

烟气风机流体分析及控制策略

李卫 刘磊

(大冶有色金属集团控股有限公司冶炼厂, 湖北黄石 435005)

[摘要] 以某冶炼厂2台烟气高温风机的出口流体为研究对象,进行有限元仿真模拟,得到不同风机工况条件下烟气流体的三维仿真模型,并对比风机实际使用情况,验证仿真模型可靠性,最后得出2种工艺路线下最优的风机控制策略和方法。仿真结果显示,2台风机串联时,不同风机满负荷时引风效果相差较大;2台风机并联时,任一台满负荷运行,另一台风机流量控制在 $222\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$,引风效果突出;当引风效果已达到最优时,继续增加风机负荷反而会降低引风效果。

[关键词] 烟气风机; 三维建模; 流体分析; 有限元仿真; 风机流量控制

[中图分类号] TM621.7⁺3

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)04-0044-07

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.010

0 前言

某厂澳斯麦特炉(以下简称“澳炉”)熔炼产生的高温烟气经过电收尘处理,通过烟气风机抽送到制酸管道或者处理系统管道中。由于建设时风机及管道安装受现场客观条件及布局影响,未能实现最优布置,因此烟气风机在使用过程中并未达到最理想状态,澳炉烟气收集状况不稳定,对现场生产及环境造成较大影响。有研究人员发现^[1],在类似条件下使用风机阵列,控制手段更灵活,效果较好,且投入较少,但若直接改造澳炉的2台烟气风机出口管道,不仅成本高、周期长,而且受限于如今的管道整体布局,小范围修改效果未必理想。而对出口烟气流体进行有限元仿真成本低、周期短,研究人员可以根据仿真结果寻找更合理的优化方式,进而提高冶化生产及环保水平;仿真模型在一定程度上也是对烟道内烟气流动的定量和定性分析,对前后工序的优化有重要作用。

烟气管道在不同工况下会出现管道并联^[2-3]和串联^[4]情况,在管道众多的冶炼系统中具有代表性,因此通过进行重点分析,寻找最合理的风机控制

策略,可以为各种管道改造、优化、设计提供较好的参考。本文对2台烟气高温风机出口流体进行有限元仿真,并将仿真模型与风机实际使用情况进行对比,验证仿真模型可靠性,并分析2种工艺路线下最优的风机控制策略和方法。

1 烟气工艺走向及介质条件

1.1 烟气的工艺走向

烟气的工艺走向如图1所示,经电收尘处理后的烟气通过2台风机抽送进入烟道,每台风机出口由钟罩阀控制,烟道连通后分为2个出口方向:一个方向是烟气从2台风机出口并联后通往 $60\ \text{万}\ \text{m}^3$ 烟气处理系统;另一个方向是烟气从2台风机出口串联后通往硫酸三系制酸烟道。

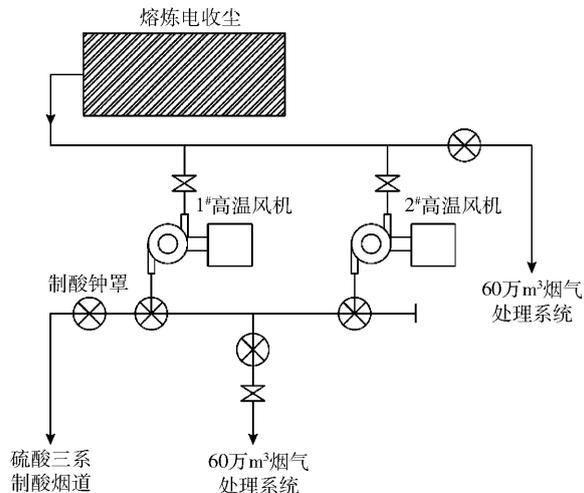


图1 烟气的工艺走向示意图

[收稿日期] 2022-02-01

[作者简介] 李卫(1984—),男,本科,机械工程师,主要从事机械技术及设备管理工作。

[引用格式] 李卫,刘磊.烟气风机流体分析及控制策略[J].有色冶金节能,2022,38(4):44-50,71.

1.2 介质条件

澳炉冶炼产生的大量烟气和较多物质组成混合固体小颗粒。经过电收尘处理过后的介质条件如下:1) 烟气的主要成分为 SO_2 、 SO_3 、 N_2 、 O_2 、 H_2O ; 2) 烟气含尘量为 0.28 g/m^3 ; 3) 烟气密度为 $0.6 \sim 0.9 \text{ kg/m}^3$ 。

2 烟道建模

2.1 烟道三维建模

理想化烟道内部后结合烟气工艺走向,对烟道内烟气流体进行三维仿真,并对比现场状态进行分析。

利用 ANSYS17.0 对烟道整体进行三维建模,结果如图2所示。烟气走向分为 A、B 两条工艺路线: A 路线是烟气通过风机出口串联后往硫酸三系制酸烟道,该方向出口负压为 200 Pa ; B 路线是烟气通

过风机出口并联后往 60 万 m^3 烟气处理系统,该方向出口负压为 6000 Pa 。根据以上 A、B 路线,分别将已建立的三维模型进行简化,得到两种模型。

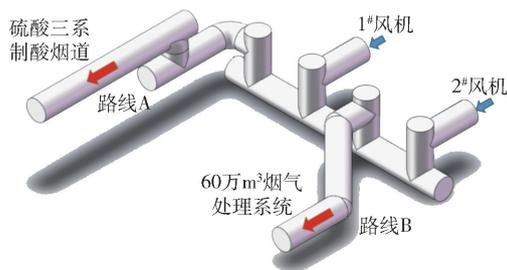


图2 烟道整体三维模型

2.2 工况与边界条件

本文选择的工况为正常生产时状态,2 台风机相关性能参数见表1。

表1 风机性能参数

项目	风机型号	旋向	进、出口角度/ (°)	工作温度/°C	标态密度/ $\text{kg} \cdot \text{Nm}^{-3}$	当地大气压/Pa	烟气含尘量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	全压/Pa
数据	FW6-2 × 39No22F	右旋	进口 0°/出口 180°	340	1.499	100 258	0.28	370 000	3 500

为了尽量保证仿真的准确性,并简化、理想化烟气模型,本文假设:1) 烟气为不可压缩的黏性流体; 2) 烟气内剩余固体小颗粒均匀,体积较小,相互作用可忽略; 3) 烟气中固相与流体相相互交融、渗透,具有相同的整体速度(类似烟气带着小颗粒一齐运动),故忽略固体小颗粒,只考虑烟气流体运动; 4) 根据工艺状态,现场管道全部覆盖保温层,且无破漏现象,理想化认为没有温度损失,故不考虑烟气的温度影响及变化。

在生产实际中,通常其中一台风机保证完全达到额定参数(以下简称“满负荷”),另一台风机将根据现场情况进行参数调整,故对上述 A、B 两种路线按 1#、2# 风机进口流速(由流量计算而来)划分不同工况(表2)。

3 有限元仿真计算及分析

3.1 网格划分

根据烟道的结构和载荷特性,对三维模型进行网格划分,将 SolidWorks 建好的两个模型导入 ANSYS 中,并对烟道进行 Fill 操作,提取出烟道模型,然后进行网格划分,单元尺寸设置为 100 mm 。最终, A 路线模型网格数为 910 999,节点数为 645 076;

表2 A、B 路线 1#、2# 风机进口不同工况划分

路线	工况序号	进口流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		出口 负压/Pa
		1#风机	2#风机	
A	1	66.77	0	200
	2	66.77	20.03	
	3	66.77	40.06	
	4	66.77	60.09	
	5	66.77	66.77	
	6	0	66.77	
	7	20.03	66.77	
	8	40.06	66.77	
	9	60.09	66.77	
B	1	66.77	0	6 000
	2	66.77	20.03	
	3	66.77	40.06	
	4	66.77	60.09	
	5	66.77	66.77	

B 路线模型网格数为 768 155,节点数为 543 898。

3.2 计算结果及分析

3.2.1 A 路线仿真结果

3.2.1.1 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况

1# 风机满负荷、2# 风机不同工况条件下的流速矢量图及压力云图如图3、图4所示。

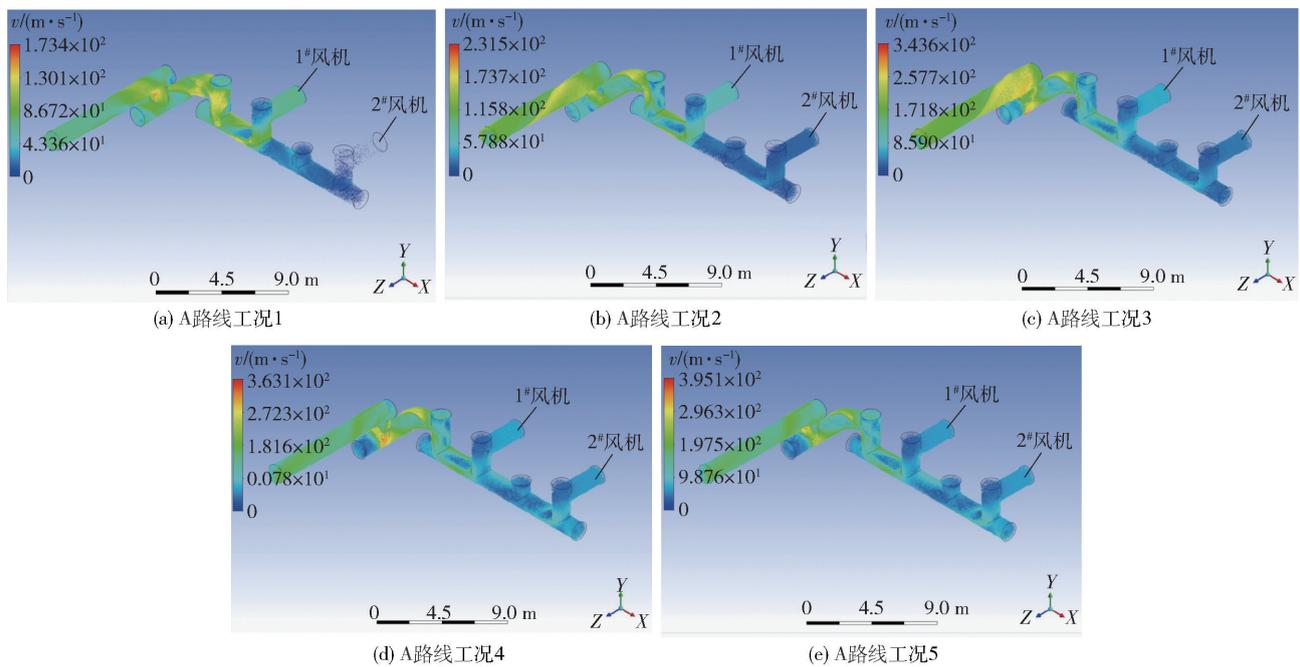


图3 A路线1#风机满负荷、2#风机不同工况下的流速矢量图

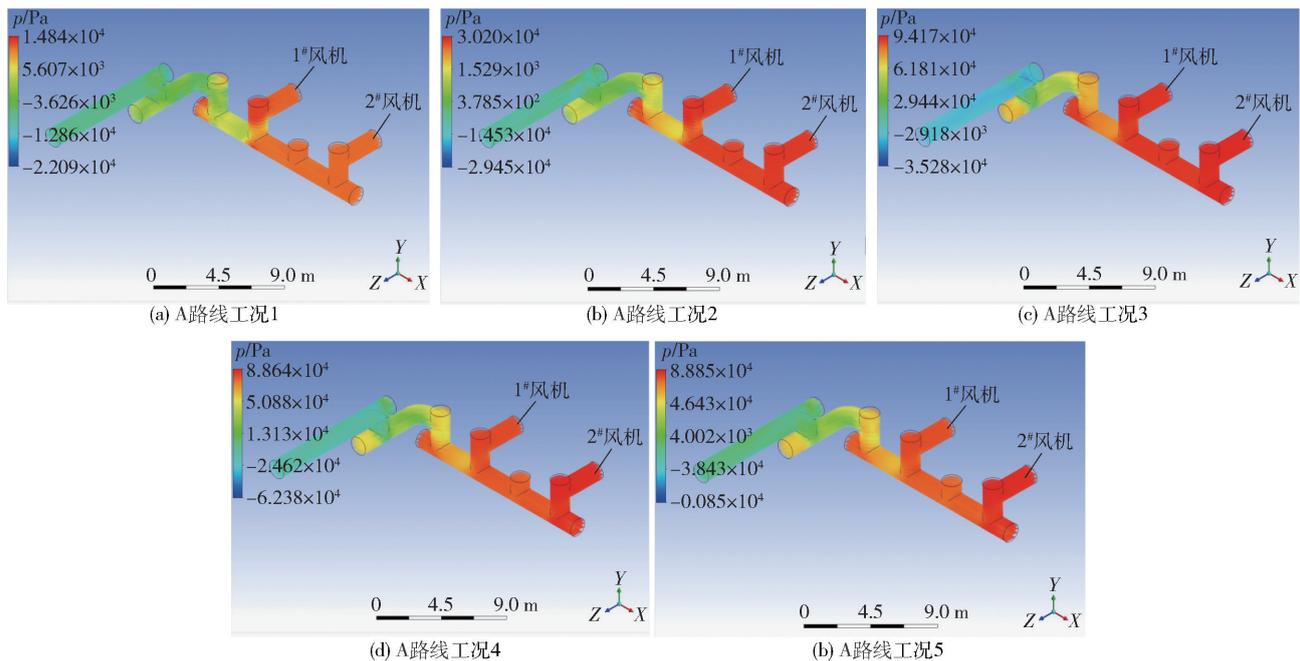


图4 A路线1#风机满负荷、2#风机不同工况下的压力云图

根据图3,随着2#风机进口流量不断增加,管道烟气流速变化趋势基本一致,在管道进口处流体速度均相对较低,管道串联后烟气混合,拐弯处的圆角管道附近均产生流速急剧增加的情况,流体速度最大值均在此处出现。

根据图4,管道进口处压力分布趋势基本一致。管道串联前均为高压状态,串联后气体混合,经过三

次管道拐弯后,压力迅速降低;压力分布趋势总体为沿着管道方向不断下降。

将图3中的流速和图4中的压力进行统计,结果如图5、图6所示。

从图5、图6可知,在A工艺路线情况下,1#风机进口流速恒定为66.77 m/s,2#风机进口流速超过40 m/s以后,烟气出口流速在124.23 ~ 192.21 m/s

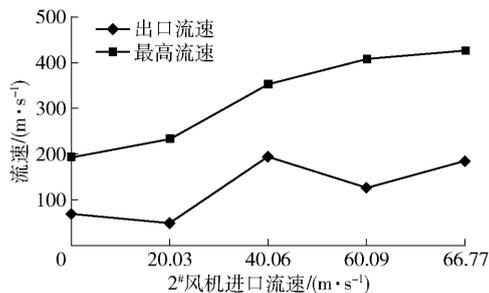


图5 A路线1#风机满负荷、2#风机不同工况下流速统计

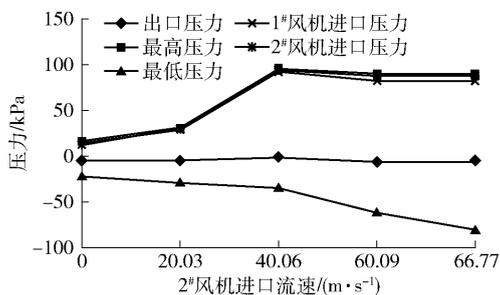


图6 A路线1#风机满负荷、2#风机不同工况下压力统计

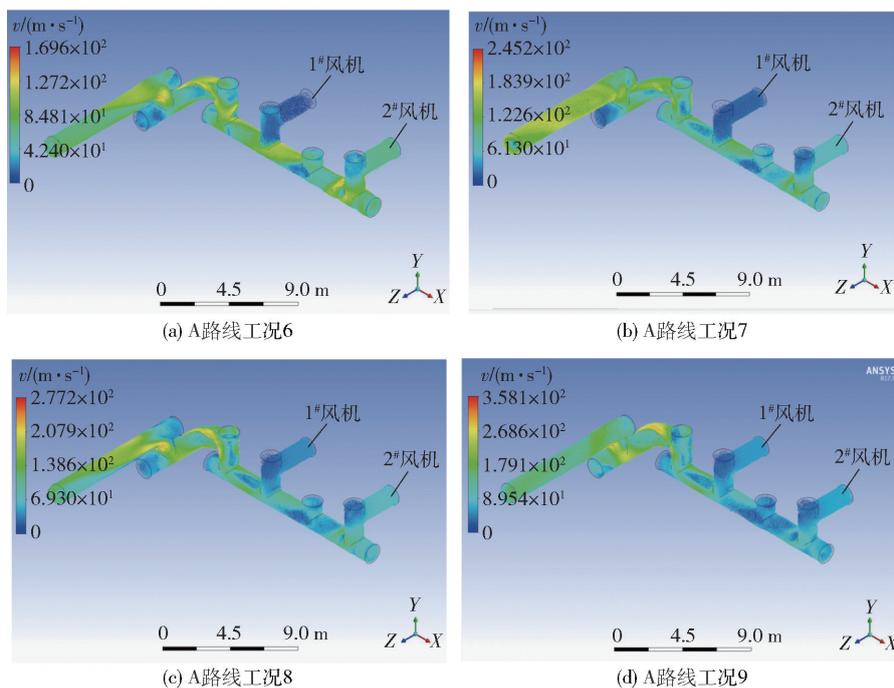


图7 2#风机满负荷、1#风机不同工况下的流速矢量图

道方向不断下降。

对于工况6-9,2#风机满负荷、1#风机不同工况下的流速、压力统计如图9、图10所示。

从图9、图10可知,在A路线中,2#风机进口流

之间波动,管道内最高流速随着2#风机进口流速增加而增加,最大值为425.89 m/s。1#、2#风机进口压力与管道内最高压力变化趋势基本一致,管道内最低压力随着流速增加而下降,最低压力为-80851 Pa;最高压力在入口流速超过40 m/s以后处于总体稳定、略有下降状态,基本保持在90530 Pa。

3.2.1.2 2#风机满负荷、1#风机不同工况

对于A路线中的工况6-9,2#风机满负荷、1#风机不同工况下的流速矢量图及压力云图如图7、图8所示。

根据图7,随着1#风机进口流量不断增加,烟道烟气流速变化趋势基本一致。在管道进口处流体速度均相对较低,烟道串联后气体混合,拐弯处的圆角管道附近均产生流速急剧增加情况,流体速度最大值均在此处出现。

根据图8,只有1#风机流量为零时,管道进口部分压力稍低,其余工况下管道压力分布趋势基本一致。管道串联前均为高压状态,串联后气体混合,经过三次管道拐弯压力迅速降低。压力总体为沿着管

速恒定为66.77 m/s,1#风机进口流速超过20 m/s以后,烟气出口流速在89.35~161.37 m/s之间波动,管道内最高流速随着2#风机进口流速增加而增加,最大值为386.97 m/s。1#、2#风机进口压力与管

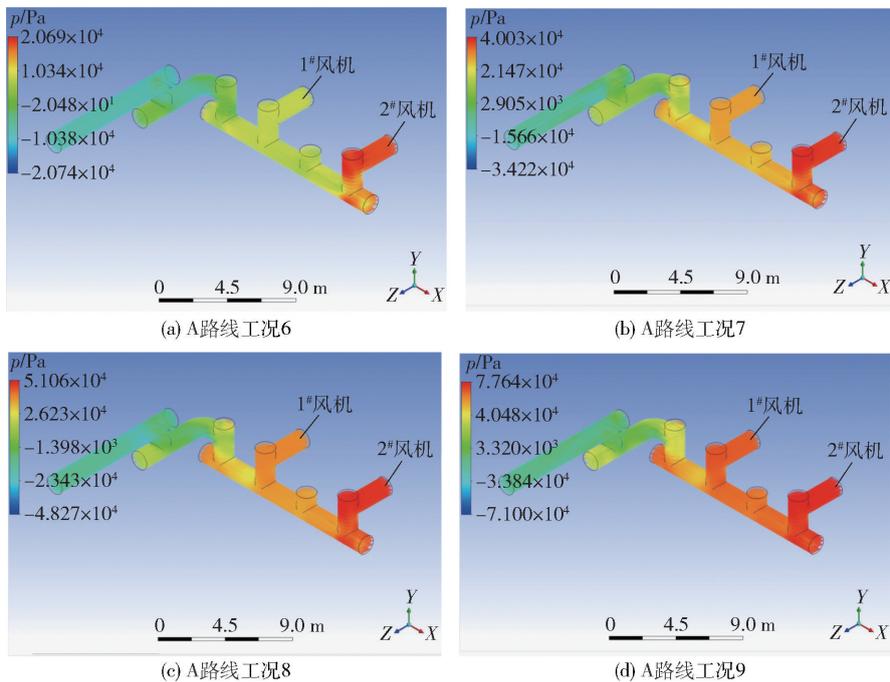


图 8 2# 风机满负荷、1# 风机不同工况下的压力云图

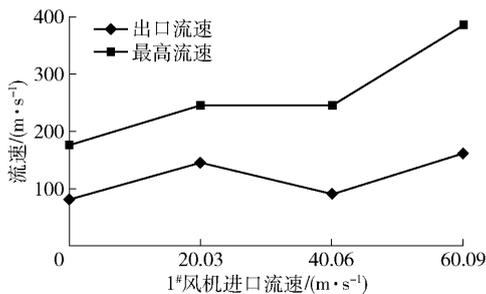


图 9 A 路线 2# 风机满负荷、1# 风机不同工况下流速统计

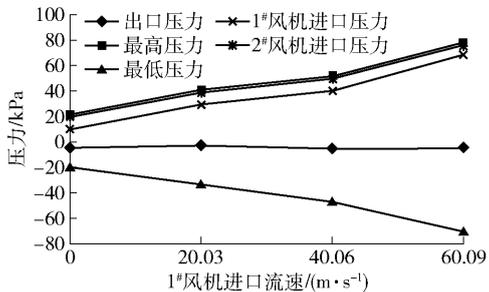


图 10 A 路线 2# 风机满负荷、1# 风机不同工况下压力统计

道内最高压力变化趋势基本一致,1# 风机进口压力略低;管道内最低压力随着进口流速增加而下降,最低压力为 -71 001 Pa;最高压力随进口流速增大而增加,最高压力为 77 641 Pa。

3.2.2 B 路线仿真结果

对于 B 路线,由于风机并联,故只仿真 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况的情况,流速矢量图及压力云图如图 11、图 12 所示。

根据图 11,随着 2# 风机进口流量不断增加,烟道烟气流速变化趋势基本一致。管道进口处流体速度均相对较低,并联后在管道中间钟罩阀处出现流速急剧增加情况,但随着 2# 风机进口流量增加,流体速度最大区域不断由中间钟罩阀前向钟罩阀后部移动,说明流体混合点中心不断往后推动。

根据图 12 所示,当 2# 风机进口流量为零时,管道进口部分压力稍低,其余工况下管道压力分布趋势基本一致。管道并联前均为高压状态,并联后气体混合,经过中部钟罩阀后,压力迅速降低。压力总体沿着管道方向不断下降。

B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况下的流速、压力统计如图 13、14 所示。

从图 13 可知,在 B 路线中,1# 风机进口流速恒定为 66.77 m/s,2# 风机进口流速超过 40 m/s 时,烟气出口流速最低值为 56.05 m/s,之后随着进口流速上升而上升,最高为 139.41 m/s;管道内最高流速在 2# 风机进口流速超过 40 m/s 以后,反而从最高的 403.31 m/s 下降到 250 m/s 左右。从图 14 可知,1#、2# 风机进口压力与管道内最高压力变化趋势基

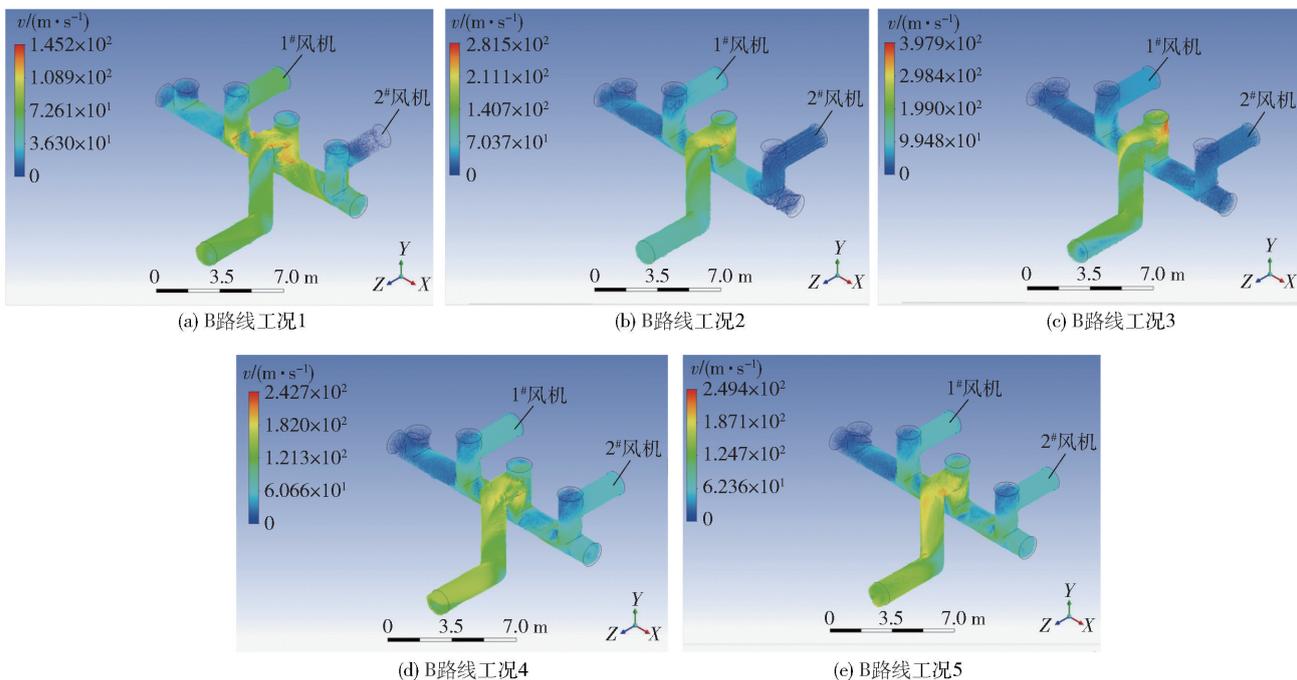


图 11 B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况下流速矢量图

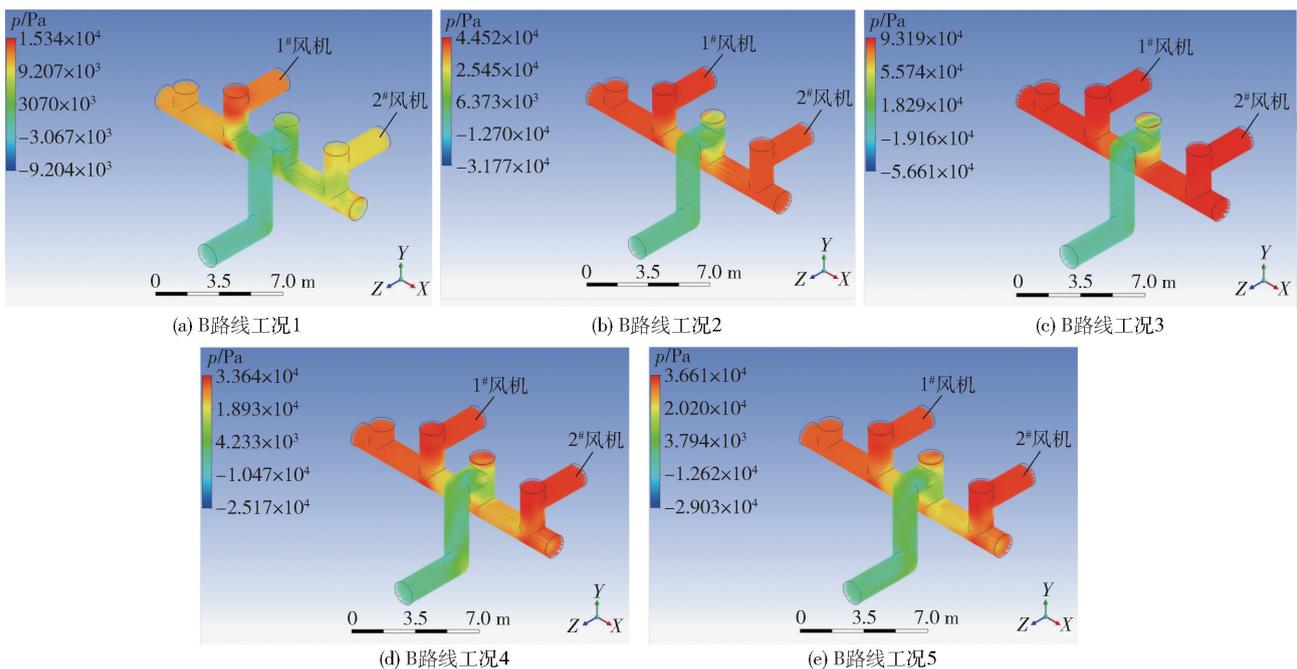


图 12 B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况下压力云图

本一致,同样是在 2# 风机进口流速超过 40 m/s 后从最高的 93 190 Pa 下降到 35 000 Pa 左右;管道内最低压力则从最低的 -56 606 Pa 上升到 -27 000 Pa 左右。结合图 12,具体分析该情况的产生原因,虽然两台风机为并联状态,但管道不是绝对对称,1# 风机出口侧的管道多一段,1# 风机满负荷运行时,出口流体往两边运动,流体在多出的管道内形成涡流,阻

力造成压损,同时在 2# 风机进口流速为 40 m/s 左右时,两股流体压力较为接近,导致压力互相抵消,负压减少。

4 模型验证

无论是路线 A 还是路线 B,后续管道距离最终引风机端管道仍有数千米的距离,故三维模型的管

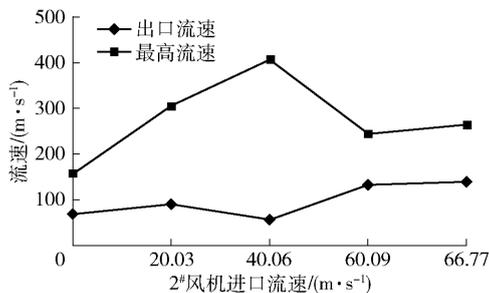


图 13 B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况下流速统计

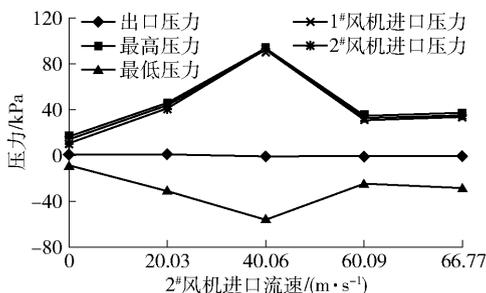


图 14 B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不同工况下的压力统计

道仿真结果并不能类比后续系统实际测点,而利用仿真模型入口实际监测数据进行验证,记录 2020 年 2—3 月风机运行记录,并进行统计,可以发现:

1) 在 A 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不启动时,1# 风机出口即管道进口的压力为 8 ~ 16 kPa;1# 风机满负荷、2# 风机低负荷运行时,1# 风机出口即管道进口的压力为 26 ~ 38 kPa。由于实际生产需求,其余工况基本未出现过,仿真结果与以上范围吻合。

2) 在 A 路线 2# 风机满负荷、1# 风机不启动时,1# 风机出口即管道进口的压力为 5 ~ 25 kPa;2# 风机满负荷、1# 风机低负荷运行时,1# 风机出口即管道进口的压力为 20 ~ 41 kPa。同样由于实际生产需求,其余工况基本未出现过,仿真值略大于以上范围。

3) 在 B 路线 1# 风机满负荷、2# 风机不启动时,1# 风机出口即管道进口的压力为 8.5 ~ 16.5 kPa;1# 风机满负荷、2# 风机低负荷运行时,1# 风机出口即管道进口的压力为 26.3 ~ 42 kPa。同样由于实际生产需求,其余工况基本未出现过,仿真值略低于以上范围。

总体上看,仿真结果与实际有一定偏差,但根据 2020 年大修及日常实际管道检修的检查情况,管道内流速剧增区的结垢积灰明显较少,钟罩阀本体因开合较多及外部淋雨腐蚀较多,与本文此次研究内

容关系不大,因此认为仿真比较符合流体整体趋势判断,模型总体可靠,具有一定参考价值。

5 流体分析及风机控制策略

从烟气流体仿真结果来看,仿真模型能够对烟气状态进行预测,本文从烟气流速和压力两个方面进行预测和分析。

在 A 路线中,由于 1#、2# 风机出口为串联状态,不同风机满负荷对引风效果影响巨大。1# 风机满负荷、2# 风机流速为 40.06 m/s 时,引风效果突出,继续增加 2# 风机负荷,引风效果增加并不显著,但风机能耗增加较多;若 2# 风机满负荷,1# 风机流速越大,引风效果越好;而且 1# 风机满负荷、2# 风机流速为 40.06 m/s 与 2 台风机全部满负荷的工况对比发现,前者的最高压力为后者的 121.28%,前者的最大流速则是后者的 90.88%,虽然前者的出口负压较后者的低 4 000 Pa 左右,但仍有 1 985 Pa,可以满足生产需求。

在 B 路线中,由于 1#、2# 风机出口为并联状态,任一风机满负荷,对引风效果的影响相同。1# 风机满负荷、2# 风机流速为 40.06 m/s 时,引风效果最优,继续增加 2# 风机负荷,引风效果反而下降,且风机能耗增加。分析实际情况,主要原因是风机出口并联且管道设计为 180° 面对面形式,1# 风机满负荷时,由于烟气流速、压力更大,导致 2# 风机出口阻力变大,损失大量动能,起不到叠加效果。

综上所述,可得到三种风机控制策略:

1) 选择 A 路线时,引风效果优秀且最经济的风机控制方法是 1# 风机满负荷运行,2# 风机流速控制在 40.06 m/s,即风机流量控制为 222 000 m³/h。

2) 选择 A 路线时,保持 1# 风机满负荷运行,若要增强引风效果,则不断提高 2# 风机负荷直至满负荷运行。

3) 选择 B 路线时,引风效果优秀且最经济的风机控制方法是 1#、2# 风机中任一台满负荷运行,另一台风机流速控制在 40.06 m/s,即风机流量控制在 222 000 m³/h。

6 结束语

通过对 2 台烟气风机的 2 种工艺路线的几种工况进行建模和有限元仿真分析,得到流体三维仿真模型,三维有限元仿真结果可计算和表征烟气风机出
(下转第 71 页)

[参考文献]

- [1] 雷玄,刘兆明. 垃圾焚烧发电的环境保护措施[J]. 环境与发展,2018(11):226-227.
- [2] 袁丽. 机械通风式冷却塔噪声控制及效果研究[D]. 成都:西南交通大学,2013.
- [3] 李玉华,史国平. 风机降噪系统设计[J]. 流体机械,2002,30(4):29-31.
- [4] 杜乐. 某大型火电厂机力通风冷却塔降噪措施设计[J]. 环境与发展,2020,32(8):80-81.
- [5] 殷承启,徐文文,许雪记,等. 基于 Cadna/A 软件的地铁噪声现状及声屏障降噪模拟研究[J]. 环境保护科学,2020,46(4):75-79.

Noise Reduction Measures for a WTE Plant

ZHENG Peng, XU Wei, CHEN Hao, BAO Hua-kun, XU Jian-yan

Abstract: Based on the analysis of noise sources in a WTE plant, noise reduction measures such as sound absorption, silencing and sound insulation were taken accordingly for the turbine room, air compressor station, cooling tower and Roots blower in the plant. After these noise reduction measures were taken, the field test results showed that the noise from all noise sources and at the plant boundary met the design emission standards. These measures effectively reduce the environmental impact of the noise on the neighboring region and ensure the occupational health of workers, which can provide a reference for the noise control of similar projects.

Key words: waste incineration; Not in My Back Yard; noise reduction; sound insulation; acoustic simulation

(上接第 50 页)

口管道的流体状态和特点,有助于工人间接判断,并选择最优风机控制策略。

[参考文献]

- [1] 李晶. 新型布袋除尘器中清洁空气风机控制策略的探讨[J]. 闽西职业技术学院学报,2007(2):92-94.
- [2] 张君. 通风机并联工作的风压特性曲线与工况分析[J]. 化工管理,2015(9):139.
- [3] 赵千里,周松中,林毅,等. 某矿井风机站并联布置问题剖析及其改造方案[J]. 采矿技术,2006,6(4):28-30.
- [4] 吴卫平. 局部通风机串联易发生事故及其预防[J]. 煤矿机械,2010,31(7):185-186.

Gas Flow Analysis and Control Strategy of Flue Gas Fan

LI Wei, LIU Lei

Abstract: Taking the outlet fluid of two flue gas fans in a smelter as the research object, a 3D offgas flow model was built and finite element simulation was used to determine the offgas hydraulics under various working conditions of the fans. The reliability of the 3D model was then verified against actual fan operation, and optimal fan control strategies and methods for two process routes were developed. According to the simulation results, when the two fans operate in series, the inducing effect of the fans at full workload differ widely. When the fans operate in parallel, remarkable inducing effect can be achieved when one operates at full load while the other flow is controlled at 222 000 m³/h. Further increasing the load however will reduce the total induction performance.

Key words: off-gas fan; 3D modeling; hydraulics analysis; finite element simulation; fan flow control