



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112524637 B

(45) 授权公告日 2021.11.19

(21) 申请号 202011458482.7

F23N 3/00 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.11

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112524637 A

CN 108548173 A, 2018.09.18

CN 102297421 A, 2011.12.28

CN 110925749 A, 2020.03.27

(43) 申请公布日 2021.03.19

CN 111140865 A, 2020.05.12

(73) 专利权人 华中科技大学

CN 101413674 A, 2009.04.22

CN 101498459 A, 2009.08.05

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

EP 0486535 A4, 1992.12.02

JP H01302004 A, 1989.12.06

(72) 发明人 苏胜 王中辉 向军 胡松 汪一
徐俊 任强强 吴运凯 江紫薇

CN 109794149 A, 2019.05.24

CN 109185872 A, 2019.01.11

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

史义明等. “基于CO/02在线监测的锅炉燃烧
优化系统开发与试验研究”. 《广东电力》. 2020,
第135-141页.

代理人 孔娜 李智

审查员 苏焯

(51) Int. Cl.

B01D 53/00 (2006.01)

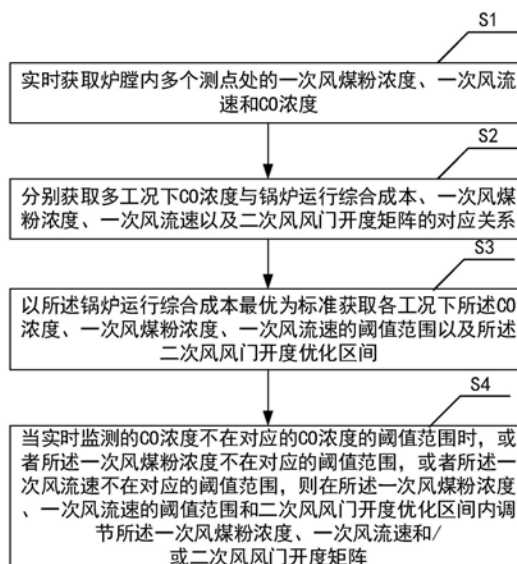
权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法和系统

(57) 摘要

本发明属于燃烧优化相关技术领域,其公开了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法和系统,该方法包括:实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度;分别获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系;以锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、流速的阈值范围以及二次风风门开度优化区间;当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在其对应的阈值范围内时,则调节一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。本发明通过监测锅炉侧的CO浓度并联合调节一次风和二次风的参数实现锅炉燃烧侧的精准调节。



1. 一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法,其特征在于,所述方法包括:

S1,实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度;

S2,获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本的对应关系、获取多工况下CO浓度与一次风煤粉浓度的对应关系、获取多工况下CO浓度与一次风流速的对应关系,以及获取多工况下CO浓度与二次风风门开度矩阵的对应关系,其中,所述二次风风门开度矩阵与CO浓度的关系式为:

$$V_n = \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}\eta_n^{\lambda_{11}} A_{11}' & \cdots & k_{1n}\eta_n^{\lambda_{1n}} A_{1n}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1}\eta_n^{\lambda_{n1}} A_{n1}' & \cdots & k_{nn}\eta_n^{\lambda_{nn}} A_{nn}' \end{pmatrix}$$

式中, V_n 为目标二次风量; η_n 为实时CO浓度值,ppm; $k_{11} \sim k_{nn}$ 为与测点附近风量及风门构造相关的系数, $\lambda_{11} \sim \lambda_{nn}$ 根据拟合结果得出; $A_{11} \sim A_{nn}$ 为测点附近各个小风门开度目标值,其值大小为: $0 \leq A_{11}, A_{nn} \leq 100$; $A_{11}' \sim A_{nn}'$ 为测点附近各个小风门开度实时值,其值大小为: $0 \leq A_{11}', A_{nn}' \leq 100$;

所述一次风煤粉浓度和一次风流速与CO浓度的关系式为:

$$c_{coal} = \frac{m}{\rho V_1} = m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71} = k_1 \eta_n^{0.71}$$

$$v_0 = \left(\frac{m}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = \left(\frac{m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71}}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = k_2 \eta_n^{0.71/\xi_0}$$

式中, c_{coal} 为一次风煤粉浓度,kg/kg; v_0 为一次风流速,m/s; m 为一次风携粉量,kg/s; α_n 为测点CO浓度修正因子,理想情况下取1; η_n 为测点CO浓度测量值,ppm; ρ 为空气密度,kg/m³; V_1 为测点附近一次风量,Nm³/m³; m_0 为参考携粉量,kg/s; η_n^0 为参考CO浓度,ppm; ξ_0 为风速修正指数,风速不同时指数会随之发生变化; α_0 为修正系数; M 为磨煤机给煤量,kg/s;

所述锅炉运行综合成本的计算式为:

$$COST = \frac{3600}{Q_{ar,net} \eta_b \eta_p \eta_e} \times \frac{PRICE_{coal}}{10^3} + \partial \times C_{NO_x} \times B \times V_{gy} \times Q_{m,NH_3} \times \beta \times \frac{PRICE_{NH_3}}{P \times 10^6}$$

其中, $Q_{ar,net}$ 为煤的低位发热量,kJ/kg; η_b 为锅炉效率; η_p 为管道运输效率; η_e 为汽轮机热效率, $\eta_e = \eta_m \eta_g \eta_i$; η_m 为汽轮机机械效率,取为0.99; η_g 为发电机效率,取为0.99; η_i 为汽轮机循环热效率,与汽轮机实际内功率和进入汽轮机的总热量有关,在一定负荷下为定值; $PRICE_{coal}$ 为煤价,RMB/t; ∂ 为还原剂成本系数; C_{NO_x} 为实时NOx排放浓度,mg/Nm³;B为当前条件下燃料量,kg/h; V_{gy} 为当前条件下干烟气体积,m³/kg; Q_{m,NH_3} 为脱除NOx所需理论氨量,kg/kg; β 为实际氨氮比; $PRICE_{NH_3}$ 为氨成本,RMB/kg;P为有功功率,kW;

S3,以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间;

S4,当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时,则

在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S1中一次风煤粉浓度和一次风流速测点的安装原则为:在进入燃烧器的每一根一次风管上均安装测点;CO浓度测点的安装原则为:四角切圆锅炉炉膛侧每面炉墙至少安装2台;前后墙对冲锅炉左右侧墙,每面侧墙主燃区上层安装4台,燃尽区安装2台。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S4中当实时监测的CO浓度不在对应的CO浓度的阈值范围时,首先在所述一次风煤粉浓度和一次风流速的阈值范围内调节一次风煤粉浓度和一次风流速,若调节后的CO浓度在对应的阈值范围内,则停止调节;若对一次风煤粉浓度和一次风流速的调节不能使得所述CO浓度在对应的阈值范围内,则在二次风风门开度的优化区间内调节二次风风门开度。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,若一次风煤粉浓度的调节量或者一次风速的调节量或者二次风风门开度的调节量大于或等于对应原值的15%时,则按对应原值的15%调节所述一次风煤粉浓度或一次风速或二次风风门开度,若一次风煤粉浓度的调节量或者一次风速的调节量或者二次风风门开度的调节量小于对应原值的15%时,则按对应调节量调节所述一次风煤粉浓度或一次风速或二次风风门开度。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S2还包括根据历史运行数据获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系。

6. 一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化系统,其特征在于,所述系统包括:

第一获取模块,用于实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度;

第二获取模块,用于获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本的对应关系、获取多工况下CO浓度与一次风煤粉浓度的对应关系、获取多工况下CO浓度与一次风流速的对应关系,以及获取多工况下CO浓度与二次风风门开度矩阵的对应关系,其中,所述二次风风门开度矩阵与CO浓度的关系式为:

$$V_n = \begin{pmatrix} A_{11} & \dots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}\eta_n^{\lambda_{11}} A_{11}' & \dots & k_{1n}\eta_n^{\lambda_{1n}} A_{1n}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1}\eta_n^{\lambda_{n1}} A_{n1}' & \dots & k_{nn}\eta_n^{\lambda_{nn}} A_{nn}' \end{pmatrix}$$

式中, V_n 为目标二次风量; η_n 为实时CO浓度值,ppm; $k_{11} \sim k_{nn}$ 为与测点附近风量及风门构造相关的系数, $\lambda_{11} \sim \lambda_{nn}$ 根据拟合结果得出; $A_{11} \sim A_{nn}$ 为测点附近各个小风门开度目标值,其值大小为: $0 \leq A_{11}, A_{nn} \leq 100$; $A_{11}' \sim A_{nn}'$ 为测点附近各个小风门开度实时值,其值大小为: $0 \leq A_{11}', A_{nn}' \leq 100$;

所述一次风煤粉浓度和一次风流速与CO浓度的关系式为:

$$c_{coal} = \frac{m}{\rho V_1} = m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71} = k_1 \eta_n^{0.71}$$

$$v_0 = \left(\frac{m}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = \left(\frac{m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71}}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = k_2 \eta_n^{0.71/\xi_0}$$

式中, c_{coal} 为一次风煤粉浓度, kg/kg; v_0 为一次风流速, m/s; m 为一次风携粉量, kg/s; α_n 为测点CO浓度修正因子, 理想情况下取1; η_n 为测点CO浓度测量值, ppm; ρ 为空气密度, kg/m³; V_1 为测点附近一次风量, Nm³/m³; m_0 为参考携粉量, kg/s; η_n^0 为参考CO浓度, ppm; ξ_0 为风速修正指数, 风速不同时指数会随之发生变化; α_0 为修正系数; M 为磨煤机给煤量, kg/s;

所述锅炉运行综合成本的计算式为:

$$COST = \frac{3600}{Q_{ar,net} \eta_b \eta_p \eta_e} \times \frac{PRICE_{coal}}{10^3} + \partial \times C_{NO_x} \times B \times V_{gy} \times Q_{m,NH_3} \times \beta \times \frac{PRICE_{NH_3}}{P \times 10^6}$$

其中, $Q_{ar,net}$ 为煤的低位发热量, kJ/kg; η_b 为锅炉效率; η_p 为管道运输效率; η_e 为汽轮机热效率, $\eta_e = \eta_m \eta_g \eta_i$; η_m 为汽轮机机械效率, 取为0.99; η_g 为发电机效率, 取为0.99; η_i 为汽轮机循环热效率, 与汽轮机实际内功率和进入汽轮机的总热量有关, 在一定负荷下为定值; $PRICE_{coal}$ 为煤价, RMB/t; ∂ 为还原剂成本系数; C_{NO_x} 为实时NO_x排放浓度, mg/Nm³; B 为当前条件下燃料量, kg/h; V_{gy} 为当前条件下干烟气体积, m³/kg; Q_{m,NH_3} 为脱除NO_x所需理论氨量, kg/kg; β 为实际氨氮比; $PRICE_{NH_3}$ 为氨成本, RMB/kg; P 为有功功率, kW;

第三获取模块, 用于以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间;

调节模块, 包括用于当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时, 则在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。

一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法和系统

技术领域

[0001] 本发明属于燃烧优化相关技术领域,更具体地,涉及一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法和系统。

背景技术

[0002] 在火电厂中,锅炉运行的稳定性、安全性以及经济性被视为生成过程的重中之重,因此锅炉的燃烧备受关注。在燃烧过程中,一次风煤粉浓度和流速对锅炉的安全、稳定运行起着非常重要的作用,若进入燃烧器的风粉浓度不均匀,锅炉在燃烧过程中很容易出现燃烧不稳定,火焰中心偏移等问题,从而引起锅炉局部结焦和高温腐蚀,甚至造成锅炉灭火。为了保证锅炉高效、安全运行,通常采用风粉在线监测技术实现对风粉浓度的条件,但该技术调节手段单一,难以准确反馈锅炉燃烧调整效果。中国专利CN109539301提到了一种基于尾部CO在线监测的锅炉燃烧优化方法及系统,利用尾部CO浓度反映锅炉燃烧情况和调整效果,通过调节送风量达到锅炉燃烧优化的目的。但该方法调节手段单一,且尾部CO不能很好的反映炉内燃烧情况好坏。因此亟需设计一种更加精准的调节方式以优化锅炉燃烧。

发明内容

[0003] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法和系统,通过实时监测锅炉侧的CO浓度并联合调节一次风和二次风的参数实现锅炉燃烧侧的精准调节。

[0004] 为实现上述目的,按照本发明的一个方面,提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法,所述方法包括:S1,实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度;S2,分别获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系;S3,以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间;S4,当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时,则在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。

[0005] 优选地,步骤S1中一次风煤粉浓度和一次风流速测点的安装原则为:在进入燃烧器的每一根一次风管上均安装测点;CO浓度测点的安装原则为:四角切圆锅炉炉膛侧每面炉墙至少安装2台,前后墙对冲锅炉左右侧墙,每面侧墙主燃区上层安装4台,燃尽区安装2台。

[0006] 优选地,步骤S2中所述锅炉运行综合成本的计算式为:

$$[0007] \quad COST = \frac{3600}{Q_{ar,net} \eta_b \eta_p \eta_e} \times \frac{PRICE_{coal}}{10^3} + \partial \times C_{NO_x} \times B \times V_{gv} \times Q_{m,NH_3} \times \beta \times \frac{PRICE_{NH_3}}{P \times 10^6}$$

[0008] 其中, $Q_{ar,net}$ 为煤的低位发热量,kJ/kg; η_b 为锅炉效率; η_p 为管道运输效率; η_e 为汽轮机热效率, $\eta_e = \eta_m \eta_g \eta_i$; η_m 为汽轮机机械效率,一般取为0.99; η_g 为发电机效率,一般取为

0.99; η_1 为汽轮机循环热效率, 与汽轮机实际内功率和进入汽轮机的总热量有关, 在一定负荷下为定值; $PRICE_{coal}$ 为煤价, RMB/t; \mathcal{D} 为还原剂成本系数; C_{NO_x} 为实时 NO_x 排放浓度, mg/ Nm^3 ; B 为当前条件下燃料量, kg/h; V_{gy} 为当前条件下干烟气体积, m^3/kg ; Q_{m,NH_3} 为脱除 NO_x 所需理论氨量, kg/kg; β 为实际氨氮比; $PRICE_{NH_3}$ 为氨成本, RMB/kg; P 为有功功率, kW。

[0009] 优选地, 步骤S2中所述一次风煤粉浓度和一次风流速与CO浓度的关系式为:

$$[0010] \quad c_{coal} = \frac{m}{\rho V_1} = m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71} = k_1 \eta_n^{0.71}$$

$$[0011] \quad v_0 = \left(\frac{m}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = \left(\frac{m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71}}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = k_2 \eta_n^{0.71/\xi_0}$$

[0012] 式中, c_{coal} 为一次风煤粉浓度, kg/kg; v_0 为一次风流速, m/s; m 为一次风携粉量, kg/s; α_n 为测点CO浓度修正因子, 理想情况下取1; η_n 为测点CO浓度测量值, ppm; ρ 为空气密度, kg/ m^3 ; V_1 为测点附近一次风量, Nm^3/m^3 ; m_0 为参考携粉量, kg/s; η_n^0 为参考CO浓度, ppm; ξ_0 为风速修正指数, 风速不同时指数会随之发生变化; α_0 为修正系数; M 为磨煤机给煤量, kg/s。

[0013] 优选地, 步骤S2中所述二次风风门开度与CO浓度的关系式为:

$$[0014] \quad V_n = \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} \eta_n^{\lambda_{11}} A_{11}' & \cdots & k_{1n} \eta_n^{\lambda_{1n}} A_{1n}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} \eta_n^{\lambda_{n1}} A_{n1}' & \cdots & k_{nn} \eta_n^{\lambda_{nn}} A_{nn}' \end{pmatrix}$$

[0015] 式中, V_n 为目标二次风量; η_n 为实时CO浓度值, ppm; $k_{11} \sim k_{nn}$ 为与测点附近风量及风门构造相关的系数, $\lambda_{11} \sim \lambda_{nn}$ 根据拟合结果得出; $A_{11} \sim A_{nn}$ 为测点附近各个小风门开度目标值, 其值大小为: $0 \leq A_{11}, A_{nn} \leq 100$; $A_{11}' \sim A_{nn}'$ 为测点附近各个小风门开度实时值, 其值大小为: $0 \leq A_{11}', A_{nn}' \leq 100$ 。

[0016] 优选地, 步骤S4中当实时监测的CO浓度不在对应的CO浓度的阈值范围时, 首先在所述一次风煤粉浓度和一次风流速的阈值范围内调节一次风煤粉浓度和一次风流速, 若调节后的CO浓度在对应的阈值范围内, 则停止调节; 若对一次风煤粉浓度和一次风流速的调节不能使得所述CO浓度在对应的阈值范围内, 则在二次风风门开度的优化区间内调节二次风风门开度。

[0017] 优选地, 若一次风煤粉浓度的调节量或者一次风速的调节量或者二次风风门开度的调节量大于或等于对应原值的15%时, 则按对应原值的15%调节所述一次风煤粉浓度或一次风速或二次风风门开度, 若一次风煤粉浓度的调节量或者一次风速的调节量或者二次风风门开度的调节量小于对应原值的15%时, 则按对应调节量调节所述一次风煤粉浓度或一次风速或二次风风门开度。

[0018] 优选地, 步骤S2还包括根据历史运行数据获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系。

[0019] 本发明另一方面提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化系统, 所述系统包括: 第一获取模块, 用于实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和

CO浓度;第二获取模块,用于分别获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系;第三获取模块,用于以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间;调节模块,包括用于当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时,则在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。

[0020] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,本发明提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法及系统至少具有如下有益效果:

[0021] 1.通过测点实时监测炉膛侧CO浓度能更好的反映炉内局部燃烧情况的好坏,同时结合一次风风粉和二次风的测量,对一次风和二次风联合进行优化,扩大了燃烧优化的寻优范围和组合方式,优化更加的精确,调控方式多样;

[0022] 2.建立了一次风煤粉浓度和一次风流速与CO浓度的关系式以及二次风风门开度与CO浓度的关系式,可以直观的指导参数的调节,调节目标更加明确,对操作人员的专业水平要求不高;

[0023] 3.调节过程中当调节量过大时按预设调节范围进行调节,避免了一次调节过大造成的锅炉运行不稳定;

[0024] 4.还可以根据历史运行数据获取多个工况下CO浓度与锅炉运行综合成本等的对应关系,可以极大的节省测量时间。

附图说明

[0025] 图1示意性示出了本实施例中基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法步骤示意图;

[0026] 图2示意性示出了本实施例中风粉和CO在线监测装置安装位置示意图;

[0027] 图3示意性示出了本实施例中基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法的流程图;

[0028] 图4示意性示出了本实施例中基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化系统示意图。

具体实施方式

[0029] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0030] 请参阅图1及图3,本发明提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法,所述方法包括步骤S1~S4。

[0031] 本发明以某电厂600MW机组为例进行详细阐述,该锅炉为 π 式前后墙对冲锅炉,配备6台磨煤机,一个磨煤机连接4根一次风管,共计24根一次风管。如图2所示,该锅炉的由下至上包括主燃烧区和燃尽区,燃尽区又包括上燃尽区和下燃尽区。其中,燃烧器的布置方式

和数量分别为主燃烧区拥有3层旋流燃烧器,前墙和后墙的每面墙每层布置5支燃烧器;上燃尽区每面墙布置7支燃烧器,下燃尽区每面墙布置5只燃烧器。

[0032] S1,实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度。

[0033] 一次风煤粉浓度和一次风流速测点的安装原则为:在进入燃烧器的每一根一次风管上均安装测点,测点应安装在靠近燃烧器入口侧的直管段上;CO浓度测点的安装原则为:四角切圆锅炉炉膛侧每面炉墙至少安装2台,前后墙对冲锅炉左右侧墙,每面侧墙主燃区上层安装4台,燃尽区安装2台。安装测点时应注意避开吹灰口和观火口等位置。本实施例中的锅炉为前后墙对冲燃烧,在锅炉炉膛的前墙和后墙主燃区中层各布置1个CO浓度监测装置,上层各布置2个CO浓度在线监测装置,燃尽风区各布置2个CO浓度在线监测装置。

[0034] S2,分别获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系。

[0035] 本步骤中还可以根据历史运行数据获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系。

[0036] 所述锅炉运行综合成本的计算式为:

$$[0037] \quad COST = \frac{3600}{Q_{ar,net} \eta_b \eta_p \eta_e} \times \frac{PRICE_{coal}}{10^3} + \delta \times C_{NO_x} \times B \times V_{gy} \times Q_{m,NH_3} \times \beta \times \frac{PRICE_{NH_3}}{P \times 10^6}$$

[0038] 其中, $Q_{ar,net}$ 为煤的低位发热量,kJ/kg; η_b 为锅炉效率; η_p 为管道运输效率; η_e 为汽轮机热效率, $\eta_e = \eta_m \eta_g \eta_i$; η_m 为汽轮机机械效率,一般取为0.99; η_g 为发电机效率,一般取为0.99; η_i 为汽轮机循环热效率,与汽轮机实际内功率和进入汽轮机的总热量有关,在一定负荷下为定值; $PRICE_{coal}$ 为煤价,RMB/t; δ 为还原剂成本系数; C_{NO_x} 为实时NOx排放浓度,mg/Nm³;B为当前条件下燃料量,kg/h; V_{gy} 为当前条件下干烟气体积,m³/kg; Q_{m,NH_3} 为脱除NOx所需理论氨量,kg/kg; β 为实际氨氮比; $PRICE_{NH_3}$ 为氨成本,RMB/kg;P为有功功率,kW。

[0039] 所述一次风煤粉浓度和一次风流速与CO浓度的关系式为:

$$[0040] \quad c_{coal} = \frac{m}{\rho V_1} = m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71} = k_1 \eta_n^{0.71}$$

$$[0041] \quad v_0 = \left(\frac{m}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = \left(\frac{m_0 \left(\frac{\alpha_n \eta_n}{\eta_n^0} \right)^{0.71}}{\alpha_0 M} \right)^{1/\xi_0} = k_2 \eta_n^{0.71/\xi_0}$$

[0042] 式中, c_{coal} 为一次风煤粉浓度,kg/kg; v_0 为一次风流速,m/s; m 为一次风携粉量,kg/s; α_n 为测点CO浓度修正因子,理想情况下取1; η_n 为测点CO浓度测量值,ppm; ρ 为空气密度,kg/m³; V_1 为测点附近一次风量,Nm³/m³; m_0 为参考携粉量,kg/s; η_n^0 为参考CO浓度,ppm; ξ_0 为风速修正指数,风速不同时指数会随之发生变化; α_0 为修正系数;M为磨煤机给煤量,kg/s。

[0043] 所述二次风风门开度与CO浓度的关系式为:

$$[0044] \quad V_n = \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}\eta_n^{\lambda_{11}} A_{11}' & \cdots & k_{1n}\eta_n^{\lambda_{1n}} A_{1n}' \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1}\eta_n^{\lambda_{n1}} A_{n1}' & \cdots & k_{nn}\eta_n^{\lambda_{nn}} A_{nn}' \end{pmatrix}$$

[0045] 式中, V_n 为目标二次风量; η_n 为实时CO浓度值, ppm; $k_{11} \sim k_{nn}$ 为与测点附近风量及风门构造相关的系数, $\lambda_{11} \sim \lambda_{nn}$ 根据拟合结果得出; $A_{11} \sim A_{nn}$ 为测点附近各个小风门开度目标值, 其值大小为: $0 \leq A_{11}, A_{nn} \leq 100$; $A_{11}' \sim A_{nn}'$ 为测点附近各个小风门开度实时值, 其值大小为: $0 \leq A_{11}', A_{nn}' \leq 100$ 。

[0046] S3, 以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间。

[0047] 理论上, CO浓度越低越不容易造成腐蚀, 但CO浓度过低, 造成炉内氧量过剩, 锅炉效率降低, 经济性降低; CO浓度过高则容易导致高温腐蚀, 不利于锅炉安全运行, 因此CO浓度应控制在合适的范围内。一般锅炉的炉墙面积很大, 在不同的区域CO浓度相差很大, 因此需要在每面炉墙的至少一个位置区域建立不同的CO浓度阈值范围。本实施例中, 通过历史运行数据计算得到该锅炉的前墙中层的CO在线监测装置附近CO浓度阈值范围为(250-2000ppm)、前墙上层CO浓度阈值范围为(300-1800ppm)、前墙燃尽风CO浓度的阈值范围为(100-1200ppm)、后墙中层CO浓度的阈值范围为(300-500ppm)、后墙上层CO浓度的阈值范围为(150~1050ppm)以及后墙燃尽风的CO浓度的阈值范围为(250~1250ppm)时锅炉运行最经济。在电力系统的DCS系统中建立CO浓度专用数据库, 并将上述阈值范围存储于DCS的CO浓度专用数据库中。

[0048] S4, 当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时, 则在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。

[0049] 当CO在线监测装置监测到的CO浓度在上述阈值范围内时, 无需进行优化。否则, 若CO浓度大于对应的阈值范围的最大值, 则证明该区域CO浓度偏高, 燃料燃烧不充分, 供氧不足, 此时需进一步增大氧量; 因此系统应该生成减小一次风煤粉浓度和流速、增大风门开度的调节指令。若CO浓度小于对应阈值范围的最小值, 证明氧气过量, 送风机做功较多, 会造成锅炉效率降低, 运行不经济的问题; 因此系统应生成增大一次风煤粉浓度和流速、减小风门开度的调节指令。同时将上述调节指令传输到DCS系统的人机交互界面上, 运行人员可根据上述调节指令手动/自动进行调节。调节完成后, 继续监测CO浓度的变化, 并将监测值与其对应的阈值范围进行比较, 若监测值在对应的阈值范围内则不再进行调节优化。否则, 继续生成调节指令, 运行人员可根据重新生成的调节指令继续调节燃烧器的风门开度, 直至实时监测的CO浓度处在相应的阈值范围内时停止调节, 并实时将优化数据存入专用数据库中。

[0050] 值得注意的是, 在调节指令生成后, 首先要对调节指令进行判断, 判断生成的调节指令是否正常。若生成的调节指令需要调节的燃烧器风门的开度大于对应燃烧器风门开度的15%, 考虑调节的安全性, 需要按照调节指令的15%进行调节; 若生成的调节指令需要调节的燃烧器风门的开度小于等于对应燃烧器风门开度的15%, 则直接按调节指令的值进行调节。同时通过风粉在线监测数据调节各燃烧器一次风煤粉浓度和流速, 保证炉膛燃烧区

域温度分布和CO浓度分布趋于均匀。

[0051] 图3示意性示出了本公开实施例中基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化方法的流程图。在对锅炉进行优化之前首先判断当前锅炉运行是否低于50%，若低于50%，则存在熄火的风险，不对其进行优化。当锅炉负荷大于50%时，再通过固定碳和挥发分判断当前锅炉燃烧的煤质是否为常用煤质。若固定碳和挥发分的含量误差均在该锅炉设计煤种的10%以内则证明该煤种为常用煤种，如不是则不对其进行优化，若是则进一步根据上述步骤S1~S4进行优化。

[0052] 该机组某段时间负荷为600MW、空干基挥发分为32%以及固定碳含量为39%时，A磨煤机一次风煤粉浓度分别为0.436kg/kg、0.423kg/kg、0.395kg/kg和0.389kg/kg，流速分别为24.5m/s、22.4m/s、23.8m/s和25.2m/s，前墙中层CO平均浓度为976ppm、前墙上层CO平均浓度为2125ppm，后墙中层CO平均浓度为585ppm、后墙上层CO平均浓度为1587ppm，前墙燃尽风CO平均浓度为1305ppm，后墙燃尽风CO平均浓度为896ppm，实时锅炉效率为92.9%，脱硝前NO_x浓度为337mg/Nm³。通过调节指令，减小一次风煤粉浓度和流速，增大二次风风门开度。其中，A磨煤机一次风煤粉浓度分别减小8%、8%、4%和4%，流速分别减小10%、7%、5%和12%；增大下燃尽风燃烧器风门开度5%，上燃尽风燃烧器风门开度7%，主燃烧区下层燃烧器靠近左右墙4个单支燃烧器二次风门分别增大3%，中层左右4个燃烧器二次风门分别增大5%，上层左右4个燃烧器二次风门分别增大6%。优化后，A磨煤机一次风煤粉浓度分别降为0.406kg/kg、0.393kg/kg、0.379kg/kg和0.373kg/kg，流速分别降为22.1m/s、20.8m/s、20.5m/s和22.2m/s，前墙中层CO平均浓度为352ppm、前墙上层CO平均浓度为464ppm，后墙中层CO平均浓度为376ppm、后墙上层CO平均浓度为428ppm，前墙燃尽风CO平均浓度为216ppm，后墙燃尽风CO平均浓度为268ppm，实时锅炉效率为93.2%，脱硝后NO_x浓度为294mg/Nm³。从结果可以看出，通过调节一次风煤粉浓度、流速和风门开度可以使进入燃烧器的风粉浓度更加均匀，并可在提升锅炉效率的同时降低氮氧化物的排放，保证了锅炉高效、低污染运行。

[0053] 本公开另一方面还提供了一种基于风粉和CO在线监测的锅炉燃烧优化系统，如图4所示，该系统包括：

[0054] 第一获取模块，例如可以执行以上图1中的步骤S1，用于实时获取炉膛内多个测点处的一次风煤粉浓度、一次风流速和CO浓度；

[0055] 第二获取模块，例如可以执行以上图1中的步骤S2，用于分别获取多工况下CO浓度与锅炉运行综合成本、一次风煤粉浓度、一次风流速以及二次风风门开度矩阵的对应关系；

[0056] 第三获取模块，例如可以执行以上图1中的步骤S3，用于以所述锅炉运行综合成本最优为标准获取各工况下所述CO浓度、一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围以及所述二次风风门开度优化区间；

[0057] 调节模块，例如可以执行以上图1中的步骤S4，包括判断模块和指令生成模块，用于当实时监测的CO浓度或一次风煤粉浓度或一次风流速不在对应的阈值范围时，则在所述一次风煤粉浓度、一次风流速的阈值范围和二次风风门开度优化区间内调节所述一次风煤粉浓度、一次风流速和/或二次风风门开度矩阵。

[0058] 综上所述，本申请通过测点实时监测炉膛侧CO浓度能更好的反映炉内局部燃烧情况的好坏，同时结合一次风煤粉、风速和二次风的测量，对一次风和二次风联合进行优化，

扩大了燃烧优化的寻优范围和组合方式,优化更加的精确,调控方式多样,对锅炉的燃烧优化具有重要的指导意义。

[0059] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

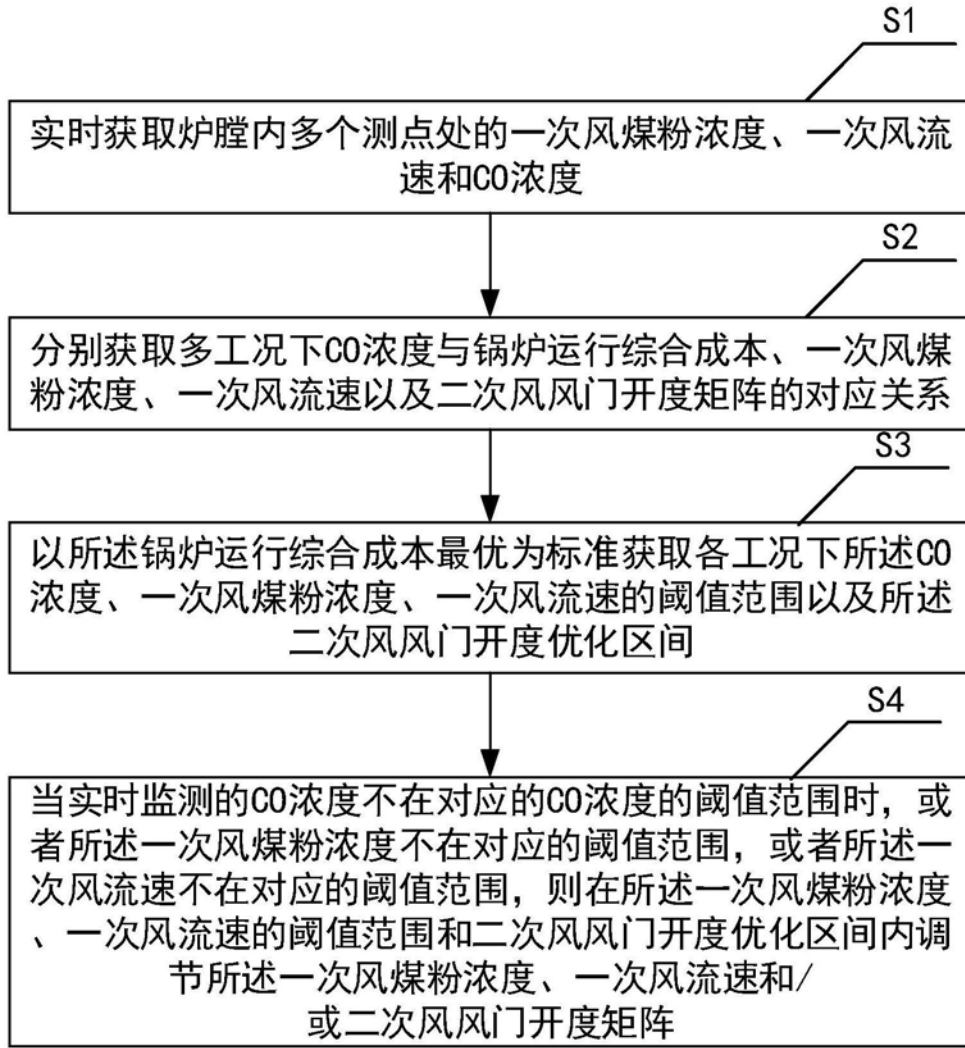


图1

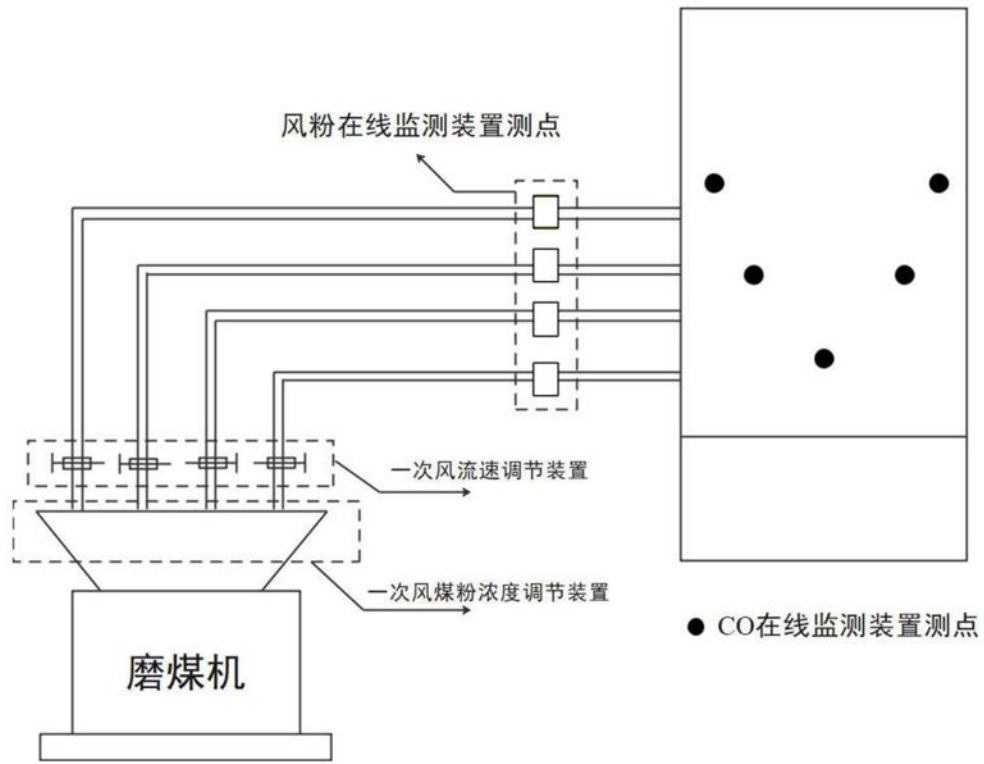


图2

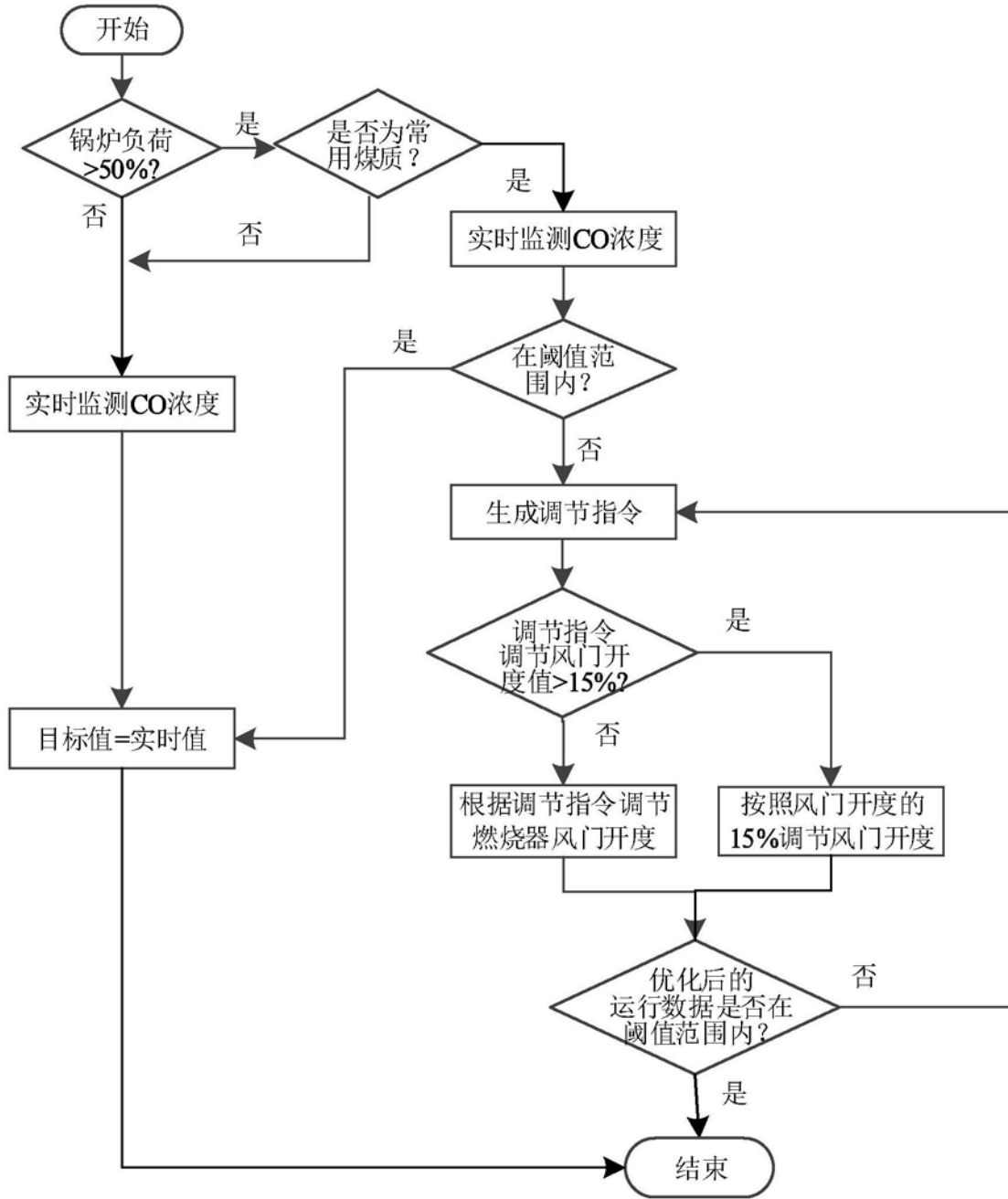


图3

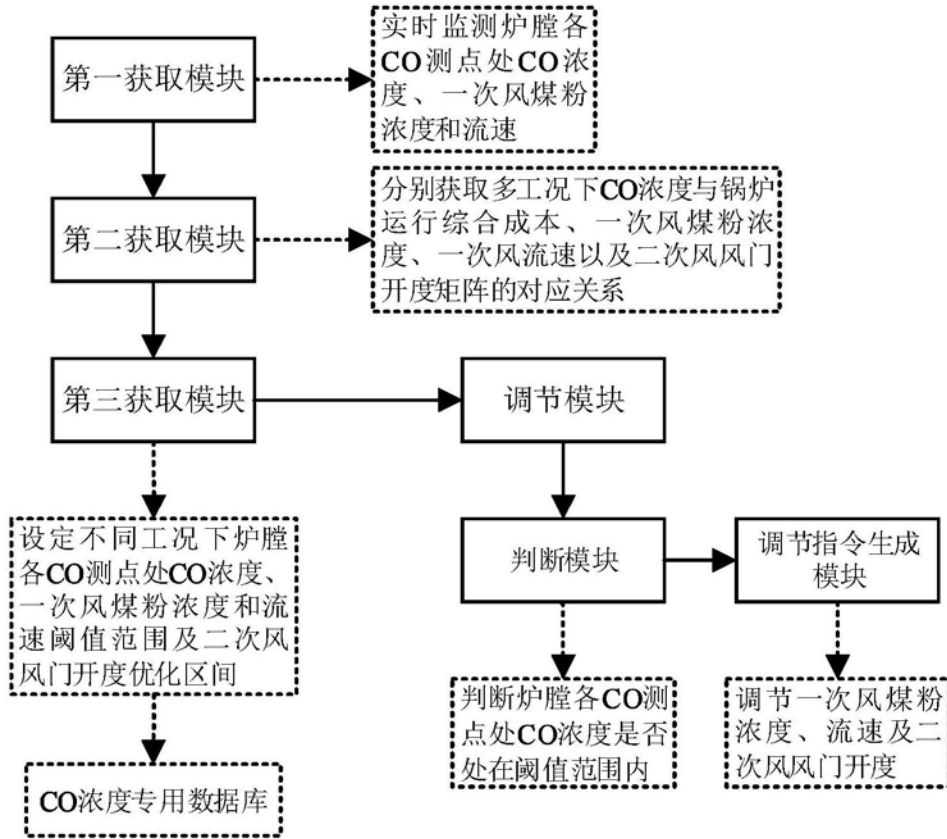


图4