

新型气固反应试验装置的开发和应用

张薇 筒森夫 胡道和 南京化工学院(邮编:210009)

摘要 作者开发的新型气固反应试验装置,是目前国内比较先进的气固反应动力学试验装置,它能够对各种粉体物料进行悬浮态气固反应规律和反应动力学研究,所得结果与生产实际状况很接近,可用来定量地指导工业反应器的设计和操作。

关键词 悬浮 气固反应 反应动力学

1 前言

许多粉体物料的高温工艺过程,如炉内水泥生料的分解和煤粉的燃烧,沸腾焙烧炉内矿石的焙烧分解等,都属于悬浮态气固反应的范畴。由于在悬浮态气固反应器中,既有粉体物料的流动、传热、传质等物理过程存在,也有气固和固固之间的反应等化学过程发生,加之固体粉料本身的分散、凝并等随工艺过程的不同是多种多样,固体粉料的这些结构特征必然会影响反应体系的宏观反应动力学特性。所以悬浮态气固反应与气液、液液反应相比,更为复杂。

悬浮态气固反应器的设计和操作,应以工业反应动力学作为理论依据,主要是指固体物料的反应速度,即包括传递过程在内的宏观综合反应速度与温度、固相转化率、气相反应物浓度和颗粒外部传质条件的定量关系。以往的气固反应动力学试验装置,大多是静态的(如热天平、差热等),物料均处于堆积状态,或半静态的(如单颗粒悬挂或把物料铺在网板上悬挂在气流中),其试验结果和生产中常见的粉体(粒径小于200微米)悬浮在气流中所进行反应有很大差距。70年代以后D. Kupper[1]、A. Müller[2]、B. Vosteen[3]等先后开发了一些动态反应装置,进行了分解动力学的研究,得到了一些有价值的结论。然

而,这些研究工作研究方法和测试手段上还不够完善,其结果的应用受到一定的限制。而在绝大多数场合,人们采用热模试验来进行不同物料的反应特性测定,因此不同反应器和不同的要求往往需要不同的热模装置。为此我们开发研制了一种新型的气固反应试验装置,它不仅能保持高温,而且可以保持粉体物料稳定地悬浮,在成分一定的气体中进行悬浮态气固反应,并且可以实时检测出反应的进程,进行真正的气固反应动力学试验,其结果只与物料本身的特性有关,可用来定量地指导工业反应器的设计。

2 新型气固反应试验装置简介

我们研制的新型气固反应试验装置流程,如图1,试验所用的气体经配气混合后进入预热器,被加热到所需的高温,粉体物料由反应器的顶部间歇式加入,稳定地悬浮在热气流中进行反应,与反应器出口相接的多组分气体分析仪可对反应进行在线检测,其结果输送到计算机进行数据处理。由于物料量少且处于悬浮状态,故在反应器内可以进行充分的气固反应,其它影响可以忽略,因此试验结果与反应器的形式无关。反应器内设置多支热电偶以检测,控制反应器的温度,从而保证反应器内温度的均匀性。

在物料气固反应过程中,气体组份发生

变化,可通过气体分析仪对反应进行在线检测,但检测仪所测得的气体组份变化,即测试系统的输出还不是反应器中物料的真实变化。因为,反应器容积大,而且反应区到气体检测探头还有一定长度的管道和附属装置,所以气体检测的结果不是实际反应的纯滞后,而是被该反应器、流程和气体检测系统特有的组合滞后歪曲了的信号,图2是用该反应器做出的碳酸钙真实分解率 $\psi(t)$ 与系统输出函数 $Y(t)$ 的关系曲线。我们仔细地研究了本系统的动态特性,通过向系统输入阶跃函数而求得系统的传递函数,对测量数据进行了动态补偿。如果我们用 $W(s)$ 表示系统的传递函数, $Y(s)$ 表示系统响应函数 $Y(t)$ 的付立叶变换, $C(s)$ 表示系统输入函数 $C(t)$ 的付立叶变换,则:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{C(s)}$$

当系统的传递函数 $W(s)$ 通过阶跃函数确定后,在反应器内进行粉体物料气固反应时由分析仪测得的输出函数 $Y(t)$ 经付立叶变换后为 $Y(s)$, 则反应器内气固反应后气体的真实浓度为:

$$C(t) = F^{-1} \left[\frac{Y(s)}{W(s)} \right]$$

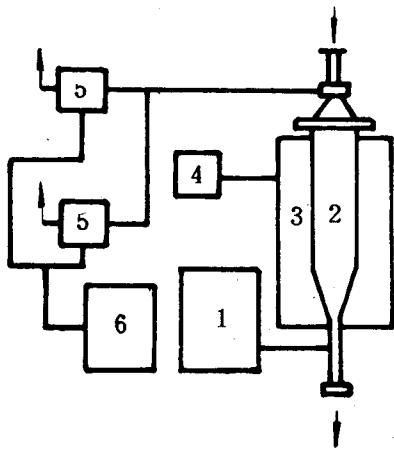


图1 试验装置流程图
1、气源 2、反应器 3、加热器
4、温度控制器 5、气体分析仪
6、数据处理系统

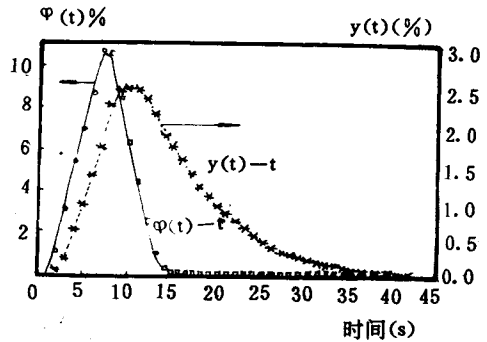


图2 碳酸钙真实分解率 $\psi(t)$ 与测试系统输出函数 $Y(t)$

由于在大多数情况下,系统的传递函数不发生变化,因此 $C(t)$ 仅仅依赖于 $Y(t)$, 即通过 $Y(t)$ 可以确定 $C(t)$ 。通过这样的动态补偿,获得了较为可靠的瞬时反应曲线。

此试验装置操作稳定,功能性强,气体分析系统自行研制,独具特色,整个测试系统综合误差小于4%。

3 试验装置的应用

在此新型气固反应试验装置上,我们分别进行了石灰石分解动力学、水泥生料分解动力学、煤粉燃烧动力学和含硫铜精矿氧化焙烧动力学规律的研究,其部分试验结果如下:

3.1 碳酸钙分解规律的研究

图3是三种原料,耀县石灰石、柳州石灰石和顺昌石灰石分解动力学曲线,从曲线上可以看出,产地不同,其分解特性不同,在相同温度下,顺昌石灰石累积分解率最大,耀县石灰石次之,柳州石灰石最小,说明顺昌石灰石最易分解。

图4是同一原料,不同温度的分解率曲线,可以看出,温度越高,其累积分解率越高,且反应速度越大。在850℃以上时,碳酸钙达到反应终态时的分解时间约为20~30秒,比静态方法(如热重分析法等)所需的时间要短的多。这一结果表明,悬浮态分解试验结果和

生产实际状况比较接近。

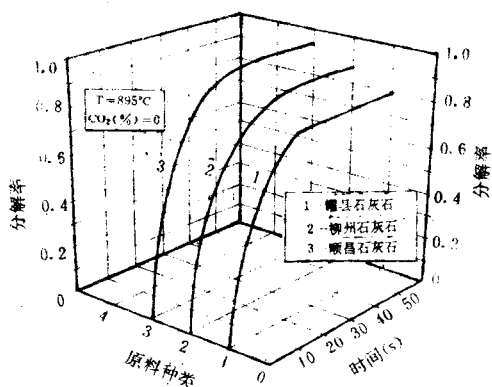


图3 分解率随原料种类的变化

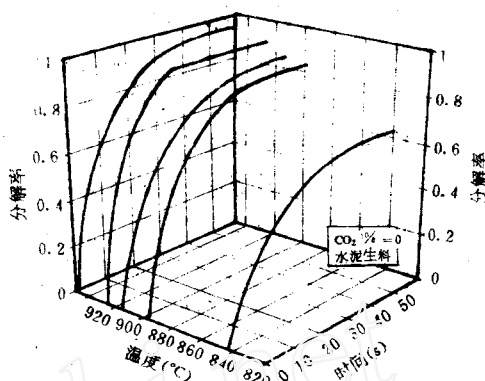


图4 分解率随温度的变化

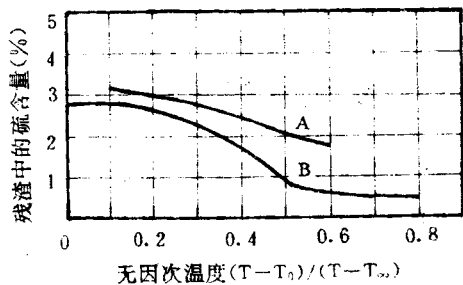


图5 残渣中硫含量和温度关系

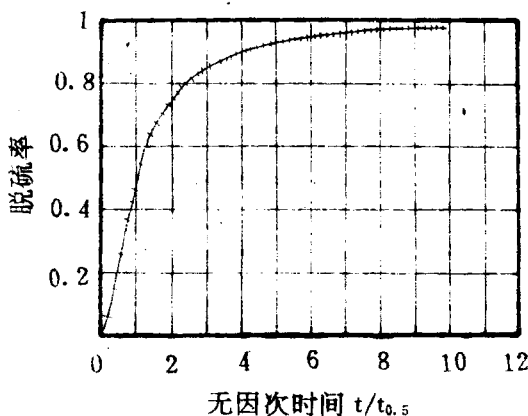


图6 反应动力学曲线

3.2 含硫铜精矿氧化焙烧的特性研究

铜矿石的焙烧是铜冶金生产中的重要环节。由于产地不同,各种铜矿石的化学组成和矿物结构差异很大,所以,在设计沸腾焙烧炉时,应对原料的特性进行焙烧动力学的研究,以确定最佳的焙烧温度和适宜的操作条件。我们选用某厂的原料进行了氧化焙烧动力学研究。

从脱硫率和温度的关系曲线上(图5)看:在同一温度下,B矿的残渣含硫率低于A矿,可见B矿所需的焙烧温度低于A矿,说

明不同种原料其焙烧特性不同。

图6是铜精矿反应动力学曲线。从曲线上可以看出:铜精矿的氧化反应时间很短,大约在20秒后就可以接近动力学的反应终态。

4 结论

以上的结果表明,我们研制的新型气固反应试验装置,是目前国内较为理想的气固反应动力学试验装置,它能够比较接近生产实际状况地对粉体物料进行反应动力学的研

(下转第24页)

4 测试结果

本试验是在S×2—5—12箱式电阻炉上进行的,功率为5千瓦,炉膛尺寸为:长×宽×高=300毫米×200毫米×120毫米;外型尺寸为:长×宽×高=600毫米×480毫米×490毫米;控温仪表为WZK可控硅控温仪、经校验的EU—2镍铬—镍硅热电偶、功率表。测得结果如表1:

表1 测试结果

项 目 名 称	空炉升温 功 率 kW	空炉升温 时 间 min	炉壳平均 温 度 ℃
组合炉膛	1.37	61	36
整体炉衬	2.1	74	83

由以上测试结果看出,空炉升温功率组合炉膛为1.37千瓦,整体炉衬为2.1千瓦。两者比较可节电0.73千瓦,节电率达34.76%。空炉升温时间缩短10分钟,炉壳平均温度下降47℃。当滴注有机体入炉裂解生成保护气体加热金属时,表面可以达到少无

(上接第14页)

氧化脱碳的效果。试验的结果和反应器的形式无关,只和物料本身的反应特性有关,所得规律可定量地指导工业反应器的设计和操作。

符号说明

- T₀—氧化焙烧最低反应温度(K);
- T_∞—氧化焙烧最高反应温度(K);
- t—反应时间(s);
- t/t_{0.5}—无因次时间;

参考文献

- [1] Detlev Kupper, Entsäuerungsverhalten von Zement-Rohstoffgemischen. [dissertation]. Deutsche Universitätsbibliothek Clausthal, 1984.
- [2] A. Müller, B. Dahm, J. Stark. Zur Kinetik der Kalzium-

氧化脱碳的效果。

5 结束语

5.1 周期作业炉中采用“组合炉膛”结构,可减少升温阶段的蓄热,提高空炉升温时间。

5.2 采用空气和硅酸铝耐火纤维组合隔热炉衬,在相同外壁厚度下可降低炉壳温度,减少炉壁散热损失。

5.3 组合炉膛结构可以增加气密性,可向炉内通入氮气或滴注有机体裂解生成保护性气体,进行少无氧化脱碳的热处理。可以替代中温盐浴炉防止污染环境。

5.4 “组合炉膛”和“空气硅酸铝耐火纤维隔热炉衬”结构简单,用于旧炉改造投资少,见效快。适合于中小型工厂中的小型模具生产。

参考文献

- 1 《热处理设备及设计》编写组,山东人民出版社,1977年,P96.
- 2 《传热学基础》陶文铨主编,电力工业出版社.

barbonatzersetzung Silikattechnik, 1977, 28(1): 4.

- [3] B. Vosteen. Vorwärmung und vollkommene Kalzination von Zement-Kalk-Gips 1974, 9: 433~450
- [4] 葛庆仁著. 气固反应动力学. 原子能出版社, 1991. 192~295.
- [5] Edmond P. Hyatt, Ivan B. Cutler, Milton E. Wadsworth, Calcium Carbonate Decomposition in Carbon Dioxide Atmosphere. Journal of the American Ceramic Society, 1958, 14(2): 70.
- [6] H. Kainer, E. Specht. Die Poren diffusions, Reaktions- und Wärmeleitkoeffizienten verschiedener Kalksteine und ihr Einfluss auf die Zersetzungszeit. Zement-Kalk-Gips, 1986, 5: 259~268.

注:本项目由建材科学发展基金资助