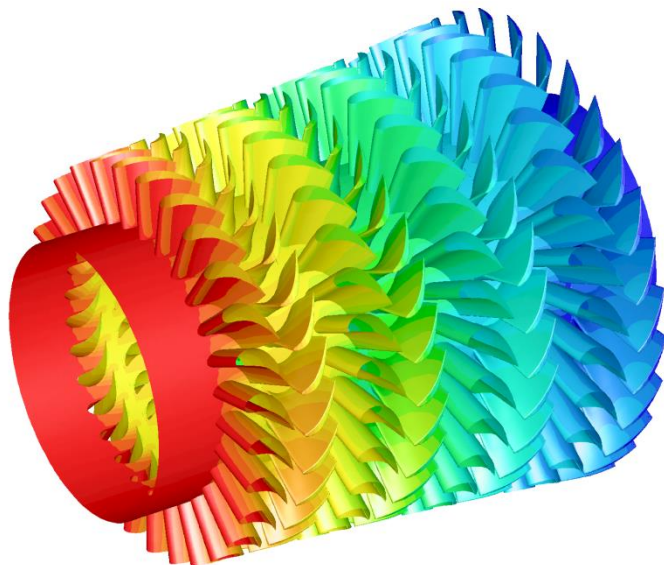
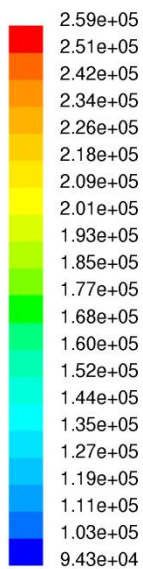


Rel Velocity Vectors Colored By Relative Velocity Magnitude (ft/s)  
Mar 12, 2002  
FLUENT 5.5 (2d, segregated, ke)



relative-velocity Colored By Relative Velocity Magnitude (ft/s)  
Mar 29, 2002  
FLUENT 6.0 (2d, segregated, ske)

### 三、汽轮发电机的通风及CFD应用



# 目录

一、企业发展历程及主要产品介绍

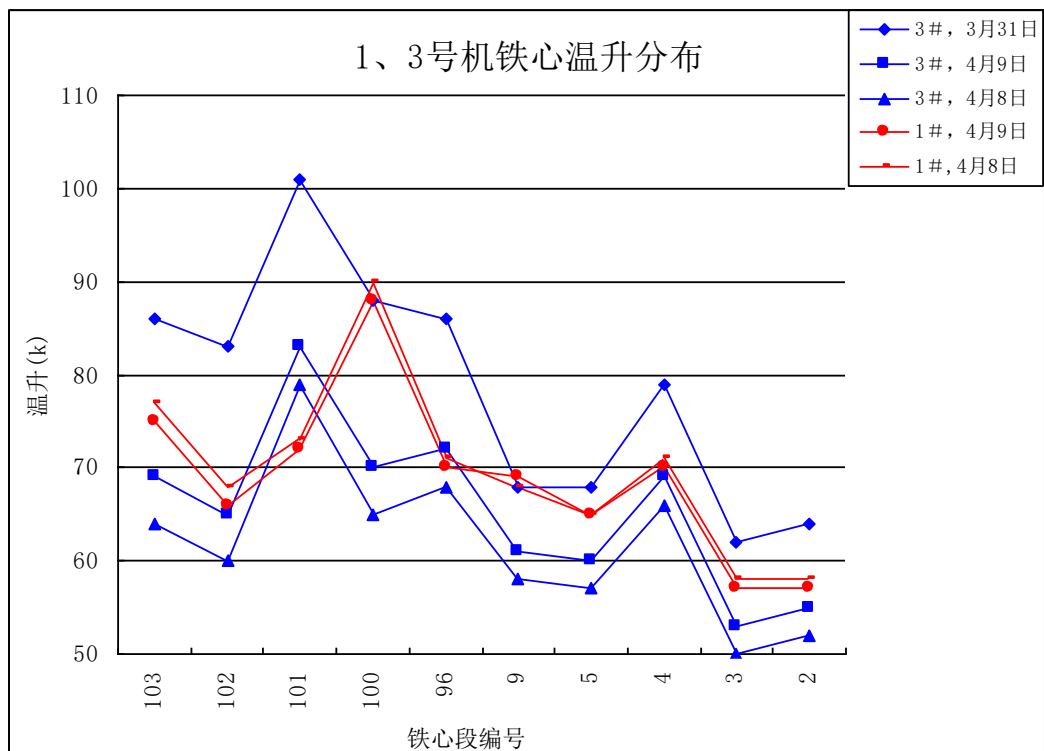
二、汽轮发电机的原理及结构

三、汽轮发电机的通风及CFD运用

四、**CFD应用实例**

## 四、CFD应用实例

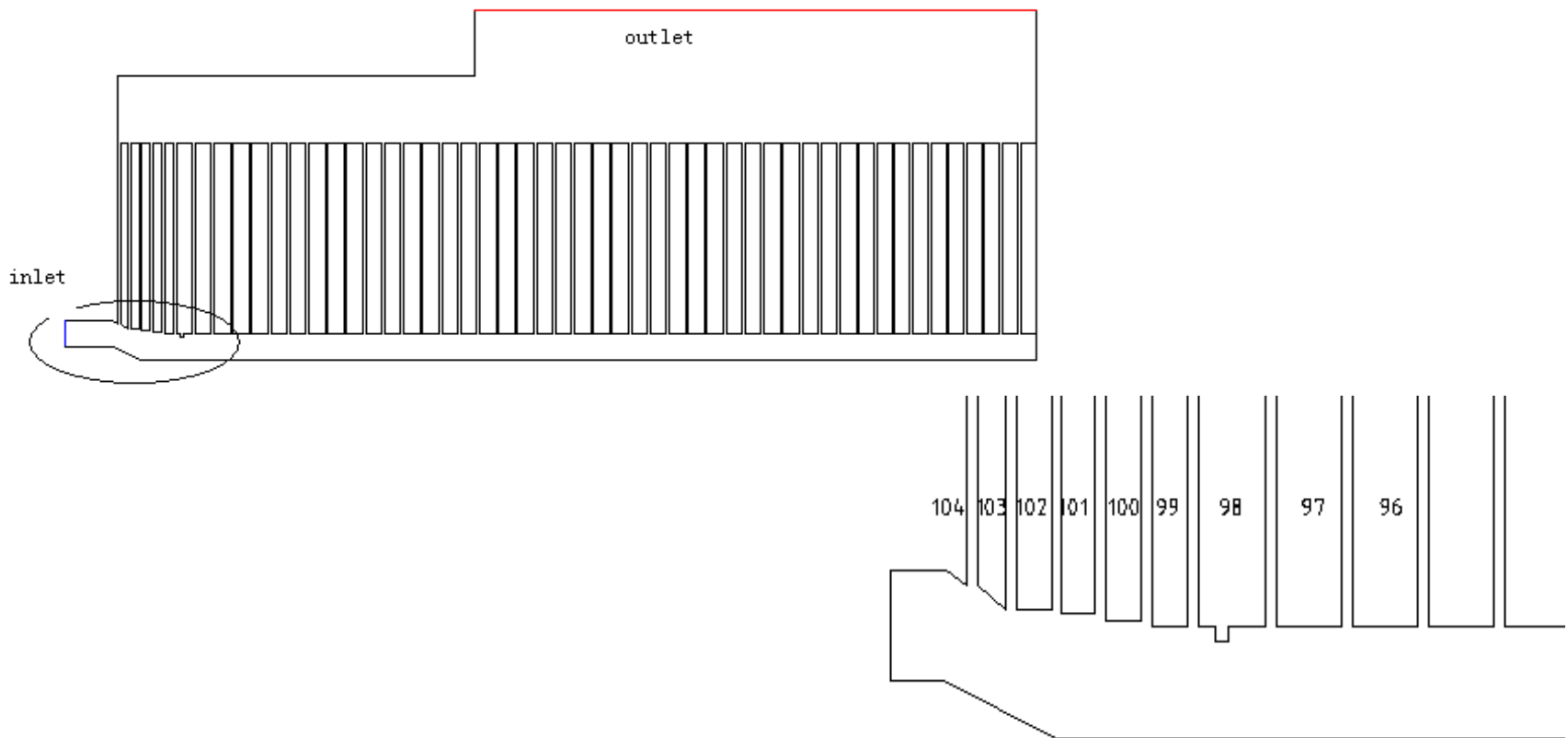
某电厂两台QFS型300MW双水内冷发电机，增容改造后在电厂运行测试中，都发现铁心端部出现过热现象。在汽、励两端靠近边段铁心处，分别装有高度为10mm的径向挡风板。



两台发电机不同段铁心轭部温升分布

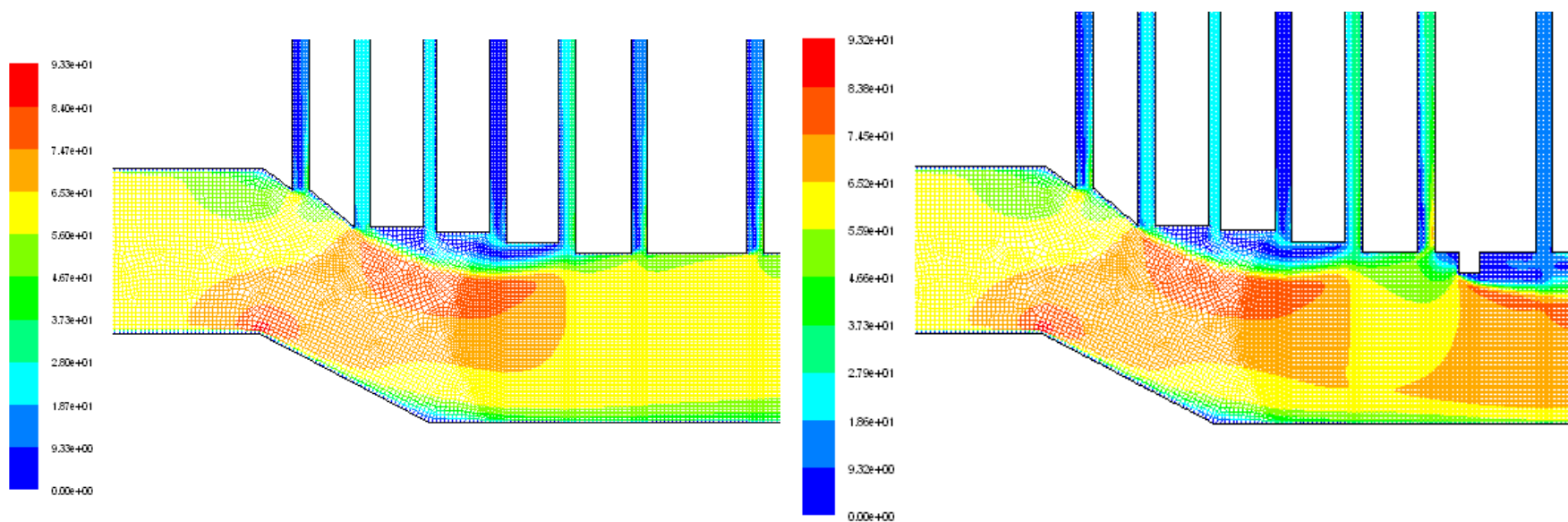
## 四、CFD应用实例

建立数值模型进行CFD分析，由于汽端和励端关于铁心中心线对称，因此，计算取一半铁心。



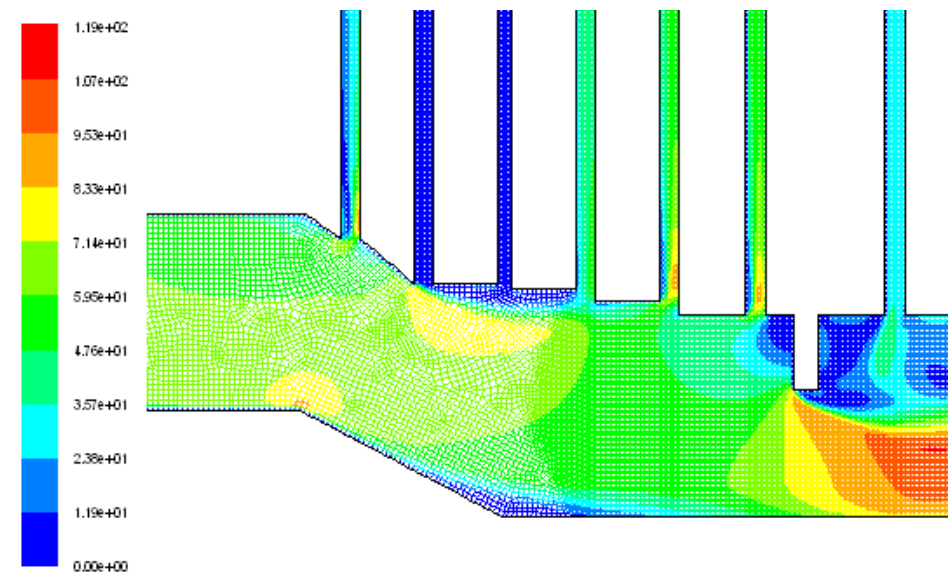
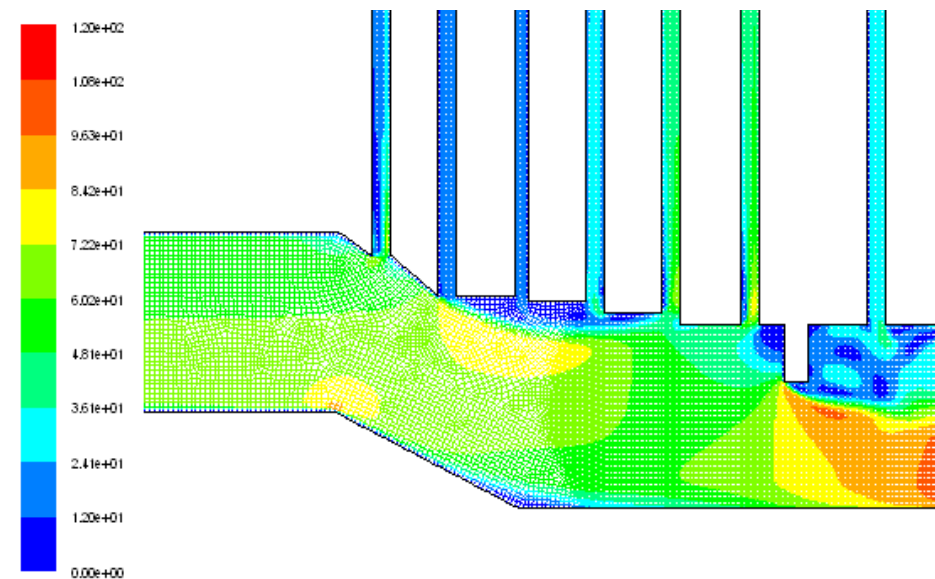
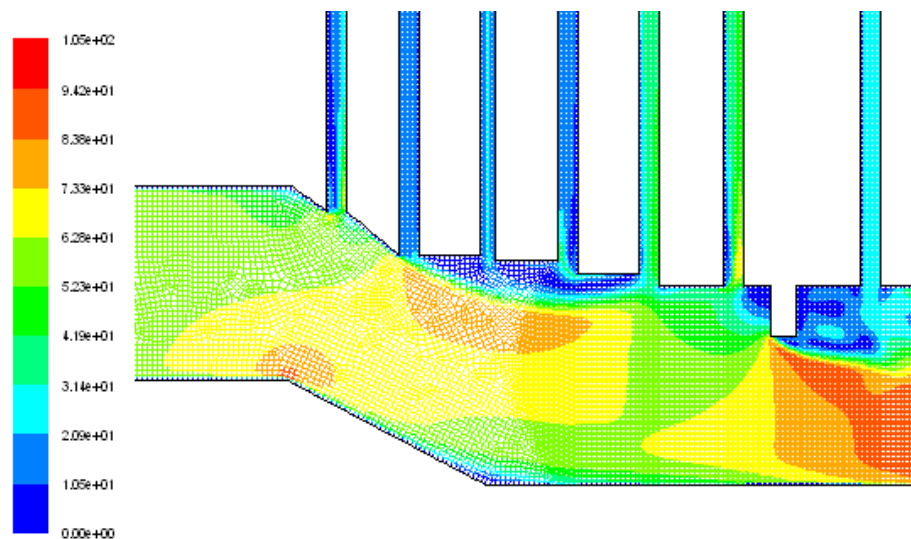
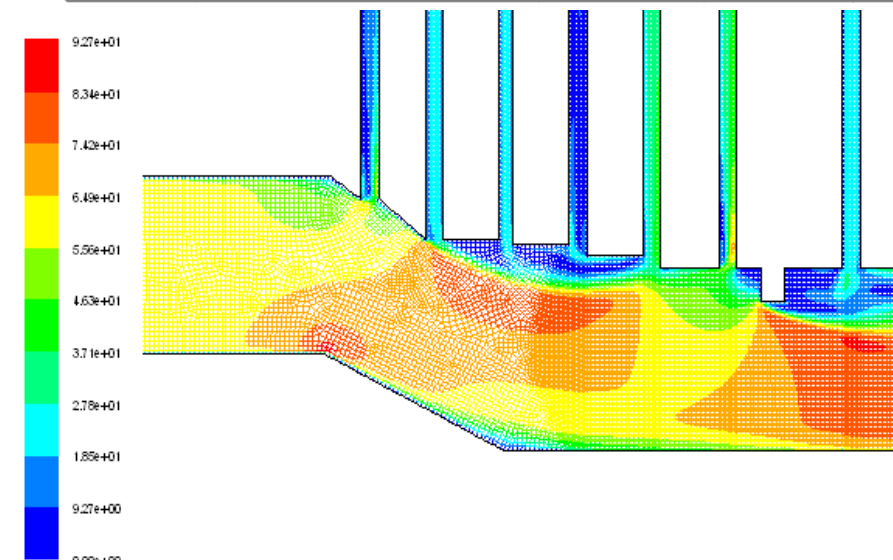
## 四、CFD应用实例

径向挡风板高度分别为0、10、15、20、25及30mm时，靠近挡风板处的速度等值线分布，依次如下。





## 四、CFD应用实例

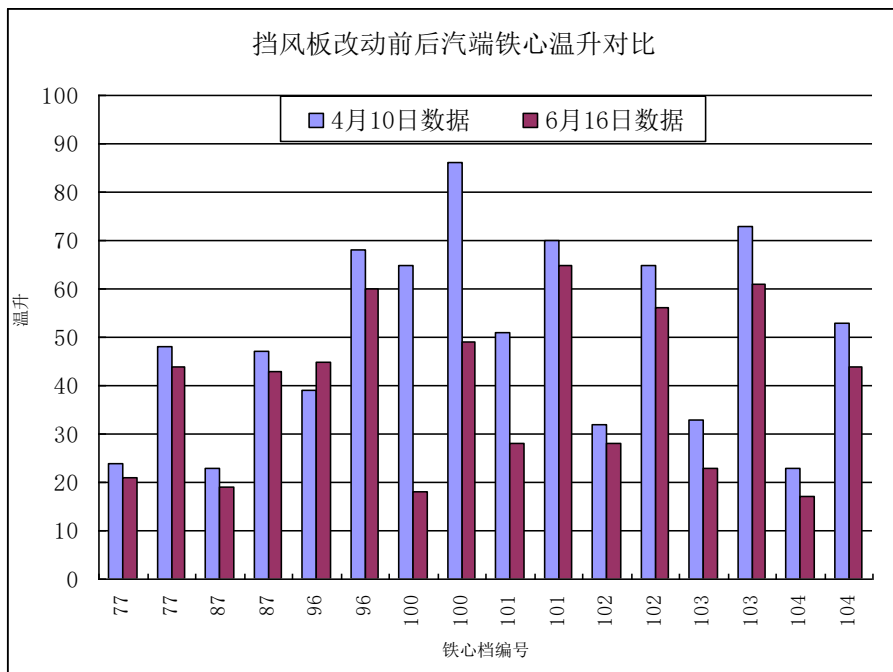


## 四、CFD应用实例

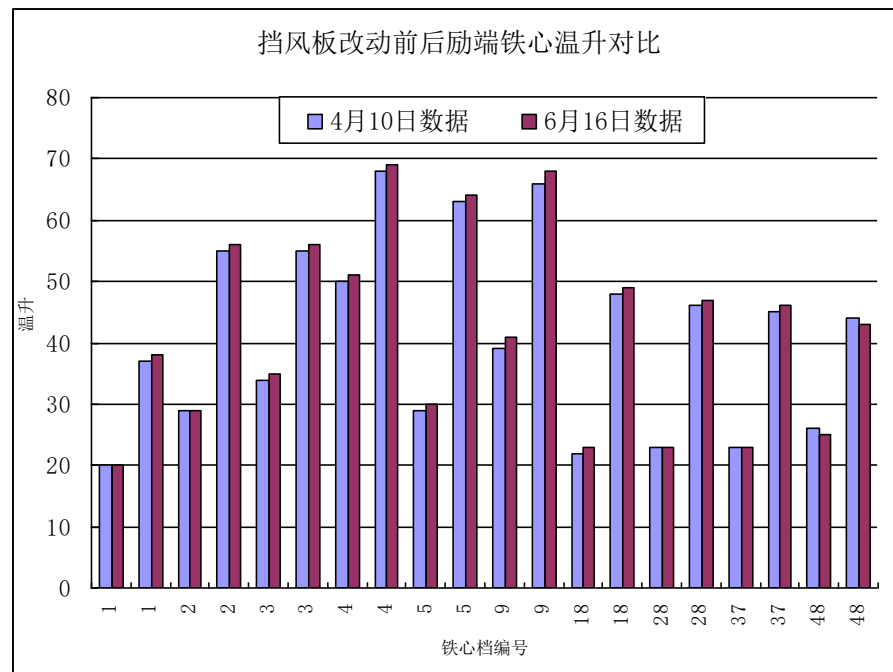
- 随着挡风板高度的增加，位于来流上游的98、97号风道，流量也随之增加，这与流体运动定性判断一致；
- 在其高度低于10mm时，100号风道流量均较小，容易形成局部过热，这与电厂实测数据是一致的：热点出现在100号风道的两侧，即100或101档铁心轭部；
- 挡风板高度不宜过大：如挡风板高度增加到30mm时，边段101、102号风道的流量会急剧下降；
- 部分风道流量为负值，是因为空气流动产生了倒流，从计算角度来考虑，这种情况是有可能发生的：由于气隙进口处压力较大，气流速度较高（约60m/s），局部会产生负压区，因而，导致空气倒流。（这一现象已经通过试验测量得到证实）

## 四、CFD应用实例

按照上述计算结论进行了改动：将汽端挡风板由原来的10mm改为20mm。将电厂的实测值绘成柱形图，改动前后汽、励两端铁心温升为：



汽端



励端

## 四、CFD应用实例

- 图中，横坐标为铁心编号，每一编号中，左、右两侧分别代表铁心齿部、轭部的温升；为了在同一基准上进行比较，纵坐标为汽、励两端相对于各自进风温度的温升。
- 调整挡风板高度收到了明显的效果：在不显著增加励端铁心温升的前提下，汽端铁心温升有所降低；
- 最关键的一点，汽端原来出现热点的第100档铁心，轭部温升由86K降为49K，齿部温升由65K降为18K，下降幅度最大，这与表2中的分析结果一致：第100档铁心两侧风道（第100、99号风道）总流量增加的幅度最大。
- 通过与电厂试验结果对比，验证了CFD分析结果的可靠性。

ANSYS®



ANSYS  
**ONVERGENCE**  
CONFERENCES

**2016** | ANSYS中国技术大会  
中国·上海

感谢聆听