

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.009

某 350 MW 供热机组单双列风机配置分析

石韬, 吴阿峰, 樊晓茹, 霍沛强

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]为了分析某 350 MW 超临界供热机组风机配置的合理性。[方法]结合风机可靠性、供热要求以及最小年费分析法,对单列风机配置和双列风机配置进行对比。[结果]结果表明:单列风机不停机可靠率比双列风机略低,但在高负荷运行的工况下,单列风机供热可靠性反而更高。单列风机配置经济性优势明显。对长时间运行在高负荷的供热机组来说,采用单列风机配置合理性更高。[结论]研究结论不仅适用于本工程,还可为其它供热机组提供参考。

关键词: 风机配置方案; 可靠性; 经济比较

中图分类号: TM611; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)04-0059-05

Analysis on Single or Double Row Fan Configuration for a 350 MW Heat Supply Unit

Shi Tao, Wu Afeng, Fan Xiaoru, Huo Peiqiang

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] In order to analyze the reasonability of the fan configuration of a 350 MW supercritical heating unit. [Method] In this paper, the single-row configuration and double-row fan configuration was compared, it took the reliability of fans, the requirements of engineering heating and minimum annual fee method into consideration. [Result] The results demonstrate that the un-stopped reliability rate of single-row fan configuration is slightly lower than double-row fan configuration. However, under the condition of high load operation, the heating supply reliability of single-row fan is higher. Single-row fan configuration economic advantage is obvious. Therefore, it is more reasonable to adopt single-row fan for heating units which operates under high load operation for a long time. [Conclusion] The conclusion of this study is not only applicable to this project, but also can provide guidance for other heating unit.

Key words: fan configuration scheme; reliability; economic comparison

大火规明确规定,火力发电机组的风机宜设置两台^[1],目前国内火电机组大多按此设计。而单列风机布置方案在国外应用较多,且有较为成熟的制造和运行经验。近些年,随着国产风机制造水平的进步,电厂运行经验的提高,风机实际运行可靠性也逐年提升,已接近甚至超过了锅炉主机^[2]。这为采用单列风机布置提供了理论基础。传统的双列风机因有备用,可以大大提高机组的不停机可靠性。但随着风机数量的增多,因单台风机故障而降负荷运行的概率大大增高,这对要求长期运行在高负荷率的机组是不允许的。双列风机的投资和运行维护

成本更高,投资回收期也 longer,在目前国内火电行业走低的大形势下,性价比的劣势更为突出。因此在风机配置的选型过程中,建议将经济效益纳入到考虑因素中,结合工程的特殊要求(如供热最低负荷等)对不同工况下机组的可靠性进行具体分析。目前国内新建工程中供热机组比例逐年上升,本文通过对供热机组案例的分析,为后续同类型机组风机配置选型提供参考。

1 单双列风机配置的区别

三大风机采用单列布置,相对国内主流的双列布置而言,不再需要风机之间的联接管及其关断门;另外,在保证系统主要管道流速不变的前提下,单台风机布置比双列风机布置在设备接口管道断面各方向的尺寸要增加 41% 左右;在联锁控制

收稿日期: 2018-09-17 修回日期: 2018-12-18

基金项目: 中国能建广东院科技项目“中小型机组移植高参数的关键技术研究”(EX05141W)

上,由于不存在两台风机并列运行的情况,两侧风机依次启动或停运的逻辑已经不存在,跳一侧风机而采取的相应保护也需相应取消。

2 风机可靠性数据

传统观念认为,双列风机布置的可靠性要高于单列布置,因此在大型机组上都倾向于双列风机的方案。但是随着辅机技术和质量的进步,辅机可靠性已经超过锅炉主机。在此前提下,方案选型时,经济效益已经成为一个重要因素。目前电力行业的大型风机已经完全实现国产化,质量已趋于稳定,多年统计数据表明,风机的可靠性都达到99.9%以上,已高于锅炉主设备。根据中电联2018年发布的运行可靠性指标数据,大中型火电机组送风机平均可用系数为0.9997,引风机的平均可用系数为0.9998,非停率均为0.03%。

中电联提供的指标中不含一次风机可靠性数据,结合各个电厂的运行的实际信息,本文一次风机平均可用系数按0.9996进行考虑,非停率为0.03%^[3]。

由此可知,三大风机可靠性已超过99.96%。考虑波动,本文假定风机的平均可靠性为99.95%。

假设单台一次风机的可靠性为 r_P 、单台送风机可靠性为 r_F 、单台引风机的可靠性为 r_D ,如果每种风机配置2台,假设两侧风机的可靠性理论上一致,则可以假设以下等式成立:

$$r_P = r_{P1} = r_{P2} \quad (1)$$

$$r_F = r_{F1} = r_{F2} \quad (2)$$

$$r_D = r_{D1} = r_{D2} \quad (3)$$

基于以上假设,对三大风机两种配置方案的可靠性进行理论对比,以分析不同方案对机组整体可靠性的影响。

3 风机故障引起事故概率比较

3.1 机组高负荷状态

不管风机采用何种配置方案,若不考虑容量备用或者数量备用,当机组负荷较高的时候,任意一台风机故障,都会引起机组降负荷或停机。

为了分析更好的分析两种方案在各负荷段下的可靠性,本文将对单双列风机的可靠率进行计算对比。公式中 m 表示停机概率, r 表示风机可靠性,数字1,2分别代表单双列风机配置;高,低分别

代表60%~100%高负荷段,60%以下的低负荷段;字母P,F,D分别代表一次风机,送风机和引风机。例如: $m_{1,高}$ 表示单列风机在60%~100%高负荷下的停机概率, $r_{2,低}$ 表示双列风机在60%以下的低负荷的可靠率。

对于单列风机的方案,机组在60%~100%负荷下因风机故障引起停机的概率为:

$$\begin{aligned} m_{1,高} &= 1 - r_P \times r_F \times r_D \\ &= 1 - 99.95\% \times 99.95\% \times 99.95\% \\ &= 0.15\% \end{aligned} \quad (4)$$

对于双列风机的方案,只有两侧设备一起发生故障才可能停机,其概率为:

$$\begin{aligned} &1 - (1 - m_{P1} \times m_{P2}) \times (1 - m_{F1} \times m_{F2}) \\ &\quad \times (1 - m_{D1} \times m_{D2}) = 0.000675\% \end{aligned} \quad (5)$$

对于双列风机的方案,机组在60%~100%负荷下因风机故障引起降负荷的概率为:

$$\begin{aligned} m_{2,高} &= 1 - r_{P1} \times r_{F1} \times r_{D1} \times r_{P2} \times r_{F2} \times r_{D2} - 0.000075\% \\ &= 1 - 99.95\% \times 99.95\% \times 99.95\% \times 99.95\% \\ &\quad \times 99.95\% \times 99.95\% - 0.000675\% \\ &= 0.29895\% \end{aligned} \quad (6)$$

从上可知,单列风机方案因为没有设置备用,一旦某台风机故障,就将直接导致机组停机,停机的概率为0.15%;双列风机方案因为有备用,单台风机故障并不会直接导致停机,只会引起机组降负荷,降负荷的运行的概率为0.29895%,同类型两台风机同时故障导致停机的概率为0.000675%。

由此可见,当机组在60%~100%的高负荷段运行时,单从停机率方面来考虑,双列风机的可靠性远远高于单列风机。但从供热可靠性的角度来考虑,尤其是对于必须运行在60%以上负荷才能供热的机组来说,单列风机可靠性的优势就凸显出来。单列风机供热中断的概率等于其停机率,仅为0.15%,而双列风机降负荷与停机率都将导致供热中断,供热中断概率约为0.299625%,是单列风机的两倍。

3.2 机组中低负荷状态

当机组负荷较低时,采用单列风机布置的方案,任何一台风机设备故障,仍会引起机组停机,因此低负荷情况下因风机故障引起停机的概率仍为式(4)的结果。

$$m_{1,低} = m_{1,高} = 0.15\% \quad (7)$$

对于双列风机的方案,机组低负荷下运行仍按

照两台并列运行方式, 其中单台风机故障时, 机组如果能成功控制运行状态稳定, 则可以在短时间降低负荷以后, 通过运行调节重新恢复到 50% 负荷以上。也就是说, 只有两台同类型风机同时发生故障才会引起机组停机。

$$\begin{aligned} r_{2,低} &= (r_{p1} + r_{p2} - r_{p1} \times r_{p2}) \times (r_{p1} + r_{p2} - r_{p1} \times r_{p2}) \\ &\quad \times (r_{p1} + r_{p2} - r_{p1} \times r_{p2}) \\ &= (99.95\% + 99.95\% - 99.95\% \times 99.95\%) \\ &\quad \times (99.95\% + 99.95\% - 99.95\% \times 99.95\%) \\ &\quad \times (99.95\% + 99.95\% - 99.95\% \times 99.95\%) \\ &= 99.999\ 975\% \times 99.999\ 975\% \times 99.999\ 975\% \\ &= 99.999\ 925\% \end{aligned} \quad (8)$$

$$m_{2,低} = 1 - r_{2,低} = 0.000\ 075\% \quad (9)$$

由此可见, 在低负荷运行状态下, 如果只是一台风机故障, 且切换成单台运行成功的前提下, 双列风机方案的故障率也是非常低的。至于切换成单台运行的成功率, 涉及到整个系统的反应能力以及运行人员的操作水平, 涉及因素太多, 不便进行理论推导, 本项目暂假定切换全部可以成功。即使考虑到有一部分切换操作不成功的情况, 因为 $m_{2,低}$ 在数量级上远远小于 $m_{1,低}$, 因此双列风机的方案引起停机的概率还是小于单台方案。

4 风机故障引起停机概率比较

单列风机方案一旦其中一台风机故障, 就会引起机组停机, 停机概率等于三大风机串联系统故障率, 即停机概率等于 $m_{1,高}$ 或者 $m_{1,低}$ 。

双列风机的方案, 无论在高负荷还是低负荷, 单台风机故障时, 只要能成功切换到单侧运行, 机组并不会停机, 只有两侧风机同时发生故障, 才会引起停机, 即停机概率等于 $m_{2,低}$ 。但前提是两侧风机设置有联通管, 每一台风机都可以带起两侧系统运行, 若没有设联通管, 即使采用双列风机方案, 也会因任何一台风机故障引发机组停机^[4]。而且因其配置的设备数量多, 停机概率更高, 停机概率等于 $m_{2,高}$ 。常规的燃烧系统中通常都会设置联通管, 一次风的联通管在磨煤机前, 二次风的联通管在空预器出口或在热风风箱上, 烟气的联络设置在除尘器出口。故若采用双列风机方案, 机组停机概率实际应为 $m_{2,低}$ 。

5 风机故障对机组供热可靠率的影响

本工程为 350 MW 超临界供热机组, 有中压供

热蒸汽和低压供热蒸汽。按照《大中型火力发电厂设计技术规定》中关于供热的规定: 当一台容量最大的蒸汽锅炉停运时, 其余锅炉的对外供汽能力若不能满足热力用户连续生产所需的 100% 生产用汽量和 60% ~ 75% (严寒地区取上限) 冬季采暖、通风及生活用热量的要求时, 应有热网配置其他备用热源。

对于供热机组来说, 供热可靠率是机组运行种非常关键的因素, 也是考核机组稳定性的重要指标。对于必须运行在高负荷才能保证供热要求的机组来说, 机组降负荷将导致无法正常供热, 从某种意义上来说, 降负荷率就相当于停机率。双列风机因设备多, 设备故障可能性大, 直接增加了机组降负荷的概率, 从而导致机组无法正常供热。经 3.1 章节核算, 双列风机无法正常供热的概率为 0.299 625%, 单列风机无法正常供热的概率为 0.15%, 单列风机供热可靠性更高。但是对于在 60% 负荷以下仍能满足供热要求的机组来说, 机组的降负荷率对供热可靠性没有影响, 供热可靠率仅由停机率决定, 那么停机率更低的双列风机在供热可靠性方面优势更加明显。

6 经济比较

6.1 初投资比较

风机配置方案投资对比表如表 1 所示。

表 1 风机配置方案投资对比表

Tab. 1 The investment comparison table of fan configuration

万元				
机组容量	设备明细	双列	单列	风机型式
2 × 350 MW	一次风机	491.6	361.5	动叶可调
	送风机	303.0	227.4	动叶可调
	引风机	589.0	431.5	动叶可调
	总计	1 383.6	1 020.4	—
单列风机节约投资额		363.2		—

表 1 中风机型式为本工程的推荐方案, 可以看出, 采用单列风机, 仅设备价格 2 台机组就可以降低投资额 363.2 万。另外因为单列风机配套系统简单, 风门数目减少, 相应的投资额也会大大下降。

6.2 经济性计算输入数据

本工程采用电力行业较为认可的最小年费法进行技术经济比较。计算公式如下:

$$NF = f \times Z + U \quad (10)$$

式中: NF 为年费用; f 为固定费用率, 本工程取 0.17; Z 为设备投资费用; U 为运行费用; 需要说明的是: 为简化计算, 机组大修费和管理费均已统计在入固定费用率中。

本文标准煤价格按 650 元/t; 年发电标煤耗按照 272 g/kWh 进行计算; 大修费用按照 5 年均摊到每一年, 作为年运行费用; 风机的年运行费用包括年运行电耗和折算到每年的大修费用。电耗成本按照风机耗功率乘以标煤价格乘以年平均发电标煤耗值计算^[5]。

6.3 经济性比较结果

如前所述, 年运行费用主要考虑年运行电耗和折现的大修费用。本工程一次风机、送风机, 引风机均采用动叶可调轴流式, 单双列风机的性能曲线相近, 各工况点的运行效率基本相当。因此, 在本专题报告中, 单双列风机方案的年运行电耗可以认为相同。三大风机年运行费用如表 2 所示。

表 2 三大风机年运行费用

Tab. 2 The annual operating costs of three major fans

项 目	单 位	一次风机		送风机		引风机	
		双列	单列	双列	单列	双列	单列
每年分摊大修费用	万元	10	5	10	5	20	10

如表 2 所示, 采用单双列风机的风机年运行电耗相当, 考虑大修费用后, 采用单列风机的年运行费用最低, 单台 350 MW 机组可节约年运行费用 20 万元。设备报价见表 1。年费用主要包括年运行费用及投资额折算值, 风机配置方案年费用对比表如表 3 所示。

表 3 风机配置方案年费用对比表

Tab. 3 The annual cost comparison table of fan configuration

项 目	scheme						万元
	一次风机		送风机		引风机		
	双列	单列	双列	单列	双列	单列	
设备投资费用	491.6	361.5	303.0	227.4	589.0	431.5	
固定费用率	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
厂用电费用	—	—	—	—	—	—	
分摊大修费用	10	5	10	5	20	10	
年费用	223.54	197.92	148.90	132.05	491.89	464.50	
年费用排序	2	1	2	1	2	1	

通过表 3 所示的经济性比较最终结果可以看

出, 年费用均为单列风机方案占优。

需要说明的是, 采用单列风机方案的厂用电费用明细要低于双列风机方案的厂用电费, 故比较未详细列出具体金额; 与设备投资相比, 土建基础投资的份额较小, 故上表并没有列入土建基础的费用。单列风机土建基础工程量约为双列风机的一半, 土建费用明显低于双列风机; 与此同时, 采用单列风机方案可以减少风门的数量, 简化控制系统等。综上所述, 单列风机经济性优势明显。

7 结论

本工程推荐采用单列风机配置, 主要结论及建议如下:

1) 本工程为 350 MW 超临界供热机组, 为保证抽气参数的稳定性, 将长期运行在高负荷(约 75% THA 工况)。若采用单列风机, 高负荷不停机的可靠率为 99.85%, 比双列风机的可靠率的 99.99% 低 0.14 个百分点; 但若考虑到机组降负荷率对供热可靠性的影响, 双列风机供热可靠率仅为 99.70%, 比单列风机的供热可靠性低 0.15 个百分点。从保证供热可靠性的角度来说, 采用单列风机更有优势。

2) 当一台机组故障时, 另一台机组抽汽可以满足全部供热负荷。故虽然单列风机保证机组不停机的可靠率略低, 但不影响到机组的对外供热要求, 技术上可行性高。

3) 单列风机配置方案简化了系统, 相应的系统配置如风门和控制流程也得到了相应的精简; 布置上灵活性更高, 检修维护更加方便, 系统的材料耗量骤减, 投资费用优势明显。运行过程中因风机之间风量分配不均而导致的一系列问题也从根本上得到解决。

4) 对辅机可靠性的重视应等同于主机, 招标时应倾向于选择可靠性更高的产品, 在机组运行过程中应加强对设备的运行维护, 提高关键部件的安全可靠指数。

5) 本文所选分析案例为供热机组, 在停机或大修期间, 需要对主要辅机设备进行必要的检查维护, 尽量保证辅机设备的可靠性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部和中华人民共和国国家质

量监督检验检疫总局. 大中型火力发电厂设计规范: GB 50660—2011 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2011.

The Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China & General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of fossil fired power plant: GB 50660—2011 [S]. Beijing: China Planning Press, 2011.

- [2] 吴阿峰, 谭灿桑. 火力发电厂风机单双列配置的技术经济分析 [J]. 发电设备, 2012, 26(2): 88-92.
WU A F, TAN C S. Technical and economical analysis on single-and dual-train fan configuration in thermal power plants [J]. Power Equipment, 2012, 26(2): 88-92.
- [3] 李丽君, 韩建英, 陈兵兵. 锅炉单列辅机配置对机组运行可靠性研究 [J]. 电站系统工程, 2015, 31(3): 37-40.
LI L J, HAN J Y, CHEN B B. Study on reliability analysis of single auxiliary equipment configuration for boiler [J]. Power System Engineering, 2015, 31(3): 37-40.
- [4] 吴阿峰, 潘灏, 谭灿桑. 1 GW 超超临界燃煤锅炉引风机配置的技术经济分析 [J]. 发电设备, 2009, 23(2): 136-139+143.
WU A F, PAN H, TAN C S. Configuration of induced fan for coal-fired boilers of 1 GW ultra supercritical power plants [J]. Power Equipment, 2009, 23(2): 136-139+143.
- [5] 赵予生, 林久春. 1 GW 机组锅炉联合引风机应用分析 [J]. 吉林电力, 2013, 41(1): 49-51.
ZHAO Y S, LIN J C. Application analysis of 1 GW boiler combined induced fan [J]. Jilin Electric Power, 2013, 41(1):

49-51.

作者简介:



SHI T

石韬(通信作者)

1986-, 男, 湖南湘潭人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机及环保设计研究工作 (e-mail) shitao@gedi.com.cn.

吴阿峰

1981-, 女, 山东青岛人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作 (e-mail) wuafeng@gedi.com.cn.

樊晓茹

1973-, 女, 河南郑州人, 教授级高级工程师, 学士, 主要从事火力发电厂热机及环保设计 (e-mail) fanxiaoru@gedi.com.cn.

霍沛强

1975-, 男, 广东广州人, 高级工程师, 学士, 主要从事火电厂设计工作 (e-mail) huopeiqiang@gedi.com.cn.

(责任编辑 李辉)

