



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103994463 B

(45)授权公告日 2016. 09. 28

(21)申请号 201410133227.3

审查员 王晶

(22)申请日 2014.03.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103994463 A

(43)申请公布日 2014.08.20

(73)专利权人 广东电网公司电力科学研究院

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东
路水均岗8号

(72)发明人 李德波 徐齐胜 刘亚明 沈跃良

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 李海恬

(51)Int. Cl.

F23N 5/00(2006.01)

F23N 1/02(2006.01)

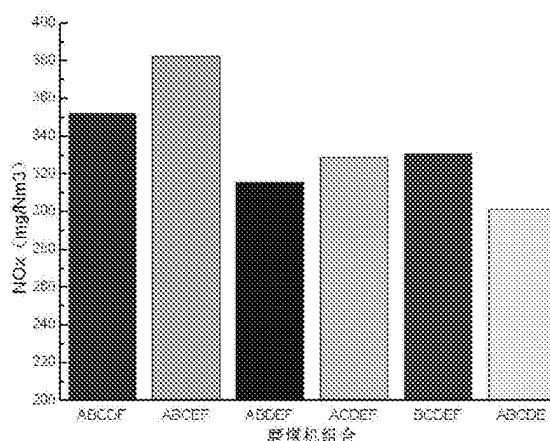
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的
获取方法

(57)摘要

本发明公开了一种锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,属于燃煤锅炉技术领域。该方法通过将改造增加了SOFA风的四角切圆燃烧式锅炉进行网格划分后,建立该锅炉的结构化网格模型,并获取所述锅炉的燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数;然后在上述基础上建立数学模型进行燃烧模拟计算,获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。采用该方法能够准确的再现锅炉内的燃烧情况,获取锅炉内燃烧情况的全面信息,从而对锅炉增加SOFA风的低氮改造提供指导和低氮改造后的效果进行全面评价。



1. 一种锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,包括以下步骤:

根据四角切圆燃烧式锅炉的结构特点,将所述锅炉进行网格划分,建立该锅炉的网格化结构模型;所述锅炉的结构为在燃烧器的CCOFA风喷嘴上方设有以水平对冲方式安装的SOFA风喷嘴;

获取所述锅炉的燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数;

所述边界条件包括锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件,锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件,锅炉壁面边界条件,热交换边界条件;

所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件均采用质量入口边界条件,该质量入口边界条件参数包括质量流量、风温参数,且均根据设计参数进行设定,其中CCOFA风、SOFA风和周界风的质量入口边界条件参数还根据改变磨煤机组合的工况条件计算得到;

所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件均采用压力出口边界条件;

所述锅炉壁面边界条件采用标准壁面方程,无滑移边界条件;

所述热交换边界条件采用第二类边界条件,给定预设的壁面温度和辐射率;

根据上述网格化结构模型、燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数,以标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型模拟得到气相湍流流动模型、以混合分数/概率密度函数模型模拟得到组分运输和燃烧模型、以单分数/概率密度函数模型模拟得到纯煤燃烧模型、以双分数/概率密度函数模型模拟得到污泥掺烧燃烧模型、以颗粒随机轨道模型模拟得到煤粉颗粒运动模型、以双方程平行竞争反应模型模拟得到煤的热解模型、以动力/扩散控制反应速率模型模拟得到焦炭燃烧模型、以P1辐射模型模拟得到辐射传热模型;

利用上述模型,改变锅炉的磨煤机组合,通过模拟计算,获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。

2. 根据权利要求1所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述将锅炉进行网格划分的具体步骤包括:以单独划分网格的方式,将该锅炉划分为冷灰斗区域、燃烧器区域、燃烧器上方区域和屏式过热器区域。

3. 根据权利要求2所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述将锅炉进行网格划分的具体步骤包括:将燃烧器区域进行加密,并将燃烧器出口与锅炉的连接面设置为interface。

4. 根据权利要求3所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,建立所述锅炉的网格化结构模型后,以不同精度的网格进行网格无关性检验,选取满足计算精度要求的网格精度。

5. 根据权利要求1所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述煤粉参数包括煤粉粒径、煤质成份及含量,所述煤粉粒径按照Rosin-Rammler分布方法设定。

6. 根据权利要求1所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述模拟计算以迭代法进行计算,先进行冷态计算获得一定收敛程度的流场,然后再

进行热态计算,直至收敛。

7.根据权利要求6所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述模拟计算中,对于离散方程组的压力和速度耦合采用SIMPLE算法求解,求解方程采用逐线迭代法及低松弛因子,使NO和HCN参数的计算残差小于 10^{-8} ,其余各项参数的计算残差小于 10^{-6} 。

8.根据权利要求1所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述锅炉的燃烧特性包括温度场分布情况、速度场分布情况和组份场分布情况。

9.根据权利要求8所述的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,其特征在于,所述温度场分布情况包括:最下层的二次风温度分布、最下层的一次风温度分布、锅炉中心竖向截面温度分布、锅炉横向截面平均温度沿炉膛高度方向的分布和炉膛出口的烟温;所述速度场分布情况包括:最下层的二次风速度分布和最下层一次风速度分布;所述组份场分布情况包括: O_2 浓度沿炉膛高度方向的分布、CO浓度沿炉膛高度方向的分布、 NO_x 浓度沿炉膛高度方向的分布和炉膛出口的 NO_x 浓度。

锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及燃煤锅炉技术领域,特别是涉及一种锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法。

背景技术

[0002] 随着环境治理的严峻形势,我国对NO_x的排放限制将日益严格,国家环境保护部已经颁布了《火电厂氮氧化物防治技术政策》,明确在“十二五”期间将全力推进我国NO_x的防治工作。目前国内外电站锅炉控制NO_x的技术主要有2种:一种是控制生成,主要是在燃烧过程中通过各种技术手段改变煤的燃烧条件,从而减少NO_x的生成量,即各种低NO_x技术;二是生成后的转化,主要是将已经生成的NO_x通过各种技术手段从烟气中脱除掉,如选择性催化还原法(SCR)、选择性非催化还原法(SNCR)等。

[0003] 当电厂NO_x排放浓度过高时,可以通过不同的手段来对锅炉进行改造,从而降低NO_x的排放浓度。然而,目前来说,还没有一种方法可以模拟锅炉低氮改造后锅炉内的燃烧情况,从而对锅炉低氮改造提供指导和低氮改造后的效果进行全面评价。

发明内容

[0004] 基于此,本发明的目的在于克服现有技术的缺陷,提供一种锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,采用该方法,可以模拟低氮改造后不同磨煤机组合下锅炉内的燃烧情况。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取以下技术方案:

[0006] 一种锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,包括以下步骤:

[0007] 根据四角切圆燃烧式锅炉的结构特点,将所述锅炉进行网格划分,建立该锅炉的网格化结构模型;所述锅炉的结构为在燃烧器的CCOFA风喷嘴上方设有以水平对冲方式安装的SOFA风喷嘴;

[0008] 获取所述锅炉的燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数;

[0009] 根据上述网格化结构模型、燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数,以标准k- ϵ 湍流模型模拟得到气相湍流流动模型、以混合分数/概率密度(Probability Density Function,PDF)函数模型模拟得到组分运输和燃烧模型、以单分数/概率密度(PDF)函数模型模拟得到纯煤燃烧模型、以双分数/概率密度(PDF)函数模型模拟得到污泥掺烧燃烧模型、以颗粒随机轨道模型模拟得到煤粉颗粒运动模型、以双方程平行竞争反应模型模拟得到煤的热解模型、以动力/扩散控制反应速率模型模拟得到焦炭燃烧模型、以P1辐射模型模拟得到辐射传热模型;

[0010] 利用上述模型,改变锅炉的磨煤机组合,通过模拟计算,获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。

[0011] 其中,CCOFA风为紧凑型燃尽风,SOFA风为分离燃尽风。

[0012] 在其中一个实施例中,所述将锅炉进行网格划分的具体步骤包括:以单独划分网

格的方式,将该锅炉划分为冷灰斗区域、燃烧器区域、燃烧器上方区域和屏式过热器区域。根据各区域在锅炉运行时所起到的不同作用,将其进行划分,提高了该锅炉网格化结构模型的准确性。

[0013] 在其中一个实施例中,所述将锅炉进行网格划分的具体步骤包括:将燃烧器区域进行加密,并将燃烧器出口与锅炉的连接面设置为interface(交界面)。通过上述设置,能够提高计算的精度,并且可以防止两个面的网格质量和网格形状差异较大而引起误差。

[0014] 在其中一个实施例中,建立所述锅炉的结构化网格模型后,以不同精度的网格进行网格无关性检验,选取满足计算精度要求的网格精度。

[0015] 在其中一个实施例中,所述边界条件包括锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件,锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件,锅炉壁面边界条件,热交换边界条件;

[0016] 所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件均采用质量入口边界条件,该质量入口边界条件参数包括质量流量、风温参数,且均根据设计参数进行设定,其中CCOFA风、SOFA风和周界风的质量入口边界条件参数还根据改变磨煤机组合的工况条件计算得到;

[0017] 所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件均采用压力出口边界条件,压力设置优选为-80Pa;

[0018] 所述锅炉壁面边界条件采用标准壁面方程,无滑移边界条件;

[0019] 所述热交换边界条件采用第二类边界条件(即温度边界条件),给定预设的壁面温度和辐射率,其中,给定的壁面温度优选为690K,壁面辐射率优选为0.8。

[0020] 以上述边界条件能够得到更为准确的模拟计算结果。

[0021] 在其中一个实施例中,所述煤粉参数包括煤粉粒径、煤质成份及含量,所述煤粉粒径按照Rosin-Rammler分布方法设定。Rosin-Rammler分布假定在颗粒直径 d 与大于此直径的颗粒的质量分数 Y_d 之间存在指数关系: $Y_d = e^{-(d/\bar{d})^n}$, $\bar{d}$ 为平均直径, n 为分布指数。

[0022] 在其中一个实施例中,所述模拟计算以迭代法进行计算,先进行冷态计算获得一定收敛程度的流场,然后再进行热态计算,直至收敛。

[0023] 在其中一个实施例中,所述模拟计算中,对于离散方程组的压力和速度耦合采用SIMPLE算法求解,求解方程采用逐线迭代法及低松弛因子,使NO和HCN参数的计算残差小于 10^{-8} ,其余各项参数的计算残差小于 10^{-6} 。

[0024] 在其中一个实施例中,所述锅炉的燃烧特性包括温度场分布情况、速度场分布情况和组份场分布情况。从多个方面体现锅炉内的燃烧特性。

[0025] 在其中一个实施例中,所述温度场分布情况包括:最下层的二次风温度分布、最下层的一次风温度分布、锅炉中心竖向截面温度分布、锅炉横向截面平均温度沿炉膛高度方向的分布和炉膛出口的烟温;所述速度场分布情况包括:最下层的二次风速度分布和最下层一次风速度分布;所述组份场分布情况包括: O_2 浓度沿炉膛高度方向的分布、CO浓度沿炉膛高度方向的分布、 NO_x 浓度沿炉膛高度方向的分布和炉膛出口的 NO_x 浓度。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0027] 本发明的锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,通过将改造增加了SOFA风的四角切圆燃烧式锅炉进行网格划分,建立该锅炉的结构化网格模型;然后在上述

基础上建立数学模型进行燃烧模拟计算,获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。采用该方法能够准确的再现锅炉炉膛内的燃烧情况,获取炉膛内燃烧情况的全面信息,从而对锅炉增加SOFA风的低氮改造提供指导和低氮改造后的效果进行全面评价。

[0028] 该方法还对如何建立锅炉的网格化结构模型,以及如何建立数学模型进行燃烧模拟计算的步骤进行了优化,经现场试验验证,通过该方法获得的结果与现场测量结果的吻合度很好,保证了模拟结果的有效性,该方法具有准确度高的特点。

附图说明

[0029] 图1为锅炉本体示意图;

[0030] 图2为燃烧器横截面示意图;

[0031] 图3为喷嘴布置方式示意图;

[0032] 图4为SOFA风安装方式示意图;

[0033] 图5为SOFA风喷嘴结构示意图;

[0034] 图6为锅炉网格化结构模型示意图;

[0035] 图7为锅炉燃烧器区域网格划分横截面图;

[0036] 图8为不同磨煤机组合下,最下层的二次风温度分布图,其中:A为工况1,B为工况2,C为工况3,D为工况4,E为工况5,F为不同颜色表示不同温度的图例;

[0037] 图9为不同磨煤机组合下,最下层的一次风温度分布图,其中:A为工况1,B为工况2,C为工况3,D为工况4,E为工况5;

[0038] 图10为不同磨煤机组合下,锅炉中心竖向截面温度分布图,其中:A为工况1,B为工况2,C为工况3,D为工况4,E为工况5;

[0039] 图11为不同磨煤机组合下,锅炉横向截面平均温度沿炉膛高度方向分布图,其中:A为整个锅炉高度分布图,B为燃烧器区域高度分布图,C为CCOFA与SOFA风区域高度分布图,D为SOFA风以上区域高度分布图;

[0040] 图12为不同磨煤机组合下,炉膛出口烟温;

[0041] 图13为不同磨煤机组合下,最下层的二次风速度分布图,其中:A为工况1,B为工况2,C为工况3,D为工况4,E为工况5,F为不同颜色表示不同速度的图例;

[0042] 图14为不同磨煤机组合下,最下层的一次风速度分布图,其中:A为工况1,B为工况2,C为工况3,D为工况4,E为工况5;

[0043] 图15为不同磨煤机组合下, O_2 浓度沿着炉膛高度方向分布图,其中:A为整个锅炉高度分布图,B为燃烧器区域高度分布图,C为CCOFA与SOFA风区域高度分布图,D为SOFA风以上区域高度分布图;

[0044] 图16为不同磨煤机组合下, CO 浓度沿着炉膛高度方向分布图,其中:A为整个锅炉高度分布图,B为燃烧器区域高度分布图,C为CCOFA与SOFA风区域高度分布图,D为SOFA风以上区域高度分布图;

[0045] 图17为不同磨煤机组合下, NO_x 浓度沿着炉膛高度方向分布图,其中:A为整个锅炉高度分布图,B为燃烧器区域高度分布图,C为CCOFA与SOFA风区域高度分布图,D为SOFA风以上区域高度分布图;

[0046] 图18为不同磨煤机组合下,炉膛出口的 NO_x 浓度。

具体实施方式

[0047] 以下结合附图和具体实施例来详细说明本发明。

[0048] 在本实施例中,以下述经改造的锅炉作为模拟计算对象,实施锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法。

[0049] 该锅炉为660MW,亚临界压力、一次再热、单汽包、控制循环、四角喷燃双切圆燃烧燃煤锅炉,锅炉本体如图1所示。采用露天布置,锅炉为ABB-CE公司产品。燃烧制粉系统为中速磨直吹式,采用直流式宽调节比摆动式燃烧器,燃烧器横截面如图2所示。4个直流摆动式燃烧器按切圆燃烧方式布置锅炉四角。燃烧器分6层,每一同层燃烧的4个一次风(煤粉气流)喷嘴与同一台磨煤机连接、供粉,投则同投,停则同停。6台磨煤机(A,B,C,D,E,F)各自构成基本独立的6个制粉子系统,并与6层燃烧器一次风喷嘴相对应,5层投运已能满足锅炉最大连续蒸发量(MCR)的需要。

[0050] 4组燃烧器分别布置在锅炉下部四个切角处,形成典型的切圆燃烧方式,燃烧器总高度为11.266m,燃烧器轴线与锅炉前、后墙夹角分别为 43° 和 35° 角。如图3所示,每组燃烧器在高度方向上方布置2个紧凑型燃尽风(CCOFA)喷嘴,6个一次风喷嘴(A'、B'、C'、D'、E'和F')和7个供给燃料燃烧空气用的二次风喷嘴(AA、AB、BC、CD、DE、EF和FF),并围绕一次风喷嘴设置周界风喷嘴,一次风喷嘴和二次风喷嘴呈均等配风方式的间隔布置。其中,一次风喷嘴是用来输送煤粉进入炉膛燃烧的,喷入的是煤粉和空气混合物;二次风喷嘴是用来补充后期煤粉燃烧需要的氧量的,喷入的是纯空气;紧凑型燃尽风喷嘴是用来补充后期燃烧需要的氧,喷入的是纯空气。设置周界风的主要目的是防止一次风喷嘴烧损,起到冷却喷嘴的作用,另外一个目的是增强一次风喷嘴射流的刚性。各种喷嘴可以上下摆动,其摆动限定范围:紧凑型燃尽风喷嘴为 $-5^{\circ} \sim 30^{\circ}$;二次风喷嘴为 $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$;一次风喷嘴为 $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。

[0051] 锅炉高约57m,且锅炉横截面为长方形,宽16.44m,深19.558m,如图1所示。图2为燃烧器横截面图。共有6层一次风,7层二次风和2层紧凑型燃尽风(CCOFA),如图3所示。

[0052] 制粉系统为直吹式制粉系统,共6层磨(即ABCDEF),5运1备。其中,ABCDEF分别表示由锅炉下部至上部的第一、第二、第三、第四、第五和第六层磨煤机。改造后,4对分离燃尽风(SOFA)以水平对冲方式安装,如图4所示,以进一步降低锅炉NO_x排放,该分离燃尽风的喷嘴结构如图5所示。改造后,由于总风量没有变化,且二次风中一部分分配到SOFA风,使得二次风喷嘴改造,面积变小,但除了最上层CCOFA的高度有所变化,其余一二次风喷嘴高度均没有改变。改造后SOFA开度100%情况下,SOFA风与CCOFA风占到总二次风的37.2%,仅SOFA风就为26.8%,与改造前的20.4%(仅CCOFA)有了很大的提升。

[0053] 上述锅炉改造后不同磨煤机组合下燃烧特性的获取方法,包括以下步骤:

[0054] 1、建立锅炉的结构化网格模型。

[0055] 根据改造增加了SOFA风的四角切圆燃烧式锅炉的结构特点,采用单独划分网格的方法,将锅炉划分为4个区域,分别为:冷灰斗区域、燃烧器区域、燃烧器上方区域和屏式过热器区域,如图6所示。在划分的过程中,模型均采用结构化网格,为了提高计算的精度,燃烧器区域被适当加密,如图7所示,并将燃烧器出口与锅炉的连接面设置为interface,防止两个面的网格质量和网格形状差异较大而引起误差。本实施例中数值模拟总网格数目约为162万。

[0056] 为了验证本实施例中网格精度是否满足计算要求,进行了网格无关性检验。采用3种不同网格分辨率,计算同样的工况,给出了检验结果,如下表1所示。

[0057] 表1网格无关性检验

[0058]

检验工况	网格数量	出口 O ₂ 浓度 (%)	锅炉出口烟温 (K)	锅炉出口 NO _x 浓度 (mg/Nm ³)
1	120 万	3.0	1577.4	331.7
2	162 万	2.2	1552.8	307.4
3	200 万	2.4	1554.5	310.2

[0059] 从表1中可以得出,162万网格(本实施例所用网格)数模型结果与200万网格(网格精度较高)得到结果非常接近,锅炉出口温度相差1.7K,而162万网格与120万网格结果相比,锅炉出口温度相差24K,因此可以得出,采用120万网格计算得到结果精度比较差,根据网格无关性对比结果表明本实施例采用的162万网格规模是满足计算精度要求的。

[0060] 2、获取所述锅炉的燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数;

[0061] 所述边界条件包括锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件,锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件,锅炉壁面边界条件,热交换边界条件;

[0062] 所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的入口边界条件均采用质量入口边界条件,该质量入口边界条件参数包括质量流量、风温参数,均根据设计参数进行设定,其中CCOFA风、SOFA风和周界风的质量入口边界条件参数还根据改变磨煤机组合的工况条件计算得到;

[0063] 所述锅炉内的中心风、一次风、二次风、CCOFA风、SOFA风和周界风的出口边界条件均采用压力出口边界条件,在本实施例中,压力设置为-80Pa;

[0064] 所述锅炉壁面边界条件采用标准壁面方程,无滑移边界条件;

[0065] 所述热交换边界条件采用第二类边界条件(即温度边界条件),给定预设的壁面温度和辐射率,其中,在本实施例中,给定的壁面温度为690K,壁面辐射率为0.8。

[0066] 所述煤粉参数包括煤粉粒径、煤质成份及含量,所述煤粉粒径按照Rosin-Rammler分布方法设定。Rosin-Rammler分布假定在颗粒直径d与大于此直径的颗粒的质量分数Y_d之间存在指数关系: $Y_d = e^{-(d/\bar{d})^n}$, $\bar{d}$ 为平均直径,n为分布指数。

[0067] 在本实施例中,最小粒径5μm,最大粒径250μm,平均粒径60μm,分布指数1.5,那么,煤粉质量百分比含量与煤粉粒径之间的关系见下表2。

[0068] 表2煤粉质量含量与粒径的关系

[0069]

粒径(μm)	>5	>15	>30	>55	>90	>130	>170	>210	>250	>300
质量分数(%)	97.6	88.2	70.2	41.6	15.9	4.12	0.85	0.14	0.02	0.001

[0070] 对煤质也进行了分析,结果如下表3所示。

[0071] 表3煤质成份及含量(收到基)

[0072]

项目	单位	分析	结果
收到基水分	%	计算	17.7
收到基碳	%	计算	60.7
收到基氢	%	计算	3.8
收到基氧	%	计算	10.1
收到基氮	%	计算	0.8
收到基硫	%	计算	0.4
收到基灰分	%	计算	6.6
燃料低位收到基热值	kJ/kg	分析	23013
燃料高位收到基热值	kJ/kg	分析	27915

[0073] 3、建立数学模型进行燃烧模拟计算。

[0074] 根据上述网格化结构模型、燃烧器参数、边界条件参数和煤粉参数,以标准k-ε湍流模型模拟得到气相湍流流动模型、以混合分数/概率密度(Probability Density Function,PDF)函数模型模拟得到组分运输和燃烧模型、以单分数/概率密度(PDF)函数模型模拟得到纯煤燃烧模型、以双分数/概率密度(PDF)函数模型模拟得到污泥掺烧燃烧模型、以颗粒随机轨道模型模拟得到煤粉颗粒运动模型、以双方程平行竞争反应模型模拟得到煤的热解模型、以动力/扩散控制反应速率模型模拟得到焦炭燃烧模型、以P1辐射模型模拟得到辐射传热模型,离散方法均采用一阶迎风格式。

[0075] 所述模拟计算以迭代法进行计算,先进行冷态计算获得一定收敛程度的流场,然后再进行热态计算,直至收敛。对于离散方程组的压力和速度耦合采用SIMPLE算法求解,求解方程采用逐线迭代法及低松弛因子,使NO和HCN参数的计算残差小于 10^{-8} ,其余各项参数的计算残差小于 10^{-6} 。

[0076] 按照上述方法进行燃烧模拟计算,为了验证数值模拟结果准确性,采用红外温度测量方法,得到了现场实际满负荷运行时锅炉出口温度,以及测量得到的锅炉出口NO_x浓度(换算到6%氧量,标准状态下),对比结果如下表4所示。

[0077] 表4模拟结果与实际测量数据的数据对比表

[0078]

名称	单位	实际测量数据	数值模拟结果	数值模拟结果与实际测量数据的误差值
锅炉出口温度	℃	1135	1025	9.7%
锅炉出口 NO _x 浓度	mg/Nm ³	298	303	1.7%

[0079]

[0080] 通过数据对比可以看出,模拟结果中,锅炉出口温度与现场测量误差范围在10%以内,NO_x浓度与现场比较误差在为1.7%,说明本实施例的方法模拟结果较为准确。

[0081] 4、获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。

[0082] 利用上述数学模型,改变磨煤机组合,本实施例中,具体模拟6个工况,分别为

ABCDF, ABCEF, ABDEF, ACDEF, BCDEF, ABCDE组合的6个工况。表5为不同工况停运磨煤机的情況。

[0083] 表5不同磨煤机组合参数表

[0084]

工况	1	2	3	4	5	6
磨煤机组合	ABCDF	ABCEF	ABDEF	ACDEF	BCDEF	ABCDE
停运磨煤机	第五层	第四层	第三层	第二层	第一层	第六层

[0085] 按照上表5改变磨煤机组合后,通过模拟计算,获得不同磨煤机组合下锅炉的燃烧特性。具体如下:

[0086] 4.1温度场分布情况

[0087] 4.1.1最下层的二次风温度分布

[0088] 图8为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下最下层的二次风温度分布的规律,图中不同颜色表示不同的温度,具体见图例F,图中数值单位为K。

[0089] 从图8中可以看出,不同磨煤机组合下最下层二次风、一次风温度分布较均匀,切圆形成比较好,没有出现火焰贴墙现象,水冷壁面温度较低,避免水冷壁附近发生结焦。

[0090] 4.1.2最下层的一次风温度分布

[0091] 图9为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下最下层的一次风温度分布的规律,其中图中不同颜色表示不同温度的图例如图8(F)。

[0092] 从图9中可以看出,不同磨煤机组合下最下层一次风温度分布较均匀,切圆形成比较好,没有出现火焰贴墙现象,水冷壁面温度较低,避免水冷壁附近发生结焦。

[0093] 4.1.3锅炉中心竖向截面温度分布

[0094] 图10为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下锅炉中心竖向截面温度分布的规律,图中不同颜色表示不同温度的图例如图8(F)。

[0095] 从图10中可以看出,燃烧器区域温度比较高,最高温度达到了2000K,沿着烟气流动方向,温度逐渐降低。本发明数值模拟模拟考虑了屏式过热器对烟气温度影响,从模拟结果看出,烟气经过屏式过热器区域时,温度有较大降低。

[0096] 4.1.4锅炉横向截面平均温度沿锅炉高度方向的分布

[0097] 图11为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下锅炉横向截面平均温度沿炉膛高度方向的分布规律。

[0098] 其中,图11(A)为整个锅炉高度方向上温度分布,在燃烧器区域,见图11(B),不同磨煤机组合下,整体上看沿着炉膛高度方向,温度逐渐升高,说明在燃烧器区域由于燃烧放热,导致烟气温度沿着高度方向逐渐升高。在CCOFA与SOFA风之间的区域,见图11(C),沿着炉膛高度方向,温度呈现先下降,再上升,最后下降的规律。在SOFA风喷口以上的区域,见图11(D),不同磨煤机组合下,温度曲线基本上是重合的,而且沿着炉膛高度方向,温度逐渐降低。不同磨煤机组合下:ABCDE、ABCDF、ABCEF、ABDEF、ACDEF、BCDEF,炉内最高温度分别为:1707.1K、1709.5K、1767.4K、1741.0K、1717.3K、1716.9K。当磨煤机组合为ABCEF时,炉膛内温度最高为1767.4K,最高温度出现在第四层一次风喷口位置。当磨煤机组合为ABCDE时,炉膛内最高温度为1707.1K,最高温度出现在第7层二次风喷口位置。

[0099] 4.1.5锅炉出口烟温

[0100] 图12为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下出口烟温变化情况。

[0101] 由图12中可以看出,不同磨煤机组合下:ABCDE、ABCDF、ABCEF、ABDEF、ACDEF、BCDEF,炉内最高温度分别为:1552.8K、1535.2K、1558.7K、1569.1K、1579.2K、1544.3K。磨煤机组合为ACDEF时,炉膛出口烟温最高,最高值为1579.2K;磨煤机组合为ABCDF时,炉膛出口烟温最低,温度值为1535.2K。这说明在现场运行中,尽量投运上层磨煤机,炉膛出口温度会升高。

[0102] 4.2速度场分布情况

[0103] 4.2.1最下层的二次风速度分布

[0104] 图13为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下最下层的二次风速度分布的规律,图中不同颜色表示不同的速度,具体见图F中图例,图中数值单位为m/s。

[0105] 从图13可以得出,在不同磨煤机组合下,最下层二次风速度切圆形成比较好,没有出现速度冲墙现象。

[0106] 4.2.2最下层的一次风速度分布

[0107] 图14为本方法模拟得到的不同磨煤机组合下最下层的一次风速度分布的规律,图中不同颜色表示不同的速度,具体见图13(F)中图例。

[0108] 从图14可以得出,最下层一次风速度切圆形成比较好,没有出现速度冲墙现象。

[0109] 4.3组份场分布情况

[0110] 4.3.1O₂浓度沿炉膛高度方向的分布

[0111] 图15为O₂浓度沿着炉膛高度方向分布。在燃烧器区域,见图15(B),O₂浓度沿着炉膛高度方向,呈现较为复杂的规律。在CCOFA与SOFA风喷口之间的区域,见图15(C),整体上看,不同磨煤机组合下,沿着炉膛高度方向,O₂浓度是逐渐升高的。在SOFA风喷口以上的区域,见图15(D),沿着炉膛高度方向,不同磨煤机组合下,O₂浓度逐渐降低。这说明,在SOFA喷口以上的区域,由于未燃尽的焦炭继续燃烧,消耗大量的氧气,导致氧气的浓度沿着炉膛高度方向逐渐降低。

[0112] 4.3.2CO浓度沿炉膛高度方向的分布

[0113] 图16为CO浓度沿着炉膛高度方向分布。在燃烧器区域,见图16(B),CO分布呈现比较复杂的规律。在CCOFA与SOFA风之间的区域,见图16(C),沿着炉膛高度方向,CO浓度逐渐降低。在SOFA风喷口以上区域,见图16(D),沿着高度方向,CO浓度逐渐降低。这说明在CCOFA风喷口以上的区域,由于O₂及时补充,未充分燃烧的CO逐渐燃烧,CO浓度也逐渐降低。

[0114] 4.3.3NO_x浓度沿炉膛高度方向的分布

[0115] 图17为NO_x浓度沿着炉膛高度方向分布。从图17可以得出,在燃烧器区域,见图17(B),不同磨煤机组合下,NO_x浓度沿着炉膛高度方向分布规律不明显。在CCOFA与SOFA风之间的区域,见图17(C),整体上,不同磨煤机组合下,沿着炉膛高度方向,NO_x浓度逐渐降低。在SOFA风喷口以上的区域,见图17(D),不同磨煤机组合下,NO_x浓度沿着炉膛高度方向,呈现先增加后减少的规律,但是NO_x浓度增加和降低的程度比较缓慢。

[0116] 4.3.4锅炉出口的NO_x浓度

[0117] 图18为不同磨煤机组合下炉膛出口NO_x浓度变化。从图18可以得出,不同磨煤机组合下:ABCDE、ABCDF、ABCEF、ABDEF、ACDEF、BCDEF,炉膛出口NO_x浓度分别为:307.4mg/Nm³、352.0mg/Nm³、382.2mg/Nm³、315.8mg/Nm³、329.0mg/Nm³、330.5mg/Nm³。当磨煤机组合为ABCEF

时,炉膛出口NO_x浓度最高为382.2mg/Nm³;当磨煤机组合为ABCDE时,炉膛出口NO_x浓度最低为307.4mg/Nm³。

[0118] 上述针对某电厂660MW超超临界旋流燃烧煤粉锅炉,模拟了变磨煤机组合的条件下,炉内燃烧特性变化的规律。模拟的结果与现场实际情况吻合比较好,验证了本文数值模拟结果的有效性,主要结论如下:

[0119] (1)数值模拟结果炉膛出口温度与现场测量误差范围在10%以内,NO_x浓度与现场比较误差在1.7%,说明本文数值模拟结果较为准确。

[0120] (2)采用低氮改造增加SOFA风后温度分布较均匀,切圆形成比较好,没有出现火焰贴墙现象,水冷壁面温度较低,不同SOFA风门开度下,最下层二次风速度切圆形成比较好,没有出现速度冲墙现象。

[0121] (3)在燃烧器区域,不同磨煤机组合下,整体上看沿着炉膛高度方向,温度逐渐升高;在CCOFA与SOFA风之间的区域,沿着炉膛高度方向,温度呈现先下降,再上升,最后下降的规律。在SOFA风喷口以上的区域,不同磨煤机组合下,温度曲线基本上是重合的,而且沿着炉膛高度方向,温度逐渐降低。当磨煤机组合为ABCEF时,炉膛内温度最高为1767.4K;当磨煤机组合为ABCDE时,炉膛内最高温度为1707.1K。

[0122] (4)磨煤机组合为ACDEF时,炉膛出口烟温最高,最高值为1579.2K;磨煤机组合为ABCDF时,炉膛出口烟温最低,温度值为1535.2K。这说明在现场运行中,尽量投运上层磨煤机,炉膛出口温度会升高。

[0123] (5)在CCOFA与SOFA风喷口之间的区域,整体上看,不同磨煤机组合下,沿着炉膛高度方向,O₂浓度是逐渐升高的。在SOFA风喷口以上的区域,沿着炉膛高度方向,不同磨煤机组合下,O₂浓度逐渐降低。

[0124] (6)在CCOFA与SOFA风之间的区域,整体上看,不同磨煤机组合下,沿着炉膛高度方向,NO_x浓度逐渐降低。在SOFA风喷口以上的区域,不同磨煤机组合下,NO_x浓度沿着炉膛高度方向,呈现先增加后减少的规律,但是NO_x浓度增加和降低的程度比较缓慢。

[0125] (7)当磨煤机组合为ABCEF时,炉膛出口NO_x浓度最高为382.2mg/Nm³;当磨煤机组合为ABCDE时,炉膛出口NO_x浓度最低为307.4mg/Nm³。

[0126] 通过本实施例的研究表明,采用增加SOFA风低氮改造后,炉内速度场、温度场形成比较好,没有出现冲墙现象,实际运行表明低氮改造措施是有效的。本实施例中不同磨煤机组合下,炉内速度场、温度场、组分场和污染物场分布的规律,为实际运行提供了理论上的指导,具有重要的工程价值。

[0127] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

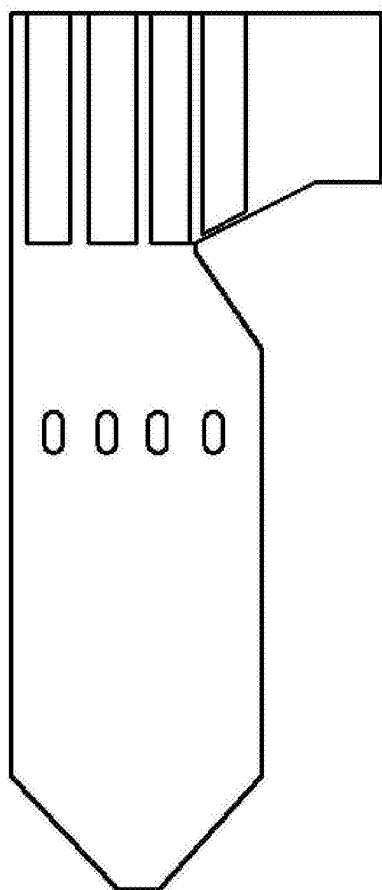


图1

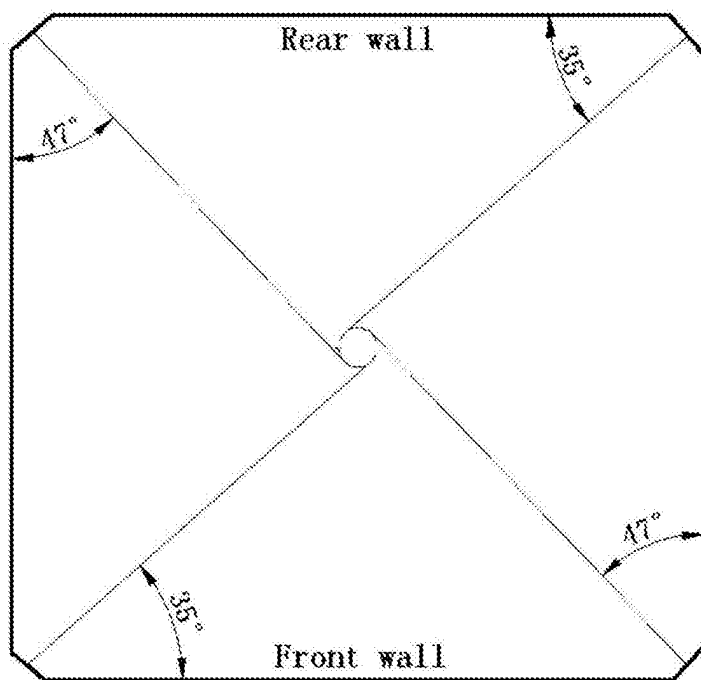


图2

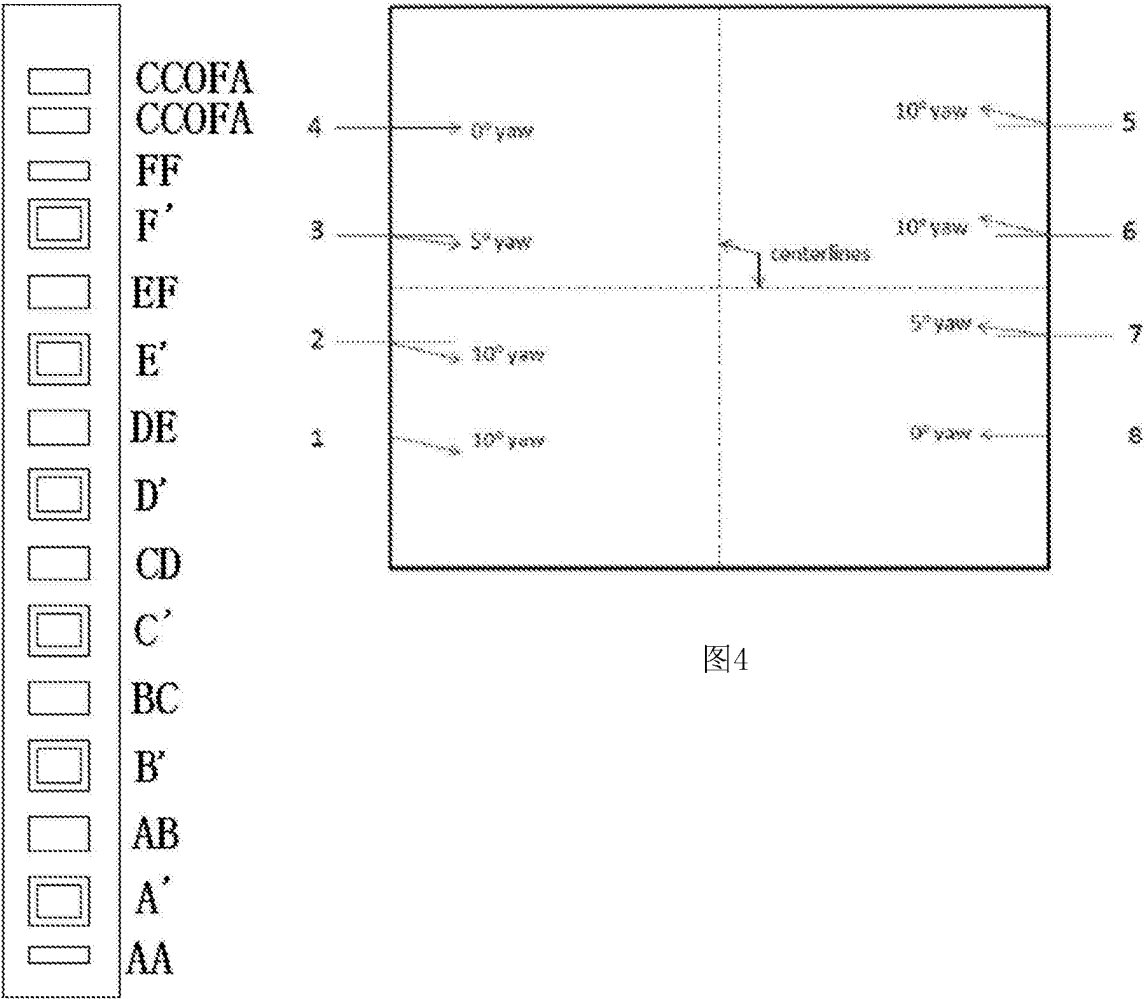


图4

图3

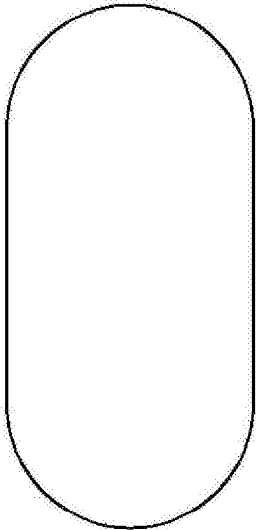


图5

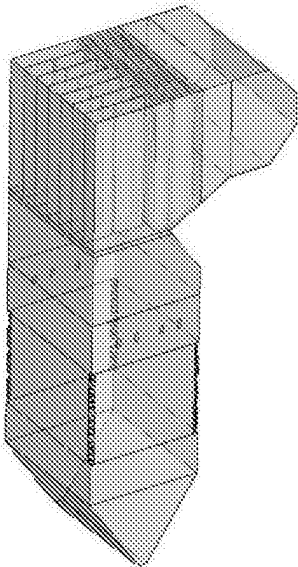


图6

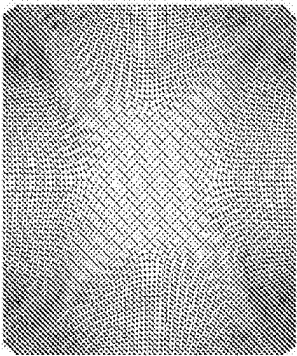


图7

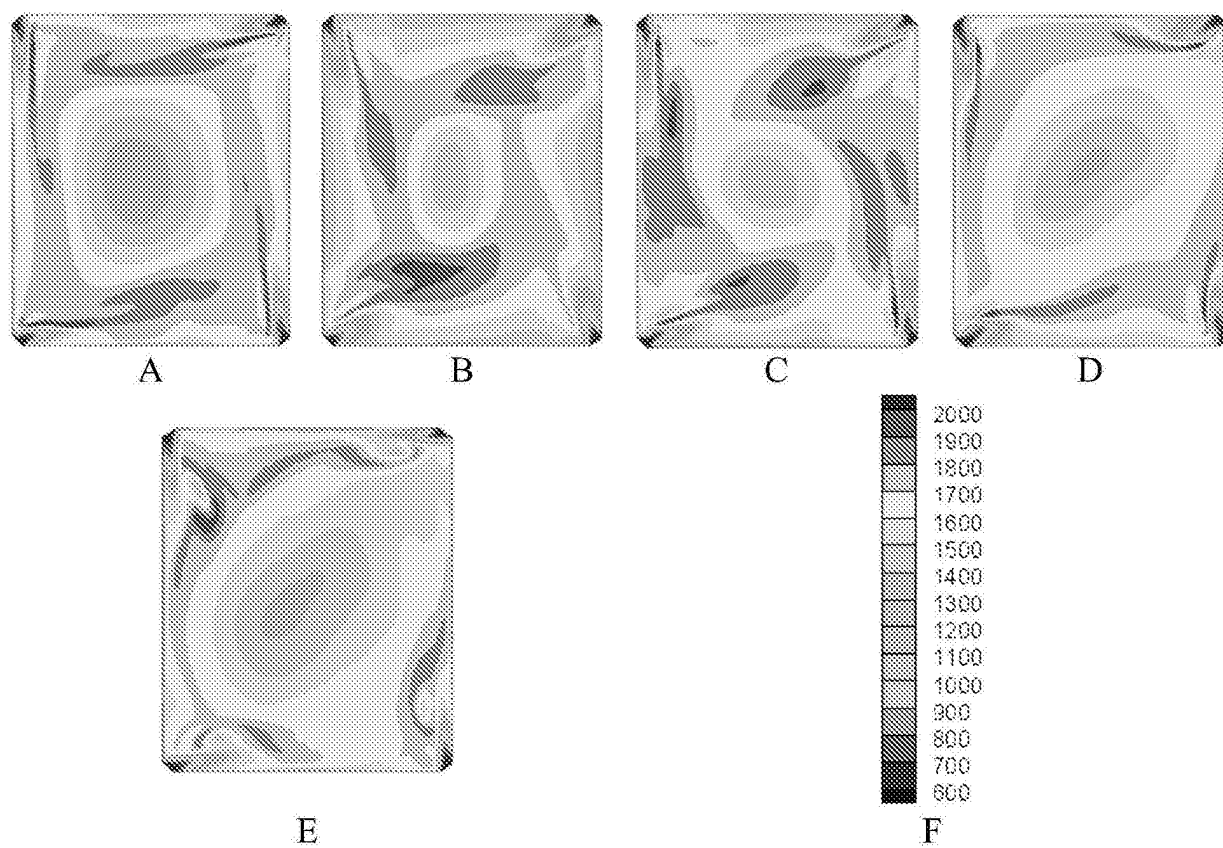


图8

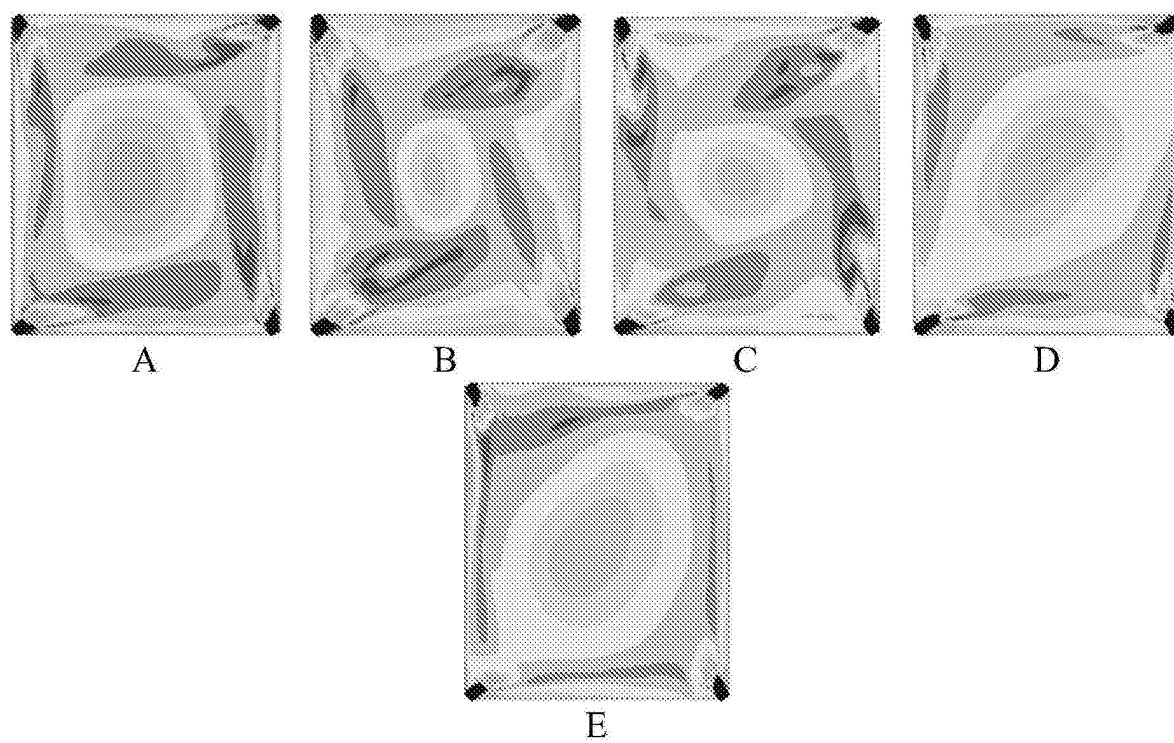


图9

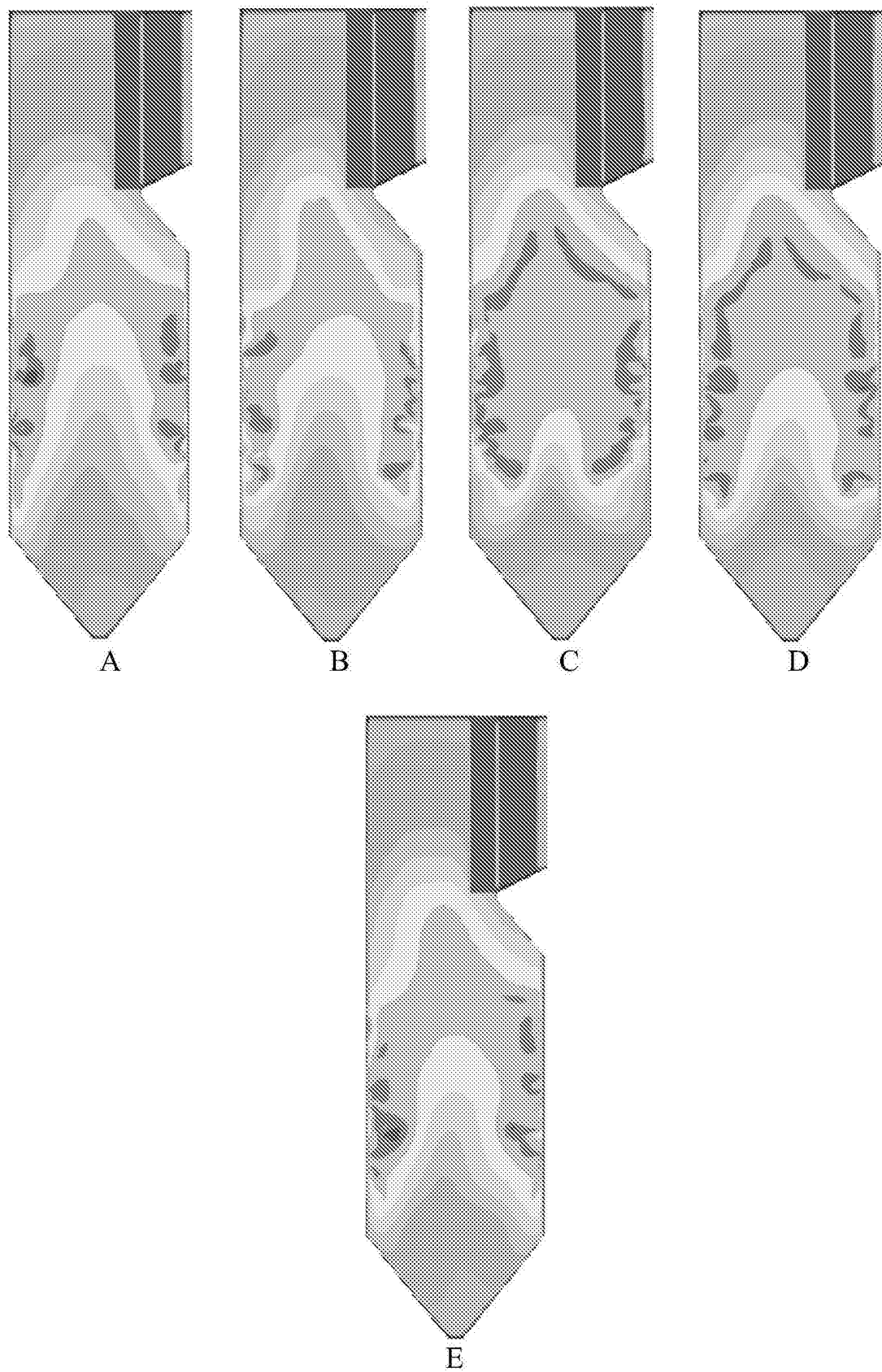


图10

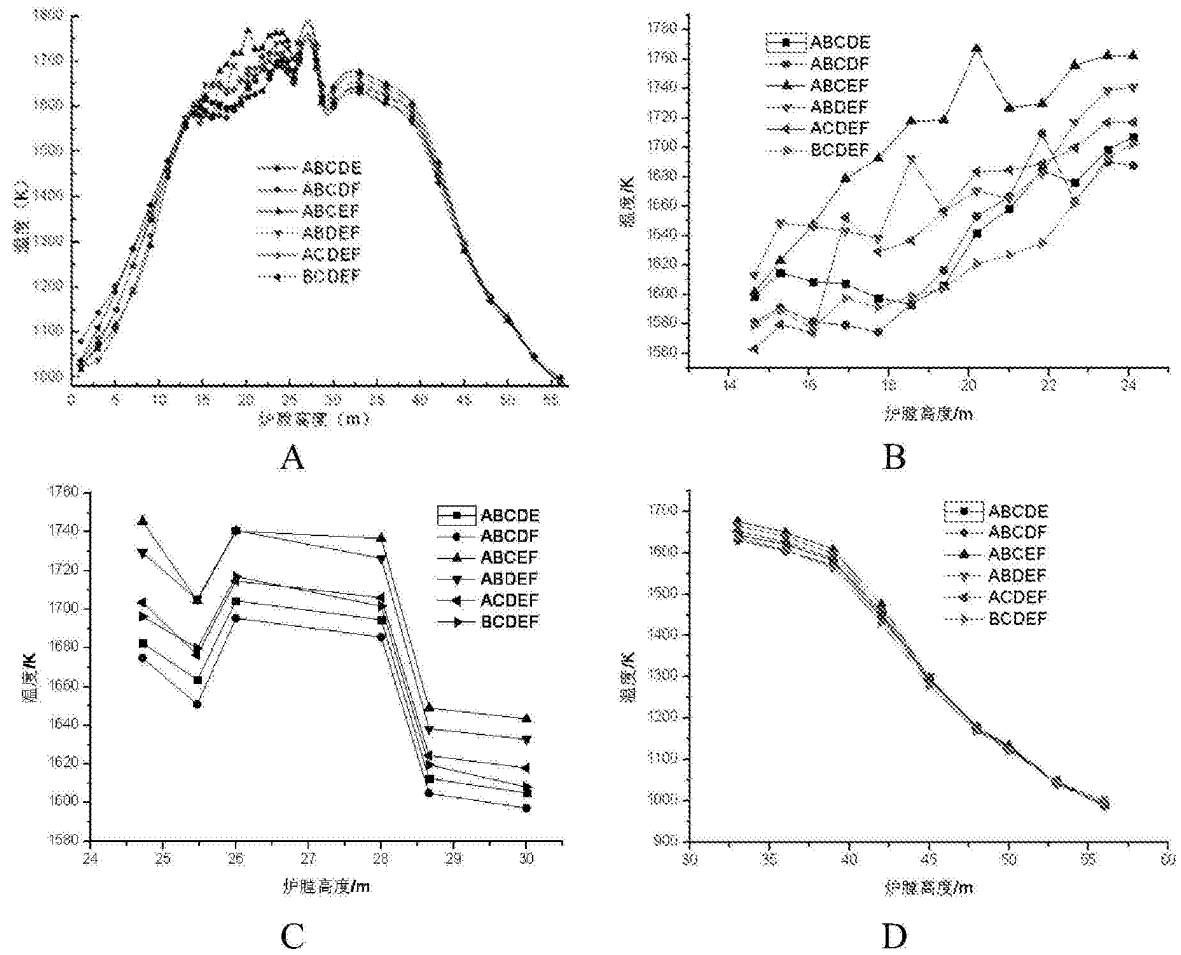


图11

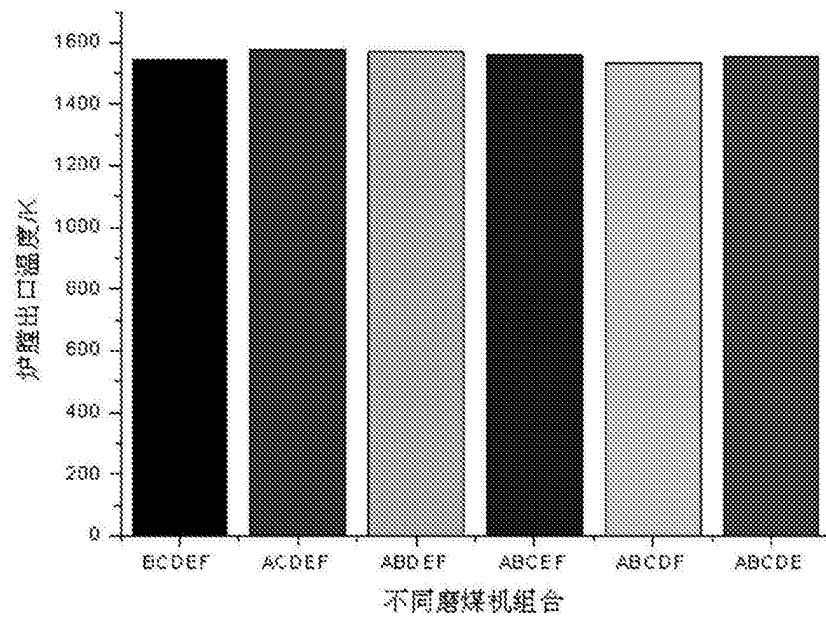


图12

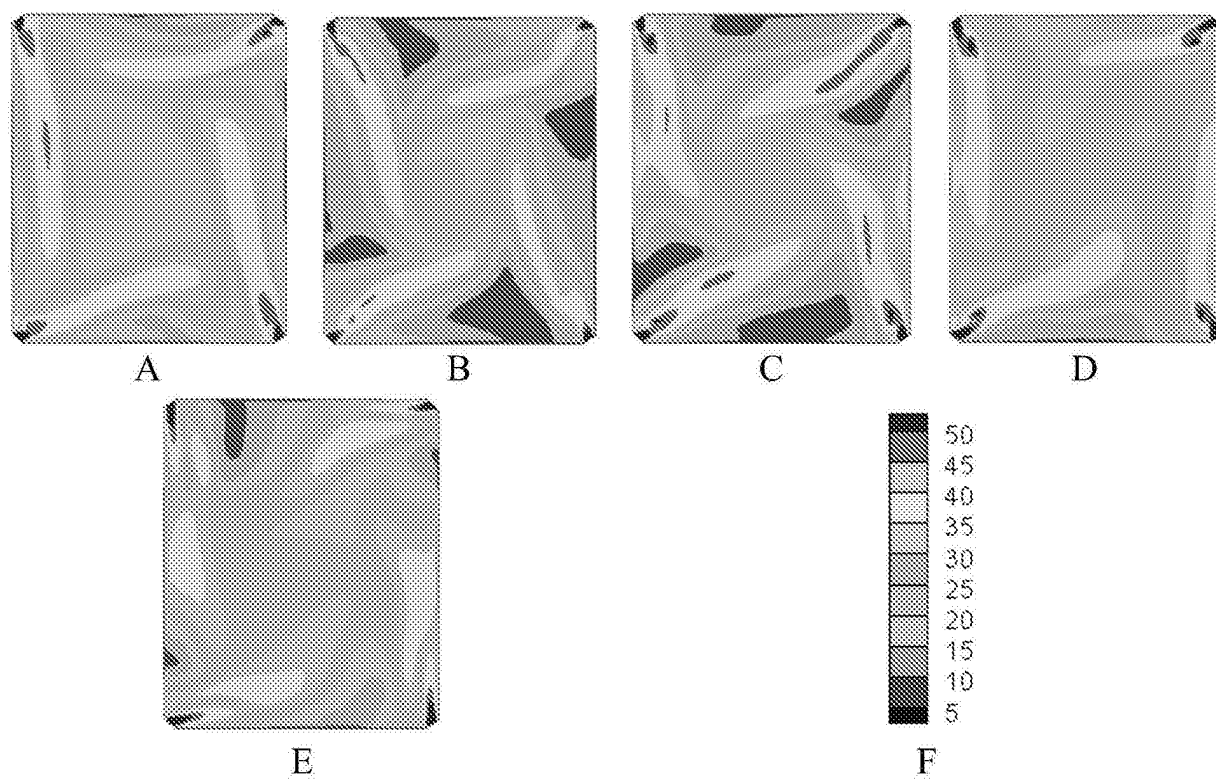


图13

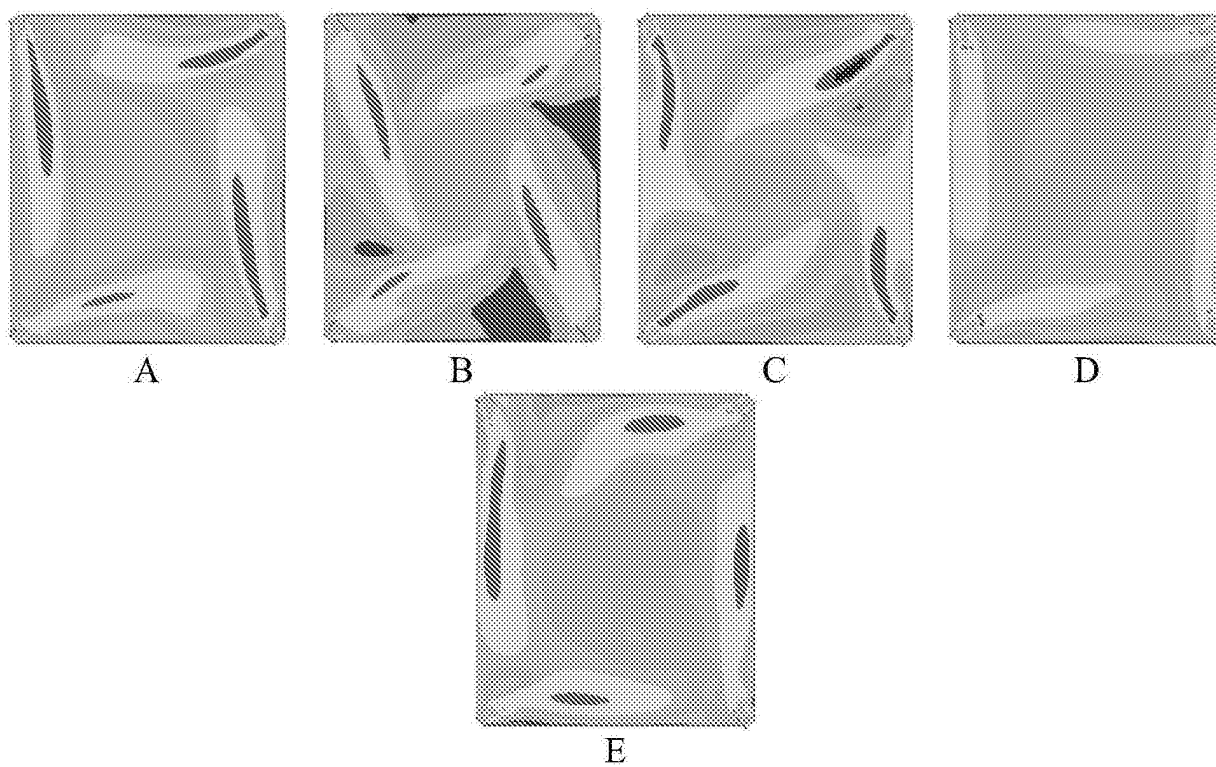


图14

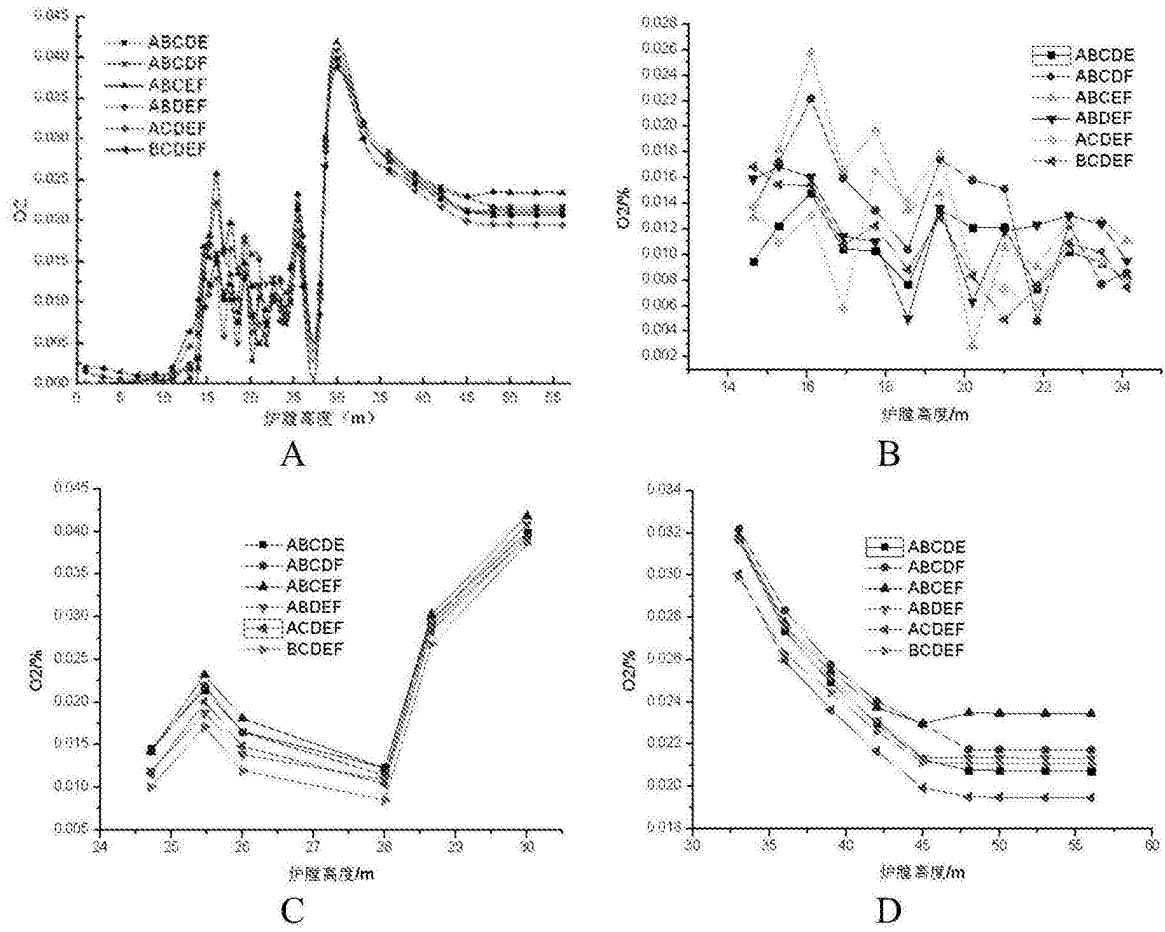


图15

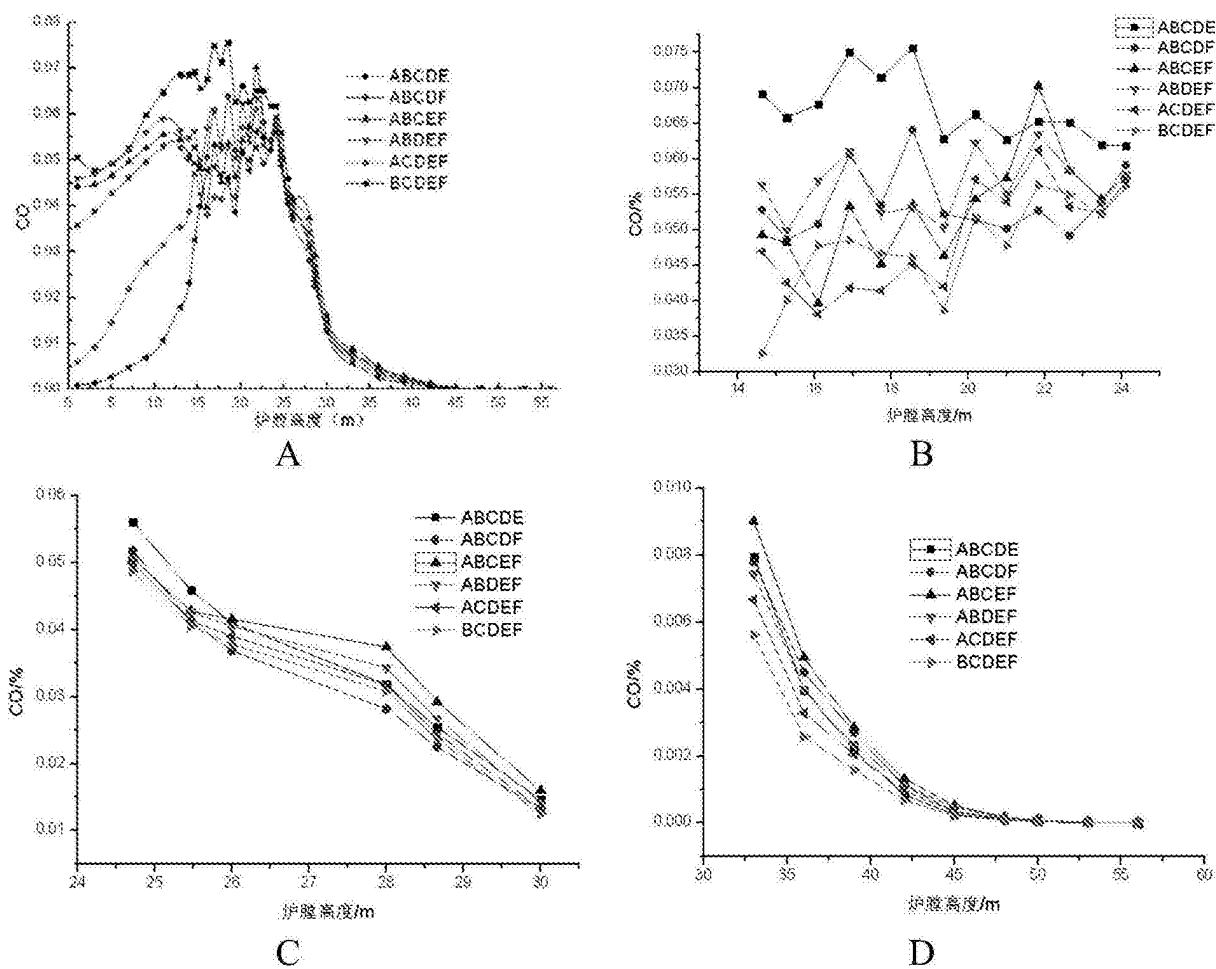


图16

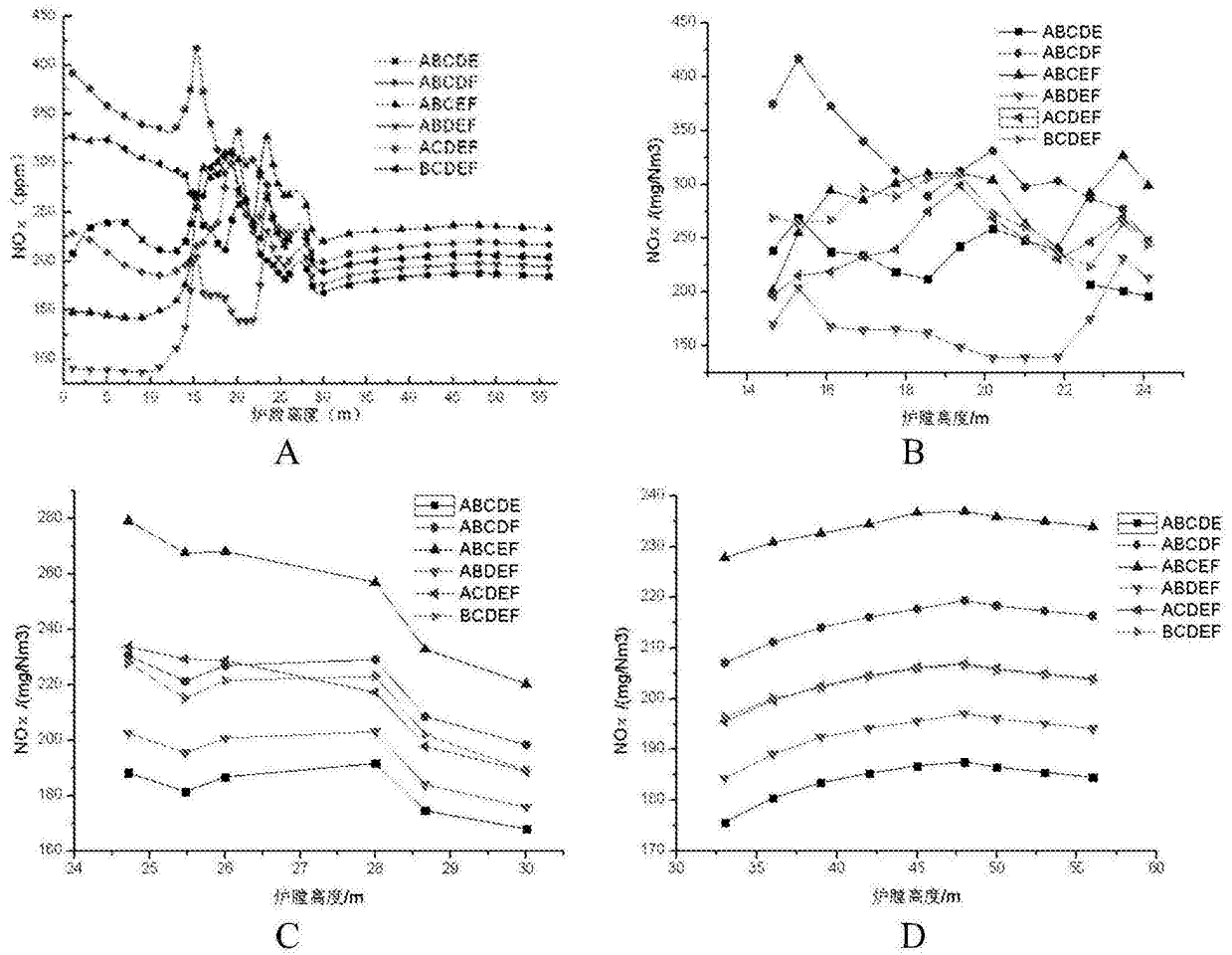


图17

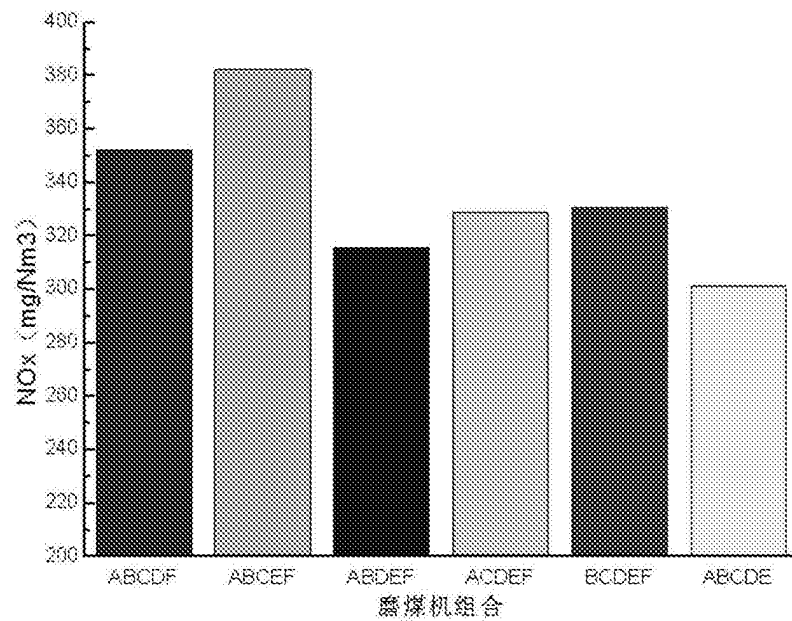


图18