

# 600MW无烟煤超临界CFB锅炉的研发

孙献斌

中国华能清洁能源技术研究院

2011年11月2日 · 成都

# 主要内容

- 一. 无烟煤发电技术
- 二. 高温型CFB锅炉的概念
- 三. 600MW无烟煤超临界CFB锅炉的研究
- 四. 应用前景

# 一. 无烟煤发电技术

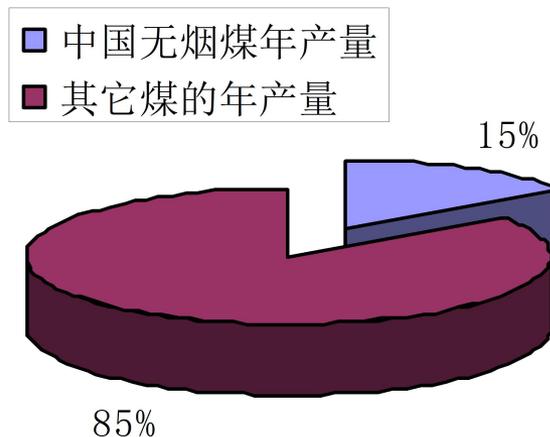
- 中国无烟煤预测储量为4740 亿吨，占全国煤炭总资源量的10%；年产量4.6 亿吨，占我国原煤产量的15%。山西省占31%，河南省占20%，贵州省占11%。

- 山西省的无烟煤**

阳泉无烟煤 (WY3)，年轻无烟煤（发热量和灰熔点高，中低灰分和中低硫分，具有的代表性。

阳城无烟煤 (WY2)，属中年无烟煤. 为晋城矿区储量超过100亿吨的大型矿，为较理想的典型无烟煤，较阳泉煤难磨，干燥无灰基挥发分低于阳泉煤。

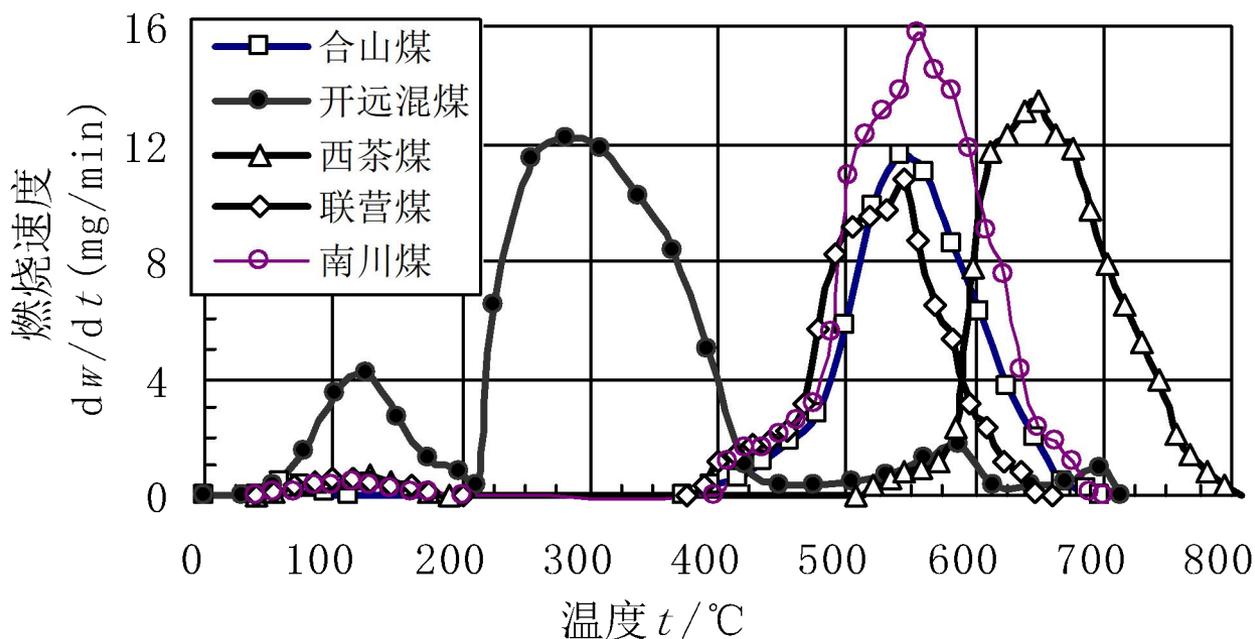
- 福建龙岩无烟煤**，典型的年老无烟煤（WY1），属最难燃的无烟煤之一，全省无烟煤储量占煤炭总储量的97%以上，对无烟煤的开发利用要求也最为迫切。Vdaf=3.5%



# 我国典型无烟煤

名称	符号	单位	贵州无烟煤	京西无烟煤	福建无烟煤	江西西茶无烟煤
水分	$M_t$	%	5.4	2.3	6	3.2
灰分	$A_{ar}$	%	14.08	15.24	27.51	30.82
干燥无灰基挥发分	$V_{daf}$	%	7.08	6.75	5.97	6.1
碳	$C_{ar}$	%	75.4	77.96	60.86	61.71
氢	$H_{ar}$	%	2.36	1	1.26	1.2
氧	$O_{ar}$	%	1.19	3.05	3.02	1.92
氮	$N_{ar}$	%	1.17	0.28	0.56	0.43
硫	$S_{ar}$	%	0.39	0.18	0.79	0.72
低位发热量	$Q_{net.ar}$	MJ/kg	28.44	25.80	21.63	21.39
		kcal/kg	6803	6172	5174	5117
反应指数	$RI$		408	559	439	539
燃尽指数	$C_b$		8.45	29.44	15.78	32.98

# 燃烧分布特性曲线

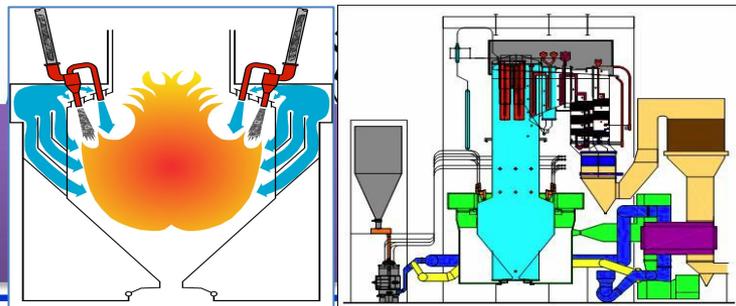


西茶煤-无烟煤  $V_{\text{daf}}=6.1\%$ ; 开远煤-褐煤,  $V_{\text{daf}}=52.7\%$ ; 合山煤-贫煤,  $V_{\text{daf}}=13.54\%$ ; 联营煤-贫煤,  $V_{\text{daf}}=21.02\%$ ;

# 电站锅炉燃用无烟煤的技术难题

- 挥发分含量低且挥发分析出温度高,释放速度慢,着火温度很高(800~900℃),不容易着火和燃尽
- 锅炉点火启动和低负荷运行时稳燃困难,要掺烧助燃油才能稳定燃烧
- 无烟煤的PC锅炉飞灰含碳量高达10%左右甚至更高,使300MW和600MW主力发电机组燃用无烟煤的锅炉热效率达不到同类机组水平,是长期困扰我国电力工业的技术难题。
- 如何使电站锅炉安全经济地燃烧无烟煤等难燃煤种,是电力工业迫切需要解决的课题。

# W火焰锅炉



- 国外公司提出采用W火焰锅炉燃用无烟煤,但应用后效果不佳。
- 飞灰可燃物高的问题没有明显改善,多数在10%~15%之间。特别是 $V_{daf} \leq 8\%$
- 反而带来了NO<sub>x</sub>排放值高的新问题,NO<sub>x</sub>排放值约1000mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>左右, YQ电厂1、2号炉高达1900mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>采用新型燃V烧器后改进后NO<sub>x</sub>为845mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup> (HIT)
- 即使采用SCR等尾部烟气脱硝技术,相当部分机组NO<sub>x</sub>最终排放仍然较难达到最新国家燃煤电厂排放标准要求(小于200 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>)。

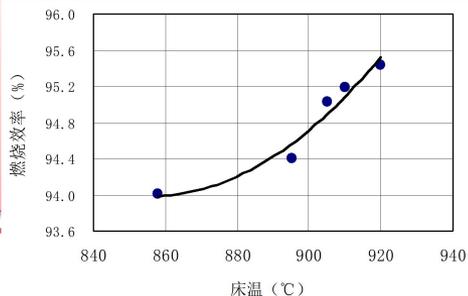
# W火焰锅炉与CFB锅炉的比较

电 厂	燃烧形式	容量(MW)	V <sub>daf</sub> (%)	热效率 (%)	C <sub>fh</sub> (%)	Nox (mg/Nm <sup>3</sup> )	BMLR (%BMCR)	备注
华能岳阳电厂	W火焰锅炉	360	12.4	88.51	8	1300	55	炉膛有结渣
华能珞璜电厂	W火焰锅炉	360	14.3	89.8	7	920	52	松藻无烟煤
山西阳城电厂	W火焰锅炉	350	8	89	15~19	1500	71	晋东南无烟煤
聊城电厂	W火焰锅炉	600	10.5	90	7~10	1100	50	阳泉无烟煤 炉膛有结焦
越南山洞电厂	高温CFB	110	8.19	90.5	5.49	138	30	北江无烟煤 940℃
分宜发电厂	CFB	330	10.5	90.3	6.13	140	28	西茶无烟煤, 900℃

## 二. 高温型CFB锅炉的概念

- 将炉膛燃烧温度提高到传统CFB床温 $920^{\circ}\text{C}$ 以上，强化炉内燃烧过程，但床温应低于灰的软化温度 ( $t_1$ )  $150^{\circ}\text{C}$ 以上，以避免结焦
- 通过合理布置受热面、设置外置床及控制循环灰量等技术，使锅炉在各种负荷下（尤其低负荷下）均能保持较高的床温，提高燃烧效率。
- 采用炉内+炉外二级脱硫技术，使 $\text{SO}_2$ 满足最新排放标准要求（小于 $100\text{ mg}/\text{m}_n^3$ ）。（例如MD电厂300MW CFB）
- 可加置简单的SCR或SNCR脱硝，使 $\text{NO}_x$ 满足更为严格排放标准要求
- 目前高温型CFB已不仅是一个概念，CERI已有越南山洞电厂110MWCFB锅炉的工程实践，希望能在此基础上进一步大型化

# 高温CFB锅炉燃用难燃无烟煤的技术特点



## ■ 燃烧效率提高

将CFB锅炉运行床温将达到1000℃左右，其对于难燃无烟煤的燃烧效率和燃烧稳定性大幅提高。

如果能使其飞灰可燃物小于7.5%，燃烧效率可达97%以上，在现有水平上提高3%左右。

## ■ 先进的污染物排放指标

采用二级脱硫技术，SO<sub>2</sub>满足最新排放标准要求；

采用SCR或SNCR技术，NO<sub>x</sub>排放浓度可低于100mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>。

— 火电成本和环境友好的合理选择

## ■ 有利于锅炉紧凑化设计

由于传热温差大(现有技术  $\theta_{EHE}^{\max}=680^{\circ}\text{C}$ )，可减小外置床尺寸。

# 三. 600MW无烟煤超临界CFB锅炉的研究

## 技术路线图

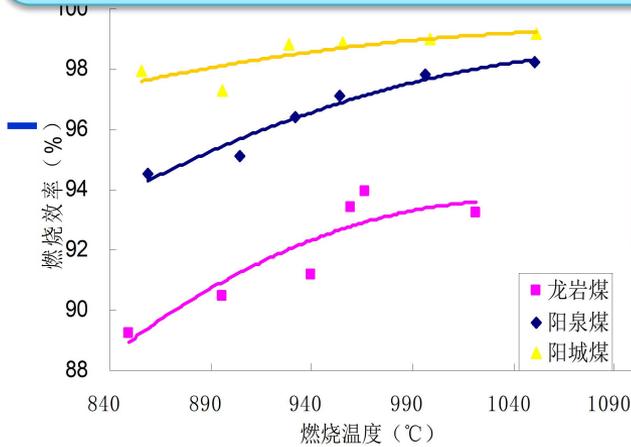
### (5个步骤)

- 1MW CFB试验台
- 4MW CFB试验台
- 高温型关键部件开发
- 高温型CFB方案设计
- 工程示范

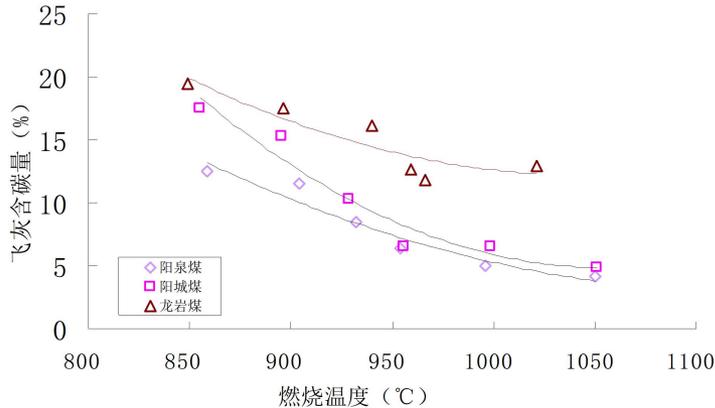


# 已开展的研究工作

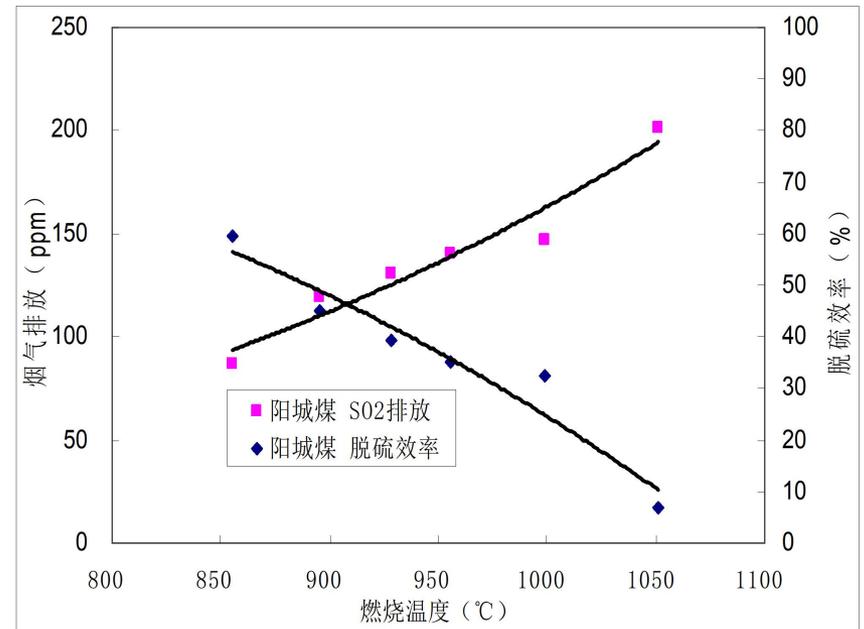
## 1. 难燃无烟煤的CFB锅炉高温燃烧特性研究



### 燃烧温度与燃烧效率关系



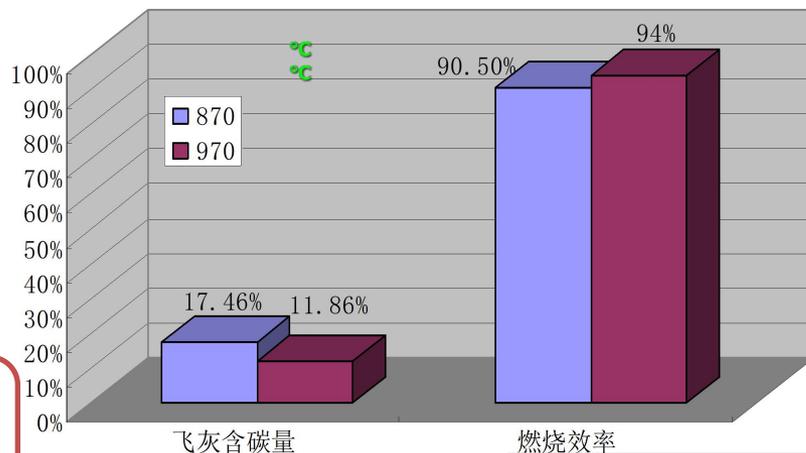
### 燃烧温度与飞灰含碳量关系



### 燃烧温度与脱硫效率关系

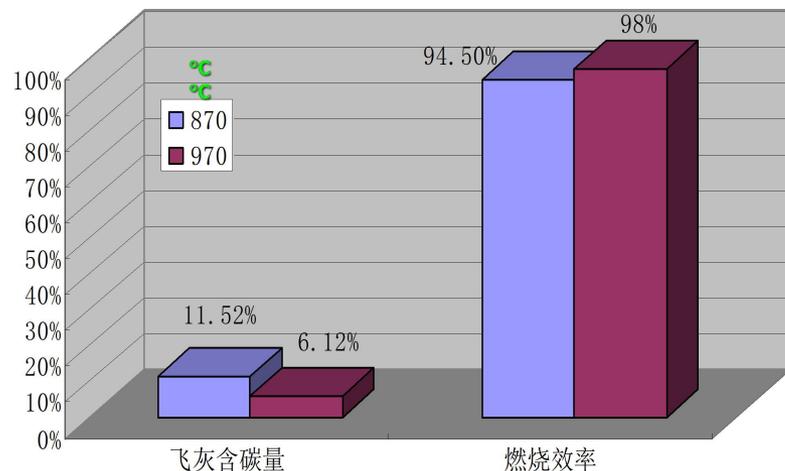
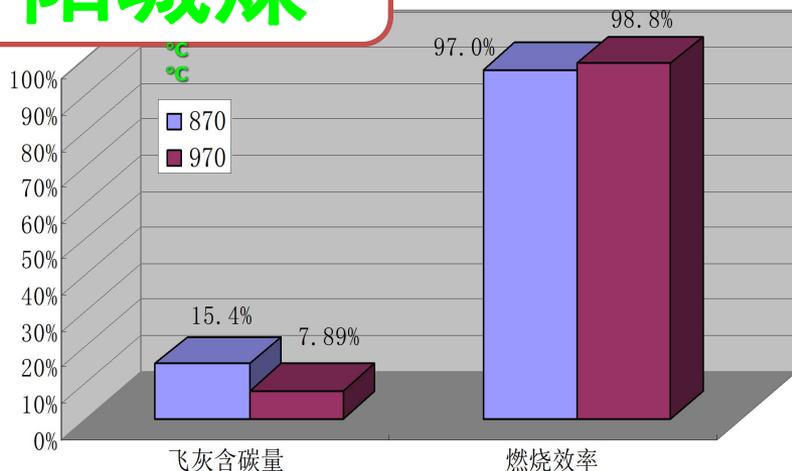
# 870°C与970°C的燃尽特性比较

龙岩煤

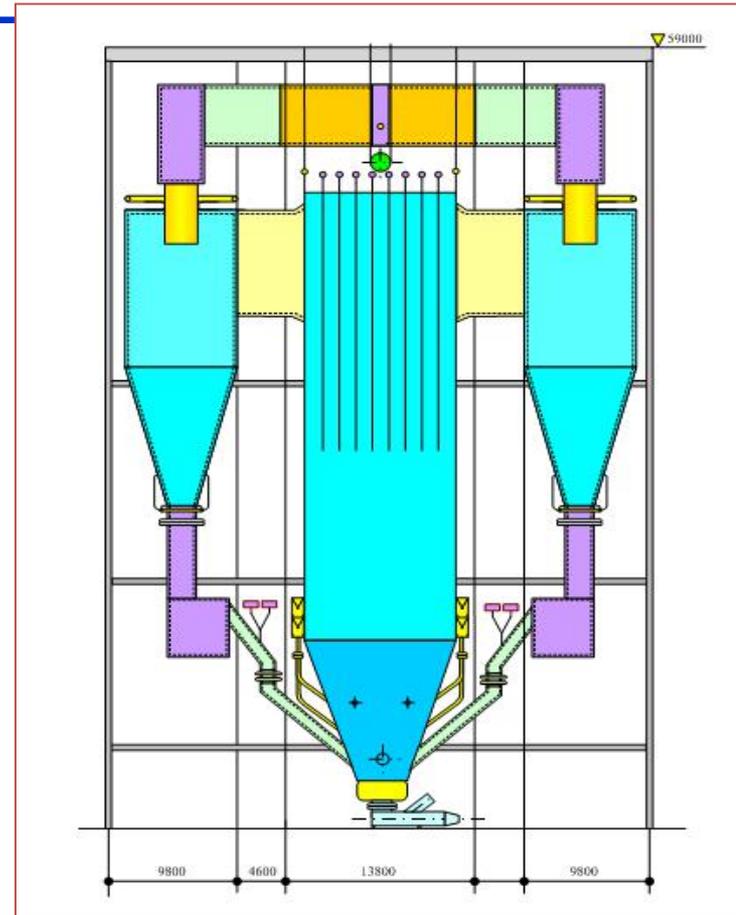
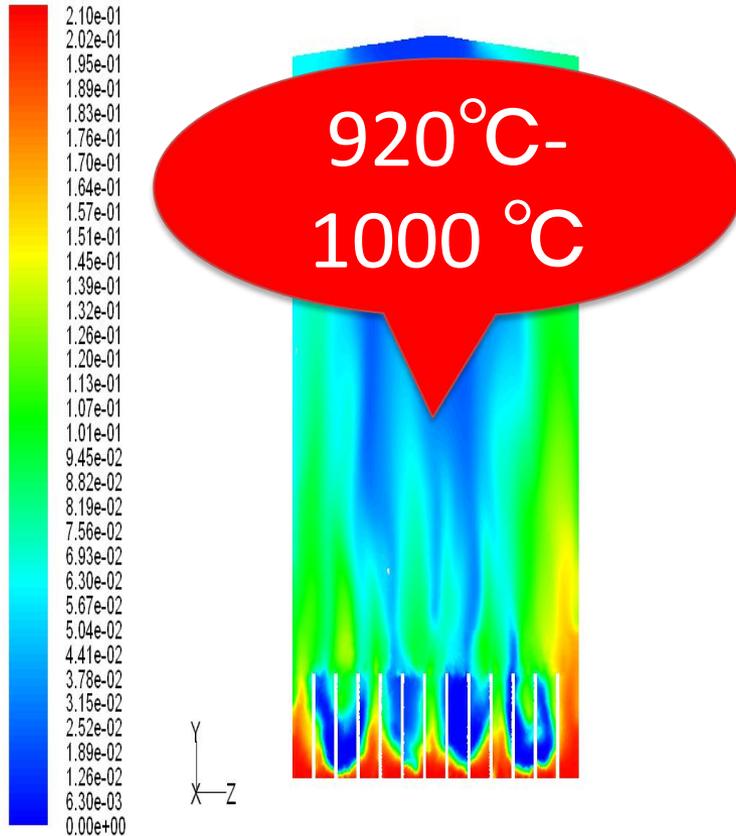


阳城煤

阳泉煤



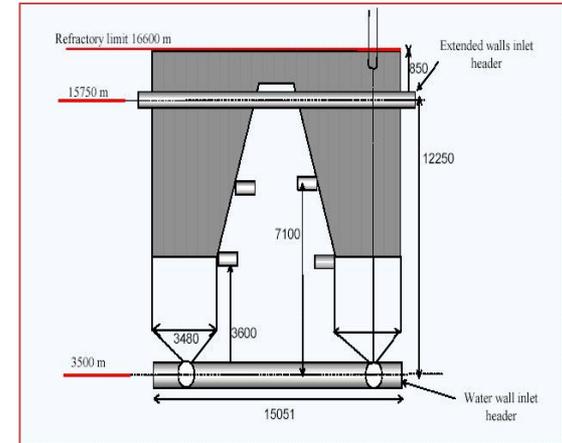
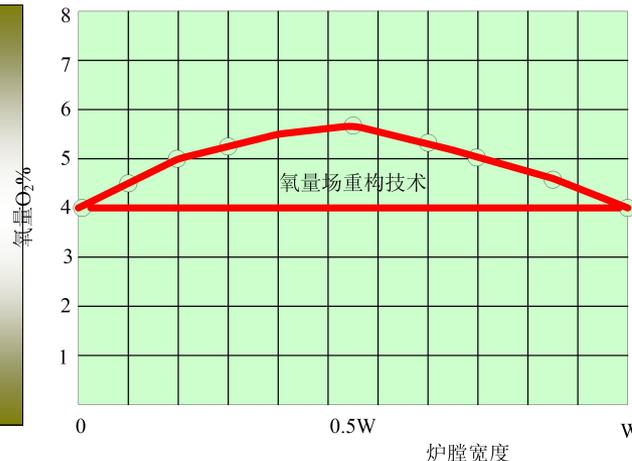
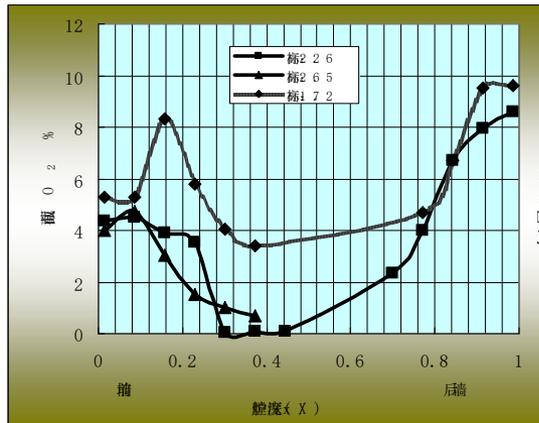
# 试验研究成果用于600MW高温型CFB 锅炉方案设计



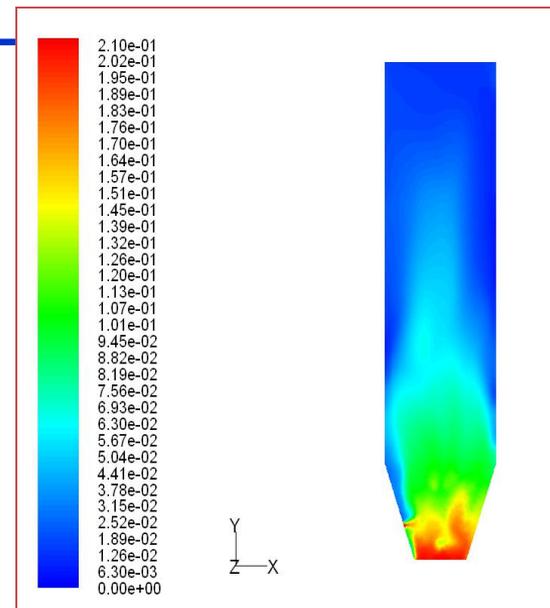
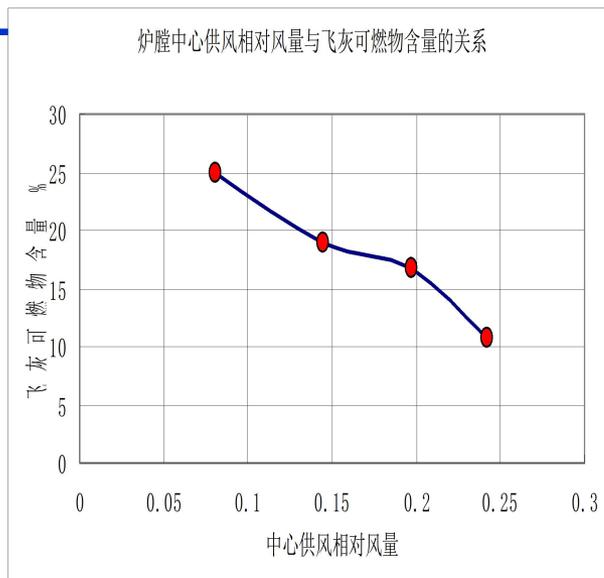
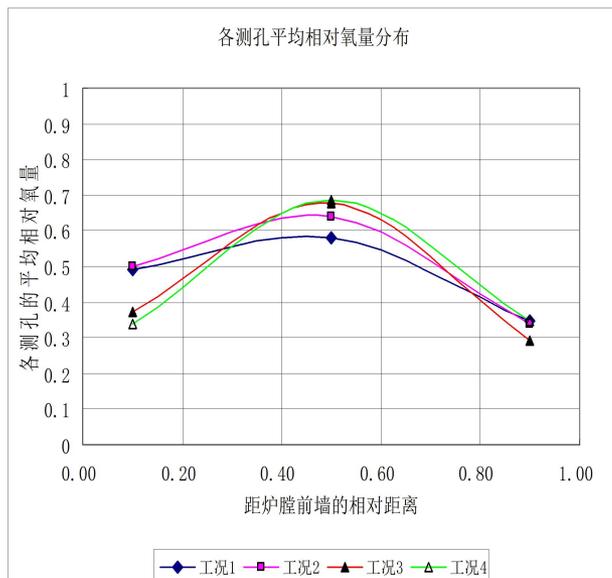
不同煤种根据其燃尽特性曲线选择床温

## 2. 无烟煤CFB锅炉炉内氧量场增氧技术开发

- 核心内容之一 (为什么要增氧?) - 针对大型CFB锅炉炉膛中心区普遍严重缺氧从而降低燃烧效率的情况, 结合4MW CFB试验台与135MW CFB锅炉, 研究改善炉膛中心区缺氧的新方法, 开发具有自主知识产权的炉膛中心供氧新技术, 实现炉内氧量场的增氧, 为无烟煤600MW CFB锅炉的高效燃用提供技术保障。



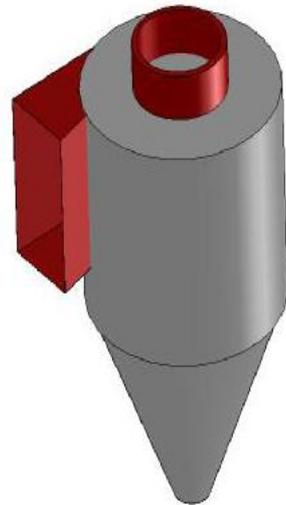
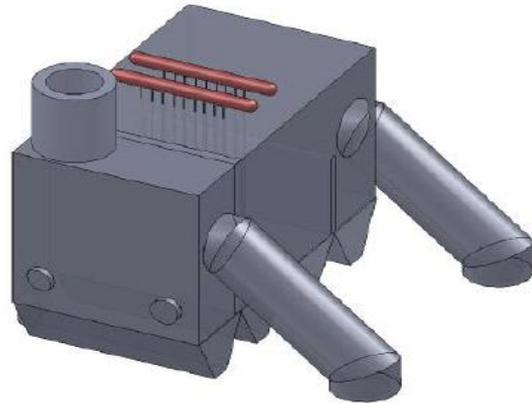
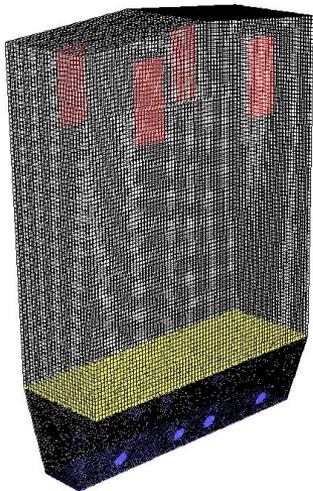
# 中心增氧技术在4MWCFB台的试验



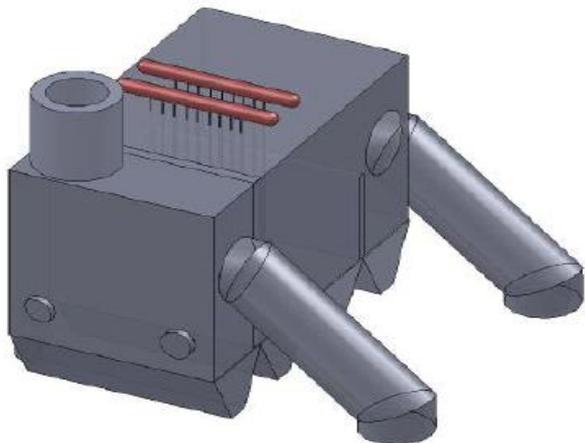
- 中心增氧使飞灰可燃物含量明显下降
- 试验煤质  $V_{daf}=9.35\%$ ,  $Q_{net, ar}=22.82\text{MJ/kg}$

### 3. 600MW难燃无烟煤CFB锅炉关键技术开发

- 研究高温型气动外置床
- 研究高温型旋风分离器等关键部件
- 研究高温状态下CFB锅炉炉内传热特性和水动力特性，掌握热力计算和水动力计算方法

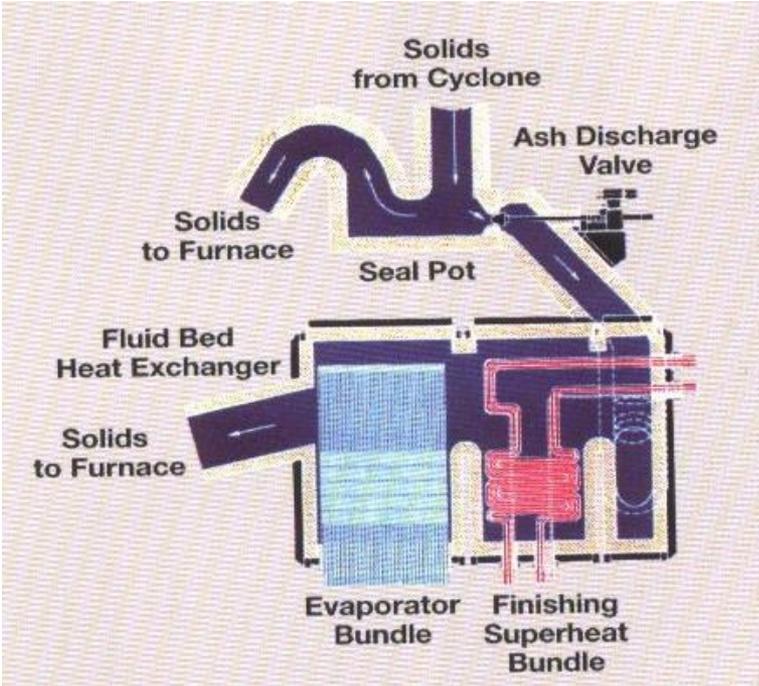
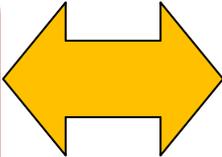


# 气动外置床CHE和以往技术的差别



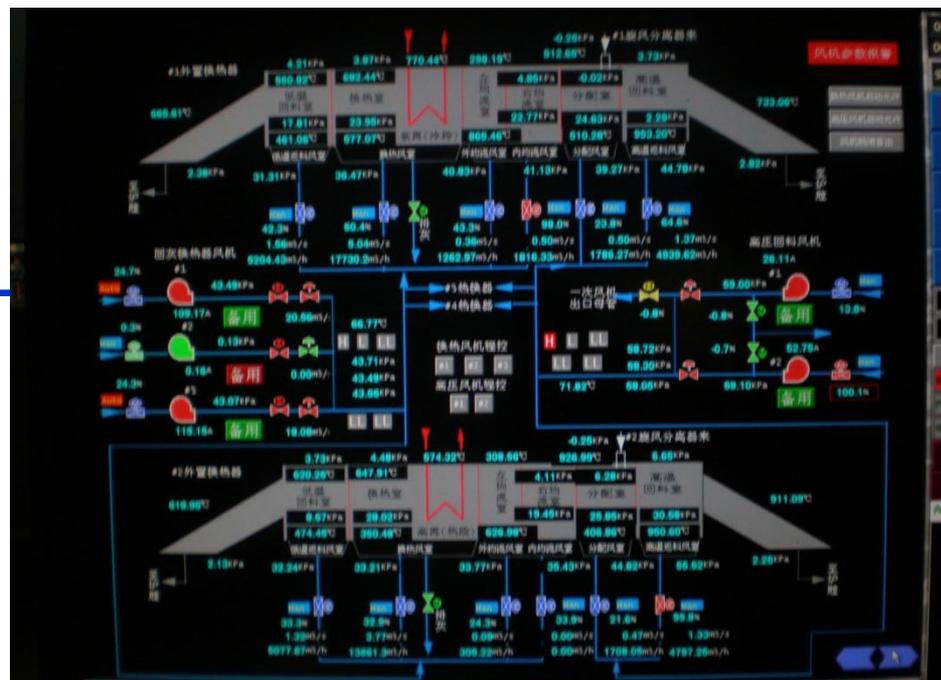
**External Heat Exchanger (EHE)-derive from the European brand**

**Compact ash-flow splitting Heat exchanger (CHE)-HCERI style**

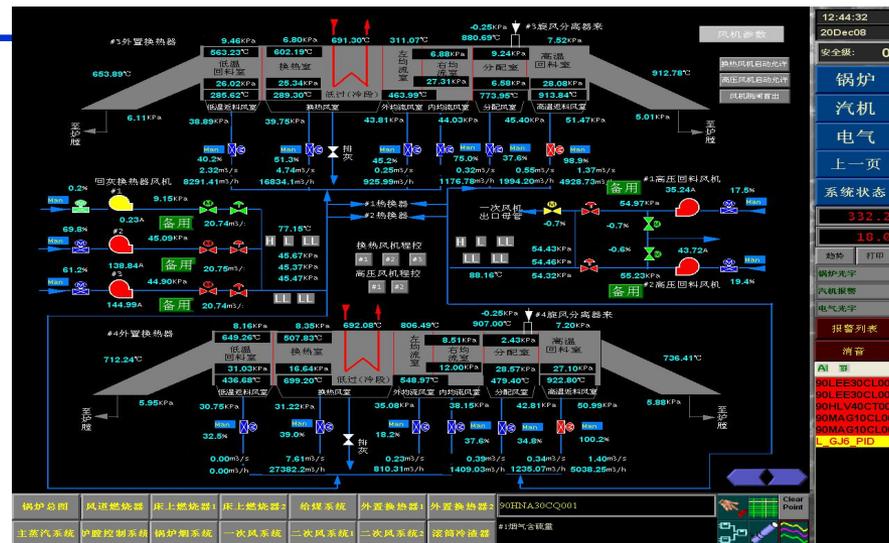
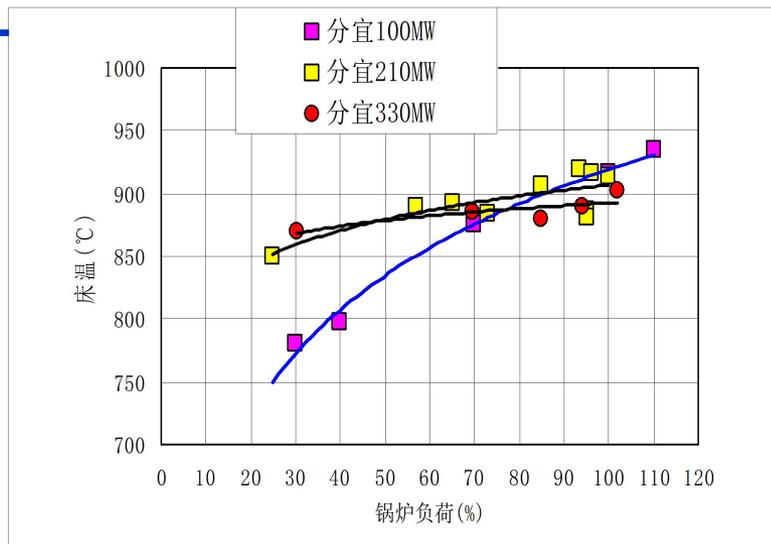


•成功的验证了新型外置床的可行性,运行约三年后,外置床内受热面无磨损

•由于没有机械阀的卡涩和磨损问题,气动外置床是发展趋势



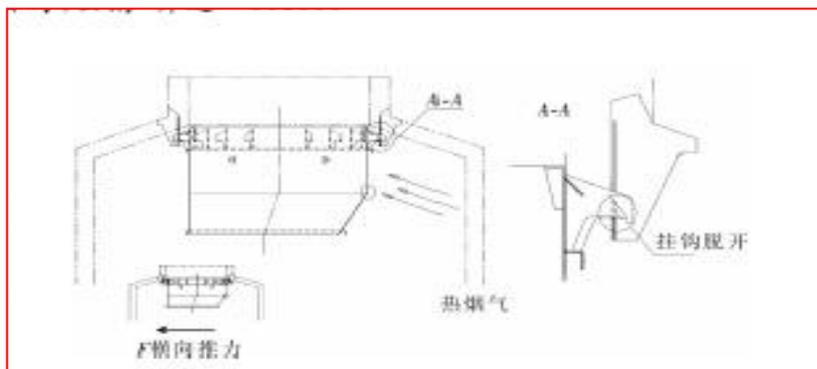
# 分宜工程验证的气动外置床的性能



- CHE调节再热汽温—动态响应时间短，调节动作后一般需要2min可达到目标值
- 全负荷过程维持较高床温水平，有利于燃尽和脱硫
- 带外置床的CFB锅炉，最低稳燃负荷30%BMCR

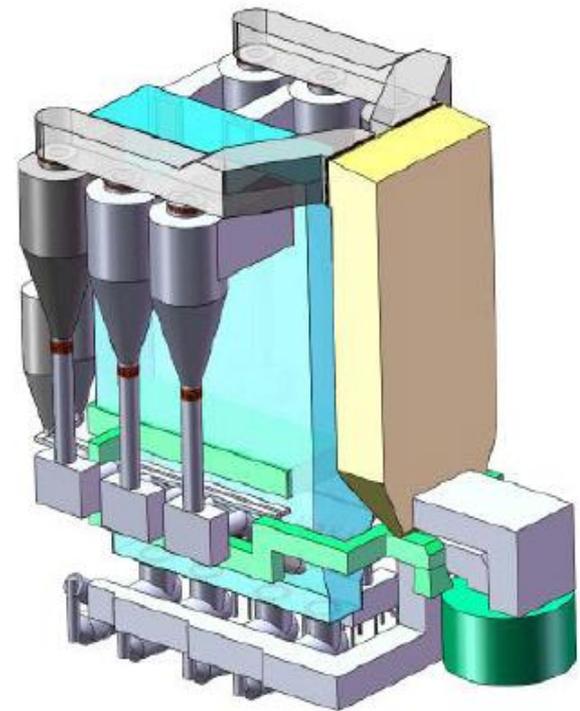
# 高温型旋风分离器需要研究问题

- 中心筒的悬吊结构改进研究
- 中心筒材料的耐热性能



## 4. 600MW难燃无烟煤CFB锅炉设计与工程应用研究

- H型布置
- H-shaped layout in configuration
- 6个气动外置床
- six Compact splitting heat exchanger
- 6个旋风分离器
- six cyclones with 8.5m diameter placed on both sides of its furnace
- 垂直管圈水冷壁
- Water wall with vertical-tube
- 单炉膛
- open furnace



## 四. 应用前景

- 当前我国电力工业已进入大机组时代，2010年末，已投运的1000MW机组31台。
- CFB锅炉的近期目标是设计开发350MW及600MW 级超临界参数CFB锅炉机组。
- 在可预见的未来，煤炭仍将保持其在一次能源供应中的中心地位，CFB锅炉的是对传统燃烧技术的必要的补充，可在无烟煤、褐煤、煤矸石、石煤、油页岩、生物质等燃料方面发挥不可替代的作用。
- 我国每年约2.4亿吨无烟煤用于发电，如果高温型600MW CFB锅炉能够很好的解决无烟煤的燃烧问题，具有良好的应用前景，可完全替代W火焰炉等技术。
- 高温型600MW CFB锅炉目前仍然是一个正在研究课题，后续还有很多研究工作。
- 示范工程正在抓紧落实，已申请了国家科研项目。

**THANK YOU! 敬请指正**

---

E-mail: [sunxianbin@hnceri.com](mailto:sunxianbin@hnceri.com)

Tel: 029-82102325

