

600MW 火电机组低压缸次末级叶片装配工艺改进

刘海昌

(浙江大唐乌沙山发电有限责任公司, 宁波 315722)

摘要: 由于低压缸次末级叶片曾发生围带断裂事故, 经认真研究分析, 认为断裂原因主要是设计、制造及装配存在问题造成。是围带装配过紧所致, 采用现场拆下叶片, 对叶片进行清理, 对围带出汽边叶顶处的 R4 倒角进行打磨, 圆滑过渡, 对叶片进行重新松装来保证机组的安全运行。

关键词: 次末级; 叶片; 工艺改进;

• 引言:

某电厂安装有哈尔滨汽轮机厂生产的超临界600MW汽轮发电机组四台。型号为: CLN600-24.2/566/566, 超临界、一次中间再热、三缸、四排汽、凝汽式汽轮机组。低压缸叶片共7级, 全部为自带围带叶片。其中第1~5级动叶片为型钢铣制而成, 第6级为模锻毛坯抛磨而成。所采用的技术依然是反动式结构的匹配方式。其中前4级叶根采用已成熟的加强型枞树形叶根, 5、6级的结构为哈汽厂亚临界600MW汽轮机的传统结构。机组自2006年相继投产后, 设备运行稳定, 机组的热耗也列同类机组的前列, 为电力缺口做出了应有的贡献。

电厂#3机组在2010年09月15日18时以前, 机组运行正常, 振动稳定。#4瓦~#7瓦轴振于18: 28分发生突变。因此, 对#3机组振动突变前后的振动数据进行了整理。#3机组振动突变化前后的振动数据见表1。

时间	方向	振动值(单位: μm)				负荷或转速	日期
		#4	#5	#6	#7		
18:28	X	62	56	50	75	373MW	2010/009/15
	Y	57	56	33	65		
18:31	X	83	109	54	72	373MW	2010/009/15
	Y	58	94	36	68		
变化量	X	16∠183	75∠119	47∠347	8∠60	上述两次数据工频的变化量	
	Y	15∠230	45∠280	40∠126	27∠152		
20:23	X	57	62	57	82	3000r/min	2010/08/06
	Y	55	67	33	79		
22:00	X	82	108	55	77	3000 r/min (解列前)	2010/09/15
	Y	58	95	38	70		
变化量	X	28∠180	50∠146	39∠16	14∠44	上述两次数据的工频变化量	
	Y	18∠242	27∠273	34∠158	19∠113		

表1 #3汽轮发电机组振动异常数据表

通过对振动进行分析, 发现#3机组的振动变化特征如下:

(1) #3机组在振动突变前后的振动变化量和机组振动突变前后的3000r/min的振动变化量基本相同；而且振动突变是在瞬间发生，变化前后的振动值的主频为一倍频。这表明#3机组振动突变的与机组负荷变动有关，且转子上叶片断裂或活动部件脱落的可能性较大。

(2) #3机组的#4瓦、#5瓦、#6瓦、#7瓦的振动变化量见表1，#5瓦、#6瓦振动变化最大，其次是#4瓦、#7瓦；#5瓦X、Y向的振动变化量为 $75\angle 119$ 、 $45\angle 280$ ；#6瓦X、Y向的振动变化量为 $47\angle 347$ 、 $40\angle 126$ 。表明振动的突变与LPII转子上叶片断裂或活动部件脱落有关。

(3) #5瓦、#6瓦的X向振动、Y向振动的变化量均为反相。只有#5瓦的在过临界时振动有所增大外，增大量约为 $20\mu\text{m}$ ；其余各瓦过临界时的振动基本不变。这表明，引起振动变化的脱落部件不可能是在转子中部，而在低压转子LPII的两端。

因此，根据以上现象，#3机组振动突变的原因可能为：LPII 转子靠近#5 瓦（即调端）有可能有叶片脱落，根据哈汽厂汽轮发电机组说明书，机组低压转子次末级叶片脱落的可能性较大。

解体后发现 LPII 转子正向次末级第 55 片叶片靠近叶顶处断裂（如图一）。经认真研究分析，认为断裂原因主要是设计、制造及装配存在问题造成，为避免此类事故再次发生，对低压缸次末级叶片进行重新装配。



图一 叶片断裂处及断裂的叶片

● 1、叶片断裂原因分析：

1.1、设计上进行分析，经复查低压缸次末级叶片的强度、振动均满足设计准则，即叶片设计本身没有问题；

1.2、从叶片的材料上进行了仔细分析，金相组织、化学成分均符合要求，力学性能除延伸率略低外其他均符合要求。10 年 03 月份 #4 机反向第 21 片叶片断裂后分析叶片的延伸率略低，也是导致叶片断裂的原因之一；

1.3、经核对叶片加工各部分加工尺寸均按图纸要求进行加工；

1.4、叶片出汽侧顶部与围带过渡处存在 R4mm 的圆弧过渡，而起裂部位基本处于 R4mm 圆弧过渡的中间处，该部位结构上应力相对集中。高速旋转中产生较大的离心力作用在叶片上，特别是圆弧过渡处又会产生较大的应力。在应力较大部位位错等缺陷易聚集形成微裂纹，而叶片服役状态存在振动，最终导致叶片疲劳断裂；

1.5、宏观和断口扫描电镜分析认为，起裂部位在叶片的横截面的出汽侧的中间部位，且断口有明显的疲劳扩展现象。分析认为裂纹起源于表面的机械损伤，经疲劳扩展后最终导致断裂；

1.6、叶片装配时围带间隙太小，造成叶片与围带的预应力过大，造成疲劳断裂。

- 2、治理措施:

- 2.1、叶片设计及机加工上改进:

- 2.1.1、采用已成熟的加强型枞树形叶根;

- 2.1.2、严格控制叶片的加工质量,避免机械伤痕,加工过程中避免硬物损伤叶片,特别注意叶片的横截面的出汽侧的中间部位,往往叶片断裂初始位置均在此处;

- 2.1.3、理化性能,机械性能要符合要求;

- 2.2、装配工艺上改进:

- 2.2.1、为了控制装配质量,现在采用二次装配方法,即先进行试装配,然后车围带,围带车完后,将所有叶片拆下,修配围带间隙后重新装配,使得围带及中间体各部分装配间隙均应满足图纸要求。

- 2.2.2、对运行机组利用机组停机揭缸机会现场拆下叶片,对叶片进行清理,对围带出汽边叶顶处的R4倒角进行打磨,圆滑过渡,对叶片进行重新装配来保证机组的安全运行。

对新建机组,在设备未出厂时要进行监造,也要按上述办法严格控制叶片的加工、制造及装配质量。

- 3、主要技术方案

由于低压缸次末级叶片曾发生围带断裂事故,经专家认真研究分析,认为断裂原因是围带装配过紧所致,为避免此类事故再次发生,对低压缸次末级叶片的装配技术要求进行了严格仔细的规定(如图二),内容如下:

- 3.1、叶片装配完成后,顶部12点位置叶片向两边闪缝不超过1mm。

- 3.2、末叶片要求在12点位置装配。

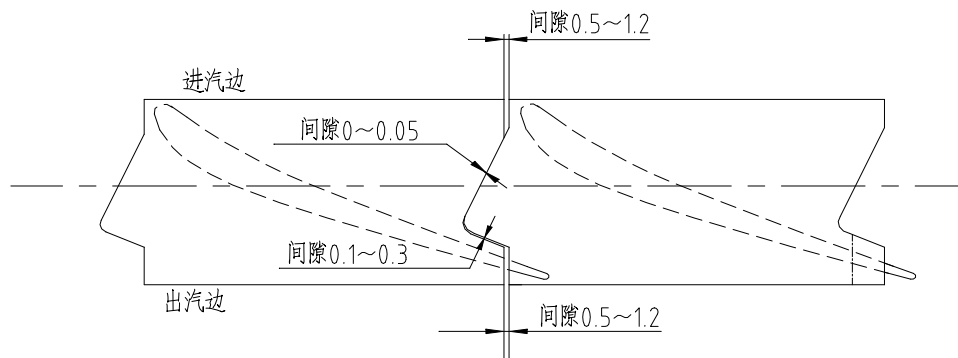
- 3.3、装配末叶片时,不允许用楔铁强力涨紧,允许修磨末叶片围带,围带可以存在缺口。

- 3.4、叶片装配完成后,围带内弧错牙超过0.5mm必须修磨。

- 3.5、围带非工作斜面间隙要求0.1~0.3mm。

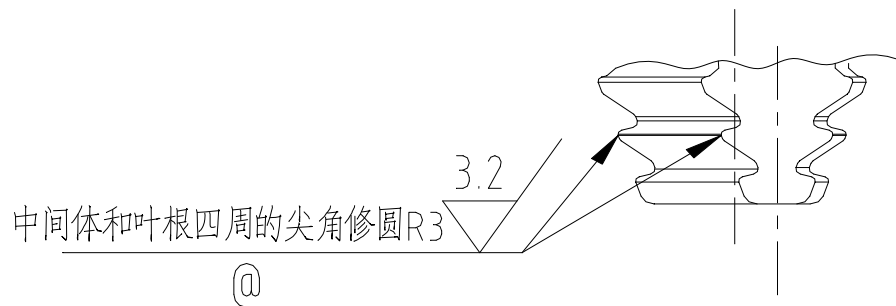
- 3.6、围带非工作平面间隙要求0.5~1.2mm。

- 3.7、围带工作面间隙要求0~0.05mm。



图二 装配间隙要求

- 3.8、对叶根边缘进行倒圆R3,防止出现蒸汽腐蚀裂纹或初始裂纹,如图三。



图三 叶根倒圆 R3

• 4、总结

装配过程中严格控制装配质量，利用机组检修揭缸机会将所有叶片拆下，修配围带间隙后重新装配，使得围带及中间体各部分装配间隙均满足图纸要求，另外对叶片进行清理，对围带出汽边叶顶处的 R4 倒角进行打磨，圆滑过渡，对叶根边缘进行倒圆 R3，防止出现蒸汽腐蚀裂纹或初始裂纹。经处理后再没有发生叶片顶部断裂事故。提高了机组经济性、安全稳定性。

参考文献:

- [1] 靳智平. 电厂汽轮机原理及系统[M]. 中国电力出版社 2006
- [2] 郭延秋. 大型火电机组检修实用技术丛书[M]. 中国电力出版社 2003, 114-119.

作者简介:

刘海昌、浙江大唐乌沙山发电有限责任公司设备部、浙江省宁波市象山县西周镇大唐电厂(315722)、18958399201@163.com、0574-65855198、18958399201、汽机高级点检员、工程师