

流化床 O_2/CO_2 燃烧(Ⅲ) —氧浓度对粒径的影响

赵 科,谭 力,段翠九,吕清刚

(中国科学院工程热物理研究所,北京 100190)

摘 要: 为研究氧浓度对燃料粒径的影响,在 15 kW 循环流化床试验系统和 0.15 MW 循环流化床试验系统上进行不同氧气浓度、不同燃料、不同粒径的燃烧试验。试验结果表明,燃烧高挥发分的煤时,氧气浓度对燃料的热破碎有较大影响,进而影响燃料粒径。50% 左右氧气浓度下时,燃烧高挥发分燃料,平均粒径要比在常规空气下燃烧增加约 35%。低挥发分的神木半焦在燃烧过程中热破碎较弱,氧气浓度对热破碎特性影响不大,粒径和空气燃烧条件下无明显差异。

关 键 词: 流化床; O_2/CO_2 ; 燃烧; 热破碎; 氧浓度; 粒径

中图分类号: TK16 文献标识码: A

引 言

循环流化床 O_2/CO_2 燃烧技术在减缓 CO_2 方面具有一系列优势。首先,能获得高浓度的 CO_2 ,以实现捕集和储存燃烧生成的 CO_2 ^[1]。其次,保留了循环流化床燃料适应广、脱硫成本低等优点。第三,由于燃烧室内有大量的循环床料,系统热惯性大,燃烧室内传热传质强烈,能避免局部高温,有利于实现高氧气浓度下的稳定燃烧^[2~3]。而采用较高氧气浓度燃烧,有利于加快燃烧速度、提高燃烧效率、增加容积热负荷、减少锅炉尺寸。此外,提高氧气浓度,再循环烟量减少,能够降低再循环烟气风机的能耗。

中国科学院、University of Utah、Canmet Energy、FW 公司、东南大学、浙江大学等均开展了循环流化床高氧气浓度下的燃烧试验^[2~8]。中国科学院在 30 kW 循环流化床试验系统上研究了 O_2/N_2 气氛下燃烧试验,3 个煤种在氧气浓度 33%~35% 时实现安全、稳定、无结焦燃烧^[2]。2011 年,中国科学院的 0.15 MW 循环流化床试验系统(以下简称 0.15 MW 系统)调试成功并投入科学研究,在一次风氧气浓度 49%~53%、二次风氧气浓度 51%~56% 时实现稳定燃烧,大幅度提高氧气浓度、增加容积热负荷^[3]。然而,在 0.15 MW 系统上进行高氧气浓度燃

烧试验时,某些煤样出现飞灰比例偏高、CO 浓度高、燃烧室内温度梯度大等问题。根据试验现象初步推测,是由某些煤在高氧气浓度燃烧时热破碎增强所致。文献[4~8]进行了高氧气浓度下的研究,但缺乏氧浓度对燃料粒径的影响的相关研究,而且比 0.15 MW 系统氧气浓度低。文献[9~10]进行了热破碎的机理研究,但缺乏高氧气浓度下的相关研究,更缺乏循环流化床中的试烧研究结果。

为探索原因并解决试验中的问题,在 15 kW 循环流化床空气燃烧试验系统(以下简称 15 kW 系统)和 0.15 MW 系统上进行不同氧气浓度、不同燃料、不同粒径的燃烧试验,找出了问题原因并提出解决方法。最后,结合本研究成果,对高氧气浓度燃烧时的粒径选择提出建议。

1 试验研究

1.1 15 kW 系统

15 kW 系统如图 1 所示,循环流化床提升管高度 3 000 mm,二次风口距布风板高度 1 500 mm,二次风口以下提升管的直径 70 mm,二次风口以上提升管的直径 100 mm。分别用 4 支转子流量计测量一次风、二次风、播煤风和返料风的流量,精度为 1.5%。安装 5 支 K 型热电偶($T_0 \sim T_4$),布风板下 40 mm 处的 T_0 测量一次风温度,提升管内布置的 $T_1 \sim T_3$ 分别位于距布风板以上 100、550、2 950 mm 高度处,返料器底部布置的 T_4 测量返料温度。

用 KM9106 烟气分析仪在线分析烟气中氧气浓度,烟气中其余组分用 GASMET DX4000 分析仪测量。

1.2 0.15 MW 系统

0.15 MW 系统的燃烧室高度 6 000 mm。燃烧室在 1 500、2 000 mm 高度处有两个二次风口,试验

收稿日期: 2011-10-31; 修订日期: 2011-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(50906084); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KGCX2-YX-399+3); 中国博士后科学基金(20090450578)

作者简介: 赵 科(1979-),男,陕西宝鸡人,中科院工程热物理研究所助理研究员。

中均使用 2 000 mm 处的二次风口。旋风分离器、返料器、料腿均为为绝热。燃烧气氛为 O₂/N₂，由制氧机产生的氧气和空气混合而成，制氧机的氧气纯度 83% 以上(其余为氮气)。燃烧室内布置六根 K 型热电偶，分别位于距布风板以上 250、800、1 600、2 500、4 000、5 700 mm 高度处，烟气中氧气浓度用氧化锆分析仪在线分析，烟气中其余组分用 GAS-MET DX4000 分析仪测量，试验系统的详细介绍如文献 [3] 所示。

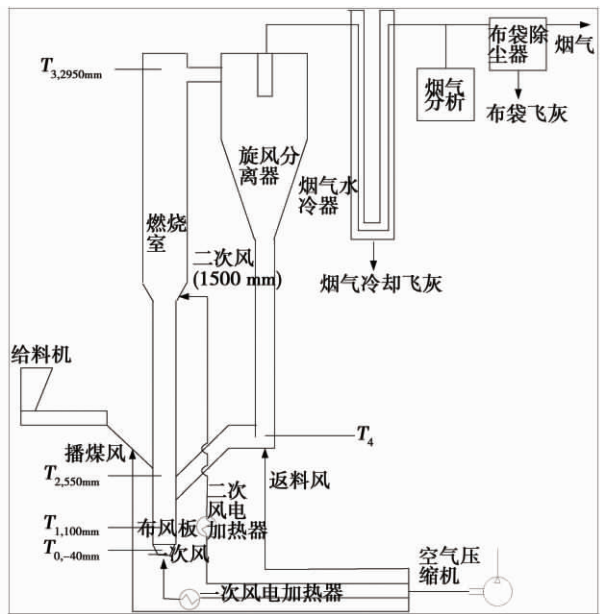


图 1 15 kW 循环流化床试验系统

Fig.1 Test system of a 15 kW circulating fluidized bed

1.3 试验样品

本研究共完成 10 个工况。使用大同煤、石沟驿煤和神木半焦，工业分析及元素分析结果如表 1 所示。15 kW 系统试验中，试验床料为 0.1 ~ 0.5 mm 的河砂，质量 3 kg，燃料粒径为 0 ~ 1 mm。0.15 MW 系统试验中，试验床料为 0.1 ~ 2 mm 的河砂，质量 3 kg，大同煤使用两种粒径分布，分别为 0 ~ 4 mm(以下称大同煤粒径 A)和 0.3 ~ 4 mm(以下称大同煤粒径 B)，石沟驿煤和神木半焦的粒径为 0 ~ 4 mm。各煤样的粒径分布如图 2 所示。

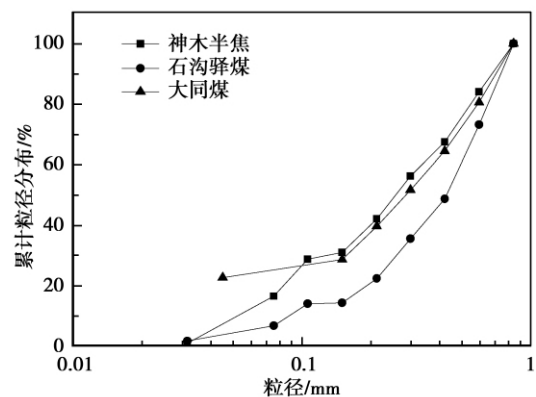
1.4 试验工况

在 10 个工况中，工况 1 ~ 3 在 15 kW 系统上进行，试验条件如表 2 所示，所有风均为空气，室温送入。工况 4 ~ 10 在 0.15 MW 系统进行，试验条件如表 3 所示，试验中返料风为空气，表中的一次风氧气浓度、二次风氧气浓度是根据空气流量和氧气流量所得的计算值。

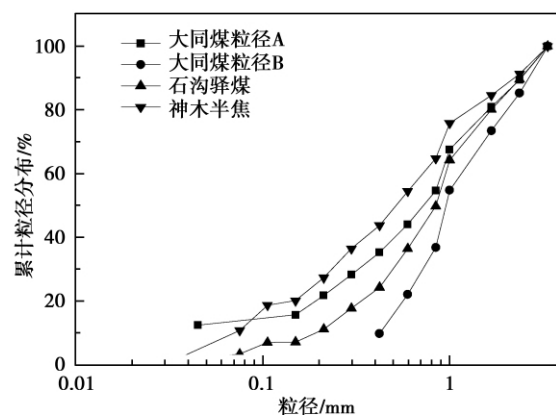
表 1 工业分析及元素分析

Tab.1 Industrial and elementary analysis

	大同煤	石沟驿煤	神木半焦
元素分析 / %			
C _{ar}	58.08	50.43	68.73
H _{ar}	3.73	3.21	1.26
O _{ar}	8.58	0.62	3.57
S _{ar}	0.32	2.03	0.32
N _{ar}	1.04	0.62	0.68
工业分析 / %			
M _{ar}	2.2	9.0	11.6
A _{ar}	26.05	25.87	13.83
V _{daf}	38.15	41.10	9.84
FC _{ar}	44.38	38.37	67.23
Q _{net,ar} / MJ · kg ⁻¹	22.61	19.48	23.97



(a) 15 kW 系统中使用煤样的粒径分布



(b) 0.15 MW 系统中使用煤样的粒径分布

图 2 煤的粒径分布

Fig.2 Particle diameter distribution of coal

表2 15 kW 系统的试验条件

Tab.2 Test conditions for a 15 kW system

工况	煤种	D ₅₀ /mm	一次风量/ m ³ ·h ⁻¹	二次风量/ m ³ ·h ⁻¹	返料风/ m ³ ·h ⁻¹	播煤风/ m ³ ·h ⁻¹	给煤量/ kg·h ⁻¹	总风量/ m ³ ·h ⁻¹
1	大同煤	0.28	7.8	4.2	1.5	1.5	2.39	15
2	石沟驿煤	0.45	7.8	4.2	1.5	1.5	2.77	15
3	神木半焦	0.25	7.8	4.2	1.5	1.5	2.25	15

表3 0.15 MW 系统的试验条件

Tab.3 Test conditions for a 0.15 MW system

工况	煤种	D ₅₀ / mm	一次风氧气/ m ³ ·h ⁻¹	一次风空气/ m ³ ·h ⁻¹	二次风氧气/ m ³ ·h ⁻¹	二次风空气/ m ³ ·h ⁻¹	返料风/ m ³ ·h ⁻¹	给煤量/ kg·h ⁻¹	总风量/ m ³ ·h ⁻¹
4	大同煤粒径 A	0.72	13.8	22.88	15	8.71	3.3	24.1	63.69
5	大同煤粒径 B	0.97	13.8	22.88	15	8.71	3.3	24.1	63.69
6	大同煤粒径 B	0.97	17.22	19.05	11.58	12.78	3.3	24.1	63.93
7	大同煤粒径 B	0.97	19.92	16.12	8.7	15.63	3.3	24.1	63.67
8	石沟驿煤	0.85	17.22	19.05	11.58	12.78	3.3	28.0	63.93
9	石沟驿煤	0.85	19.92	16.12	8.7	15.63	3.3	28.0	63.67
10	神木半焦	0.52	13.8	22.88	15	8.71	3.3	22.5	63.69

1.5 试验过程

15 kW 系统试验过程为:向燃烧室加入 0.1 ~ 0.5 mm 的河砂 3 kg 作为床料,用电加热器将密相区加热到 600 °C,投煤并调节风量,燃烧室温度到 800 °C 后关电加热器,温度到设计工况且燃烧室的温度、压力、烟气组分均稳定后,进入试验工况。进入工况并运行 3 h 后停炉,清理布袋内灰,作为飞灰质量,排出燃烧室内床料,减去加入河砂质量后为底渣质量。

0.15 MW 系统试验过程为:向燃烧室内加入 0.1 ~ 2 mm 的河砂 3 kg 做为床料。燃烧室的温度、压力、烟气组分均稳定后,进入试验工况。进入工况前清理布袋除尘器内飞灰,工况内运行时通过排放底渣保持燃烧室压差稳定,记录底渣质量,工况结束时排出布袋除尘器内飞灰并称量。

2 试验结果与分析

2.1 空气气氛的燃烧试验

空气气氛的燃烧试验在 15 kW 系统上进行,燃烧室不同位置的温度分布如表 4 所示。可以看出,试验所用的 3 个煤种在燃烧时燃烧良好、物料循环畅通,燃烧室内温度均匀,燃烧室不同高度的温度差不超过 40 °C。试验过程中烟气的氧量控制在 6% 左右,试验的烟气成份如表 5 所示,可见,CO 浓度为

31 ~ 352 mg/MJ,燃烧状况理想。飞灰和底渣比例(以下简称灰渣比)如表 6 所示,3 种燃料的飞灰比例为 42.4% ~ 56.3%,灰渣比合适,有足够的细灰以维持循环,又不会因细灰过多而导致床料逐渐减少。综上,3 种燃料在空气气氛下燃烧时,温度、烟气成份、灰渣比等参数均满足试验要求。

表4 燃烧室不同位置的温度分布(°C)

Tab.4 Temperature distribution in the combustion chamber at various locations(°C)

工况	煤种	燃烧室 50 mm	燃烧室 550 mm	燃烧室 2 950 mm
1	大同煤	891	901	864
2	石沟驿煤	844	851	834
3	神木半焦	884	895	858

表5 烟气成份

Tab.5 Composition of flue gas

工况	O ₂ / %	N ₂ O/ mg·MJ ⁻¹	CO/ mg·MJ ⁻¹	NO/ mg·MJ ⁻¹	SO ₂ / mg·MJ ⁻¹
1	5.83	97	118	82	167
2	6.03	68	31	94	1390
3	6.89	222	352	345	475

2.2 高氧气浓度燃烧试验

高氧气浓度燃烧试验在 0.15 MW 系统上进行。

根据 15 kW 系统的粒径和本试验室以前在系统放大过程中的经验,制备了大同煤粒径 A 并进行试烧(即工况 4)。试验结果如表 7 所示、表 8 和表 9 所示,可以看出,工况 4 在运行过程中有如下特点:(1) 燃烧室内温度梯度大,且密相区温度低而稀相区温度高,而常规循环流化床在运行中密相区和稀相区温度接近。(2) 燃烧室 5 700 mm 处温度 857 °C,烟气中 O₂ 为 7.6%,但烟气中 CO 浓度高,达到 1 675 mg/MJ(折合 10 150 ppm),根据空气气氛燃烧的结果类比,在本工况的温度和烟气中氧浓度下,CO 排放不应该太高。(3) 飞灰比例高,无循环灰生成,甚至运行过程中燃烧室内床料逐渐减少,需要补充细河砂以维持循环。从表 1 看出,灰分 26.05%,应该能产生足够的循环灰。15 kW 系统的结果也表明,大同煤在空气气氛下燃烧时能产生足够的循环灰。造成上述现象主要是由于煤进入燃烧室后发生热破碎,煤粉破碎后变为细粉并大量进入稀相区燃烧,减少了密相区的燃烧份额并增加了稀相区的燃烧份额,所以密相区温度低而稀相区温度高。大量的旋风分离器无法分离的细粉进入稀相区,和氧气没有充足的时间燃烧并从旋风分离器逃逸,导致烟气中 CO 浓度偏高。同时,由于大量细粉从旋风分离器逃逸,导致飞灰比例高和无循环灰。

表 6 飞灰和底渣的比例

Tab. 6 Proportion of the flying ash and bottom slag

工况	煤种	飞灰/%	底渣/%
1	大同煤	56.3	43.7
2	石沟驿煤	42.4	57.6
3	神木半焦	47.3	52.7

基于对工况 4 的分析,工况 5~7 改变煤样制备方法,增大煤样粒径, D₅₀ 由 0.72 mm 增加到 0.97 mm。可以看出,工况 4 和工况 5 的风量配比相同,在改变粒径后,燃烧室内 6 个温度测点的温度均匀,稀相区和密相区温度接近。烟气中 CO 大幅度下降,由 1 675 mg/MJ 降低到 33 mg/MJ,降低 98%。从飞灰和底渣来看,虽然燃烧过程中几乎不增加循环灰,但燃烧室内压差能保持稳定。工况 5~7 连续运行 4 小时,不需要定时增加细河沙。工况 5~7 的煤样相同,风量配比不同,均能实现理想燃烧,可见,增加粒径后,前述 3 个问题均获得解决。

根据以往在燃烧系统放大过程中的粒径选取经验,大同煤粒径 A 的粒径合适,但对比工况 4 和工况 5~7 的结果可以看出,依据以往的经验选取会导

致粒径偏小,并非以往粒径选取经验不对,而是燃烧气氛不同导致热破碎特性不同,导致燃料进入燃烧室后粒径变化幅度有所不同,高氧气浓度燃烧时需要对以往的粒径选取经验进行修正。以往的经验基于相同气氛(空气)燃烧系统的放大而建立。但 15 kW 系统为空气气氛下燃烧,而 0.15 MW 系统在 50% 氧气浓度下燃烧。而煤在不同氧气浓度下燃烧的热破碎特性会有所不同。煤在燃烧过程中的热破碎主要是由于自身因素而引起的颗粒粒径减小过程,其特点是短时间内快速改变粒径。煤在燃烧过程中的热破碎有两类:第一类破碎是由于煤粒在高温流化床内,挥发分快速脱出而在煤粒内迅速集聚,导致颗粒内部形成压力梯度而引起的破碎;第二类破碎是煤粒脱挥发分后,由于高温热应力的作用,削弱了煤粒内部各元素之间结合的化学键力,导致各种不规则形状的晶粒之间的联结“骨架”被烧掉,因而颗粒在流化床中的剧烈碰撞运动的作用下,引起的破碎。不同氧气浓度下,第一类破碎会有较大不同。高氧气浓度下,煤的燃烧速度更快,挥发分脱除更快,颗粒内部的压力梯度更高,热破碎过程更剧烈,煤的热破碎更强。考虑到高氧气浓度下的热破碎更强,在燃用高挥发分的燃料时,应适当增加 D₅₀。就本研究工况 4 和工况 5~7 的实际调整效果来看,50% 氧气浓度下燃烧时,对高挥发分燃料, D₅₀ 需要比常规空气燃烧系统增加 35%。

石沟驿煤也是高挥发分煤,挥发分为 38.15%,根据前述调整经验,工况 8 和 9 在燃烧石沟驿煤时考虑到高氧气浓度下的粒径修正,增大粒径, D₅₀ 为 0.85 mm。从表 7~表 9 可以看出,温度均匀,CO 浓度低,仅 21~24 mg/MJ,飞灰与底渣比例合适。可见,进行高氧气浓度下的粒径修正后,燃烧总体效果较好。

工况 10 是神木半焦试验,可以看出工况 10 的温度均匀,CO 排放较低。燃烧过程中几乎无循环灰生成,主要是因为神木半焦灰分较低所致。对比工况 10 和工况 4 的粒径,神木半焦的 D₅₀ 仅 0.53 mm,大同煤粒径 A 的 D₅₀ 为 0.72 mm。两个工况的燃烧温度接近,虽然工况 4 的燃料粒径更大,灰分更高,但试验过程却需要补充细河砂作为床料。而工况 10 的粒径更小,灰分更低,但产生的床料却足以维持物料循环。主要是燃料特性导致的上述不同,神木半焦是神木煤在 800 °C 热解后的固体产物,半焦中仅残留少量挥发分,半焦的挥发分为 9.84%,所以热破碎大幅度下降,高氧气浓度和空气燃烧时

热破碎差异不大。可见,对于低挥发分的燃料,高氧空气燃烧条件下差异不大。氧浓度燃烧下的粒径可以较高挥发分煤低,粒径和

表 7 各工况在不同位置点的温度分布(℃)

Tab. 7 Temperature distribution under various operating conditions(℃)

工况	燃烧室 250 mm	燃烧室 800 mm	燃烧室 1 600 mm	燃烧室 2 500 mm	燃烧室 4 000 mm	燃烧室 5 700 mm
4	819	802	798	824	840	857
5	858	840	821	850	865	869
6	869	858	841	867	872	877
7	914	886	853	871	862	865
8	842	875	843	863	864	868
9	864	908	863	881	867	865
10	826	855	830	860	868	876

表 8 烟气成份

Tab. 8 Composition of flue gas

工况	O ₂ / %	N ₂ O / mg · MJ ⁻¹	CO / mg · MJ ⁻¹	NO / mg · MJ ⁻¹	SO ₂ / mg · MJ ⁻¹
4*	7.6	63	1675	61	--
5	5.7	247	33	39	215
6	6.2	139	43	39	235
7	7.9	82	42	50	278
8	3.7	118	21	35	1 374
9	4.7	89	24	36	1 314
10	2.8	25	44	47	354

* 烟气中 CO 浓度太高,所用仪器在高 CO 浓度下无法测量 SO₂ 数值。

表 9 飞灰和底渣比例

Tab. 9 Proportion of flying ash and bottom slag

工况	煤种	飞灰 / %	底渣 / %
4*	大同煤粒径 A	100	0
5	大同煤粒径 B	100	0
6	大同煤粒径 B	100	0
7	大同煤粒径 B	100	0
8	石沟驿煤	85.5	14.5
9	石沟驿煤	77.2	22.8
10	神木半焦	100	0

* 工况 4 运行过程中炉膛压差逐渐减小,需要补充细河砂维持压差。

3 结 论

在 15 kW 系统和 0.15 MW 系统上进行不同氧浓度、不同燃料、不同粒径的燃烧试验,得出以下主要结论:

(1) 燃用高挥发分燃料时,氧浓度对燃料的

热破碎性有较大影响。50% 氧气浓度下燃烧时,对高挥发分燃料, D₅₀ 需要比常规空气燃烧系统增加约 35%。

(2) 低挥发分的燃料在燃烧过程中热破碎较弱,氧浓度对热破碎特性影响不大,粒径和空气燃烧条件下差异不大。

参考文献:

[1] Buhre B J P, Elliott L K, Sheng C D, et al. Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation [J]. Progress in Energy and Combustion Science 2005, 31 (4): 283 - 307.

[2] 赵 科, 吕清刚, 段翠九. 流化床 O₂/CO₂ 燃烧(I) -高氧浓度下的燃烧实验 [J]. 热能动力工程 2011, 26(4): 453 - 456. ZHAO Ke, LU Qing-gang, DUAN Cui-jiu, et al. O₂/CO₂ Combustion in a Fluidized Bed(I) -Combustion Experiment at a High Oxygen Concentration [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2011, 26(4): 453 - 456.

[3] 赵 科, 段翠九, 谭 力, 等. 流化床 O₂/CO₂ 燃烧(II) -高氧浓度的中试研究 [J]. 热能动力工程 2012, 27(3): 350 - 354. ZHAO Ke, DUAN Cui-jiu, TAN Li, et al. O₂/CO₂ Combustion in a Fluidized Bed (II) -Pilot Study at a High Oxygen Concentration [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2012, 27(3): 350 - 354.

[4] Ahn J, Okerlund R, Fry A, et al. Sulfur trioxide formation during oxy-coal combustion [J]. International Journal of Greenhouse Gas Control 2011, 5(5): 127 - 135.

[5] Jia L, Tan Y E A. Emissions of SO₂ and NO_x during oxy-fuel CFB combustion tests in a mini-circulating fluidized bed combustion reactor [J]. Energy & Fuels 2010, 24: 910 - 915.

[6] Jia L, Tan D, McCalden Y, et al. Commissioning of a 0.8 MWth CFBC for oxy-fuel combustion [C] // Proceedings of the 10th international conference on circulating fluidized beds and fluidization technology -CFB-10. Engineering Conferences International: Sunriver 2011: 569 - 576.

[7] 段伦博, 周鹭, 屈成锐, 等. 50 kW 循环流化床 O₂/CO₂ 气氛下煤燃烧及污染物排放特性 [J]. 中国电机工程学报 2011, 31(5): 7 - 12. DUAN Lun-bo, ZHOU Wu, QU Cheng-rui, et al. Coal combustion

and pollutant emission characteristics in a 50 kW circulating fluidized bed in O₂/CO₂ atmosphere [J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering 2011, 31(5): 7-12.

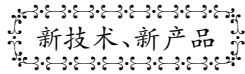
[8] 毛玉如, 方梦祥, 骆仲决, 等. 富氧气氛下循环流化床煤燃烧试验研究 [J]. 燃烧科学与技术, 2005(2): 188-191.
MAO Yu-ru, FANG Meng-xiang, LUO Zhong-yang, et al. Experimental study of coal combustion in a circulating fluidized bed in oxygen-enriched atmosphere [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2005(2): 188-191.

[9] 吴正舜, 刘欣, 吴创之, 等. 煤在燃烧过程中的破碎 [J]. 电站系统工程, 2003, 19(2): 4-7.

WU Zheng-shun, LIU Xin, WU Chuang-zhi, et al. Fragment of coal during its combustion [J]. Power Plant System Engineering, 2003, 19(2): 4-7.

[10] 黄建辉, 徐明厚, 于敦喜, 等. 煤燃烧过程中一次破碎的影响因素分析 [J]. 工程热物理学报, 2005, 26(3): 519-522.
HUANG Jian-hui, XU Ming-hou, YU Dun-xi, et al. Analysis of the factors influencing the primary fragmentation of coal during its combustion [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2005, 26(3): 519-522.

(陈 滨 编辑)



2008 - 2012 年新生产的各型燃气轮机

据《Gas Turbine World》2012 年度手册报道, 过去年(2008 ~ 2012) 已经推出了 31 型新燃气轮机设计, 其主要额定负荷性能在下表给出。

燃气轮机制造商	型号	输出功率/kW	效率/%	燃气初温/℃	推出年份
Kawasaki	MIA-17D	1685	26.6		2010
Zorya-Mashproekt	UGT5000	5100	31.0	1150	2011
MAN Diesel & Turbo	Gt6	6630	32.7	1093	2012
GE Energy	LM1800e	18000	34.4	1221	2011
Centrax	CX300	7900	31.0		2011
Centrax	CX400	12900	34.8		2011
Solar	Titan250	21745	38.9	1288	2008
Aviadvigatel	GTU-25P	23000	36.7	1260	2008
Centrax	CXRB211	32135	39.4		2010
Siemens	SGT-750	35930	38.7	1288	2010
IHI	LM6000PH	49010	41.0		2010
Dresser-Rand	DR-63GPG	50450	41.6		2008
GE Energy	LM6000PH-DLE	51000	42.6	1288	2012
IHI	LM6000PH Sprint	51340	41.0		2010
GE energy	LM6000PG	53500	39.8	1316	2009
IHI	LM6000PG	54620	40.8	1316	2009
IHI	LM6000PG Sprint	55985	40.2		2009
Centrax	Trent60 DLE	60480	40.7	1260	2011
Centrax	Trent60 WLE ISI	64000	41.2	1260	2011
Rolls-Royce	Trent60 WLE ISI	64000	41.6	1316	2011
GE Energy	LMS100PB	100400	44.3	1343	2010
GE Energy	MS70001FA.05	215770	38.6	1399	2010
Alstom	GT24	230700	40.0	1316	2011
Mitsubishi	M501GAC	272000	39.7	1399*	2011
Siemens	SGT6-8000H	274000	40.0	1427	2011
Ansaldo	AE94.3A	294000	39.7	1260	2010
Alstom	GT26	320000	40.0	1316	2011
Mitsubishi	M501J	327000	41.0	1482*	2011
GE Energy	MS9001FB.05	339400	40.0	1399	2008
Siemens	SGT5-8000H	375000	40.0	1427	2008

* 估计的转子进口温度。

(吉桂明 摘译)

three-dimensional measurement is realized through a matching of the test images to be measured and the numerical template. The defocus distance of a numerical image is that of the test image. On the basis of an analysis of the test images and the numerical template, the test images were pretreated and the numerical template was corrected respectively, resulting in a better matching effectiveness of the test fluorescent particle images and the numerical template. **Key words:** micro-fluid, Micro-PIV, three-dimensional measurement, image processing

流化床 O_2/CO_2 燃烧(III) -氧浓度对粒径的影响 = O_2/CO_2 Combustion in a Fluidized Bed(III) -Influence of the Oxygen Concentration on Particle Diameters [刊, 汉] ZHAO Ke, TAN Li, DUAN Cui-jiu, LU Qing-gang (Engineering Thermophysics Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100190) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(4). - 449 ~ 454

To study the influence of the oxygen concentration on particle diameters of fuel, a combustion test was performed at different oxygen concentrations, fuels and particle diameters in a 15 kW and 0.15 MW circulating fluidized bed test system respectively. The test results show that when coal with a high volatile content is burned, the oxygen concentration has a relatively big influence on the thermal fragmentation of fuel and subsequently affects the particle diameters of fuel. During the combustion at an oxygen concentration of about 50%, for fuel with a high volatile content, the average particle diameter will increase by about 35% when compared with the conventional air combustion. During the combustion process, the thermal fragmentation of Shenmu-originated semi-coke with a low volatile content is relatively weak and the oxygen concentration has no big influence on the thermal fragmentation characteristics and the particle diameters have no obvious difference to those under the condition of air combustion. **Key words:** fluidized bed, O_2/CO_2 combustion, thermal fragmentation, oxygen concentration, particle diameter

440 t/h CFB 锅炉掺烧石油焦二氧化硫排放特性研究 = Study of the SO_2 Emission Characteristics of a 440 t/h Circulating Fluidized Bed Boiler Burning Coal Mixed and Diluted With Petroleum Coke [刊, 汉] ZHANG Zhong-lin (Engineering Center for Electric Power Simulation and Control, Nanjing Engineering College, Nanjing, China, Post Code: 210013), CHEN Xiao-ping (College of Energy Source and Environment, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2012, 27(4). - 455 ~ 458

In a 440 t/h large-sized circulating fluidized bed boiler, an experimental study of its sulfur dioxide emission charac-