

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.02.007

# 1 000 MW 燃煤机组引风机与增压风机改造研究

刘广林, 尹进

(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]为确保锅炉烟气系统的正常运行,国内燃煤发电机组实施超低排放改造后,引风机及增压风机需要进行改造。[方法]以某1 000 MW燃煤机组为例从技术角度对引风机及增压风机三种可行的改造方案(只改引风机、只改增压风机以及增引合并)进行了比较,并结合工程实际情况进行了经济计算。[结果]得出增引合并方案的综合技术经济性最优。[结论]此比选方法和改造方案对其他燃煤机组引风机改造有较高的参考价值。

**关键词:** 超低排放改造; 引风机; 增压风机; 增引合并; 技术经济比较

中图分类号: TM611; TM621

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)02-0038-05

## Research on Reformation of Induced Draft Fan and Booster Fan for 1 000 MW Coal-fired Power Plant

LIU Guanglin, YIN Jin

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

**Abstract:** [Introduction] In order to ensure the normal operation of the flue gas system of boiler, after the domestic coal-fired power plant is implemented with ultra-low emission reform, the induced draft fan and the booster fan need to be reform. [Method] Taking a 1 000 MW coal-fired unit as an example, the three possible reforming schemes of the induced draft fan and the booster fan (only the induced draft fan was changed, the booster fan was only changed, and the induced draft fan and booster fan were merged) were compared from the technical aspect, and made an economic calculation based on the actual unit. [Result] The result shows the merger scheme has lower cost. [Conclusion] This comparison method and modification scheme have high reference value for the induced draft fans reformation of other coal-fired power plant.

**Key words:** ultra-low emission reformation; induced draft fan; booster fan; merger of ID fan and booster fan; technical and economic comparison

由于环保排放标准的日益严格,国内大型燃煤机组纷纷实施超洁净排放改造,如脱硝增容改造、静电除尘器前增设低温省煤器、湿法脱硫增加喷淋层等<sup>[1]</sup>。

某1 000 MW机组拟在2016—2018年进行超低排放改造,由于超低排放改造完成后,引风机及增压风机入口烟温、介质密度、烟气量及全压升均发生较大变化,为确保锅炉烟气系统以及各烟气净化

设备的正常运行,引风机及增压风机需要进行改造或更换<sup>[2]</sup>。由于1 000 MW机组引风机及增压风机电动机功率变化对原有厂用电系统影响较大<sup>[3]</sup>,故应结合电厂的实际条件,对引风机及增压风机改造方案进行技术经济比选,得出适合工程的风机改造方案。

### 1 引风机设备现有状况

该1 000 MW机组设置2台引风机和2台增压风机。引风机型式为静叶可调轴流式,增压风机型式为动叶可调轴流式,引风机与增压风机均采用电动机定速驱动。原引风机和增压风机技术参数如表

1 和表 2 所示。

表 1 原引风机主要设计技术参数(TB 点)

Tab. 1 Main design parameters of the original induced draft fan (TB point)

参数项目	数 值
风机压升/kPa	6.842
风机流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	$2.912\ 760 \times 10^6$
入口介质密度/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	0.903
入口介质温度/ $^{\circ}\text{C}$	125
额定功率/MW	6.900
额定电压/kV	6

表 2 增压风机主要设计技术参数(TB 点)

Tab. 2 Main design parameters of the booster fan(TB point)

参数项目	数 值
风机压升/kPa	3.450
风机流量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	$2.77 \times 10^6$
额定功率/MW	3.4
额定电压/kV	6

## 2 引风机及增压风机改造方案选择

### 2.1 引风机及增压风机入口参数确定

引风机及增压风机改造方案核心是风机选型参数的选取。引风机及增压风机的选型参数主要有风机入口流量、入口温度、入口介质密度和风机全压升等。

#### 2.1.1 引风机及增压风机入口温度参数的选取

由于超低排放改造的需要,烟气再热装置由回转式 GGH 改为 MGGH。MGGH 烟气放热段设置在静电除尘器前,原静电除尘器拟采用低低温静电除尘强化方案,因此引风机改造方案中,其引风机入口烟温的选取按照  $90\ ^{\circ}\text{C}$ ;增压风机改造方案中,其增压风机入口烟温的选取按照  $95\ ^{\circ}\text{C}$ (考虑引风机温升  $5\ ^{\circ}\text{C}$ )。

#### 2.1.2 引风机及增压风机入口流量参数的选取

原静叶可调轴流式引风机选型参数中,引风机入口流量 BMCR 工况为  $2.366\ 280 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ,即  $657.3\ \text{m}^3/\text{s}$ ,该设计工况相对应的烟气设计温度为  $115\ ^{\circ}\text{C}$ ,烟气设计介质密度为  $0.903\ 0\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。原选型参数烟气流量按常压  $101.3\ \text{kPa}$ ,未考虑引风机入口负压修正。

引风机改造方案中,其引风机入口烟气流量的

选取按照理论计算工况烟气量,并进行负压修正,引风机入口流量为  $2.328\ 758 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ,即  $646.9\ \text{m}^3/\text{s}$ (相对温度为  $90\ ^{\circ}\text{C}$ ,入口负压  $5\ \text{kPa}$ )。

增压风机改造方案中,其增压风机入口烟气流量的选取按照理论计算工况烟气量,增压风机入口流量为  $2.244\ 306 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ,即  $623.4\ \text{m}^3/\text{s}$ (设计温度为  $95\ ^{\circ}\text{C}$ )。

#### 2.1.3 引风机及增压风机入口密度参数的选取

理论设计数值烟气介质密度为  $0.928\ 1\ \text{kg}/\text{m}^3$ ,其对应烟气温度为  $115\ ^{\circ}\text{C}$ ,换算到现引风机入口温度  $90\ ^{\circ}\text{C}$ ,并考虑负压修正,烟气密度约为  $0.943\ 1\ \text{kg}/\text{m}^3$ ;换算到增压风机入口温度  $95\ ^{\circ}\text{C}$ ,烟气密度约为  $0.978\ 5\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

#### 2.1.4 引风机全压升、引风机及增压风机联合全压升

##### 1) 增引合并,引风机全压升

机组超低排放改造包括湿式脱硫塔增加除雾层和脱硫塔后增加湿式除尘器,改造后,“增引合并”引风机改造方案中,其引风机和增压风机联合全压升的选取按照初步计算值  $9.3\ \text{kPa}$ (BMCR 工况)考虑。

##### 2) 增引不合并,引风机及增压风机联合全压升

国内某  $1\ 000\ \text{MW}$  机组超低排放改造后,“增引不合并”引风机及增压风机改造方案中,其引风机和增压风机联合全压升的选取按照初步计算值  $10.25\ \text{kPa}$  考虑。

#### 2.1.5 引风机及增压风机改造方案参数

引风机理论计算工况烟气流量修正后约为  $2.328\ 758 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ,即  $646.9\ \text{m}^3/\text{s}$ ,温度  $90\ ^{\circ}\text{C}$ ,烟气介质密度为  $0.943\ 1\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

增压风机理论计算工况烟气流量修正后约为  $2.244\ 306 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ,即  $623.4\ \text{m}^3/\text{s}$ ,温度  $95\ ^{\circ}\text{C}$ ,烟气介质密度为  $0.978\ 5\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

## 2.2 引风机及增压风机改造方案

### 2.2.1 引风机单独改造,增压风机型号不变(方案一)

1) 引风机 BMCR 工况阻力  $7.1\ \text{kPa}$ ,增压风机 BMCR 工况阻力为  $3.15\ \text{kPa}$ 。原引风机型号改变,转速为  $735\ \text{r}/\text{min}$ ,电机功率为  $7.5\ \text{MW}$ 。增压风机及其电动机型号不变。

2) 引风机改造方案为:原风机本体需要更换机壳装配、中间轴、叶轮装配、小集流器、扩压器、

活节装配、出口膨胀节、失速报警差压取样管、润滑管路。原进气箱、进口膨胀节、主轴承装配若使用完好可利旧<sup>[4]</sup>；失速报警差压开关、测振装置、电动执行器、就地仪表箱若使用完好可利旧。

3) 增压风机进行相应的防腐改造，防止低温烟气腐蚀。

方案一电气专业改造方案如下：

1) 增压风机不改造，电动机功率仍为 3.4 MW；引风机电机改为 7.5 MW。原引风机为 6.9 MW，每台引风机仅增加 600 kW。原分裂变压器计算负荷为 44.107 5/25.126 5 - 25.126 5 MVA，引风机增大后计算负荷为 45.127 5/25.636 5 - 25.636 5 MVA，原分裂厂高变容量为 45/26 - 26 MVA，满足要求。

2) 每台机组脱硫系统以及 MGGH 系统新增 2 台 1.550 MW 循环泵，新增 2 台 450 kW 热媒水循环泵(1 用 1 备)。新增计算负荷约 3.017 5 MVA。

3) 每台机新增 1 台湿式管式静电除尘器，考虑到其它低压负荷，每台机新设容量为 1.250 MVA 的湿式除尘变 1 台。

4) 上述新增负荷按全部接入脱硫段考虑，新增计算负荷 4.017 5 MVA。双卷变压器所带 C 段目前计算负荷 31.428 5 MVA，改造后 C 段负荷 35.446 MVA。原双绕组变压器为 33 MVA，容量不满足要求。厂高变改造可增容 10%，则厂高变可增容为 36.3 MVA，增容后厂高变容量满足增引合并要求。

2.2.2 引风机型号不变，增压风机单独改造(方案二)

1) 引风机 BMCR 工况阻力 6 kPa，增压风机 BMCR 工况阻力为 4.250 kPa。原增压风机型号改变，转速为 745 r/min，电机功率为 4.5 MW。引风机及其电机型号不变。

2) 增压风机改造方案为：原增压风机需要全部更换，无可利旧部件。失速报警差压开关、测振装置、电动执行器、就地仪表箱若使用完好可利旧。

3) 引风机进行相应的防腐改造，防止低温烟气腐蚀。

方案二电气专业改造方案如下：

1) 引风机不改造，电动机功率仍为 6.9 MW。原分裂变压器计算负荷为 44.107 5/25.126 5 - 25.126 5 MVA，原分裂厂高变容量为 45/26 - 26 MVA，满足要求。

2) 增压风机改造后，电动机功率为 4.5 MW；增压风机接在脱硫段上，增压风机增加负荷 1.1 MW，新增计算负荷 935 kVA。

3) 每台机组脱硫系统以及 MGGH 系统新增 2 台 1.55 MW 循环泵，新增 2 台 450 kW 热媒水循环泵(1 用 1 备)。新增计算负荷约 3.017 5 MVA。

4) 每台机新增 1 台湿式管式静电除尘器，考虑到其它低压负荷，每台机新设容量为 1.250 MVA 的湿式除尘变 1 台。

5) 上述新增负荷按全部接入脱硫段考虑，新增计算负荷 4.952 5 MVA。双卷变压器所带 C 段目前计算负荷 31.428 5 MVA，改造后 C 段负荷 36.381 MVA。原双绕组变压器为 33 MVA，容量不满足要求。厂高变改造可增容 10%，则厂高变可增容为 36.3 MVA，增容后厂高变容量满足增引合并要求。

2.2.3 增引合并，取消增压风机(方案三)

“增引合并”引风机改造方案主要是取消增压风机，引风机由原有静叶可调轴流式更换为动叶可调轴流式，并由引风机克服整个烟气系统(包括脱硫系统)的阻力。

“增引合并”引风机 BMCR 工况(如图 1 的工况点 2 所示)阻力 9.3 kPa，流量  $2.328\ 758 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ，压头裕量按照 1.2 考虑，流量裕量按照 1.1 考虑，温度裕量按  $10\ ^\circ\text{C}$  考虑，TB 工况(如图 1 的工况点 1 所示)全压升 11.160 kPa，流量  $2.640\ 240 \times 10^6\ \text{m}^3/\text{h}$ ，转速为 745 r/min，电机功率为 9.6 MW。

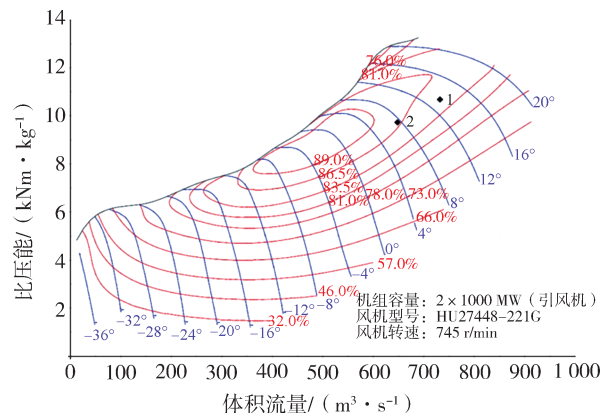


图 1 增引合并改造后新引风机的性能曲线图

Fig. 1 Performance curve of new induced draft fan

方案三电气专业改造方案如下：

根据引增合一调整后的负荷计算，原分裂绕组

厂高变 45/26 - 26 MVA 计算负荷为 50.567 5/29.206 5 - 29.206 5 MVA, 所以改造后分裂绕组厂高变和起备变必须增容至 51/30 - 30 MVA, 且阻抗保持不变。

新联合引风机功率为 9.6 MW ~ 9.7 MW, 如果在厂高变 51/30 - 30 MVA 起动, 则计算压降为 77.47%, 不满足要求。如果在起备变 51/30 - 30 MVA 起动, 则计算起动压降为 81.15%, 满足起动要求。如果在高厂变起动且满足起动压降不低于 80%, 则高厂变容量需 58/32.7 - 32.7 MVA。

如果厂高变增容至 58/32.7 - 32.7 MVA, 经计算 6 kV 母线短路电流为热稳定 44.242 kA, 动稳定 109.707 kA, 原 6 kV 开关柜、6 kV 封闭母线、6 kV 电力电缆都不能满足动热稳定要求。

#### 2.2.4 电气改造方案推荐

综上所述, 电气改造可供选择方案如下:

方案一: 分裂绕组起备变和分裂绕组厂高变均增容至 51/30 - 30 MVA, 设置软启动器或者变频器, 投资成本高, 运行业绩少。可实现厂高变和启动变都可以启动联合引风机, 正常运行。

方案二: 分裂绕组起备变和分裂绕组厂高变均增容至 51/30 - 30 MVA, 不设置软启动器或者变频器。起动联合引风机必须在起备变, 不能在厂高变侧起动, 当单台引风机因故停运后重新启动, 必须将母线段切换至起备变才能启动, 厂用电切换复杂, 增大了事故隐患。

方案三: 分裂绕组起备变和分裂绕组厂高变均增容至 51/30 - 30 MVA, 厂高变增设有载调压装置, 可以满足起动要求。起备变和高厂变均需返厂改造。

综合以上分析, 在所有方案变压器均需返厂增

容的前提下, 方案三在变压器增容的同时加装厂高变有载调压装置, 有效解决电动机起动要求, 运行方式更加灵活可靠, 因此本次增引合并改造电气方案推荐方案三。

改造方案在可靠、节约、利旧的原则下进行, 分裂绕组起备变和分裂绕组厂高变返厂改造要充分利旧, 节约改造费用。

增引合一后的联合风机电机裕量选择不宜过大, 电动机选择启动电流倍数推荐在 5 倍以下, 尽量减小最大电动机启动对母线电压造成大的波动, 影响机组安全运行。

### 3 引风机及增压风机改造方案经济比较

某 1 000 MW 机组引风机和增压风机改造方案经济比较如表 3 所示, 表中初投资含电气设备, 且不考虑设备维护费用的差异。

### 4 结论

国内某 1 000 MW 机组实施超低排放改造后, “增引合并”是合理和必要的, 主要理由如下:

1) 实施超低排放, 原有引风机和增压风机不能满足要求, 必须对现有运行引风机或增压风机进行改造。(其中引风机不变, 增压风机改造方案投资 1 820 万元; 引风机改造, 增压风机不变方案改造投资 1 900 万元)

2) 若增引合并不实施, 脱硫岛区域无法合理布置超低排放改造新增设备湿式静电除尘器等。

3) 结合超低排放改造, 增引合并方案烟气侧阻力降低约 1 kPa, 年运行费用减少约 384 万元, 静态投资回收期约为 7.3 年。

4) 增压风机进出口烟道弯头、异形件较多, 烟

表 3 引风机和增压风机改造方案经济性对比(两台机组数值)

Tab. 3 Economic comparison of the reformation of the induced draft fan and the booster fan (two units)

项目	方案一 (引风机改造, 增压风机不变)	方案二 (引风机不变, 增压风机改造)	方案三 (增引合并)
设备初投资/万元	1 820	1 900	2 820
烟气侧阻力	基准	基准	-1 kPa
运行费用	风机电耗: 基准 合计: 基准	风机电耗: 基准 合计: 基准	风机电耗减少: 4 × 800 kW 合计: -384 万元
投资回收期	无投资回收效益	无投资回收效益	静态投资回收年限约为 7.3 年
对超低排放改造的影响	湿式静电除尘器及 MGGH 烟气吸热段布置无法合理布置	湿式静电除尘器及 MGGH 烟气吸热段布置无法合理布置	无影响, 湿式静电除尘器及 MGGH 烟气吸热段布置合理

气流场不合理, 烟道存在振动、噪音较大现象。引增合并后, 减少有效烟道弯头和异形件, 有利于从源头上消除上述现象。

综上所述, 1 000 MW 机组实施超低排放改造, 推荐“增引合并”改造方案。

#### 参考文献:

- [1] 梁思伟. 火电项目节能评估要点探讨 [J]. 南方能源建设, 2016, 3(4): 26-31.  
LIANG S W. Discuss on key points of energy saving evaluation for thermal power projects [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(4): 26-31.
- [2] 惠润堂, 苗永旗, 朱立平, 等. 火电厂锅炉引风机改造策略研究 [J]. 环境工程, 2015, 33(5): 85-89.  
HUI R T, MIAO Y Q, ZHU L P, et al. Study on reformation strategy of boiler induced draft fan in thermal power plants [J]. Environmental Engineering, 2015, 33(5): 85-89.
- [3] 刘家钰, 王宝华, 岳佳全, 等. 1 000 MW 机组引风机与脱硫增压风机合并改造研究 [J]. 热力发电, 2010, 39(8): 45-50.  
LIU J Y, WANG B H, YUE J Q, et al. Study on retrofitting induced draft fan and FGD booster fan together for 1 000 MW u-

nit [J]. 2010, 39(8): 45-50.

- [4] 陈永良. 600 MW 机组引风机与增压风机优化改造及分析 [J]. 华北电力技术, 2015(4): 40-44.  
CHEN Y L. Optimization and analysis of induced draft fan and booster fan for 600 MW generating unit [J]. North China Electric Power, 2015(4): 40-44.

#### 作者简介:



LIU G L

刘广林(通信作者)

1985-, 男, 湖南衡阳人, 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) liuguanglin @gedi. com. cn.

#### 尹进

1980-, 男, 重庆市人, 高级工程师, 学士, 主要从事电厂热机专业的设计研究工作(e-mail)yinjin@gedi. com. cn.

(责任编辑 李辉)

## 能源知识

### 煤电机组超低排放改造的必要性

长期以来燃煤火力发电厂被社会认为是污染物排放大户,  $\text{SO}_2$  及  $\text{NO}_x$ 、烟尘等大气污染物排放的主要来源之一。虽然国家不断更新火力发电厂环保排放标准, 提高污染物排放限值要求, 发电企业也积极投入资金和设备进行环保方面的改造, 但是燃煤火力发电厂的污染物排放浓度和总量仍然高于其它清洁能源, 另外电厂排放的水蒸气(“白烟”)也被误认为是“排污”, 在发展上受到了种种限制。

为缓解电力需求与社会环保要求不断严格的矛盾, 国家提出了煤电升级行动计划, 由国家发改委、环境保护部、国家能源局联合下发的发改能源[2014]2093号文件《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》明确提出煤电改造的目标与期限, 要求东部地区(辽宁、北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南等11省市)新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值(即在基准氧含量6%条件下, 烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于  $10 \text{ mg/m}^3$ 、 $35 \text{ mg/m}^3$ 、 $50 \text{ mg/m}^3$ ), 中部地区(黑龙江、吉林、山西、安徽、湖北、湖南、河南、江西等8省)新建机组原则上接近或达到燃气轮机组排放限值, 鼓励西部地区新建机组接近或达到燃气轮机组排放限值。

2015年12月11号, 由环境保护部、国家发改委、国家能源局联合下发的环发[2015]164号文件《关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知》明确提出加快现役煤电的超低排放改造步伐, 东部地区超低排放改造任务提前至2017年前总体完成, 中部地区力争在2018年前基本完成, 西部地区在2020年前完成。

一些经济发达的地区为缓解电力需求与社会环保要求日益增长的矛盾, 提出了比国家标准更严格的污染物排放指标。广东省发展改革委印发的粤发改能电函[2015]2102号文件, 要求全省煤电机组“基本达到燃气轮机组排放限值”, 即  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、烟尘排放浓度不高于  $50 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $35 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $10 \text{ mg/Nm}^3$ ; 鼓励珠三角地区“达到燃气轮机组排放限值”, 即  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$ 、烟尘排放浓度不高于  $50 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $35 \text{ mg/Nm}^3$ 、 $5 \text{ mg/Nm}^3$ 。

引风机作为烟气系统的“心脏”, 引风机改造是机组超低排放改造的重要分项工程, 引风机改造的合理性将直接影响机组烟气净化系统的稳定性和经济性。

(刘广林)