

湍流射流火焰中煤粉颗粒尺寸和结构的变化*

周 进

(国防科技大学航天技术系 长沙 410073)

S. Godoy, F. C. Lockwood

(Imperial College of Science, Technology and Medicine, U. K.)

摘 要 采用湍流煤粉射流火焰模拟实际工业煤粉燃烧中的迅速热解, 取样分析实验研究煤粉热解过程中颗粒尺寸和内部结构的变化。结果表明: 在热解过程中煤粉颗粒体积发生了明显的膨胀, 膨胀程度强烈地依赖于颗粒的初始尺寸和加热速率; 热解时挥发份的迅速释放及煤的热塑性导致了颗粒内部的空心结构, 这种结构有效地提高炭粒的燃烧速率。

关键词 煤粉, 热解, 湍流射流火焰

分类号 TK411.12, TQ530.2

A Study of Variation of Size and Structure of Pulverized Coal Particles in a Turbulent Jet Flame

Zhou Jin

(Department of Aerospace Technology, NUDT, Changsha 410073)

S. Godoy, F. C. Lockwood

(Imperial College of Science, Technology and Medicine, U. K.)

Abstract A turbulent coal jet flame is employed to simulate the rapid devolatilization of pulverized coal in practical coal combustion. The variation of the size and internal structure of coal particle during devolatilization were investigated through a sampling analysis technique. It is found that the volume of coal particles obviously expands during the devolatilization and the extent of the expansion heavily depends on the particle size and heating rate. During the devolatilization, the hollow structure of coal particles is formed due to the rapid release of volatile, which can result in more rapid combustion of

* 1996年4月30日收稿

char particles.

Key words pulverized coal, devolatilization, turbulent jet flame

在热解过程中煤粉颗粒的尺寸和内部结构都将发生变化。这种颗粒尺寸和结构的变化会明显地改变颗粒内部的传热和传质特性,因此对于煤粉的热解和所形成的炭粒的燃烧都有很大影响。研究表明,热解过程中煤粉颗粒尺寸和结构的变化主要依赖于煤的性质,并且与环境条件和加热速率有关。然而已有的研究工作大多是层流和较低的加热速率下进行的,这与实际工业煤粉燃烧中强烈的湍流运动和迅速加热差别很大^[1,2]。

1 实验装置和条件

为了真实地反映实际工业煤粉燃烧的情况,本研究设计了一个“平面火焰—煤粉射流”实验装置,其结构如图1所示。整个系统由平面火焰燃烧器,增压式振动供煤器,供气管路,防风罩和烟道组成。燃烧器使用天然气/空气混合气体为燃料,燃烧时形成一直径为100mm的平面火焰,火焰温度1873K,燃气速度约1—2m/s。煤粉由空气携带通过一个固定的燃烧器中心的直径为5mm的不锈钢管垂直向上地喷入平面火焰中,射流出口雷诺数约为5000(按冷态计算)。煤粉空气射流的湍流特性保证了煤粉颗粒与周围高温燃气的迅速混合,火焰中颗粒的加热速率达到 10^5K/s ^[3]。

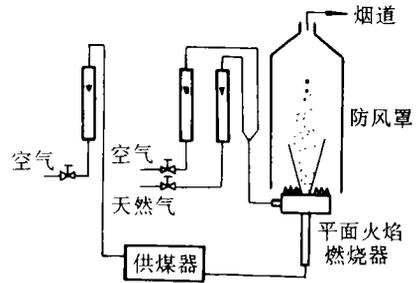


图1 实验装置示意图

实验采用一水冷/氮淬熄取样探头,沿煤粉射流火焰轴向对部分热解和燃烧的煤粉颗粒进行取样,并同时利用激光多卜勒仪对射流火焰中颗粒速度进行测量,并以此来确定煤粉颗粒到达每一个取样位置时在火焰中的停留时间。对所收集到的颗粒样品利用Malvern激光散射粒度仪和高倍电子显微镜进行颗粒尺寸和结构分析。

实验中所用煤粉的性质列于表1。实验所用煤粉的初始尺寸分布有三种:一种是未经漏选的尺寸分布煤粉,另两种是经过漏分的均匀尺寸煤粉,相应的尺寸范围分别为38—53 μm (细煤粉)和75—106 μm (粗煤粉)。

表1 实验所用煤粉性质

工业分析	水分	挥发份	固定碳	灰份	
wt %	4.52	36.75	59.20	4.05	
元素分析	C	H	N	S	O
wt %	86.01	4.32	1.53	1.65	12.49

2 实验结果和分析

图2所示为煤粉射流火焰中分布煤粉的颗粒尺寸分布随时间的变化。由图可见煤粉的颗粒尺寸分布随煤粉在火焰中的滞留时间明显地向大尺寸方向移动。热解时颗粒尺寸的增大主要是由于颗粒体积的膨胀。通常由于烟煤具有较大的热塑性,在高温下颗粒溶化

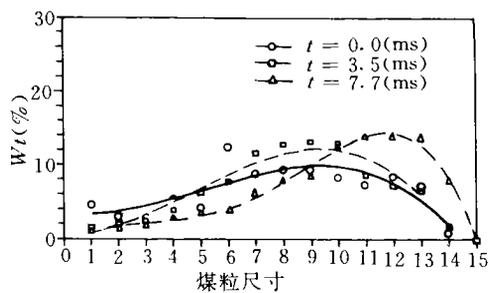


图2 射流焰中煤粉颗粒尺寸分布的变化



图3 射流火焰中细煤粉颗粒结构的变化

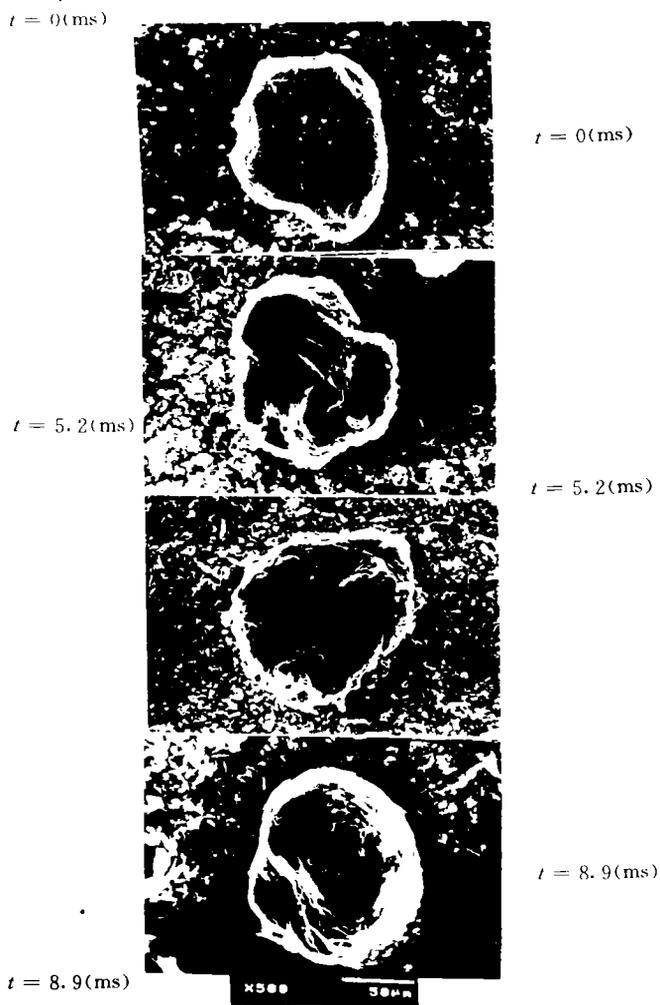


图4 射流火焰中粗煤粉颗粒结构的变化

使得颗粒表面的一些微孔封闭阻碍了挥发份的释放,这样热解所产生的大量挥发份气体因不能及时排入到气相中去,而在颗粒内部产生一定的内压,从而导致了颗粒体积的膨胀。除了体积膨胀以外,当然还存在着其它一些影响颗粒尺寸分布的因素,如颗粒的非均相燃烧,颗粒的破碎和聚集。

图3所示为均匀细颗粒煤粉火焰中所收集的不同热解程度的煤粉颗粒的显微照片。从这些照片上可以看出,在热解初始阶段煤粉颗粒由于熔化和变形其形状更趋于球形,并且煤粉颗粒尺寸在热解过程中因膨胀而明显增大。对于初始直径为 $38\sim 53\mu\text{m}$ 的煤粉颗粒,其直径增大了约 $40\%\sim 60\%$ 。同时这些照片也显示了在热解过程中颗粒内孔结构的变化过程。在热解初始阶段因颗粒内部挥发份的产生和释放,导致了颗粒体积的明显膨胀,并在颗粒表面形成了一些小孔。从这些孔的分布情况来看,这时挥发份的释放沿整个颗粒表面相对比较均匀。随着颗粒温度迅速上升,热解进一步加快,所形成的挥发份使得颗粒内部压力不断上升,当压力升高到一定程度时,挥发份将冲破颗粒表面呈大股射流喷入到气相中去,并在颗粒表面形成一个或几个直径与颗粒尺寸相当的大孔,这时颗粒内部基本成为空心状。另一方面,以大股射流方式喷出的挥发份将会在煤粉颗粒周围形成局部的富燃环境。在这种富燃环境中,挥发份中的碳氢化合物很容易形成碳黑。此外,这种富燃环境还将影响气相中其它污染物如UHC和 NO_x 的浓度。作者有关火焰积炭现象观察和气相成份测量结果也都已证实了以上分析^[3]。

作为比较,图4给出了在均匀粗颗粒煤粉火焰中所收集的不同热解程度的煤粉颗粒的显微照片。从图3和图4不难看出,煤粉颗粒尺寸对热解过程中颗粒尺寸和内孔结构变化的影响。很明显,对于大颗粒煤粉在相同的滞留时间内,其尺寸和结构变化远没有小颗粒剧烈。

3 结 论

(1)热解过程中煤粉颗粒体积将发生明显的膨胀。体积膨胀的程度强烈依赖于颗粒的初始尺寸和加热速率,小颗粒较大颗粒表现出更大的体积膨胀性。

(2)热解过程中挥发份的迅速释放和煤的热塑性导致了颗粒内部的空心结构,这大大减小了气相氧的扩散阻力,增大了颗粒反应表面积,有效地提高了炭粒的燃烧速率。

参考文献

- 1 Melean W J, Hardesty D R and Pohl J H. Direct Observations of Devolatilizing Pulverized Coal Particles in a Combustion Environment. 18th Symposium (Int.) On Combustion, 1981, 1239~1248
- 2 Beck N C and Hayhurst A N. The Early Stages of the Combustion of Pulverized at High Temperature II Measurement of the Size and Composition of the Resulting Char. Combustion and Flame, 1990, 80:170
- 3 周进. 煤粉火焰中煤的迅速热解和燃烧及其污染物形成的实验和理论研究:[学位论文] 长沙:国防科技大学, 1993

(责任编辑 石少平)