

330MW 机组锅炉三合一引风机选型与应用

徐 强

(江苏常熟发电有限公司, 江苏 常熟 215536)

摘 要: 文章以江苏常熟发电有限公司 330MW 机组锅炉加装脱销装置改造、电袋复合除尘器改造中引风机增容改造为例, 介绍了 330MW 机组锅炉根据现场条件“三合一”引风机选型与应用, 为同类型机组锅炉引风机改造提供借鉴和参考。

关键词: 330MW; 引风机; 选型; 应用

0 引言

随着《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)的实施, 燃煤电厂必须加装烟气脱硝装置和电除尘器改造才能达到新的排放标准, 改造后增加了烟气系统的阻力, 原引风机不能满足使用要求,需对引风机改造增加出力。同时, 根据江苏省环保厅(2010)254 号文件关于“全省所有燃煤机组设旁路烟道的应于 2013 年底前将旁路烟道全部拆除”的要求, 脱硫旁路烟道拆除后对系统可靠性要求更高, 为了便于调节, 在保证机组更安全运行的同时考虑到节能, 将增压风机与引风机进行合并改造,采用脱硝、引风、脱硫增压“三合一”引风机。

1 工程概况

江苏常熟发电有限公司 4×3300MW 机组锅炉为亚临界压力中间一次再热控制循环炉, 单炉膛Π型露天布置, 中速磨正压直吹式制粉系统, 平衡通风, 三分仓容克式空气预热器、固态排渣, 燃用烟煤。每台锅炉配备两台静叶可调轴流式风机, 两台双室三电场静电除尘器, 未设计烟气脱硝装置。脱硫系统为灰石石—石膏湿法烟气脱硫, 采用一炉一塔布置方式, 每台锅炉配置一台 100%BMCR 容量的动叶可调轴流式增压风机。

改造工程新建烟气脱硝装置采用选择性催化还原(SCR)工艺, SCR 反应器布置在省煤器与空预器之间的高含尘区域, 不设旁路烟道, 运行方式为连续运行。空预器热段元件全部换新, 冷端更换为搪瓷蓄热元件。静电除尘器改造为电袋复合除尘器, 前电场改造成二个分区电场, 二、三电场改造成布袋除尘区。脱硫系统增容改造, 无旁路、GGH、增

压风机。
原风机的参数分别见表 1、2。

表 1 引风机技术参数

名称	单位	技术参数	
型号		G136/358	
型式		子午加速轴流风机	
流量	m ³ /s	T.B 294.76	BMCR 265.3
全压	Pa	T.B 4188	BMCR 3678
转速	r/min	495	
效率	%	83.5	
烟气温度	℃	126~150	
调节方式		静叶调节	
电机型号		YFW2000-12	
电机功率	kW	2000	
额定电压	kV	6	

表 2 增压风机技术参数

名称	单位	技术参数	
型号		RAF37.5-18-1	
型式		动叶调节轴流风机	
流量	m ³ /s	569.55	
全压	Pa	2400	
转速	r/min	590	
效率	%	85	
烟气温度	℃	126~150	
调节方式		动叶调节	
电机型号		Y160L-2	
电机功率	kW	1700	
额定电压	kV	6	

2 引风机改造选型参数核算

2.1 锅炉省煤器出口烟气参数

炉省煤器出口烟气参数见表 3。

表 3 炉省煤器出口烟气参数

项目	单位	数值	备注
湿烟气象(标、湿)	Nm ³ /h	1105975	BMCR
干烟气象(标、干)	Nm ³ /h	1015833	BMCR
省煤器出口处烟气温度	℃	377	
烟尘浓度	g/Nm ³	33.1	
省煤器出口处烟气静态压力	kPa(g)	-1.59	BMCR

2.2 烟气系统阻力计算

烟气阻力考虑脱硝改造增加的反应器阻力、空预

器及密封结构改造增加的阻力、电袋除尘器改造增加的阻力、脱硫系统阻力、以及湿烟囱的拔风能力和烟囱防腐改造后的通流面积等因素引起引风机压头增大。脱硝装置的烟气阻力将大约增加 950Pa 左右，空预器改造阻力约增加 300Pa 左右，静电除尘器改为电袋除尘器烟风阻力将大约增加 900Pa 左右，原烟气系统阻力 3678 Pa，脱硫系统烟风阻力为 2400 Pa 左右，因此 BMCR 工况下，引风机的风压将达到 8000~9000Pa。

2.3 引风机选型参数

表 4 改造后的引风机设计初选参数

序号	项 目	单位	技术参数
1	风量 (TB/BMCR)	m ³ /s	302.68/275.17
		Nm ³ /s	187.48/170.43
2	全压 (TB/BMCR)	Pa	9935/8279
3	入口烟气温度 (TB/BMCR)	℃	150/150
4	出口烟气温度 (TB/BMCR)	℃	164.56/162.07
5	烟气密度 (TB/BMCR)	kg/m ³	0.801/0.801
6	压缩系数		0.963/0.969
7	入口烟气含尘量	mg/Nm ³	≤30 (正常)

脱硝系统由于加入NH₃和稀释风，同时考虑烟气系统（含烟道、脱销SCR、空预器、电除尘等）漏风等因素，烟气量略有增加，改造后的引风机设计初选参数见表 4。

3 引风机选型分析比较

引风机输送介质为含尘烟气，介质温度较高，工作条件差，根据《火力发电厂设计技术规程》(DL5000-2000)的规定：“大容量锅炉的引风机宜选用静叶可调轴流式或高效离心式风机。当风机进口含尘量能满足风机要求，且技术经济比较合理时，可采用动叶可调轴流式风机。”根据与风机制造厂家咨询，引风机改造后的压头超过 8000Pa，而静叶可调轴流风机的极限压头是 7300Pa，不能满足高压头的要求，因此不能选择静叶可调轴流风机。由于静电除尘器改造为电袋复合除尘器，除尘效率设计值达 99.93%以上，粉尘排放浓度低于 30mg/Nm³，可以选择动调轴流风机，因此在动叶可调轴流风机和离心风机+变频运行两种方案中择优选择。初步选型结果见表 5。

从表 5 选型数据可以看出，双级动叶可调轴流风机和双吸双支撑离心风机+变频运行两种方案择，风机性能均十分优良，因此选择哪种方案，主要看风机的结构特点、原系统的利用及改造、技术经济性、投资成本等，对两种风机的整体方案进行简单比较如下。

表 5 根据引风机选型参数得出的初步选型结果

序号	项目	离心风机+变频	动调风机
1	风机型式	双吸双支撑离心式风机	双级动叶调节轴流式风机
2	风机转速 /rpm	TB990、BMCR882 75%BMCR745、50%BMCR539	990
4	风机效率	TB88.8、BMCR:88.8、75%BMCR87.2、50%BMCR80	TB88.26、BMCR87.74、75%BMCR81.5、50%BMCR72.25
5	最大轴功率/kW	TB3379、BMCR2576、75%BMCR1469、50%BMCR805	TB3248、BMCR2461、75%BMCR1504、50%BMCR869
3	叶轮直径/m	3.2	2.6
6	电机功率/kW	3800	3500
7	电机型号	YBPKK800-6	YKK710-6
8	调节方式	进口调节门+变频调节	动叶无级调节
9	外形体积	风机体积大，径向进气，径向出气	风机体积小，径向进气，轴向出气
10	转子重量	12t	8.5t

表 6 结构特点

名称	双级动叶可调轴流风机	双吸双支撑离心风机
机壳部	叶轮、轴承箱、机壳、整流导叶环装配成一体，经试验后整体出厂。运输、安装过程中无需解体。	由于轴承座为分体支撑，分别置于机壳两侧，无法达到整体出厂。运输、安装均在散件状态下进行。
轴承箱	整体结构，置于机壳内筒体，通过其定位法兰与机壳同心，反复拆卸不需重新调心。	由于轴承座为两个分体支撑，故拆装一次，即需重新对中调心。
轮壳部	采用低碳合金钢（壳体及支承环为锻件）焊接成型，重量轻、强度高、离心力小。	采用低碳合金钢，因气动性能要求决定，该部分体积较大，重量重，离心力大。
叶片	采用低碳合金钢（叶盘为锻钢）焊接并加工成型。其主要特点是：用高强度螺钉与轮壳联接，可灵活拆卸，因此，叶片检修方便，叶片磨损小	采用低碳合金钢加工成型。叶片焊接在轮毂表面。叶片磨损后，割去旧叶片，重新焊上新叶片，在现场较难操作。
备件	叶片磨损后，只需更换新叶片，而且换下的叶片经重新喷焊后，可继续使用，只需备一套叶片。	需备整个叶轮（包括叶片）
耐磨性	通过先进的生产加工工艺解决。	叶片耐磨性能较差，只能通过降低转速减小磨损
基础	风机体积小，重量轻，基础小。	风机体积大，重量重，基础大
检修重量	中分面结构，轴承箱内置，叶片可拆卸，各部单独检修。	中分面结构，一体转子，检修重量大。

(1) 结构特点，见表 6。

(2) 原系统的利用及改造

动叶可调轴流风机体积小，径向进气，轴向出气，便于布置，可以利用原风机基础和烟道，只需进行局部改造基础，利用原风机的检修起吊设施。离心风机体积大，径向进气，径向出气，原基础和烟道不能利用，需要制造新基础和重新设置烟道走向及制造安装烟道，重新配置风机的检修起吊设备。由于原引风机为轴流风机，若改为离心风机，则原风道需要重新优化布置，需要增加烟道的弯头，按通常情况下，每增加一个烟道弯头，则系统阻力会增加 100~200Pa 左右，系统总功耗会上升。从上述情况看，轴流风机对原系统的影响较小，投资较小。

(3) 静态投资情况（每台风机/万元），见表 7。

表 7 静态投资情况

序号	项目	离心风机	动调风机	备注
1	风机本体	110	140	
2	变频系统	/	无	含变频器室，空调通风设备
3	电动执行器	10	5	进口
4	配套油站	10	15	
5	电机	114.5	82.5	离心风机的电机带油站，变频电机。动调风机电机无油站
6	基础改造	20	3	
7	烟道改造	5	无	
8	检修设备	10	无	
9	合计	279.5	245.5	

从表 7 可以看出，在未计算变频器价格时，一台风机初投资动调方案比离心加变频方案节约 30 多万元。

(4) 现场安装

离心风机和变频器的占地面积相对较大，对于改造机组来说，场地的限制是突出的问题，并且需改造烟道和基础，新基础需要较长养护时间，安装空间、工作量较大。动调风机整体安装，完全利用原烟道、基础，安装工作量小。

(5) 维护检修

离心风机的结构简单，维护检修较为方便，动调风机的结构较为复杂，检修工作量高于离心风机。

(6) 运行成本

在实际运行中，发电机组并不总是工作在额定负荷下，为满足电网调峰的需求，大多数是在 50%~100%额定负荷范围内运行，按每年运行 7000h 对风机运行功耗进行分析比较。见表 8。

表 8 运行成本

序号	项目	离心风机	动调风机	备注
1	TB	轴功率/kW 3379.3	3248	基本不运行
	工况	运行时间/h 0	0	
		功耗/(kW·h) 0	0	
2	BMCR	轴功率/kW 2576.4	2461	40%运行时间
	工况	运行时间/h 2800	2800	
		功耗/(kW·h) 7213920	6890800	
3	75% BMCR	轴功率/kW 1469.3	1504	30%运行时间
	工况	运行时间/h 2100	2100	
		功耗/(kW·h) 3085530	3158400	
4	50% BMCR	轴功率/kW 805.6	869	30%运行时间
	工况	运行时间/h 2100	2100	
		功耗/(kW·h) 1691760	1824900	
合计 风机每年功耗/(kW·h)		11991210	11874100	

每年单台风机功耗离心风机功耗比动调轴流风机高 117110 kW·h，同时离心风机变频器运行时，有 1.5%左右的功率损耗，其每年运行 7000h 损耗的功率为 11991210 kW·h×1.5%=179868.15 kW·h，所以，离心风机+变频风机年运行功耗比动调轴流风机高。

综合各方面分析比较，决定引风机改造采用双级动叶可调轴流风机。

4 动叶可调轴流风机性能参数

引风机技术数据和性能数据分别见表 9、10。

表 9 引风机技术数据

序号	项目	单位	参数
1	风机型号	--	SAF26.6-18-2
2	调节方式	--	动叶调节
3	叶轮直径	mm	2660
4	轴的材质	--	42CrMo-5
5	轮毂材质	--	15MnV
6	叶片材质及固定螺栓材质	--	叶片 15MnV/螺丝 10.9 级
7	叶轮级数	级	2
8	每级叶片数	片	14
9	叶片调节范围	度	-45°~+10°
10	转子重量	kg	8000
11	转子转动惯量	kg·m ²	3692
12	风机的第一临界转速	r/min	1287
13	风机轴承型式	--	进口滚动轴承
14	轴承润滑方式/冷却方式	--	稀油润滑/强制油循环+冷却风
15	风机旋转方向	--	从电机侧向风机看逆时针
16	冷却风机型号/台数		9-26-5No.5A/2 用 2 备
17	冷却风机参数		6762 m ³ /s ;5180Pa
18	电动机型号	--	YKK710-6
19	电动机额定功率	kW	3500
20	电动机额定电压/电流	V/ A	6000/405
21	电动机额定转速	rpm	994
22	电动机轴承型式		滚动轴承、油脂润滑

表 10 引风机性能数据

序号 项目	单位	BMCR 工况	TB 工况
1. 烟气量	m ³ /s	275.17	302.68
2. 全压升	Pa	8300	10000
3. 静压升	Pa	8300	10000
4. 单位压升能耗	J/kg	9846	11853
5. 温升	°C	11	13
6. 风机全压效率	%	87.88	88.14
7. 风机轴功率	kW	2523	3314
8. 推荐电动机功率	kW	3500	3500
9. 风机转速	rpm	990	990
10. 转动惯量	kg·m ²	2523	3692
11. 压缩系数	-	0.9708	0.9649

5 引风机改造施工方案及注意事项

(1) 电机和扩压器利用原基础及地脚螺栓，为了使风机能准确对中，需凿去二次灌浆水泥层，待新风机安装后重新灌浆。

(2) 新风机与原风机存在中心标高偏差，原电机底座不再利用，新电机底座地脚螺栓孔按原基础设计制造。

(3) 风机进气箱和本体机壳利用原风机基础，凿去二次灌浆水泥层，在原风机基础上增加部分基础，底部将新增部分基础的钢筋直接植入原有基础部分，再用新浇混凝土与原有基础浇成一个整体，在混凝土浇筑前，将新旧混凝土接面的原有混凝土面打毛，并刷上界面剂一道，以保证新旧混凝土接合面充分接合，在添加的基础上预留地脚孔供安装用。

(4) 由于电机基础不变，新增风机基础部分标高与中心确定要参考电机、进出口风道，从分复核，防止产生新旧风机基础偏差。

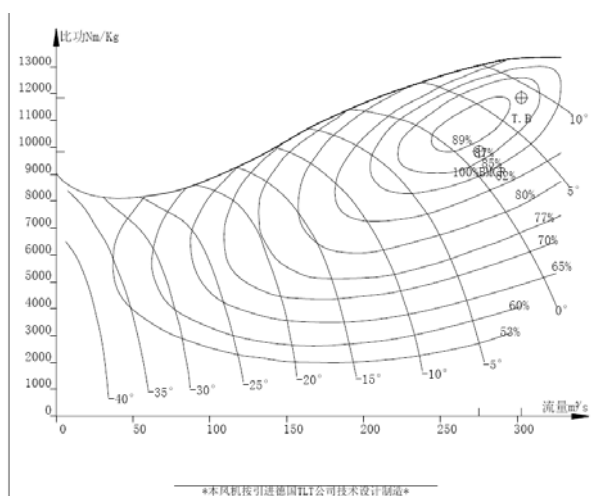


图 1 引风机设计性能曲线

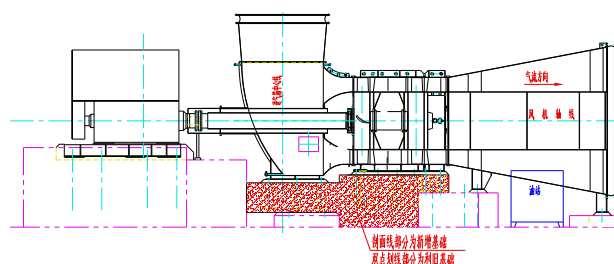


图 2 引风机总图

(5) 电动机首先安装找正，将电动机底座安装找平，然后电动机安装就位，为保证以后风机中心调整时有足够的调整余量，电动机与其底座之间调整垫片厚度不小于 2mm。

(6) 逐件安装进气箱、中间轴及转子部，利用垫铁初步找正，各部件必须保证垂直度和水平度，否则会给以后其它部件的安装带来困难。

(7) 风机联轴器中心一次找正时，为保证传动中间轴热膨胀补偿量，电机侧和风机侧联轴器间隙总和比冷态情况下预拉开 4-5mm。

(8) 进气箱和本体机壳地脚螺栓孔浇灌混凝土，灌到低于地脚螺栓孔上平面 60~100mm 处。

(9) 待进气箱和本体机壳地脚螺栓混凝土强度达到设计强度后，进行风机联轴器中心二次找正，找正是要保持电机侧和风机侧联轴器间隙冷态预量。

(10) 引风机的进出口烟道不需改动，改造的引风机进出口尺寸按原引风机进出口尺寸设计制造。

(11) 引风机本体油站安装在原风机油站基础上。

(12) 原引风机的检修起吊设施利用。

6 双级动叶可调轴流风机运行情况

2013 年 2 月 12 日#1 机组改造后首次启动，启动初期一台磨煤机运行，机组未并网，启动一台引风机炉膛负压达 -1200 Pa，并列另一台引风机运行时炉膛负压达到近 -2000Pa。点火时两侧引风机动叶开度只有 6-8%，运行中稍稍调节引风机动叶炉膛负压就出现较大幅度变动，引风机自动难以投入，从运行情况来看，引风机启动时初始风量（动叶关闭状态）偏大。将这一情况反馈给风机制造厂，制造厂经过核算后建议将设计动叶角度 -40° ~ +15° 调整为 -45° ~ +10°，调整后引风机最大出力能满足设计要求，经过调整引风机启动初始炉膛负压正常。

至 2014 年 3 月 1 日,江苏常熟发电有限公司全部完成 4×3300MW 机组脱硫脱销改造、电袋除尘器改造,机组均顺利启动并顺利实现大修全优。引风机运行平稳,风机和电机轴承温度运行中在 40℃~50℃之间,各轴承振动不超过 0.020mm。

在机组不同负荷下的引风机性能试验数据分析,风机能满足锅炉运行要求。以#4 机组为例,315MW 工况时引风机平均风量为 273.7m³/s,平均风压为 6900Pa,与 TB 点设计值相比,风机流量裕量合适,在 10%左右,但风机风压裕量偏大,导致风机运行效率偏低。主要是锅炉在 SCR、空预器、电除尘及脱硫系统改造后,风烟系统及脱硫系统阻力情况较为良好,随着机组运行时间的推移,风机与系统匹配会有所改善,引风机效率还有提高的空间。

7 结论

根据本次引风机改造的参数,双级动叶可调轴

流引风机能满足脱硝改造、电袋除尘器改造和取消增压风机改造的功能性要求,投资成本低,现场安装方便,同时风机性能高,能满足经济运行的要求。

对于老机组,系统相对复杂,要充分分析原系统阻力及改造后的情况,结合实际情况确定风机型式及参数。新风机的全压往往较大,其对锅炉炉膛及尾部烟道安全的影响也要作为设计条件考虑充分,避免造成锅炉系统安全隐患。

参考文献:

- [1] 杨知寰. 300MW 机组锅炉引风机改造优化选型[Z]. 上海鼓风机厂有限公司.
- [2] 上海鼓风机厂有限公司. SAF 型电站动叶可调轴流引风机安装和使用维护说明书[Z].
- [3] 江苏常熟发电有限公司. 锅炉烟气脱销改造技术规范[Z].
- [4] DL/T 468-2004, 电站锅炉风机选型和使用导则[S].
- [5] DL/T 5000-2000, 火力发电厂设计技术规程[S].