

文章编号:1000-582X(2002)10-0061-05

垃圾洁净燃烧炉内垃圾团非稳态传热特性分析*

冉景煜, 张力, 辛明道, 蒲舸, 潘良明, 伍成波

(重庆大学工程热物理研究所, 重庆 400044)

摘要:考虑垃圾洁净燃烧炉内高温烟气对流及辐射换热,应用有效导热系数法,对不同形状(球体、圆柱体、立方体)不同特征尺寸具有多孔介质特性的垃圾团块非稳态传热特性进行了数值模拟,结果表明:垃圾团块中心温度稳态值大小与换热边界流体温度大小密切相关,且高温流体换热表面越多,团块内部稳态温度值越大;垃圾团块的形状对其在垃圾洁净燃烧炉内加热升温特性影响较大,在相同特征尺寸($L = V/F$)下,球形体垃圾团块升温速度最快,柱形体次之,方形体最小;随着垃圾团块特征尺寸增加,垃圾团块中心单元温度达到稳定的时间明显增长,特别是特征尺寸大于10时,稳定时间增加幅度较大,且特征尺寸越大,稳定时温度越小,越不利于垃圾的挥发份析出,不利于垃圾燃尽。

关键词:垃圾团块;非稳态;传热特性;焚烧炉

中图分类号:X784

文献标识码:A

随着经济增长和社会发展,城市生活垃圾(MSW)的三化处理已越来越受到世人关注。其中,由于垃圾燃烧处理可减容80%,减量90%,且可实现高温灭菌,燃烧释放的热能可以被利用,占用场地小,工业化方式生产、二次污染易于控制等一系列优点而被各发达国家所推崇^[1]。垃圾在垃圾洁净燃烧炉内的燃烧过程主要包括加热、热解、挥发分燃烧、残炭燃烧与燃尽等5个阶段,垃圾进入垃圾洁净燃烧炉后,能否有效地被炉内环境加热,对稳燃、燃尽及二恶烟、呋喃类污染物的生成均有至关重要的影响。同时,垃圾团块的升温时间,也决定着垃圾在炉内的停留时间,影响垃圾洁净燃烧炉的运行特性,这些都与垃圾在炉内的传热特性有关,因而有必要分析不同形状垃圾团块在不同换热边界条件下的温度场特性,才能制订合理的垃圾洁净燃烧方案及进行垃圾洁净燃烧炉的优化设计。

考虑垃圾的成分、形状、尺寸、物性、密实性、及团块内存在沟流、短路等特征,应用有效导热系数法,对球形、圆柱形、立方体等不同形状及不同换热边界条件下炉内垃圾团块非稳态传热特性进行数值模拟。

1 数学模型描述

1.1 物理模型及简化假设

垃圾入炉前需进行分选与破碎处理,垃圾预处理后的形状以方形体、柱形体、球形体最具代表性,因此,选取这3种形状垃圾团块进行传热特性研究。其物理特性参数为:方形体($a \times b \times c = 24 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$)、柱形体($h \times r = 30 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$)、球形体($r = 15 \text{ mm}$)。并且,由于小尺寸垃圾组成的垃圾团块是具有固体骨架的多相空间,可视为多孔介质,其传热包括固体颗粒的导热过程;多孔空隙中流体之间及固体颗粒微空隙层流体之导热过程,固体颗粒之间存在接触热阻时的导热过程,并应用有效导热系数法处理。垃圾在炉内加热过程中,固体垃圾变形较小,故设多孔介质固体骨架不变形。垃圾在垃圾洁净燃烧炉中主要受热烟气对流加热与辐射加热。

1.2 基本方程

采用固体三维非稳态导热模拟垃圾团块内部传热特性,基本方程为^[2]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k_e \nabla^2 T$$

* 收稿日期:2002-06-24

基金项目:教育部春晖计划项目资助(98-5、26)

作者简介:冉景煜(1968-),男,重庆酉阳人,副教授,博士研究生。主要从事先进能源系统转换与利用,燃烧与环保方向研究。

1.3 边界条件

垃圾团块表面传热边界条件按第三类边界条件处理,即:

$$\alpha_{\Sigma}(T_f - T_w) = -k_c \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w$$

式中: T_f ——烟气(流体)温度; T_w ——表面温度; α_{Σ} ——综合传热系数; $\alpha_{\Sigma} = \alpha_c + \alpha_r$, α_r ——辐射换热系数, α_c ——对流换热系数。

1.4 初始条件

设垃圾团块置于垃圾洁净燃烧炉内,垃圾团块内初始温度为 293 K。

1.5 有效导热系数^[3]

将垃圾团块视为多孔介质,综合考虑固体导热、烟气对流和烟气辐射的有效导热系数,则有效导热系数为: $k_e = k_e^0 + k_c + k_r$,若团块垃圾颗粒随机排列,则导热项 k_e^0 有:

$$\text{在轴向 } k_e^0/k_f = (1 - \epsilon)/[1/\delta_f + (3/2)(k_s/k_f)] + \epsilon$$

$$\text{在径向 } \lg(k_e^0/k_f) = \{[a + b\lg(k_s/k_f)] +$$

$$c\lg\epsilon\} \lg(k_s/k_f)$$

$$\text{辐射项 } k_r \text{ 为: } \begin{cases} k_r = (1 - \epsilon)/(1/k_s + 1/k_r^0) + \epsilon k_r^0 \\ k_r^0 = 0.229\epsilon e_w d_p (T_f^3/10^6) \end{cases}$$

$$\text{对流项 } k_c \text{ 为: } k_c/k_f = C \cdot Pr \cdot Re$$

式中: δ_f 为流体有效通道长; ϵ 为孔隙率; k_s, k_f 分别为固体、流体导热系数; Pr 为普朗特数; Re 为雷诺

数; d_p 为固体当量直径; T_f 为烟气温度; e_w 为固体表面黑度; C 为常数,在轴向 $C = 0.75$,径向 $C = 0.11$; 常数 $a = 0.28, b = -0.057, c = -0.757$ 。取 $e_w = 0.85, \epsilon = 0.3$,由于固体垃圾以纸、木、草等纤维物质和塑料等物质为主,则其导热系数 $k_s = 0.14 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{C})$,从而可求得不同烟温,不同烟速轴向、径向及综合有效导热系数。

2 数值求解

2.1 网格划分

按方形体、圆柱体、球体模型划分网格,它们被划分后单元数分别 24 000(20 × 30 × 40)、10 800(30 × 36 × 10)、19 440(36 × 36 × 15) 个,节点数分别为 26 691、11 191、18 391 个,其网格划分如图 1 所示。

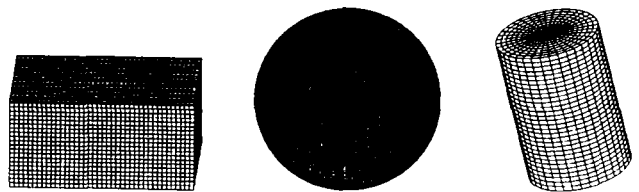


图 1 计算网格划分

2.2 方程离散化及求解

采用控制容积法^[2] 对各方程进行离散化,应用 SIMPISO 方法进行求解。

2.3 数值模拟计算工况

为更好地表明不同形状垃圾团块在不同特征尺寸 ($L = V/F$) 数及不同换热边界下非稳态传热特性,文中共选定了 20 种有代表性的计算工况,具体情况见表 1。

表 1 数值模拟计算工况

名称	垃圾团块形状	工况描述	
		高温(1 173 K) 烟气流换热及辐射	低温(573 K) 烟气流换热及辐射
工况 1	方形体(4 种 L 数)	1 个面(30 mm × 40 mm)	余下垃圾团块表面
工况 2	方形体	3 个相连面	余下垃圾团块表面
工况 3	方形体(4 种 L 数)	6 个面	/
工况 4	圆柱形体	圆柱一顶部面	余下垃圾团块表面
工况 5	圆柱形体	圆柱表面一半(侧面方向)	余下垃圾团块表面
工况 6	圆柱形体	圆柱各表面	/
工况 7	球形体(4 种 L 数)	半球表面	余下垃圾团块表面
工况 8	球形体(4 种 L 数)	整个球表面	/

3 计算结果及分析

部分计算工况稳态时刻温度场示于图 2 中。从图中可以看出,团块中心温度稳态值大小与换热边界流体温度大小密切相关,在垃圾团块周围都是高温情况下,垃圾团块内部稳态温度可达流体温度,且高温流体

换热表面越多,团块内部稳态温度值越大。表明垃圾洁净燃烧炉内垃圾层应不断地翻动,保证垃圾团块各面均受高温流体加热,使整个垃圾团块温度值上升,直至大于 1 033 K,才可能使垃圾挥发份完全析出(垃圾团块温度大于 1 033 K 时,挥发份可全部析出^[4]),保证垃圾充分燃尽。

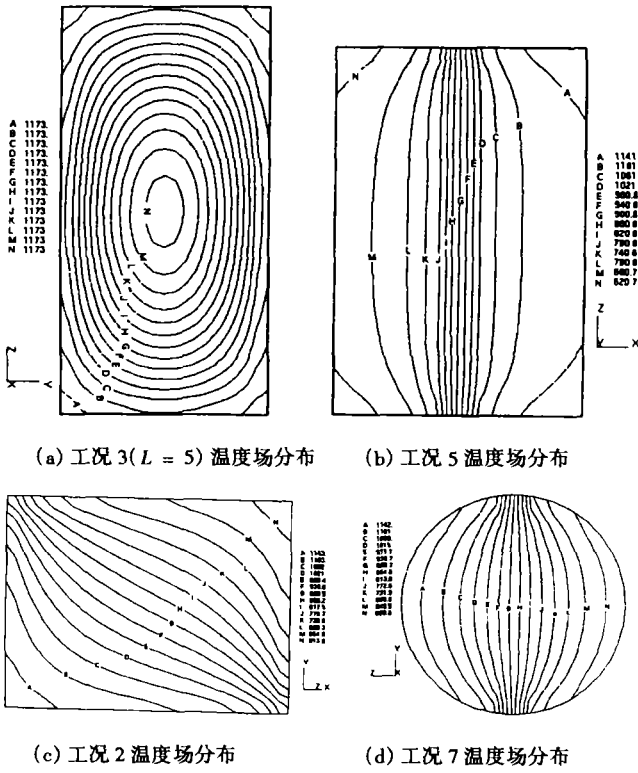


图 2 工况 2、3、5、7 中心截面稳态温度场分布

图 3、4 分别示出了工况 2、3(方形体)在不同 L 数下垃圾团块升温暂态过程变化特性。从图中可看出,随着特征尺寸增加,垃圾团块中心单元温度达到稳定的时间明显增加,特别是特征尺寸大于 10 时,稳定时间增加幅度大大提高;同时还可看出,工况 3 稳定时的温度可达到加热流体温度(1 173 K),而工况 2 只能达到约 600 K,且特征尺寸越大,稳定时温度越小,显然,越不利于垃圾的挥发份析出,不利于垃圾燃尽;从图中还可知,当特征尺寸为 5、7.5、10、15 时,其中心单元温度达到 1 033 K 的时间为 70 s、142 s、240 s、514 s。

从图 5 ~ 图 6 可看出,其变化趋势与图 3、图 4 相同,但它们达到稳态的时间不一样,球形垃圾团块升温时间大于方形体,且在部分换热表面加热条件下,球形垃圾团块稳定时的温度大于方形体,在工况 7 稳定后温度可达 900 K。

从图 7、图 8 中可看出,随高温换热界面增多,垃圾团块内部换热稳定时温度升高,加热延迟时间缩短,达到传热稳定的时间减小;柱形垃圾团块升温效果优于方形体垃圾团块。

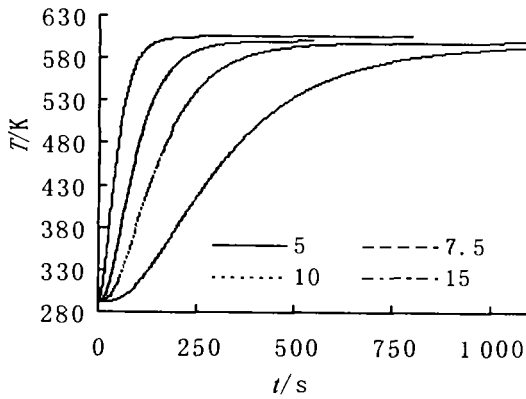


图 3 工况 2 不同 L 数下垃圾团块升温暂态过程特性

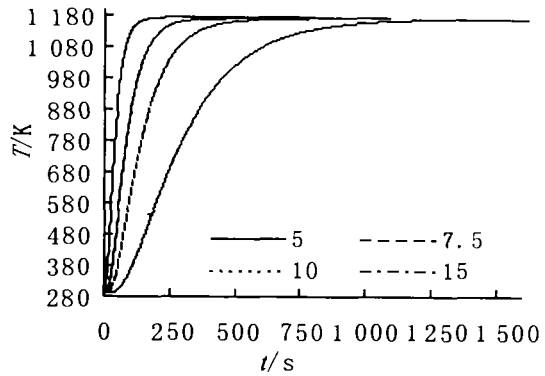


图 4 工况 3 不同 L 数下垃圾团块升温暂态过程特性

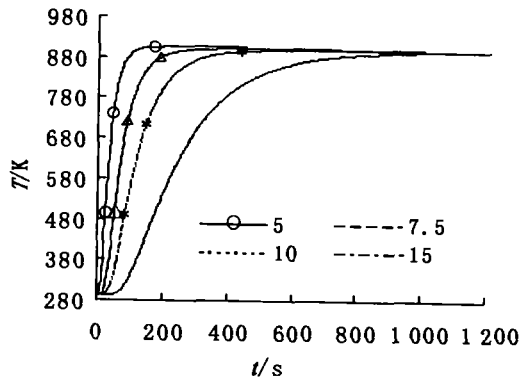


图 5 工况 7 时不同 L 垃圾团块升温暂态过程特性

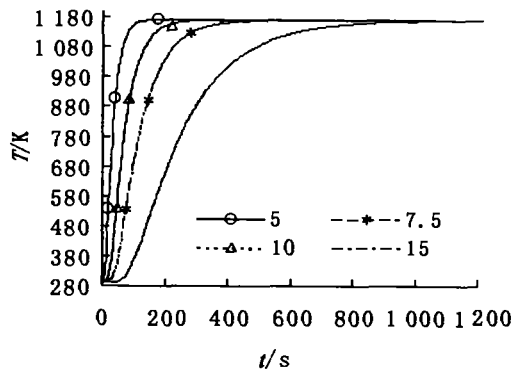


图 6 工况 8 时不同 L 时垃圾团块升温暂态过程特性

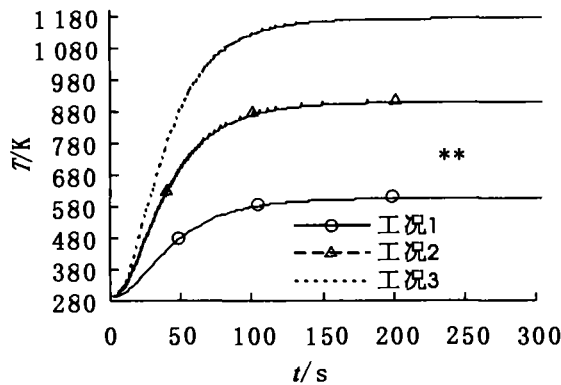


图7 不同边界条件下方形体垃圾团块升温暂态过程特性($L = 5$)

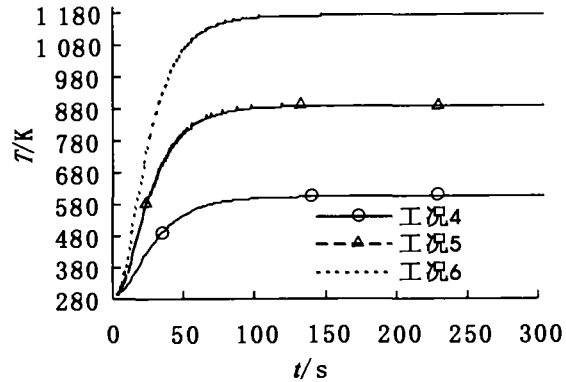


图8 不同边界条件下柱形体垃圾团块升温暂态过程特性($L = 5$)

图9示出了在垃圾团块表面处于高温烟气流体全换热条件(且 $L = 5$)下的中心单元升温暂态过程特性,从图中可看出,球形垃圾团块中心单元升温速度最大,升温延迟时间最短,柱形体次之,方形体效果最差。球形体、柱形体、方形体中心单元温度($L = 5$ 时)达到 $1\ 033\ \text{K}$ 的时间分别为 $45\ \text{s}$ 、 $57\ \text{s}$ 、 $70\ \text{s}$ 。

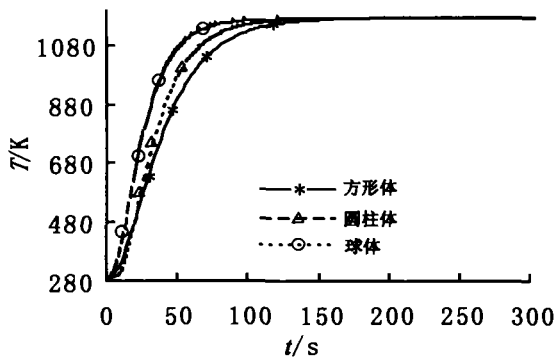


图9 不同形状垃圾团块在相同边界条件下相同特征尺寸($L = 5$)时升温暂态过程特性

4 结论

考虑垃圾团块多孔介质特性及其在垃圾洁净燃烧炉内非稳态升温过程,对不同形状、不同特征尺寸的垃圾团块内温度场及升温暂态过程特性数值模拟,可得出如下结论:

1) 垃圾团块中心温度稳态值大小与换热边界流体温度大小密切相关,在垃圾团块处于高温流体换热情况下,垃圾团块内部稳态温度可达流体温度,且高温流体换热表面越多,团块内部稳态温度值越大。

2) 垃圾团块的形状对其在垃圾洁净燃烧炉内加热升温特性影响较大,在相同特征尺寸($L = V/F$)下,球形体

垃圾团块升温速度最快,柱形体次之,方形体最小。

3) 随着垃圾团块特征尺寸增加,垃圾团块中心单元温度达到稳定的时间明显增长,特别是特征尺寸大于 10 时,稳定时间增加幅度较大,且特征尺寸越大,稳定时温度越小,显然,越不利于垃圾的挥发份析出,不利于垃圾燃尽。

4) 要使垃圾团块在垃圾洁净燃烧炉内换热过程中升温速度最快,尽快达到 $1\ 033\ \text{K}$ (垃圾挥发份析出完毕温度为 $1\ 033\ \text{K}^{[5-6]}$),垃圾团块拟呈球形,特征尺寸应尽量小,且垃圾层应不断翻动,以保证垃圾团块不断处于高温烟气加热状态,保证垃圾充分燃尽。

参考文献:

- [1] DONGHOON SHIN, SANGMIN CHOI. The combustion of simulated waste particles in a fixed bed[J]. Combustion and Flame, 2000, 121:167-180.
- [2] 帕坦卡 S V. 传热与流体流动的数值计算[M]. 张政译. 北京:科学出版社, 1984.
- [3] 林瑞泰. 多孔介质传热传质引论[M]. 北京:科学出版社, 1995.
- [4] 毕振明. 固体废物的处理与处置(修订版)[M]. 北京:高等教育出版社, 1993.
- [5] SHIU, DONGHOON, CHOI, et al. Combustion of simulated waste particles in a fixed bed[J]. Combustion and Flame, 2000, 121(1):167-180.
- [6] CHEN K S, FAI Y J, LOU J C. Three-dimensional combustion modeling in municipal solid-waste incinerator [J]. Journal of Environmental Engineering, 1999, 125(2):166-174.

(下转第 71 页)

文章编号:1000-582X(2002)10-0065-03

自动变速器效率与液力变矩器的透穿性

邓定瀛, 石晓辉

(重庆工学院 机械系, 重庆 400050)

摘要:分析对比液力变矩器原始特性和动力特性,讨论了当外界阻力发生变化时,具有不同透穿性的液力变矩器速比的变化规律及其对变速器传动效率的影响,指出在自动变速器设计中,合理选择液力变矩器的结构参数,特别是注重其透穿度与发动机适应系数的合理匹配,是提高自动变速器传动效率及汽车驱动功率的有效途径。

关键词:液力变矩器;速比;效率;转矩系数;透穿性

中图分类号:TH137.332

文献标识码:A

自动变速器以其优异的驾驶方便性和传动平稳性在汽车上得到广泛的应用,这在很大程度上依赖于液力变矩器的性能。现代液力变矩器可以在失速、耦合、锁止以及其间的任何工况下工作,为变速器与发动机的完美匹配提供了可能。带液力变矩器的自动变速器可以使发动机总是在最佳工况下运转,但这并不意味着此时的汽车(驱动轮)就一定能发挥出最大功率。要使二者一致,传动系数,尤其是变速器的传动效率是关键所在。

现代汽车自动变速器主要由液力变矩器以及以行星齿轮为主导结构的变速机构组成^[1],其效率由变矩器传动效率 η_H 以及行星齿轮变速器效率 η_P 共同决定,即:

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_P$$

由于行星齿轮机构传动效率较高(一般 η_P 可达0.95以上),自动变速器的整体效率基本上取决于液力变矩器,即: $\eta = \eta_H$ 。从液力变矩器的原始特性(图1)及输出特性(图2)中可以知道^[2],对于非透穿性液力变矩器,由于泵轮转速 n_p 基本上不随涡轮转速 n_T 变化而变化(见图2(a)),因此,其速比 i_H 为涡轮转速 n_T 的单值函数,变矩器传动效率

$$\eta_H = f(i_H) = f(n_T/n_p) = f(n_T)$$

而对于透穿性液力变矩器,情况就有所不同。当外界阻力变化而导致涡轮转速变化时,尽管发动机负荷保持不变,泵轮转速也会有明显变化(见图2(b)),变矩器效率将由涡轮转速 n_T 和泵轮转速 n_p 共同决定。

$$\eta_H = f(n_T, n_p)$$

对于泵轮与发动机曲轴做成一体的液力变矩器^[3],

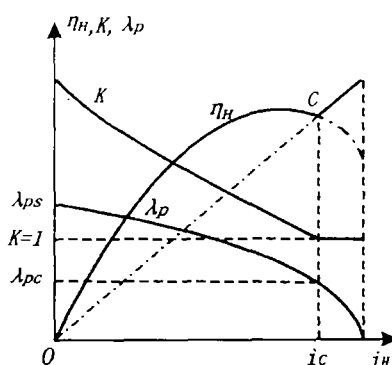


图1 液力变矩器的原始特性

泵轮转速就是发动机转速($n_p = n_e$)。因此,可以引出这样的结论:对非透穿性液力变矩器,发动机工况不随外界阻力的变化而变化;而对透穿性液力变矩器,发动机工况随外界阻力的变化在一定范围内变化,其变化程度与液力变矩器的透穿度(这儿指“正透穿”)成正比。具有不同透穿性的变矩器效率的变化规律也不相同^[4]。

下面,讨论具有不同透穿性液力变矩器传动效率的变化规律及其对汽车驱动轮上输出功率的影响。

1 泵轮转矩系数对发动机工况的影响

变矩器负载特性^[2]:

$$T_p = \lambda_p \cdot \rho \cdot g \cdot D^5 \cdot n_p^2$$

其中, ρ ——变矩器油(HTCF 或 ATF)的密度;
 g ——重力加速度; D ——变矩器有效直径; λ_p ——泵轮转矩系数。

• 收稿日期:2002-06-16

作者简介:邓定瀛(1944-),男,南京人,副教授。主要从事汽车结构和传动方向研究。

Optimization and Realization for Sinter and Ore Blending for Blast Furnace

JIA Juan - yu¹, BAI Chen - guang¹, LAI Hong¹,
QIU Gui - bao¹, CHEN Ying - mo², LEI Liang - xun²

(1. College of Material Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chengdu Iron And Steel Co. Ltd, Chengdu 610303, China)

Abstract: In the ironmaking process, it is essential that sinter and feed of blast furnace are established economically and reasonably. Taking some steel company for example, the best economical condition for feed of blast furnace is comprehensively considered from technologic demand and economic efficiency. According to LP and based on practice and trial, aimed function and confined condition is confirmed, computation programs are made by Matlab while realizing optimization feed. The blast furnace material balance and heat balance are calculated by program with visual interface. Thus, we can directly judge rationality of optimization. The results show that LP is effective method to realize feed of blast furnace.

Key words: sinter ; blast furnace operation ; LP

(责任编辑 陈移峰)

~~~~~  
(上接第 64 页)

## 3 - D Simulation on the Transient Heat Transfer Characteristics of Municipal Solid Waste Lump in Clean Incinerator

RAN Jing - yu, ZHANG Li, XIN Ming - dao, PU Ge, PAN Liang - ming, WU Chen - bo

(Institute of engineering thermophysics, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** To be effectively heated in incinerator for MSW is very important for stabilization and completeness combustion, the smaller produce of the PCDD/Fs. At the same time, the transient heat transfer characteristics of the MSW lump decides the stay time of the MSW in incinerator and effects on the operation feature of the combustion equipments. All of these would lead to design the reasonable and clean combustion project, the optimum incinerator and recover energy system. The component, shape, dimension, property, the hardly and inner structure feature of the MSW lump are taken in account, and the effective conduct heat coefficient has been adopted. And then, the physical model is setup with different shape (ball, cylinder, squareness), and the 3 - D mathematical model and conduct heat efficient with porous feature for transient heat transfer of MSW lump are presented, at the same time, the simulation tests are gotten in various boundary and the interesting conclusions are gotten: The center stable temperature of the MSW lump is mostly decided by the inner gas temperature of the incinerator and the heated area of the lump. The transient heat transfer characteristics is variously effected by the shape of the MSW lump in incinerator. The transient process becomes longer and the center stable temperature decreases, the volatile can't be easily separated out and the combustion efficiency decreases because of the increasing of the lump feature dimension.

**Key words:** MSW lump; transient; heat transfer; incinerator

(责任编辑 陈移峰)