

1 000 MW 机组超低排放改造后引风机失速 原因分析及预防措施

Cause analysis and prevention on induced draft fan stalling after 1 000 MW
unit ultra-low emission transformation

种西虎,李广伟,靳军
CHONG Xihu, LI Guangwei, JIN Jun

(中电华创电力技术研究有限公司,上海 200086)
(China Power Huachuang Electricity Technology Research Company Limited, Shanghai 200086, China)

摘 要:超低排放改造后,某电厂 1 000 MW 机组动叶可调轴流式引风机频繁发生失速现象,从风机本体、设计参数、管网匹配性等方面入手,分析风机抢风失速原因,并提出了超低排放形势下引风机失速预防措施。

关键词:超低排放;轴流式引风机;失速;分析;预防措施

中图分类号:TK 223.26 **文献标志码:**B **文章编号:**1674-1951(2019)03-0067-04

Abstract: After the ultra-low emission transformation, there is frequent stalling on adjustable axial flow induced draft fan of a 1 000 MW unit. According to the body, design parameters and pipe network matching of the fan, the cause of fan stalling is analyzed and the prevention for the stalling of the induced draft fan after ultra-low emission transformation are proposed.

Keywords: ultra-low emission; axial flow induced draft fan; stalling; analysis; prevention

0 引言

风机是电站锅炉的重要辅机,其性能直接影响锅炉的可靠性和经济性。失速是风机常见故障,超低排放改造后,烟气侧管网阻力增加,引风机抢风失速现象多发,笔者对某电厂 1 000 MW 机组锅炉动叶可调轴流式引风机多次发生失速的原因进行详细分析,并提出了此类情形下预防风机失速的措施。

1 锅炉本体情况

某电厂三期 2 × 1 000 MW 超超临界燃煤锅炉为北京 B&W 公司生产的超超临界参数、螺旋炉膛、一次再热、平衡通风、固态排渣、全钢构架、露天布置锅炉,配有带循环泵的内置式启动系统。锅炉采用中速磨煤机冷一次风机直吹式制粉系统,前后墙对冲燃烧方式,配置 DRB-4Z 型和 AIREJET 型超低 NO_x 旋流燃烧器及燃尽风(OFA)喷口。锅炉尾部设置分烟道,采用烟气调温挡板调节再热器出口汽温。锅炉尾部烟道布置有选择性催化还原(SCR)脱硝装

置、三分仓容克式空气预热器(以下简称空预器)和低温省煤器。

每台锅炉配置两台 HU27648-AA 型双级动叶可调轴流式引风机。风机效率考核(BMCR)点参数:流量,729 m³/s;压力,8 790 Pa;风机设计(TB)点参数:流量,843 m³/s;压力,10 548 Pa。

2 轴流风机失速机理

轴流风机叶轮均采用了翼型叶片,气体与翼型叶片之间的相对运动就是翼型绕流。在翼型绕流特性分析中,定义相对运动方向与翼弦线(即翼型前后缘曲率中心之连线)的夹角为冲角(或攻角),如图 1 所示。冲角大小是影响机翼型绕流特性的最重要因素:冲角为零时,叶片产生较大的升力和较小的摩擦阻力;冲角增大时,叶片背水面尾部流动产生分离,外力有所增加而阻力(主要是形体阻力)的增加更大,叶片升阻比减小。当冲角增大到某一临界值后,流动分离点前移,分离区扩大,致使升力明显下降而阻力急剧增大,这种绕流现象称为脱流或失速^[1]。

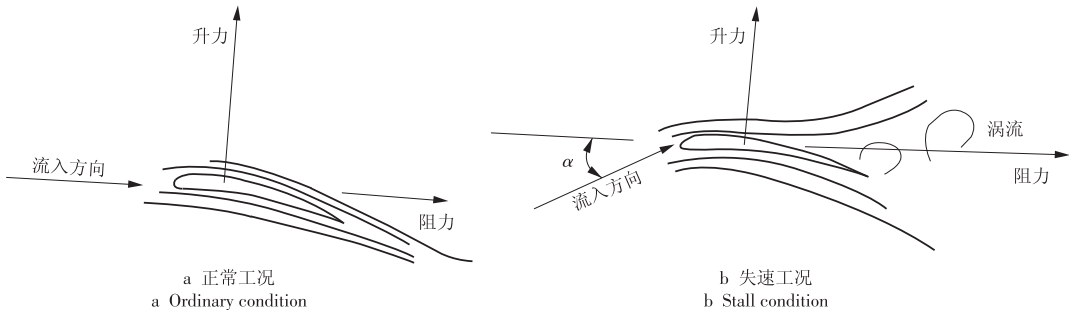


图 1 气流冲角的变化及失速的形成

Fig.1 Variation of airflow attack angle and formation of stalling

3 风机失速原因分析

3.1 失速现象

自超低排放改造以来,该电厂两台机组高负荷下引风机多次发生失速,导致机组主燃料跳闸(MFT)以及快速甩负荷(RB)动作等异常现象发生,现对其中 #5 机组的两次失速事件进行分析。

2017-05-31 T 12:18:16, #5 机组 A,B 引风机动叶开度分别为 87.3%,84.8%,A 引风机电流突降,B 引风机电流迅速增加,A 引风机发生失速,导致炉膛压力大幅波动,快速升高至 1 635 Pa,触发机组 RB,后经运行调整,恢复至正常状态。

2017-09-26,机组负荷为 969 MW,燃料量为 381 t/h,A,B 引风机电流分别为 415,421 A,动叶开度分别为 87.0%,82.0%。风机发生异常时,风机电流从 415 A 开始下降,风机流量开始下降,进出口压力跟随变化,动叶开度不变。约 5 s 后,风机电流已降至 290 A,风机流量持续下降,此时动叶开始动作,开度慢慢增大至 95%后维持不变,风机电流从 290 A 上升至 310 A 维持不变,持续约 15 s,期间烟气流量继续下降至 0。从风机电流开始异常下降至机组跳闸,持续约 30 s,触发炉膛压力高高保护动作,锅炉 MFT。

从管网匹配性、设计参数、风机本体等方面入手,对风机失速原因进行分析。

3.2 风机试验结果分析

超低排放改造后,在 100%,75%,50% 额定负

荷下进行了风机性能试验,试验结果见表 1。

3 个性能工作点在风机性能曲线上的位置如图 2 所示。由图 2 可知:整体烟道管网阻力特性曲线位于风机性能曲线偏左位置,沿程阻力大于设计值;实际流量小于设计值,运行曲线往左上方失速区靠近。

轴流式风机存在不稳定运行区域,它的工作特性由风机性能和管道特性共同决定。风机性能曲线由厂家给定,但在实际运行中,受基建安装、叶片磨损及管道阻力变化等因素影响,其工作特性会发生不同程度的改变^[2]。

现对验收试验数据、风机设计值及跳机前 5 A 引风机稳定运行工作点在风机性能曲线上进行比较分析。风机设计参数为图 2 中点 1~6,调取 #5 机组发生事故前的运行数据,在 970 MW 工况下,总给煤量为 381 t/h,空预器出口氧量约为 3.85%,估算得到此工作点单台引风机工质流量约为 532 m³/s,5 A 引风机全压为 7 517 Pa,比压能为 8 219 (N·m)/kg,工作点为图 2 中点 7,此工况下 5 A 引风机正常工作全压升远大于设计 THA 工况点对应的全压升 6 395 Pa,管系阻力较大。实际流量小于 THA 工况点设计值 621 m³/s,5 A 引风机处于高压头、低流量状况,工作点更靠近失速区。

3.3 风机设计参数分析

对引风机风量和风机压头进行校核计算,计算结果见表 2、表 3。

表 1 风机性能试验结果

Tab.1 Fan performance test results

项目	100% 额定负荷		75% 额定负荷		50% 额定负荷	
	A 引风机	B 引风机	A 引风机	B 引风机	A 引风机	B 引风机
流量/(m ³ ·s ⁻¹)	570.0	568.4	466.0	464.0	356.6	359.0
风机全压/Pa	6 793	6 839	5 102	5 152	4 072	4 072
比压能/[(N·m)·kg ⁻¹]	7 807	7 854	5 799	5 859	4 524	4 526
风机耗功/kW	5 189	5 144	3 205	3 171	2 291	2 261
风机效率/%	74.6	75.6	74.2	75.4	63.4	64.6

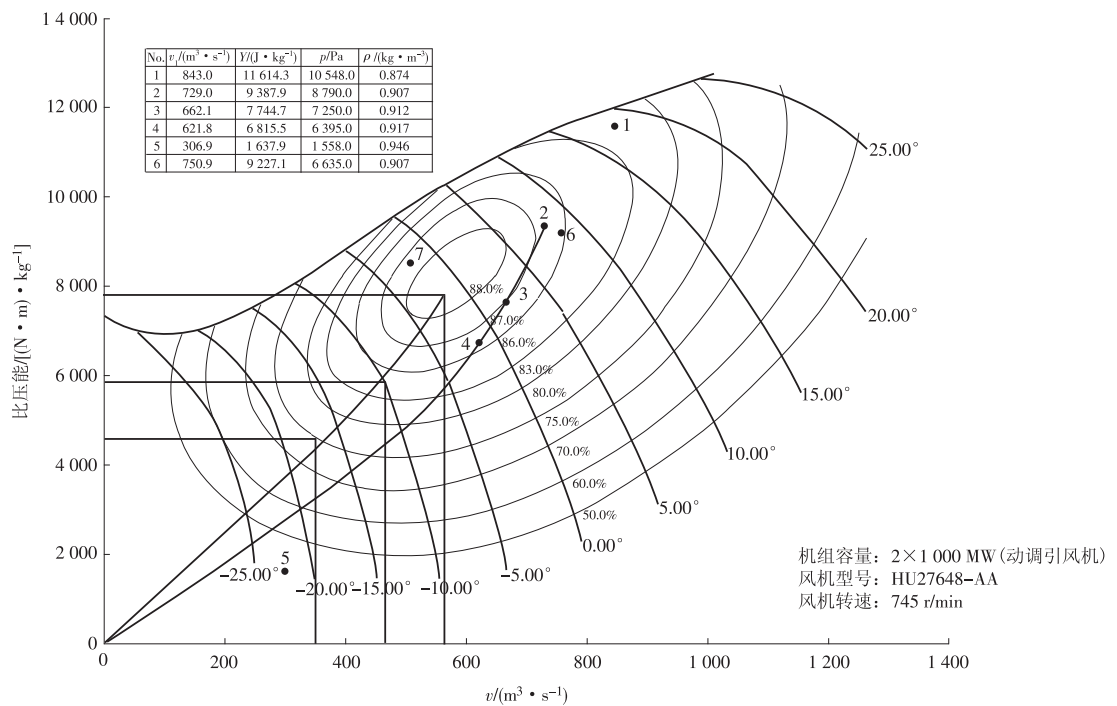


图 2 风机性能曲线

Fig.2 Fan performance curve

表 2 引风机风量计算结果

项目	计算结果	备注
空预器出口烟气流量/ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 124. 230 8	1 台锅炉
除尘器漏风率 + 烟道 漏风率/%	4	
BMC R 工况引风机流量/ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 171. 073 8	1 台锅炉
引风机进口烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	123	
除尘器出口烟气密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	0. 914 7	
BMC R 工况单台引风机 流量/($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	640. 140 9	
引风机风量裕量/%	10	
温度裕量/ $^{\circ}\text{C}$	15	
TB 工况单台引风机进口 流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	738. 209 6	1 台风机

根据 GB 50660—2011《大中型火力发电厂设计规范》要求,风机 TB 点风量裕量不小于 10%,风压裕量不小于 20%。由前文可知,HU27648 - AA 型动叶可调轴流式引风机 TB 点流量为 843 m³/s,压力为 10 548 Pa,经核算,TB 工况下单台引风机风量能达到要求,但全压升达不到要求,全压升裕量只有 14%,裕量偏小。

3.4 风机本体执行机构分析

利用机组临时停机机会,就地测量两台引风机动叶执行机构液压缸行程及叶片偏转行程,液压缸

行程测量结果见表 4。

表 3 引风机压头计算结果

Tab.3 Calculation results of induced draft fan pressure head	
项目	计算结果
锅炉水平烟道/Pa	409. 8
尾部烟道受热面/Pa	1 565. 8
预热器出口至电除尘入口/Pa	195. 6
电除尘出口至引风机入口/Pa	116. 5
引风机出口至低低温省煤器/Pa	249. 3
脱硝设备/Pa	1 000. 0
空预器/Pa	1 725. 0
电袋除尘器/Pa	1 200. 0
低低温省煤器/Pa	800. 0
脱硫设备/Pa	1 400. 0
脱硫设备至烟囱出口/Pa	398. 5
BMC R 工况风机全压/Pa	9 060. 5
风压裕量/%	20. 0
TB 工况风机全压/Pa	11 325. 6

表 4 液压缸行程测量值

Tab.4 Hydraulic cylinder stroke measurement					mm
引风机	开度/(°)				
	-40	-10	0	10	20
A 侧	134.0	89.0	74.0	60.0	45.0
B 侧	134.0	88.0	72.0	57.5	45.0

依据表 4 中的数据,在全行程调整过程中,两侧

引风机动叶执行机构的液压缸全行程线性较好,两侧引风机数据基本一致,偏差较小。叶片偏转行程测量结果见表 5。

表 5 叶片偏转行程测量值

Tab.5 Blade deflection stroke measurements		mm
引风机	开度/(°)	
	-40	20
A 侧	147.0	33.0
B 侧	146.0	33.5

叶片偏转行程测量的是叶片根部到轮毂边缘的距离,以轮毂边缘某位置为基准,叶片根部某位置为相对测量点,叶片转动过程中,两位置相对位移发生变化,以变化距离作为叶片转动角度的数据,并对叶片整体转动情况进行观察。从测量数据看,两侧引风机的行程基本一致,偏差较小。

根据测量结果,两台引风机动叶执行机构的液压缸行程和叶片偏转行程基本一致,无明显问题。因此推断,风机发生失速与风机本体执行机构关联性不大。

2017 年 5 月 31 日以及 2017 年 9 月 26 日 5 A 引风机两次运行失速喘振都是在机组高负荷时发生的,高负荷时引风机出力相对较大,呈现动叶开度大、工作电流高的特点。在风烟系统阻力增大的情况下,管路特性曲线往左偏移,运行曲线往左上方失速区靠近,引风机需要不断增加出力来维持炉膛负压,引风机电流会随着动叶开度的增大而变大,导致风机工作点更靠近失速区甚至进入失速区,风机首先失速。失速恶化引发喘振并出现和另一台风机抢风的现象,两侧风机流量、工作电流出现突升、突降。另一方面,随着风机出力的增加,动叶开度增大,大于某开度后,叶轮中某些叶片可能进入正冲角临界区,导致部分叶片失速,同时会加大流体阻力,进而阻塞流道,最终引发风机失速喘振。系统和风机本体两方面共同作用,恶化了风机工作环境。以此推断,两次引风机异常事件皆是此类情形。

4 引风机失速预防措施

为改善风机运行状态,提高其运行稳定性,根据目前引风机运行环境,从风机所在管网及风机本身着手,提出以下预防措施。

(1)运行期间,尤其高负荷期间,关注引风机压升变化情况,避免风机在高压头、低流量下运行,使运行工作点远离失速区。注意烟风系统阻力变化,

风门、挡板应处于合理位置。加强锅炉受热面、空预器、脱硝反应器等设备的吹灰工作,减少其阻力,合理控制电袋除尘器、脱硫塔阻力。停炉期间,检查受热面、烟道(尤其是水平烟道)的积灰情况并做好清灰工作,减少烟道阻力。

(2)运行中尽可能控制风机动叶开度,一旦超过某个范围,需要通过降低机组负荷和降低锅炉运行氧量来控制,但长期压低锅炉运行氧量容易导致炉膛受热面高温腐蚀并影响锅炉效率。

(3)利用停炉机会,对引风机动叶执行机构、叶片安装角、叶片部件磨损情况及液压油系统进行全面检查,确保动叶执行机构开度和信号反馈一致,排除风机并联运行时出力不均的干扰因素,提高风机动叶自动调节性能,保证两台并联运行风机的出力均匀,避免运行时发生抢风事件。

(4)平时运行时,应控制两侧引风机出力偏差,增加两侧电流偏差大报警,两侧风机电流偏差一旦超过设定值,报警提醒运行人员,切手动进行人为干预,控制两侧流量偏差,减小动叶开度。尤其在高负荷时,切手动调整可能无法控制炉膛负压,要立即减少给煤量,降低机组负荷,减少两台引风机出力。风机喘振消失后再投入自动调节,并持续跟踪观察风机运行情况,以及保持炉膛负压稳定。

5 结论

机组超低排放改造后,机组引风机失速事件呈现频发态势,如果引风机设计选型时风压和风量裕量选取不够,会造成运行时引风机出力不够,高负荷下易发生失速。因此,为预防超低排放改造后引风机失速现象发生,一方面要重新进行管网沿程阻力和风机试验,重新评估现行条件下风机和管网的匹配性;另一方面,应根据风机特性,采取合理的运行方式,避免风机在失速区附近运行。

参考文献:

[1]郭立君. 泵与风机[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
[2]董万印. 锅炉轴流式风机失速原因分析及防范对策[J]. 发电设备,2006,20(4):266-269.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

种西虎(1986—),男,河南商丘人,工程师,从事电站节能运行管理工作(E-mail:chongxihu@126.com)。