

无烟煤飞灰循环增压流化床 燃烧试验研究

刘前鑫 刘坤磊 章名耀

(东南大学热能工程研究所)

〔摘要〕 在 SEU—PFBC 装置上进行了阳泉无烟煤燃烧试验,研究了流化速度、床层深度和床层温度对燃烧效率的影响。试验结果表明,采用飞灰循环回燃后燃烧效率可达 99.8%。

关键词 流化床 燃烧/增压 飞灰循环

分类号 TK229

1 前言

循环流化床锅炉使床内扬析的物料通过分离装置经加料阀重新送入床内,而具有接近完全的碳燃烬度,脱硫剂使用率高、容积热强度大、高径比大和体积小的优点,自 80 年代以来受到广泛的青睐。循环型 PFBC 技术也应运而生,认为这项技术比增压鼓泡流化床(PFBC)更具有环保和运行方面的优势,美国能源部(DOE)已将该技术列入清洁煤计划(CCT—Ⅱ),Iowa 动力公司准备在依阿华 Des Moines 能源中心建一台由 Pyropower 设计的电功率为 70MW 级循环床 PFBC 电站,预计 1997 年运行^[1]。实践表明飞灰循环技术是提高流化床燃烧效率和脱硫效率的有效措施,近期,对该项技术应用于增压流化床燃烧进行了研究,用无烟煤作为试验煤种。1993 年 10 月完成了对原 SEU—PFBC 装置的全面改造,经过调试,于 1994 年 6—7 月进行了 100 小时的试验研究。

2 试验装置

改造后的飞灰循环增压流化床见图 1,其主要点是:

(1)缩小流化床分布板处的面积,由 0.186 m^2 缩小至 0.134 m^2 ,以便在供气流量有限的条件下提高流化速度,最大流化速度可达 2 m/s ,仍属鼓泡流化床。

(2)增加流化床炉膛高度,由 6.5 m 增至 8.0 m ,压力壳体高度相应由 7.6 m 增至 10.0 m ,以便增加颗粒经过一次炉膛在炉内的停留时间和保证分离器料腿(立管)的高度。

(3)在流化床顶部出口处设置高温旋风分离器,从分离器分离下来的飞灰经回送系统送至流化床再燃。高温分离器的作用主要在于保证床内物料的正常循环,而不在于降低烟气中的飞灰浓度,其分离效率应该保证经过一次炉膛不能完全燃烧的颗粒尽可能被分离下来,进行循环燃烧,分离效率大,分离下来进行循环燃烧的物料就多,燃烧效率也

收稿日期 1994·12--28

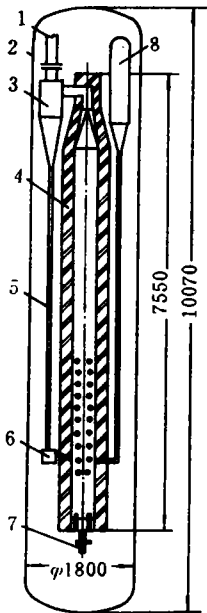


图 1 飞灰循环增压流化床

1. 烟道管
2. 压力壳体
3. 旋风分离器
4. 流化床燃烧室
5. 立管
6. 返料器
7. 排渣管
8. 灰渣中间储仓

地控制和调节物料的循环量。

(5)底回燃能延长颗粒在床内的停留时间,返料口设在床层内,距分布板上 1 m 处,当床层达到额定高度时,此口在床面以下 1.5 m 处。

另在压力容器内流化床的另一侧增设了灰渣中间储仓。用作改变床层高度。整个试验装置的除尘系统也作了相应改造,设置两级旋风分离器,第一级为 PV 型分离器,第二级为卧式小多管分离器。灰渣由气控排渣器改为经流化床式冷渣器冷却后排出,冷却风进入流化床燃烧室自由空间作为燃烧二次风。

3 试验煤种

燃用市场供应的阳泉无烟煤,煤质分析和粒度分析分别见表 1 和表 2,粒度范围 0~6 mm,平均粒径 0.75 mm,其中细煤粒 (<1.25 mm)含量达到 60%。

表 1 煤质分析

C _v	H _v	O _v	N _v	S _v	A _v	V _v	Q _{hw} (MJ·kg ⁻¹)
(%)							
70.86	2.37	4.28	0.8	0.376	17.86	9.97	26.39

表 2 粒度分析

mm	<0.315	0.315~0.45	0.45~0.8	0.8~1.25	1.25~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~6.0
%	30.86	5.03	11.15	14.77	11.39	10.78	8.92	4.66	1.34

就愈高,该旋风分离器的设计分离效率为(85—90)%,以使循环倍率达到 5 以上。

(4)返料器和立管是物料循环装置的关键部件,应具有足够的固体通量和较强的锁气能力。新研制了一种流化床式加料器,结构简单,易操作,避免了某些气动阀操作复杂、稳定性差的不足。返料器中有两股风,一是输送风,二是流化风,二股风的有机配合能很好

4 试验结果和分析

在不同燃烧温度、流化速度和循环灰量等条件下进行了燃烧试验。燃煤量 100—110 kg/h,流化床层增高速度很慢,排渣率很低,约为 2%,平均排渣速率为 0.39 kg/h,一旋

平均排灰速率为 16.1 kg/h,二旋平均排灰速率为 1.55 kg/h,飞灰率达 98%。燃烧效率的典型试验结果见表 3。用德国 BINDS—100—1004 气体分析仪对排放尾气进行监测。

(1)流化速度是影响增压流化床燃烧效率的重要因素,随着流化速度的提高,扬析量

表 3 试验工况和燃烧效率

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
年月日	94.6.7		94.6.30--7.3											
炉膛压力 MPa	0.5													
床层温度 °C	820	875	950											
炉子出口温度 °C	700	750	840							860	810	780	810	
流化速度 m/s	1.6	1.6	1.66			1.58			1.47	1.9	1.47	1.6	1.47	
床层高度 m	1.9	2.0			2.2				2.5	2.4	2.5	2.4		
返料器	流化风 m ³ /h	6.0		2.5			4.5	6.0	0	2.5				0
	输送风 m ³ /h	6.0		3.8	2.0	5.5	3.8	4.5	5.5	3.8	4.5	2.0	4.5	0
一旋灰残炭 %	12.32	6.06	3.43	0.93	0.99	0.93	0.98	1.34	0.84	1.19	1.01	3.47	4.48	
二旋灰残炭 %	3.58	3.58	0.64	1.52	0.84	0.96	1.27	1.58	3.64	1.27	0.98	1.15	3.41	
渣残炭 %	0.41		0.54											
烟气成份	O ₂ %	4.8		5.0	5.2	5.3	5.33	4.64	5.61	3.5	4.72	4.79	/	5.08~5.45
	NO _x ppm			85	114	91	81	83	88		117	112		116~130
	N ₂ O ppm			8.5	7.9	12.9	12.7	13.3	14.7		17	17.2		3.1~5.7
燃烧效率 %	97.4	98.67	99.31	99.78	99.8	99.78	99.78	99.7	99.76	99.74	99.8	99.3	99.05	

会增加,燃烧效率下降⁽²⁾。采用灰循环技术后,流化速度对于燃烧效率的影响显著减弱,流化速度的改变,燃烧效率几乎没有明显变化,燃烧效率均达 99.3% 以上(见图 2)。

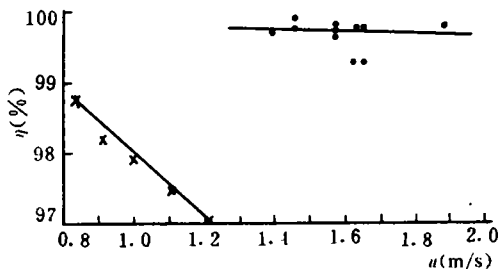


图 2 流化速度对燃烧效率的影响

— × — 增压流化床
 (P = 0.5 MPa, T = 900°C, 烟煤)
 — • — 灰循环增压流化床
 (P = 0.5 MPa, T = 950°C, 无烟煤)

(2) 床层高度也是影响增压流化床燃烧效率的重要因素之一,随着床层高度的增加,

燃烧效率会相应提高,鉴于原装置自由空间高度的不足,随后,床层高度增加,燃烧效率下降⁽²⁾。采用灰循环技术后,床层高度变化,燃烧效率没有明显变化,均在 99.3% 以上,见图 3。

(3) 对该煤种,采用灰循环技术,可使一旋灰中残炭量降低 3.5 个百分点,可使二旋灰中残炭量降低 2.5 个百分点,因此燃烧效率的提高幅度显得不大,只有 1 个百分点。其原因是,增压流化床燃烧由于煤是在压力和深床下燃烧,物料经过一次炉膛燃烧的份额已很高,残炭量很低,接近完全的碳燃尽度。对于挥发份更低且活性更差的无烟煤,其作用会更大。

(4) 提高流化床燃烧温度和自由空间温度(炉子出口温度)有利于无烟煤燃烧,获得较高的燃烧效率,当床层温度从 820°C 提高到 950°C,自由空间温度相应从 700°C 提高到

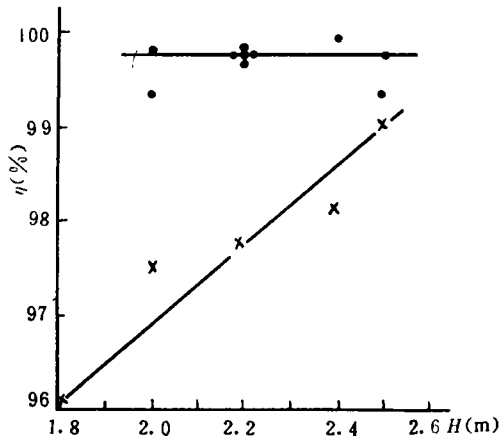


图3 床层高度对燃烧效率的影响

—x—增压流化床
 (P = 0.5 MPa, T = 900°C, 烟煤)
 —•—灰循环增压流化床
 (P = 0.5 MPa, T = 950°C, 无烟煤)

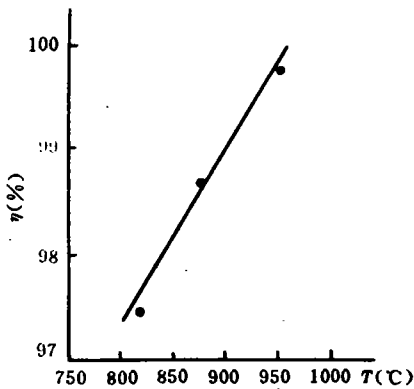


图4 床层燃烧温度对燃烧效率的影响

(P = 0.5 MPa, u = 1.6 m/s, H = 2 m)

840°C 时, 燃烧效率可提高 2 个百分点以上 (见图 4)。

(5) 流化床返料器的流化风量和输送风量之间的对比对燃烧效率的影响不大, 燃烧效率均在 99.3% 以上。虽然这两股风量的对比可以改变循环灰量, 但由于经分离器分离

下来的灰中炭含量很低, 灰量的变化带来的总残炭损失变化不大, 不致于影响燃烧效率。

(6) 对排放的烟气监测表明, 在相同的氧含量下, 循环燃烧时烟气中 NO_x 含量低于无循环燃烧, 循环燃烧时烟气中 N₂O 含量高于无循环燃烧, 如图 5 所示。

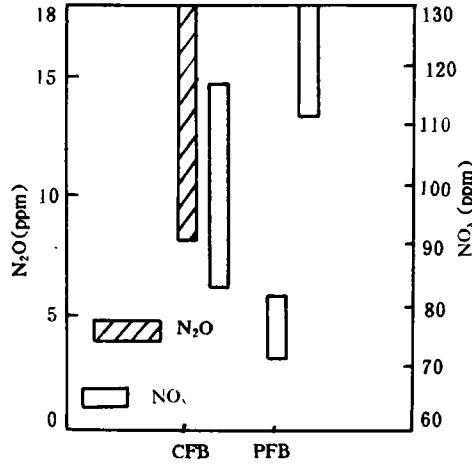


图5 灰循环和无循环燃烧时烟气中 NO 含量的比较

5 结论

(1) 飞灰循环增压流化床燃用无烟煤显示其完全的碳燃烬度, 不仅在稳定运行工况下, 燃烧效率达 99.7% 以上, 而且在运行初期 (编号 3) 和工况变化大 (编号 12, 模拟锅炉负荷调节) 的情况下, 燃烧效率也能达到 99.3%。

(2) 采用灰循环再燃技术后, 流化速度和床层高度的改变对于燃烧效率的影响程度显著减弱, 但选用较高的燃烧温度对提高无烟煤的燃烧效率却至关重要。

参 考 文 献

1 Kruempel G E and Ambrose S J. The Des moines energy

(下转 153 页)

(3) 氧化亚氮在降低 NO_x 总排放量中起重要作用。如果在火焰初始区可以实现燃料氮和未燃烧产物向 N₂O 的优先转变,则可降低燃料型 NO 和瞬间型 NO 的最终排放量;

(4) 二氧化氮主要在炉膛出口及烟道内形成。燃料燃烧工况及换热条件将对 NO 和 NO₂ 的形成起同样的作用。

参 考 文 献

- 1 Miller J A, Bowman C T. Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion/prog. Energy Combust Sci. 1989, Vol. 15, pp. 287-338
- 2 Росляков П В, Колесникова Л Е, Чжун Бэйцзин. Пакет прикладных программ для расчёта эмиссии оксидов азота в энергетических установках/Кинетика химических реакций. Тезисы X Симпозиума по горению и взрыву. Черногоровка. 1992, с. 35-36
- 3 Егорова Л Е, Росляков П В, Буркова А В, Чжун Бэйцзин. Математическое моделирование и расчёт эмиссии токсичных продуктов сжигания органических топлив; Теплоэнергетика. 1993, №7, с. 63-68
- 4 Takahisa Y, Shaw N, Hiromitsu M. N₂O emission from fossil fuel fired power plants/Environmental Science and Technology. 1991, Vol. 25, pp. 347-348
- 5 Sloan S A, Larid C R. Measurement of nitrous oxide emission from P. F. fired power stations/Atmos. Environ. 1990, 24A, №25, pp. 1199-1206
- 6 Linak W P, Mccorley J A, Hall R E, Ryan J V. Nitrous oxide emission from fossil fuel combustion/J. Geophys. Res. D. , 1990, Vol. 95, №6, pp. 7533-7541
- 7 Сигал А. П. Предотвращение образования диоксида азота в отопительных котлах/Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. , Л. 1985, 22с.
- 8 Kildsig F, Morsing P. N₂O-Emission aus kesselanlagen/VGB Kraftwerkstechn. 1991. Vol. 71, №6, pp. 592-593
- 9 Kramlich J L, Cole J A, Mccarthy J A. Mechanisms of nitrous oxide formation in coal flames/Combust. Flame, 1989, Vol. 77, №3-4, pp. 375-384
- 10 Ляскоронский В Т. Образование оксидов азота во фронте пламени газообразных топлив/Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Киев, 1987, 20с.

(渠源 编辑)

作者简介: 钟北京,男,生于1963年4月。1983年毕业于哈尔滨工业大学热能工程专业。1988年赴俄罗斯莫斯科动力学院留学。1992年获博士学位。1993年在清华大学煤高效低污染燃烧国家重点实验室做博士后研究工作。现在清华大学工程力学系工程热物理教研室工作(邮编100084)。从1988年开始一直从事低NO_x燃烧理论、实验及燃烧技术的研究。在国内外刊物、学术会议上发表多篇学术论文。

(上接 142 页)

center pressurized circulating fluidized bed demonstration project. Proceedings of Ninth Annual International Pittsburgh Coal Conference. 1992;163-168

- 2 章名耀等. 增压流化床燃烧(PFBC)长时间运行的试验研究. 工程热物理学报, 1992, 13(4)

(渠源 编辑)

作者简介: 刘前鑫,男,58岁。湖北武汉市人,1962年毕业于华中工学院,现任东南大学热能工程研究所教授。长期从事增压流化床燃烧燃气—蒸汽联合循环发电研究,《八五》期间主持国家科技攻关专题《1MW PFBC 装置工程试验技术模拟研究》,曾两次获国家教委科技进步二等奖,在国内外学术刊物和会议上发表论文 30 余篇,主要有《增压流化床燃烧运行性能的试验研究》、《增压流化床燃烧和排放控制》、《热重分析技术研究石灰石脱硫特性》、《石灰石脱硫反应动力学分析》等。(通讯处: 210018 南京东南大学热能所)

氢燃联合循环中两种回热网络的优化与比较=The Optimization and Comparison of Two Kinds of Regenerative Network in a Combined Hydrogen and Gas Turbine Cycle[刊,中]/Xiong Mengqing, Gu Ruiying, Liu Xianbao(Xi'an Architectural University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power.-1996,11(3):129~133

In a combined hydrogen and gas turbine cycle the heat capacity of gas turbine exhaust is greater than that of compressed air and considerably greater than that of hydrogen. The gas turbine exhaust is first divided into two flows, which are utilized to respectively preheat the compressed air and hydrogen, and then the two flows are united to heat the regenerative network of low-temperature hydrogen. Such an approach as compared with the regenerative network, under which the gas turbine exhaust first preheats the compressed air and then preheats hydrogen, can effectively increase the entry temperature of the hydrogen turbine, thereby augmenting the specific power output and thermal efficiency of the combined cycle and reducing the fuel hydrogen consumption. In this paper a process energy combination method is used to conduct the optimization analysis of two kinds of regenerative network. In addition, a quantitative comparison is performed of the combined cycle performance of the regenerative network after using the two kinds of optimization. Key words: liquid hydrogen, combined cycle, hydrogen turbine, gas turbine, process energy combination

不同宽度扭带传热与阻力特性试验研究=An Experimental Study of Different-width Twisted Band Heat Transfer and Resistance Characteristics[刊,中]/Wang Zening, Zhou Qiangtai(Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):134~138

An experimental study has been conducted of the heat transfer and resistance characteristics of different-width twisted bands for a vortex flow device with inner-tube twisted bands. Also obtained is a fitting equation of heat transfer and resistance. Key words: twisted band, intensified heat transfer, turbulent flow heat transfer

无烟煤飞灰循环增压流化床燃烧试验研究=Experimental Investigation on Anthracite Combustion Characteristics in a Pressurized Fluidized Bed with Fly-ash Recycling[刊,中]/Liu Qianxin, Liu Kunlei, Zhang Mingyao(Heat Engineering Research Institute of Southeastern University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):139~142

Yangquan anthracite combustion test was conducted on a SEU-PFBC plant. Studied was the effect on combustion efficiency of fluidizing speed, fluidized bed depth and temperature. Test results show that a combustion efficiency of 99.8% can be attained with the use of recycled fly-ash. Key words: fluidized bed, combustion/pressurization, fly-ash recycling

MPS 磨煤机旋转分离器两相阻力特性的试验研究=An Experimental Study on the Two-phase Resistance Characteristics of a MPS Grinding Mill Rotating Separator[刊,中]/Lou Xinsheng, Kong Wenjun, Zhang Mingchun, Luan Qingfu(Central China University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1996,11(3):143~146

The authors give a brief analysis of the mechanism of formation of two-phase flow resistance within the rotating separator of a MPS grinding mill. An experimental study is performed as to the effect on the above-cited resistance of such main factors as air flow rate, rotating speed and coal concentration, etc. From the viewpoint of resistance characteristics proposed is the basic principle to be followed during the design of rotating separators. Key words: separator, coal grind-