

# 小型抽凝式供热汽轮机叶片断裂分析

陈 昊

(江苏国信仪征热电有限责任公司, 江苏 仪征 225009)

**摘 要:** 主要介绍了江苏国信仪征热电有限责任公司#2汽轮机末3、4级叶片断裂情况, 通过对叶片断开分析和断裂原因分析, 提出了解决方案, 取得了良好的效果, 为汽轮机末级叶片长周期安全平稳运行积累了经验。

**关键词:** 汽轮机; 末级叶片; 热交变应力

## 0 引言

江苏国信仪征热电有限责任公司#2 汽轮机是由南京汽轮机厂生产, 型号为 C25-8.83/0.981- I, 工作转速为 3000r/min, 2005 年 12 月 30 日投产。该机组为高压、单缸、单抽、冲动、凝汽式汽轮机, 汽轮机转子由一级调速级和十九级压力级组成。回热抽汽系统共六级, 分别位于第 4、8、10、12、14、16 压力级叶轮之后, 其中位于第 10 级压力级后的抽汽为调整抽汽, 用于对外供热, 按压力高低依次供给: #2 高压加热器、#1 高压加热器、高压除氧器、#3 低压加热器、#2 低压加热器、#1 低压加热器。

**轴封系统:** 机组的前、后轴封采用梳齿式汽封结构, 转子上的轴封高低槽齿与轴封的长短齿相配, 形成了迷宫式汽封。前轴封共 6 组分为 5 挡漏汽, 后轴封共 3 组分为 2 挡漏汽, 前轴封第 1 挡漏汽至二级抽汽; 前轴封第 2 挡漏汽至四级抽汽; 前轴封第 3 挡漏汽至六级抽汽; 前轴封第 4 挡漏汽会同后轴封第 1 挡接入轴封汽均压箱; 前轴封第 5 挡会同后轴封第 2 挡及主汽门、调速汽门门杆第 2 挡漏汽接入轴封加热器。

汽轮机转子和发电机转子分别用两道轴承支撑, 其间用刚性联轴器连接。该机组的轴系结构见图 1。

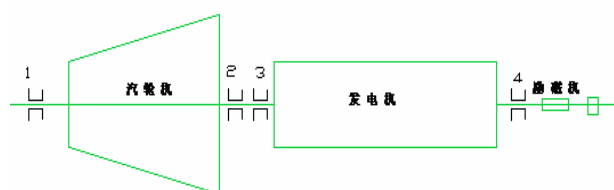


图 1 汽轮机轴系

## 1 汽轮机叶片断裂情况

2013 年 7 月 3 日、7 月 14 日、8 月 22 日#1、#2、#3 瓦振动明显异常升高(表 1), 判断为汽轮机断叶片, 对汽轮机揭缸检查发现, 第 16 压力级断叶片 2 根, 第 17 压力级断叶片 1 根。如图 2 所示。

表 1 揭缸前汽轮机振动异常上升情况

项目	7 月 3 日		7 月 14 日		8 月 22 日	
#1 轴承振动	5.18	9.63	10.83	16.2	15.46	23.14
#2 轴承振动	13.34	18.42	20.15	25.1	26.15	34.58
#3 轴承振动	8.89	13.28	14.25	18.33	18.64	28.31
#4 轴承振动	32.1	32.63	31.74	31.13	31.16	32.09



图 2 断裂叶片

## 2 汽轮机叶片断口分析

(1) 对损坏叶片进行光谱分析发现, 叶片材质为 1Cr13 不锈钢, 与汽轮机厂图纸一致。

(2) 从损坏叶片上刮取垢样进行化验, 化验结果表明: 垢物主要是由 SiO<sub>2</sub> 类的微晶体组成, 不存在 NaOH 和 NaCl 产物, 这说明汽水品质合格, 不存在腐蚀断裂的可能性。

(3) 对断裂叶片的断口进行了宏观观察。宏观断口表明: 断口具有明显的疲劳特征, 叶片出汽边

为疲劳源区（平断面），进汽边为快速断裂区（粗糙断面），中间部分为疲劳裂纹扩展区。

平断口是疲劳性质的断裂，断口可以见到与裂纹扩展方向相垂直的贝壳线。断裂源都起源于较薄的出气边，这是由于该区域强度相对较弱，且是气流出口端，气流速度较快。

粗糙断口是由于裂纹扩展后，叶片强度降低，所承受的应力增加，最后断裂造成的。

第 16 压力级叶片快速断裂区较小，约占叶片截面积的 10%。说明第 16 压力级断叶片应是长期高周低应力疲劳。

第 17 压力级断叶片快速断裂区较大，约占 30%。说明第 17 压力级断叶片也是疲劳断裂，但因叶片较长，作用力较大，快速断裂区较大。

根据以上分析，汽轮机叶片的断裂属高周低应力疲劳断裂。叶片的出气边较薄，长期在蒸汽的动应力作用下，产生疲劳微裂纹。该裂纹开始扩展的速度较慢，当裂纹长度超过一定值后，扩展速度加快，最后导致叶片断裂。

### 3 事故原因分析

通过以上现象可以得出以下结论：

- (1) 叶片材质化学成分合格。
- (2) 叶片的断裂不是由腐蚀而引起的。
- (3) 叶片的断裂是由疲劳引起的。

综合机组运行特点和参数分析疲劳产生的原因是：

（1）抽凝式供热汽轮机末级湿汽区较常规凝汽式汽轮机大，该公司循环水系统采用自然通风冷却塔方式冷却，系统真空受环境温度影响大，冬季供热高峰时，真空值可达-100kPa，已达机组极限真空值，蒸汽在末几级叶片中已达极限膨胀值，此时蒸汽流速高，末几级叶片离心拉应力成平方数增加；另一方面真空过高，导致机组湿蒸汽区增大，湿蒸汽在叶片表面形成凝结放热现象，换热系数成 15-20 倍增加，此时末几级叶片内部产生较大热应力。

（2）该公司供热负荷特点是负荷波动较大。汽轮机叶片断裂发生在第 16、17 压力级，而第 16、17 压力级之间对应六级抽汽，在汽轮机供热负荷的波动时抽汽量也随之变化，因此第 16、17 压力级因抽汽量变化引起的的热应力较大。

（3）查运行参数，发现第六段回热抽汽温度高，六抽压力由于供热抽汽已处于负压区，正常温度应为 80℃左右，实际运行最高达到 210~240℃。分析原因：汽轮机厂设计，轴封第 3 档漏汽接入六抽管道，轴封第 3 档漏汽压力、温度均高于六抽，当机组供热负荷较高时，机组前轴封第 3 档高温漏汽部分回流至汽缸内部；当机组供热负荷下降时，机组前轴封第 3 档高温漏汽正常回到#1 低压加热器，导致处于六抽抽汽口的第 16 压力级和第 17 压力级叶片承受的热交变应力进一步加大。

### 4 防治措施

根据上述的事故原因分析，供热负荷波动大是客观因素，主要是由于设计的不合理，导致轴封第 3 档漏汽回流进入汽缸导致汽轮机末几级叶片承受较大的热交变应力。为此，2013 年 10 月 31 日该公司在#2 汽轮机机停运期间，在机组前轴封第 3 档漏汽管道加装一只 J41Y-16/DN100 阀门，通过调整阀门开度达到控制机组前轴封第 3 档漏汽进入第六段回热抽汽管内的流量，从而达到控制第六段回热抽汽温度接近设计温度范围的目的。

通过调整机组前轴封第 3 档漏汽管道调整门开度，机组第六段回热抽汽温度明显下降（详见表 2），机组运行一年半以来正常，控制效果明显。

表 2 加装机组前轴封第 3 档漏汽管道调整门前后参数对比

工况	机组供热负荷/(t/h)	六抽温度/℃	六抽压力/MPa
1	25.5	210	-0.033
2	40	247	-0.056
3	26	80	-0.037
4	40	115	-0.048

### 5 结论

小型抽凝式供热机组由于抽汽供热，末级湿汽区较常规凝汽式汽轮机大；同时因为供热负荷波动较大，末几级叶片承受了较大的热交变应力；再加上轴封漏汽不正常的回流入汽缸导致热交变应力更大，在此情况下长期运行导致了叶片断裂。江苏国信仪征热电有限责任公司根据此情况，针对性的在机组前轴封第 3 档漏汽管道加装一只调整门，通过调整该门的开度控制轴封漏汽不正常的回流对汽轮机叶片的交变应力的影响，取得了较好的效果。

为了在今后汽轮机的正常运行中避免该事故的发生，建议采取以下措施：

(1) 控制好蒸汽的饱和度，减少由于膨胀做功后产生过多的细小水颗粒对叶片进行冲击。

(2) 定期对汽轮机进行开缸检查，特别要加强对叶片的检查。对叶片进行探伤和测频，以便及早发现问题。

**参考文献：**

- [1] 虞挺. 汽轮机叶片断裂分析[J]. 理化检验-物理分册, 2007,43(05):250-252,256.