



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106403632 B

(45)授权公告日 2018.07.20

(21)申请号 201610780804.7

F22B 1/18(2006.01)

(22)申请日 2016.08.30

审查员 谢德娟

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106403632 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(73)专利权人 中冶华天工程技术有限公司

地址 243005 安徽省马鞍山市湖南西路699号

(72)发明人 江文豪

(74)专利代理机构 北京中伟智信专利商标代理

事务所 11325

代理人 张岱

(51)Int.Cl.

F27D 21/00(2006.01)

F27D 17/00(2006.01)

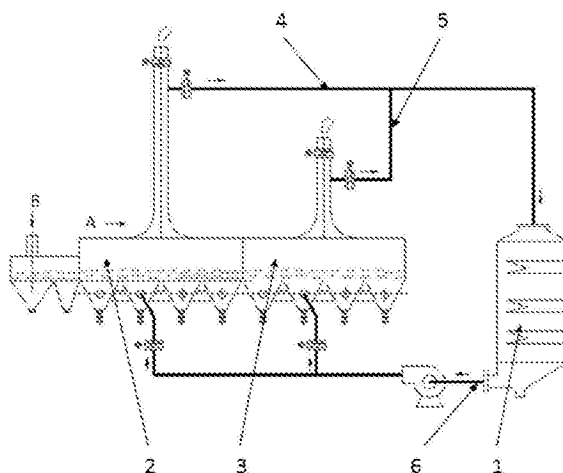
权利要求书5页 说明书13页 附图1页

(54)发明名称

一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法

(57)摘要

本发明公开一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,主要为了烧结环冷机余热回收时,在不具备直接测量取风流量的条件下,间接获取烧结环冷机余热锅炉取风流量而设计,包括选取烧结环冷机两根取风管道中的其中一根取风管道为第一管道,另一根管道为第二管道;获取有效数据,计算余热锅炉的有效利用热、计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比、烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,然后通过循环迭代的计算方式求解得到烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量。



1. 一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,其特征在于:所述方法包括,选取烧结环冷机上两根取风管道中的其中一根取风管道为烧结环冷机余热锅炉第一管道,另一根取风管道为烧结环冷机余热锅炉第二管道;

所述烧结环冷机余热锅炉第一管道的取风流量对应第一管道取风流量,所述烧结环冷机余热锅炉第二管道的取风流量对应第二管道取风流量,具体测量方法为:

获取余热锅炉的过热蒸汽流量、过热蒸汽焓、给水焓,利用获取的所述数据计算余热锅炉的有效利用热;

根据余热锅炉烟气侧运行参数和余热锅炉汽水侧运行参数,迭代计算获得取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量;

根据取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的水蒸气焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的水蒸气焓值,计算获得烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值和烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值;

根据烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值,迭代计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量;

根据所述的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量、当地大气压,烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风压力以及烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度,计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量。

2. 根据权利要求1所述的一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,其特征在于,余热锅炉为单压余热锅炉,获取余热锅炉有效利用热的计算式为:

$$Q_1 = D_{gr} (h_{gr} - h_{gs}), \text{ 其中,}$$

$Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h;

$D_{gr}$ 为过热蒸汽流量,kg/h;

$h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,kJ/kg;

$h_{gs}$ 为余热锅炉给水焓值,kJ/kg;

或余热锅炉为双压余热锅炉,获取余热锅炉的有效利用热的计算式为:

$$Q_1 = D_{gr1} (h_{gr1} - h_{gs}) + D_{gr2} (h_{gr2} - h_{gs}), \text{ 其中,}$$

$Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h;

$D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,kg/h;

$h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,kJ/kg;

$D_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽流量,kg/h;

$h_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽焓值,kJ/kg;

$h_{gs}$ 为余热锅炉进口给水焓值,kJ/kg。

3. 根据权利要求1所述的一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,其特征在于,所述根据余热锅炉烟气侧运行参数和余热锅炉汽水侧运行参数,迭代计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,具体步骤

为:

- 1) 设定一个初始的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ ;
- 2) 利用设定的水蒸气的体积占比计算余热锅炉进口烟气焓值,计算式为:

$$H_{in} = (1-k)h_{gk,in} + kh_{H_2O,in}, \text{其中,}$$

$H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

- 3) 余热锅炉为单压余热锅炉,利用给定的水蒸气体积占比计算余热锅炉过热器出口烟气焓值,计算式为:

$$H_{grq} = (1-k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}, \text{其中,}$$

$H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{gk,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

- 或余热锅炉为双压余热锅炉,利用给定的水蒸气体积占比计算余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,计算式为:

$$H_{grq} = (1-k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}, \text{其中,}$$

$H_{grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{gk,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

- 4) 计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量:

余热锅炉为单压余热锅炉,计算式为:

$$V_{总}^0 = \frac{D_{gr}(h_{gr} - h_{bh})}{H_{in} - H_{grq}}, \text{其中,}$$

$V_{总}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$D_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;

$h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

$h_{bh}$ 为余热锅炉饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

$H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

或余热锅炉为双压余热锅炉,计算式为:

$$V_{总}^0 = \frac{D_{gr1}(h_{gr1} - h_{bh1})}{H_{in} - H_{grq}}, \text{其中,}$$

$V_{总}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;

$h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

$h_{bh1}$ 为余热锅炉高压段饱和蒸汽焓值, kJ/kg;

$H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$H_{grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

5) 计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k_{js}$ , 计算式为:

$$k_{js} = \frac{Q_1 / (V_{总}^0 \varphi) - h_{gk,in} + h_{gk,out}}{h_{H_2O,in} - h_{H_2O,out} - h_{gk,in} + h_{gk,out}}, \text{其中,}$$

$k_{js}$ 为计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比;

$Q_1$ 为余热锅炉有效利用热, kJ/h;

$V_{总}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, Nm<sup>3</sup>/h;

$\varphi$ 为余热锅炉保热系数;

$h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{gk,out}$ 为余热锅炉出口烟气温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{H_2O,out}$ 为余热锅炉出口烟气温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

6) 预设一阈值 $\alpha$ , 将计算获得的水蒸气的体积占比 $k_{js}$ 和设定的水蒸气的体积占比 $k$ 进行比较:

若 $|k - k_{js}| \leq \alpha$ , 则获得取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ 以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量 $V_{总}^0$ ;

若 $|k - k_{js}| > \alpha$ , 则将 $k_{js}$ 和 $k$ 的平均值作为新的设定的取风管道内烟气中水蒸气体积占比, 返回步骤1)。

4. 根据权利要求1所述的双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法, 其特征在于: 所述根据取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的水蒸气焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的水蒸气焓值, 计算获得烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值和烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值, 计算式为:

$$H_1 = (1 - k)h_{gk,1} + kh_{H_2O,1}$$

$$H_2 = (1 - k)h_{gk,2} + kh_{H_2O,2}, \text{其中,}$$

$H_1$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$H_2$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$k$ 为取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比;

$h_{gk,1}$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{gk,2}$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{H_2O,1}$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;

$h_{H_2O,2}$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>。

5. 根据权利要求1所述的双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,其特征在于:所述根据烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量、烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值,迭代计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,具体步骤为:

1) 设定一标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ ;

2) 根据设定的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ 获得标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量 $V_2^0$ ,利用的计算式为:

$$V_2^0 = V_{\text{总}}^0 - V_1^0, \text{其中,}$$

$V_2^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

3) 根据已求出的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值、标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_{1, \text{js}}^0$ ,利用的计算式为:

$$V_{1, \text{js}}^0 = \frac{V_{\text{总}}^0 H_{\text{in}} - V_2^0 H_2}{H_1}, \text{其中,}$$

$V_{1, \text{js}}^0$ 为计算得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$V_2^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$H_{\text{in}}$ 为余热锅炉进口烟气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$H_1$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

$H_2$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

4) 预设一阈值 $\varepsilon$ ,将计算获得的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_{1, \text{js}}^0$ 和设定的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ 进行比较:

若 $|V_1^0 - V_{1, \text{js}}^0| \leq \varepsilon$ ,则输出标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ 以

及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量 $V_2^0$ ;

若 $|V_1^0 - V_{1, \text{js}}^0| > \varepsilon$ ,则将 $V_{1, \text{js}}^0$ 和 $V_1^0$ 的平均值作为新的设定的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,返回步骤1)。

6. 根据权利要求1所述的一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述根据所述的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道、烧结环冷机余热锅炉第二管

道取风流量的利用计算式为：

$$V_1 = \frac{101325 (t_{f,1} + 273)}{p_a + p_{f,1}} V_1^0$$

$$V_2 = \frac{101325 (t_{f,2} + 273)}{p_a + p_{f,2}} V_2^0, \text{其中,}$$

$V_1$ 为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$p_a$ 为当地大气压, Pa;

$p_{f,1}$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风压力, Pa;

$t_{f,1}$ 为烧结环冷机余热锅炉第一管道取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$V_2$ 为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$V_2^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

$p_{f,2}$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风压力, Pa;

$t_{f,2}$ 为烧结环冷机余热锅炉第二管道取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法, 其特征在于, 所述第一管道取风流量为高温段取风流量, 第二管道取风流量为低温段取风流量; 或, 所述第一管道取风流量为低温段取风流量, 第二管道取风流量为高温段取风流量。

## 一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及钢铁工业的烧结领域,尤其涉及一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法。

### 背景技术

[0002] 在钢铁生产过程中,烧结工序能耗仅次于炼铁工序,占钢铁生产总能耗的 10%~12%,而在烧结工序中,以烧结机烟气和冷却机废气显热的形式排入大气的热量占烧结工序总能耗的50%左右。由于烧结环冷机废气的温度不高,大致为150~450℃,加上此前余热回收技术的局限,烧结环冷机废气余热回收项目长期只在少数大型钢厂获得应用。

[0003] 近年来,随着低温余热回收技术的发展,钢铁行业的余热回收项目的成本和投资大幅度降低,同时余热回收装置的效率显著提高,大批中小型钢铁企业也纷纷上马余热回收项目,烧结环冷机余热锅炉得到了大量应用,尤其是在当前资源日益紧张和环保要求越来越高的形势下,更能凸显其经济效益和社会效益。

[0004] 对于烧结环冷机余热回收系统来说,环冷机余热回收段取风量(烟气量)是最基本的输入条件,也是余热回收系统运行的主要监测参数之一,然而,由于烧结环冷机余热回收系统需求的占地面积较大,而实际场地条件大多都比较有限(尤其是改造项目),这样便导致从环冷机烟囱取风至余热锅炉的管道很难保证较长的直管段。而另外一方面,由于烟气量(风量)较大,导致环冷机取风管道管径很大(大型环冷机的取风管道管径甚至高达3~4m),而流量计量对于前后直管段的长度有着比较严格的要求,如此一来工程现场很难满足取风流量的计量要求,必然会导致取风流量测量结果大大偏离真实值,从而失去有效性。

[0005] 因此,针对目前在工程上广泛应用的双取风单通道烧结环冷机余热回收系统,构建一个环冷机取风流量测量方法,在现场不具备直接测量的条件下通过其他参数间接获取双取风单通道烧结环冷机余热锅炉的取风流量,为余热锅炉的运行监视和操作调整提供可靠数据,具有重要的实用意义。

### 发明内容

[0006] 针对上述问题,本发明提供一种基于余热锅炉过热器进出口烟气参数测量的双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法。

[0007] 为达到上述目的,本发明提供一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述方法包括:选取烧结环冷机余热锅炉两根取风管道中的其中一根取风管道为第一管道,另一根管道为第二管道;其中第一管道的取风流量对应第一管道取风流量,第二管道的取风流量对应第二管道取风流量,具体测量方法为:

[0008] 获取余热锅炉的过热蒸汽流量、过热蒸汽焓、给水焓,利用获取的所述数据计算余热锅炉的有效利用热;

[0009] 根据余热锅炉烟气侧运行参数和余热锅炉汽水侧运行参数,迭代计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量;

[0010] 根据所述的烟气中水蒸气的体积占比、烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量、烧结环冷机第一管道取风流量对应的第一管道取风焓值、烧结环冷机第二管道取风流量对应的第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值,迭代计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量;

[0011] 根据所述的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量和当地大气压,烧结环冷机第一、二管道取风压力以及烧结环冷机第一、二管道取风温度,计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量。

[0012] 较佳的,一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,余热锅炉为单压余热锅炉,获取余热锅炉有效利用热的计算式为:

[0013]  $Q_1 = D_{gr} (h_{gr} - h_{gs})$ , 其中,

[0014]  $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h;

[0015]  $D_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽流量,kg/h;

[0016]  $h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,kJ/kg;

[0017]  $h_{gs}$ 为余热锅炉给水焓值,kJ/kg。

[0018] 或余热锅炉为双压余热锅炉,获取余热锅炉的有效利用热的计算式为:

[0019]  $Q_1 = D_{gr1} (h_{gr1} - h_{gs}) + D_{gr2} (h_{gr2} - h_{gs})$ , 其中,

[0020]  $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h;

[0021]  $D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,kg/h;

[0022]  $h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,kJ/kg;

[0023]  $D_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽流量,kg/h;

[0024]  $h_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽焓值,kJ/kg;

[0025]  $h_{gs}$ 为余热锅炉进口给水焓值,kJ/kg。

[0026] 较佳的,一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述根据余热锅炉烟气侧运行参数和余热锅炉汽水侧运行参数,迭代计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,具体步骤为:

[0027] 1) 设定一个初始的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ ;

[0028] 2) 利用设定的水蒸气的体积占比计算余热锅炉进口烟气焓值,计算式为:

[0029]  $H_{in} = (1 - k)h_{gk,in} + kh_{H_2O,in}$ , 其中,

[0030]  $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0031]  $h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度的干空气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0032]  $h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度的水蒸气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0033] 3) 余热锅炉为单压余热锅炉,利用给定的水蒸气体积占比计算余热锅炉过热器出口烟气焓值,计算式为:

[0034]  $H_{grq} = (1 - k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}$ , 其中,

[0035]  $H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0036]  $h_{gk,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度的干空气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0037]  $h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度的水蒸气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>;

[0038] 或所述余热锅炉为双压余热锅炉,利用给定的水蒸气体积占比计算余热锅炉高压



段过热器出口烟气焓值,计算式为:

$$[0039] \quad H_{grq} = (1-k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}, \text{其中,}$$

[0040]  $H_{grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0041]  $h_{gk,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0042]  $h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0043] 4) 计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量:

[0044] 若余热锅炉为单压余热锅炉,则计算式为:

$$[0045] \quad V_{\text{总}}^0 = \frac{D_{gr}(h_{gr} - h_{bh})}{H_{in} - H_{grq}}, \text{其中,}$$

[0046]  $V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0047]  $D_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;

[0048]  $h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

[0049]  $h_{bh}$ 为余热锅炉饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

[0050]  $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0051]  $H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0052] 若余热锅炉为双压余热锅炉,则计算式为:

$$[0053] \quad V_{\text{总}}^0 = \frac{D_{gr1}(h_{gr1} - h_{bh1})}{H_{in} - H_{grq}}, \text{其中,}$$

[0054]  $V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;

[0055]  $h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

[0056]  $h_{bh1}$ 为余热锅炉高压段饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ ;

[0057]  $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0058]  $H_{grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0059] 6) 计算取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k_{js}$ ,计算式为:

$$[0060] \quad k_{js} = \frac{Q_1 / (V_{\text{总}}^0 \varphi) - h_{gk,in} + h_{gk,out}}{h_{H_2O,in} - h_{H_2O,out} - h_{gk,in} + h_{gk,out}}, \text{其中,}$$

[0061]  $k_{js}$ 为计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比;

[0062]  $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;

[0063]  $V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $\varphi$ 为余热锅炉保热系数;

[0064]  $h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0065]  $h_{gk,out}$ 为余热锅炉出口烟气温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0066]  $h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0067]  $h_{H_2O,out}$ 为余热锅炉出口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0068] 7) 预设一阈值 $\alpha$ ,将计算获得的水蒸气的体积占比 $k_{js}$ 和设定的水蒸气的体积占比 $k$ 进行比较:

[0069] 若 $|k-k_{js}| \leq \alpha$ ,则获得取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ 以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量 $V_{总}^0$ ;

[0070] 若 $|k-k_{js}| > \alpha$ ,则将 $k_{js}$ 和 $k$ 的平均值作为新的设定的取风管道内烟气中水蒸气体积占比,返回步骤1);

[0071] 较佳的,双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述根据取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比、烧结环冷机第一管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机第二管道取风温度下的干空气焓值、烧结环冷机第一管道取风温度下的水蒸气焓值、烧结环冷机第二管道取风温度下的水蒸气焓值,计算获得烧结环冷机第一管道取风焓值和烧结环冷机第二管道取风焓值,计算式为:

$$[0072] \quad H_1 = (1-k)h_{gk,1} + kh_{H_2O,1}$$

$$[0073] \quad H_2 = (1-k)h_{gk,2} + kh_{H_2O,2}, \text{其中,}$$

[0074]  $H_1$ 为烧结环冷机第一管道取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0075]  $H_2$ 为烧结环冷机第二管道取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0076]  $k$ 为取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比;

[0077]  $h_{gk,1}$ 为烧结环冷机第一管道取风温度下的干空气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0078]  $h_{gk,2}$ 为烧结环冷机第二管道取风温度下的干空气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0079]  $h_{H_2O,1}$ 为烧结环冷机第一管道取风温度下的水蒸气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0080]  $h_{H_2O,2}$ 为烧结环冷机第二管道取风温度下的水蒸气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0081] 较佳的,一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法:所述根据烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量、烧结环冷机第一管道取风焓值、烧结环冷机第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值,迭代计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量,具体步骤为:

[0082] 1) 设定一标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ ;

[0083] 2) 根据设定的标准状态下的烧结环冷机第一管道取风流量 $V_1^0$ 获得标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量 $V_2^0$ ,利用的计算式为:

$$[0084] \quad V_2^0 = V_{总}^0 - V_1^0, \text{其中,}$$

[0085]  $V_2^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0086]  $V_{总}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0087]  $V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0088] 3) 根据已求出的烧结环冷机第一管道取风焓值、烧结环冷机第二管道取风焓值、余热锅炉进口烟气焓值、标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一

管道取风流量 $V_{1,js}^0$ ,利用的计算式为:

$$[0089] \quad V_{1,js}^0 = \frac{V_{总}^0 H_{in} - V_2^0 H_2}{H_1}, \text{其中,}$$

[0090]  $V_{1,js}^0$  为计算得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量;

[0091]  $V_{总}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0092]  $V_2^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0093]  $H_{in}$  为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0094]  $H_1$  为烧结环冷机第一管道取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0095]  $H_2$  为烧结环冷机第二管道取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;

[0096] 4) 预设一阈值 $\varepsilon$ ,将计算获得的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量和设定的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ 进行比较:

[0097] 若 $|V_1^0 - V_{1,js}^0| \leq \varepsilon$ ,则获得标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量 $V_1^0$ 以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量 $V_2^0$ ;

[0098] 若 $|V_1^0 - V_{1,js}^0| > \varepsilon$ ,则将 $V_{1,js}^0$ 和 $V_1^0$ 的平均值作为新的设定的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,返回步骤1);

[0099] 较佳的,一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述根据所述的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一、二管道取风流量的利用计算式为:

$$[0100] \quad V_1 = \frac{101325 (t_{f,1} + 273)}{p_a + p_{f,1}} \frac{273}{273} V_1^0$$

$$[0101] \quad V_2 = \frac{101325 (t_{f,2} + 273)}{p_a + p_{f,2}} \frac{273}{273} V_2^0, \text{其中,}$$

[0102]  $V_1$  为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

[0103]  $V_1^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第一管道取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0104]  $p_a$  为当地大气压, Pa;

[0105]  $p_{f,1}$  为烧结环冷机第一管道取风压力, Pa;

[0106]  $t_{f,1}$  为烧结环冷机第一管道取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

[0107]  $V_2$  为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

[0108]  $V_2^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉第二管道取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0109]  $p_{f,2}$  为烧结环冷机第二管道取风压力, Pa;

[0110]  $t_{f,2}$  为烧结环冷机第二管道取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

[0111] 较佳的,一种双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,所述第一管道取风流量为高温段取风流量,第二管道取风流量为低温段取风流量;或,所述第一管道取风流量为低温段取风流量,第二管道取风流量为高温段取风流量。

[0112] 本发明双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量测量方法,用于双取风单通道烧结环冷机余热锅炉取风流量的测量,通过余热锅炉运行数据间接获取双取风单通道烧结环冷机余热锅炉的取风流量,在现场不具备流量计量所要求的直管段条件,进而导致取风流量无法直接测量或者测量精度无法保证的情况下尤为有效,结果可为余热锅炉的运行监视和操作调整提供可靠数据,具有重要的实用意义。

### 附图说明

[0113] 图1是烧结环冷机余热锅炉余热回收工艺流程图,A台车运行方向,B进料,1余热锅炉,2环冷机高温段,3环冷机低温段,4环冷机高温段取风管道,5环冷机低温段取风管道,6余热锅炉排烟管道。

### 具体实施方式

[0114] 下面结合说明书附图对本发明做进一步的描述。

[0115] 实施例一

[0116] 所述第一管道取风流量对应高温段取风流量,第二管道取风流量对应低温段取风流量,采用的测量方法具体步骤为:

[0117] 1、采集烧结环冷机余热锅炉的运行数据,包括:环冷机高温段取风温度、环冷机高温段取风压力、环冷机低温段取风温度、环冷机低温段取风压力、大气压力、余热锅炉烟气侧运行参数(对于单压余热锅炉,包括余热锅炉进口烟气温度、余热锅炉过热器出口烟气温度、余热锅炉出口烟气温度;对于双压余热锅炉,包括余热锅炉进口烟气温度、余热锅炉高压段过热器出口烟气温度、余热锅炉出口烟气温度)、余热锅炉汽水侧运行参数(对于单压余热锅炉,包括过热蒸汽温度、过热蒸汽压力、过热蒸汽流量、汽包压力、给水温度、给水压力、给水流量;对于双压余热锅炉,包括余热锅炉高压段过热蒸汽温度、余热锅炉高压段过热蒸汽压力、余热锅炉高压段过热蒸汽流量、余热锅炉低压段过热蒸汽温度、余热锅炉低压段过热蒸汽压力、余热锅炉低压段过热蒸汽流量、高压段汽包压力、余热锅炉进口给水温度、余热锅炉进口给水压力、余热锅炉进口给水流量)。

[0118] 2、对步骤1获得的数据进行预处理,包括坏点处理和数据平滑处理,得到用于求解烧结环冷机余热锅炉取风流量的有效数据。

[0119] 3、根据步骤2获得的有效数据,获取烧结环冷机余热锅炉取风流量,具体包括以下步骤:

[0120] 3.1计算余热锅炉有效利用热 $Q_1$ :

[0121] 3.1.1对于单压余热锅炉:

$$[0122] \quad Q_1 = D_{gr} (h_{gr} - h_{gs})$$

[0123] 其中, $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h; $D_{gr}$ 为过热蒸汽流量,kg/h; $h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,kJ/kg,由余热锅炉过热蒸汽压力和过热蒸汽温度计算或查表得到; $h_{gs}$ 为余热锅炉给水焓值,kJ/kg,由余热锅炉给水压力和给水温度计算或查表得到。

[0124] 3.1.2对于双压余热锅炉:

$$[0125] \quad Q_1 = D_{gr1} (h_{gr1} - h_{gs}) + D_{gr2} (h_{gr2} - h_{gs})$$

[0126] 其中, $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h; $D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,kg/

$h$ ;  $h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值, kJ/kg, 由余热锅炉高压段过热蒸汽压力和高压段过热蒸汽温度计算或查表得到;  $D_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽流量, kg/h;  $h_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽焓值, kJ/kg, 由余热锅炉低压段过热蒸汽压力和低压段过热蒸汽温度计算或查表得到;  $h_{gs}$ 为余热锅炉进口给水焓值, kJ/kg, 由余热锅炉进口给水压力和给水温度计算或查表得到。

[0127] 3.2通过迭代计算求解出取风管道内烟气中水蒸气的体积占比 $k$ 和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量 $V_{总}^0$ :

[0128] 3.2.1设定一个初始的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ ;

[0129] 3.2.2计算余热锅炉进口烟气焓值:

$$[0130] \quad H_{in} = (1-k)h_{gk,in} + kh_{H_2O,in}$$

[0131] 其中,  $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;  $h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到;  $h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到。

[0132] 3.2.3计算余热锅炉过热器出口烟气焓值:

[0133] 3.2.3.1对于单压余热锅炉:

$$[0134] \quad H_{grq} = (1-k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}$$

[0135] 其中,  $H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;  $h_{gk,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉过热器出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉过热器出口烟气温度计算或查表得到。

[0136] 3.2.3.2对于双压余热锅炉:

$$[0137] \quad H_{grq} = (1-k)h_{gk,grq} + kh_{H_2O,grq}$$

[0138] 其中,  $H_{grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;  $h_{gk,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的干空气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉高压段过热器出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{H_2O,grq}$ 为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的水蒸气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>, 由余热锅炉高压段过热器出口烟气温度计算或查表得到。

[0139] 3.2.4计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量:

[0140] 3.2.4.1对于单压余热锅炉:

$$[0141] \quad V_{总}^0 = \frac{D_{gr}(h_{gr} - h_{bh})}{H_{in} - H_{grq}}$$

[0142] 其中,  $V_{总}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, Nm<sup>3</sup>/h;  $D_{gr}$ 为过热蒸汽流量, kg/h;  $h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值, kJ/kg, 由余热锅炉过热蒸汽压力和过热蒸汽温度计算或查表得到;  $h_{bh}$ 为余热锅炉饱和蒸汽焓值, kJ/kg, 由余热锅炉汽包压力计算或查表得到;  $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>;  $H_{grq}$ 为余热锅炉过热器出口烟气焓值, kJ/Nm<sup>3</sup>。

[0143] 3.2.4.2对于双压余热锅炉:

$$[0144] \quad V_{\text{总}}^0 = \frac{D_{\text{gr1}}(h_{\text{gr1}} - h_{\text{bh1}})}{H_{\text{in}} - H_{\text{grq}}}$$

[0145] 其中,  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $D_{\text{gr1}}$  为高压段过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $h_{\text{gr1}}$  为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉高压段过热蒸汽压力和高压段过热蒸汽温度计算或查表得到;  $h_{\text{bh1}}$  为余热锅炉高压段饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉高压段汽包压力计算或查表得到;  $H_{\text{in}}$  为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_{\text{grq}}$  为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

[0146] 3.2.5求解计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k_{\text{js}}$ ;

$$[0147] \quad k_{\text{js}} = \frac{Q_1 / (V_{\text{总}}^0 \varphi) - h_{\text{gk,in}} + h_{\text{gk,out}}}{h_{\text{H}_2\text{O,in}} - h_{\text{H}_2\text{O,out}} - h_{\text{gk,in}} + h_{\text{gk,out}}}$$

[0148] 其中,  $k_{\text{js}}$  为计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比, —;  $Q_1$  为余热锅炉有效利用热,  $\text{kJ}/\text{h}$ ;  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $\varphi$  为余热锅炉保热系数, 可取为设定值;  $h_{\text{gk,in}}$  为余热锅炉进口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{gk,out}}$  为余热锅炉出口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,in}}$  为余热锅炉进口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,out}}$  为余热锅炉出口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉出口烟气温度计算或查表得到。

[0149] 3.2.6将步骤3.2.5计算得到的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k_{\text{js}}$  与步骤3.2.1设定的  $k$  进行对比:

[0150] 若, 二者的差值在设定的误差范围, 则输出取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k$  以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量  $V_{\text{总}}^0$ ;

[0151] 若, 二者的差值不在设定的范围内, 则将  $k_{\text{js}}$  与  $k$  的平均值作为新的取风管内的烟气中水蒸气的体积占比的设定值, 然后重新执行步骤3.2.1~步骤3.2.6。

[0152] 3.3分别计算烧结环冷机高温段取风焓值和烧结环冷机低温段取风焓值:

$$[0153] \quad H_{\text{h}} = (1-k)h_{\text{gk,h}} + kh_{\text{H}_2\text{O,h}}$$

$$[0154] \quad H_{\text{l}} = (1-k)h_{\text{gk,l}} + kh_{\text{H}_2\text{O,l}}$$

[0155] 其中,  $H_{\text{h}}$  为烧结环冷机高温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_{\text{l}}$  为烧结环冷机低温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $k$  为取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比, —;  $h_{\text{gk,h}}$  为烧结环冷机高温段取风温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机高温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{gk,l}}$  为烧结环冷机低温段取风温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机低温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,h}}$  为烧结环冷机高温段取风温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机高温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,l}}$  为烧结环冷机低温段取风温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机低温段取风温度计算或查表得到。

[0156] 3.4通过迭代计算获取标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量和烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量:

[0157] 3.4.1设定一初始的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量 $V_h^0$ ;

[0158] 3.4.2计算得到标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量 $V_1^0$ :

$$[0159] \quad V_1^0 = V_{\text{总}}^0 - V_h^0$$

[0160] 其中, $V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $V_h^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;

[0161] 3.4.3计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量 $V_{h,js}^0$ :

$$[0162] \quad V_{h,js}^0 = \frac{V_{\text{总}}^0 H_{\text{in}} - V_1^0 H_1}{H_h}$$

[0163] 其中, $V_{h,js}^0$ 为计算得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $V_{\text{总}}^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $H_{\text{in}}$ 为余热锅炉进口烟气焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ; $H_h$ 为烧结环冷机高温段取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ; $H_1$ 为烧结环冷机低温段取风焓值, $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

[0164] 3.4.4将步骤3.4.3得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量 $V_{h,js}^0$ 与步骤3.4.1假定的 $V_h^0$ 进行对比:

[0165] 若,二者的差值在设定的范围内,则输出标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量 $V_h^0$ 和标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量 $V_1^0$ ;

[0166] 若,二者的差值不在设定的范围内,则将 $V_{h,js}^0$ 与 $V_h^0$ 的平均值作为新的高温段取风流量设定值,然后重新执行步骤3.4.1~步骤3.4.4。

[0167] 3.5利用通过迭代计算获得的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量和标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量,计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量和实际状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量:

$$[0168] \quad V_h = \frac{101325}{p_a + p_{f,h}} \frac{(t_{f,h} + 273)}{273} V_h^0$$

$$[0169] \quad V_1 = \frac{101325}{p_a + p_{f,l}} \frac{(t_{f,l} + 273)}{273} V_1^0$$

[0170] 其中, $V_h$ 为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量, $\text{m}^3/\text{h}$ ; $V_h^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $p_a$ 为当地大气压, $\text{Pa}$ ; $p_{f,h}$ 为烧结环冷机高温段取风压力, $\text{Pa}$ ; $t_{f,h}$ 为烧结环冷机高温段取风温度, $^{\circ}\text{C}$ ; $V_1$ 为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量, $\text{m}^3/\text{h}$ ; $V_1^0$ 为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量, $\text{Nm}^3/\text{h}$ ; $p_{f,l}$ 为烧结环冷机低温段取风压力, $\text{Pa}$ ; $t_{f,l}$ 为烧结环冷机低温段取风温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

[0171] 实施例二

[0172] 所述第一管道取风流量对应低温段取风流量,第二管道取风流量对应高温段取风流量,采用的测量方法具体步骤为:

[0173] 1、采集烧结环冷机余热锅炉的运行数据,包括:环冷机高温段取风温度、环冷机高温段取风压力、环冷机低温段取风温度、环冷机低温段取风压力、余热锅炉烟气侧运行参数(对于单压余热锅炉,包括余热锅炉进口烟气温度、余热锅炉过热器出口烟气温度、余热锅炉出口烟气温度;对于双压余热锅炉,包括余热锅炉进口烟气温度、余热锅炉高压段过热器出口烟气温度、余热锅炉出口烟气温度)、余热锅炉汽水侧运行参数(对于单压余热锅炉,包括过热蒸汽温度、过热蒸汽压力、过热蒸汽流量、汽包压力、给水温度、给水压力、给水流量;对于双压余热锅炉,包括余热锅炉高压段过热蒸汽温度、余热锅炉高压段过热蒸汽压力、余热锅炉高压段过热蒸汽流量、余热锅炉低压段过热蒸汽温度、余热锅炉低压段过热蒸汽压力、余热锅炉低压段过热蒸汽流量、高压段汽包压力、余热锅炉进口给水温度、余热锅炉进口给水压力、余热锅炉进口给水流量)。

[0174] 2、对步骤1获得的输入数据进行预处理,包括坏点处理和数据平滑处理,得到用于求解烧结环冷机余热锅炉取风流量的有效数据。

[0175] 3、根据步骤2获得的有效数据,获取烧结环冷机余热锅炉取风流量,具体包括以下步骤:

[0176] 3.1计算余热锅炉有效利用热 $Q_1$ :

[0177] 3.1.1对于单压余热锅炉:

$$[0178] \quad Q_1 = D_{gr} (h_{gr} - h_{gs})$$

[0179] 其中, $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h; $D_{gr}$ 为过热蒸汽流量,kg/h; $h_{gr}$ 为余热锅炉过热蒸汽焓值,kJ/kg,由余热锅炉过热蒸汽压力和过热蒸汽温度计算或查表得到; $h_{gs}$ 为余热锅炉给水焓值,kJ/kg,由余热锅炉给水压力和给水温度计算或查表得到。

[0180] 3.1.2对于双压余热锅炉:

$$[0181] \quad Q_1 = D_{gr1} (h_{gr1} - h_{gs}) + D_{gr2} (h_{gr2} - h_{gs})$$

[0182] 其中, $Q_1$ 为余热锅炉有效利用热,kJ/h; $D_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽流量,kg/h; $h_{gr1}$ 为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,kJ/kg,由余热锅炉高压段过热蒸汽压力和高压段过热蒸汽温度计算或查表得到; $D_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽流量,kg/h; $h_{gr2}$ 为余热锅炉低压段过热蒸汽焓值,kJ/kg,由余热锅炉低压段过热蒸汽压力和低压段过热蒸汽温度计算或查表得到; $h_{gs}$ 为余热锅炉进口给水焓值,kJ/kg,由余热锅炉进口给水压力和给水温度计算或查表得到。

[0183] 3.2通过迭代计算求解出取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ 和烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量 $V_{总}^0$ :

[0184] 3.2.1设定一个初始的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比 $k$ ;

[0185] 3.2.2计算余热锅炉进口烟气焓值:

$$[0186] \quad H_{in} = (1-k)h_{gk,in} + kh_{H_2O,in}$$

[0187] 其中, $H_{in}$ 为余热锅炉进口烟气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>; $h_{gk,in}$ 为余热锅炉进口烟气温度下的干空气焓值,kJ/Nm<sup>3</sup>,由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到; $h_{H_2O,in}$ 为余热锅炉进口烟气



温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到。

[0188] 3.2.3 计算余热锅炉过热器出口烟气焓值:

[0189] 3.2.3.1 对于单压余热锅炉:

$$[0190] \quad H_{\text{grq}} = (1-k)h_{\text{gk,grq}} + kh_{\text{H}_2\text{O,grq}}$$

[0191] 其中,  $H_{\text{grq}}$  为余热锅炉过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $h_{\text{gk,grq}}$  为余热锅炉过热器出口烟气温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉过热器出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,grq}}$  为余热锅炉过热器出口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉过热器出口烟气温度计算或查表得到。

[0192] 3.2.3.2 对于双压余热锅炉:

$$[0193] \quad H_{\text{grq}} = (1-k)h_{\text{gk,grq}} + kh_{\text{H}_2\text{O,grq}}$$

[0194] 其中,  $H_{\text{grq}}$  为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $h_{\text{gk,grq}}$  为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉高压段过热器出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O,grq}}$  为余热锅炉高压段过热器出口烟气温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉高压段过热器出口烟气温度计算或查表得到。

[0195] 3.2.4 计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量:

[0196] 3.2.4.1 对于单压余热锅炉:

$$[0197] \quad V_{\text{总}}^0 = \frac{D_{\text{gr}}(h_{\text{gr}} - h_{\text{bh}})}{H_{\text{in}} - H_{\text{grq}}}$$

[0198] 其中,  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $D_{\text{gr}}$  为过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $h_{\text{gr}}$  为余热锅炉过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉过热蒸汽压力和过热蒸汽温度计算或查表得到;  $h_{\text{bh}}$  为余热锅炉饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉汽包压力计算或查表得到;  $H_{\text{in}}$  为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_{\text{grq}}$  为余热锅炉过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

[0199] 3.2.4.2 对于双压余热锅炉:

$$[0200] \quad V_{\text{总}}^0 = \frac{D_{\text{gr1}}(h_{\text{gr1}} - h_{\text{bh1}})}{H_{\text{in}} - H_{\text{grq}}}$$

[0201] 其中,  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $D_{\text{gr1}}$  为高压段过热蒸汽流量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $h_{\text{gr1}}$  为余热锅炉高压段过热蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉高压段过热蒸汽压力和高压段过热蒸汽温度计算或查表得到;  $h_{\text{bh1}}$  为余热锅炉高压段饱和蒸汽焓值,  $\text{kJ}/\text{kg}$ , 由余热锅炉高压段汽包压力计算或查表得到;  $H_{\text{in}}$  为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_{\text{grq}}$  为余热锅炉高压段过热器出口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

[0202] 3.2.5 求解计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k_{\text{js}}$ :

$$[0203] \quad k_{\text{js}} = \frac{Q_1 / (V_{\text{总}}^0 \varphi) - h_{\text{gk,in}} + h_{\text{gk,out}}}{h_{\text{H}_2\text{O,in}} - h_{\text{H}_2\text{O,out}} - h_{\text{gk,in}} + h_{\text{gk,out}}}$$

[0204] 其中,  $k_{\text{js}}$  为计算的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比, —;  $Q_1$  为余热锅炉有效

利用热, kJ/h;  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $\phi$  为余热锅炉保热系数, 可取为设定值;  $h_{\text{gk}, \text{in}}$  为余热锅炉进口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{gk}, \text{out}}$  为余热锅炉出口烟气温度的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉出口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O}, \text{in}}$  为余热锅炉进口烟气温度的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉进口烟气温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O}, \text{out}}$  为余热锅炉出口烟气温度的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由余热锅炉出口烟气温度计算或查表得到。

[0205] 3.2.6 将步骤 3.2.5 计算得到的取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k_{\text{js}}$  与步骤 3.2.1 设定的  $k$  进行对比:

[0206] 若, 二者的差值在设定的误差范围, 则输出取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比  $k$  以及标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量  $V_{\text{总}}^0$ ;

[0207] 若, 二者的差值不在设定的范围内, 则将  $k_{\text{js}}$  与  $k$  的平均值作为新的取风管内的烟气中水蒸气的体积占比的设定值, 然后重新执行步骤 3.2.1 ~ 步骤 3.2.6。

[0208] 3.3 计算烧结环冷机高温段取风焓值和烧结环冷机低温段取风焓值:

$$[0209] \quad H_{\text{h}} = (1-k)h_{\text{gk}, \text{h}} + kh_{\text{H}_2\text{O}, \text{h}}$$

$$[0210] \quad H_{\text{l}} = (1-k)h_{\text{gk}, \text{l}} + kh_{\text{H}_2\text{O}, \text{l}}$$

[0211] 其中,  $H_{\text{h}}$  为烧结环冷机高温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_{\text{l}}$  为烧结环冷机低温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $k$  为取风管道内的烟气中水蒸气的体积占比,  $-$ ;  $h_{\text{gk}, \text{h}}$  为烧结环冷机高温段取风温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机高温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{gk}, \text{l}}$  为烧结环冷机低温段取风温度下的干空气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机低温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O}, \text{h}}$  为烧结环冷机高温段取风温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机高温段取风温度计算或查表得到;  $h_{\text{H}_2\text{O}, \text{l}}$  为烧结环冷机低温段取风温度下的水蒸气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ , 由烧结环冷机低温段取风温度计算或查表得到。

[0212] 3.4 通过迭代计算获取标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段和低温段取风流量:

[0213] 3.4.1 设定初始的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量  $V_{\text{l}}^0$ ;

[0214] 3.4.2 计算得到标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量  $V_{\text{h}}^0$ ;

$$[0215] \quad V_{\text{h}}^0 = V_{\text{总}}^0 - V_{\text{l}}^0$$

[0216] 其中,  $V_{\text{l}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $V_{\text{h}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ 。

[0217] 3.4.3 计算标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量  $V_{\text{l}, \text{js}}^0$ ;

$$[0218] \quad V_{\text{l}, \text{js}}^0 = \frac{V_{\text{总}}^0 H_{\text{in}} - V_{\text{h}}^0 H_{\text{h}}}{H_{\text{l}}}$$

[0219] 其中,  $V_{1,js}^0$  为计算得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $V_{\text{总}}^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉进口烟气总流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $V_h^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $H_{\text{in}}$  为余热锅炉进口烟气焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_h$  为烧结环冷机高温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ ;  $H_l$  为烧结环冷机低温段取风焓值,  $\text{kJ}/\text{Nm}^3$ 。

[0220] 3.4.4 将步骤 3.4.3 得到的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量  $V_{1,js}^0$  与步骤 3.4.1 假定的  $V_1^0$  进行对比:

[0221] 若, 二者的差值在设定的范围内, 则输出标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量  $V_1^0$  和标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量  $V_h^0$ ;

[0222] 若, 二者的差值不在设定的范围内, 则将  $V_{1,js}^0$  与  $V_1^0$  的平均值作为新的低温段取风流量设定值, 然后重新执行步骤 3.4.1~3.4.4。

[0223] 3.5 利用通过迭代计算获得的标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量和标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量, 计算实际状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量和实际状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量:

$$[0224] \quad V_h = \frac{101325 (t_{f,h} + 273)}{p_a + p_{f,h}} \frac{273}{273} V_h^0$$

$$[0225] \quad V_l = \frac{101325 (t_{f,l} + 273)}{p_a + p_{f,l}} \frac{273}{273} V_l^0$$

[0226] 其中,  $V_h$  为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $V_h^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉高温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $p_a$  为当地大气压, Pa;  $p_{f,h}$  为烧结环冷机高温段取风压力, Pa;  $t_{f,h}$  为烧结环冷机高温段取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $V_l$  为实际状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $V_l^0$  为标准状态下的烧结环冷机余热锅炉低温段取风流量,  $\text{Nm}^3/\text{h}$ ;  $p_{f,l}$  为烧结环冷机低温段取风压力, Pa;  $t_{f,l}$  为烧结环冷机低温段取风温度,  $^{\circ}\text{C}$ 。

[0227] 以上, 仅为本发明的较佳实施例, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 可轻易想到的变化或替换, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此, 本发明的保护范围应该以权利要求所界定的保护范围为准。

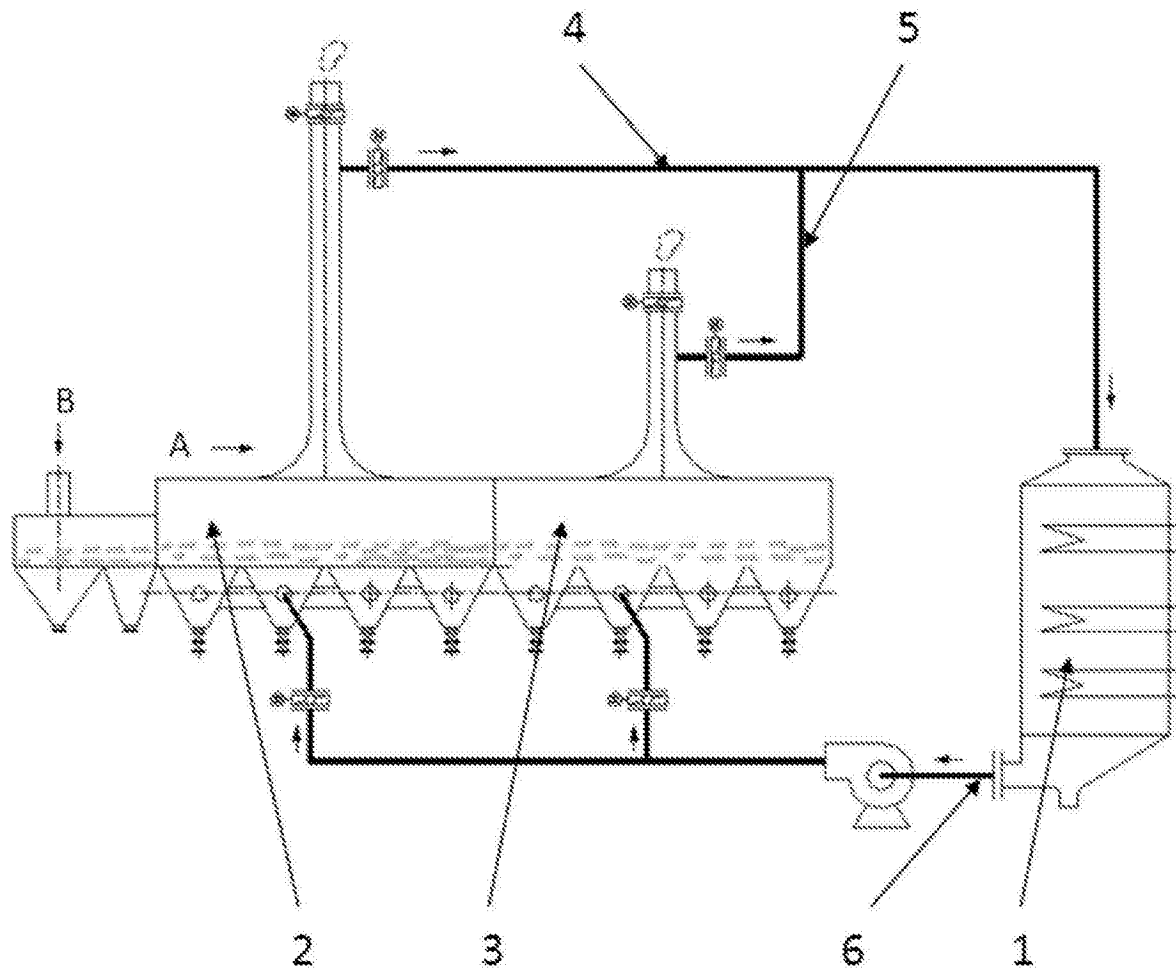


图1