



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105368996 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201510711218. 2

(22) 申请日 2015. 10. 28

(71) 申请人 北京金自天正智能控制股份有限公司

地址 100070 北京市丰台区科学城富丰路 6 号

(72) 发明人 赵蕊 张巍 毕晓海 郑志彬
马燕 郑晓丽 张磊 路广州

(74) 专利代理机构 北京永创新实专利事务所
11121

代理人 赵文颖

(51) Int. Cl.

G21B 5/00(2006. 01)

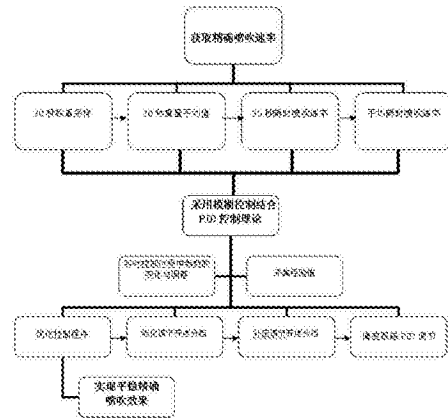
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法,包括以下几个步骤:步骤一:获取精确的喷吹速率;步骤二:利用PID调节跟踪控制喷吹速率;步骤三:在完成上述控制喷吹速率过程误差波动后,实时关注控制过程中的注意事项,在每一次的最优控制过程中,记录参与控制的设备的状态和数据,完成最优数据和过程的总结,对参与控制设备及控制参数进行相应调整,实现最优控制;本发明能够精确的计算跟踪所需喷吹速率、实现稳定的喷吹控制,减小波动及误差,提高高炉的喷煤可靠性。



1. 一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法,包括以下几个步骤:

步骤一:获取精确的喷吹速率;

在喷吹初始阶段,每秒钟对喷吹罐的重量数据进行采集,放入数组变量 A 中,采样的数据与上一秒进行比较,得到相应差值,将差值放入数组变量 B 中,每 5 秒钟计算一次差值的平均值,计算出当前的初始喷吹阶段的喷吹速率;

在喷吹进入趋于稳定速率的阶段,PLC 每秒采集一次喷吹罐重量 W_n , $n = 1, 2, \dots$, 对于前 30S, 得到 $W_1, W_2 \dots W_{30}$, 每秒重量相加, 得到 $S_{30} = W_1 + W_2 + \dots + W_{30}$, 以此类推, $S_{31} = W_2 + \dots + W_{30} + W_{31}$, 30S 后, 每秒均得到一个喷吹罐重量平均值 $WP_{30} = S_{30}/30$, 以此类推, $WP_{31} = S_{31}/30$, 则第 31S 后的累计前 30S 的重量是 $S_{31} = W_1 + W_2 + \dots + W_{31} - WP_{30}$, 即 $S_{31} = S_{30} - WP_{30}$, 以此类推, 每秒的前 30S 的重量和都减上一秒的平均重量, 喷吹速率由累计重量与累计时间的微分所构成, 瞬时的喷吹速率 P_n 表示为 $P_{31} = S_{31} - S_{30}$, $P_{32} = S_{32} - S_{31}$, 以此类推, 把十次的瞬时速率相加除以 10 秒的累计时间, 得到平稳的速率 P_{Jn} , $P_{J41} = (P_{31} + P_{32} + \dots + P_{40})/10$, $P_{J42} = (P_{31} + P_{32} + \dots + P_{42} - P_{41})/10$, 以此类推;

通过采集的数据, 得到精确的喷吹速率, 在执行过程中, 准确计算误差, 进行自动补偿;

步骤二:利用 PID 调节跟踪控制喷吹速率;

将流化调节阀、补压调节阀开度增量设为七档:分别为负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正小, 调节阀的开度增大为正, 减小为负, 根据实际喷吹速度和设定喷吹速度的差值, 在七档中选择调节档位;

具体为:

PID 控制器由比例单元 P、积分单元 I 和微分单元 D 组成, 其输入 $e(t)$ 与输出 $u(t)$ 的关系为 $u(t) = k_p[e(t) + 1/T_I \int e(t) dt + T_D * de(t)/dt]$, 式中积分的上下限分别是 0 和 t, 其中 k_p 为比例系数, T_I 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数;

设偏差为 $e = pv - sp$, 其中, e 为偏差, pv 为过程值, sp 为设定值, 根据过程值与设定值之间的偏差情况, 分为以下几种情况:

(1) 如果实际喷吹速率大于设定喷吹速率的 50%, 则在正大的档位进行调节, 将参与控制的调节阀的开度直接开到正大的档位, 在正大的档位里, 通过 PID 比例 K_p , 积分 T_I 调节参数, 进行无扰动调节;

(2) 达到正中档位时, 将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到正中的档位, 逐渐增大积分数值, 减小比例系数 K_p , 最终达到正小档位;

(3) 如果实际喷吹速率低于设定喷吹速率的 50%, 则在负大的档位进行调节, 将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到负大的档位, 逐渐增大 K_p 比例系数, T_I 积分参数调节;

(4) 达到负中档位时, 将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到负中的档位, 逐渐增大积分数值, 比例系数 K_p 减小, 最终达到负小档位;

综上在设定的档位进行无扰动 PID 调节, 然后通过实时跟踪差值待速率逐渐接近后, 程序实时扫描运行, 进入正中、负中、正小、负小、零的程序运行块, 实现程序中模糊控制与 PID 控制的结合, 通过自动搜索不同档位程序段, 达到最快最稳定的调节;

步骤三:在完成上述控制喷吹速率过程误差波动后, 实时关注控制过程中的注意事项,

在每一次的最优控制过程中,记录参与控制的设备的状态和数据,完成最优数据和过程的总结,对参与控制设备及控制参数进行相应调整,实现最优控制;

控制过程中的注意事项为:

- (1) 当实际喷吹速率小于设定喷吹速率 30%,增加补气阀阀位开度,反之减小;
- (2) 在设定的喷吹压力下,压力根据高炉实际需煤量和罐体压力在操作界面人工设定,稳定流化氮气量和压缩空气补气量;
- (3) 每次调节开度范围不超过 5%;
- (4) 设定流化调节阀自动调节控制,防止流化调节阀全关;
- (5) 设定罐压的上下限压力值;
- (6) 实时监测分配器压力与罐压,避免罐压小于分配器前压力,煤粉回流,造成危险;
- (7) 设定流化调节阀的上下限开度;
- (8) 实时跟踪喷罐压力,在喷罐压力小于设定压力的 20%时,自动实时开启补压调节阀;
- (9) 在瞬时煤量比设定喷煤量高出 30%时,通过二次补气调节阀降低瞬时煤量;
- (10) 根据现场的实际情况,设置流化调节阀的最大最小开度范围。

一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于冶金自动控制领域,具体地说是一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法。

背景技术

[0002] 在现代高炉冶炼需用焦炭,它在高炉中的作用是提供冶炼过程需要的热量,同时还还原铁矿石需要的还原剂,并维持高炉料柱(特别是软熔带及其以下部位)透气性的骨架。高炉喷吹煤粉是从高炉风口向炉内直接喷吹磨细了的无烟煤粉或烟煤粉或这两者的混合煤粉,以替代焦炭起提供热量和还原剂的作用,从而降低焦比,降低生铁成本。在输送煤粉的计算机控制过程中,需要保证在规定的时间内达到所需要的喷吹量,但在实际生产中是比较困难的事情,在很多情况是操作人员通过手动操作控制喷吹量,在控制喷吹速度的时候保证不了速度的平稳度,造成在设定的时间提早完成喷吹量,或者没有达到喷吹量,对高炉冶炼生产过程造成不好影响,面对这种情况,迫切需要提高喷煤系统喷吹量的控制水平,实现喷吹系统自动喷吹量的稳定性和可靠性。

发明内容

[0003] 本发明的目的是为了解决上述问题,提出了一种用于高炉喷煤系统的喷吹量自动控制方法,精确计算喷吹速率,对喷吹罐的物料称重量和压力及对应的调节装置进行分析判断,利用模糊控制理论及PID控制方式,合理的分析数据并且及时按设定量对调节装置进行跟踪控制,实时跟踪喷吹速度量状态,实现平稳的喷吹量控制

[0004] 一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法,包括以下几个步骤:

[0005] 步骤一:获取精确的喷吹速率;

[0006] 步骤二:利用PID调节跟踪控制喷吹速率;

[0007] 步骤三:在完成上述控制喷吹速率过程误差波动后,实时关注控制过程中的注意事项,在每一次的最优控制过程中,记录参与控制的设备的状态和数据,完成最优数据和过程的总结,对参与控制设备及控制参数进行相应调整,实现最优控制;

[0008] 本发明的优点在于:

[0009] (1) 能够精确的计算跟踪所需喷吹速率;

[0010] (2) 实现稳定的喷吹控制,减小波动及误差;

[0011] (3) 大大节省人力物力;

[0012] (4) 提高高炉的喷煤可靠性。

附图说明

[0013] 图1 现场并罐喷吹操作界面;

[0014] 图2 是本发明的方法流程图。

具体实施方式

[0015] 下面将结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。

[0016] 高炉喷煤喷吹系统设备一般包括：煤粉仓、喷吹罐、喷吹罐下料阀，喷吹罐电子称，放散阀，充压阀，流化阀，补气阀，输煤阀，充压调节阀，流化调节阀，补气调节阀，过滤器，分配器，喷枪等，煤粉从储煤罐经过以上设备被输送到高炉中。在喷煤系统中设计一般采用并罐喷吹，实现两罐连续倒罐不间断输送煤粉到高炉中，如图 1 所示，为现场并罐喷吹操作界面，在操作界面上有常用的高炉喷吹系统控制设备：煤粉仓，喷吹罐，下料阀，放散阀，流化阀，补气阀，输煤阀，充压调节阀，流化调节阀，补气调节阀，操作界面上还有现场仪表的测量的，罐内温度，压力和称重值显示，有通过算法计算的所需喷煤量和累计喷煤量显示

[0017] 在自动喷煤的过程中，如果没有根据现场的运行数据分析，不能很好的稳定喷煤速率，经常会遇到以下两种情况：1. 喷煤设定时间已经到，但是累计喷吹量还未达到喷煤设定；2. 累计喷煤量已经达到喷煤设定，但是喷煤设定时间还未达到。因此在进行全程自动稳定喷煤的程序编写时，精确的计算喷吹速率和前期的经验数据采集分析是都很有必要的步骤。

[0018] 一种用于高炉喷煤系统喷吹量的自动控制方法，流程如图 2 所示，包括以下几个步骤：

[0019] 步骤一：获取精确的喷吹速率；

[0020] 在控制方法的起始阶段，为了实现精确的喷吹量控制，必须要得到精确的喷吹速率，这是控制方法的首要也是重要一步，在喷吹速率的计算过程中，完成喷吹罐重量的实时采集，在计算过程中利用计算方法，完成可靠地干扰滤波，实现精确的喷吹速率的计算，便完成了控制方法的最关键的一步。

[0021] 在运行调试过程中，通过数据采集分析，将喷罐重量，喷罐压力，流化阀开度，补气阀开度，补压阀开度与喷煤流量及喷煤累积量的计算联系在一起。为了得到精确的喷吹速率，在程序里利用数组数据的形式，在喷吹初始阶段，每秒钟对喷吹罐的重量数据进行采集，放入一个数组变量，采样的数据与上一秒进行比较，得到相应差值，将差值放入另一个数组变量，每 5 秒钟计算一次差值的平均值，计算出当前的初始喷吹阶段的喷吹速率，数组填满后，将新采集的数据将最老数据覆盖。喷吹速率的计算以此采集的数据推算，这样就能再一次的进行干扰滤波，达到一个精确的喷吹速率。在喷吹进入趋于稳定速率的阶段后，PLC 每秒采集一次喷吹罐重量（以 W_n 表示每秒采样值），第一秒采集重量 W_1 ，第二秒重量值为 W_2 ，以此类推，为了能达到最佳的平均数，采用每 30 秒采样数值做一次计算， $W_1, W_2 \dots W_{30}$ ，每秒重量相加（以 S_n 表示 30 秒采样值的和）， $S_{30} = W_1 + W_2 + \dots + W_{30}$ ，...以此类推，30 秒后，每秒都能得到一个平均重量（以 WP_n 表示 30 秒后的每秒重量平均值）， $WP_{30} = S_{30}/30$ ， $WP_{31} = S_{31}/30$ ，而 31S 后的累计前 30S 的重量是 $S_{31} = W_1 + W_2 + \dots + W_{31} - WP_{30}$ ，也就是 $S_{31} = S_{30} - WP_{30}$ ，通过这个类推，每秒的前 30S 的重量和都减上一秒的平均重量，而每秒采集的喷吹罐重量都是一直累计的，消除了干扰和滤波。喷吹速率由累计重量与累计时间的微分所构成，瞬时的喷吹速率（以 P_n 表示）为 $P_{31} = S_{31} - S_{30}$ ， $P_{32} = S_{32} - S_{31}$ ，...把十次的瞬时速率相加除以 10 秒的累计时间，便得到比较平稳的速率（以 P_{Jn} 表示）， $P_{J41} = (P_{31} + P_{32} + \dots + P_{40})/10$ ， $P_{J42} = (P_{31} + P_{32} + \dots + P_{42} - P_{41})/10$ ，...以此类推。将在程序中将采集的数据，计算出最优的平稳瞬时值。这样就能通过程序计算出精确的喷吹速率，能够实

现一个精确的跟踪目标值,为程序进行对相关设备精确的控制奠定了基础。程序在执行过程中,准确计算误差,进行自动补偿,完成稳定的全自动喷吹过程。

[0022] 步骤二:利用 PID 调节跟踪控制喷吹速率;

[0023] 在完成精确的喷吹速率计算之后,为了防止在瞬时调节过程中喷吹速度波动较大,参与控制的相关调节阀利用模糊控制理论,在分段档位的合理调节范围内,利用 PID 调节跟踪控制喷吹速率,最小减小喷吹速率的波动。

[0024] 在精确计算喷吹速度的前提下,喷吹罐重量的减少量同喷吹速度的大小成正比,利用模糊控制理论,将参与精确控制喷煤流量的流化调节阀,补压调节阀开度增量分为七档:分别为负大,负中,负小,零,正小,正中,正小,调节阀的开度增大为正,减小为负。根据实际喷吹速度和设定喷吹速度的差值,在七档中选择调节档位,减小了流化调节阀与补压调节阀每次调节的范围,避免开度大幅变化带来的急剧波动。

[0025] PID 控制器由比例单元 (P)、积分单元 (I) 和微分单元 (D) 组成。其输入 $e(t)$ 与输出 $u(t)$ 的关系为 $u(t) = k_p[e(t) + 1/T_I \int e(t) dt + T_D * de(t)/dt]$, 式中积分的上下限分别是 0 和 t 其中 k_p 为比例系数, T_I 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数。

[0026] 偏差: $e = pv - sp$, 其中, e 为偏差, pv 为过程值, sp 为设定值, 根据过程值与设定值之间的偏差情况, 大致分为以下几种

[0027] 1: 如果实际喷吹速率大于设定喷吹速率的 50%, 则在正大的档位进行调节, 在全自动程序里将参与控制的调节阀的开度直接开到正大的档位, 在正大的档位里, 通过此档位的程序, 通过 PID 比例 K_p , 积分 T_I 调节参数, 进行无扰动调节, 由于在正大档位实际喷吹速率与设定喷吹速率正偏差较大, 在这档位里着重比例调节, K_p 比例系数逐渐增大, 积分调节起辅助作用, T_I 数值较小。

[0028] 2: 达到正中档位时, 在全自动程序里将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到正中的档位, 积分调节作用增大, 逐渐增大积分数值, 比例系数 K_p 减小, 最终达到正小档位,

[0029] 3: 如果实际喷吹速率低于设定喷吹速率的 50%, 这就是负大的档位, 此时需要将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到负大的档位, 由于在负大档位实际喷吹速率与设定喷吹速率负偏差较大, 在这档位里着重比例调节, K_p 比例系数逐渐增大, 积分调节起辅助作用, T_I 数值较小。

[0030] 4: 达到负中档位时, 在全自动程序里将参与控制的流化调节阀与补压调节阀的开度直接开到负中的档位, 积分调节作用增大, 逐渐增大积分数值, 比例系数 K_p 减小, 最终达到负小档位。

[0031] 综上在设定的档位进行无扰动 PID 调节, 然后通过实时跟踪差值待速率逐渐接近后, 程序实时扫描运行, 进入正(负)中, 正(负)小, 零的程序运行块。实现程序中模糊控制与 PID 控制的结合, 通过自动搜索不同档位程序段, 达到最快最稳定的调节。

[0032] 步骤三: 在完成上述控制喷吹速率过程误差波动任务后, 必须实时关注控制过程中需要注意的事项, 并且做出相应的调整, 在每一次的最优控制过程中, 记录参与控制的设备的状态和数据, 完成最优数据和过程的经验总结, 对参与控制设备及控制参数进行相应调整, 实现最优控制。

[0033] 在控制过程中需要注意的是 1. 当实际喷吹速率小于设定喷吹速率 30%, 需要增

加补气阀开度,反之减小,每个现场设备的实际情况不同,所以在经验值范围内调节是首选;2. 在一定的喷吹压力下,这个压力根据高炉实际需煤量和罐体压力在操作界面人工设定好范围,保证气源的稳定,稳定流化氮气量和压缩空气补气量也非常关键;3. 补压调节阀开度下降,喷吹罐压力会随之下降,因此不要快速调节补压调节阀的开度,每次调节开度范围不要超过 5%,保证罐压在较小范围内波动;4. 流化调节阀的开度下降,也会是罐压下降的一个原因,因此流化调节阀可以根据手动操作积累的经验值,设定一个调节阀自动调节控制时,防止控制过程中流化调节阀全关,流化作用消失,使在自动调节过程中稳定罐压,减小喷吹速率的波动,保持平稳喷吹;5. 在喷吹过程后期,随着煤粉量的减少,控制程序将逐渐减小罐压,因此在全自动程序执行前,可以在操作界面上设定一个罐压的上下限压力值,保证煤粉流量在自动控制过程平稳;6. 流量也受分配器前压力影响,因此程序要实时监测分配器压力与罐压,避免罐压小于分配器前压力,煤粉回流,造成危险,罐压力减小,煤粉流量也相应减小,此时可以逐渐增大罐压;7. 在数据采样分析后,针对项目将流化调节阀作为主调节设备,它对于煤粉流量和喷吹速率的稳定起到关键作用,在操作界面也可以设定好流化调节阀的上下限开度;8. 实时跟踪喷罐压力减少的情况,在喷罐压力小于设定压力的 20%,程序自动实时开启补压调节阀;9. 在罐压基本不变时,二次补气调节阀提供二次风量,瞬时煤量随着二次风流量的增加而减小,因此在瞬时煤量比设定喷煤量高出 30%时,也可以借助二次补气调节阀降低瞬时煤量;10. 流化风量过大使气煤混合比减小,瞬时煤量降低,但是流化风过小,起不到流化作用,也就起不到调节瞬时煤量的作用,因此程序编制的初期,根据不同现场的实际情况,采集合理经验值,设置流化调节阀的最大最小开度范围也是很关键的。

[0034] 当然这些档位的设定区间参数,是通过不停的数据采样分析及现场的操作人员的经验值得到的,根据本项目现场的采样经验值,自动化程序结合模糊控制和 PID 调节执行的结果为:1. 在罐压基本保持稳定的情况下,补气调节阀基本稳定在 50%左右的开度;2. 流化调节阀在初始喷吹的阶段,基本可以稳定在 50%左右的开度,当喷吹速度基本接近稳定值时,可以稳定在 30%左右,有时最高可以到 40%;3. 补压调节阀在初始喷吹阶段,可以维持在 10%-20%区间段,当喷吹速度接近稳定值时,可以基本稳定在 30%左右的开度,有时最高可以到 40%;4. 在上述设备确保稳定运行的情况下,罐压在喷吹初始阶段基本基本稳定在 400KP,在喷煤速度基本稳定后,罐压可以达到 410-420KP;5. 补压调节阀的开度在 10%-40%范围内时,基本喷吹速度也能在 24 吨/小时-11 吨/小时的线性化范围内变化;6. 流化调节阀的开度在 10%-40%范围内时,基本喷吹速度也能在 11 吨/小时-24 吨/小时的线性化范围内变化;7. 喷吹流量波形与罐压波形在上述控制稳定情况时基本呈一致。

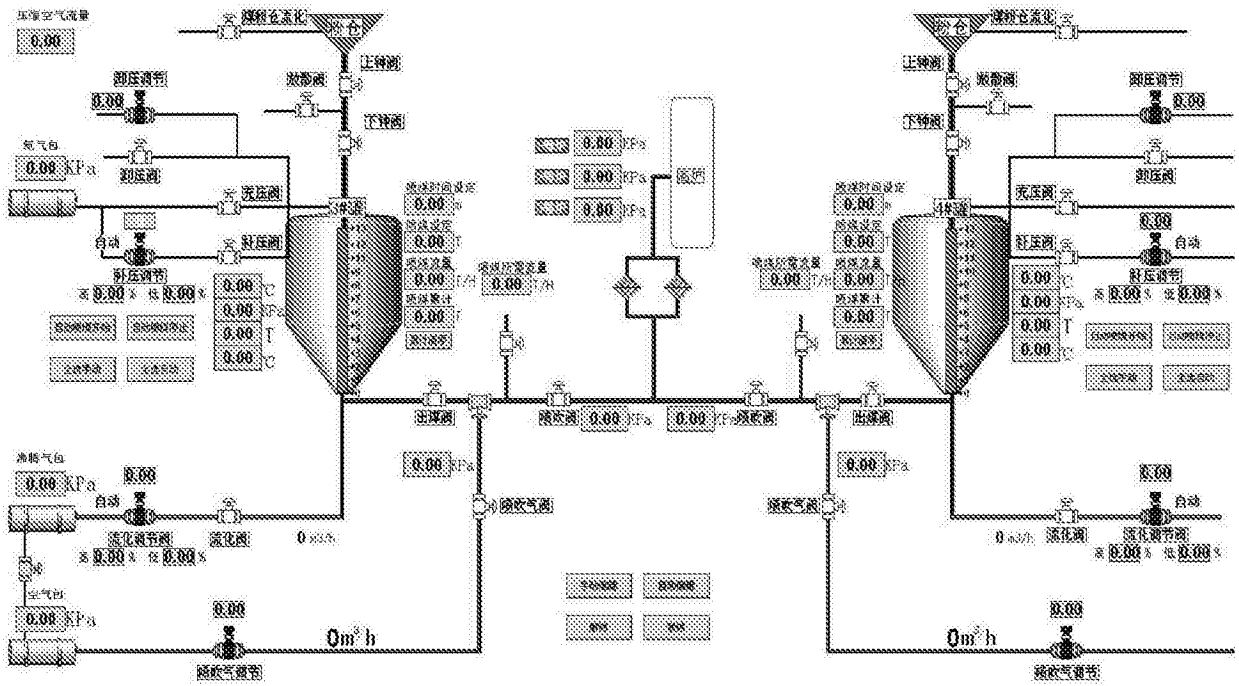


图 1

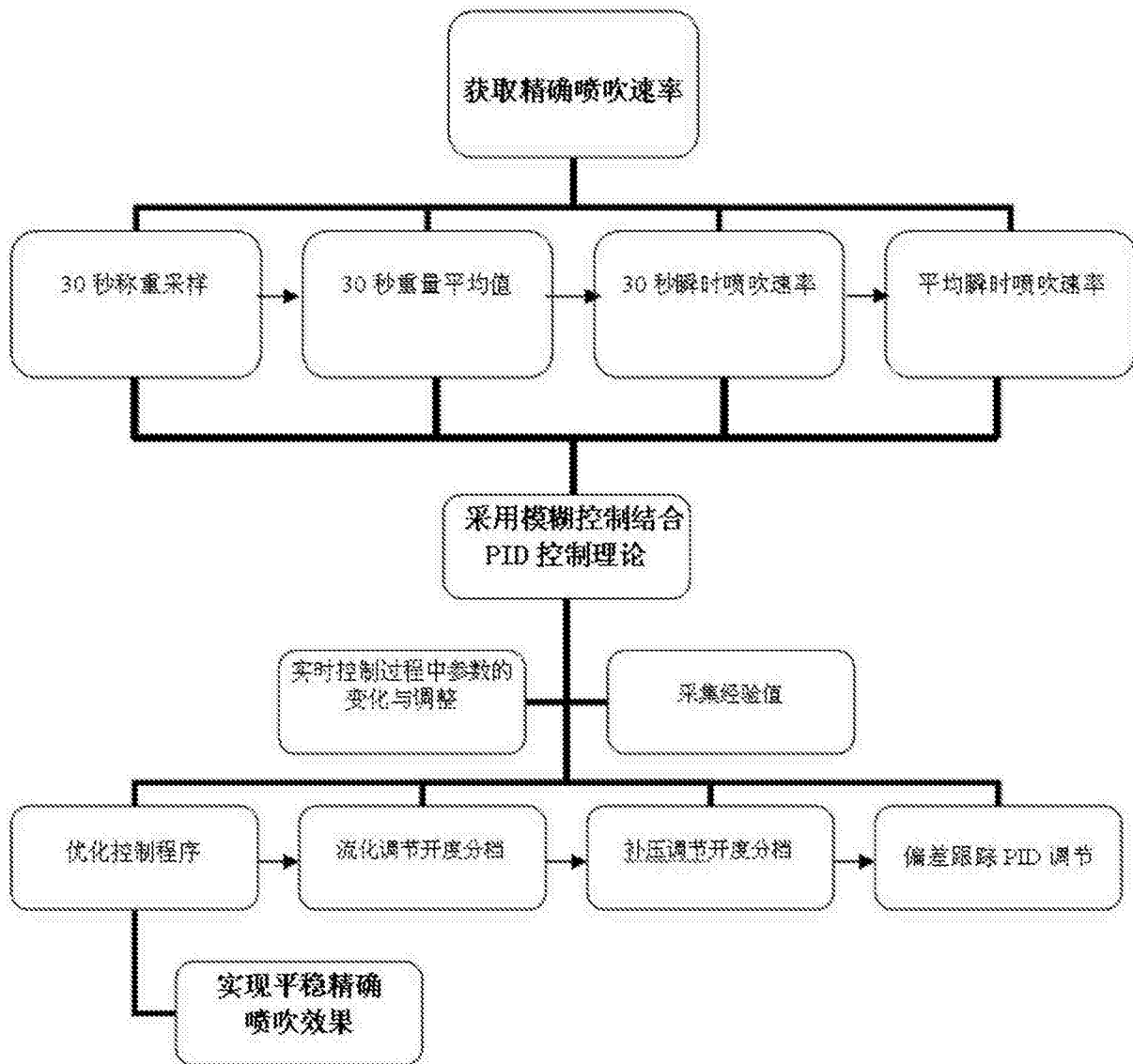


图 2