



大唐淮南洛河发电厂

Datang HuaiNan LuoHe Power Plant

# 汽机专业培训 1

-----汽轮机结构

主讲人：占传新





大唐淮南洛河发电厂

Datang HuaiNan LuoHe Power Plant

# 前言

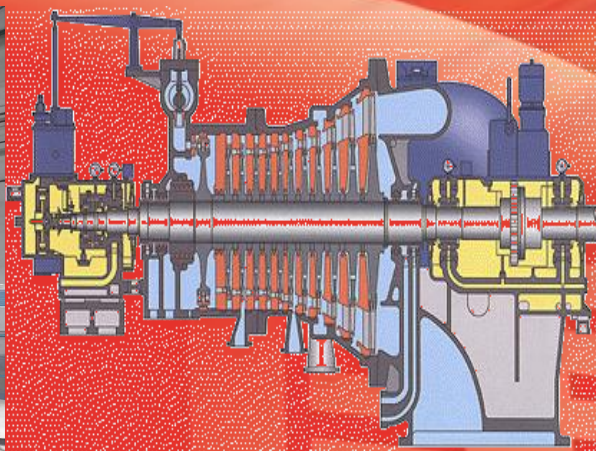
汽机专业培训准备采取辐射式培训，从中心设备开始，向周围的辅助设备和系统延伸，等到汽机侧系统都讲完后，再综合全面热力系统进行整体讲解。相当于现场调式，先分部调试，再整体调式。从汽轮机本体开始，再到润滑油系统、EH油系统等逐步展开……

下面让我们开始吧。



### 引子

说到汽轮机，有人是学热动类专业或看过这类书的，知道汽轮机主要结构是由汽缸、喷嘴、转子、叶片等组成。不是这个专业的或平时没关注过的人，会觉得汽轮机有什么好讲的，外表看上去就是一个大块头，傻的很，一通汽就直转，平时也没什么操作，有什么好讲的呢？



其实我们的汽轮机是非常有学问的设备，我们可以好好的学习一下其中的东西。汽轮机1883年瑞典人拉法尔发明出





# 大唐淮南洛河发电厂

Datang HuaiNan LuoHe Power Plant

## 汽轮机本体部分

来大概有100多年的历史（国产的是1955年制造，56年在田厂投运），发展到今天可以投入大量的自动调节、自动保护。让它变的像个傻瓜机，这是科学技术的进步，也是很多电力工人努力的结果。我也希望我们这一代的人的努力，把汽轮机免维护事业能再推进一步。所以就让我们一起先好好学习吧！



一般国产汽轮机4-5年揭一次缸，国外有许多是12年才揭缸一次，差距大吧？能耗方面差距更大。



## 一、汽缸

1、用途：将汽轮机的通流部分与大气隔开，保证蒸汽在汽轮机内完成做功。汽缸上安装一些其它静止部件，如隔板、喷嘴、汽封等。

2、汽缸的构造种类：单层园筒上、下缸，双层园筒上、下缸，园筒型整体缸等。我厂主要双层圆筒上、下结构缸。为什么单说一下这个东西？因为我厂4号机中压缸结合面不严泄漏过的，还好是中压缸……

3、汽缸的受力：

- 汽缸内外压力差，汽缸壁上承受的作用力。
- 汽缸及附件自重。
- 某些类型汽轮机转子部份放置在汽缸上，有支撑力和振动力。（国产大机组几乎没有，国外桶型缸是怎么布置的不清楚。）
- 管道、汽门与汽缸连接，对汽缸可能产生一些力的作用。
- 隔板喷嘴作用于汽缸的力。
- 温度差引起热应力



大唐淮南洛河发电厂

Datang HuaiNan LuoHe Power Plant

汽轮机本体部分

-----汽轮机结构

汽缸图







各种力的作用会使汽缸产生位移、变形、裂纹等。其中最有可能引起危害，不容易控，还必须要控的就是热应力！

### 4、热应力的控制

热应力的产生是因为物体因为温度的变化产生的热胀冷缩，而变化受到阻碍产生的力。引起温度变化的原因：机组负荷变化、机组启停、进汽方式变化、事故异常进冷水冷汽等。

#### • 运行调整操作如何防止热应力造成破坏？

- ① 变负荷的幅度不宜过大。（综合AGC、锅炉考虑）
- ② 机组启停时按升温升压曲线进行，充分暖机。
- ③ 进汽方式一般都是顺序控制，热应力较大的一种方式。所以切换时选择较高的负荷段进行“单阀多阀切换”。
- ④ 事故异常尽量避免，杜绝热态及以上进冷水冷汽。

了解一下设计或检修方面消除热应力的方法：采用双层缸，采用滑销系统。对于滑销系统感兴趣的可以找点其他资料了解下，这里不多说了。



### 5、汽缸的故障

汽缸变形：可造成汽缸水平或垂直面不严而漏汽，一般在轴端附近，引起轴封处泄漏（高压侧向外漏蒸汽，低压侧向内漏空气）。可能引起动静摩擦，振动增大。

汽缸裂纹：检查时保温部分潮湿、渗水，低缸负压部分漏空气影响真空。

故障原因：材质、安装不良。超参数运行，水冲击，动静摩擦，振动，掉叶片等。

#### • 运行中防止措施：

- ① 主再热汽温度不超温，排汽温度不超温，低缸喷水自动应正常。
- ② 尽量减少负荷、汽温等大幅变化。
- ③ DEH系统中缸胀等值要注意监视，变化值不能突变，变化不平滑时注意滑销系统。
- ④ 汽缸保温应完好。
- ⑤ 注意机组各处振动和异常声音，有异常及时分析，特别是发现有漏汽漏水现象要分析。
- ⑥ 真空严密性试验不合格时，要注意分析低压汽缸处有无漏气的可能。





## 二、隔板与喷嘴

- 1、作用：喷嘴把蒸汽的热能变为动能。隔板将汽轮机相邻级隔开，在隔板上装设喷嘴。
- 2、调节级喷嘴：喷嘴通常根据调速气门的个数成组布置，每一调速汽门控制一组喷嘴的进汽量，用它来调节汽轮机的进汽量，所以叫调节级喷嘴。
- 3、单阀多阀：所有调门都同时参与调节的叫单阀控制，因为相当于一个大调门控制，所以叫单阀。依据负荷不同，调门依次参与调节，按一定顺序参与调节，所以叫顺序阀（又叫多阀）。

特点：单阀时，温差小，热应力小，损失大，效率低。

多阀时，温差大，热应力大，损失小，效率高。

（运行方面监视操作的没有，就不多说了，自己有兴趣的再交流）



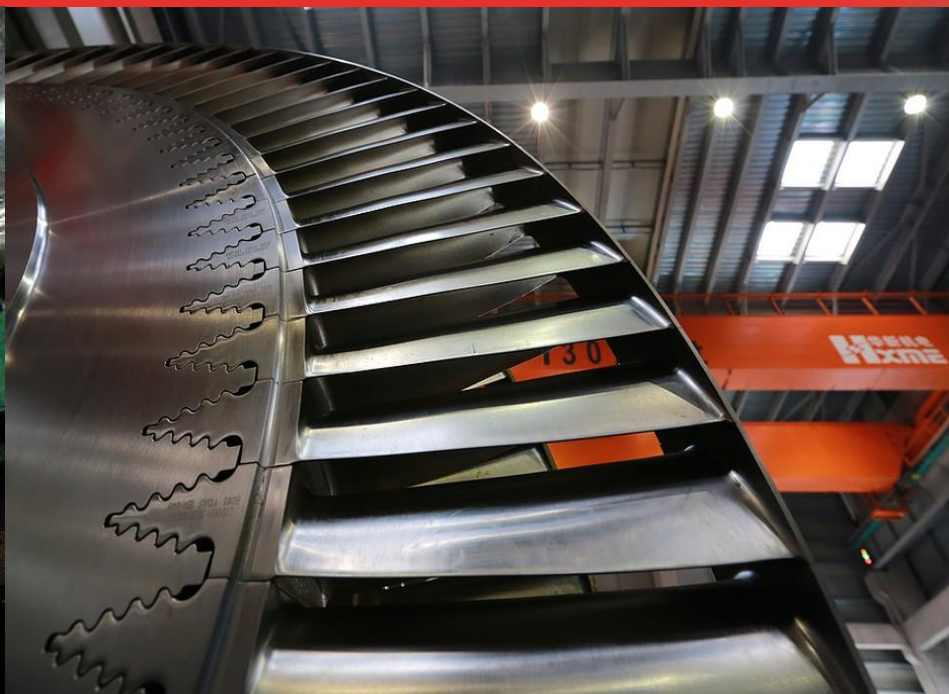
大唐淮南洛河发电厂

Datang HuaiNan LuoHe Power Plant

汽轮机本体部分

-----汽轮机结构

## 二、转子和动叶片





## 二、转子和动叶片

1、作用：转子是所有转动部分的总称，汽轮机机械能输入输出全靠它。动叶片把蒸汽的动能变为机械能。带反动度的动叶片还有把热能变机械能的作用。

2、种类：转子有刚性，有挠性，动叶片有冲动式，带反动度的、反动式的等。

3、转动部件（主要是叶片）受力分析：蒸汽对叶片的推动力，叶片转动的离心力、蒸汽膨胀的反作用力（反动式），叶片前后的压差、温度变化的热应力，转动机械的振动力等。各种力的作用会使转子产生位移、叶片断裂、裂纹等

4、设计安装方面去如何平衡这些作用力：反向对流布置、使用平衡活塞、推力轴承等

运行操作主要是注意负荷和蒸汽参数不能突变，转速调节在一定范围之内，控制调门开启顺序、使轴承润滑冷却良好等。





### 5、转子主要故障

**大轴弯曲：**一般停机后，上下缸形成温差，转子不转或转速太低，造成轴弯曲。动静摩擦大轴局部受热，引起热弯曲。汽机进冷汽、冷水、冷空气，转子受冷部位产生拉应力，出现塑性变形，造成大轴弯曲。

#### 运行防止措施：

**防止进冷水冷汽冷空气：**现场具体方法是启动前高压旁路减温水隔离门、调整门应关闭严密；所有汽轮机蒸汽管道，本体疏水门应全部开启；通向锅炉的减温水门，给水泵的中间抽头门应关闭严密，等锅炉需要后再开启；各水封注完水后应关闭注水门，防止水从轴封加热器倒至汽封。冲转前应对主蒸汽管道、再热蒸汽管道和各联箱充分暖管暖箱。应严格监视主蒸汽、再热蒸汽温度的变化，10min内主蒸汽或再热蒸汽温度下降 $50^{\circ}\text{C}$ ，应打闸停机。投高压加热器前一定要做好各项保护试验，使高压加热器保护正常投入运行，否则不得投入高压加热器。热态启动不得使用减温水。停机过程中应加强各水箱、加热器水位的监视，防止水或冷汽倒至汽缸。（思考现场除氧器水位调门装设位置）。**减小上下缸温差、防止转子热态停转：**启动机组前一定要连续盘车2小时以上，热态启动必须连续盘车4小时以上，不得间断，并测量转子弯曲值不大于原始值 $0.02\text{mm}$ 。停机后盘车不能投入应闷缸定盘。在盘车状态时应注意偏心度不大于 $0.08\text{mm}$ 。



**防止动静摩擦：**运行中监视振动、轴向位移、胀差等TSI参数不超标。启动时，运行人员应特别注意进汽温度、轴封供汽等问题的控制与掌握。在中速以下汽轮机轴承振动达到0.03mm时，必须打闸停机。热态启动，先送轴封汽后抽真空。冲转时按规程参数进行，主蒸汽温度一定要比高压内上缸温度高80~100℃，并有50℃以上的过热度等。

**汽轮机叶片断裂：**(1)避免频率偏高偏低引起某几级叶片进入共振区，（和低周波应力破坏。）(2)运行中保持蒸汽参数和各监视段压力、真空等在正常范围内，超过极限值应限负荷运行。(3)加强汽、水的化学监督。(4)运行中加强对振动的监视，防止汽机因进冷水冷汽或其他原因导致受热不均变形、动静间隙减小引起局部碰磨。(5)机组大修中应对通流部分损伤情况进行全面细致地检查，做好叶片、围带、拉筋的损伤记录，做好叶片的调频工作。

**汽轮机超速事故：**超速会给汽轮机带来严重的损坏事故。防止措施有20多条，概括点就是调速系统的设备应可靠，阀门严、不卡涩。保护保安系统设备可靠，动作正常。定期做相关的试验。出现超速现象要勇于停机，正常停机用逆功率方式停止。

**6、转子的临界转速：**汽轮机转子具有一个固定的自振频率，当激振频率相重合时，便会发生共振，此时的转速就是临界转速。所以每次冲转时在临界转速时不应停留，振动大点也不用太紧张。



### 三、通流部分在运行中注意的问题

通流部分是指汽轮机喷嘴、静叶和动叶所组成的蒸汽流通道。并不是汽轮机的一部分结构件，而是一条通道。这条通道的好坏直接影响汽轮机安全性和经济性。

1、通流部分的冲蚀和腐蚀。

2、通流部分结垢。

3、机械损伤（大部分是动静碰摩造成的）

防治方法：

- 蒸汽品质合格，压力和温度，含盐量；
- 合理调整机组负荷，以免在低负荷段长期运行（保护调节级，这还是要分析热焓降这一块太理论，负荷也归调度管。）
- 减少机组启停次数。停机以后疏水要开，主汽门要严密，最好能通热风干燥。
- 低压部分叶片增加强度（检修维护工作），再热器温度不能太低，高低加热器应正常投入等。
- 所以前面防止进冷水冷汽、防止受热不均匀等都符合。





### 五、其它结构件

轴封：放在轴封汽系统中讲。

轴承：放在润滑油系统中讲。

调门：放在EH油系统中讲。

抽汽管：放在回热系统中讲。等

### 六、结构部分小结

汽缸、喷嘴、转子、叶片构成汽轮机结构的基本模型，所以到这里也只是讲了一些基础知识。现场汽轮机的构件成千上万，没说到的不能说不重要，只能说在我们运行监视操作中不常用。如果有机会大家参加检修工作或设计工作，那么对结构方面的东西就会有更细致的认识，会发现每个零件都有它特有的重要性。一般运行人员对于设备结构了解要求不高，但是如果要想达到高技术水平，将来成为专工、总工等岗位，还是知道的好。