

# 流化床 $O_2/CO_2$ 燃烧( I )-高氧浓度下的燃烧实验

赵 科<sup>1</sup>, 吕清刚<sup>1</sup>, 段翠九<sup>2</sup>

(1. 中国科学院工程热物理研究所, 北京 100190; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 为给大型循环流化床  $O_2/CO_2$  燃烧系统在高氧气浓度下的燃烧提供参考, 在  $O_2/N_2$  气氛中, 利用提升管直径 100 mm、高 3 000 mm 的循环流化床燃烧实验系统, 研究了 3 个煤种在高氧气浓度下的燃烧特性和温度分布特性。实验结果表明, 平均氧气浓度 34.4% , 或局部氧气浓度 75.3% 时均可以实现稳定、无过热燃烧。龙口煤的烟气中  $NO_x$  占总氮氧化物排放量的 89.3% ~ 90.3% , 而朔州煤的  $NO_x$  仅占 30.0% 。通过优化配风, 烟气中  $CO$ 、 $N_2O$  和  $NO_x$  的浓度可以分别降低到 45%、94% 和 89% 。

关 键 词: 流化床;  $O_2/CO_2$ ; 高氧燃烧; 煤粉

中图分类号: TK16 文献标识码: A

## 引 言

目前, 捕集和储存利用煤  $O_2/CO_2$  燃烧生成的  $CO_2$ , 被认为是近期内减缓  $CO_2$  排放较为可行的措施与技术<sup>[1-2]</sup>。  $O_2/CO_2$  燃烧, 是将空气分离获得的氧气和再循环烟气混合成氧气浓度 21% ~ 60% 的  $O_2/CO_2$  混合气, 送入炉膛内燃烧, 出口烟气经冷却后一部分作为再循环烟气进入炉膛, 另一部分烟气 ( $CO_2$  质量分数大于 95%) 经处理后用来埋存<sup>[3-6]</sup>。

已经进行的  $O_2/CO_2$  燃烧研究主要集中于煤粉锅炉<sup>[7-11]</sup>。在煤粉锅炉的商业示范及中试研究中, 基于避免局部高温而产生结焦及控制热力型  $NO_x$  等目的, 氧气浓度普遍控制在 21% ~ 30% , 缺乏更高氧气浓度下的燃烧实验, 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。循环流化床内有大量的循环床料, 系统热惯性大, 炉膛内传热传质强烈, 能避免局部高温, 有利于氧气浓度下的安全稳定燃烧。因此, 本研究设计了循环流化床燃烧实验系统, 研究了 3 个煤种在不同氧气浓度下的燃烧特性, 为大型循环流化床  $O_2/CO_2$  燃烧系统的设计提供参考。

## 1 循环流化床 $O_2/CO_2$ 燃烧实验

### 1.1 实验系统

循环流化床燃烧实验系统如图 1 所示, 循环流化床提升管高度 3 000 mm, 二次风口中心距布风板高度 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。返料器为气动 U 型阀结构, 采用风管布风。料腿内布置冷却器, 通过调节冷却器的换热量, 确保实验系统在不同热功率下均能稳定运行。

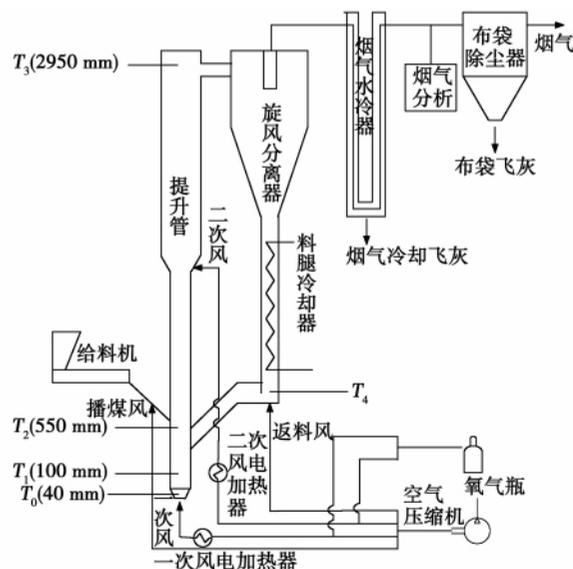


图 1 循环流化床燃烧实验系统

实验的燃烧气氛为  $O_2/N_2$  气氛, 由纯度 99.9% 的瓶装氧气和空气混合而成。实验系统共使用 6 支转子流量计测量风量, 一次风空气流量计、二次风空气流量计和播煤风流量计的精度为 1.5% , 一次风氧气流量计、二次风氧气流量计和返料风流量计的

收稿日期: 2010 - 07 - 23; 修订日期: 2011 - 03 - 08

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

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

精度为 2.5%。播煤风和返料风为空气,一次风和二次风依据工况设计调节空气和氧气的流量。实验系统安装 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 100、550 和 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,烟气浓度分析数据 1 min 采集一次。炉膛温度和压力由 Agilent 数据采集板采集,每 20 s 采集一次,计算机保存。气体流量计由人工读数并记录。文中气体浓度均指体积百分比浓度。

### 1.2 实验样品

实验所用的 3 个煤种的元素分析及工业分析如表 1 所示,粒径范围为 0 ~ 1 mm 粒径分布如图 2 所示。选用粒径 0.1 ~ 0.7 mm 的河沙为实验床料。

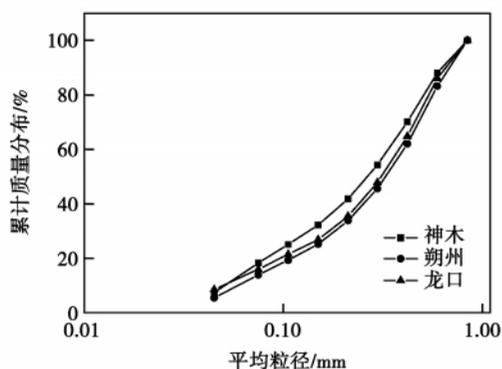


图 2 实验用煤的粒径分布

表 1 实验用煤的元素分析和工业分析

	神木煤	龙口煤	朔州煤
元素分析			
$C_{ar} / \%$	63.13	65.98	53.76
$H_{ar} / \%$	4.10	3.45	3.47
$O_{ar} / \%$	10.05	13.05	8.71
$S_{ar} / \%$	0.57	0.40	1.53
$N_{ar} / \%$	1.02	0.67	0.84
工业分析			
$M_t / \%$	9.1	8.4	7.8
$A_{ar} / \%$	12.02	8.05	23.89
$V_{ar} / \%$	32.08	26.98	26.64
$FC_{ar} / \%$	46.8	56.57	41.67
$Q_{net,ar} / MJ \cdot kg^{-1}$	24.46	24.65	20.63

### 1.3 实验工况

实验共安排 10 个工况,研究了 3 个煤种在不同氧气浓度下的燃烧特性和温度分布特性,各工况的实验条件如表 2 所示。烟气中的氧气浓度控制在 2.0% ~ 7.9%。播煤风和返料风使用空气,流量均为 1.6 m<sup>3</sup> / h。一次风和二次风使用空气和氧气的混合气,通过调节氧气和空气的流量来改变其氧气浓度。各工况的风量配比如表 3 所示。平均氧气浓度是一次风、二次风、播煤风和返料风氧气浓度的加权值,最大局部氧气浓度指 4 股风中最大的氧气浓度。

表 2 各工况的实验条件

工况	煤种	平均氧气浓度 / %	一次风氧气浓度 / %	二次风氧气浓度 / %	最大局部氧气浓度 / %	烟气中氧气浓度 / %	燃料量 / $kg \cdot h^{-1}$	冷却器的换热量 / kW
1	神木煤	20.9	20.9	20.9	20.9	2.0	2.6	9.5
2	神木煤	23.2	24.1	20.9	24.1	6.0	2.6	9.5
3	神木煤	25.6	27.4	20.9	27.4	6.8	2.6	9.5
4	神木煤	28.0	30.7	20.9	30.7	3.6	3.3	14.2
5	神木煤	30.6	34.1	20.9	34.1	4.0	4.1	20.1
6	龙口煤	20.9	20.9	20.9	20.9	3.0	1.5	2.3
7	龙口煤	27.6	27.3	37.0	37.0	4.8	3.5	16.2
8	龙口煤	32.8	27.2	75.3	75.3	7.1	3.0	12.5
9	龙口煤	33.4	34.4	27.9	34.4	7.9	3.0	12.5
10	朔州煤	34.4	33.4	57.8	57.8	7.8	3.7	13.2

表3 各工况的风量配比 (m<sup>3</sup>/h)

工况	一次风 空气量	一次风 氧气量	二次风 空气量	二次风 氧气量	返料 风量	播煤 风量	总风量
1	11.4	0.0	6.3	0.0	1.6	1.6	20.8
2	11.4	0.6	6.3	0.0	1.6	1.6	21.4
3	11.4	1.3	6.3	0.0	1.6	1.6	22.1
4	11.4	2.0	6.3	0.0	1.6	1.6	22.9
5	11.4	2.9	6.3	0.0	1.6	1.6	23.7
6	9.1	0.0	2.6	0.0	1.6	1.6	14.9
7	9.1	0.9	6.8	0.8	1.6	1.6	20.8
8	10.2	1.1	2.6	1.7	1.6	1.6	18.8
9	10.2	2.7	2.6	0.3	1.6	1.6	19.0
10	9.1	2.3	2.6	0.8	1.6	1.6	17.9

## 2 实验结果及分析

### 2.1 燃烧特性

各工况测点温度分布如表4所示。工况1~工况5是神木煤在不同氧气浓度下的燃烧实验,平均氧气浓度由20.9%增加到30.6%,最大局部氧气浓度由20.9%增加到34.1%。实验中温度稳定,提升管内3个测点的温度差不超过75℃,实验结束后清理炉内床料,未发现结焦颗粒。表明循环流化床在较高氧气浓度下可以安全、稳定燃烧。

表4 各工况下的温度分布

工况	T <sub>1</sub> /℃	T <sub>2</sub> /℃	T <sub>3</sub> /℃	T <sub>4</sub> /℃
1	753	803	760	548
2	726	755	757	464
3	741	776	755	502
4	739	796	769	550
5	792	865	837	623
6	774	792	679	396
7	821	870	868	573
8	812	837	819	568
9	825	856	801	583
10	759	810	770	462

基于神木煤实验,对龙口煤和朔州煤在高氧气浓度下的燃烧特性进行实验,进一步提高平均氧气浓度和最大局部氧气浓度。龙口的平均氧气浓度由20.9%增加到33.4%,最大局部氧气浓度高达75.3(工况8)。朔州煤的平均氧气浓度34.4%,局部最大氧气浓度57.8%。可以看出,实验过程中提升管内温度稳定,提升管内3个测点的温差不超过

50℃。

工况8~工况10的平均氧气浓度最高,均稳定运行30min以上,整个工况内温度平稳,实验结束后清理炉内未发现焦块。可见,循环流化床在O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>气氛下,平均氧气浓度34.4%或局部氧气浓度75.3%时,均可以实现稳定、无过热燃烧。

实验的燃烧气氛为O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>,实际O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>燃烧中的燃烧气氛为O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>,而CO<sub>2</sub>的焓值高于N<sub>2</sub>。即相同氧气浓度下,O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>气氛下的燃烧温度低于O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>燃烧气氛的燃烧温度。如折算34.4%O<sub>2</sub>/65.6%N<sub>2</sub>燃烧气氛下的燃烧温度到O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>燃烧气氛中,则O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>气氛下的平均氧气浓度可以超过40%。可以推测,在O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>燃烧气氛下,平均氧气浓度40%完全可以安全稳定燃烧。另外,工况8和工况10的最大局部氧气浓度分别达到了75.3%和57.8%,工况均运行30min以上,运行过程稳定且无结焦,证明循环流化床的平均氧气浓度即使在O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>气氛下仍有进一步提高的可能。

### 2.2 烟气成分及飞灰含碳量

工况8~工况10的烟气成分数据如表5所示,N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的生成量如图3所示。对比工况8和工况9,工况8的CO、N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>浓度均低于工况9,烟气中CO、N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的浓度分别为工况9的45%、94%和89%。由表2和表4可知,工况8和工况9的煤种相同,烟气中氧气浓度和温度水平都接近,排放不同主要是因为两个工况的配风不同,工况8的一次风中氧量占总氧量的53%,而工况9的一次风氧量占总氧量的77%。可见,高氧气浓度下燃烧时,适当降低一次风氧量,优化系统配风,仍可以降低燃烧过程的CO、N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>排放浓度。龙口煤的NO<sub>x</sub>占总氮氧化物排放量的89.3%~90.3%,而朔州煤的NO<sub>x</sub>仅占总氮氧化物排放量的30%。可见,高氧气浓度下燃烧时,煤种对N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的比例影响很大。

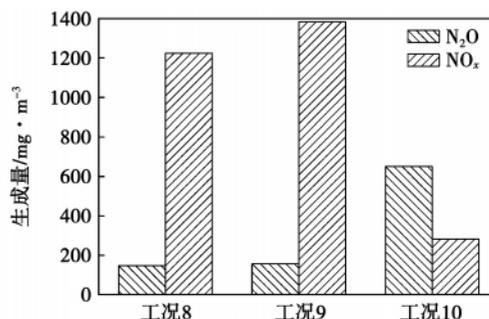
图3 N<sub>2</sub>O和NO<sub>x</sub>的生成量

表 5 烟气成分(折算为 O<sub>2</sub> = 6%)

	工况 8(龙口煤)	工况 9(龙口煤)	工况 10(朔州煤)
H <sub>2</sub> O/%	8.68	7.97	12.7
CO <sub>2</sub> /%	28.2	28.1	22.2
CO/mg·m <sup>-3</sup>	197	440	672
N <sub>2</sub> O/mg·m <sup>-3</sup>	147	156	650
NO <sub>x</sub> /mg·m <sup>-3</sup>	1 224	1 383	282

实验中氧气浓度高于空气,烟气中 CO<sub>2</sub> 浓度为 22.2% ~ 28.2%, 高于空气燃烧时的 CO<sub>2</sub> 浓度(13% ~ 15%)。如果采用 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 循环燃烧,用再循环烟气代替本实验中空气中的 N<sub>2</sub>,以工况 8 ~ 工况 10 为例,烟气中约有 65% 的 N<sub>2</sub>,O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 气氛燃烧时这部分 N<sub>2</sub> 被 CO<sub>2</sub> 替代,则烟气中 CO<sub>2</sub> 的体积分数达到 87.2% ~ 93.2%。

### 2.3 燃烧效率

表 6 是工况 8、9、10 的飞灰含碳量及燃烧效率。飞灰由两部分组成,一部分是水冷飞灰,另一部分是布袋飞灰。飞灰含碳量是指两部分飞灰按质量加权计算得出的飞灰含碳量。工况 8 ~ 工况 10 的飞灰含碳量分别为 22.6%、15.6% 和 25.8%,飞灰含碳量整体偏高。主要是因为实验系统的停留时间较短,仅 1.6 s,而实际循环流化床的停留时间为 4 ~ 6 s。随着实验系统放大、停留时间增长,飞灰含碳量完全可以降低。工况 8 和工况 9 同为龙口煤,工况 9 的飞灰含碳量较低,原因是工况 9 的一次风氧气浓度和一次风氧率的比例比工况 8 高,有更多的氧气和煤在密相区内燃烧,提供了更长的接触时间和燃烧时间,从而提高了燃烧效率,降低了飞灰含碳量。工况 10 的飞灰含碳量为 25.8%,高于工况 8 和工况 9,主要是因为工况 10 的整体温度较前两个工况低 30 ~ 60 °C。此外,工况 10 的煤种和前两个工况也有所不同。

表 6 飞灰含碳量及燃烧效率 (%)

	工况 8	工况 9	工况 10
水冷飞灰的比例	31.0	45.5	23.9
布袋飞灰的比例	69.0	54.5	76.1
飞灰含碳量	22.6	15.6	25.8
燃烧效率	95.6	98.3	90.3

## 3 结 论

在 3 000 mm 高的循环流化床燃烧实验系统上

对 3 个煤种进行了高氧浓度下的燃烧特性实验,得出以下结论:

(1) 循环流化床在 O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 气氛下,3 个煤种均在高氧气浓度下实现了稳定燃烧。平均氧气浓度 34.4% 或最大局部氧气浓度 75.3% 时均可以实现安全、稳定、无结焦燃烧。氧气浓度较煤粉炉 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃烧的商业示范电站有大幅度提高。

(2) 龙口煤的燃烧排放烟气中,NO<sub>x</sub> 占总氮氧化物排放量的 89.3% ~ 90.3%,而朔州煤的 NO<sub>x</sub> 仅占总氮氧化物排放量的 30%。

(3) 通过优化配风,烟气中 CO、N<sub>2</sub>O 和 NO<sub>x</sub> 的浓度分别可以降低到 45%、94% 和 89%。

研究结果表明,大型循环流化床 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 燃烧时,可以采用较高的平均氧气浓度和局部氧气浓度,平均氧气浓度可以达到 34.4%,局部氧气浓度可以达到 75.3%。

### 参考文献:

- [1] OKAWA M, KIMURA N, SEO Y, et al. CO<sub>2</sub> abatement investigation using O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> combustion and IGCC//Interlaken: Greenhouse Gas Control Technologies [C]. Elsevier science BV, Kidlington, Oxford, UK, 1998. 575 - 579.
- [2] 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.
- [3] HUANG X Y, JIANG X M, HAN X X, et al. Combustion characteristics of fine-and micro-pulverized coal in the mixture of O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> [J]. Energy & Fuels 2008, 22(6): 3756 - 3762.
- [4] TAN Y W, CROISSET E, DOUGLAS M A, et al. Combustion characteristics of coal in a mixture of oxygen and recycled flue gas [J]. Fuel, 2006, 85(4): 507 - 512.
- [5] LIU H, ZAILANI R, GIBBS B M. Comparisons of pulverized coal combustion in air and in mixtures of O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> [J]. Fuel 2005, 84(7-8): 833 - 840.
- [6] LIU H, ZAILANI R, GIBBS B A. Pulverized coal combustion in air and in O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> mixtures with NO<sub>x</sub> recycle [J]. Fuel, 2005, 84(16): 2109 - 2115.
- [7] 黄志军, 邹春, 初琨, 等. O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 循环燃烧中 NO<sub>x</sub> 的中试实验研究 [J]. 工程热物理学报 2009, 30(12): 2141 - 2144.
- [8] 邹春, 黄志军, 初琨, 等. 燃煤 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 循环燃烧过程中 SO<sub>2</sub> 与 NO<sub>x</sub> 协同脱除的中试研究 [J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(2): 20 - 24.
- [9] 李庆钊, 赵长隧, 武卫芳, 等. O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 气氛下燃煤 SO<sub>2</sub> 排放特性的实验研究 [J]. 中国电机工程学报 2009, 29(20): 41 - 46.
- [10] 李庆钊, 赵长隧, 武卫芳, 等. O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 气氛下燃煤 NO 排放特性的实验研究 [J]. 中国电机工程学报 2009, 29(23): 33 - 39.
- [11] 段伦博, 周 鹭, 卢骏营, 等. CO<sub>2</sub> 浓度对煤焦燃烧及污染物排放特性影响的试验研究 [J]. 动力工程 2009, 29(6): 571 - 575.

factors of the model. To a certain extent, there existed no so-called mismatch problems of the model, fully displaying the merits of non-linear controllers and providing a definite practical value for engineering projects. **Key words:** ARDC (active disturbance rejection controller), non-linear, uncertainty system, robustness, high order large time-delay system

模糊自适应内模控制在电加热锅炉温度控制中的应用研究 = **Study of the Application of the Fuzzy Self-adaptive Inner Model-based Control in the Temperature Control of an Electrically-heated Boiler** [刊, 汉] GUO Qi, REN Fang (College of Environment and Chemical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, China, Post Code: 066004), YANG Tian-feng, LIU Zhen-yong (Qinhuangdao Tonglian Industry Co. Ltd., Qinhuangdao, China, Post Code: 066102) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(4). - 449 ~ 452

In the light of such specific features of the temperature control in the clamping sleeve of an electrically-heated boiler as non-linear, time lagging and disturbance-susceptible etc., presented was a fuzzy self-adaptive inner model-based control method in the JX-300X DCS system. Through establishing an inner model, the fuzzy principles were utilized to make an on-line adjustment of the time constant  $T_f$  of the filter inside the inner model controller. The SCX language was adopted to design a program by using the fuzzy self-adaptive inner model-based control algorithm and a control test was conducted on a DCS (distributed control system) platform. The test results show that the performance of the fuzzy self-adaptive inner model-based control is enhanced greatly when compared with the conventional PID (proportional, integral and differential) control, featuring a quick response, a near-to-zero overshoot, a short regulation time duration, a high stabilization precision, a strong disturbance-resistant capacity and robustness. **Key words:** distributed control system, fuzzy self-adaptive inner-model-based control, PID (proportional, integral and differential) control

流化床  $O_2/CO_2$  燃烧( I )-高氧浓度下的燃烧实验 =  **$O_2/CO_2$  Combustion on a Fluidized Bed ( I )-Combustion Experiment at a High Oxygen Concentration** [刊, 汉] ZHAO Ke, LU Qing-gang (Engineering Thermophysics Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100190), DUAN Cui-jiu (Postgraduate College, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100190) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(4). - 453 ~ 456

To provide reference for the combustion at a high oxygen concentration in a large-sized circulating fluidized bed  $O_2/CO_2$  combustion systems, experimentally studied were the combustion and temperature distribution characteristics of three types of coal at a high oxygen concentration in the  $O_2/N_2$  atmosphere in a circulating fluidized bed-based com-

bustion test system with a riser having a diameter of 100 mm and a height of 3000 mm. The test results show that when the average oxygen concentration is 34.4% or the local oxygen concentration is 75.3%, a stable combustion without any superheating can be accomplished. The  $\text{NO}_x$  contained in the flue gas of the Longkou-originated coal accounts for 89.3% ~ 90.3 of the total  $\text{NO}_x$  emissions while that of the Shuozhou-originated coal occupies only 30.0%. By optimizing the air distribution, the concentration of CO,  $\text{NO}_2$  and  $\text{NO}_x$  in the flue gas can be reduced to 45%, 94% and 89% respectively. **Key words:** fluidized bed,  $\text{O}_2/\text{CO}_2$ , combustion at a high oxygen concentration, pulverized coal

基于制取流体冰的液-液雾化液滴粒径分布研究 = **Study of the Liquid Drop Diameter Distribution of a Liquid-liquid Atomization Based on Preparation of Slurry Ice** [刊 汉] LIANG Kun-feng, GAO Chun-yan, WANG Lin (Henan University of Science and Technology, Luoyang, China, Post Code: 471003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(4). - 457 ~ 460

The process to form liquid drops through a liquid-liquid atomization is regarded as a dynamic and random phenomenon. The sizes of the liquid drops thus formed are uncertain and under the condition of a great many tests, however, the liquid drop diameters assume a statistical regularity. To study the diameter distribution regularity under different test conditions, the mathematical statistic method was used to conduct an analysis. It has been found that under different test conditions, the particle diameters of the atomized liquid drops assume a certain distribution form and with an increase of the jet flow rate, the change in the medium diameter of the particle diameter distribution as a whole shows a descending tendency. Through a Pearson  $\chi^2$  fitting dominancy test, when the liquid drop particle diameter distribution is supposed to perform the Rosin-Rammler distribution function, the significance level under all the test conditions will invariably attain 0.01. The mass fraction at four particle diameters under different test conditions were calculated based on the Rosin-Rammler density distribution function. When the jet flow rate was 50 mL/min, the liquid drop particle diameters were centralized in a range of 0.7 ~ 1.0 mm. **Key words:** slurry ice, liquid-liquid atomization, particle diameter distribution, Pearson  $\chi^2$  fitting dominancy test, distribution function

热光伏发电系统水冷散热特性研究 = **Study of the Characteristics of a Water-cooled Heat Dissipating Device in a Thermophotovoltaic Power Generation System** [刊 汉] YANG Tao, HAN Yu-ge, TAN Hong, XUAN Yi-min (College of Power Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China, Post Code: 210094) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011, 26(4). - 461 ~ 465

Designed was a set of water-cooled heat dissipating device to control the operating temperature of photovoltaic cells. On this basis, the variation law governing the cell temperature and the pressure loss of the heat dissipating device at