维普资讯 http://www.cqvip.com

观测：底板变形没有使巷道的正常使用受到影响，维护至今．另据有关文献报导[5]，角部锚杆对控制巷道底板变形有明显作用．本文从理论和实践上进行了分析得出如下结论：

(1) 软岩巷道底臌的主要原因是底板塑性变形，借助塑性极限理论能够很好地进行描述．

(2) 全长锚固锚杆支护巷道在不同的位置有不同的作用机理，应采用不同的计算方式确定支护参数．

(3) 利用巷道底板角部锚杆按与底板水平方向成 $(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2})$ 的夹角进行布置，选择合理的密度及长度，其作用相当于采用反拱支护或在底板中部打锚杆．这对于控制软岩巷道底臌、简化软岩巷道施工工艺、提高掘进速度是有实际意义的．

参 考 文 献

1 奥顿哥·M 巷道底臌的防治．北京：煤炭工业出版社，1985:1-20

2 郑颖人等．岩土塑性力学基础．北京：中国建筑工业出版社，1989:220-310

3 沈珠江．桩的抗滑阻力与抗滑桩的极限设计 岩土工程学报，1992(1)

4 朱百里．计算土力学．上海科技出版社，1990:280-340

5 宋恕夏 金川矿山地下工程地压特征与维护．岩石力学与工程学报，1991(1)

(1993 年 10 月 18 日收到第 1 稿，
1994 年 2 月 28 日收到修改稿)

回旋流型流化床垃圾焚烧炉及其冷态空流场的数值分析[1)]

王柏懿 盛宏至 戚隆溪 田文栋
(中国科学院力学研究所，北京 100080)

40-43 X705

摘要 从固体废弃物减量化、无害化与资源化处置的要求出发，本文探讨了回旋流型流化床技术及其在城市垃圾处理中的应用问题．分析了回旋流型流化床垃圾焚烧炉的流态及炉内冷态空流场的特性．数值计算结果表明各风室间流化速度的配置是确保炉内气体流动组织恰当的重要因素．

关键词 废弃物燃烧，流化床焚烧炉，冷态流场
废弃物处理

1 问题的提出

从 70 年代后期开始，我国城市化进程的步伐显著加快，从而导致了城市废弃物的急剧增长．目前，许多大中城市已形成了"垃圾围城"的局面．这不仅侵占了土地资源，而且破坏了生态环境，成为制约城市发展的一大难题．处置城市垃圾应当达到减量化、无害化和资源化的要求．现代化城市垃圾处理方式主要有卫生填埋、高温堆肥和焚烧制能等．垃圾焚烧技术则是利用垃圾含有相当多可燃成分的性质使之在空气中燃烧从而达到实现"三化"的目的．流化床焚烧炉基于沸腾燃烧原理，采用大量流态化高温砂粒作为热载体，强化了混合、扩散、传热和燃烧过程，能够适应多种燃料(包括劣质煤、固体垃圾和污泥粪便等)．它不仅通过降低床温来减少烟气中氮化物的含量，而且可以在炉内固硫脱硝，从而控制有害产物的生成与排放．这种燃烧效率高、环境污染低以及适应性广的优点，加之炉内高温区无运动部件不易发生机械故障，从而使得流化床炉成为新一代垃圾焚烧炉型，已在城市垃圾处理事业中起到越来越重要的作用并有逐步替代目前广泛使用的炉排炉的趋势．本研究集中探讨回旋流型流化床垃圾焚烧炉的运行机制．

2 回旋流型流化床冷模实验及流态分析

回旋流型流化床垃圾焚烧炉[1,2]通过非均匀的分段风量配给以及偏转板合理布置等方式适当组织炉内气体流场造成砂粒的大尺度回旋运动，从而实现了垃圾的搅拌混合、可燃物的干燥破碎与着火燃烧、以及不燃物的分离排出等操作的一体化．我们通过简易冷模装置分析不同风量配给下可能出现的流化状态．该冷模装置主要由流化床炉体和供风系统组成，炉体外形尺寸为 420mm × 260mm ×

1) 北京市自然科学基金会资助课题．

维普资讯 http://www.cqvip.com

600mm，包括底座、主体、偏转板和盖板 4 部分．为了观察，除偏转板外其余部分均采用有机玻璃制作．布风板倾斜角度为 10°，开孔率为 5%．按 1:2:1 比例将底座划分为 3 个风室，各风室分别供风．偏转板下斜面与水平夹角为 20°，长度与两侧风室相当．我们采用粒径为 3mm 的泡沫塑料小球作为床料进行了概念验证演示实验．图 1(a) 给出实验前所有风机关闭时未流化状态的示意图，整个床层均为固定床．实验时首先保持中间风机关闭，两侧风量从零逐步加大．随着风量增加，两侧床层开始膨胀并形成常规的流化床．由于中心风室风量为零，其上方的颗粒保持不动，仍为固定床．流化床与固定床之间的倾斜角与颗粒材料的休止角、两侧流化风速等因素有关．我们称此为第一种流化状态．参见图 1(b)．当两侧风量加大到一定数值时，动态床高达到偏转板位置．若再加大风量，颗粒便在偏转板作用下改变方向，向中心偏转，此时中间区域的颗粒亦要向两侧滑动进入流化床区来补充其中床料的损失．这样就开始形成缓慢的循环流谱．我们称此为第二种流化状态，参见图 1(c)．当中心风室风量为零时，其上方床层内总会保持有一个固定床区．随着中间风机的开启以及风量的逐步增加，中心风室上方的颗粒开始流化，流化首先从床顶部开始并逐步向床层底部推移．这就是说，移动床开始在固定床上方形成并随着中心风室风量的增加而逐步扩大．当中心风量达到一定数值时固定床区可以完全消失，图 1(d) 给出的流态示意图相应于回旋流型流化床炉正常运行的理想状况．在这种流化状态下，浓相床层只有两个区域，即缓慢沉降的移动床区和快速回旋的流化床区．当然，实际焚烧炉采用砂粒作为床料，此时往往发生聚式流化，气泡的形成会使流化图象更为复杂．但本冷模实验揭示了回旋流型流化床达到正常操作状态所涉及的各种基本现象，特别是关于流态的分析可以为研究循环流谱形成条件及其与流化速度配置、偏转板几何特性、静止床高等参数的关系提供一个判据．

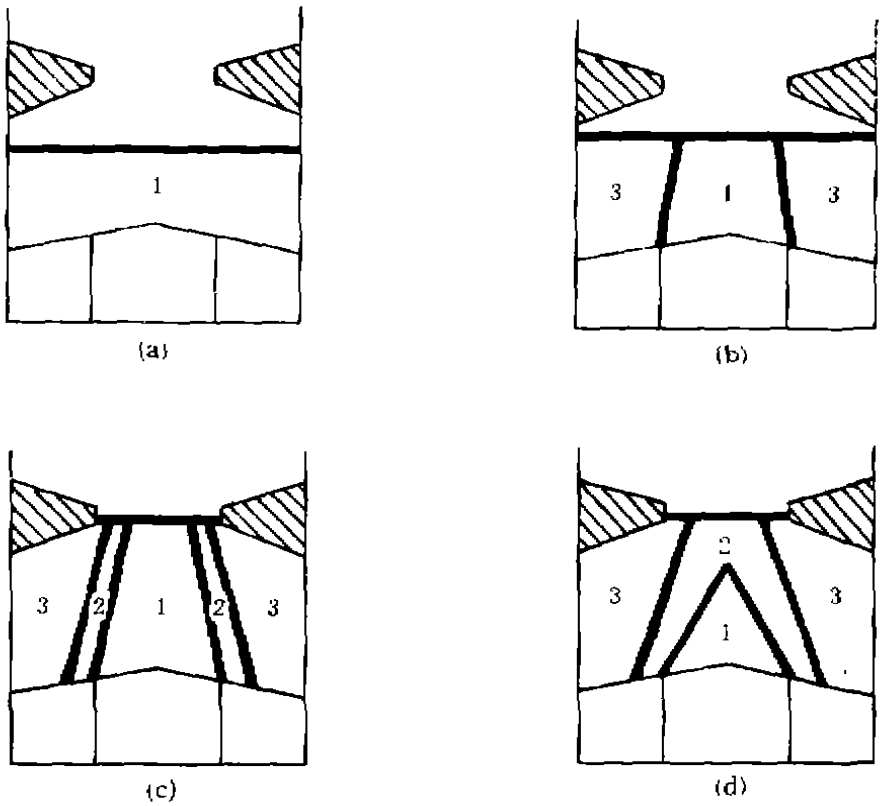


图 1 回旋流型流化床的流化状态

1. 固定床， 2. 移动床， 3. 流化床

维普资讯 http://www.cqvip.com

3 回旋流型流化床冷态空流场数值分析

对于本文研究的回旋流型流化床炉，流化空气从均流风室沿垂直方向 (y 向) 进入横截面为矩形的炉体. 如果布风板处流化速度沿宽度方向上没有变化，仅在长度方向上 (x 向) 分段均匀分布 (即每个风室的流化速度一定但彼此间不相等), 那么可以认为气体的流动是准二维的. 本分析的基本假设为: (1) 对于矩形炉体, 按二维流动处理; (2) 对于稳定运行状态, 假定为定常流动; (3) 对于冷态流场, 认为温度为常数; (4) 流化空气的第二黏性系数忽略不计. 这样描述炉内冷态空流场性状的基本方程可以写为

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v)=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uu)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho uv)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(2\mu\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho vv)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial y}\left(2\mu\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right) \tag{3}$$

其中 u,v 分别为气体在 x,y 方向的速度分量, ρ 为气体密度, p 为气体压力, μ 为气体黏性系数. 相应的边界条件为 (其中 v_1 和 v_2 分别为两侧和中间风室风速):

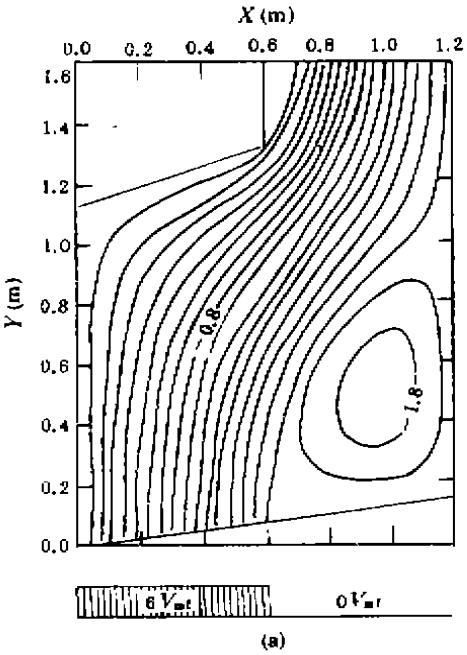
(1) 布风板处为流化气体入口条件: $u=0, v=v_1$ 或 v_2;

(2) 侧壁处为无滑移边界条件: $u=0, v=0$;

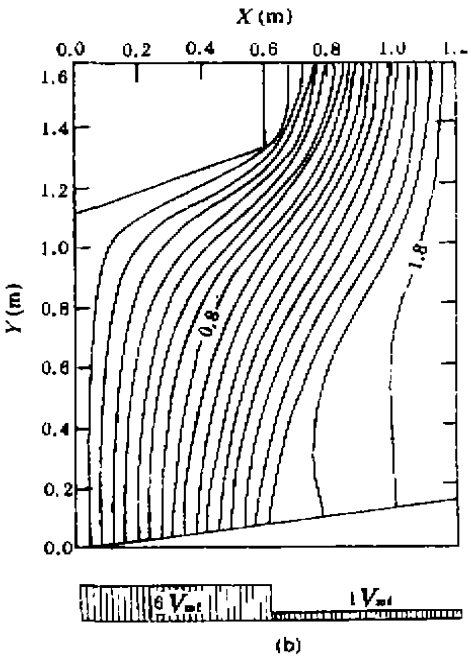
(3) 喉部末端为充分发展的边界条件: $u=0$, $\partial v/\partial y=0$;

(4) 炉体中心线处为对称条件: $u=0$, $\partial v/\partial x=0$.

我们利用 SIMPLE 方法 [3] 数值求解基本方程 (1)-(3). 计算中取炉体长度 $L=2.4$m, 偏转板喉部末端高度 $H=1.6$m, 偏转板底面倾角为 20°, 布风板倾角为 10°, 临界流化速度 $V_{mf}=0.4$m/s. 计算结果在图 2 中给出, 它们可以为确定流化床的空床表观速度、分析浓相床层流化状态和循环流谱提供依据. 数值分析表明了各风室流化速度配置是影响炉内气体流场结构的重要因素. 图 2(a) 给出中心风室风量为零时炉内流场流函数的分布特性. 此时在中心风室上方有一个死水区. 随着中心风速的增加, 死水区逐渐减小. 当中心风速达到临界流化速度而两侧风速为 6 倍临界流化速度时, 死水区消失, 如图 2(b) 所示. 如果保持中心风速在临界流化速度下而改变两侧风速, 则可以看到当两侧风速超过 8 倍临界流化速度以后又会出现死水区. 因此适当选择中心风室和两侧风室的流化速度配置是决定回旋流型流化床运行状态的一个主控参数.



(a)



(b)

维普资讯 http://www.cqvip.com

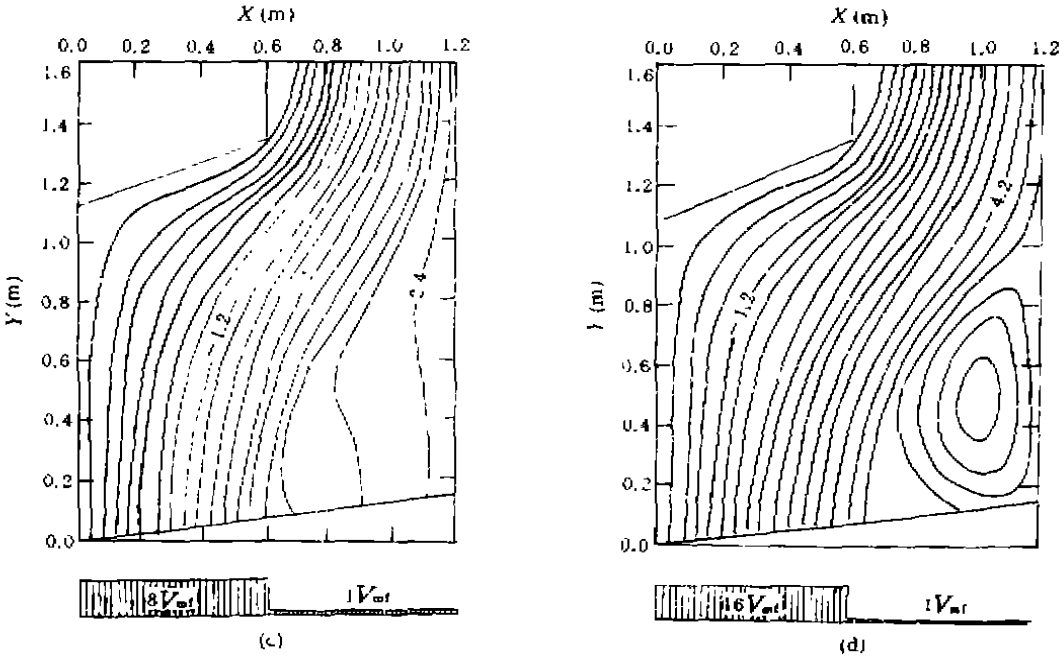


图 2 回旋流型流化床稳态气流场流动特性

4 结 论

回旋流型流化床技术采用非均匀的分段风量配置与侧壁偏转板结构相结合的方式形成中心移动床和两侧流化床的复式流化状态，实现了固体颗粒床料在浓相床区内的大尺度回旋运动，因而广泛适宜应用于城市固体废弃物的焚烧制能工厂。通过冷模实验和数值分析表明，在给定炉体炉膛结构型式的条件下各风室间流化速度（或操作气速）的恰当配置是确保炉内气体流动有效组织的重要因素。

参 考 文 献

1 Hideo Ishihara, Takahiro Ohshita and Harumitsu Saito. Thermal reactor of fluidizing bed type. US Patent, 1983, 4.419,330

2 Howard J R. Fluidized Bed. Applied Science Publishers, 1983: 126-138

3 陶文铨. 数值传热学. 西安：西安交通大学出版社，1988.

（1993 年 5 月 11 日收到第 1 稿，
1993 年 9 月 7 日收到修改稿）

Melnikov 方法没有平移不变性

陈 立 群
（鞍山钢铁学院 鞍山 114002）

摘要 本文指出 Melnikov 方法应用中的一个问题。由该方法得到的参数空间中混沌区域受平移变换影响，因而对相同系统以不同方式应用该方法将得到不同的混沌阈值。最后初步分析了产生这种现象的原因。

关键词 Melnikov 方法，平移不变性，混沌