

[控制系统]

1 000 MW超超临界燃煤发电机组引风机和增压风机合一驱动形式选型与起动方式分析

文/铜山华润电力有限公司 张宇 陈超虎
设备管理与维修杂志社 张凤香

铜山华润电力有限公司2×1 000 MW国产超超临界燃煤机组分别于2010年6月和7月建成投产。自机组投运以来，引风机存在运行开度偏低、电耗偏高的情况。为了简化系统、提高系统运行的可靠性并节省用电，配合后续的节能和超低排放改造，将引风机与增压风机进行合并增速扩容，并对脱硫烟道进行优化。通过对驱动形式的比较，选择了电动机驱动。此外，对国内电机厂家进行了调研，最终选择了一种起动安全可靠、系统改动最小的电动机。

铜山华润电力有限公司有2台国产1 000 MW超超临界压力燃煤发电机组，锅炉为上海锅炉厂有限责任公司生产的超超临界参数变压运行螺旋管圈水冷壁塔式直流炉，同期建设有脱硝装置。锅炉烟气系统配置两台成都电力机械厂生产的AN42e6（V19-1°）型静叶调节轴流式引风机。脱硫系统配备两台由上海鼓风机厂有限公司生产的RAF40-20-1型动叶调节轴流式风机。

自机组投运以来，风机存在运行开度偏低、电耗偏高的情况。根据西安热工研究院提供的测量值表明，将满负荷实测值换算至BMCR工况下（密度为0.905 kg/m³），风机流量为688 m³/s，风机压力为3 930 Pa。与原BMCR设计值相比，风机实测风量与设计值比较接近，仅偏大4.8%；但实测风压却要明显小于设计压力，偏小约23%。为了简化系统、提高系统运行的可靠性、节省用电以及配合后续的节能技术改造，拟进行引风机与增压风机的改造。

目前驱动风机的方式有两种：一为常规的电动机驱动；二为小汽轮机驱动。本文对两种驱动形式

进行了分析比较，最终选择了参数符合安全技术要求的电动机驱动，并优化了安全稳定的起动方式。

风机选择

1. 风机参数选择

在试验结果和不同负荷下有关运行参数的基础上，考虑技改（增加脱硝层、空预器改造和加装低温省煤器）及烟道优化的影响，经过理论校核计算后，提出合并后新引风机改造的初步设计参数如下表所示。

表 新引风机改造设计参数

项目名称	单位	TB	BMCR
风机入口流量	m ³ /s	757	688
风机全压	Pa	9 000	7 815
入口密度	kg/m ³	0.83	0.84
电动机电压	kV	6	
电动机功率	kW	8 200	

电动机功率估算：轴功率 = $(757 \times 9\,000 \times 0.97) / (1\,000 \times 0.86 \times 0.98) = 7\,841$ (kW)，取5%的裕量并圆整后，所需新电动机额定功率为8 200 kW。

2. 风机型式选择

由于现有引风机为静调轴流风机，为节省改

造费用和缩短工期,风机改造方案计划在现有引风机基础上分别采用静调和动调轴流风机进行合并改造,由新引风机克服脱硫系统的阻力以及新增设备的阻力。综合考虑初投资、运行可靠性、经济性以及技改新增设备的阻力影响(不含烟道优化布置),合并后的引风机采用动叶可调轴流式。

风机驱动形式选择

目前引风机和增压风机合并后由于电动机功率较大,所以对合并后的联合风机可以采用两种驱动方式:一为电动机驱动;二为小汽轮机驱动。

1. 电动机驱动

根据调整后的负荷统计,5A1段减去原增压风机2 700 kW,负荷为23 326 kW;5A2段原引风机为5 900 kW,现二风机合一后,风机电动机功率为8 200 kW,5A2段负荷为24 685 kW。

根据现场实际情况,5A2高厂变的阻抗为10.7% (以高厂变低压绕组27 000 kV·A为基准)。按《火力发电厂厂用电设计技术规定》,计算最大一台电动机启动时的母线电压。

电动机正常启动时的母线电压按式(1)计算,算式中各标么值的基准电压6 kV;对变压器基准容量取低压绕组的额定容量 S_{2T} (kV·A)。

$$U_m = \frac{U_0}{1 + SX} \quad (1)$$

$$S = S_1 + S_q \quad (2)$$

$$S_q = \frac{K_q P_e}{S_{2T} \eta_d \cos \varphi_d} \quad (3)$$

式中, U_m 为电动机正常启动时的母线电压(标么值); U_0 为厂用母线上的空载电压(标么值),对有载调压变压器取1.1; X 为变压器的电抗(标么值); S 为合成负荷(标么值),可按式(2)计算; S_1 为电动机启动前,厂用母线上的已有负荷(标么值); S_q 为启动电动机的启动容量(标么值); K_q 为电动机的启动电流倍数; P_e 为电动机的额定功率(kW); η_d 为电动机的额定效率; $\cos \varphi_d$ 为电动机的额定功率因数。

上述参数的计算结果是:正常启动时,若增引合一风机的电动机启动电流倍数按4.5倍计、电动机的 $\eta \cos \phi \geq 0.8$ 时,母线电压为81.9%,大于80%的规定值,故能满足启动要求。

因此,从电气方面来看,可以考虑使用电动机驱动风机,但上述计算结果也显示,母线电压已经基本没有余量,所以,二风机合一后,风机

电动机功率不宜大于8 200 kW,否则会造成母线电压的不合格,从而导致电动机驱动风机方案不可行。

采用常规电动机方案主要特点如下。

- 1) 初投资费用较省,约750万元人民币。
- 2) 设备占用场地小。
- 3) 系统结构简单,便于运行操作。
- 4) 检修维护工作量小、费用低。
- 5) 技术成熟,可靠性强。

2. 小汽轮机驱动

小汽轮机的形式也有两种,一种是常规凝汽式小汽轮机,另一种是回热式小汽轮机。由于回热式技术比凝汽式技术更经济,不需要单设凝汽器和循环水,系统简单,因此,本工程按回热式技术分析。将一级再热器出口抽汽作为小汽轮机的驱动蒸汽。做功后的排汽接到除氧器,紧急工况溢流#5低加,同时为了满足机组启动需求,每台机组需保留原先的一台电动引风机作为启动风机用。

小汽机驱动方案的主要特点如下。

- 1) 初投资大,约5 300万元人民币。
- 2) 设备占用场地大。
- 3) 系统较为复杂,设备故障点增多,运行操作难度较高。
- 4) 维护工作量大,维护费用增加,每年增加运行维护费用约50万元人民币。
- 5) 可以大幅降低厂用电率约1.1%,并消除大电机启动电流对厂用电系统的影响。
- 6) 投资回收期较长,经济性较好。
- 7) 小汽轮机驱动风机是一项新技术,投运业绩还较少。
- 8) 风机变速运行存在共振的风险。

3. 两种形式比较

风机小汽轮机驱动改造现场改造量比较大、前期投资费用高,同时经济回收效益有限,一般投资回收年限较长;而且小汽轮机拖动后系统设备复杂,同时风机变速运行,设备安全稳定性能有所下降。考虑到现有电厂电网容量可以满足风机合并后大容量电动机的启动需求,因此采用电动机驱动形式,并进行进一步优化设计。

电动机驱动方式选型

针对引风机改造方案中采用电动机拖动存在的问题,继续开展以下工作。

1) 结合可能展开的技改项目,考虑其对烟风系统的影响(压头、流量),进一步优化风机的选型。

2) 对新引风机电机的设计需要考虑极端运行工况,如母线上所有负荷均在运行,风机起对电压的冲击;电动机容量的选取不要限制住高厂变阻抗的调节等。

3) 根据当前实际高厂变各段负荷,合理调整高厂变各段负荷分配,深入优化,确定电动机允许的最大功率。校核能否在高厂变不做改动或较少改动的情况下,电动机实现直接起动。

4) 降低新选电动机的阻抗,对电动机先按常规选择,再结合以下降低其阻抗的要求进行设计和选择:电动机起动电流倍数尽可能控制在4.5以内; $\eta\cos\phi>0.8$;满足国家二级能耗的标准。

5) 改变风机的起动方式,避免母线电压下降,可以通过起动变起动新引风机后,再切至高厂变运行。

在保证风机足够裕量的同时,进一步挖掘节能潜力,风机的选型参数又继续优化,电动机功率降至7 800 kW。

根据风机参数优化的结果,对电动机起动方式进行分析。经校核,只要降低电动机起动电流,合理安排起动机运行方式,电动机可以满足直接起动,不必对高厂变等设备做改动。

1. 降低电动机起动电流

当感应电动机处在停止状态时,定子绕组和转子绕组间无电的联系,只有磁的联系,磁通经

定子、气隙、转子铁心形成闭合回路。当合闸瞬间,转子因惯性还未转动起来,旋转磁场以最大的切割速度(同步转速)切割转子绕组,使转子绕组感应起可能达到的最高的电动势,因而,在转子导体中流过很大的电流,这个电流产生抵消定子磁场的磁能。定子为了维护与该时电源电压相适应的原有磁通,遂自动增加电流。因为此时转子的电流很大,故定子电流也增得很大,甚至高达额定电流的4~7倍,这就是起动电流大的原因。

随着电动机转速增高,定子磁场切割转子的速度减小,转子导体中感应电动势减小,转子导体中的电流也减小,于是定子电流中用来抵消转子电流所产生的磁通影响的那部分电流也减小,所以定子电流就从大变到小,直到正常。

引风机电机通过高厂变母线全电压直接起动,要想降低起动电流,只能进行电动机本身设计优化。一是减少气隙间距,二是采用双笼型电动机,增加转子电流趋肤效应。经过优化设计后的电动机,起动电流最大实际值为1 500 A,为额定电流的1.68倍。

2. 优化起动方式

第一台引风机由起备变供电,高压侧为220 kV 升压站母线电压,无法自主调节。可采取两个办法:①减少引风机所在6 kV母线不必要的负荷,起动引风机时,电压下降到4.95 kV,为83% U_N 。②保证400 V快切装置可靠性,以备400 V电压低快切至其他母线接带。起动第一台引风机时的电动机电流和电压趋势图如图1所示。

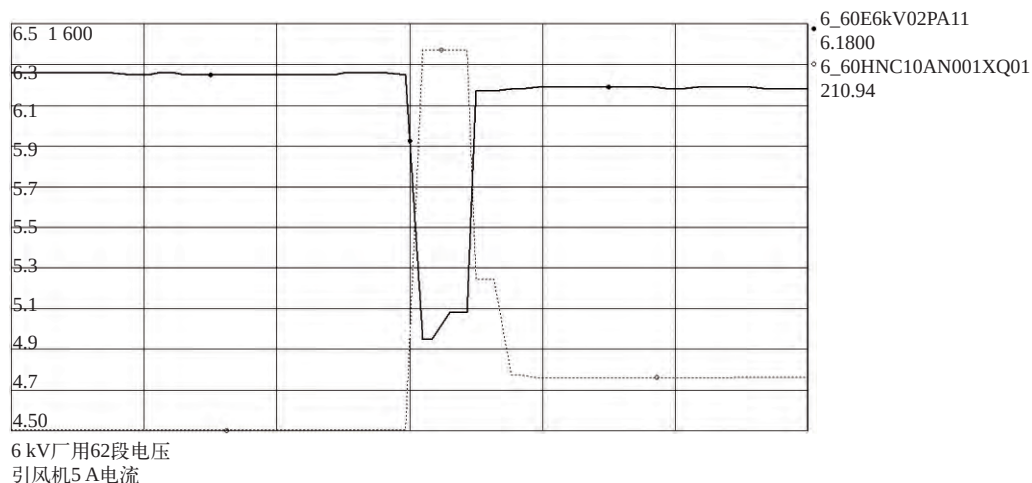


图1 起动第一台引风机时的电动机电流和电压趋势图

第二台引风机起动前,发电机已并网,厂用电已倒至高厂变接带。可通过提高发电机无功功

率,增加6 kV电压至6.3 kV,保证引风机起动时有足够的无功功率和电压降裕度。引风机起动时,

(下转第94页)

工程案例

经过在ABB上海工程实验室的多次模拟，将三绕组变压器按照高压、中压绕组1:1的变比，YN/Yn0/D11钟点接线的变压器模型应用到双内桥中间变压器上，可以实现差动保护功能，并且此方案的比率制动功能要比做和电流的方案可靠性更高，完全满足变压器差动保护需要。

由于双内桥主接线形式下，并联运行的变压器数量多，在初期整定时，没有充分考虑到和应涌流的对差动保护的影响，在3#主变TR3做第二次主变冲击实验时，发生了2#主变TR2差动保护误动作的情况，经过对故障录波电流分析发现，在3#主变作送电冲击试验时，自备热电厂经过2L线路后在该站与系统并网发电，1L、2L两条110 kV线路同时向该站供电，回路中有一定的负载电流，由于空载合闸3#变压器在2#变压器回路中引起的和应涌流二次谐波分量不足以闭锁2#主变差动保护；此外，差动保护功能的灵敏度推荐值 $0.3 \times I_n$ 和典型曲线3比较适合单台变压器的工况，对于双内桥主接线形势，多台变压器并列运行，容易出

现和应涌流的工况来讲，默认值有些偏小。

针对以上分析，为了提高双内桥主接线形式下差动保护的可靠性，防止差动保护误动作，从以下3个方面重新设定差动保护定值。

1) 提高差动保护灵敏度定值，从 $0.3 \times I_n$ 改为 $0.4 \times I_n$ 。

2) 选择特性曲线5，提高差动保护启动门槛值和比率制动值。

3) 降低二次谐波闭锁差动保护功能，将定值从15降低到10，以降低和应涌流的影响。

重新修正差动保护定值后，再次对3#主变进行冲击合闸试验，并观察2#主变差动保护动作情况，发现在随后的试验中2#主变差动保护发生过一次差动保护启动告警，差动保护计算程序启动，但装置能准确判断是由于干扰引起的，从而闭锁跳闸出口。这也说明修正后的定制比较适合多变压器并联运行方式下的运行方式。EA

(收稿日期：2016.05.17)

(编辑：杨得润)

(上接第89页)

因风门不严等情况，类似带载起动，电压下降到5.05 kV，为85% U_N ，满足运行要求。其他方法同

第一台引风机。起动第二台引风机时的电动机电流和电压趋势图如图2所示。

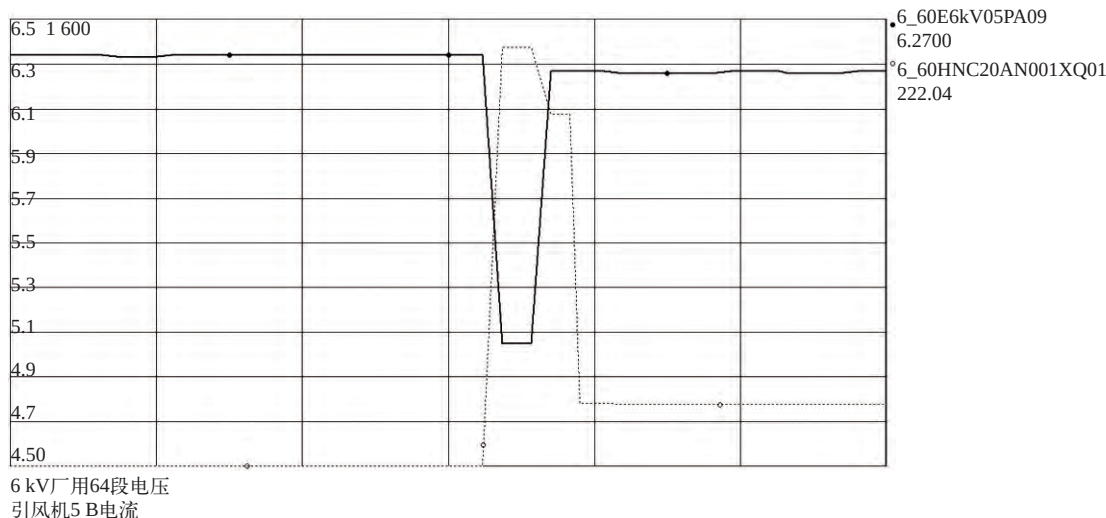


图2 起动第二台引风机时的电动机电流和电压趋势图

改造效果

2台1 000 MW机组引增合一改造后，机组经历多次起停。电动机的选型和起动方式，有效保障了机组起动的顺利、安全稳定。单台引风机运行，机组最大负荷550 MW，所选的引风机能满足1 000 MW满负荷稳定运行需要。

新引风机改造完成后进行了热态性能试验，在机组1 000 MW满负荷运行时，引风机、增压风机合并改造后引风机节电达3 208 kW·h，将使厂用电率下降0.32%，节电效果显著。EA

(收稿日期：2016.05.18)

(编辑：杨得润)