

# Status and Economic Analysis of Efficient Pulverized Coal Fired Industrial Boiler Technology

Xu Zhengang, Wang Naiji, Ji Renshan

Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing, China

xzg@bricc.cn, jrs@bricc.cn, wnj@bricc.cn

**Abstract:** The development status of efficient pulverized coal fired industrial boiler technology at home and abroad, as well as principle, qualification, key technology and marketing promotion, was summarized. From the respects of cost, energy saving and pollution controlling, the economic and environmental benefit of the technology was explained with great emphasis, while the development prospect of the technology was also predicted.

**Keywords:** pulverized coal fired industrial boiler; energy saving and emission reduction

## 高效煤粉工业锅炉技术现状及经济性分析

徐振刚, 王乃继, 纪任山

煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院, 北京, 中国, 100013

xzg@bricc.cn, jrs@bricc.cn, wnj@bricc.cn

**摘要:** 综述了高效煤粉工业锅炉技术在国内外的发展现状, 国内技术的原理、指标、关键技术及市场推广情况。从成本、节能、污染物控制等方面着重分析了该技术的经济效益和环境效益。对高效工业煤粉锅炉的发展前景进行了预测。

**关键词:** 煤粉工业锅炉; 节能减排

### 1 引言

工业锅炉是重要的热动力设备, 是我国第二大燃煤用户, 年用煤量约 6 亿吨。目前, 我国现役燃煤工业锅炉约 57 万台, 总容量达 240 万蒸吨/小时, 其中绝大多数仍为技术已经相对落后的链条炉排锅炉, 约占中国工业锅炉产量台数的 60%, 固定炉排锅炉约占 30%, 其他约占 10%<sup>[1]</sup>。我国工业锅炉效率普遍偏低, 实际运行效率平均在 60%~65%, 与设计热效率相差 10~15 个百分点, 比发达国家低 20~30 个百分点<sup>[2]</sup>, 能源浪费严重; 同时, 除尘脱硫等环保设施简陋, 造成了严重的大气污染, 已成为仅次于电站锅炉的第二大污染源。

我国燃煤工业锅炉热效率低和污染严重的根源, 应涉及燃料煤质量差、技术装备水平低、管理不到位及社会化服务机制不健全等多个层面, 是一个系统问

题。

近年来, 随着中国经济的飞速发展、建设节约型小康社会步伐的显著加快, 以及满足全社会强烈的节能、环保愿望, 中小型燃煤工业锅炉的技术升级进步已成为亟待解决的问题。

### 2 煤粉工业锅炉发展现状

#### 2.1 煤粉工业锅炉在国外的的发展

工业煤粉锅炉是发达国家上世纪 90 年代中后期的成熟技术, 尤其在德国、法国得到广泛应用。德国的煤粉工业锅炉经过近 20 多年来的发展, 现已完全实现高性能商业化运行, 且形成了众多的技术标准, 如用煤标准、供料器标准、燃烧器标准、锅炉标准等, 也形成数十项发明专利。德国工业煤粉锅炉均以高挥发分烟煤为原料 (Vdaf 一般在 38% 以上), 硫分 0.7% 左右时, 石灰石配入量为 4%~6%, 脱硫效率达到 40%~70%。锅炉系统总的指标是热效率不低于 86%, 通常可达到 92%, 与油气锅炉相当; 烟气排放符合德

资助信息: 北京市重点项目, 分布式工业煤粉高效洁净燃烧技术研究示范 (Z09010300840904)

国污染物排放标准。此外，锅炉自动控制系统完备，已实现自动运行、72小时无人值守，也可实现多台锅炉在控制中心远程集中控制。德国煤粉工业锅炉的关键技术包括小型高效全密闭制粉（如HM锅炉）技术、精确供粉（如Dr. Schoppe锅炉）技术、空气分级燃烧器技术、大炉膛锅壳式火管锅炉本体制造技术和自动控制技术等<sup>[3]</sup>。

## 2.2 煤粉工业锅炉在我国的发展

中国的一些科研单位和企业早在上世纪七十年代就曾开发过传统煤粉工业锅炉应用技术，但由于当时的条件局限，配套技术（如小型煤粉高效制备、锅炉体积、自动控制及布袋除尘等）或专用装备的加工工艺落后，所以没有取得实质性进展。

上世纪90年代哈尔滨普华煤燃烧技术开发中心曾开发成功一款PW型旋流式小型煤粉燃烧器<sup>[3]</sup>，但由于未形成与之配套的完整的锅炉（窑炉）技术系统，供料粗放问题、效率低问题、粉尘排放难控制问题均没有解决，所以没有得到大面积推广<sup>[4]</sup>。2000年前后，内蒙古某公司开发出0.7MW~7.0MW CWNS型锅壳式煤粉锅炉，由普通燃油锅炉改造而成<sup>[5]</sup>。但在实际应用中也存在很多问题，如没有煤粉燃烧器技术，效率低下；没有形成完整的系统（无密闭制粉设施、无环保设施）；炉膛结构不尽合理；高温燃烧、空气过剩系数大（大于1.81）、排烟温度高、炉内结渣等<sup>[1]</sup>。

近几年，我国在该技术领域取得了突破性的进展。煤炭科学研究总院在借鉴发达国家成功经验、总结中国尝试结果的基础上，独立开发成功0.5MW高效煤粉工业锅炉试验系统，并获授权申请发明专利1项<sup>[6]</sup>。

“十一五”期间，在国家科技支撑计划、国家“863”计划等项目的资助下，又完成了4~35t/h规模级高效煤粉工业锅炉技术系统的开发工作，并配套建设示范装置近60套，系统热效率达到90%以上，污染物排放满足国家标准，目前已申请专利30余项。

## 3 高效煤粉工业锅炉技术

### 3.1 工艺原理

如图1所示，来自煤粉加工厂的密闭罐车将符合质量标准的煤粉注入煤粉塔。塔内的煤粉按需进入计

量中间仓后由供料器及风粉混合管道送入煤粉燃烧器。煤粉在锅炉炉膛燃烧产生的高温烟气完成辐射和对流换热后进入烟道石灰脱硫单元，脱硫后的烟气继续进入布袋除尘器。除尘器排出的洁净烟气经引风机排入大气，除尘器收集的粉煤灰经密闭系统排出，集中处理和利用。锅炉系统的运行由点火程序控制器和上位计算机监控系统共同完成。

煤粉质量是保证锅炉正常高效运行的关键，质量指标归两类：（一）煤粉粒度，一般应100目全部过筛，200目筛余量不超10%；（二）煤的物理化学特性，一般以中、高挥发性烟煤最为合宜，工分指标为Mt≤5.0%，Aad≤15.0%，Vdaf≥32.0%，Qad,net≥24MJ/kg。为了保证煤粉质量的稳定，制粉厂应采用配煤方式。

### 3.2 技术指标

高效煤粉工业锅炉节能环保效果显著，可与油气锅炉相媲美，具体技术指标如下：

- 锅炉燃烧效率≥98%；
- 锅炉热效率≥90%；
- 较传统燃煤工业锅炉节煤30%以上；
- 烟尘（TSP）排放≤20mg/Nm<sup>3</sup>
- 二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放满足国家和地方标准。

### 3.3 关键技术

- 全密闭高效炉前制粉技术，分散式用户采用罐车与煤粉塔无缝对接完成密闭供粉，保障煤粉供给。
- 无脉动稳定供粉技术，减少炉压波动，优化燃烧环境，提高燃烧工况与燃尽率。
- 煤粉空气分级全旋流低氮燃烧器，避免局部高温，减少NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>的析出与排放。
- 专用无积灰锅壳式锅炉和“D”式锅炉，完成燃料充分燃烧与换热；锅炉本体配置强大的空气炮吹灰系统，结合良好的空气动力场设计，避免换热面积灰，实现锅炉自清洁功能。
- 专用高效的布袋除尘器，有效控制烟气中烟尘的排放。PLC结合上位机的自动控制系统实现锅炉的在线监控、记录与报警功能，使系统始终处于高效、安全的运行状态。

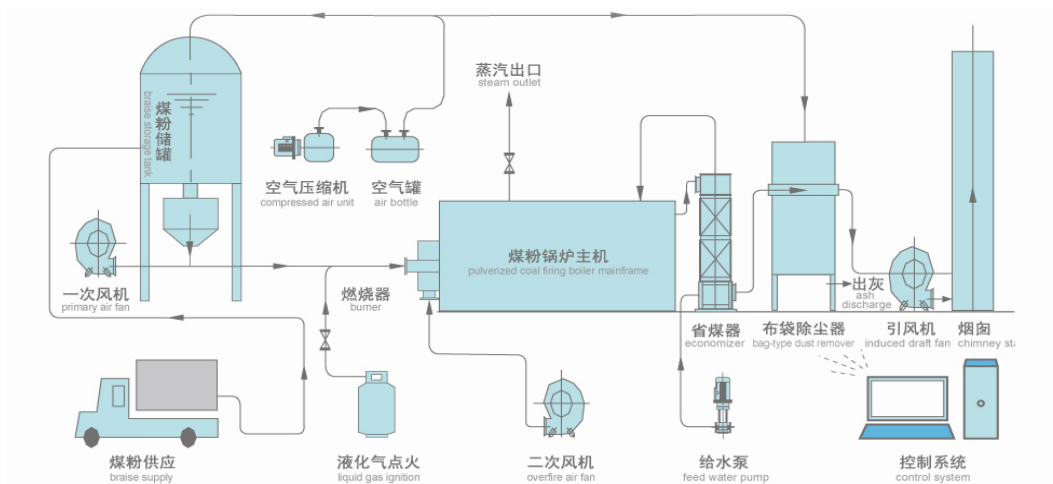


Figure 1. Schematic view of pulverized coal fired industrial boiler system  
图 1. 高效煤粉工业锅炉系统简图

## 4 经济、环境效益分析

### 4.1 投资成本

由于工业煤粉锅炉系统附属设备多、配置较高，系统总投资较之常规链条炉排锅炉要高，10 吨以下规模为链条炉排锅炉的 2~3 倍，10~20 吨规模为链条炉排锅炉的 1~2 倍，20 吨以上规模两者投资趋于接

近。造成该状况的主要原因是，随着规模的增大，链条炉排锅炉上下游设备（上煤、除尘、出渣等）配置投资增大所致。研究及实际运行结果表明，多投资部分可在较短的时间内用节省的运行费用收回。

### 4.2 运行成本

相同容量下，不同类型锅炉的运行成本对比见表 1。

Table 1. Running cost analysis of different kinds of boilers  
表 1. 不同类型锅炉运行成本分析

序号	比较项目	单位	煤粉锅炉	链条锅炉	水煤浆锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉
1	热效率	%	90	60	83	90	92
2	燃料发热量	Kcal/kg (或 Nm <sup>3</sup> )	6500	5500	4200	10000	8300
3	燃料单价	元/t (或 Nm <sup>3</sup> )	1200	850	900	8000	3
4	每吨蒸汽燃料耗量	kg 或 Nm <sup>3</sup>	102	182	172	67	79
5	每吨蒸汽燃料费用	元/蒸吨	122	155	155	536	237
6	水费	元/蒸吨	6	6	6	6	6
7	电费	元/蒸吨	5.13	6	6	3.2	3.2
8	人工费	元/蒸吨	1.6	3.1	2.2	1.4	1.4
9	维修费	元/蒸吨	1.6	3.8	2.5	1.4	1.4
10	运行成本	元/蒸吨	136	174	172	548	249

注：1. 上表所列锅炉蒸发量为 10t/h，工作压力 1.25MPa。  
2. 因每个时期每个地区的燃料价格不同，可根据上述每年的燃料消耗量计算吨蒸汽成本。

由表 1 中数据可知，高效煤粉工业锅炉的运行成本远低于油气锅炉，也低于传统层燃锅炉和水煤浆锅

炉。完成一个蒸吨的生产任务，一台 10t/h 高效煤粉工业锅炉的运行成本为 136 元，分别仅占等容量燃油锅

炉运行成本的 25%，燃气锅炉的 50%，链条锅炉、水煤浆锅炉的 70%多。若按年产 5 万吨蒸汽（锅炉负荷 80%，年运行 330 天，每天运行 20 小时）计，则煤粉锅炉比链条、水煤浆锅炉每年节省运行费用 200 多万元，比燃气锅炉节约 600 万元，比燃油锅炉节省 2000 多万元，经济效益十分可观。

### 4.3 节能

高效煤粉锅炉较传统燃煤锅炉显著节煤，原因有以下几个方面：

- 燃烧充分，燃尽率大于 98%，（传统锅炉为 85% 左右）所以固体不完全燃烧热损失小；
- 进风量是传统链条锅炉的 50%，空气过剩系数小，污染空气少，热量损失低，风机功率减小，排烟温度低，所以排烟热损失小；
- 即开即停，无“焖火”过程，因此不存在“无功”燃料消耗。
- 全密闭系统，无漏煤、跑煤、散热少（传统锅炉为 8%左右）。
- 由于对煤粉质量的制前控制，进入炉膛的水分、灰分少，由此造成的热损失小。
- 没有炉渣的产生，降低了炉渣带走的热量损失。

一般高效煤粉锅炉比传统燃煤锅炉至少省煤 30~50%，即使将煤粉加工中的电耗（生产 1 吨煤粉耗电约 30kWh，折合原煤约 10kg，则实际煤耗为原来的 1.01 倍）考虑在内，节煤率也不低于 30%。

另外，高效煤粉锅炉系统引风机功率相对传统链条炉小、循环水泵和风机均配备了变频器，因此节电效果明显，一般也在 20%左右。

### 4.4 环保效益

煤粉锅炉烟气污染物排放值达到如下指标，同时该指标远低于国家和地方现行排放标准，满足各级环保要求。

Table 2. Pollutant emissions of pulverized coal fired industrial-boiler

表 2. 煤粉工业锅炉系统污染物排放

项 目	单 位	高效煤粉锅炉	国家标准
烟尘排放	mg/m <sup>3</sup>	≤20	200
SO <sub>2</sub> 排放	mg/m <sup>3</sup>	≤500	900
NO <sub>x</sub> 排放	mg/m <sup>3</sup>	≤200	—
林格曼黑度	-	~0	1 级

烟尘排放	mg/m <sup>3</sup>	≤20	200
SO <sub>2</sub> 排放	mg/m <sup>3</sup>	≤500	900
NO <sub>x</sub> 排放	mg/m <sup>3</sup>	≤200	—
林格曼黑度	-	~0	1 级

从表 2 所示数据可以看出，煤粉锅炉污染物排放远优于国家相关排放指标<sup>[7]</sup>。采取的具体措施有：通过严格控制煤粉中硫含量（不高于 0.5%）来控制烟气中 SO<sub>2</sub> 的排放浓度，对环保要求高的地区，加装活性钙管道烟气脱硫装置，SO<sub>2</sub> 的排放浓度可降到 100mg/m<sup>3</sup> 以下；低温燃烧环境与均匀的温度场分布保证 NO<sub>x</sub> 排放浓度≤200mg/m<sup>3</sup>；采用高效袋式除尘系统，可保证烟尘排放量≤20mg/m<sup>3</sup> 甚至更低；布袋收集的飞灰密闭排出，集中处理，无分散地面排放造成的二次污染问题。

工业燃煤锅炉年耗煤 6 亿吨，若用高效煤粉工业锅炉进行替代，按节煤率 30%计，则每年可节煤 1.8 亿吨，仅节煤就可减少 SO<sub>2</sub> 排放 360 万吨（煤中硫含量按 1%计），减少烟尘 300 万吨，减少 CO<sub>2</sub> 排放 6.6 亿吨，减少煤灰排放 3600 万吨，且节省大量的运力，环保效益显著。

## 5 市场推广及应用前景

目前该技术已在山西、山东、天津、江苏、浙江、辽宁、广西、安徽等地共完成 50 余套，350 蒸吨（等效容量）的建设规模，获得直接经济效益近亿元。其中 1.4MW、2.8MW、4.2MW、7.0MW、14.0MW 等 5 种型号的热水锅炉产品，4t/h、6t/h、10t/h、20t/h 等 4 种型号的蒸汽锅炉产品正在不同地区为众多用户提供着安全、稳定、高效、洁净的运行服务。

高效煤粉工业锅炉系统以煤粉燃烧技术应用于工业锅炉，充分提高了燃煤工业锅炉的能源利用率，同时以系统化技术体系的形式将燃煤工业锅炉的整体水平提高到一个前所未有的高度，不只是技术的更新换代，更是一次变革性的飞跃。高燃料利用率、低廉的燃料价格、洁净的运行环境更是使高效煤粉工业锅炉系统成为理想的油、气锅炉替代产品。特别是在国际油价不断攀升以及国内煤炭资源丰富石油资源缺乏的

大环境下,该技术系统在我国工业锅炉领域异军突起,应用前景十分广阔。

## 6 结论

(1) 高效煤粉工业锅炉具有良好的应用前景是由自身的优势、我国的能源资源结构及工业锅炉在生产、生活中的地位所决定的。

(2) 传统燃煤工业锅炉绝大多数简单粗放直接燃原煤,它的低能效和高排放与现代社会的“基调”不相容。走清洁高效利用的路子是时代对它的必然要求,也是社会进步对它的必然要求。高效煤粉工业锅炉诞生在这种要求的大背景下,基于它的综合优势,光明的应用前景不言而喻!

## References (参考文献)

- [1] Zhao Qinxin, Zhou Qulun. Solution, Question and Status of China's Industrial Boiler[J], Industrial Boiler Magazine, 2010, (1), P1-6(Ch).  
赵钦新, 周屈兰, 工业锅炉节能减排现状、存在问题及对策[J], 工业锅炉, 2010, 119(1), P1-6.
- [2] Wang Shanwu. Potential Analysis of China IB Industry's Energy-saving and Some Suggestions. Industrial Boiler Magazine, 2005, (1), P1-16(Ch).  
王善武, 我国工业锅炉节能潜力分析与建议[J], 工业锅炉, 2005, (1), P1-16.
- [3] He Haijun, Ji Renshan, Wang Naiji. Development and Application of High Efficient Pulverized Coal Fired Industrial Boiler System[J]. Coal Science and Technology, 2009, 37(11), P1-4(Ch).  
何海军, 纪任山, 王乃继, 高效煤粉工业锅炉系统的研发与应用[J], 煤炭科学技术, 2009, 37(11), P1-4.
- [4] Pang Lijun, Chen Guofeng, Chen Chongshu, etc. A New Kind of Small Power Pulverized Coal burner named PW-1[J]. Energy Conservation Technology, 1994, (3), P9-12(Ch).  
庞丽君, 陈国封, 陈崇枢等, 新型小功率 PW-1 型煤粉燃烧器[J], 节能技术, 1994, (3), P9-12.
- [5] Sun Enzhao, Chen Lizhe, Xia Chunyi, etc. The Experimental Research of a Small Sized pulverized coal fired boiler remade by a oil fired boiler[J], Energy Conservation Technology, 1996, (4), P4-7(Ch).  
孙恩召, 陈力哲, 夏春怿等, 小型燃油锅炉改造成燃烧煤粉锅炉的试验研究[J], 节能技术, 1996, (4), P4-7(Ch).
- [6] Wang Naiji, Ji Renshan, etc. A Small and Medium Kind of Pulverized Coal Fired Industrial Boiler System[P]. China: ZL200510080337.9, 2007.  
王乃继, 纪任山等, 一种中小型工业燃煤锅炉系统[P], 中国: ZL200510080337.9, 2007.
- [7] DB13271-2001, Emission Standard of Air Pollutants for Coal-burning Oil-burning Gas-fired boiler[S].  
DB13271-2001, 锅炉大气污染物排放标准[S].