

600MW 超超临界机组引风机变频器改造应用

丁 勇¹，肖 杰²，魏 伟¹

(1.江苏阚山发电有限公司，江苏 徐州 221134；2.江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102)

摘 要：阚山电厂 600MW 超超临界机组引风机驱动电机功率 6000kW，采用高压变频器控制采用变频器调速控制后，克服了原静叶调节风机低出力状态效率低的缺点，明显降低了引风机耗电。改造后炉膛负压调节响应速率增快，变频自动与静叶自动切换时负压波动平稳，风机振动无明显变化。改造后一年节电 1636 万 kW·h，节约运行成本 654.57 万元。

关键词：引风机；变频器；调节；节能；成本

0 引言

在火力发电厂中,风机是主要的耗电设备之一，据统计引风机占整个锅炉风机电耗的一半左右，特别是近年普遍进行引风机与脱硫系统增压风机合一改造，改造后引风机耗电占机组发电量的 1%以上。阚山电厂引增合一改造后时，引风机选用静叶可调轴流风机，在不同出力下风机效率变化很大，低负荷运行时节能潜力巨大。近年，随着大功率机组各项技术参数的进步，机组节能升级改造的完善，降低厂用电率的措施和空间不断压缩，凸显了引风机变频改造的必要性。

引风机变频改造后，引风机电耗下降，风机效率升高，节能效果明显。同时改造也可能出现一些问题，7500kW 级功率的高压变频器应用较少，变频器可靠率低，对机组运行带来风险；同时存在变转速时风机振动增大等。本次改造设计过程中，充分考虑改造后可能出现的问题，采取了有效的控制防范措施。

1 设备介绍

阚山电厂#1、2 机组额定容量为 600MW，配备 2 台 AN 系列静叶可调轴流引风机。引风机采用定速电机驱动，通过调整进口静叶挡板控制烟气流，以保证稳定的炉膛负压。两台机组在 2012 年和 2013 年分别在脱硫增容、脱硝改造期间同步进行引增合一改造，改造后的引风机主要参数见表 1。

改造完成后，发现引风机设计裕量偏大，机组在夏季极端工况下满负荷运行时，引风机静叶开度

仅为 73%；机组大部分运行时间，引风机静叶开度在 60%以下低出力区，引风机耗电率较高，影响了机组供电煤耗，降低了机组经济性。

为掌握引风机实际运行状况和节能空间，对#2 机组引风机性能测试，测试数据见表 2。

表 1 风机主要设计参数

名称	单位	数值	
风机负荷范围	%	30~100 BMCR	
型 式		HA26248-2F	
工 况		设计工况	TB 工况
烟气量	m ³ /h	1586160	1728000
全压升	Pa	9000	10000
风机全压效率	%	84.6	83.0
风机轴功率	kW	4631	5693
叶轮直径	mm	Φ3150	
级 数		1	
每级叶片数		13	
前导叶片调节范围	度	-76~+30	
电动机功率	kW	6000	
风机转速	rpm	995	

表 2 测试数据

名称	单位	数值			
		IDF-A-01	IDF-B-01	IDF-A-01	IDF-B-01
机组负荷	MW	600		450	
入炉煤量	t/h	265		184	
环境温度	℃	35.7	35.7	30.6	30.6
风机静压	kPa	6.912	7.09	4874.0	5068.0
风机进口流量	m ³ /s	440.56	420.69	356.38	364.33
静叶开度(表计)	%	75	83	63	68
就地静叶开度	度	5	2	-10	-7
电动机电流	A	516.50	504.00	367.20	350.40
电动机输入功率	kW	4835.5	4664.9	3195.7	3044.6
风机全压效率	%	67.30	67.99	58.09	64.72

试验参数分析：机组在 600 MW 负荷，煤量达到 265.2 t/h（锅炉最大控制煤量为 270 t/h）、天气气温也是在历史罕见的高温下进行，机组负荷基本上

达到了极限负荷。引风机设计工况全压效率为 84.6%，但即使在夏季极端天气，引风机静叶开度不超过 83%，实际运行效率仅为 67%左右；引风机静压：运行静压为 7.0 kPa，设计静压为 9.0 kPa，运行值为设计值的 78%；电动机功率：运行 4835.5 kW，配备功率为 6000 kW，运行为配备值的 80.6%；根据风机静压和电机运行功率，引风机设计值比极端最大负荷高了 20%。而在 450MW 工况下，引风机运行功率仅为设计值的 53.3%。

2 变频器节能原理

静叶调节的轴流风机性能曲线如图 1 所示，从锅炉烟道阻力曲线看，高负荷时引风机工作在高效区，全压效率在 87%左右，在低负荷时引风机全压效率在 56%左右，效率相差 20%。

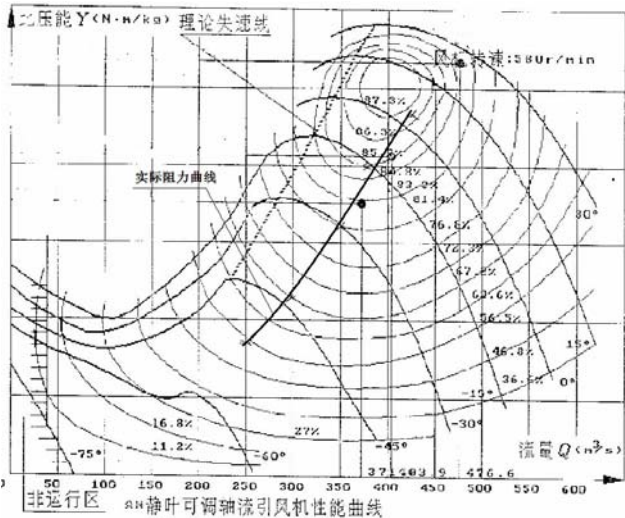


图 1 静叶调节引风机性能曲线

如进行引风机变频改造，调节风机转速，将性能曲线下移，风机运行工况点一直维持在高校区。利用引风机入口静叶开度与转速匹配，将静叶调节到合适的角度，烟道阻力减小至最低，维持风机的工作效率在最高状态。引风机变频控制改造可以避免低负荷时风机运行在低效率区，提高低负荷时风机效率，降低风机耗电。因此，对于风机调节方式，在可能的状况下首选变频调节方式。

3 引风机改造方案

3.1 变频器选择

阚山电厂引风机电动机功率达到 6000kW，根据变频器驱动选型，应选取功率为 7500kW 左右的 6kV 高压变频器。改造时选用东芝三菱生产的

MTdriver-MVG 型变频器，这是一种中压 IGBT 变频器，最大容量 10MW。多脉冲二极管整流和脉移相变压器，36 pulse / 6.6kV，Multi-level PWM 逆变系统，IGBT 逆变器件，强迫空冷冷却系统，无传感器矢量控制，V/f 压/频比控制，图 2 为变频器电路图，表 3 为变频器性能表。

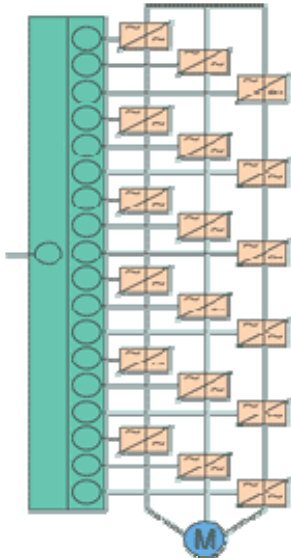


图 2 变频器电路图

表 3 变频器主要性能指标

名称	数值
型号	TMdrive-MVG2
变频器容量/kVA	7500
输入电压/V	6000±10%
输出电压/V	输入 6kV,输出电压在 6kV 以下
输入电源频率/Hz	50
输出电源频率范围/Hz	0-50
过载能力	100%连续,125%-60 s
额定输出电流/A	730

3.2 变频器控制系统

由于变频器容量为 7.5MVA，在国内应用少，变频器运行经验欠缺，故对改造方案的安全性提出更高的要求。引风机变频系统的一次动力系统采用一拖一驱动，工/变频切换控制方案，其一次系统图如图 3 所示。该系统的工频、变频回路均采用手动操作的隔离开关构成。以其中一台引风机为例，图 3 中 QF0 表示真空断路器、QS1~QS3 表示隔离开关、TF 表示高压变频器、M 表示现场原有电动机；6kV 电源经变频装置输入隔离开关 QS1 到高压变频装置，变频装置输出经隔离开关 QS2 送至电动机；6kV 电源还可经工频旁路隔离开关 QS3 直接起动电动机。隔离开关 QS2 和 QS3 间具备电气、机械闭锁，防止形成闭合回路。

正常运行时 QF0、QS1、QS2 和变频器在合闸

位, QS3 在分位, 系统在变频工况下运行; 当遇到故障后, 断开 QF0 开关, 手动拉开 QS1、QS2 隔离开关, 合 QS3 旁路隔离开关, 合 QF0 开关, 系统切工频工况下运行。QS1、QS2 与 QS3 间具备电气、机械闭锁, 防止形成闭合回路。

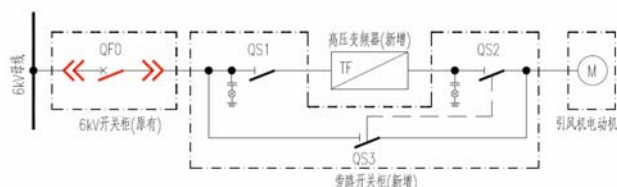


图3 一次系统图

4 变频器运行方式和逻辑

4.1 变频器后引风机的启、停操作步骤

启动步骤: 确认开关 QS1、QS2、QS3 均处于断开状态, 在变频室就地手动合上开关 QS1、QS2 开关; 在 DCS 合上 QF0 开关; 确认“变频器准备就绪”条件满足; 开启引风机入口挡板门, 启动变频器; 确认引风机在最低转速 5Hz 运行, 再逐渐投入引风机变频自动控制。

停止步骤: 运行人员 DCS 发出停运变频器指令, 同时断开 QF0 开关; 确认引风机停止运行, 变频器停运, 确认开关 QS1、QS2 分闸。

4.2 引风机变频器运行方式

当两台引风机变频器均运行且投自动, 变频器通过调节引风机转速控制炉膛负压, 由两台风机转速指令来平衡两台风机出力。

当两台引风机都在工频方式下运行, 通过调节引风机入口静叶控制风机出力炉膛负压, 由两台风机静叶开度指令来平衡两台风机出力。

当一台引风机变频器故障切至工频方式运行时, 另外一台引风机变频器也需将转速提高至, 两台引风机均通过入口静叶控制风机出力炉膛负压, 由两台风机静叶开度指令来平衡两台风机出力。

4.3 变频自动与静叶自动间切换逻辑

变频自动切至静叶自动: 解除引风机变频自动, 引风机变频输出指令不高于 49 Hz, 投入引风机静叶控制自动, 引风机变频指令缓慢以 0.05 Hz/s 速率上升, 引风机静叶在炉膛压力下降过程中逐渐关小, 控制炉膛负压正常范围。当变频控制指令高于 49.8Hz, 变频自动向静叶自动切换结束, 变频保持手动控制且输出指令维持 49.8Hz。

静叶自动切至变频自动: 解除引风机静叶自动, 引风机 A 静叶输出指令不高于 90%, 投入引风机 A 变频控制自动, 静叶输出指令缓慢以 0.25 %/s 速率上升, 引风机转速在炉膛压力下降过程中逐渐降低, 控制炉膛负压正常范围。当静叶指令高于 99%, 静叶自动向变频自动切换结束, 静叶保持手动控制且输出指令维持 99%;

4.4 改造后 RB 动作逻辑

两台引风机变频运行时, 一台引风机的变频器故障, 且机组负荷大于 350 MW, 发出引风机 RB 信号; 变频器正常运行的引风机频率控制切手动, 且指令超驰升至 50 Hz, 该台引风机静叶迅速关至负荷对应开度并维持 10 s, 送风机根据锅炉主控要求维持当前负荷对应风量, 若炉膛压力出现超过 ± 300 Pa 波动, 闭锁送风机动叶动作。

5 变频改造后安全性评估

5.1 消除电压冲击

引风机在工频方式下启动, 启动电流 2000A, 电流返回时间 5s, 6 kV 母线电压下降近 30%, 而在变频方式下启动, 电流上升缓慢, 消除了启动过程中对母线电压及电机的冲击。此外变频调节时, 静叶在全开状态, 消除了定速节流调节工况下的高、低压压头差, 使风机压头与系统压头良好的匹配, 避免节流调节方式下风机在非稳定区运行时, 出现的叶片激振导致叶片疲劳断裂的隐患, 有效的防止两侧风机失速和抢风现象。

5.2 炉膛压力波动

变频方式下, 炉膛负压调节特性良好, 正常运行时, 炉膛负压波动范围在 ± 50 Pa 以内, 图 4 为静叶自动和变频自动控制下, 炉膛负压对比, 其中蓝线为变频控制方式下, 从图中可见, 变频自动调节方式下炉膛压力波动幅度与静叶调节方式基本相同, 调频方式下负压响应更快。



图4 变频调节对炉膛负压自动控制的影响

静叶自动至变频自动、变频自动至静叶自动切换过程，炉膛负压稳定，切换过程中炉膛负压最小值-300Pa,最大-50Pa，如图 5。

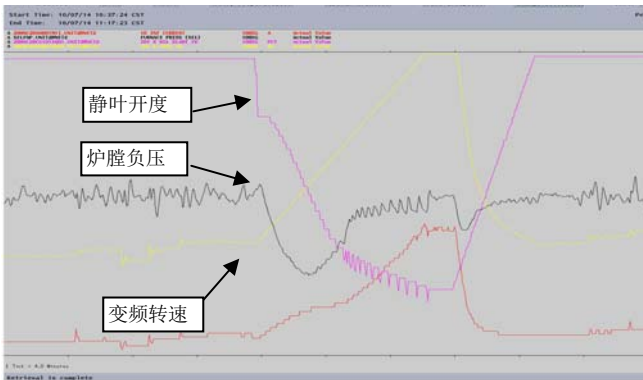


图 5 静叶控制与变频控制的自动切换

5.3 变转速时风机振动

变频调节，风机振动变化平缓，变频器由 30Hz 至 40Hz 变化期间，引风机振动最大 1.5 mm/s，转速的变化未引起引风机振动值明显变化，如图 6。说明风机在变转速时未出现共振现象，引风机工作转速避开了风机转子的固有频率。

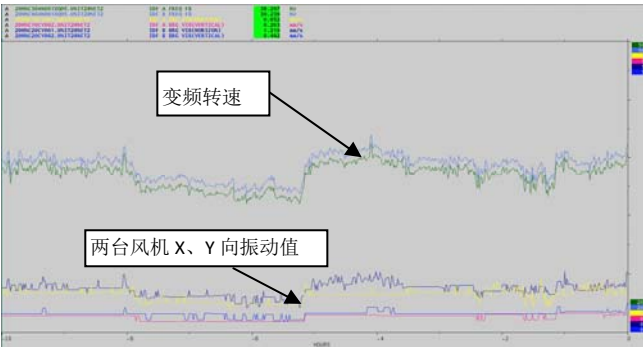


图 6 变转速过程中引风机振动变化情况

6 变频改造后经济性评估

引风机变频调节改造后，节能效果明显。下面对改造前后，同负荷段引风机功率变化进行对比。变频改造后对引风机在机组 300MW、400mMW、500MW、600MW 四个负荷点运行工况下的引风机功率表数据进行了分析，计算数据见表 4。

表 4 引风机变频改造前后功率表数据分析汇总

负荷 /MW	改造前功率表 读数/kW	改造后功率 表读数/kW	节约电功率 /kW	节能率 /%
600	7688	7266	422	5.49
500	6484	4168	2316	35.72
400	5929	2779	3150	53.13
300	5002	2593	2409	48.16

根据机组每年运行小时 7000h，电厂统计各负荷点运行时数比例分别约 15%、35%、35%、15%计，

计算年节电 1636 万 kW·h，按上网电价 0.4 元/(kW·h) 计算，单台机组引风机采用变频调节方式运行，年节电取得的经济效益 654.57 万元/年左右，见表 5。据此推算，约 3 年收回投资，节能效果明显。

表 5 引风机变频改造后节电量计算

负荷 /MW	运行小时 占比/%	运行小时 数/h	节约电功率 /kW	节能量 /(kW·h)	节约成本 /万元
600	15	1050	422	443100	17.72
500	35	2450	2316	5674200	226.96
400	35	2450	3150	7717500	308.70
300	15	1050	2409	2529450	101.17
合计	100	7000	8297	16364250	654.57

7 结束语

引风机改变频调节后，避免了低负荷时风机低效运行，在低负荷运行工况下尤为显著，改造节能效果明显。采用变频控制后 炉膛压力调节系统响应速度更快，没有出现炉膛压力较大幅度波动，风机各方面运行正常，风机振动无明显变化，运行安全性得到保证。实践证明，大功率变频器用于锅炉引风机变频器调速节能改造是十分成功的。

目前，超过 7.0MVA 容量的高压变频器在国内应用较少，本机组对引增合一改造后的引风机进行变频器改造为大容量火电机组引风机调节方式起到了较好地示范作用。采用变频器调节方式的引风机也是 600MW 以上容量机组的引增合一改造的一个较好地选择。

对于 600MW 以上容量机组的引风机变频器控制改造，采用变频器故障后自动切工频运行，会明显提高引风机变频控制的可靠性。

参考文献：

[1] 上海明华电力技术有限公司. 澜山电厂 2#机组引风机性能试验报告[R].2013.
[2] 李明, 黄丕维, 朱光明, 等. 火电厂泵与风机变频改造技术及应用[J]. 华电技术, 2008, 30(08): 55-57.

作者简介

丁 勇 (1981-), 男, 江苏徐州人, 工程师, 从事锅炉运行管理工作;
肖 杰 (1966-), 男, 湖南汉寿人, 高工, 从事电站锅炉技术监督工作;
魏 伟 (1973-), 男, 江苏徐州人, 工程师, 从事锅炉运行管理工作。