活性炭烟气净化系统物料平衡控制

邱立运[1,2]，魏进超[1,2]
（1. 中冶长天国际工程有限责任公司，湖南 长沙 410205；
2. 国家烧结球团装备系统工程技术研究中心 ，湖南 长沙 410205）

摘 要：简要介绍了烧结烟气处理技术，根据烟气处理的问题，提出了一种活性炭烟气净化系统物料平衡的新方法。该方法首先计算吸附塔前、中、后室辊式给料机排量速度，建立运转速度与排料量的数学关系，将运转速度转换成实际排料量，然后根据全部吸附塔辊式给料机的排料总量计算得到解析塔辊式给料机的运转速度，产生的偏差由闭环控制系统调节。通过该控制方法，可以较好地实现系统中的动态物料平衡。最后介绍了单个吸附塔、解析塔的物料平衡系统。

关键词：烟气净化；物料平衡；活性炭；吸附塔；解析塔
中图分类号：X701 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－8764（2018）01－0073－05
doi：10.13403/j.sjqt.2018.01.015

Material balance control of activated carbon flue gas purification system

Qiu Liyun[1,2], Wei Jinchao[1,2]
（1. *Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha* 410205, *Hunan*;
2. *National Engineering Research Center of Sintering and Pelletizing Equipment System, Changsha* 410205, *Hunan*）

Abstract This paper briefly introduces the managing technology of sintering flue gas, and a new method of material balance for activated carbon is put forward. According to the problem of flue gas treatment at present, this method firstly calculates the discharge speed of the roller feeder in front, middle and back at the bottom of absorption towers, and establishes the mathematic relationship between running speed and the discharge quantity of the roller feeders, which the former could be converted into the latter. Then it calculates and gets the roll feeder speed of the analytical tower according to discharged quantities from all the feeders of adsorption towers. The deviation from the process control would be regulated by closed loop control. By this way, the material balance control among the analytical tower, the conveyors and the adsorption towers could be well realized. Finally, the material balance about single adsorption tower or analytical tower is introduced.

Key words flue gas purification; material balance; activated carbon; adsorption tower; analytical tower

1 前 言

烧结烟气是钢铁企业大气污染物排放的主要来源，约占钢铁整个排放量的 50% 以上，因此控制烧结烟气中的 SO_2 和 NO_x 排放已经成为钢铁企业控制污染的重点[1~3]，为了达到国家对烟气 SO_2 和 NO_x 排放标准，必须对烧结烟气进行脱硫、脱硝处理。对于钢铁工业的烧结机烟气而言，采用活性炭吸附塔和解析塔的脱硫、脱硝装置和工艺流程较理想。

活性炭吸附塔用于从烧结烟气吸附包括硫氧化物、氮氧化物和二噁英在内的污染物，而解析塔用于活性炭的热再生。活性炭法脱硫具有脱硫率高、设备相对较少、工艺简单、不存在二次污染等优点[4]，是极有前景的烟气净化方法。

收稿日期：2017－06－06
基金项目：湖南省重大科技成果转化类项目（2016GK4002）
作者简介：邱立运（1976－），男，高级工程师，从事冶金自动化系统设计及智能化研究工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在活性炭的送输过程中，各个吸附塔的料位、解析塔的料位及输送机的运转均需要保持物料的相对平衡，特别是吸附塔内的料位如果过高则有碍输送机向塔内输送物料，料位过低则有碍于对烟气的处理。所以保持各个系统的物料平衡是系统能够正常运行的关键。

2 烧结烟气活性炭技术简介

如图1所示，吸附了多污染物如SO_2、NOx和二噁英的活性炭从多个吸附塔排出[5]，经过2#链式输送机运输至解析塔，再由解析塔将污染物解析之后恢复解析能力的活性炭从解析塔底部排出，经1#链式输送机重新回到各个吸附塔处理有害烟气，如此反复。

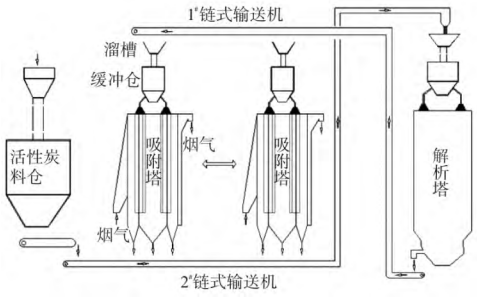


图1 烧结活性炭烟气净化设备连接简图

四个吸附塔均盛装具有吸附能力的活性炭，烟气从塔中间进入后再向两侧分别经过前室、中室、后室，被活性炭吸附，因此前室吸附比例最高，中室次之，后室再次之，前室活性炭下移速度也应该最快，中、后室分别次之。前、中、后室的活性炭下移速度分别由对应室底部的辊式给料机控制，速度越快，排料量越大，活性炭下移速度也越快，而且具有一定的数学关系。

2#链式输送机两侧为链式结构，两条链条夹带着多个边部相互叠加的料斗，料斗用于接收吸附塔底部辊式给料机排出的活性炭。链式输送机作周而复始地运转，连续地将盛装有活性炭的斗从吸附塔底部运送至解析塔顶部，并由卸料器将斗内的活性炭倒出，落入解析塔顶部的缓冲仓，缓冲仓入口设有双层旋转阀并充有氮气保护，用于将塔内外空气隔绝，以防空气进入引起活性炭燃烧。解析塔顶部的缓冲仓装有料位计，用于检测缓冲仓内的料位。同样，解析塔底部也设有辊式给料机及双层旋转阀。

1#链式输送机结构及工作方式同2#链式输送机一样，只是物料及料斗达到吸附塔顶上时需要往多个塔内卸料，每个卸料点均设有独立的卸料器。物料按一定的卸料规则经溜槽进入各个吸附塔顶的缓冲仓，溜槽入口设置有物位开关，用于判断物料是否过高，缓冲仓内设置有可连续检测料位高度的料位计。同样，在溜槽与缓冲仓之间设置有双层旋转阀。

3 总体物料平衡控制方法

3.1 吸附塔排料速度

对于每个吸附塔，根据其容积、高度综合活性炭吸附情况，分别设置其前室、中室、后室的活性炭在塔内的滞留时间，再结合前、中、后室位于吸附塔底部的辊式给料机处排料口的物理结构的尺寸情况，计算出对应控制电机所需的转速，各电机保持该计算速度匀速运行。每个塔前、中、后室的辊式给料机计算方法完全一样，相关计算如下。

(1) 前、中、后室辊式给料机排料量

$$W_p = 60\pi BhnD\rho\eta \quad (1)$$

式中，Wp为辊式给料机排料量，t/h；B为辊式给料机排料宽度，m；h为辊式给料机开口高度，m；n为辊式给料机转速，r/min；D为辊式给料机直径，m；ρ为活性炭密度，t/m^3；η为辊式给料机排料效率，一般为0.7～1.0。

(2) 活性炭滞留时间

$$t_z = \frac{60W_z}{W_p} \quad (2)$$

式中，t_z为活性炭滞留时间，min；W_z为活性炭总的装填量，t；系统确定后容积、密度确定，为常量。W_p为辊式给料机排料量，t/h。

(3) 辊式给料机转速

$$n = \frac{W_p}{60\pi BhD\rho\eta} = \frac{60\rho V}{60\pi BhD\rho\eta t_z} = \frac{V}{\pi BhD\eta t_z} \quad (3)$$

式中，n为辊式给料机转速，r/min；V为活性炭填充体积，m^3；B为辊式给料机排料宽度，m；h

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为辊式给料机开口高度，m；D 为辊式给料机直径，m；η 为辊式给料机排料效率，一般为 0.7 ~ 1.0 t_z，活性炭滞后时间，min。

(4) 前室、中室、后室的转速设定

$$sv = \frac{n}{n_{\max}} = \frac{V}{\pi BhD\eta t_z n_{\max}} \tag{4}$$

$$n = \frac{V}{\pi BhD\eta t_z} \tag{5}$$

式中，sv 为计算的辊式给料机设定转速，%；V 为活性炭填充体积，m^3；B 为辊式给料机排料宽度，m；h 为辊式给料机开口高度，m；D 为辊式给料机直径，m；η 为辊式给料机排料效率，一般为 0.7 ~ 1.0；取 1.0；$n_{\max}$ 为辊式给料机最大转速，r/min；电机电大转速/电机减速比；t_z 为活性炭滞后时间，min；HMI 设定值。

公式(4) 为通过分别预设前室、中室、后室的活性炭滞留时间后计算前室、中室、后室底部辊式给料机的设定转速的计算方法，每个室的计算需要分别对应于前室、中室、后室的相关参数，因为各个室从物理结构或尺寸上稍有不同。各辊式给料机电机均为变频调速，设定值 sv 均按 0 ~ 50 Hz 折算成百分比单位进行设定。运行时或可以直接按公式(5) 的运算结果控制辊式给料机，无须进行单位换算，则单位为 r/min，或者按 f = n/60 折算为频率 Hz。

3.2　吸附塔进料量平衡控制

3.2.1　吸附塔料位控制原理

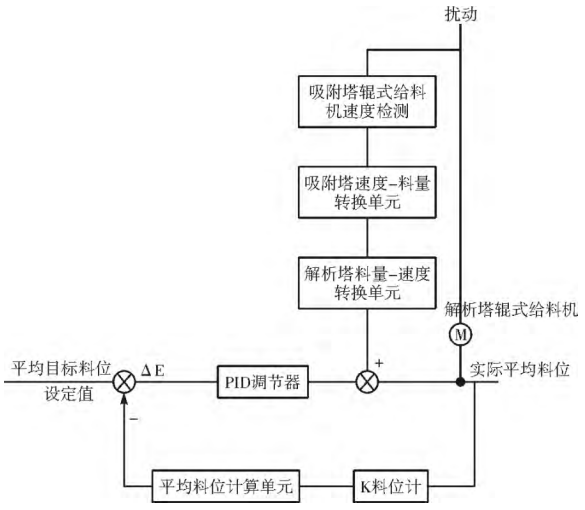


图 2　吸附塔进料量平衡控制简图

吸附塔料位控制原理框图如图 2 所示，设定吸附塔的平均目标料位，通过将实际平均料位与设定平均料位进行比较，超出偏差的部分通过 PID 调节器进行调节，使偏差达到允许范围；同时将吸附塔所有运转的辊式给料机排料量转换成解析塔辊式给料机对应的运转速度，当吸附塔辊式给料机给料量变化时，解析塔排料速度立即作出变化，更加及时、稳定，如果有偏差量产生，再由料位偏差控制系统自动调节。

3.2.2　吸附塔辊式给料机转速 - 料量计算

将各吸附塔前、中、后室的辊式给料机的运转速度与排料量建立数据关系，将运转速度转换成实际排料量，统计出所有吸附塔底部辊式给料机的排料量，并累积。吸附塔的每个辊式给料机转速与料量的关系如式(6) 所示。

$$W_{1i} = \frac{60\pi L_1 g_1 D_1 \rho_1 f_1 n_{\max 1}}{50} = \frac{6\pi L_1 g_1 D_1 \rho_1 f_1 n_{\max 1}}{5} \tag{6}$$

式中，W_1 为吸附塔单个辊式给料机排料量，t/h；L_1 为吸附塔辊式给料机长度，m；g_1 为吸附塔辊式给料机辊间隙，m；f_1 为吸附塔辊式给料机运转频率，Hz；从实际运行的变频器可得；$n_{\max 1}$ 为吸附塔辊式给料机最大转速，r/min；电机铭牌可得，常数；D_1 为吸附塔辊式给料机直径，m；ρ_1 为吸附基本饱和的活性炭密度，t/m^3；i 为自然数，表示运行中的第 i 个吸附塔辊式给料机；n 为吸附塔辊式给料机总数。

公式(6) 适用于计算吸附塔前室、中室、后室的辊式给料器“转速 - 料量计算”，并分别对应于前室、中室、后室的相关参数。将吸附塔多个运行的辊式给料机按公式(6) 计算结果进行累积求和即为吸附塔总的排料量 $\sum_{i=1}^{n} W_{1i}$。解析塔的每个辊式给料机料量与转速的关系如式(7) 所示。

$$f_2 = \frac{50W_2}{60\pi L_2 g_2 D_2 \rho_2 n_{\max 2}} = \frac{5W_2}{6\pi L_2 g_2 D_2 \rho_2 n_{\max 2}} \tag{7}$$

式中，f_2 为解析塔辊式给料机运转频率，Hz；W_2 为解析塔辊式给料机排料量，t/h；由前述计

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

算可得，$W_2=\frac{\sum_{i=1}^{n}W_{1i}}{2}$，其中分母2为图1中解析塔辊式给料机数量，实际运行中为全部运行。L_2为解析塔辊式给料机长度，m；g_2为解析塔辊式给料机辊间隙，m；n_{max2}为解析塔辊式给料机最大转速，r/min；电机铭牌可得；D_2为解析塔辊式给料机直径，m；ρ_2为解析之后的活性炭密度，t/m^3。

根据当前吸附塔所有辊式给料机排料量进行计算得到的解析塔辊式给料机即公式(7)的计算结果控制解析塔辊式给料机速度运行，解析塔排料总量与吸附塔排料总量基本上可以达到物料平衡，偏差部分由图2的闭环控制自动控制完成。

辊式给料机运行速度可以用几种单位如r/min、Hz、%等进行衡量其快慢，其效果一样，但根据图2中的PID调节输出结果，二者还需要进行求和计算，因此两者只需进行统一即可，前面计算吸附塔前室、中室、后室的设定速度时按照百分比单位进行计算，此处只需将该频率稍作转换即可。

公式(6)中的密度活性炭ρ_1为吸附塔排料端吸附污染物之后的密度，公式(7)中的ρ_2为解析塔排料端污染物被解析之后的密度，二者相差很小，约2%，因此实际计算时可以认为二者相等，引起的误差可以由闭环控制系统自动调整。

4 单个吸附塔物料平衡控制

吸附塔排出总的物料与解析塔排出总的物料平衡后，只需根据各个吸附塔料位高度、设备状态、异常操作时的FIX(固定)\SKIP(旁通)\ISO(隔离)三种方式及进料时间等确定往哪个塔进料，根据进料时的物料行驶方向控制吸附塔D控制方法见下图3，吸附塔C、吸附塔B控制方法类似，塔D、C、B控制好后塔A无须专门控制，所有的物料均会直接进入A塔。

当出现某塔温度异常时，则采用ISO隔离方式关闭相关挡板，同时开启N_2保护。

4.1 正常情况下的进料控制方法

按1#链式输送机行驶方向依次为吸附塔D、C、B、A的顺序，分别进料一定时间(时间根据现场情况可调)，正常运行时可保持物料平衡。

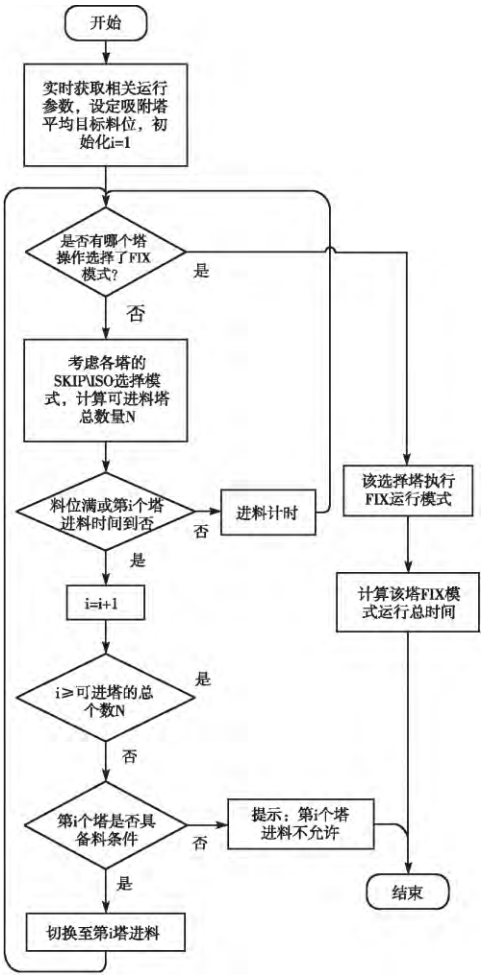


图3 吸附塔物料平衡控制程序运行框图

4.2 异常情况下的进料

当系统因某种原因运行异常自动控制系统无法正常控制时，操作可采用人工干预方式，分别设为FIX、SKIP、ISO三种模式。选择FIX时，说明该塔料位急需补充，此时所有料均进入该塔；选择SKIP时，说明该塔料位超高或其它原因，则忽略当前塔进料；选择ISO时为隔离状态，即关闭入出口烟气挡板，开启N_2阀门通入N_2对塔内活性炭进行隔离保护，以防起火燃烧。

5 解析塔物料平衡控制

通过前述控制后，如果解析塔内的物料低于

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

报警值，主要原因只是因为系统运行过程中活性炭的磨损消耗引起，此时只需从活性炭储仓阶段性补充新的活性炭，将解析塔料位控制在正常范围以内即可，补充新活性炭时的流量需与链式输送机能力相匹配，由图 1 可看出，由活性炭储仓添加新的活性炭后，每个料斗只能盛装少许活性炭，后面又会接收吸附塔底部辊式给料机排料。

6　结　论

(1) 由吸附塔给料机运行速度得到吸附塔排料总量，即为解析塔排量总量，通过计算可以得到解析塔给料机基本的运行速度。这种控制方式简单易行，反应及时。

(2) 该物料平衡系统能够实时检测各塔料位的变化，根据料位变化可以及时的调整活性炭进料量，实现了各个吸附塔的料位、解析塔的料位以及输送机运转物料的相对平衡。

参考文献

[1] 刘征建，张建良，杨天钧. 烧结烟气脱硫技术的研究与发展[J]. 中国冶金，2009，19(2)：1－5.

[2] 王睿. 烧结烟气脱硫现状与应用分析[J]. 环保科技，2011，(4)：19－23.

[3] 夏建芳，苑景洲，张红波，等. 活性炭脱硫吸附塔结构优化设计[J]. 合肥工业大学学报，2016，39(12)：1598－1601.

[4] 张宝财. 烧结烟气脱硫工艺技术分析[J]. 当代化工研究，2016，(9)：106－109.

[5] 叶恒棣，魏进超，刘昌齐. 活性炭法烧结烟气净化技术研究及应用[C]//第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集 III. 中国金属学会、宝钢集团有限公司，2015：6.

(上接第 60 页)

在国家节能减排，绿色生产新的产业政策引导下，可以预见，在今后的改造和新建项目中都会优先考虑烧结机密封问题，独立气密封双层卸灰阀市场潜力非常巨大，潜在市场价值 10 亿元以上。

6　结　论

(1) 提出了跨压差排灰的概念，分析了现有技术下烧结机、环冷机及静电除尘器等设备排灰灰箱的漏风现状及原因。

(2) 针对跨压差排灰漏风问题，提出了分相密封技术，并介绍了基于此技术开发的分相独立气密封双层卸灰阀的结构和工作原理。

参考文献

[1] 张锴. 烧结机漏风治理探讨[C]//冶金循环经济发展论坛论文集，2008.

[2] 张庆军. 从降低漏风率谈中小烧结厂节能[J]. 烧结球团，1989.6；55－59.

[3] 赖其翠，甘勤，杨顺龙. 攀钢烧结机漏风调查及降低漏风率研究[J]. 钢铁钒钛，1995，1；32－39.

[4] 王冠，张维超，王璐璐. 降低烧结机漏风的技术措施[J]. 中国科技纵横，2014，3；106－107.

[5] 张加楠. 环冷机液密封技术及结构优化仿真研究[D]. 长沙：中南大学，2014.

[6] 高彦，么占坤，孙长征，等. 烧结机漏风治理技术方案[J]. 烧结球团，2004，29(1)；38－42.

[7] 吕明秀. 莱钢 105 m^2 烧结机双层卸灰阀改造[J]. 机电信息，2013，18；56－57.

[8] 国家烧结球团工程技术研究中心. 烧结机综合密封技术及装备研究[R]. 长沙，2013，10.

[9] 杨润泉，王喜伟. 降低烧结漏风率[J]. 四川冶金，2001，23(6)；3－6.

[10] 冯朝辉，张华，王艳红. 烧结工序能耗预测与优化研究[J]. 烧结球团，2012，37(6)；13－17.

[11] 郑家树，于天齐，王新. 烧结机漏风治理技术的研究[C]//中小高炉炼铁学术年会，2009.

[12] 宋国良，傅志华，张全，等. 降低烧结机漏风问题的探讨[J]. 烧结球团，2000，25(2)；11－13.

[13] 吴学兵，周胜良. 烧结系统漏风分析及治理[J]. 科技传播，2014，1；194－195.

[14] 张战英. 烧结机头尾密封装置的探讨及研究方向[J]. 金属材料与冶金工程，2009，37(6)；30－31.

[15] 刘克俭，戴波，张震. 一种阀门结构及独立气密封双层卸灰阀：中国，201510423539[P]. 2015.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net