

# TSD型分解炉的研究 开发及工程应用(下)

陶从喜, 彭学平, 胡芝娟, 刘继开, 余锦辉

摘要: 通过理论及试验研究,, 开发了适用于无烟煤燃烧的 TSD 型分解炉, 并结合工程实践应用, 将 TSD 型分解炉成功应用于 2500~5000 t/d 水泥熟料生产线, 取得了成功。

关键词: TSD 炉; 研究; 开发; 应用

中图分类号: TQ172.622.29 文献标识码: A

文章编号: 1001-6171(2006)05-0025-04

TSD Calciner Development and Its Engineering Application( )

TAO Cong-xi, PENG Xue-ping, HU Zhi-juan, LIU Ji-kai, YU Jin-hui  
(Tianjin Cement Industry Design and Research Institute, Tianjin 300400)

Abstract: Through theoretical and test investigations, TSD calciner suitable for anthracite coal firing is developed. Combined with engineering practice, TSD calciners are succeed applied on 2500~5000t/d cement clinker production lines.

Key words: TSD calciner; Investigation; Development; Application

(接第 4 期)

## 2.2.3 分解炉流程测试

TSD 炉的流场测试见图 5a-5c, 从图中测试结果看, 分解炉内以轴向及切向速度为主, 径向速度较小。

轴向速度分布见图 5a, 三次风水平进预燃室后即很快转为向下旋流, 故预燃室轴向速度为较大的负值, 经斜烟道进入双喷腾炉后, 与向上喷腾入炉的窑气急剧碰撞并

折转向上, 断面上轴向速度分布比较紊乱, 主炉下柱体有反差较高的正负值, 说明有较强烈的返混。中部缩口处也有一定的喷腾作用, 缩口以上直至顶部附近轴向速度也有负值存在, 说明有一定的回流及碰顶效应存在。

切向速度分布见图 5b 所示, 对比可见预燃室中切向速度较大, 尤以三次风进口处为大。进入双喷腾炉后, 切向速度明显减弱, 沿程切向速度分布虽无什么规律可言,

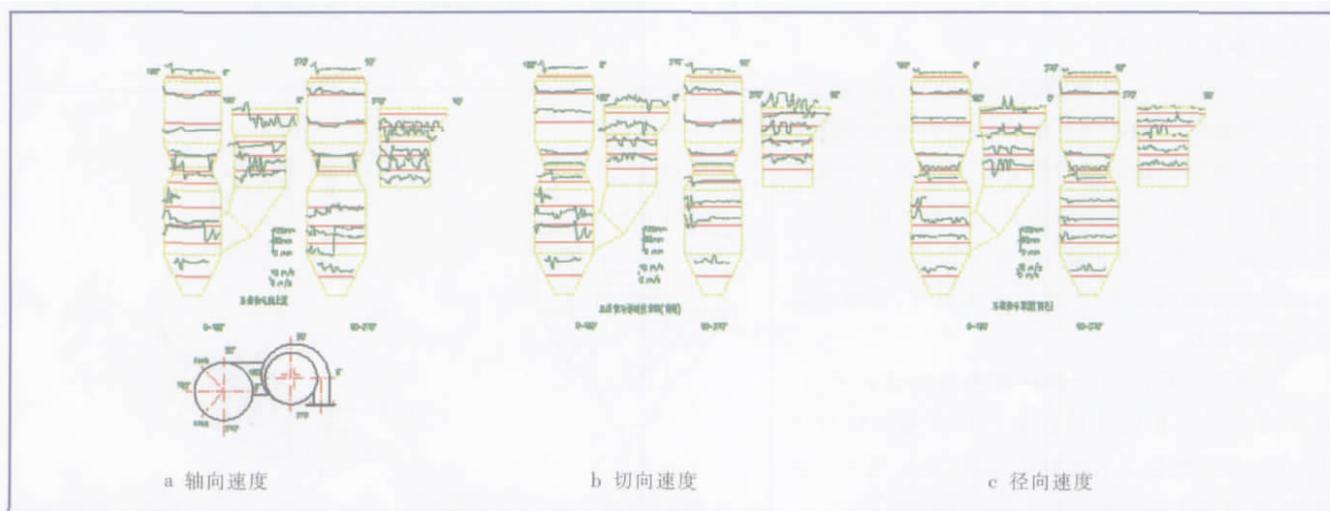


图 5 TSD 炉的流场测试

通讯地址: 天津水泥工业设计研究院, 天津 300400; 收稿日期: 2006-01-16; 编辑: 赵 莲

## 设计与研究

但基本趋势为由强到弱并逆时针旋转,说明旋流能影响到整个炉组。

径向速度分布见图 5c。总的来讲径向速度较小,且基本上属源流(离心)方向,仅个别地方出现负值,说明存在局部涡流。

据流场分析并结合炉内物料运动观察认为,预燃室具有明显的旋流式炉的特征,而 TD 炉则具有喷旋式炉的特征,与传统的 RSP 炉有类同但也有显著差别。

### 2.2.4 分解炉中物料流动状况

试验进行了不同风速及料粉浓度下的物料运动情况观察,在各种风速下预燃室顶部蜗壳部位物料分布都较均匀,看得见有明显浓厚的旋转料垫存在。在分解炉断面风速 $<3.0\text{m/s}$ 时,自预燃室三次风进风口外侧开始有一较宽较浓的螺旋料带直至预燃室出口,螺距较长; $3.0\sim 5.0\text{m/s}$ 时,螺距逐渐缩小,螺旋料带相互靠近,稀带变窄;风速 $>5.0\text{m/s}$ 时,螺旋料带间几乎没有间隔,整个预燃室壁面物料分布较均匀。主炉的下锥体及下柱体壁面物料较少且分布不匀,回流料少,尤其是远离斜烟道一侧物料浓度更稀,这是由于来自预燃室的物料在窑气喷腾风的作用下很快分散并被携带往上运动能顺利通过中部缩口之故。经中部缩口进入上柱体后,可见物料沿壁向下返流激烈,在倒锥处有明显的涡环,碰顶效应明显,结合流场分析认为炉体内部物料分布以 TD 炉上室最好,下室次之,下锥体及预燃室中部料较稀少,物料“外浓内稀”的现象以预燃室为甚。

另外,对双预燃室模型亦进行了相应的试验研究,结果表明带双预燃室的 TSD 炉主炉下柱段中物料分布均匀性明显好于单预燃室,分解炉的其它特性类似于单预燃室。

### 3 TSD 炉的 CFD 研究

由于分解炉内煤粉燃烧及碳酸钙分解耦合,加之气物料运动的特殊要求,分解炉内物理化学过程极为复杂。数值模拟所开发的分解炉计算机仿真平台,使几十年来水泥热工装备的研究方法得以变革,研究成本下降,缩短开发周期,实现炉内物理化学场的可视化,可以优化设计,提高装备投运的可靠性。

本研究使用的分解炉计算机辅助试验平台,是天津水泥工业设计研究院自行开发的软件系统,在开发中解决了大量技术难题,并形成了专业特点,具有自主知识产权。

从湍流流动角度分析,分解炉计算机仿真开发中解决了圆柱坐标非结构网格下极点处理这一国

内外公认的技术难题。数值求解器的开发过程中,碰到在圆柱坐标方程离散时,中心轴线处半径为零,数学处理速度、动量等值为无穷大,而从连续性考虑,物理意义上速度、动量等均为具体值这一极点处理难题。多年来,国内外学者均力求解决这个问题(炼钢炉、旋风筒等只能进行对称数值模拟)。本平台开发的技术研究解决了这一难题,实现流场、颗粒场、温度场、组分场 360°全场模拟,真正实现分解炉的仿真研究。

我们通过基础试验研究,建立了针对分解炉特点的、在耦合状态下的煤焦燃烧及碳酸钙分解的动力学模型。

煤焦燃烧模型:

$$\frac{dM_p}{dt} = k_1 \rho_d^2 V_{Ox} \quad (1)$$

碳酸钙分解的模型:

$$1 - (1 - \frac{1}{3})^{\frac{1}{3}} = \frac{k_0}{D_p} \times \exp(-\frac{E}{RT}) \times \frac{P_e - P}{P_e} \times t \quad (2)$$

对不同煤种、不同生料进行实验,求取动力学参数,建立数据库,以实现针对性模拟。

分解炉计算机仿真平台开发包含气体流动、颗粒运动、煤粉燃烧、碳酸钙分解模型的建立,数值求解器的开发,输入输出界面研制。本分解炉计算机仿真平台包含多个数据库,能对不同原燃料、不同结构形式分解炉进行仿真模拟,并有专家系统直接对模拟结果进行分析评议,提出建议。

在变换生料、煤粉下料点位置、进口物性参数、分解炉各部分尺寸等多种情况下,进行仿真试验,通过出口分解率、燃尽率、出口温度等宏观信息,结合流场图、温度场、组分场、颗粒运动轨迹内部可视化信息统筹比较,非常便利的确定煤燃烧与碳酸钙分解最佳结合点的分解炉型式与尺寸。

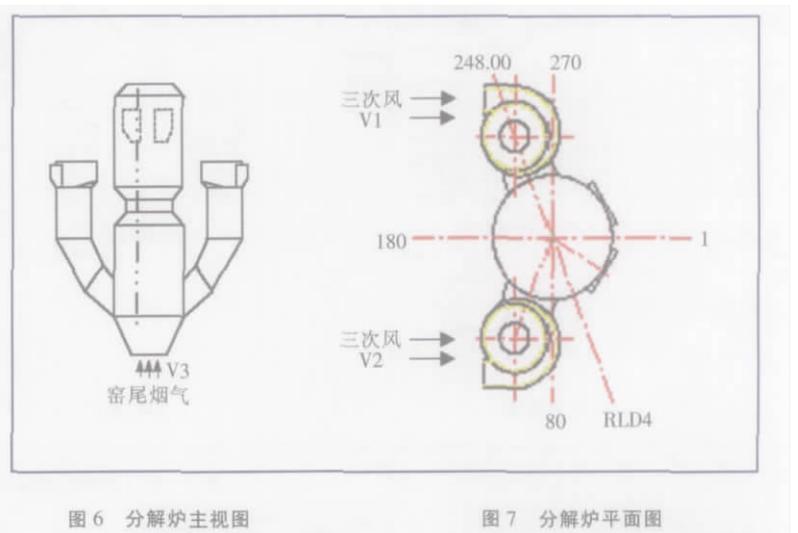


图 6 分解炉主视图

图 7 分解炉平面图

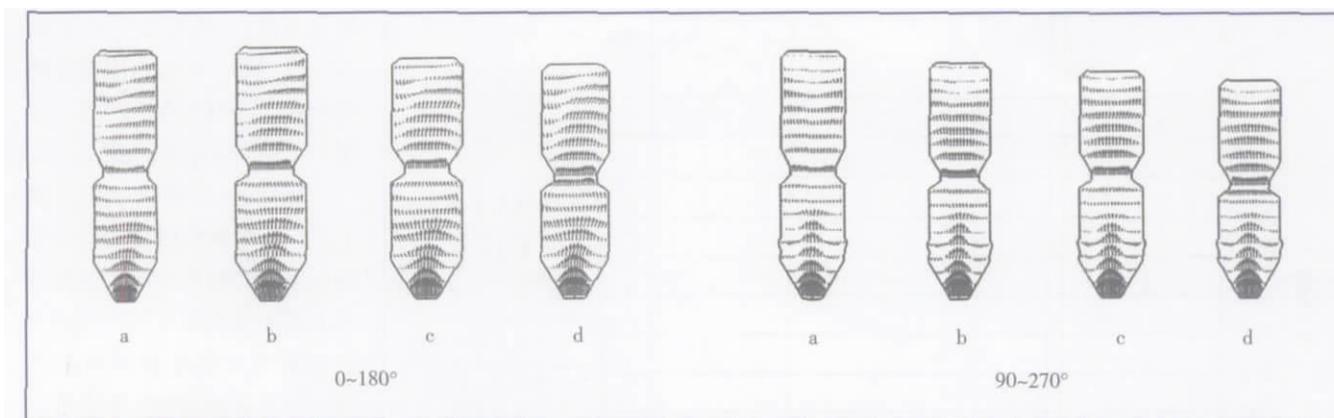


图8 剖面轴向的速度矢量,17.1m/s

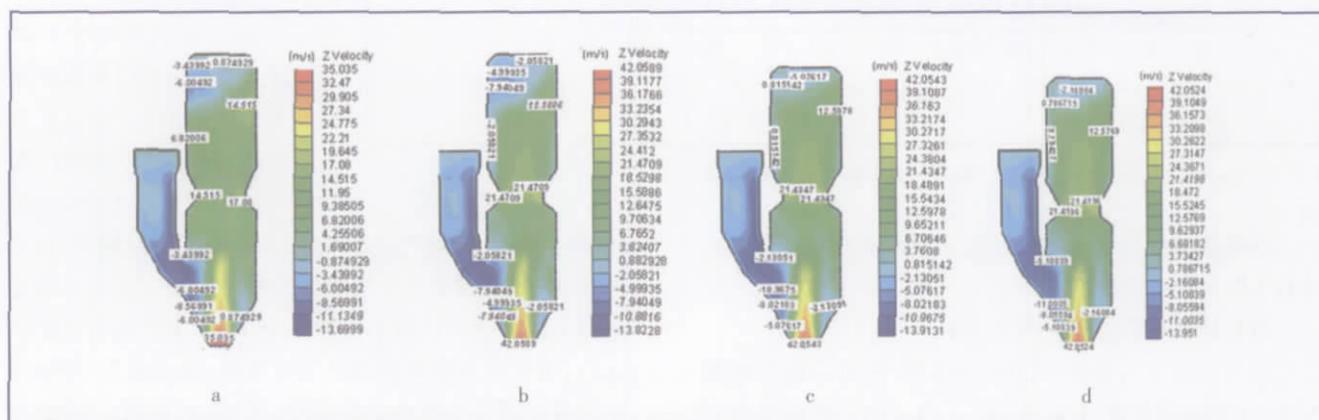


图9 21.04~248.96°剖面轴向速度云图

### 3.1 CFD 模拟计算结果

本次模拟研究采用的是带双预燃室的 TSD 型分解炉 (结构见图 6、7)。通过前面的介绍可知,本分解炉主要特点如下:

- 气体、物料和燃料自上而下的旋流预燃室中,物料贴壁旋转,起到保护炉衬的作用,中间区域较低的物料浓度有利于燃料在纯空气中高温辉焰快速燃烧,适当的高温燃烧区可显著缩短煤的燃尽时间;

- 旋流预燃室炉顶结构形状能促使物料沿壁更均匀分布与流场的优化,允许中部火焰达到更高的温度 (现场测试表明,在预燃室中部温度可达 1400 以上)与较高的煤粉燃尽度;

- 发生塌料时物料沿斜烟道可冲向双喷腾主炉经窑尾缩口再次喷腾,无离线型分解炉或管道式分解炉塌料易堵三次风管之虞;

- 可采用特制的多通道燃烧器,灵活调节火焰形状及喷嘴位置,保证低挥发分煤的稳燃并调控燃料燃烧速度;

- 旋流预燃室通常可布置在预热器塔架内双喷

腾主炉近旁,连接风管通常无结皮,无需清理;

- 本分解炉采用双预燃室结构,从冷模试验看,带双预燃室的分解炉其主炉中物料分布均匀性明显较单预燃室好,可有效地提高分解炉的容积利用率。

表 2 TSD 分解炉的工程实践应用实例

序号	厂家	煤挥发分,%	规模,t/d	备注
1	北京琉璃河	4-6	2500	2002 年无烟煤煨烧试验成功
2	江西锦溪	6-8	2500	2005 年 6 月投产
3	海南昌江	6-8	2500	2005 年 10 月投产
4	重庆腾辉地维	9-11	2500	2004 年 6 月投产
5	浙江富阳钱潮	9-11	2500	2005 年 6 月投产
6	河北太行邦正	4-6	3200	2002 年 12 月投产
7	广东郁南	6-8	2500	2005 年 2 月投产
8	广东四会骏马	6-8	3200	2004 年 9 月投产
9	广东塔牌蕉岭鑫达	2-4	5000	2003 年 6 月投产
10	河南豫龙	9-11	5000	2005 年 6 月投产
11	河南新乡	9-11	5000	2005 年 6 月投产
12	河南同力	9-11	5000	2005 年 8 月投产
13	广西华润鱼峰平南	混煤	5000	2004 年 11 月投产
14	海南华盛天涯昌江	6-8	5000	2005 年 6 月投产
15	越南福山	6-8	5000	2005 年 6 月投产

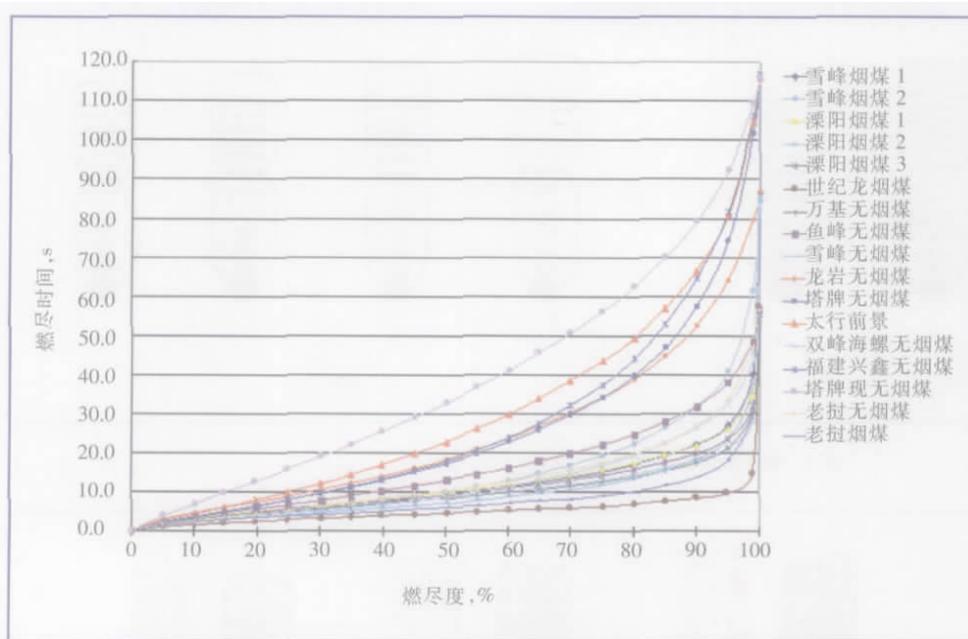


图 10 各种煤样的燃烧特性

对分解炉进行三维整体模拟, 下面给出不同结构尺寸及入口参数下的模拟结果。

CFD 模拟计算结果简要见图 8。

图 9 表示了分解炉 21.04°~248.96°剖面的轴向速度云图, 比较四种情况可得, 在(B)、(C)、(D)三种情况的下部速度入口的流速大于(A)时, 分解炉一次喷腾效应十分明显, 且一次回流的速度较大。计算模拟出主炉分解率为 91.05%, 煤粉燃尽率为 82.54%, 可见 TSD 分解炉完全能满足设计要求。

#### 4 TSD 炉的工程实践应用

通过试验及理论研究开发的 TSD 型分解炉, 最早于 2001 年 12 月于北京琉璃河水泥厂 2500t/d 生产线投入使用, 有关该生产线的使用无烟煤的情况笔者曾在文献<sup>[1]</sup>中作过详细报导, 在此不再赘述。

目前, 天津院采用 TSD 分解炉煨烧无烟煤的工程示例

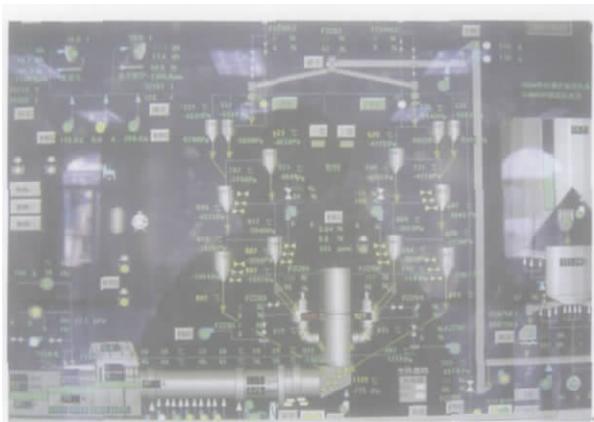


图 11 采用 TSD 分解炉的典型操作画面

已有许多(见表 2)。在此值得一提的是, 在广东塔牌集团蕉岭鑫达 5000t/d 生产线上采用的 TSD 炉的使用状况。

蕉岭鑫达 5000t/d 生产线上是广东塔牌集团目前最大规模的水泥熟料生产线, 也是世界上采用无烟煤为燃料的最大规模新型干法水泥熟料生产线。该生产线 2003 年 7 月点火, 8 月即实现 100%煨烧无烟煤, 且无烟煤挥发分为 2%~4%。经中国物化检测中心试验, 该无烟煤为国内较难燃烧的煤种(见图 10)。到目前为止, 塔牌 5000t/d 生产线已连续运行两年多, 一直完全采用

100%无烟煤, 熟料产量基本在 5300~5800t/d。同时, 在塔牌 5000t/d 基础上优化改进的 TSD 分解炉, 先后在海南华盛天涯昌江及广西平南鱼峰 5000t/d 生产线相继投产运行, 该型式分解炉目前已出口国外, 越南福山 5000t/d 生产线采用也是该型式分解炉。目前, 越南福山 5000t/d 生产线在完全采用 100%无烟煤的情况下, 熟料产量在 5500~6000t/d, 预热器出口温度为 300~330℃, 系统运行稳定, 受到业主的好评, 并且正是基于越南福山一线 5000t/d 烧无烟煤的成功运行, 业主要求在越南福山二线上也使用 TSD 型分解炉。图 11 为带 TSD 型分解炉的烧成系统典型操作画面。

#### 5 小结

通过理论及试验开发了一种新型的带旋流预燃室的组合式分解炉——TSD 分解炉, 该型式分解炉阻力特性适中, 对较难燃烧的无烟煤有较好的适应性。天津院目前已有数十条采用 TSD 型分解炉的生产线投产运行, 但在实际运行中尤其是采用无烟煤煨烧的初期投产阶段, 对操作人员的素质要求较高, 需较精心维护。因此, 具体工程在选用该型式分解炉时, 需结合煤粉燃烧特性和具体情况综合确定。

参考文献:

- [1]赵向东. 预分解窑采用无烟煤煨烧技术实践[J]. 水泥, 2003, (7).
- [2]王少平, 曾扬兵, 沈孟育. 用 RNG k-ε 模型数值模拟 180 度弯道内的湍流分离流动[J]. 力学学报. 1996, 28(3): 257- 263.
- [3]M.A.Field, D.W.Gill, et al, 章明川, 等译. 煤粉燃烧[M]. 北京: 水利电力出版社. 1989. ◆