

一种用水蒸气活化法制活性炭的立式活化炉设计

蒋应梯, 潘 炘, 王 进, 张文福, 于海霞, 庄晓伟

(浙江省林业科学研究院, 浙江省森林资源生物与化学利用重点实验室, 浙江 杭州 310023)

摘要: 为了开发新型高效的水蒸气活化法制活性炭的活化设备, 选择高铝耐火砖和耐高温、耐腐蚀的 310S 不锈钢为主要材料, 设计一种机械自动匀速加料和出料的立式活化炉, 在该活化炉的活化段四周设置冷炉预热用燃气烧嘴, 在活化炉中安装多层活化圆盘和刮料耙叶, 在活化圆盘上设置环形蒸汽管, 并在蒸汽管上均匀开设小孔, 使水蒸气与炭料均匀接触, 利用活化炉的高温预热水蒸气, 确保水蒸气与炭料的活化反应均匀高效。该活化炉具有占地面积小、自动连续加料和出料、活化产量较高的优点。

关键词: 活化炉; 烟道气; 活性炭; 水蒸气活化法

中图分类号: S785; TQ351 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2019)01-0081-05

Design of A Vertical Activating Furnace for Activated Carbon Production by Steam Activation Method

JIANG Ying-ti, PANG Xin, WANG Jin, ZHANG Wen-fu, YU Hai-xia, ZHUANG Xiao-wei

(Zhejiang Provincial Key Laboratory for Bio-chemical Utilization of Forestry Resources, Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China)

Abstract: High alumina refractory bricks, high temperature resistant and corrosion resistant 310S stainless steel were selected for design of a vertical furnace of production of activated carbon with water steam activation and automatic and constant speed feeding and discharging. The gas burners for preheating furnace were set around the activation section in the activating furnace. The annular steam pipe is set on the disc for carbon activating, and small holes could evenly open on the steam pipe to make the steam and the carbon material contact evenly and make use of the heat of the activation furnace to preheat the steam to ensure the activation of the steam and the raw materials to be uniform and efficient. The activating furnace has the advantages of small floor area; automatic and continuous feeding and discharging and higher activated carbon yield.

Key words: activating furnace; flue gas; activated carbon; steam activation method

水蒸气活化法制活性炭的基本原理是在高温下炭与水蒸气进行活化反应产生氢气、一氧化碳、二氧化碳, 使炭颗粒产生发达的孔隙结构。活化炉的作用就是提供高温条件下炭与水蒸气发生活化反应的场所, 对活化炉的要求就是维持活化区的高温状态, 活化蒸汽和炭料在活化区较均匀分布, 活化面积较大, 活化均匀, 活化效果好, 并能实现连续机械化加料和出料。目前, 利用水蒸气活化法制备活性炭的活化炉主要有回转式活化炉和立式活化炉两种^[1]。回转式活化炉的特点是原料从卧式炉身的一端加入, 随着炉身的旋转, 物料从低处被提升到高处落下, 缓慢向另一端移动, 料层厚度不均匀而导致活化不均匀, 活化蒸汽与炭料的接触面积较小, 活化效果欠佳^[3-4]。立式的斯列普活化炉存在着以下缺点: 有左右 2 个蒸汽预热半炉, 在活化操作时需要进行 2 个蒸

收稿日期: 2018-04-08; 修回日期: 2018-11-01

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2018C02015)

作者简介: 蒋应梯, 副研究员, 从事林产化工工艺与设备研发; E-mail:411423484@qq.com。通信作者: 庄晓伟, 博士, 副研究员, 从事林产化学和竹木材加工研究; E-mail:13443238@qq.com。

汽预热半炉的用气与预热状态切换,操作较麻烦,技术要求较高;炉结构复杂,建设投资大,维修麻烦^[6];有的立式活化炉用电作加热能源,仅适用于小型试验炉^[7];立管式活化炉存在蒸汽分布不均匀,活化管理易破裂损坏^[10-13]。因此,需要一种活化蒸汽与炭料的接触面积较大、活化效果好、操作方便的活化设备。本文阐述了一种用水蒸气活化法制活性炭的立式活化炉的设计思路及其可行性,以探索开发新型高效立式活化炉的可能性。

1 立式活化炉的总体结构设计

立式活化炉主要由加料装置、物料传输机构、物料承载机构、活化蒸汽预热与分布机构和出料装置 5 个部分所组成。立式圆柱形活化炉的筒体内径为 2~3 m,高 5~8 m,筒体由高铝耐火砖内层和普通粘土砖外层及石棉板隔热层所构成,活化炉从上到下分为干燥段、补充炭化段和活化段,在筒体内间隔适当距离设置若干层交替排列的大小活化圆盘。活化炉的结构如图 1 所示,A-A 横截面的剖视图如图 2 所示,B-B 横截面的剖视图如图 3 所示。活化圆盘由耐高温的 310S 不锈钢板、隔热层和耐火层叠加而成,在不锈钢板的上下两面衬垫耐高温的隔热层,在上面的隔热层上铺设耐火层。310S 不锈钢板厚 5~6 mm,用 10 mm 的石棉板做隔热层,耐火层材料为高铝耐火砖。在活化炉中下部每个活化圆盘的耐火层中埋设多圈公称直径为 25.4 mm 的环形蒸汽管,其材质为 310S 不锈钢,在环形蒸汽管的炭料接触面一侧均匀开设直径 3 mm 的小孔,使活化蒸汽在活化室的分布较均匀,活化蒸汽与炭料均匀接触,活化反应较充分;活化蒸汽在耐火层中预热后才与炭料发生活化反应,反应速度更快,效果更好。在活化炉的活化段四周设置 12 个燃气烧嘴,燃气燃烧产生的高温燃烧气依次流过活化炉中的各个活化室,以加热活化圆盘上的炭料;在活化炉顶部的另一侧设置活化尾气排出口,活化过程产生的活化尾气与燃烧气混合后从此排出口引导到余热利用设备进行热能回收后排至烟囱。

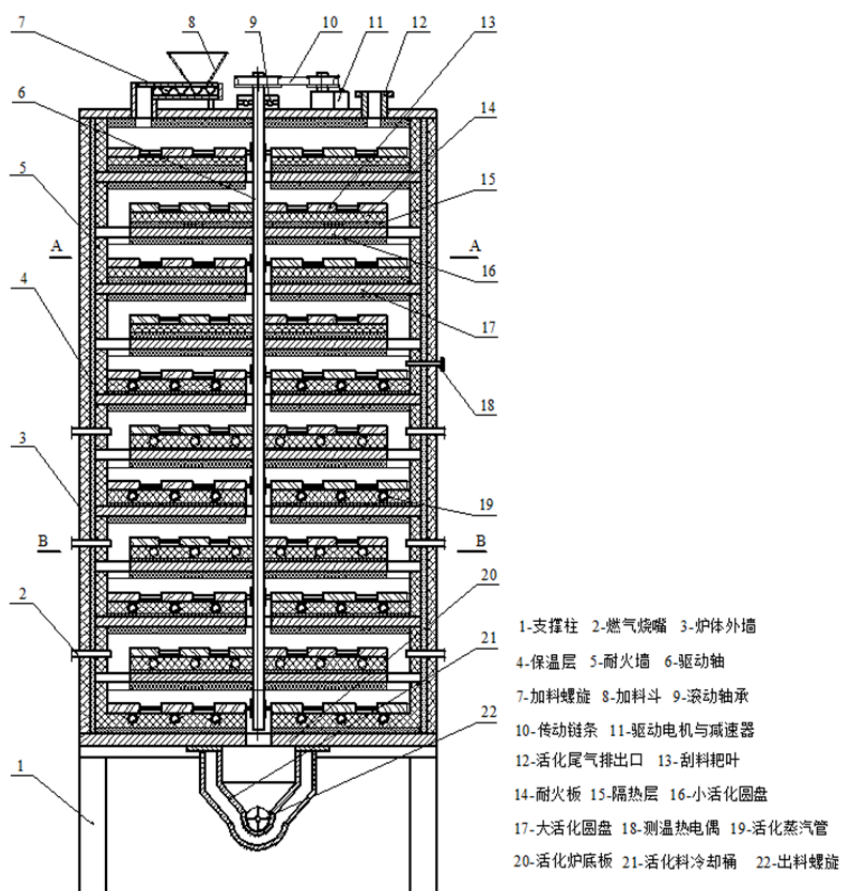


图 1 活化炉立面剖视结构

Figure 1 Facade profile structure of activating furnace

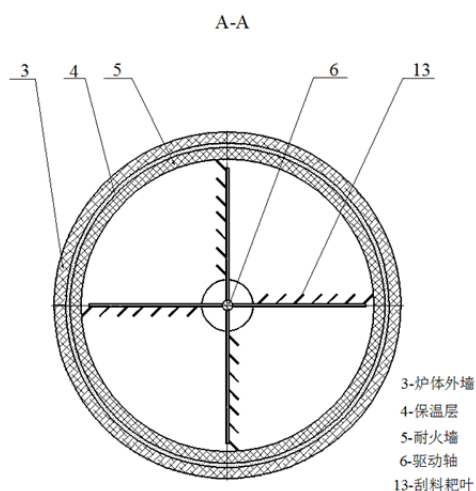


图 2 A-A 横截面的剖视

Figure 2 The cross section of A-A

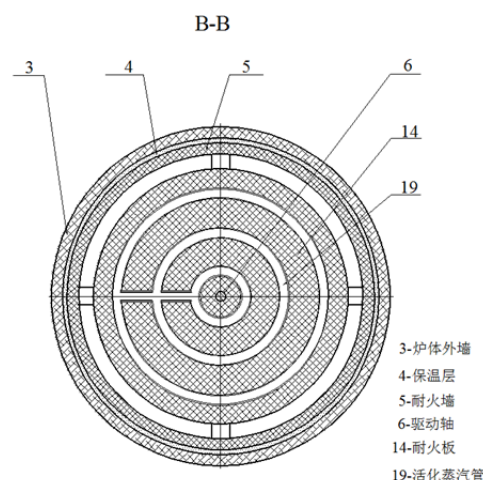


图 3 B-B 横截面的剖视

Figure 3 The cross section of B-B

2 立式活化炉的详细设计

水蒸气活化法制活性炭的活化温度为 $850 \sim 900^{\circ}\text{C}$, 所以要求活化炉壳体内层和活化圆盘必须耐高温、耐氧化, 因此, 活化炉壳体内层用高铝耐火砖砌筑, 外层用普通粘土砖砌筑, 内外层之间设置 30 mm 厚的石棉板隔热层; 活化圆盘由耐高温的支承板和隔热材料及耐火层叠加而成。310S 不锈钢为铬镍奥氏体, 其化学组成为 $0\text{Cr}25\text{Ni}20$, 具有很好的抗氧化、耐高温和耐腐蚀性能, 最高使用温度可达 $1\ 200^{\circ}\text{C}$ 。活化炉的主要部件如活化圆盘支撑板、刮料耙叶及其驱动轴的材料拟选择抗氧化、耐高温的 310S 不锈钢。在活化炉运行中要求刮料耙叶旋转时将炭料向活化圆盘的边缘刮推, 拟将每片刮料耙叶与其连接杆设计成 45° 角或 135° 角。大小活化圆盘交替排列, 在活化炉壳体上设置可拆卸的维修门, 可通过维修门进行刮料耙叶的安装或拆卸, 用螺栓将刮料耙叶固定杆安装在刮料耙叶驱动轴上。刮料耙叶驱动轴焊接固定在滚动轴承上, 用调速电机及减速机通过链传动驱动刮料耙叶作回转运动, 调速电机所用电源为电压 380 V , 电机功率为 7.5 KW , 调速范围为 $125 \sim 1\ 250\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, 减速机的减速比为 50, 刮料耙叶的转速调节范围为 $2.5 \sim 25\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。在安装活化炉时, 壳体外层与内层之间设置保温材料, 以减少炉体的散热。设计活化圆盘的厚度为 0.15 m , 相邻两层活化圆盘的间距为 0.30 m , 最顶层活化圆盘距顶盖 0.30 m , 这样具有 20 层活化圆盘的活化炉, 其筒体高约 6 m , 设计活化炉支柱高 1.5 m , 则活化炉总高度约为 7.5 m 。

3 立式活化炉的活化能力分析

立式活化炉的内径设计为 2.0 m 时, 设置 20 层活化圆盘, 大小活化圆盘各 10 层, 大活化圆盘直径 D 为 2.0 m , 中心落料口直径 D_0 为 0.18 m ; 小活化圆盘直径 d 设计为 1.8 m , 驱动轴直径 d_0 为 0.08 m , 则活化圆盘的堆料面积 S 为:

$$S = 3.14/4 \times [10 \times (D - D_0)^2 + 10 \times (d - d_0)^2] = 3.14/4 \times 10 \times [(2.0 - 0.18)^2 + (1.8 - 0.08)^2] = 49.23\ (\text{m}^2)。$$

当活化圆盘上均布的活化料层厚度为 0.05 m 时, 则活化炉各活化圆盘上的活化料总体积量为: $49.23 \times 0.05 = 2.46\text{ m}^3$ 。

根据生产经验, 活化原料为椰壳炭等果壳炭化料, 颗粒度为 $3 \sim 10\text{ mm}$, 其堆积比重约 $350\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 均布在活化炉各活化圆盘上的炭料总质量约为: $2.46 \times 350 = 861\ (\text{kg})$ 。

根据果壳炭制活性炭的生产经验, 通常蒸汽活化法需要的活化时间约为 $4 \sim 6\text{ h}$, 设计时取 5 h , 则活化炉的

活化产量为： $861 \div 5 = 172 \text{ (kg} \cdot \text{h}^{-1})$ 。

24 h 的活化产量为： $172 \times 24 = 4\,128 \text{ (kg)}$ ，即约 4.13 t，每年生产时间按 330 d 计算，则活化炉的每年活化产量为： $4.13 \times 330 = 1\,363 \text{ (t)}$ 。

同样，按照上述计算原理，内径 2.5 m 和 3.0 m、炉高均为 7.5 m、都设置 20 层活化圆盘、大小活化圆盘各 10 层的立式活化炉，其设计每日 (24 h) 活化产量分别为 6.80 t 和 10.12 t，每年活化产量分别为 2 244 t 和 3 340 t。

4 活化炉的操作与运行

活化炉的操作运行主要通过调节控制加料速度、活化炉温和出料速度，达到调节控制产品质量和产量的目的，活化炉调控示意图如图 4 所示。

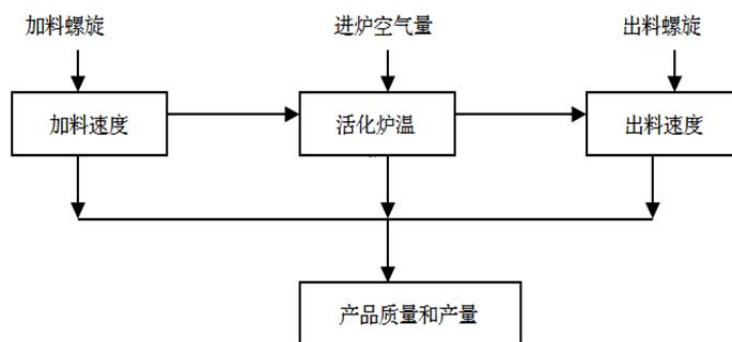


图 4 活化炉调控示意图

Figure 4 Schematic diagram of activation furnace

当冷炉升温时，在各个燃气烧嘴通燃气燃烧，所产生的高温烟道气自下往上依次流过活化炉中各个大小活化圆盘所在的活化室，以升高炉温，当活化炉的中下部活化室温度达到 500°C 左右时，通过加料斗和加料螺旋将加热用颗粒木炭添加到活化炉顶层的大活化圆盘上，并开启驱动电机与减速器，通过传动链条驱动刮料耙叶旋转，将颗粒木炭加到各层活化圆盘上，当各层活化圆盘铺满颗粒木炭时停止加料，适当调大燃气烧嘴的空气量，使颗粒木炭在空气作用下燃烧以加快活化圆盘及其活化室的升温速度。经过 3~4 d 即 72~96 h 的缓慢加热，当活化炉的中下部活化室温度达到 850°C 左右时，通过加料斗和加料螺旋将待活化的炭料添加到活化炉顶层的大活化圆盘上，重启驱动电机与减速器，大活化圆盘上的炭料就被刮料耙叶刮推着向中心移动，并经中心落料口掉落到下一层的小活化圆盘上，然后被刮料耙叶推着向活化圆盘外缘移动并掉落到下一层的大活化圆盘上，依此类推，直至全部完成炭料对加热用木炭的置换，活化炉就从室温状态经 3~4 d 缓慢加热升温阶段转入正常活化阶段的 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，经活化圆盘耐火层预热后的活化蒸汽从环形蒸汽管均布喷出，与炭料进行活化反应产生氢气、一氧化碳等可燃气体，这些可燃气体在经燃气烧嘴空气管通入的空气作用下燃烧以加热活化室，维持所需要的活化温度。如活化过程产生的可燃气体燃烧热量不能维持设定的活化温度，则在燃气烧嘴通入适量燃气，让其燃烧产生的高温烟道气自下往上依次流过活化炉中各个大小活化圆盘所在的活化室，对其进行补充加热以维持所需要的活化温度。在底层活化圆盘上完成活化的炭料被刮料耙叶刮推到中心出料口，落到夹套式活化料冷却桶中经冷却后用螺旋出料器进行出料。活化过程中产生的活化尾气与加热烟道气混合后经设置在活化炉顶部的烟道气排出口引导到余热利用设备进行热能回收后通过烟囱排放大气。

5 讨论

活化炉的主体以耐高温的 316S 不锈钢为材料，强度高，不易损坏，使用寿命长；多圈环形活化蒸汽管埋入

高温的活化圆盘中, 让蒸汽得到预热后才均匀喷出与炭料进行活化反应, 活化反应较均匀, 反应速度较快, 活化效果较好; 可通过调节加料螺旋转速来控制加料速度和调整刮料耙叶驱动电机转速来控制出料速度, 以控制炭料在活化炉中的活化时间, 从而调整活性炭产品的吸附性能及活化产量, 活化炉的调控性较强; 利用炭与水蒸气反应产生的氢气和一氧化碳等可燃气体在活化室燃烧的热能, 维持活化所需要的温度, 能耗较低; 通过加料螺旋添加原料和刮料耙叶的旋转进行出料, 实现操作自动化。活化炉为圆柱形立式结构, 占地面积较小, 可节省车间面积。缺点是耐高温 310S 不锈钢价格较高。

6 结论

(1) 该活化炉在活化圆盘中设置环形蒸汽管, 使活化蒸汽得到预热后均布喷出, 蒸汽的温度较高, 与炭料活化反应速度较快, 反应较均匀, 产品的吸附性能较均匀; 可根据所得活化料的吸附量调整刮料耙叶转速和加料螺旋转速, 以获得符合要求的产品质量和产量, 活化炉的操作调控性能良好。

(2) 该活化炉占地面积小, 实现连续机械化匀速加料, 机械出料, 自动化程度高, 对活化料的承载面积较大, 活化产量较大, 如内径 2~3 m, 高 7.5 m 的活化炉, 每 24 h 的设计活化产量为 4.13~10.12 t。

参考文献:

- [1] 张丽婷, 马婕. 关于机械耙动式活化炉生产活性炭工艺与设备分析[J]. 河北农机, 2016(6): 30-31.
- [2] 舒宝华. 活性炭生产的新型设备—外热式尾气回收三级搅拌反应炉[J]. 武汉工程职业技术学院学报, 2002, 14(1): 11-17.
- [3] 邢贞娇. 外热式旋转活化炉在活性炭生产中的应用[J]. 生物质化学工程, 2008, 42(4): 63-66.
- [4] 梁大明, 刘英. 新型活性炭活化设备—外热式回转活化炉[J]. 煤炭加工与综合利用, 1996(3): 7-10.
- [5] 严国辉. 斯列普活化炉的改进[J]. 煤炭加工与综合利用, 2003(3): 32-33.
- [6] 韩锡政. 斯列普活化炉生产工艺的控制及原料选购[J]. 科技情报开发与经济, 2011(29): 214-215.
- [7] 赵国臣, 易落新, 崔毅, 等. 用于小试装置的立式活性炭活化炉: 201420219799.9[P]. 2014-08-27.
- [8] 杨照明, 韩静涛, 刘靖, 等. 奥氏体耐热不锈钢 310S 的抗高温氧化性能研究[J]. 热加工工艺, 2006(14): 33-34, 57.
- [9] 任培东, 宋仁伯. 310S 耐热不锈钢高温循环氧化性能[J]. 钢铁研究学报, 2017, 29(10): 844-851.
- [10] 朱如海. 多管活化炉的技术改造[J]. 林产化工通讯, 2000, 34(5): 35-36.
- [11] 李现军. 一种快速活化的活化炉: 2014102485952[P]. 2016-01-06.
- [12] 高基, 陈安江. 高效立管式活化炉: 2014103730190[P]. 2014-10-15.
- [13] 凌凤军, 祁项超. 一种改进的果壳活性炭活化炉: 2011104608915[P]. 2012-06-27.