

660MW 超超临界汽轮机低压缸汽封间隙调整的实施

杨春霞，刘龙海

（大唐南京发电厂，江苏 南京 210059）

摘 要：介绍了 660MW 超超临界汽轮机低压缸揭缸提效的过程。着重对低压缸的各级隔板汽封和动叶汽封间隙比较分析，并制定相应的改造方案，在机组大修中实施，达到节能降耗的目的，提高机组效率，降低热耗率。

关键词：汽封；分析；调整；节能

0 引言

N660-25/600/600 型超超临界凝汽式汽轮机为单轴四缸四排汽，自 2010 年投产运行以来，机组运行性能指标不断下降，与国内同类型最好机组运行水平相比还存在差距，通过热力性能试验比较供电煤耗和汽缸效率明显下降，根据该机型的特点高中压缸允许 12 年大修，利用机组大修，重点对 2 台低压缸揭缸进行通流间隙测量，比较，发现 A、B 低压缸隔板汽封间隙左侧高于设计值 50 丝左右，右侧高于设计值 20 丝左右，最后将低压缸#1-5 级动叶叶顶汽封，#6、7 级隔板汽封进行返厂加工更换，间隙调整量按照设计值下限 $1.25 \pm 0.05 \text{mm}$ 。达到提高机组效率，降低热耗率的目的。

1 机组运行概况

N660-25/600/600 型超超临界凝汽式汽轮机为上海汽轮机有限公司生产，本机组的总体型式为单轴四缸四排汽，本体所采用的积木块是西门子公司近期开发的 HMN 型积木块组合：一个单流圆筒型 H30 高压缸，一个双流 M30 中压缸，两个 N30 双流低压缸。其中两个低压缸外缸和低压内缸一样都是从水平中分面分开，低压内缸为简化结构，采用了静叶持环和隔板的结构；内缸中的静叶持环和各种连接环经过对中定位，在内缸中自由热胀。安装在内缸或静叶持环以及转子上的反动式叶片级均带有约 50% 反动度。低压叶片包含七个反动级。低压隔板和动叶都设计有渐扩和扭转的型线来获得叶片不同区域合适的圆周

速度。低压前五级隔板设计为 L 型叶根和整体围带。后两级隔板是通过将内环，静叶片和外环焊接到一起，在装入内缸下半中，装配完毕后内环形成一个完整的围带。

机组运行 2 年以来，我们进行同类型机组的实际运行性能比较，发现供电煤耗与同类型最好机组运行水平相比还存在差距，通过热力性能试验，反应出当前机组性能较差，其中汽轮机热耗率比设计值高 212.17kJ/kWh （设计值为 7319kJ/kWh ），高压缸效率比设计值低 3.91%（设计值为 92.41%），中压缸效率比设计值低 0.98%（设计值为 93.68%），汽轮机热耗率是衡量机组性能的关键指标之一，汽轮机通流间隙调整是控制汽轮机热耗值达到设计值的主要手段。

2 方案论证及实施

根据机组性能试验的结果，经过调研上海汽轮机厂，充分了解机组设计思路，厂家认为由西门子公司开发的 HMN 型积木块机型设计时已考虑端部汽封和通流间隙在下限，各项指标优于其他公司开发的机型，保证高压缸，中压缸 12 年大修周期。整体汽轮机进行通流部分改造，提高高中压缸效率不现实，除其他主、辅机设备及热力系统实际性能外，综合分析低压缸通流部分改造后机组实际运行的经济性能得到一定提高，余量不一定很多。

在这种条件下，我们通过比较机组低压缸各级汽封径向间隙安装记录和制造厂设计数据后，分析低压缸汽封径向间隙可调整的余量均有 0.2mm 左右，计划在 #1 机组大修中，对低压缸

通流部分的汽封径向间隙进行检查和调整,根据低压缸安装的汽封径向间隙,在考虑机组运行的安全性上,要求制造厂按照低压缸通流部分的汽封间隙的设计值的下限 $1.25\pm0.05\text{mm}$ 调整汽封间隙,提高低压缸的效率,达到降低机组热耗的目的。

经过与制造厂讨论研究,低压缸汽封间隙的采取部分调整方案是可行性,最终必须以大修时低压缸揭缸后通流间隙测量数据来比较,再确定汽封间隙调整量。

2013 年 5 月 11 日机组停机, 23 日低压缸揭缸,测量通流间隙,本次低压缸汽封通流间隙调整要以制造厂机组规定的设计值下限为标准,为确保本次检修能达到节能增效的效果,要求对数据测量要精确,对调整工艺要仔细、准确到位。

由于结构、制造、热应力等原因,机组运行后汽缸存在一定的变形,机组大修时要进行变形量的测量和变形量分析,在检修时根据变形量进行间隙的缩小和修正。测量全实缸状态相对于半实缸的注窝变化量,是真实调整汽封间隙的关键环节,真实的掌握变形量,才能优化调整汽封间

隙。

改造前: A/B 低压缸揭缸后汽封间隙数据测量见表 1,表 2,表 3,表 4。

测量的数据与设计值比较后,发现 A、B 低压缸隔板汽封间隙左侧高于设计值 50 丝左右,右侧高于设计值 20 丝左右,确定汽封返厂加工的级和数据: 低压缸#1-5 级动叶叶顶汽封, #6、7 级隔板汽封进行更换, 间隙调整量按照设计值下限 $1.25\pm0.05\text{mm}$ 。

注窝变形量测量主要是为了调整并优化汽封间隙调整服务的。由于注窝变形直接影响汽轮机动静间隙的测量与调整,所以本次检修真实准确地进行变形量的测量,分析变形量对轴封、汽封注窝中心和动静间隙的影响,检修调整时进行修缸,使动静间隙与设计值相符。最后必须压胶布核对全实缸测量数据为准。

改造后: 低压缸隔板和动叶汽封加工后现场测量数据见表 5,表 6,表 7,表 8。

从以上数据可以看出,汽封间隙调整量达到要求的设计值下限 $1.25\pm0.05\text{mm}$ 的标准。

表 1 A 低压缸电机端 1-7 级汽封间隙记录

级数		1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.55	1.30	1.60	1.30	1.65	1.30	1.70	1.30	1.80	1.45	3.60	2.75	
	隔板	f	/	/	1.80	1.30	1.80	1.15	1.80	1.20	1.80	1.20	1.50	1.10	1.35
	测量位置	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
	mm	动叶	f	1.38	1.95	1.47	1.85	1.46	1.95	1.47	1.95	1.61	1.80	3.75	
	隔板	f	/	/	1.40	1.90	1.54	1.90	1.44	1.80	1.30	1.95	1.52	1.95	1.55

表 2 A 低压缸调阀端 1-7 级汽封间隙记录

级数		1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.80	1.60	1.80	1.50	1.75	1.45	1.80	1.50	1.85	1.50	4.10	2.55	
	隔板	f	/	/	1.75	1.30	1.80	1.30	1.80	1.35	1.90	1.50	1.55	1.00	1.20
	测量位置	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
	mm	动叶	f	1.26	1.95	1.44	1.90	1.40	1.70	1.52	1.90	1.82	1.90	3.21	3.90
	隔板	f	/	/	1.61	1.95	1.66	1.80	1.69	1.80	1.68	1.90	1.41	1.93	1.48

表 3 B 低压缸电机端 1-7 级汽封间隙记录

级数		1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.65	1.40	1.70	1.40	1.57	1.35	1.67	1.35	1.87	1.60	3.60	3.20	
	隔板	f	/	/	1.65	1.40	1.70	1.40	1.65	1.45	1.80	1.45	1.58	1.25	1.40
	测量位置	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
	mm	动叶	f	1.71	1.29	1.44	1.47	1.50	1.40	1.70	1.35	1.85	1.61	3.22	3.61
	隔板	f			1.46	1.54	1.71	1.45	1.61	1.20	1.60	1.45	1.52	1.73	1.64

表 4 B 低压缸调阀端 1-7 级汽封间隙记录

级数			1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.43	1.50	1.45	1.40	1.35	1.45	1.38	1.55	1.56	1.75	3.95	4.20		
	隔板	f	/	/	1.52	1.45	1.50	1.45	1.50	1.45	1.52	1.50	1.37	1.25	1.20	1.20
	测量位置		上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
	动叶	f	1.65	1.34	1.68	1.31	1.68	1.47	1.74	1.55	1.90	1.58	3.80			
	隔板	f	/	/	1.67	1.55	1.69	1.59	1.52	1.52	1.71	1.53	1.77	1.52	1.61	1.23

表 5 A 低压缸电机端 1-7 级汽封间隙记录

级数			1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.38	1.29	1.55	1.20	1.60	1.24	1.59	1.20	1.62	1.28	4.11	3.83	/	
	隔板	f	/	/	1.67	1.30	1.73	1.29	1.75	1.20	1.80	1.25	1.46	1.13	1.03	0.70
	变形量		左侧：-0.28，右侧：0										左侧：0.04，右侧：0.37			
	动叶	f	1.10	1.29	1.27	1.20	1.32	1.24	1.31	1.20	1.34	1.28	4.15	4.20	/	/
	隔板	f	/	/	1.39	1.30	1.45	1.29	1.47	1.20	1.52	1.25	1.50	1.50	1.07	1.07

表 6 A 低压缸调阀端 1-7 级汽封间隙记录

级数			1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.48	1.50	1.45	1.50	1.38	1.48	1.41	1.53	1.40	1.60	2.65	3.10	/	
	隔板	f	/	/	1.70	1.37	1.65	1.38	1.77	1.44	1.80	1.53	1.40	1.28	0.98	0.86
	变形量		左侧：-0.29，右侧：-0.20										左侧：0.07，右侧：0.27			
	动叶	f	1.19	1.30	1.16	1.30	1.09	1.28	1.12	1.33	1.11	1.40	2.72	3.37	/	/
	隔板	f	/	/	1.41	1.17	1.36	1.18	1.48	1.24	1.51	1.33	1.47	1.55	1.05	1.13

表 7 B 低压缸电机端 1-7 级汽封间隙记录

级数			1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.52	1.16	1.50	1.24	1.48	1.22	1.63	1.35	1.63	1.28	3.40	3.49	/	
	隔板	f	/	/	1.62	1.47	1.68	1.34	1.68	1.46	1.90	1.52	1.35	1.32	0.73	0.85
	变形量		左侧：-0.24，右侧：0.10										左侧：0.04，右侧：0.20			
	动叶	f	1.28	1.26	1.26	1.34	1.24	1.32	1.39	1.45	1.39	1.38	3.44	3.69	/	/
	隔板	f	/	/	1.38	1.57	1.44	1.44	1.44	1.56	1.66	1.62	1.39	1.52	0.77	1.05

表 8 B 低压缸调阀端 1-7 级汽封间隙记录

级数			1		2		3		4		5		6		7	
测量值	测量位置		左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
	动叶	f	1.30	1.32	1.32	1.39	1.35	1.40	1.30	1.29	1.28	1.35	4.32	3.97	/	
	隔板	f	/	/	1.60	1.46	1.55	1.45	1.56	1.40	1.65	1.54	1.33	1.09	0.92	0.70
	变形量		左侧：-0.11，右侧：0.04										左侧：0.02，右侧：0.17			
	动叶	f	1.19	1.36	1.21	1.43	1.24	1.44	1.19	1.33	1.17	1.39	4.34	4.14	/	/
	隔板	f	/	/	1.49	1.50	1.44	1.49	1.45	1.44	1.54	1.58	1.35	1.26	0.94	0.87

3 低压缸汽封间隙调整的效果

机组大修于2013年6月25日圆满结束，机组正常运行1个月后，经过西安热工研究院进行热力性能试验，在660MW负荷工况下，A、B低压缸径向汽封改造后降低机组热耗率约

30kJ/(kW·h)，降低供电煤耗 1g/(kW·h)。年节约标煤4000 t，按标煤单价650元/吨，全年节约260万元。本项目改造成本为230万，1年就可以收回成本。

4 结束语

汽封是汽轮机关键零部件之一，其性能的优劣，不仅影响机组的经济性，而且影响机组可靠性，已越来越受到人们的关注。从保证机组经济性而言，要求汽封的漏汽量越少越好，也即汽封间隙越小越好；从保证机组运行安全而言，要求汽封在各种状态下，不和转子发生摩擦导致转子产生弯曲造成振动。因此，在汽封间隙调整选择时，应对安全性和经济性要求综合加以考虑，以满

足机组启动(冷、温及热态)、运行及停机(紧急、正常)等各种工况的要求。

通过该厂的率先进行上海汽轮机有限公司生产超超临界机组 660MW 低压缸汽封间隙的调整，效果明显，值得在国内同类型机组推广（包括 1000MW 西门子机型），还未进行电厂，低压缸汽封改造势在必行，改造后提高机组效率，降低热耗率，安全上得到保证。