

某电厂#6 汽轮机汽封优化改造实例研究

俞鸣永，李晋锋，刘慧贤，顾晓东

(太仓港协鑫发电有限公司，江苏 太仓 215433)

摘 要：某电厂#6 汽轮机投运十多年来在经济性能方面存在不少问题，所存在的问题也是引进型汽轮机和引进优化型汽轮机所存在的共性问题。机组在投产后汽轮机各监视段抽汽参数相对较高，高、中压缸效率相对较低，经济性差，各项指标一定幅度的偏离机组设计值。机组投产运行多年来，机组的效率越来越低，煤耗越来越高。结合本次通流改造的方法，通过对比#6 汽轮机改造前、后的性能数据，发现合理使用汽封模式有利于改善和提高机组的性能。

关键词：300MW；密集梳齿汽封；蜂窝汽封；热耗

0 引言

某电厂#6 号机组汽轮机为上海汽轮机有限公司生产的N320-16.7/538/538 型亚临界、一次中间再热、双缸双排汽、单轴、反动式、凝汽式汽轮机。该型汽轮机的通流部分分高、中、低压三部分，共有 35 级，其中高压缸包括 1 个调节级和 11 个压力级，中压缸有 9 个压力级，低压缸采用分流对置，共 2×7 个压力级，末级叶片高 905mm。该机组回热系统由 3 台高压加热器、1 台除氧器、4 台低压加热器、2 台凝结水泵、2 台汽动给水泵和 1 台电动给水泵（备用）等组成。与汽轮机相配套的发电机为上海汽轮发电机有限公司制造的QFSN-320-2 型发电机^[1]。

随着社会经济的发展，电力能耗问题受到了越来越广泛的关注。火力发电企业对汽轮机的要求也越来越高^[2]。为了提高汽轮机效率，在现有的蒸汽参数基础上，各电力企业致力于减小汽轮机内的级内损失。在火电厂A修中，企业更多得是采用对汽轮机各级汽封改造的方式，来降低级间损失，最终达到提高汽轮机的效率目的。某电厂 6 号机组在 2009 年度A级检修中进行了汽轮机喷嘴更换及通流部分的汽封进改造，改造分别由西安热工院及江苏方天公司进行修后性能试验。2009 年改造后 6 号机组 300MW负荷时热耗与设计差距 160 kJ/kWh以上，且高、中压缸效还与设计值存在较大的偏差，随着机组运行时间增加，机组性能劣化情况也日趋明显，2012 年度 6 号机组年度报表统计显示发电煤耗为：

303.4 g/(kW·h)，折合热耗为 8180 kJ/kWh以上，与设计值差距超过 275 kJ/kWh以上。2014 年我公司发电部统计加上机组老化所减少的热耗，6 号机热耗是 8368 kJ/kWh左右，与设计值相比有较大的差距。

1 改造前存在的问题

- 1.1 机组热耗高
- 主参数对热耗的修正(2014 年#6 机组修前性能试验报告)。修正数据见表 1。
- 1.2 煤耗高
- #6 机组煤耗数据见表 2。
- 1.3 各段抽汽温度高
- 各段抽汽温度较设计值偏高较多，一抽至四抽超温 15℃左右，低压缸上的抽汽温度较设计值 40℃左右。各级抽汽温度(2014 年#6 机组修前性能试验报告)见表 3。

表 1 #6 机组主参数对热耗的修正				
名称	单位	设计值	300MW-5V	320MW-6V
主汽压力	MPa	16.67	16.18	16.21
主汽压力修正量	—	—	1.0021	1.0020
主汽温度	℃	538.00	535.61	538.80
主汽温度修正量	—	—	1.0004	0.9998
再热温度	℃	538.00	535.49	534.85
再热温度修正量	—	—	1.0007	1.0008
低压缸排汽压力	kPa	4.90	5.60	5.99
排汽压力修正量	—	—	1.0080	1.0092
总修正系数	—	—	1.0115	1.0118
试验热耗	kJ/(kW·h)	7900.70	8294.73	8355.48
修正后热耗率	kJ/(kW·h)	—	8200.64	8258.39

表2 #6机组煤耗数据

参数名称	单位	300MW-5V	320MW-6V
厂用电率	%	4.65	4.60
锅炉效率(试验值)	%	93.20	—
锅炉效率(修正值)	%	93.43	—
管道效率	%	98.50	—
标准煤低位发热量	kJ/kg	29271	29271
试验热耗	kJ/(kW·h)	8294.73	8355.48
修正后热耗	kJ/(kW·h)	8200.64	8258.39
发电煤耗	g/(kW·h)	308.68	—
供电煤耗	g/(kW·h)	323.72	—
修正后发电煤耗	g/(kW·h)	304.43	—
修正后供电煤耗	g/(kW·h)	319.26	—

表3 #6机组抽汽温度对比

名称	单位	设计值	300MW-5V	320MW-6V
主蒸汽温度	℃	538.00	535.61	538.80
#1高加进汽温度(一抽)	℃	387.60	400.16	411.24
#2高加进汽温度(二抽)	℃	320.20	333.11	340.48
再热蒸汽温度	℃	538.00	535.49	534.85
#3高加进汽温度(三抽)	℃	431.90	445.45	446.83
中压缸排汽温度(四抽)	℃	326.08	341.81	341.72
#5低加进汽温度(五抽)	℃	228.40	267.27	268.75
#6低加进汽温度(六抽)	℃	139.30	182.32	183.61

2 改造方案

2.1 高中压缸部分

(1) 高压缸调节级喷嘴阻汽片更换(如图1所示), 共计6道, 由于运行时间的延长, 阻汽片磨损, 更换后恢复间隙值要求。

(2) 高中压缸轴端汽封改造为密集低齿梳齿汽封(如图2所示), 共计8圈。通过加密齿措施(两低齿间距离不得大于3mm), 保证密封效果。

(3) 高中平衡活塞汽封改造为密集低齿刷式汽封(如图3所示), 共计10圈。通过加密齿措施(两低齿间距离不得大于3mm)及刷子, 保证密封效果。

(4) 高压叶顶更换阻汽片(如图4所示), 每道阻汽片槽道由原来的一道阻汽片增加为两道阻汽片, 共计44道。增加一道阻汽片可提高密封效果。

(5) 高压隔板更换阻汽片, 共计33道。恢复间隙值。

(6) 中压叶顶汽封改造为密集低齿刷式汽封(如图5所示), 共计9圈。通过加密齿措施(两低齿间距离不得大于3mm)及刷子, 保证密封效果。

(7) 中压隔板汽封改造为密集低齿刷式汽封, 共计8圈。通过加密齿措施(两低齿间距离不得大于3mm)及刷子, 保证密封效果。



图1 高压缸调节级喷嘴阻汽片



图2 密集低齿梳齿汽封



图3 密集低齿刷式汽封



图4 高压叶顶阻汽片



图5 密集低齿刷式汽封

2.2 低压缸部分

(1) 低压隔板、叶顶改造为刷式汽封(增加一道梳齿)(如图 6 所示),两侧共计 22 圈。原汽封属于单肩双齿的形式,为了增加节流膨胀起到更好的阻汽效果对原汽封加宽一道齿。



图 6 刷式汽封(增加一道梳齿)

(2) 低压缸轴端改造为高-高齿蜂窝汽封(其中每侧从外向内数 1、3、4 三圈为接触式)(如图 7 所示),两侧共计 8 圈。改成接触式汽封后可大大提高机组真空性能。



图 7 高-高齿蜂窝汽封

(3) 低压缸正反第一个持环处镶嵌不锈钢挡汽片。可减少漏汽,降低抽汽温度。首先,需将持环背部车削开槽,镶嵌 1Cr13 挡汽片(挡汽片厚度 0.75mm,高度大于 10mm)。图 8 为持环背部车削开槽。



图 8 持环背部车削开槽

(4) 低压一号内缸结合面密封键更换密封条,如有漏汽痕迹加开密封键长度。保证密封效果。减少低压内缸中分面漏汽现象。

2.3 其它优化及调整项目

(1) 主机及小汽轮机通流部分玻璃珠喷丸除垢(抛光、除垢等)。汽轮机通流部分叶栅的光洁和清洁程度对汽轮机的出力能力和缸效率有很大的影响,经运行一段时间后,难免有颗粒冲刷和结垢。采用玻璃珠喷丸方法,既可彻底的清除表面结垢,又可使叶栅表面光洁度达到 5 级,同时可消除叶栅到应力。

(2) 高中、低压缸采用专用仪器测量半实缸(如图 9 所示)和全实缸的变形量。采用专用仪器测出全实缸的洼窝值,按照全实缸调整洼窝值,保证动静中心一致。数据测量好后,按照全实缸的数据,调整各缸的洼窝,保证动静中心的上下相等,左右相等。达到通流部分对中的最佳状态。



图 9 半实缸变形量测量

(3) 高中、低压转子围带修磨(如图 10 所示)。转子围带每片动叶片与相邻的动叶片叶冠间存在错台现象,通过揭缸发现,转子围带在圆周上存在漂偏 0.2~0.3mm,对于汽封间隙的调整,同时也存在叶片间的错台现象,有 0.20mm 左右,将高中低压叶顶围带磨削一下,使围带光滑。使汽封间隙调整更加准确。



图 10 低压转子围带修磨

3 改造后性能试验结果及分析

3.1 机组热耗

机组大修后热耗下降明显。主参数对热耗的修正（2015 年#6 机组修后性能试验报告）。修正数据见表 4。

表 4 #6 机组主参数对热耗的修正

名称	单位	设计值	320MW-1	320MW-2	320MW -切低省
主汽压力	MPa	16.67	16.57	16.58	16.36
主汽压力修正量	—	—	1.0004	1.0004	1.0013
主汽温度	℃	538.00	542.81	543.09	542.59
主汽温度修正量	—	—	0.9986	0.9998	0.9986
再热温度	℃	538.00	540.33	541.29	540.97
再热温度修正量	—	—	0.9994	0.9991	0.9992
低压缸排汽压力	kPa	4.90	8.20	8.13	8.17
排汽压力修正量	—	—	1.0287	1.0283	1.0286
总修正系数	—	—	1.0271	1.0262	1.0277
试验热耗	kJ/(kW·h)	7900.70	8262.73	8273.47	8321.85
修正后热耗率	kJ/(kW·h)	—	8044.97	8062.19	8097.69

3.2 机组煤耗

机组大修后煤耗下降明显。主参数对煤耗的修正，#6 机组煤耗数据见表 5。

表 5 #6 机组煤耗数据（2015 年#6 机组修后性能试验报告）

参数名称	单位	300MW-修前	320MW-1	320MW-2
厂用电率	%	4.65	4.69	4.69
锅炉效率(试验值)	%	93.20	94.26	94.24
锅炉效率(修正值)	%	93.43	94.14	94.13
管道效率	%	98.50	98.50	98.50
标准煤低位发热量	kJ/kg	29271	29271	29271
试验热耗	kJ/(kW·h)	8294.73	8262.73	8273.47
修正后热耗	kJ/(kW·h)	8200.64	8044.97	8062.19
发电煤耗	g/(kW·h)	308.68	304.03	304.49
供电煤耗	g/(kW·h)	323.72	318.98	319.48
修正后发电煤耗	g/(kW·h)	304.43	296.40	297.06
修正后供电煤耗	g/(kW·h)	319.26	310.97	311.69

表 6 2015 年#6 机组修后抽汽温度对比

名称	设计值	320MW -修前	320MW-1	320MW-2
主蒸汽温度	538.00	538.80	542.81	543.09
#1 高加进汽温度(一抽)	387.60	411.24	405.56	407.80
#2 高加进汽温度(二抽)	320.20	340.48	342.75	337.90
再热蒸汽温度	538.00	534.85	540.33	541.29
#3 高加进汽温度(三抽)	431.90	446.83	448.22	449.79
中压缸排汽温度(四抽)	326.08	341.72	344.91	345.65
#5 低加进汽温度(五抽)	228.40	268.75	256.22	257.11
#6 低加进汽温度(六抽)	139.30	183.61	172.57	169.51

3.3 各级抽汽温度

对比各段抽汽温度，一抽至六抽均存在超温现象，一抽至四抽超温 15℃左右，而低压缸上的抽汽

温度较设计值 30℃左右，与修前相比，一抽温度较修前下降 5℃左右。低压缸上的抽汽温度较修前下降了 10℃左右。比修前有较大改善。#6 机组抽汽温度对比见表 6。

4 结论

某电厂 6 号机组大修后机组整体煤耗下降 8 g/kWh。汽机通流部分进行改造，按照热耗计算，改造后 6 号机热耗 8044.97 kJ/kWh，比较修前 8200.64 kJ/kWh 下降 155.67 kJ/kWh，煤耗下降约 5g/kWh（方天公司试验值），保守估计通流改造节约煤耗 3 g/kWh。以 6 号机组年发电量 17 亿 kWh 计算，年节约标煤 5100t，标煤价格按 450 元/t，年收益增加 209.62 万元。改造费用 310.6 万元，投资回收年限约为 1 年零 5 个月。通流改造后经济性和安全性提高带来了可观的企业效益和社会效益。同时可降低锅炉排灰、排渣量，处理费用下降带来的经济效益。

参考文献：

- [1] 梁志宏,顾孟祥,等.300MW 机组检修工艺规程[Z].某电厂,2012.
- [2] 靳智平,王毅林.电厂汽轮机原理及系统[M].北京:中国电力出版社,2006.

作者简介：

俞鸣永，男，江苏苏州人，工程师，从事汽轮机设备管理研究，E-mail: 23063317@qq.com;

李晋锋（1974-），男，河北衡水人，从事汽轮机设备管理研究；

刘慧贤（1990-），男，江苏盐城人，从事汽轮机设备管理研究；

顾晓东（1991-），男，江苏苏州人，从事汽轮机设备管理研究。