

提高回转烘干机的效率^{*}

邓育新 陈景华

(盐城工学院建筑材料工程系, 盐城, 224003)

摘 要 从影响回转烘干机干燥速率的因素入手, 结合生产实践, 讨论了强化干燥速率, 提高回转烘干机效率的主要措施。

关键词 回转烘干机 干燥速率 传热 传质

分类号 TQ172

干燥作业是水泥干法生产过程中的一个重要环节, 特别是对于原料、燃料水分较高的水泥厂, 需要单独设置烘干设备干燥物料。回转烘干机由于具有结构简单、产量大、流体阻力小、操作稳定可靠、对物料适应性强等优点, 在水泥工业生产中得到广泛应用, 尤其是中小型水泥厂。但是, 目前国内水泥厂回转烘干机普遍存在烘干效率低、热耗高、出料水分难以控制等问题, 严重时影响生料系统的正常运行。因此, 如何提高回转烘干机效率, 仍是值得探讨的问题, 本文拟从影响干燥速率的因素入手, 对如何强化干燥速率, 提高回转烘干机的效率作些讨论。

1 影响干燥速率的因素

回转烘干机属于对流式干燥器。在干燥过程中, 干燥介质首先将热量传给湿物料, 使其表面的水分汽化, 并扩散到干燥介质中去, 这个过程称为外扩散。同时物料内部水分在浓度差的作用下不断向表面迁移。这个过程称为内扩散过程。即物料的干燥过程同时包含热量传递过程和质量传递过程。

单位时间内被干燥物料单位面积上所汽化的水分质量, 称为干燥速率, 可用下列微分形式表示:

$$U = \frac{dm_w}{F_m d\tau} \quad (1)$$

式中: U 为干燥速率 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{S}$); m_w 为汽化的水分质量 (kg); F_m 为被干燥物料的表面积 (m^2); τ 为干燥所需的时间 (S)。

在恒定干燥条件下, 物料的干燥过程可分为三个阶段, 如图 1 所示。

(1) 预热阶段

干燥开始阶段, 由于干燥介质与物料的温差较大, 单位时间内干燥介质传给物料表面的热量远远大于表面水分蒸发所需热量, 使物料温度迅速升高。当温度升至干燥介质的湿球温度

• 收稿日期: 1998-09-16

时,单位时间内介质传给物料表面的热量与物料表面水分蒸发所需的热量相等时,达到了平衡状态。这一阶段的时间很短,其控制因素是干燥介质的温度和热量传递速率,温差越大,传递速率就越大。

(2)等速干燥阶段

由于此时物料的含水量仍较大,物料内部水分向表面的迁移速率能适应物料表面水分的汽化速率,使物料表面被自由水完全润湿。物料表面温度保持干燥介质的湿球温度 t_{wb} 不变,热量传递速率和内扩散速率及外扩散速率均保持不变,即总的干燥速率不变。

传热速率:

$$\frac{dQ}{F_m d\tau} = \alpha(t - t_{wb}) \quad (2)$$

式中: Q 为干燥介质传给物料的热量 (kw/m^2); α 为干燥介质至物料表面的传热系数 ($\text{kw}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$); t 为干燥介质温度 ($^{\circ}\text{C}$); t_{wb} 为干燥介质的湿球温度,即物料表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

传质速率:

$$\frac{dm_w}{F_m d\tau} = K(x_w - x) \quad (3)$$

式中: K 为以湿度差为推动力的传质系数 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \Delta x$); x_w 为物料表面的湿含量 ($\text{kg-水}/\text{kg-干燥介质}$); x 为干燥介质的湿含量 ($\text{kg-水}/\text{kg-干燥介质}$)。

由于干燥介质传给物料的热量正好等于水分汽化所需潜热:

$$dQ = \gamma_w dm_w \quad (4)$$

所以,根据质量平衡和热量平衡关系,可建立下列方程:

$$\frac{dm_w}{F_m d\tau} = \frac{dQ}{\gamma_w F_m d\tau} = K(x_w - x) = \frac{\alpha}{\gamma_w}(t - t_{wb}) \quad (5)$$

这一阶段,一般情况下是物料干燥的主要阶段,时间较长。这一阶段的控制因素是表面汽化速率。而表面汽化速率又取决于干燥介质的条件,即干燥介质的温度、湿度、流速以及与物料的接触情况。

(3)降速干燥阶段

当物料中的含水量降至一定程度(即临界水分)后,物料内部水分向表面迁移的速率低于表面汽化速率,这时干燥速率开始减小,干燥介质传给物料的热量一部分用于水分的汽化,一部分用于加热物料,物料温度开始升高,直至物料中的水分达到平衡水分,干燥过程停止。这一阶段的干燥速率主要取决于物料内部水分的迁移速率,即取决于物料的结构、厚度和形状。

对实际干燥过程来说,由于干燥介质的温度、湿度不断变化,干燥速率也在变化,属于非稳定条件下的干燥过程。但是,在物料干燥到临界水分以前,对每一瞬间来说,其干燥性质与等速干燥阶段相同,即其控制因素仍是表面汽化速率,所以物料的实际干燥过程仍可分为三个阶段。因此,欲提高物料的干燥速率,应根据上述三个阶段的特点来设计干燥设备,组织干燥过程。综上所述,影响回转烘干机干燥速率的主要因素有:

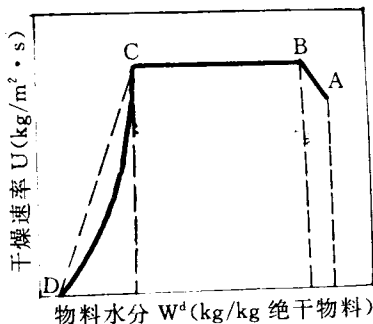


图1 恒定干燥条件下的干燥速率曲线

- ①干燥介质的条件,即干燥介质的温度、湿度和流速;
- ②物料的结构、性质、几何形状和尺寸;
- ③干燥介质与物料的接触情况;
- ④干燥器的结构、大小、操作参数及生产自动化程度;
- ⑤物料中水分的性质、初水分和终水分等。

2 提高干燥速率的措施

2.1 提高进烘干机干燥介质的温度

由(5)式可见,干燥介质的温度越高,传热速率和传质速率就越高,干燥速率就越高。而且在相同水分蒸发量的情况下,干燥介质的量可以减少,废气热损失也就减小。

据资料介绍,烘干机干燥介质的进口温度每提高 100°C ,烘干机系统的热效率可提高 2.5% 左右,如图2所示。

但是,目前,大多数水泥厂,烘干机的干燥介质进口温度都控制得较低,有的厂即使采用顺流烘干机,进气温度也只有 700°C 左右,尤其当烘干矿渣时,为了防止矿渣反玻璃化失去活性,进气温度更是控制得较低。由上述的干燥理论可知,当干燥过程处于预热和等速干燥阶段时,矿渣中的水分大于临界水分,矿渣的温度维持干燥介质的湿球温度不变。而干燥介质在一般的湿含量情况下,湿球温度远低于矿渣的反玻璃态温度 600°C 。即使介质的湿含量不断增加,但由于介质温度的降低,湿球温度变化不大。在临界水分以后,物料温度虽会继续升高,而这时,对顺流烘干机来说,干燥介质温度已经降得很低。因此,在筒体允许的范围内,提高干燥介质的进口温度是切实可行的。

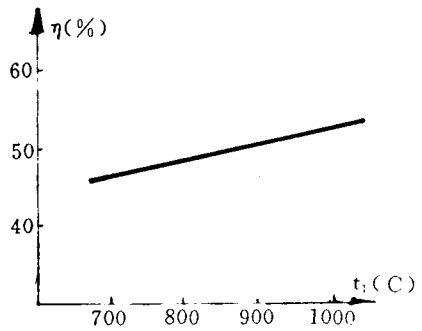


图2 进气温度与热效率的关系

2.2 提高干燥介质的流速

由传热和传质理论可知,提高干燥介质的流速,直接提高了传热系数和传质系数,干燥速率增大。还能及时更换干燥介质,有利于外扩散过程。但是,干燥介质流速的提高,对一定长度的烘干机,会减少介质在烘干机筒体内的停留时间,有可能影响整体干燥效果。因此,在提高介质流速的同时,可适当增加烘干机筒体的长度。

2.3 改进烘干机筒体内部结构,采用组合式扬料板

在烘干机筒体内,传热和传质过程都是介质的对流因素起作用。为了增大物料与干燥介质的接触面积,延长接触时间,应在筒体内装设扬料装置。扬料板的结构设计应考虑下列因素:

- ①物料干燥过程的每一阶段,干燥速率的控制因素不同,强化干燥速率的措施也不一样;
- ②使物料尽可能均匀地分布于筒体的横截面上;
- ③使物料在烘干机内始终处于动态,无运动死角,消除呆滞料;
- ④尽可能延长物料与干燥介质的接触时间;
- ⑤结构简单,安装、维修方便。

扬料板的种类很多,目前许多水泥厂实际使用的主要是抄板式扬料板,有直板和弯板式两

种。它们在扬料过程中,不能使物料在筒体的横截面上形成完整的料幕,易出现风洞,使热风产生“短路”。大部分烘干机的料幕与料层总面积与烘干机内截面的面积之比小于 0.4。

图 3 是一种结构简单、扬料效果较好的扬料板组合。其特点是同一截面上是由直板和不同弯度的弯板组成,不同截面上,不同弯度的扬料板相互错开,同一形状的扬料板在筒体上呈螺旋型布置,这样能保证在不同高度上都有物料下落,以形成均匀的料幕。

2.4 减小进料粒度

在干燥速率一定的情况下,物料与干燥介质的接触面积越大,总的干燥效果越好。另外,物料粒度越小,内扩散阻力越小,有利于提高降速干燥阶段的干燥速率。因此,对于烘干块状物料(如粘土)的烘干机,在喂料前应增设破碎设备,一般情况下,要保证进料粒度小于 20mm。

2.5 尽量采用顺流式工艺布置

回转烘干机的布置形式有顺流和逆流两种,筒体内干燥介质与物料的温度变化如图 4 所示。

根据温度变化曲线,可以看出:

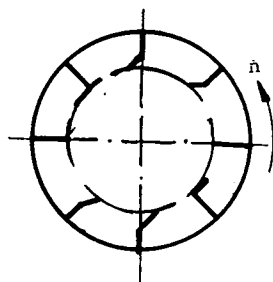


图 3 组合式扬料装置示意图

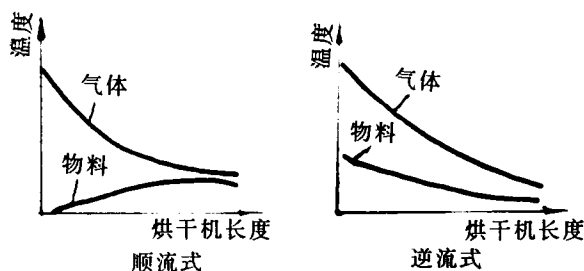


图 4 回转烘干机内气流与物料的温度变化

①在顺流烘干机中的进料端,高水分、低温度的物料直接与高温、低湿含量的干燥介质接触,气固温差大、湿度差大,传热、传质的推动力都很大,因此,无论是预热阶段还是表面汽化控制阶段,干燥速率都很大。当物料达到临界水分后,虽然干燥介质的温度降低,湿含量增大,物料表面的传热、传质的推动力减小了,但是,此时物料的干燥速度主要取决于内扩散速率,与干燥介质的条件关系不大。因此,在顺流烘干机中,干燥介质的条件能够适应物料水分变化的要求,所以,顺流烘干机总的干燥速度较高,有较高的产量。而逆流烘干机中,正好与上述情况相反,在进料端,高水分、低温度的物料与低温度、高湿含量的介质接触,传热、传质的推动力较小,当物料处于预热和表面汽化控制阶段时,干燥介质的条件不好,干燥速度较低。当达到临界水分后,干燥速率与干燥介质的条件关系不大时,介质的条件反而较好。因此,在逆流烘干机中,干燥介质的条件与物料水分变化不相适应。所以,逆流烘干机总的干燥速率较低。

②顺流烘干机的出料温度总是低于废气温度,一般为 $40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$,而逆流烘干机出料温度常常高于废气温度,一般为 100°C 左右。所以,为了避免物料高温失去活性,宜采用顺流烘干机。逆流烘干机由于出口物料的温度较高,热损失也较大。如图 5 所示,出料温度每升高 10°C ,系统热效率就降低 $1.5\% \sim 3.5\%$ 。

2.6 采用无级调速电机

在实际生产过程中,烘干机的流程、规格、斜度及内部扬料装置的形式等都已固定,但因所需干燥物料的种类不同、初水分的变化以及进烘干机干燥介质温度和流速的波动,使烘干机的产量和质量受到影响。为此,可采用无级调速电机,通过调节烘干机的转速来控制物料在烘干机内的停留时间,确保烘干质量。

3 结语

综上所述,强化干燥速率是提高烘干机效率的主要因素,而干燥速率又与干燥介质的条件(温度、湿度、流速和接触方式)、烘干机的内部结构、流程和物料的种类、粒度、结构及所含水分的性质等有关。所以,对于一个实际干燥过程,应综合考虑这些因素并有针对性地加以改善,才能收到较好的效果。

参 考 文 献

- 1 蔡悦民. 硅酸盐工业热工技术. 武汉:武汉工业大学出版社,1997

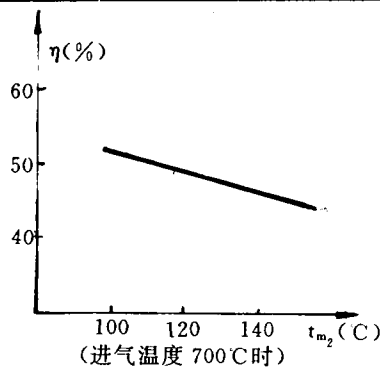


图5 出料温度与热效率的关系

Increase the drying effeciency of a rotary dryer

Deng Yuxin Chen Jinghua

(Department of Building Material Engineering Engineering of
Yancheng Institute of Technology, Yancheng, 224003, PRC)

Abstract The article analyses the factor that affects on the drying rate of a rotary dryer. On the basis of this, it shows major mearurer to increase the drying rate and effeciency of a rotary dryer in practice.

Keywords rotary dryer; drying rate; heat tansmission; mass transmission

(上接第22页)

参 考 文 献

- 1 陈景华. 流液洞临界出料量的推导和应用. 玻璃与搪瓷, 1998, 26(6): 15~18
- 2 孙承绪, 叶正才. 用计算机确定马蹄焰池窑深澄清池的结构尺寸. 玻璃, 1995, 22(5): 1~6
- 3 梁德海. 玻璃池窑设计及实用运行指南. 北京: 中国轻工业出版社, 1994

Reducing The Glass Return in Throat

Chen Jinghua Deng Yuxin

(Department of Building Material Engineering of Yancheng
Institute of Technology, Yancheng, 224003, PRC)

Abstract The glass current in throat is analysed, and the measures to eliminate the return or to reduce the return volume are suggested in structural design and work of the throat.

Keywords Glass tank furnace; Throat Return; structural design