

## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101921886 A

(43) 申请公布日 2010. 12. 22

(21) 申请号 201010246296. 7

(22) 申请日 2010. 08. 05

(71) 申请人 中冶南方工程技术有限公司

地址 430223 湖北省武汉市东湖新技术开发区大学园路 33 号

(72) 发明人 李泽辉 强健 闫朝付

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 王守仁

(51) Int. Cl.

C21B 7/00 (2006. 01)

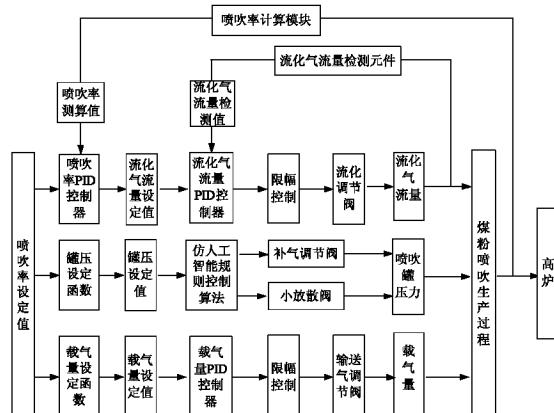
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

高炉喷煤喷吹速率控制方法

## (57) 摘要

本发明涉及高炉喷煤喷吹速率控制方法，其采用两罐以上并联喷吹模式，主要是对补气调节阀、小放散切断阀、流化调节阀和输送气调节阀的控制来实现对喷吹率的控制；通过调节补气调节阀、小放散切断阀来稳定喷吹罐压力，通过调节输送气调节阀来稳定载气量，在稳定喷吹罐压力和载气量的情况下，喷吹率和流化气流量调节构成 PID 串级控制回路，用以快速均匀的调节喷吹率；在生产过程中，按照工艺要求处理罐压、载气量以及流化气流量三者和喷吹率的关系，使喷吹率得到有效的控制，为高炉顺利生产创造了条件。本发明可以有效的防止炉压波动对喷吹率的干扰和防止罐压调节时出现的滞后以及大幅波动，保证罐压的快速稳定均匀调节，并且工艺简单。



1. 一种高炉喷煤喷吹速率控制方法,其特征是采用两罐或两罐以上并联喷吹模式,主要是对补气调节阀、小放散切断阀、流化调节阀和输送气调节阀的控制来实现对喷吹率的控制;通过调节补气调节阀、小放散切断阀来稳定喷吹罐压力,通过调节输送气调节阀来稳定载气量,在稳定喷吹罐压力和载气量的情况下,喷吹率和流化气流量调节构成 PID 串级控制回路,用以快速均匀的调节喷吹率;在生产过程中,按照工艺要求处理罐压、载气量以及流化气流量三者和喷吹率的关系,使喷吹率得到有效的控制,从而为高炉顺利生产的所需创造条件。

2. 根据权利要求 1 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法,其特征是采用包括以下步骤的方法:

第一步,确定喷吹罐压力与高炉炉压的差压设定值:

将罐压的设定转化为对罐压和炉压差压的设定,且将所述差压的设定值作为喷吹率的阶段函数,罐压的设定值为差压的设定值和炉压之和;

第二步,调节喷吹罐压力:

通过充压管路对喷吹罐进行充压至罐压设定值,在喷吹过程中,打开补压切断阀,对罐压采用仿人工智能规则控制方法通过调节补压调节阀对喷吹罐压力进行调节,以避免采用 PID 控制调节罐压时产生滞后和波动;

第三步,调节载气量:

根据载气量增加则喷吹率减小,载气量减小则喷吹率增加这个基本原理以及运行经验,将载气量的设定值作为喷吹率的阶段函数;并且采用 PID 单回路控制方式对载气量进行控制,此时,该调节回路需对阀门开度做最小限幅控制,以防输送气压力降低导致煤粉堵塞;

第四步,用串级 PID 回路控制方式调节喷吹率:

将流化气流量作为喷吹率瞬时变化的调整参数,构成串级 PID 控制系统,同时要对流化调节阀进行限幅,防止流化气量过小或者过大。

3. 根据权利要求 2 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法,其特征是第一步中,所述阶段函数为:

$$P=f(v)= \begin{cases} P1 & v1 < v < v2 \\ a1*v+b1 & v2 < v < v3 \\ a2*v+b2 & v3 < v < v4 \\ P2 & v4 < v \end{cases}$$

式中 : $P = \Delta P + P_{BF}$ ,  $\Delta P$  为罐压与炉压的差压设定值, $P_{BF}$  为高炉炉压, $P$  为喷吹罐压力设定值, $v$  为喷吹率设定值, $P1, P2, V1, V2, V3, V4$  和  $a1, a2, b1$  及  $b2$  均为根据实际工艺情况设定的常数。

4. 根据权利要求 2 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法,其特征是第二步中,所述仿人工智能规则采用“if E and EC then U”的形式,得到下述语言控制规则库:

```
IF      e1 >= E > e2 AND 0 >= EC > ec1 THEN      U = u1
IF      e2 >= E > e3 AND 0 >= EC > ec1 THEN      U = u2
IF      e3 >= E > e4 AND 0 >= EC > ec1 THEN      U = u3
```

---

```

IF   e4 >= E > e5 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u4
IF   e5 >= E > e6 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u5
IF   e6 >= E > e7 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u6
IF   e7 >= E      AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u7
IF   e1 >= E > e2 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u2
IF   e2 >= E > e3 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u2
IF   e3 >= E > e4 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u4
IF   e4 >= E > e5 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u4
IF   e5 >= E > e6 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u6
IF   e6 >= E > e7 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u6
IF   e7 >= E      AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u7
IF   e1 >= E > e2 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u2
IF   e2 >= E > e3 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u3
IF   e3 >= E > e4 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u4
IF   e4 >= E > e5 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u5
IF   e5 >= E > e6 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u6
IF   e6 >= E > e7 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u7
IF   e7 >= E      AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u7
IF   e1 >= E > e2 AND ec3 >= EC      THEN U = u3
IF   e2 >= E > e3 AND ec3 >= EC      THEN U = u3
IF   e3 >= E > e4 AND ec3 >= EC      THEN U = u5
IF   e4 >= E > e5 AND ec3 >= EC      THEN U = u5
IF   e5 >= E > e6 AND ec3 >= EC      THEN U = u7
IF   e6 >= E > e7 AND ec3 >= EC      THEN U = u7
IF   e7 >= E      AND ec3 >= EC      THEN U = u7

```

上述语言控制规则库中 :E 为罐压偏差, 其为罐压设定值与罐压实际值之差 ;EC 为偏差的变化率 ;U 为补气调节阀输出开度 ;e1 ~ e7、ec1 ~ ec3、u1 ~ u7 均为根据实际工艺情况设定的常数 ;

此外, 当实际值与设定值偏差大于某一值时, 打开小放散阀, 当实际值与设定值偏差小于 5kPa 或开阀时间超过 10s 时, 关闭小放散阀, 若放散阀关闭后, 偏差仍不满足条件, 则间隔 5s, 再次执行以上动作。

5. 根据权利要求 2 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法, 其特征是第三步中, 所述将载气量的设定值作为喷吹率的阶段函数为 :

$$F=f(v)= \begin{cases} F1 & v1 < v < v2 \\ a1*v+b1 & v2 < v < v3 \\ F2 & v3 < v \end{cases}$$

式中 :F 为载气量设定值 ;v 为喷吹率设定值 ;F1、F2、V1、V2、V3、a1 和 a2 均为根据实际工艺情况设定的常数, F1 > F2, a1 < 0。

6. 根据权利要求 2 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法, 其特征是第四步中, 要根据初始的喷吹速率首先设置流化气流量的初始值, 且在初始 3 分钟内不进行串级调节, 在补气过程中不对流化气流量进行调节。

7. 根据权利要求 2 所述的高炉喷煤喷吹速率控制方法, 其特征是在对高炉喷煤喷吹速率控制过程中, 所述的四个步骤的次序并无先后顺序; 若喷吹过程中由于高炉工况改变, 需调整喷吹率设定值时, 四个步骤是同时进行的; 若由于煤质等外界干扰导致喷吹率波动, 而喷吹率设定值不变时, 无需改变罐压和载气量设定值, 只要在稳定罐压和载气量的情况下, 调节流化气串级控制回路即可。

## 高炉喷煤喷吹速率控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高炉自动控制技术领域,特别是涉及一种高炉喷煤喷吹速率控制方法。

### 背景技术

[0002] 高炉喷煤技术是高炉系统结构优化的中心环节,具有大幅度降低焦比、提高经济效益、减轻环境污染等优点。喷煤技术作为国内外高炉炼铁技术发展的大趋势,是我国钢铁行业发展的三大重要技术路线之一。随着喷煤技术向大喷吹率浓相输送方向发展,如何稳定、均匀、准确地调节煤粉喷吹量,是维持炉温稳定、保证炉况顺行,使得高炉达到最佳冶炼状态的重要基础。

[0003] 当前,我国高炉喷煤自动控制技术水平较为薄弱,大部分生产过程缺少关键工艺参数喷煤量的检测、而且生产过程具有多变量、强耦合的特点,喷煤量调节的控制容易受煤粉煤质、流动性能、湿度、粒度、高炉炉况的波动、喷吹量的检测精度、分配器或喷枪阻塞等很大影响,因此很难获得精确的数学模型,使得对喷吹量的控制比较困难,目前对喷吹量控制效果均不佳。因此,如何采用一种控制方法来保证高炉喷煤系统喷吹速率的稳定就显得尤为重要。

[0004] 目前,高炉喷煤率的控制主要是采用调整输送载气量和喷吹罐罐压的方式,即通过调整罐压和输送气量的大小来改变喷煤量。一般情况下,喷吹速率的控制就是依靠人工经验或半自动的方式来固定输送气流量,然后用实测喷吹量与设定喷吹量比较,用比例积分微分(PID)算法来控制罐压,而罐压的控制又是通过对补气量的调节来实现,对于这种调节方式当喷煤率偏离设定值时,控制程序会自动加大或减小罐压设定值,此时补气调节阀会根据罐压实际值与设定值的偏差进行调节,由于通过补气量来改变罐压是比较缓慢的过程,同时由于没有喷吹率在线检测仪表,喷吹率的计算是有滞后的,因此对于改变喷吹率更是一个特大滞后过程;另一方面,当罐压在缓慢增加时,喷吹率却无法立即提高,导致补气量不断加大,而当喷吹率达到预期的设定值后,此时由于罐压已经达到设定罐压,但此时补气阀并不是立即关闭而是保持进而慢慢关闭,导致罐压仍在增加,喷吹率不断上升,产生大幅超调和波动。根据以上分析说明仅仅通过常规PID控制是无法实现对喷吹量稳定均匀控制的,而且存在严重滞后,易造成喷吹量的大幅波动,煤粉堵塞,从而影响高炉的正常生产,甚至破坏炉况导致休风。

[0005] 分析总结以前的工程经验,需对不合理的地方进行完善和优化,使用一种新的控制模式来解决喷煤量波动的问题,为高炉稳定顺行高产低耗创造条件。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种高炉喷煤喷吹速率控制方法,该方法能够在高炉炼铁喷煤系统中对煤粉喷吹量进行稳定、均匀、准确地调节控制,进而维持炉温稳定、使得高炉达到最佳冶炼状态。

[0007] 本发明解决其技术问题采用以下的技术方案：

[0008] 本发明提供的高炉喷煤喷吹速率控制方法，其采用两罐以上（包括两罐）并联喷吹模式，主要是对补气调节阀、小放散切断阀、流化调节阀和输送气调节阀的控制来实现对喷吹率的控制；通过调节补气调节阀、小放散切断阀来稳定喷吹罐压力，通过调节输送气调节阀来稳定载气量，在稳定喷吹罐压力和载气量的情况下，喷吹率和流化气流量调节构成 PID 串级控制回路，用以快速均匀的调节喷吹率；在生产过程中，按照工艺要求处理罐压、载气量以及流化气流量三者和喷吹率的关系，使喷吹率得到有效的控制，从而为高炉顺利生产的所需创造条件。

[0009] 本发明可以采用包括以下步骤的方法：

[0010] 第一步，确定喷吹罐压力与高炉炉压的差压设定值：

[0011] 将罐压的设定转化为对罐压和炉压差压的设定，且将所述差压的设定值作为喷吹率的阶段函数，罐压的设定值为差压的设定值和炉压之和；

[0012] 第二步，调节喷吹罐压力：

[0013] 通过充压管路对喷吹罐进行充压至罐压设定值，在喷吹过程中，打开补压切断阀，对罐压采用仿人工智能规则控制方法通过调节补压调节阀对喷吹罐压力进行调节，以避免采用 PID 控制调节罐压时产生滞后和波动；

[0014] 第三步，调节载气量：

[0015] 根据载气量增加则喷吹率减小，载气量减小则喷吹率增加这个基本原理以及运行经验，将载气量的设定值作为喷吹率的阶段函数；并且采用 PID 单回路控制方式对载气量进行控制，此时，该调节回路需对阀门开度做最小限幅控制，以防输送气压力降低导致煤粉堵塞；

[0016] 第四步，用串级 PID 回路控制方式调节喷吹率：

[0017] 将流化气流量作为喷吹率瞬时变化的调整参数，构成串级 PID 控制系统，同时要对流化调节阀进行限幅，防止流化气量过小或者过大。

[0018] 本发明是一种针对喷煤生产过程具有多变量、强耦合的特点，喷煤量的调节控制容易受外界工况的影响，而提出的全新的控制方案。与现有技术相比，具有以下的主要有益效果：

[0019] 1. 将对喷吹罐压力的设定转化为对喷吹罐压力和高炉炉压的压差设定，可以有效的防止炉压波动对喷吹率的干扰。

[0020] 2 利用仿人工智能规则控制算法对罐压进行调节，可以防止罐压调节时出现的滞后以及大幅波动，保证罐压的快速稳定均匀调节。

[0021] 3. 利用喷吹率和流化气流量构成串级 PID 控制回路调节喷吹率，实现了对喷吹率的快速、均匀调节，从而满足高炉生产的要求。

[0022] 4 增加了对流化调节阀和输送气调节阀的限幅控制，防止煤粉堵塞。

[0023] 5. 工艺操作简单，可以减少生产过程中操作工的人工调节，降低工作强度。

[0024] 6. 提高了自动化水平，避免喷吹率受外界干扰因素影响产生大幅度波动，为高炉稳定顺行高产低耗创造条件。

[0025] 本发明通过实验表明，可以将高炉喷煤比提高到 180kg/t 以上，每生产一吨生铁可节约焦炭 160kg 以上，小时喷煤率的误差控制在 0.5% 以内，且生产过程中，由于炉压或

煤质等外界因素发生变化产生扰动时,系统能够快速稳定,无需人工干预,增强了该系统的自适应能力,保证了高炉的顺行、低耗、高产。

### 附图说明

[0026] 图 1 为本发明高炉喷煤喷吹系统结构示意图。

[0027] 图 2 为本发明高炉喷煤喷吹系统的串级控制回路原理图。

[0028] 图中 :1. 煤粉仓 ;2. 氮气调压站 ;3. 空压站 ;4. 混合器 ;5. 分配器 ;6. 高炉 ;7. 第一喷吹罐 ;8. 第二喷吹罐 ;9. 输送气调节阀 ;10. 补压调节阀 ;11. 流化调节阀 ;12. 小放散切断阀 ;13. 大放散切断阀 ;14. 装料切断阀 ;15. 下料切断阀 ;16. 补压切断阀 ;17. 充压切断阀 ;18. 流化切断阀 ;19. 喷煤切断阀。

### 具体实施方式

[0029] 本发明提供的对高炉喷煤喷吹率控制方法,参见图 1,采用两罐以上(包括两罐)并联喷吹模式,对于喷吹率的调节主要是通过调节补气调节阀、小放散切断阀、流化调节阀和输送气调节阀来实现的,通过调节补气调节阀、小放散切断阀来稳定喷吹罐压,调节输送气调节阀来稳定载气量,喷吹率和流化气流量的调节构成 PID 串级控制回路,用以快速均匀的调节喷吹率,如果能够很好的处理罐压、载气量以及流化气流量三变量和喷吹率的关系,那么就可以使喷吹率得到有效的控制从而为高炉顺利生产的所需创造条件。

[0030] 下面结合实施例及附图对本发明提供的方法作进一步说明。

[0031] 一般认为喷吹率和罐压以及载气量存在一定的函数关系,而实际运行中,我们发现由于罐压调节存在滞后,且罐压本身也存在波动,气固两相流对象本身结构相当复杂,而且对喷吹率影响的因素很多,如煤粉粒度、煤粉湿度、装煤量、罐压泄漏、载气量波动、高炉炉况等等,尤其是罐压波动以及载气量的波动会造成喷煤率的大幅波动,甚至降为 0。因此,对于喷吹率和罐压以及载气量的关系很难获得精确的数学模型,且用传统的 PID 控制方式控制效果不佳。

[0032] 本发明针对以上问题,根据现场实际运行经验,从以下四个步骤进行改善和控制:

[0033] 第一步,确定喷吹罐压力与高炉炉压的差压设定值。

[0034] 针对利用 PID 调节罐压时,罐压的设定值波动较大且高炉炉压变化时罐压未能及时响应的问题,将对罐压的设定转化为对罐压和炉压差压的设定,且将差压的设定值作为喷吹率的阶段函数,罐压的设定值为差压的设定值和炉压之和。

[0035] 对罐压与炉压的差压设定值采用阶段函数,如下所示:

$$[0036] P=f(v)= \begin{cases} P1 & v1 < v < v2 \\ a1*v+b1 & v2 < v < v3 \\ a2*v+b2 & v3 < v < v4 \\ P2 & v4 < v \end{cases}$$

[0037]  $P = \Delta P + P_{BF}$

[0038]  $\Delta P$  为罐压与炉压的差压设定值

[0039]  $P_{BF}$  为高炉炉压

- [0040] P 为喷吹罐压力设定值  
 [0041] V 为喷吹率设定值  
 [0042] P1, P2, V1, V2, V3, V4, a1, a2, b1, b2 为常数, 可根据实际工艺情况做适当调整。  
 [0043] 在较低和较高喷吹率时, 调整罐压不仅不会得到理想的喷吹率反而会导致喷吹率的大幅波动, 此时罐压需要保持稳定。  
 [0044] 在中等喷吹率时, 将其分为两段, 罐压设定值分别对应两个一次函数, 在 [v2, v3] 段, 一次函数的斜率稍大些, 罐压设定值跟随喷吹率上升稍快些, 在 [v3, v4] 段, 一次函数的斜率稍小些, 罐压设定值跟随喷吹率上升稍慢些。  
 [0045] 第二步, 喷吹罐压力调节 :  
 [0046] 针对罐压调节的滞后, 以及罐压的调节频率过多而导致其波动这个问题, 对罐压的调节, 可以通过充压管路对喷吹罐进行充压至罐压设定值, 在喷吹过程中, 打开补压切断阀, 对罐压采用仿人工智能规则控制方法, 通过调节补压调节阀对喷吹罐压力进行调节, 以避免采用 PID 控制调节罐压时产生滞后和波动。规则控制是建立在一系列控制规则之上, 这些规则是人对被控对象进行控制时的经验总结, 例如 : 如果罐压偏高且不断上升, 那么应减小补气调节阀的开度。根据工艺工程师的生产经验, 由系统输出的误差及误差变化趋势来消除系统误差的控制规则。规则选用“if E and EC then U”的形式, 得到语言控制规则库, 如下表所示 :

- |        |   |
|--------|---|
| [0047] | IF e1 >= E > e2 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u1   |
| [0048] | IF e2 >= E > e3 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u2   |
| [0049] | IF e3 >= E > e4 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u3   |
| [0050] | IF e4 >= E > e5 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u4   |
| [0051] | IF e5 >= E > e6 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u5   |
| [0052] | IF e6 >= E > e7 AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u6   |
| [0053] | IF e7 >= E AND 0 >= EC > ec1 THEN U = u7        |
| [0054] | IF e1 >= E > e2 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u2 |
| [0055] | IF e2 >= E > e3 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u2 |
| [0056] | IF e3 >= E > e4 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u4 |
| [0057] | IF e4 >= E > e5 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u4 |
| [0058] | IF e5 >= E > e6 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u6 |
| [0059] | IF e6 >= E > e7 AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u6 |
| [0060] | IF e7 >= E AND ec1 >= EC > ec2 THEN U = u7      |
| [0061] | IF e1 >= E > e2 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u2 |
| [0062] | IF e2 >= E > e3 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u3 |
| [0063] | IF e3 >= E > e4 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u4 |
| [0064] | IF e4 >= E > e5 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u5 |
| [0065] | IF e5 >= E > e6 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u6 |
| [0066] | IF e6 >= E > e7 AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u7 |
| [0067] | IF e7 >= E AND ec2 >= EC > ec3 THEN U = u7      |
| [0068] | IF e1 >= E > e2 AND ec3 >= EC THEN U = u3       |

[0069] IF e2 >= E > e3 AND ec3 >= EC THEN U = u3  
 [0070] IF e3 >= E > e4 AND ec3 >= EC THEN U = u5  
 [0071] IF e4 >= E > e5 AND ec3 >= EC THEN U = u5  
 [0072] IF e5 >= E > e6 AND ec3 >= EC THEN U = u7  
 [0073] IF e6 >= E > e7 AND ec3 >= EC THEN U = u7  
 [0074] IF e7 >= E AND ec3 >= EC THEN U = u7

[0075] 上述语言控制规则库中 :E 为罐压偏差 ( 设定值与实际值之差 ), EC 为偏差的变化率 , U 为补气调节阀输出开度。 e1 ~ e7 、 ec1 ~ ec3 、 u1 ~ u7 为常数 , 可根据实际工艺情况做适当调整。

[0076] 此外 , 当实际值与设定值偏差大于某一值时 , 打开小放散阀 , 当实际值与设定值偏差小于 5kPa ( 可调 ) 或开阀时间超过 10s ( 可调 ) 时 , 关闭小放散阀 , 若小放散阀关闭后 , 偏差仍不满足条件 , 则间隔 5s ( 可调 ) , 再次执行以上动作。

[0077] 通过以上控制方式 , 可以防止罐压调节时出现的滞后以及大幅波动 , 保证罐压的快速稳定均匀调节。

[0078] 第三步 , 对载气量的调节 :

[0079] 根据载气量增加则喷吹率减小 , 载气量减小则喷吹率增加这个基本原理以及运行经验 , 将载气量的设定值作为喷吹率的阶段函数。对载气量的控制还采用 PID 单回路控制方式 , 由于喷煤是固气两相流 , 当喷煤量较大时 , 需要载气量较少 , PID 调节时会将阀门关小 , 当阀门开度变小时 , 输送气量减少 , 煤粉管道内的压力会降低 , 此时容易导致煤粉堵塞 , 影响高炉正常生产、造成高炉况不顺 , 甚至休风 , 因此要该调节回路需对阀门开度做最小限幅控制 , 以防输送气压力降低导致煤粉堵塞。

[0080] 1. 对载气量的设定值采用阶段函数 , 如下所示 :

$$F=f(v)= \begin{cases} F1 & v1 < v < v2 \\ a1*v+b1 & v2 < v < v3 \\ F2 & v3 < v \end{cases}$$

[0082] 式中 :F 为载气量设定值。 V 为喷吹率设定值。 F1 、 F2 、 V1 、 V2 、 V3 、 a1 和 a2 均为常数 , F1 > F2 , a1 < 0 , 可根据实际工艺情况做适当调整。

[0083] 在较低和较高喷吹率时 , 调整载气量不仅不会得到理想的喷吹率反而会导致喷吹率的大幅波动 , 此时载气量需要保持稳定。

[0084] 在中等喷吹率时 , 载气量设定值对应一次函数 , 在 [v2, v3] 段 , 载气量设定值跟随喷吹率设定值上升而下降。

[0085] 第四步 , 用串级 PID 控制方式调节喷吹率 :

[0086] 在运行过程中 , 我们发现喷吹率对流化气的变化特别敏感 , 操作工在调整喷吹率的时候也是在调节流化气的流量 , 据此 , 我们将流化气流量作为喷吹率瞬时变化的调整参数 , 构成串级 PID 控制系统 , 同时要对流化调节阀进行限幅 , 防止流化气量过小或者过大。

[0087] 对流化气流量的控制 , 其目的主要是对喷吹率的瞬时波动进行快速调整。流化气的作用是流化喷吹罐底部的煤粉 , 在喷吹过程中需要不停的流化煤粉 , 使煤粉均匀稳定喷出。实际运行过程中 , 喷吹率稳定时 , 若增加流化气流量 , 喷吹率会增加 , 减小流化气流量 ,

喷吹率会减小,但是喷吹率过大或过小都会导致喷吹率过度减小甚至为 0,容易导致煤粉堵塞,影响高炉正常生产、造成高炉况不顺,甚至休风。根据以上情况,对流化气的控制采用了如下图所示的串级 PID 控制回路,同时对调节阀开度进行限幅控制,此外喷吹启动时要根据初始的喷吹速率首先设置流化气流量的初始值且在初始 3 分钟内不进行串级调节,在补气过程中不对流化气流量进行调节。

[0088] 通过以上改进,可以有效的、快速的、均匀的调整喷吹率,以满足高炉生产的要求。

[0089] 在对高炉喷煤喷吹速率控制过程中,上述的四个步骤的次序并无先后顺序。若喷吹过程中由于高炉工况改变,需调整喷吹率设定值时,四个步骤是同时进行的。若由于煤质等外界干扰导致喷吹率波动,而喷吹率设定值不变时,无需改变罐压和载气量设定值,只要在稳定罐压和载气量的情况下,调节流化气串级控制回路即可。

[0090] 本控制方法的核心是在某一设定喷吹率下,稳定罐压及其载气量,利用串级 PID 回路通过对流化气流量进行调节以达到对喷吹率的控制,该控制方法可稳定喷吹速率,减少生产过程中操作工的人工调节,降低工作强度,提高自动化水平,避免喷吹率受外界干扰因素影响产生大幅度波动,为高炉稳定顺行高产低耗创造条件。

[0091] 本发明提供了高炉喷煤喷吹系统,可以实现对高炉喷煤喷吹率的控制,该系统包括氮气调压站 2、空压站 3、混合器 4、分配器 5、多个喷吹罐、切断阀和调节阀。

[0092] 下面以两罐并联喷吹模式为例来说明所述高炉喷煤喷吹系统的结构。

[0093] 如图 1 所示,所述高炉喷煤喷吹系统设有第一喷吹罐 7、第二喷吹罐 8,它们分别通过管道和装料切断阀 14、下料切断阀 15 与煤粉仓 1 相连,用于喷吹罐装料,同时又分别通过管道及小放散切断阀 12、大放散切断阀 13 与煤粉仓 1 相连,用于喷吹罐放散。所述两个喷吹罐还分别通过三路连接管道及阀和与氮气调压站 2 相连,其中:一路连接管道装有补压调节阀 10 及补压切断阀 16,用于喷吹罐补压。一路连接管道装有充压切断阀 17,用于喷吹罐充压。一路连接管道装有流化调节阀 11 及流化切断阀 18,用于喷吹罐煤粉流化。所述两个喷吹罐又分别通过管道及喷煤切断阀 19 与混合器 4 相连。

[0094] 所述混合器 4,如图 1 所示:其由管道及输送气调节阀 9 与空压站 3 相连;该混合器又经管道与分配器 5 相连。该混合器的作用是将煤粉和输送气混合。

[0095] 所述分配器 5,如图 1 所示:其经管道与高炉 6 的各个风口相连。该分配器的作用是将煤粉分别分配到高炉的每一个风口。

[0096] 所述各个切断阀、补压调节阀 10、流化调节阀 11 及输送气调节阀 9 均可以由市场上购买,例如:补压切断阀 16、充压切断阀 17、流化切断阀 18 可以采用型号为 Q641F 型球阀,小放散切断阀 12、大放散切断阀 13、装料切断阀 14 和下料切断阀 15 及喷煤切断阀 19 可以采用型号为 Q647F 耐磨型球阀。输送气调节阀 9、补压调节阀 10、流化调节阀 11 可以采用无锡工装的气动薄膜单座调节阀,型号为 501T。

[0097] 本发明高炉喷煤喷吹系统的控制原理如图 2 所示:分为喷吹率 PID 串级控制回路、喷吹罐压力控制回路和载气量控制回路。其中,整个控制系统的喷吹率设定值由工艺工程师根据高炉生产工况人工设定。

[0098] 对于喷吹率 PID 串级控制回路,以喷吹率 PID 控制回路作为主环,以流化气流量 PID 控制回路为副环,构成 PID 串级控制系统。喷吹率 PID 控制器的设定值是喷吹率设定值,喷吹率 PID 控制器的测量值是经煤粉喷吹率计算模块计算后的喷吹率测算值,该喷吹率计

算模块的原理是对喷吹罐煤粉重量进行微分计算得到喷吹率测量值，喷吹率 PID 控制器的输出信号作为流化气流量 PID 控制器的设定值，流化气流量 PID 控制器的测量值是现场流化气流量检测元件的反馈信号，流化气流量 PID 控制器的输出信号经过限幅控制后调节流化气调节阀的开度，从而调节流化气流量，最终达到调节喷吹过程中喷吹率的效果。

[0099] 对于喷吹罐压力控制回路，其罐压的设定值根据上述的罐压设定阶段函数方法进行计算，然后通过仿人工智能规则控制算法对补压调节阀和小放散切断阀进行调节，最终达到快速稳定的控制罐压。

[0100] 对于载气量控制回路，其载气量的设定值根据上述的载气量设定阶段函数方法进行计算，然后采用单回路 PID 控制方式对输送气调节阀进行调节，并且对调节阀的开度进行限幅控制，以达到平稳的控制载气量，使其满足当前设定喷吹率的需要。

[0101] 通过以上三个控制回路，可以实现对喷吹率的准确、稳定、均匀控制，使得整个煤粉喷吹生产过程能够满足高炉生产需要，为高炉稳定顺行高产低耗创造条件。

[0102] 本发明提供的高炉喷煤喷吹系统，其工作过程是：煤粉仓 1 下部通过落粉管、装料切断阀 14、下料切断阀 15 与两个喷吹罐相连。煤粉仓 1 内的煤粉靠重力落入喷吹罐。每一个喷吹罐按装粉、充压、等待、喷吹、放散、再装粉的程序循环交错地运行。当其中一个罐在喷吹时，另一个罐在进行放散、装粉、充压、等待。其中一罐喷吹完时，另一罐自动投入喷吹，以保证向高炉连续喷粉。在喷吹罐顶部设有氮气放散接口，喷吹结束后将喷吹罐内气体通过小放散切断阀 12 和大放散切断阀 13 放散至煤粉仓。喷吹罐上部有充压和补压接口，通过充压切断阀 17 用氮气充压，在喷吹过程中打开补压切断阀 16，通过补压调节阀 10 对罐压进行调节。喷吹罐下部有流化装置，在喷吹过程中打开流化切断阀 18，通过流化调节阀 11 用氮气流化煤粉。被流化的煤粉在罐压的作用下通过导出管排出罐外至混合器 4，在混合器 4 处与输送气（压缩空气或氮气）混合，载气量大小根据喷吹量设定值由输送气调节阀 9 调节控制。煤粉在输送气的作用下送到安装在高炉附近的分配器 5，煤粉经分配器 5 平均分配后，经喷吹支管、喷枪后进入高炉 6 炉内。

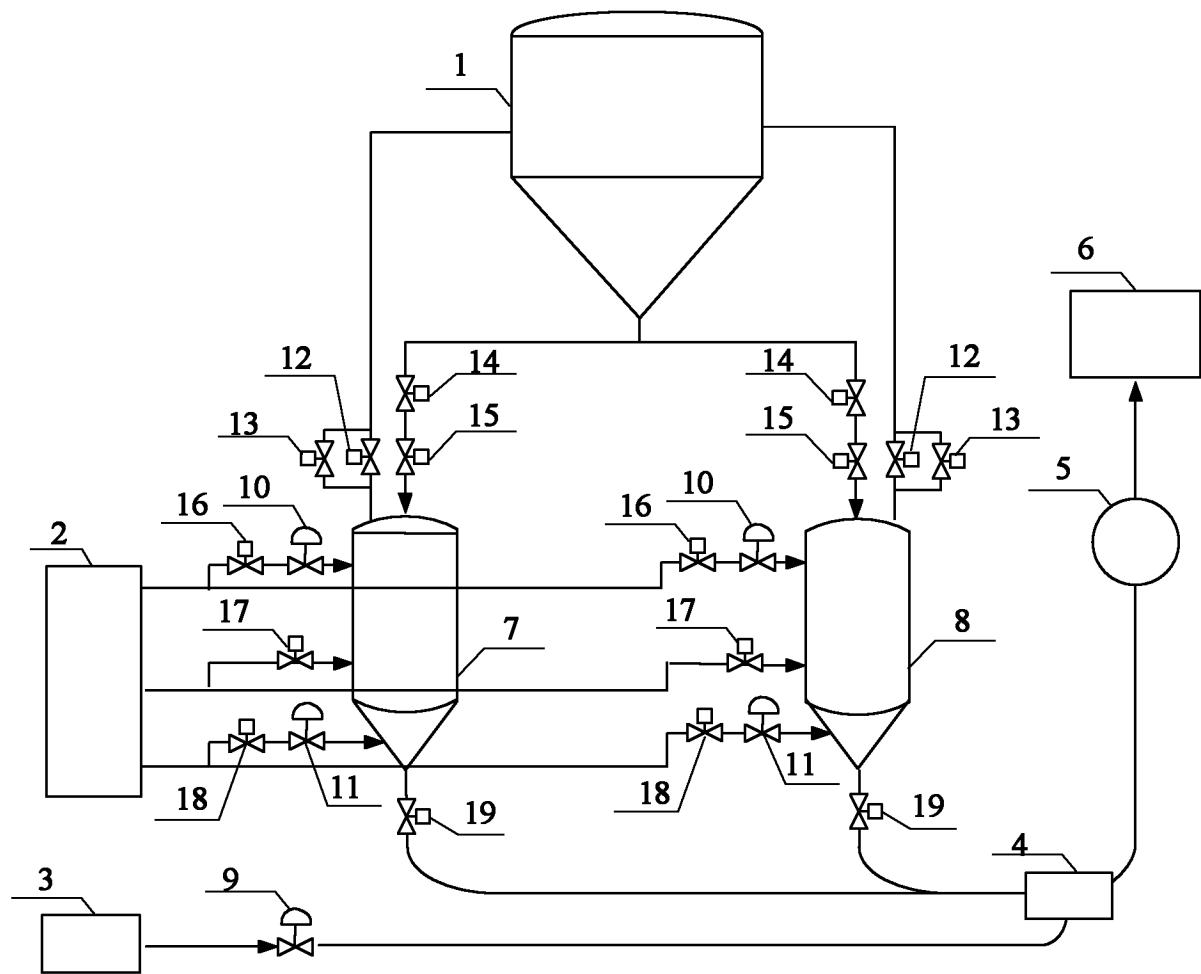


图 1

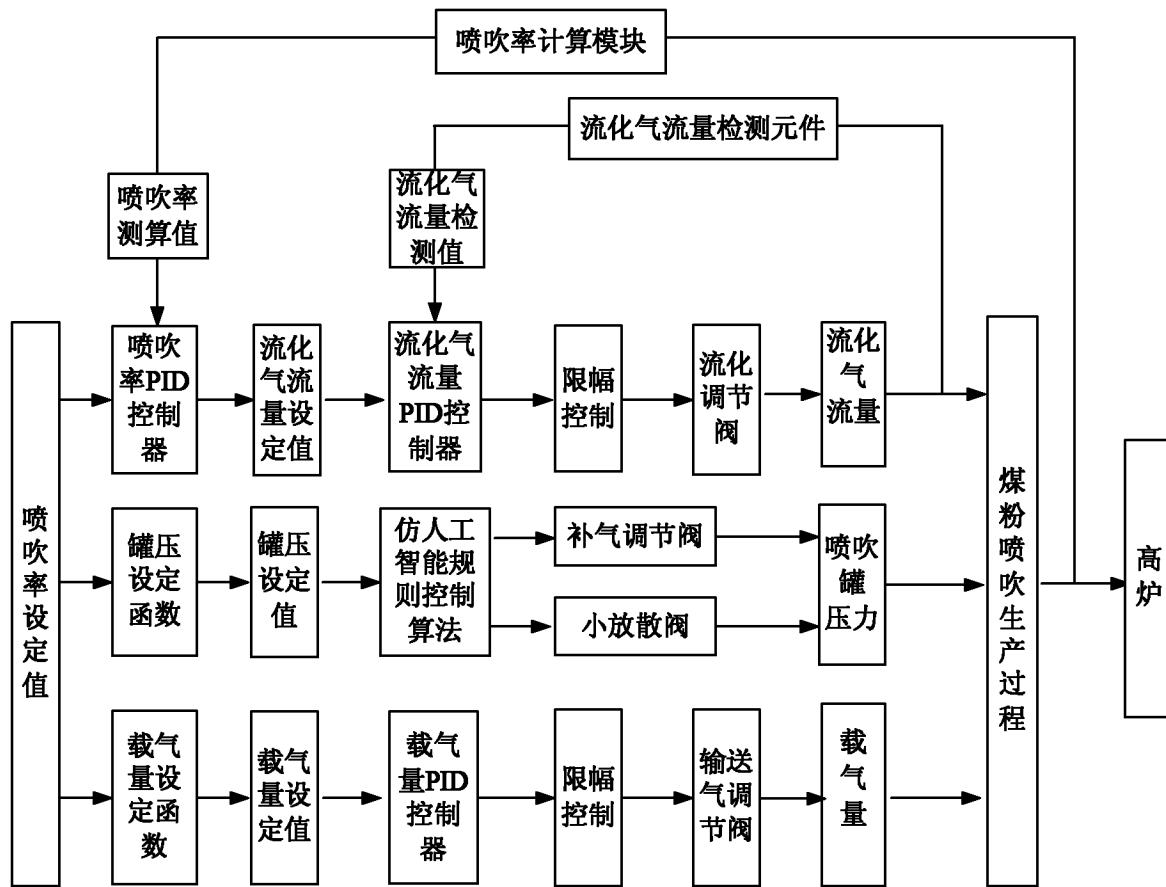


图 2