

水泥机立窑通风性、稳定性分析^{*}

刘平成

(盐城工学院机械工程系, 盐城, 224003)

摘 要 分析水泥机立窑通风性、稳定性要素, 重点阐述其卸料平稳性对底火拉深的影响, 详细分析了三个区的熟料颗粒流运动情况, 特别对层流区的熟料颗粒流作了描述, 推导出理论速度分布表达式, 提出综合解决措施。

关键词 通风面积比 中风面积比 熟料颗粒流

分类号 TQ172

水泥机立窑主要由烟囱、窑罩、加料装置、窑体、卸料装置、传动装置(有些结构中卸料装置难以分开)、控制部分组成。其中加料装置、窑罩、烟囱、窑体等部分已日趋成熟, 而卸料装置乃是影响机立窑产量质量的重要因素。机立窑性能要素主要是通风性能、拨动熟料性能、传动性能、自动控制性能、卸料平稳性能等, 本文着重讨论通风性和稳定性。

一、通风性能

通风性能可用通风面积比 ϵ 与中风面积比 ϵ' 来表示, 它们是机立窑的首要参数, 它的大小决定了窑能否适应煅烧工艺的要求。

以塔式卸料装置为例(图1)。图中: S_1 为颚口风面积; S_{xi} 为塔篦子上(不含中心风孔)第 i 个孔的面积; S_3 为中心风孔的面积; n 为塔篦子上孔的总数(不含中心风孔); α_i 为塔篦子上(不含中心风孔)第 i 个孔风口方向 P 与垂直方向之夹角; S_{Σ} 为卸料装置的有效截面积: $S_{\Sigma} = \frac{1}{4} \pi \varphi^2$, 式中 φ 为卸料部分窑的有效内径; $S_{xi} \cos \alpha_i$ 为塔篦子上(不包含中心风孔)第 i 个孔的面积在水平截面上的投影; m 为二肋范围内塔篦子上除中心风孔外的风孔数(二肋范围直径用 d 表示); S' 为二肋范围内的截面积: $S' = \frac{1}{4} \pi d^2$ 。

则通风面积比:

$$\epsilon = \frac{S_1 + \sum_{i=1}^n (S_{xi} \cos \alpha_i) + S_3}{S_{\Sigma}}$$

中风面积比:

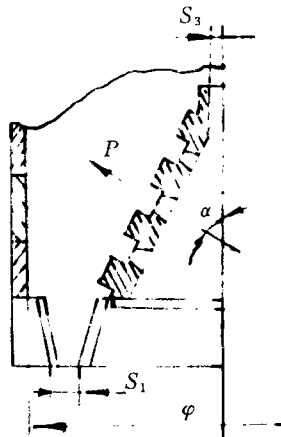


图1 塔式卸料装置

$$\epsilon' = \frac{S_3 + \sum_{i=1}^m (S_{zi} \cos \alpha_i)}{S'}$$

其中 d 因机械立窑的规格不同而不同。笔者通过不同窑型得出如下结论:

对于 $\varnothing 1.7\text{m}$ 的机立窑, $d=0.5\text{m}$;

$\varnothing 2 \sim \varnothing 2.2\text{m}$ 的机立窑, $d=0.6\text{m}$;

$\varnothing 2.5\text{m}$ 的机立窑, $d=0.75\text{m}$;

$\varnothing 2.9(3)\text{m}$ 的机立窑, $d=0.9\text{m}$;

为了保证水泥机立窑正常煅烧对中风的要求, 建议 $\epsilon \geq 25\%$, $\epsilon' \geq \epsilon$ 。

对于盘塔式机立窑, 建议 $\epsilon \geq 30\%$, $\epsilon' \geq \epsilon$ 。

二、卸料平稳性能

首先以目前机立窑中常见的塔式机立窑(图2)来研究其卸料平稳性。

假定机立窑窑体高度为 h , 人为确定: h_1 称之为层流区; h_2 称之为过渡区; h_3 称之为混和区; $h = h_1 + h_2 + h_3$ 。

1、层流区熟料颗粒流的运动分析

假设机立窑自上而下无影响正常卸料的大块熟料; 立窑内卸料速度较慢, 可近似认为在截面不变的垂直窑体(上部)中作匀速层流运动(图3)。窑体截面1、2上熟料颗粒流的压强分别为 p_1 、 p_2 , 此两截面的距离为 L , 将此两截面之间的熟料颗粒流分出一个半径为 r 的圆柱体, 由于此圆柱体中的熟料颗粒流也作匀速运动, 根据力学基本定律, 作用于其两端面上的压力与作用于其表面上的摩擦力之和应等于0, 即

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 - 2\pi r L \tau = 0$$

式中: τ 为圆柱体表面上因摩擦力而引起的剪应力。

$p_1 - p_2 = \Delta p$, 因沿程阻力而产生的压强差。考虑流速较慢, 取 $\Delta p \approx L \cdot \gamma$ 。 γ 为熟料颗粒的比重 (kg/m^3)。

于是: 剪应力 $\tau = \frac{L \cdot \gamma \cdot r}{2L} = \frac{1}{2} \gamma \cdot r$ (帕)。

设窑体的内径(指砌好耐火砖等后)为 $D=2R$, 则在窑体内壁上的剪应力:

$$\tau_R = \frac{1}{2} \gamma R$$

将以上两式相除, 得:

$$\tau = \tau_R \cdot \frac{r}{R}$$

所以, 熟料颗粒流在筒形管道中作层流运动时, 各层熟料颗粒流之间的剪应力同其离开中

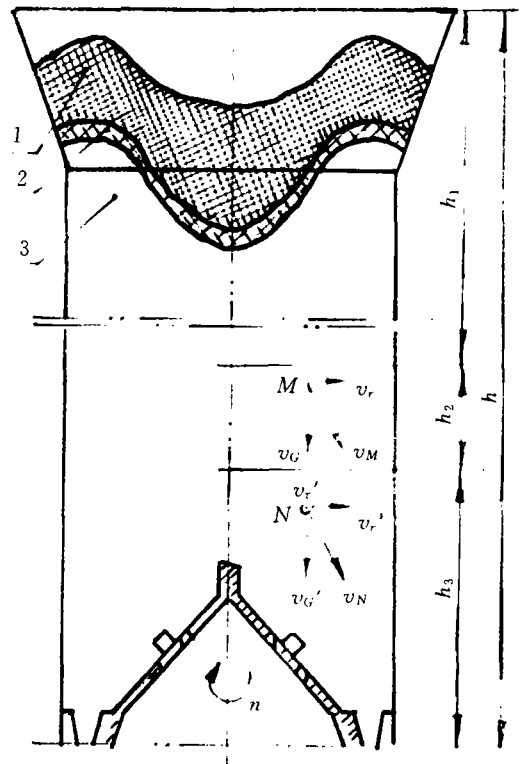


图2 窑体人为划区图

1—干燥预热带; 2—分解烧成带; 3—冷却带

心的距离成线性关系,即剪应力在窑中心为 0,在窑壁处为最大。

根据牛顿粘性定律:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr}$$

μ 为比例系数,或称粘滞系数(随熟料温度的变化, μ 有一定的变化)。

将 $\tau = \frac{1}{2}\gamma \cdot r$ 代入上式,得:

$$dv = -\frac{\gamma \cdot r dr}{2\mu}$$

将上式积分,得:

$$\int_v^0 dv = -\frac{\gamma}{2\mu} \int_r^R r dr$$

于是,在半径 r 处的流速为

$$v = \frac{\gamma}{4\mu} (R^2 - r^2)$$

由此可知,熟料颗粒流作层流运动时,窑体截面上的速度依抛物线规律分布。即中部卸料速度快,边部卸料速度慢。

2、过渡区熟料颗粒流的运动分析

过渡区熟料颗粒流运动的特征为:中部熟料速度较之于层流区减慢,边部(尤以二肋部位)熟料速度加快;中部熟料产生了径向运动,即由中部向边部运动。如图 2 中某熟料颗粒 M 的运动分析。它区别于混和区的特点是 $v_{切} \approx 0$,即熟料颗粒尚未产生明显的周向运动。合速度 v_M 近似指向颚口。

3、混和区熟料颗粒流的运动分析

混和区熟料颗粒流运动的特征为:中部熟料相对于过渡区更慢,边部(尤以颚口上部)速度加快,中部熟料明显向边部运动。尽管卸料传动装置回转速度较低(9~12r/h),仍然存在较小的切向速度,加上塔体的挤压、塔齿的拨动、带筋衬板、内齿铁砖的摩擦,使整个混和区内的熟料呈一定程度的混和状态卸出。如图 3 中某熟料颗粒 N 的运动分析,可知其合速度 v_N 近似倾斜指向颚口。

4、层流区、过渡区、混和区高度

对于某确定的机立窑,其过渡区、混和区高度是一定的。随窑体高度的增加,层流区高度增加,但过渡区、混和区高度变化不大。不同的卸料装置结构对混和区高度有一定影响,主要与卸料篦子高度有关。一般地,混和区高度 $h_3 = (0.9 \sim 1.1)D$;过渡区高度 $h_2 = (0.6 \sim 0.8)D$, D 为窑的有效内径。窑规格大时相对取小值,窑规格小时相对取大值。层流区高度 $h_1 = h - (h_2 + h_3)$,层流区占机立窑窑体高度的 50~65%。

5、水泥机立窑卸料平稳性相关因素

(1)机立窑的规格 大规格相对于小规格窑易结大块、结圈,底火拉深的一个重要原因就是卸料平稳性差,层流区中截面速度差(边部与中部)较大。

(下转第 12 页)

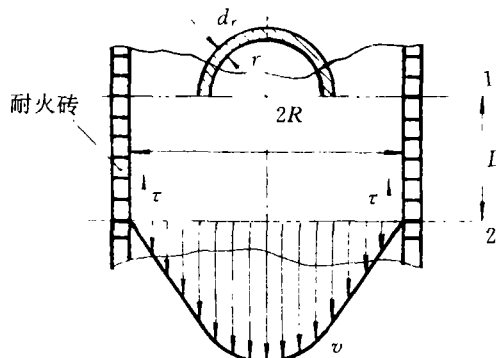


图 3 熟料颗粒流在窑体中的层流运动

零时, $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho'(x_n, x_0)$ 也不存在或虽存在而其值大于零。即由点列 $(x_n)_{n \in N}$ 按 ρ' 收敛于 x_0 可以推得点列 $(x_n)_{n \in N}$ 按 ρ 收敛于 x_0 。

综上所述, ρ' 与 ρ 等价。

定理 3.2 设 g 是一个生成子, ρ 和 ρ' 都是任意给定的某个非空集合 X 上的距离, 并且 ρ' 是 ρ 经 g 生成的, 即 $\rho' = g \circ \rho$, 若

$$\lim_{a \rightarrow 0^+} g(a) \triangleq M > 0 \quad (1)$$

则距离空间 (X, ρ') 中每个单点子集都是开子集。

证 明 假设 (1) 式成立, 任取 $\epsilon > 0$ 。使 $M - \epsilon > 0$, 于是, 由 (1) 式可推知, 存在 $\delta > 0$ 使得

$$g(a) \geq M - \epsilon \quad \forall a \in (0, \delta)$$

这样一来, 再利用定理 1.2 可以进一步断言

$$g(a) \geq \frac{1}{2}(M - \epsilon) \quad \forall a \in (0, +\infty)$$

由此可见, 对 X 中任意两个不同的点 x_1, x_2 , 都有

$$\rho'(x_1, x_2) = g(\rho(x_1, x_2)) \geq \frac{1}{2}(M - \epsilon) > 0$$

所以空间 (X, ρ) 中每个单点子集都是开子集。

参考文献

- 1 关肇直, 张恭庆, 冯德兴. 线性泛函分析入门. 上海: 上海科技出版社. 1979
- 2 江泽涵. 拓扑学引论. 上海: 上海科技出版社. 1978

(上接第 20 页)

若其窑体高度 h 偏高, 则层流区 h_1 更大, 上述现象更为恶化。显然, 就卸料平稳性而言, 大规模窑 $\frac{h}{D}$ 尽可能取较小值。

(2) 机立窑窑体结构 下部扩大的窑体结构有利于边部熟料的松动与卸出, 缓解由于层流区造成的中部卸出快, 边部卸出慢的矛盾, 对卸料平稳性是有益的。

(3) 卸料装置的型式 塔式、双曲式、半球式卸料装置以颚口为主要卸料渠道, 故其混和区 h_3 , 过渡区 h_2 相对较高, 减小层流区 h , 显然其卸料平稳性较好。盘塔式卸料装置以盘塔上的孔及边部环沟为主要卸料渠道, 其边部环沟与盘部的卸料能力之和不低于上述三种型式的颚口卸料能力, 尽管混和区 h_3 稍小, h_1 稍大, 但仍具有较好的卸料平稳性。传统的盘式、往复式、辊压式则其 h_3, h_2 均较小, h_1 较大, 故其卸料平稳性差, 产质量难以提高。

6. 解决措施

(1) 在水泥煅烧工艺许可的前提下, 尽可能降低窑体高度。

(2) 下部适度放大的窑体结构, 有利于卸料平稳。

(3) 卸料装置在保证 $\epsilon(\epsilon')$ 、 Q 前提下, 尽可能保证有边部颚口卸料及适当的篦子高度。

参考文献

- 1 W · Ansen. 立窑. 中国工业出版社
- 2 沈威等编. 水泥工艺学. 中国建筑工业出版社