
循环流化床锅炉分离器靶区磨损控制 与钟罩式风帽改造研究

中国华能集团清洁能源技术研究院

黄中

2013年11月29日 淮南

主要内容

一、技术背景

二、问题的提出

三、分离器靶区磨损控制与工程改造

四、钟罩式风帽工程改造与应用效果

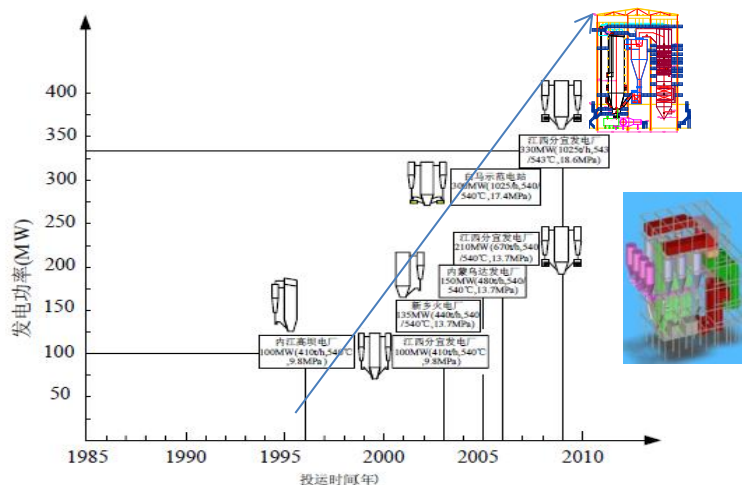
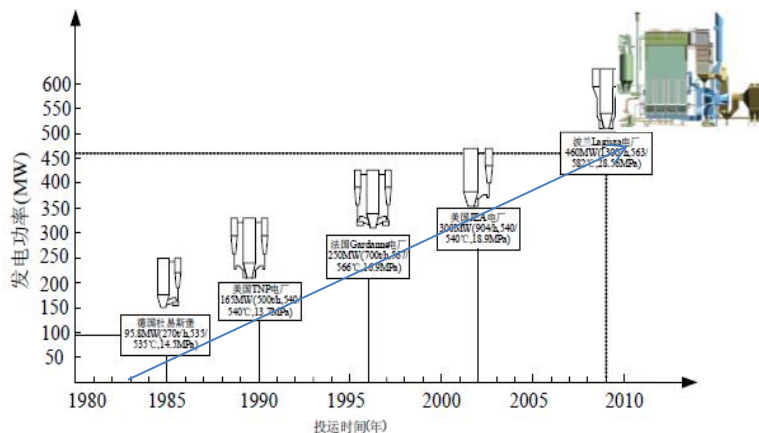
五、研究结论

循环流化床锅炉技术的特点

- 燃料适应性广、负荷调节比宽
- 添加石灰石可以有效炉内脱硫
- 燃烧温度+分级燃烧低 NO_x 排放
- 灰渣综合易于利用
- 大型化、超临界参数方向发展迅速

✓300MW等级投产机组近百台

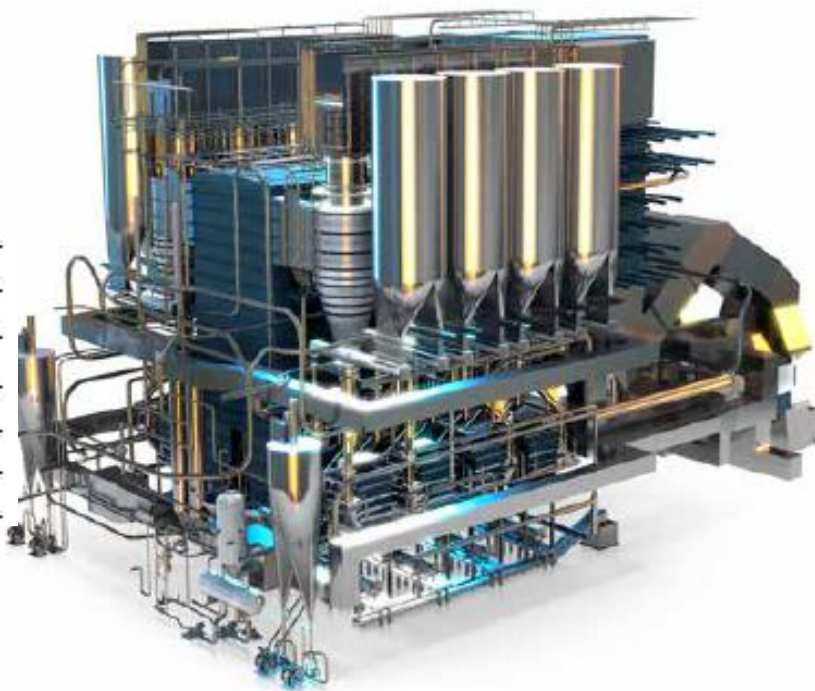
✓2013年4月14日，四川白马循环流化床示范电站有限责任公司60万千瓦超临界循环流化床示范机组已经顺利投入商业运行！



循环流化床锅炉技术的特点

- 2013年10月亚洲国际电力展览会（Power-Gen Asia），ALSTOM推出了660MW超超临界CFB锅炉方案（USC-CFB）
- 相比亚临界机组够减少燃料消耗6%，机组净效率提高3%

Performances	1,820 t/h 270 bar 600°C/620°C MS/HR
Boiler efficiency*	>90%
Fuel consumption*	605 t/h
Limestone consumption*	75 t/h
Sulphur removal*	>95%
Control point	60% maximum continuous rating



✓CFB技术有望得到进一步充实和发展

主要内容

一、技术背景

二、问题的提出

三、分离器靶区磨损控制与工程改造

四、钟罩式风帽工程改造与应用效果

五、研究结论

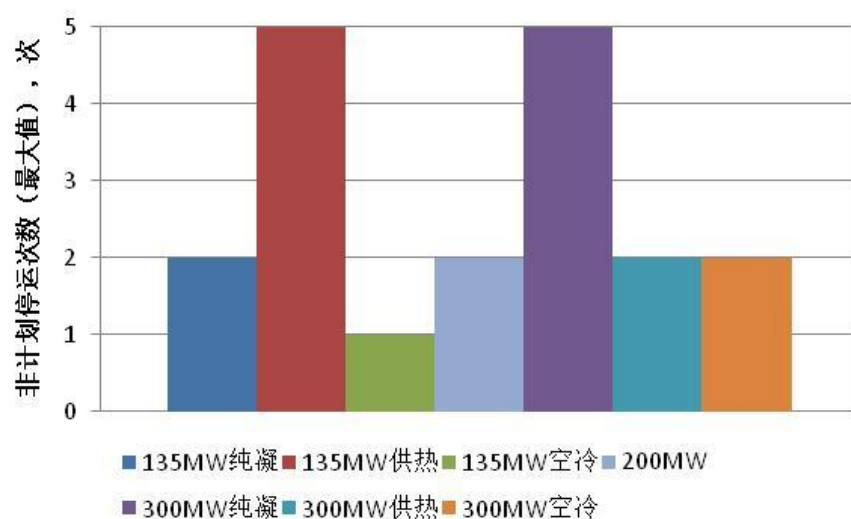
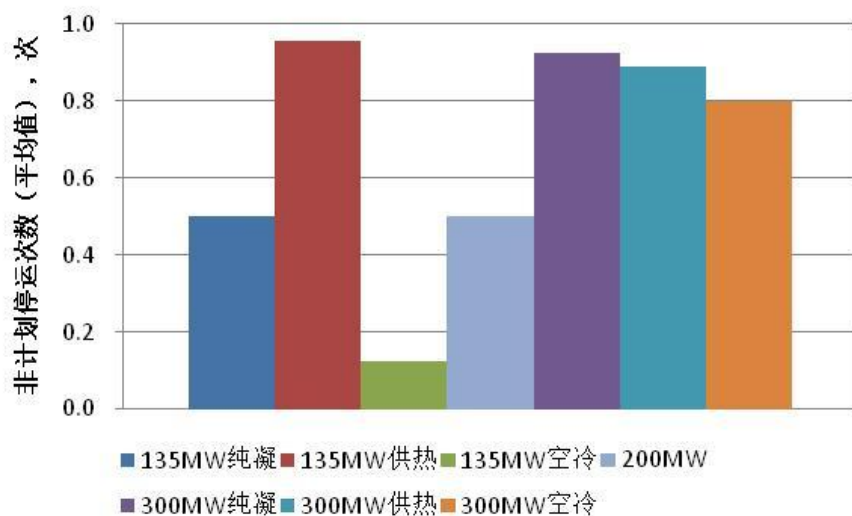
循环流化床锅炉的运行现状

■ 部分机组的非计划停运次数偏高

2012年度全国CFB机组的平均非计划停运次数为0.72次/年

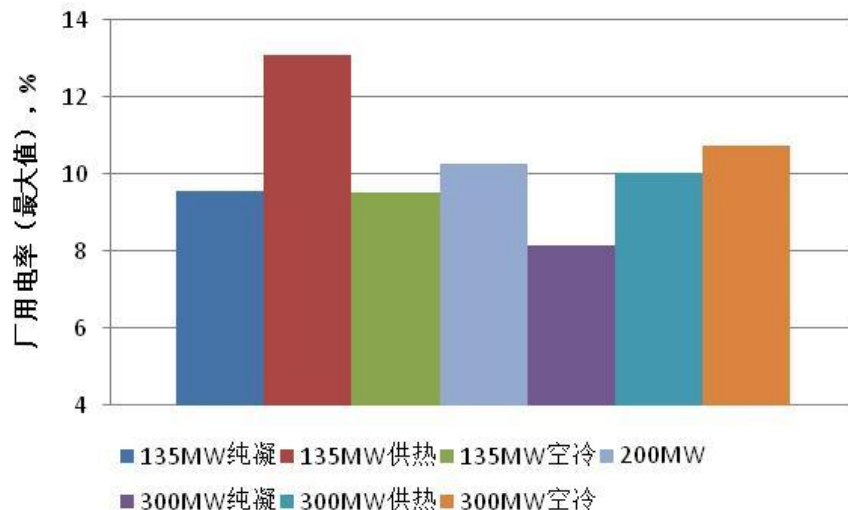
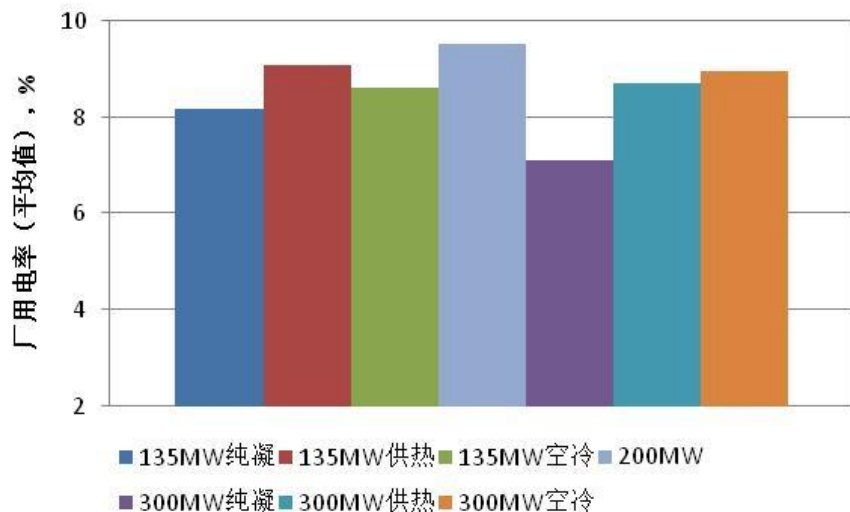
有部分机组的非计划停运次数达到了5次

不同机组之间的差异巨大，呈现两极分化



循环流化床锅炉的运行现状

- 厂用电率高，经济性有待提高
- 2012年度300MW等级的平均生产厂用电率为8.13%（煤粉锅炉机组的平均生产厂用电率为5.81%）

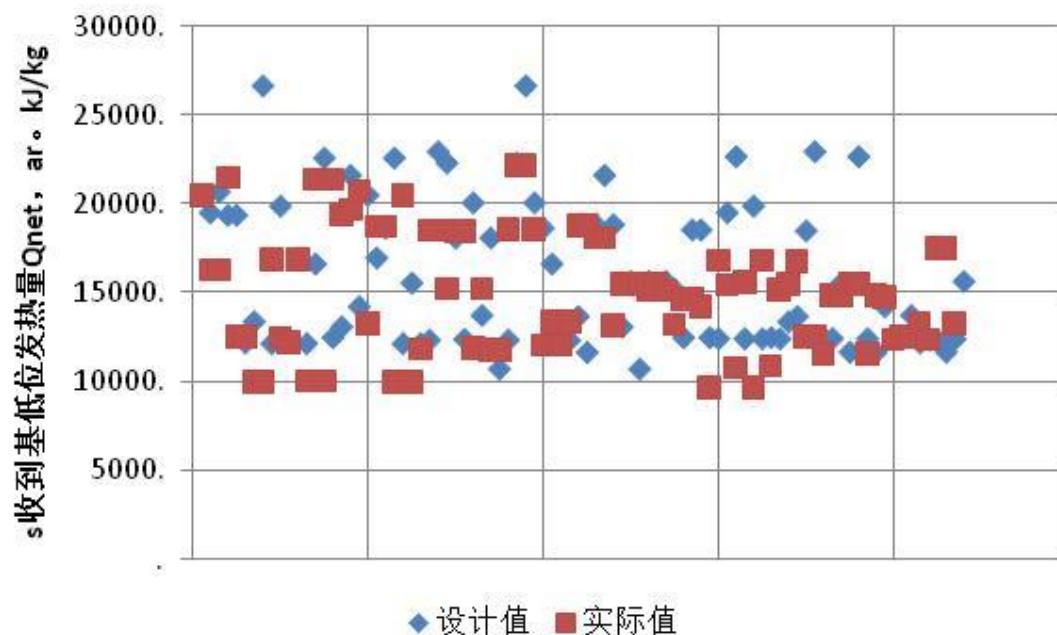


循环流化床锅炉的运行现状

- 燃用煤质差，灰渣量和锅炉磨损较大

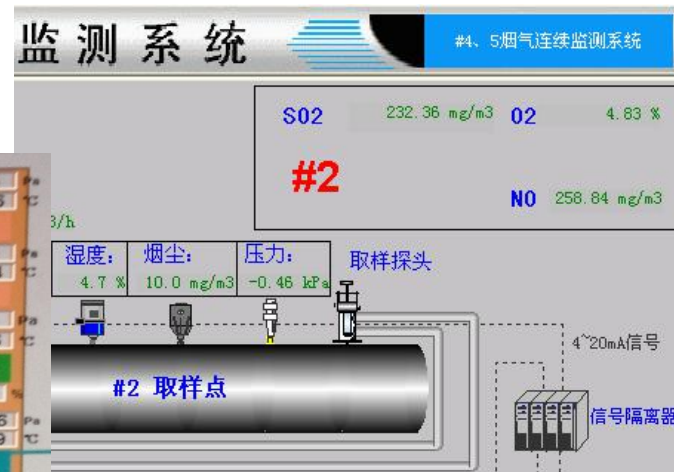
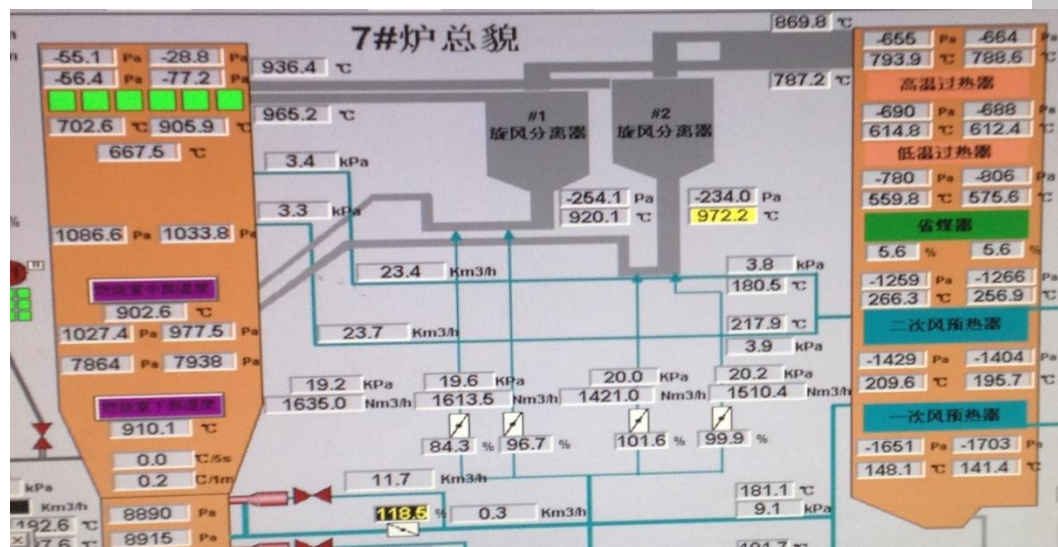
设计发热量为16.0MJ/kg

实际发热量为15.1MJ/kg



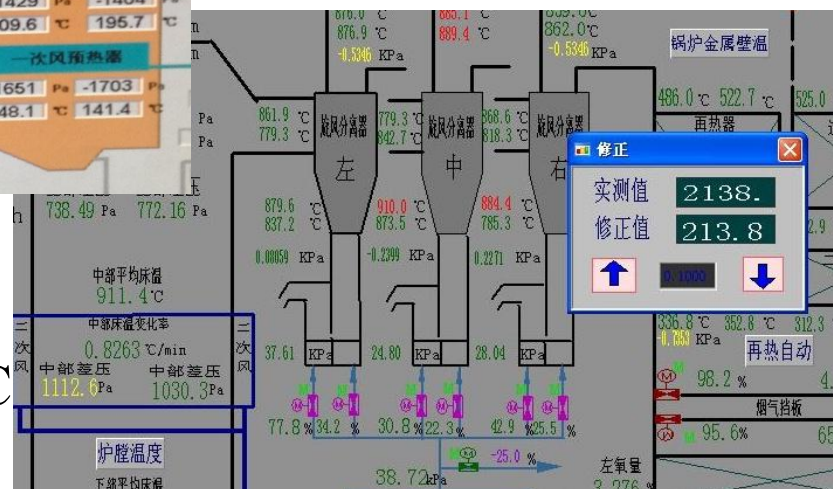
循环流化床锅炉的运行现状

燃烧组织不良



氧量偏大 (近6%)

床温超出设计值 (达到1000°C)



循环流化床锅炉的运行现状

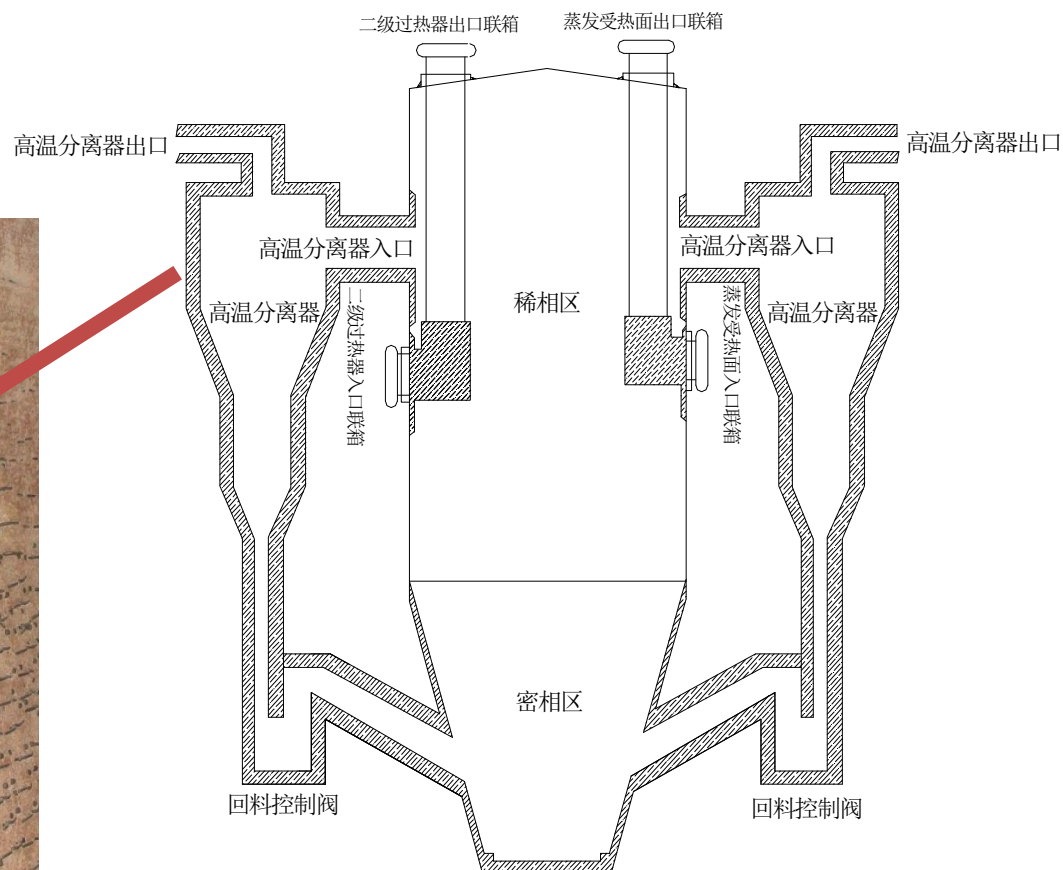
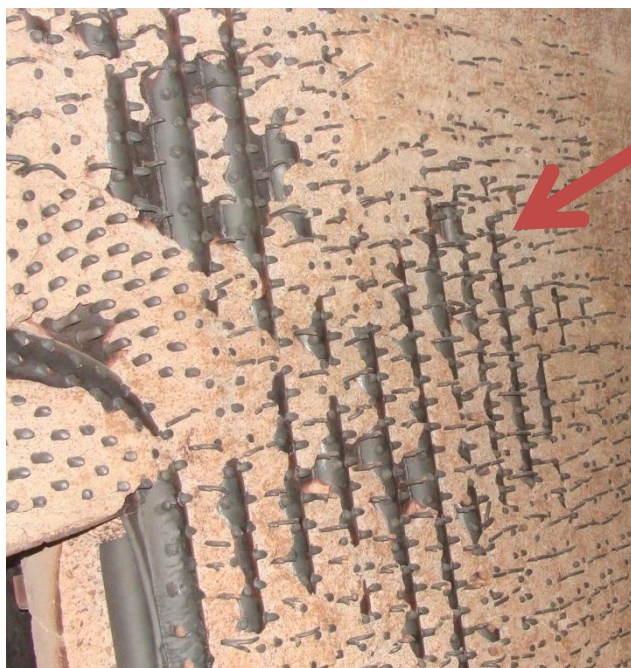
- 燃煤粒度控制较差
冷却输送困难



循环流化床锅炉的运行现状

■ 耐磨浇注料脱落、磨损

分离器靶区损坏！！



循环流化床锅炉的运行现状

- 风帽磨损严重
- 损坏更换频繁
- 漏渣严重
- 布风不均，流化质量差



主要内容

一、技术背景

二、问题的提出

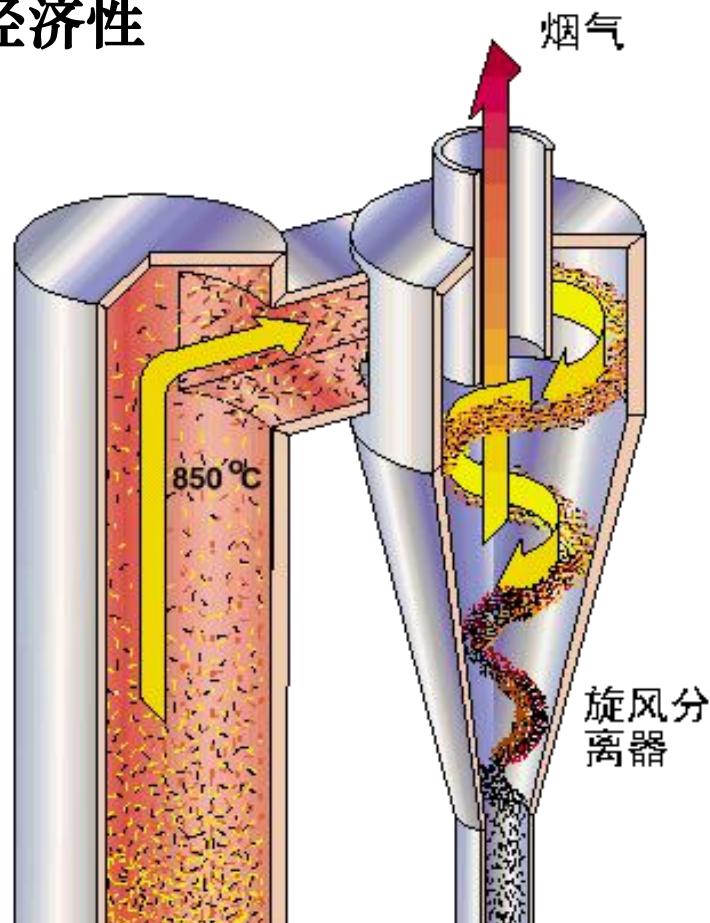
三、分离器靶区磨损控制与工程改造

四、钟罩式风帽工程改造与应用效果

五、研究结论

旋风分离器的作用

- 维持物料正常循环，提高锅炉运行经济性
- 分离器设计要求
 - 恶劣条件下稳定工作
 - 分离效率高、本体阻力小
- 分离器使用中的问题
 - 效率不能保证
 - 设备能耗高
 - 磨损较为严重



分离器靶区的各种问题

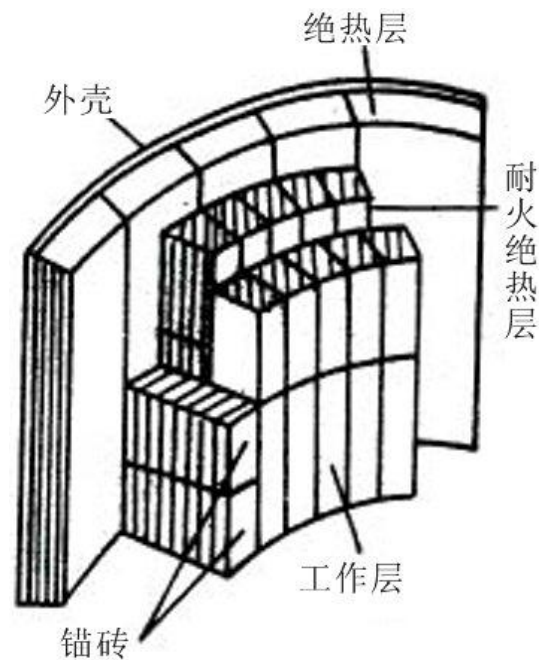
■ 分离器靶区是高含尘气流在分离器内发生急剧旋转时的主要受冲击区域（该区域受高含尘气流的冲击最大，气流在此区域流速最高且存在急剧的转向），也是颗粒与分离器壁面发生第一次撞击的区域

■ 靶区一般敷设有较厚的耐火耐磨材料，但这些耐火耐磨材料容易磨损、脱落并引发分离器故障

✓分离器是循环流化床锅炉运行最恶劣的区域

✓靶区是分离器运行最恶劣的部位

✓可谓“恶劣之极”



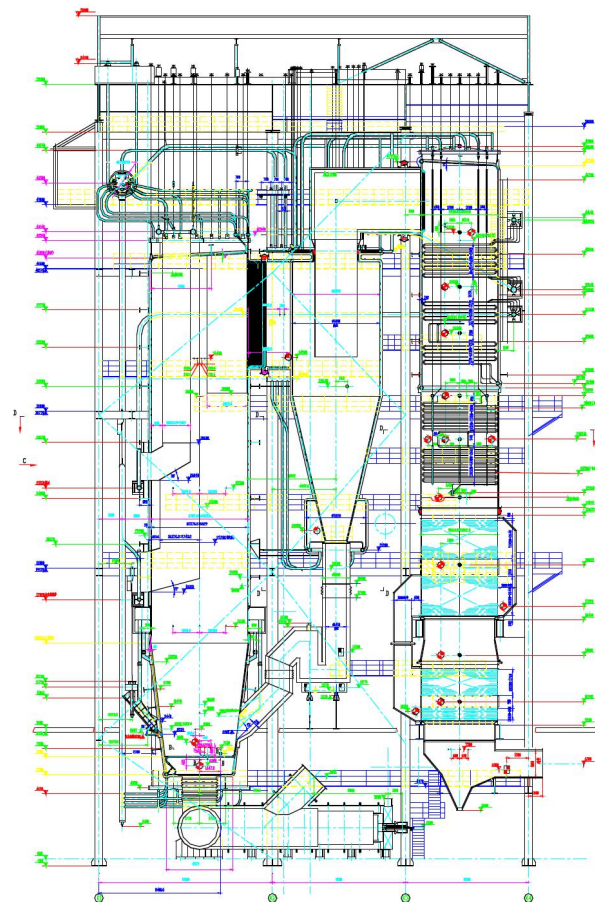
分离器靶区的各种问题

- 分离器故障中约有一半是耐火耐磨材料损坏引起的
- 如果分离器出现故障，将会带来以下问题：
 - (1) 细颗粒得不到有效燃烧影响锅炉运行的经济性
 - (2) 飞灰量增大加剧尾部受热面磨损，增加除尘设备工作压力
 - (3) 进入循环回路循环灰量减少、循环量下降，影响炉膛传热
 - (4) 极端情况下如果分离器堵塞，锅炉将被迫停炉检修

研究对象

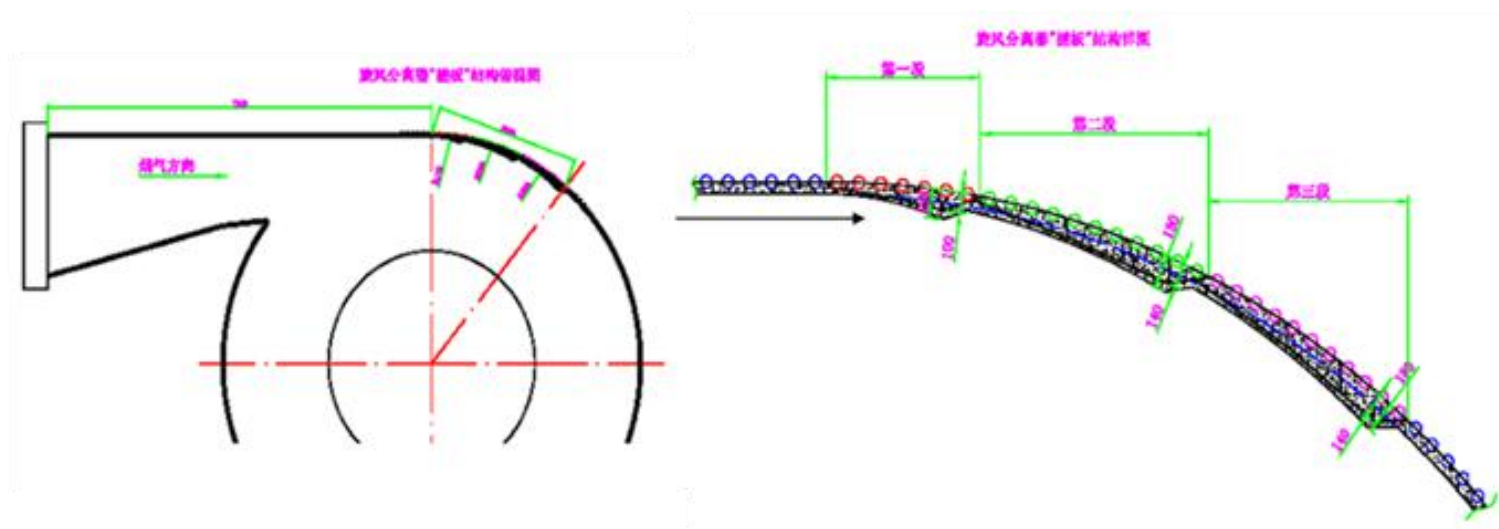
- ◆ 锅炉由东方锅炉（集团）股份有限公司设计制造
- ◆ 单汽包、自然循环、循环流化床燃烧方式
- ◆ 锅炉分离器靶区磨损严重，停炉多次

序号	名称	符号	单位	BMCR
1	过热蒸汽流量	D_{gr}	t/h	440
2	过热蒸汽出口压力	P_{gr}	MPa	9.81
3	过热蒸汽出口温度	t_{gr}	℃	540
4	给水温度	t_{gs}	℃	215
5	高加切除后给水温度	t_{gs}'	℃	160
6	排烟温度	θ_{py}	℃	135
7	冷风温度	t_{lk}	℃	20

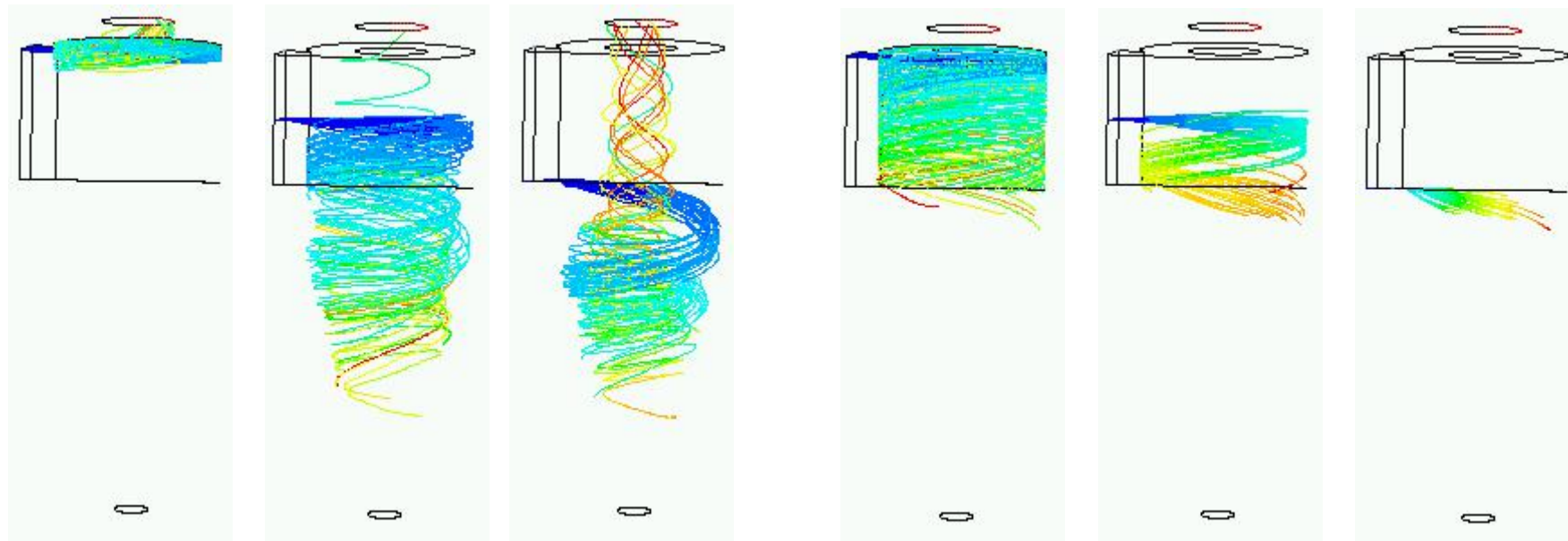


分离器靶区防磨技术

- 针对靶区磨损问题，早期采用整体增加靶区耐火材料厚度及“搓板结构”进行改造。运行结果显示，这些改造改变了含尘气流在分离器筒体内的流动、破坏了分离器的流场，造成了分离效率的下降，对锅炉的经济运行产生不利影响
- 由于耐火材料厚度增加带来了施工、固定和养护的新问题



颗粒运动轨迹模拟



30 μm 颗粒的运动轨迹

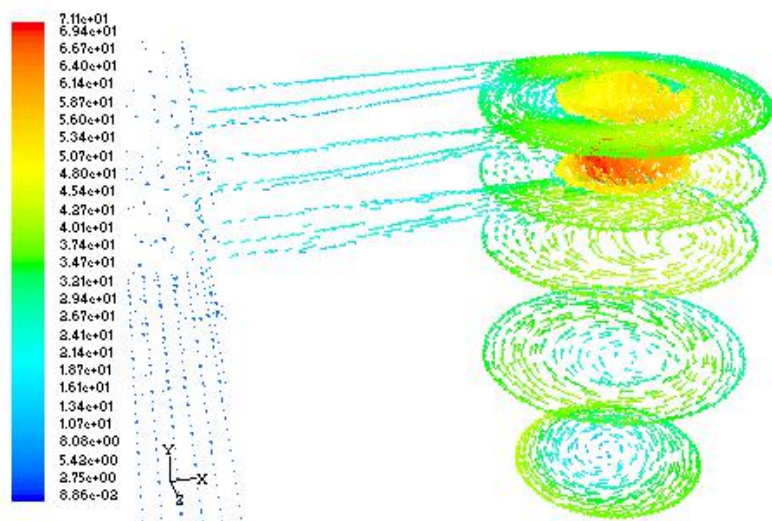
100 μm 颗粒的运动轨迹

对靶区撞击颗粒的粒径范围是100 μm -1000 μm

低于此粒径的颗粒容易被气流裹挟或撞击分离器锥段区域壁面被分离捕集，或从分离器中心筒逃逸进入尾部烟道

大于此粒径的颗粒则很难被炉膛上升气流携带进入分离器

速度矢量模拟



靶区部位（气流直接冲击区域）集中在分离器入口烟道与分离器筒体相交线 $\pm 20^\circ$ 的范围内

该区域直接受到高含尘、高流速气流的冲刷（气流冲刷靶区的速度可达分离器入口速度的1.6~1.8倍），磨损最为严重

设计软件校核计算

- 采用VBA语言
 - 设计程序输入采用Excel工作表形式
 - 提供了设计型谱
 - 规范了设计流程
- ✓开展校核计算
✓完成工况分析

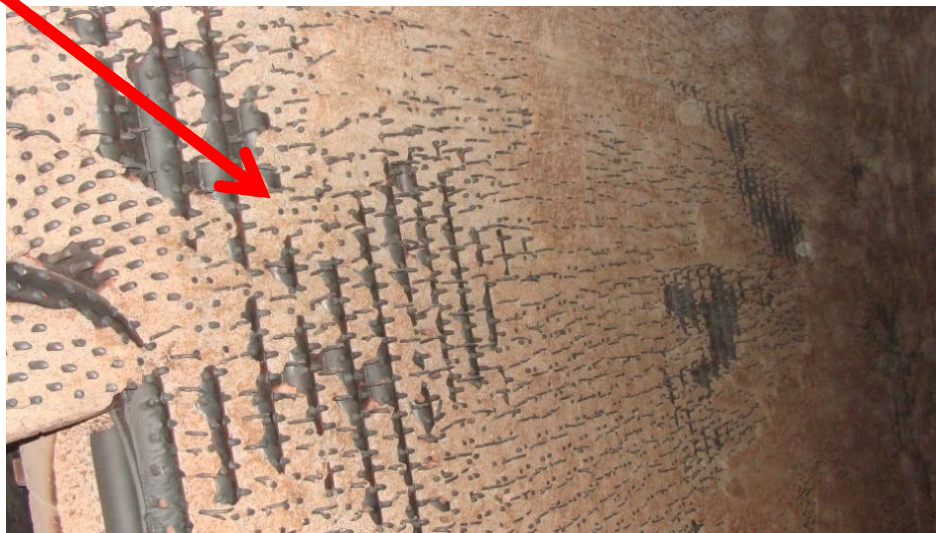
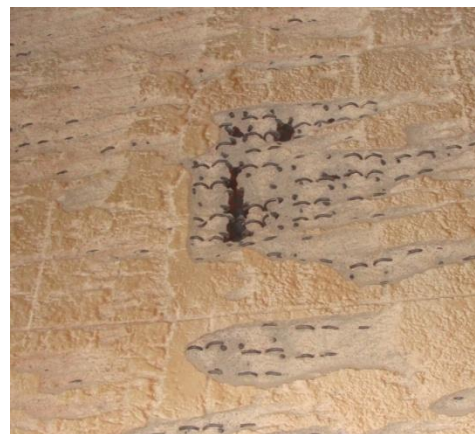
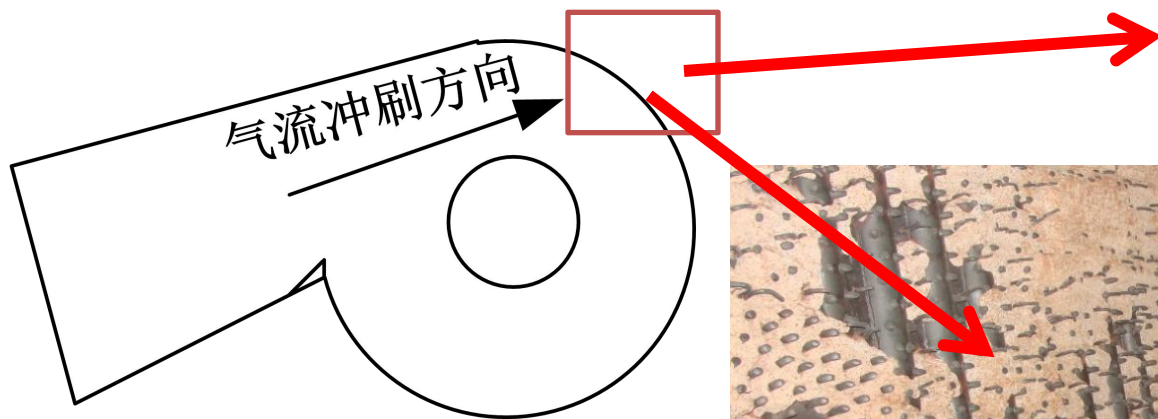
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	微调数据可以改变分离器性能, 建议参考型谱数据资料							
2	分离器结构设计参数							
3	序号	符号	名称	单位	公式或数据来源	结果	推荐值	
4	1	V_y'	分离器入口烟气流	m^3/s	热力计算结果	51.7	-	
5	2	n_{gw}	分离器数量	台	选型确定	2	-	
6	3	Q_y'	单台分离器烟气流	m^3/s	$V_y'/(273+T'')/273/n$	111.1	-	
7	4	u_i	分离器入口速度	m/s	选取	19.5	-	
8	5	$u_{i'}$	入口速度(加速后)	m/s	$1.25u_i$	24.4	15~25m/s	
9	6	F''	炉膛出口面积	m^2	$Q_y'/u_{i'}$	5.70	-	
10	7	F_i	入口面积	m^2	Q_y'/u_i	4.56	-	
11	8	D	分离器内径	m	选取	7.000	6~8m	
12	9	b	分离器入口宽度	m	$0.25D$	1.96	0.2~0.25D	
13	10	a	分离器入口高度	m	F_i/b	2.33	0.4~0.75D	
14	11	K_i	分离器入口高宽比	-	a/b	1.19	-	
15	12	a'	炉膛出口高度	m	a	2.33	-	
16	13	b'	炉膛出口宽度	m		2.45	-	
17	14	h	分离器柱段高度	m	$1.25D$	8.75	1~2D	
18	15	$H-h$	分离器锥段高度	m	$1.7D$	11.9	1.5~2.5D	
19	16	H	分离器总高	m	$h+H-h$	20.65	3~4D	
20	17	h_c	排气管插入深度	m	$0.4a$	0.93	0.3~0.75D	

14	制炼厂商	哈尔滨锅炉厂	型号	HS-410/9.8-L, WM17	煤质	无烟煤	点击查看
15	数据来源	现场调研	其它说明				
16							
17							
18	资料来源	山东华盛电厂	锅炉容量	135MW	投运时间	2006.3	点击查看
19	制炼厂商	东方锅炉厂	型号	DG-460/13.73-II3	煤质	无烟煤	
20	数据来源	现场调研	其它说明				
21							
22							
23	资料来源	葛州电厂	锅炉容量	50MW	投运时间		点击查看
24	制炼厂商	哈尔滨锅炉厂	型号	HS-220/9.8-L, PM1	煤质	贫煤	
25	数据来源	公开资料	其它说明				



分离器靶区改造

- 分离器设计参数无大问题
- 应从工艺和运行角度寻求改进措施



分离器靶区改造

- 材料方面，传统设计更多考虑的是耐磨损和耐高温，对于靶区温度变化频繁考虑不足、使用材料的抗热震稳定性较差
- 在进行靶区改造时应提高材料的导热系数，增加SiC等材质的含量，使在分离器靶区时材料的综合性能可以得到保证
- 高强度耐火耐磨化学成分

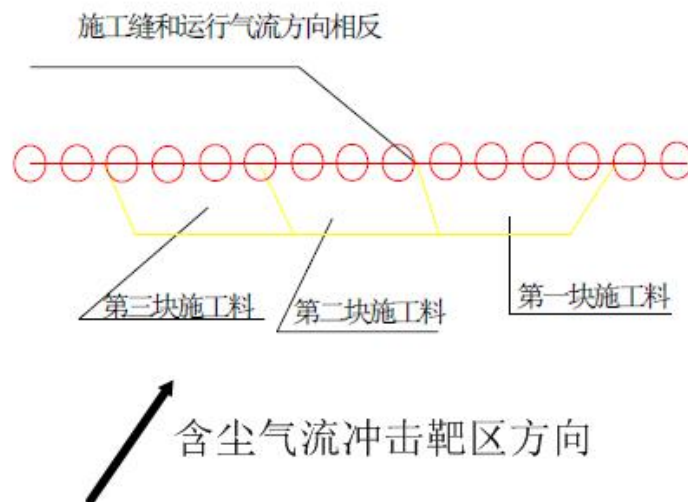
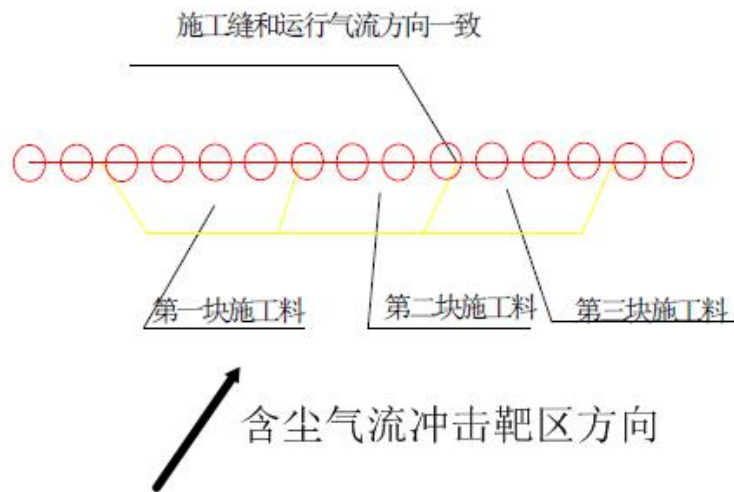
序号	名称	单位	数据
1	Al ₂ O ₃ 含量	%	≥80
2	Fe ₂ O ₃ 含量	%	≤1
2	SiC含量	%	≥10

分离器靶区改造

- 运行方面，床温、氧量等控制参数将直接影响到烟气对靶区的冲刷，一般循环流化床锅炉的运行床温为850~920℃，炉膛出口氧量为1.0%~2.0%，但是有些锅炉在运行中由于燃烧组织不当，存在比较明显的后燃或大运行氧量，这就使得进入分离器的实际烟气量远高于设计值，增大了分离器靶区的磨损，因此需要结合锅炉实际情况通过运行优化提出适宜的操作参数
- 改造期间针对锅炉开展的冷态试验、热态试验和运行优化调整发现锅炉的一次风量和二次风量显示值较真实值偏低、氧量指示不准，实际风量高出设计推荐值15%，后期进行了优化调整，提出了运行控制参数

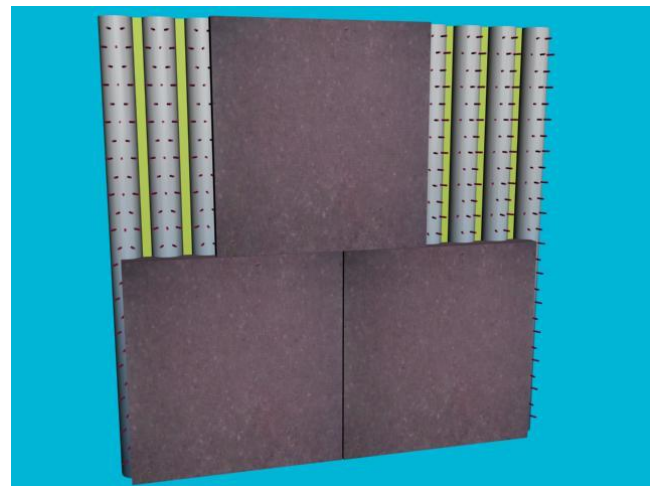
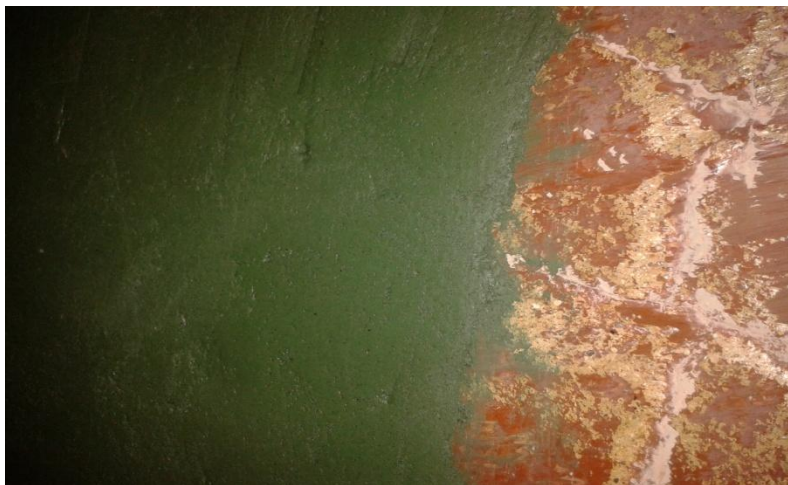
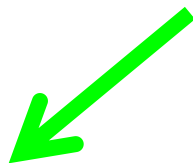
分离器靶区改造

- 施工中施工方式不当，施工可塑料必须逆气流方向施工，禁止施工缝和气流方向一致，导致气流贯穿冲刷
- 靶区耐火材料不能过分追求其平整度和光滑度
- 合理设置沥青路面般不规则小气孔



改造的实施

- 拆除旧有搓板结构
- 使用高强度材料和改进工艺
- 补焊销钉
- 重新进行靶区弧线修复



改造的实施



连续运行18个月靶区未见磨损
问题彻底解决！



主要内容

一、技术背景

二、问题的提出

三、分离器靶区磨损控制与工程改造

四、钟罩式风帽工程改造与应用效果

五、研究结论

CFB锅炉风帽的功能作用

- ◆ 冷态及运行时与布风板共同承托床料
- ◆ 维持布风均匀、流化稳定
- ◆ 避免出现流化死区
- ◆ 防止大颗粒沉积
- ◆ 产生合理阻力



CFB锅炉风帽的结构形式

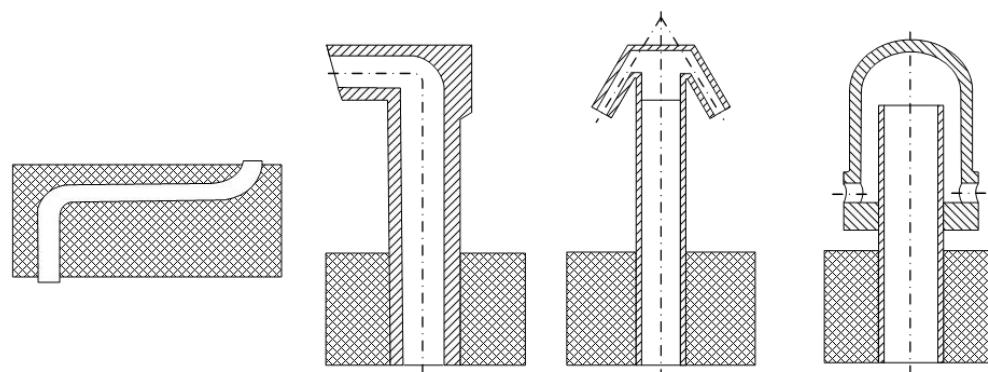
◆ 早期应用的CFB锅炉风帽结构形式

■猪尾巴型风帽

■定向风帽

■剑型风帽

■钟罩型风帽



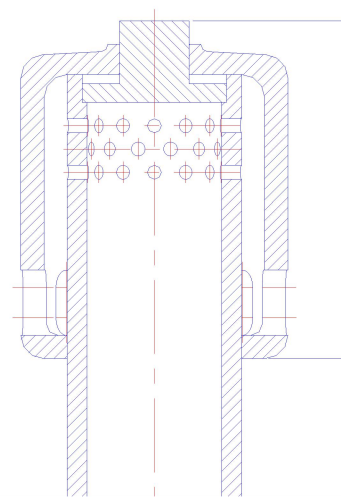
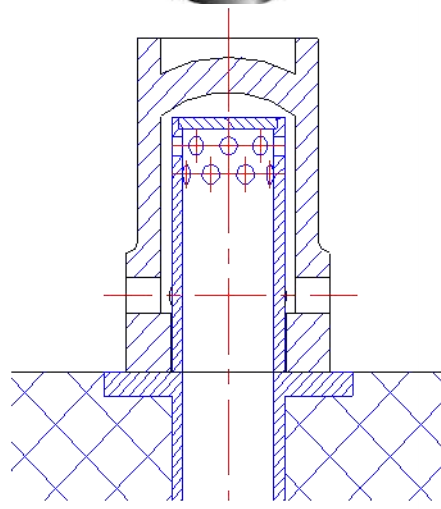
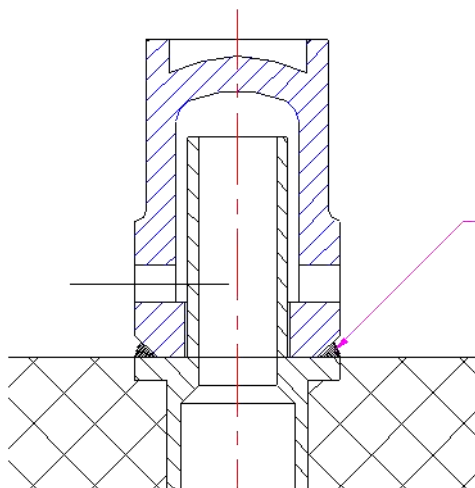
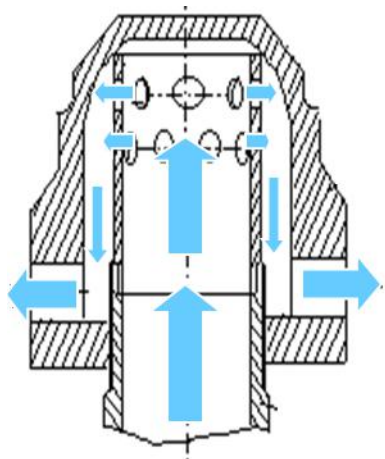
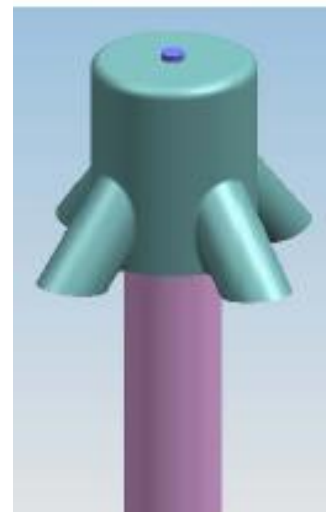
	风帽数量	外孔尺寸	布风均匀性	磨损特性	防漏渣性能	使用周期
柱形风帽	多	小	好	较轻	一般	一般
猪尾形风帽	多	—	好	最轻	较好	较长
定向风帽	多	大	较好	较重	弱	较短
箭形风帽	少	大	较好	较轻	弱	较短
钟罩形风帽	较少	较大	好	轻	好	较长

CFB锅炉风帽的结构形式

◆ 目前应用的CFB锅炉风帽结构形式

■ 定向风帽及其改进形式

■ 钟罩式风帽及其改进形式



风帽磨损问题

- ◆ 磨损普遍发生，运行条件决定风帽磨损不可避免
- ◆ 磨损主要位置是外罩出口、顶部、芯管
- ◆ 磨损与运行维护密切相关



风帽磨损问题

◆维护因素

风帽定期进行更换维护频率

◆煤质特性

灰分、粒径分布、掺矸率

◆运行因素

是否大风量运行

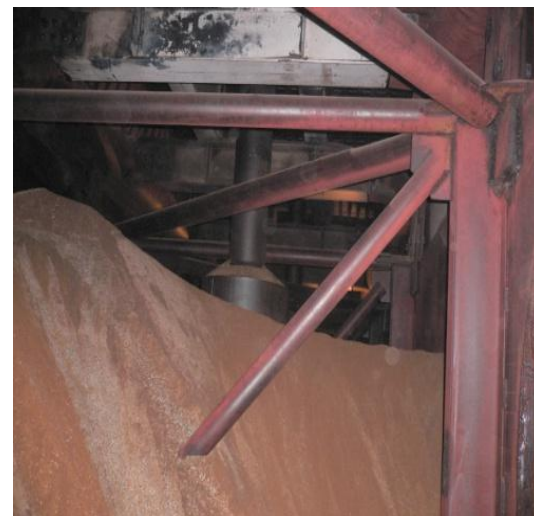
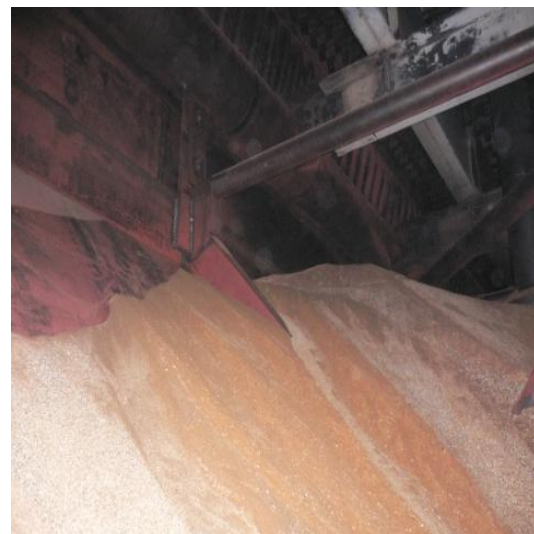
风量增加15%，磨损增加50%

$$E=K\mu d^2U^3$$

风帽漏渣问题

◆漏渣

- 设计因素（结构、阻力特性）
- 运行环境（流化风量、风温）
- 运行维护（破损、脱落）
- 危害严重（经济性、安全性、磨损加剧）



风帽漏渣问题

◆ 综合成因

单炉膛结构使用的大床面对风室压力均匀性有影响

风帽阻力不足以克服风压、流量波动造成的床层不稳定

流化较差区域的床料在炉内压力驱动下进入风帽造成漏渣

◆ 解决途径

合理的阻力（低负荷下的流化及布风均匀性）

选择良好的风帽结构及参数

实现风帽阻力与风速的独立

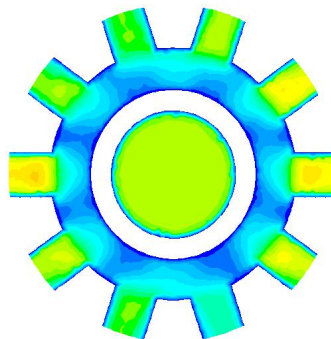
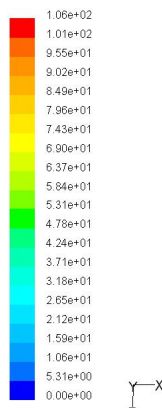
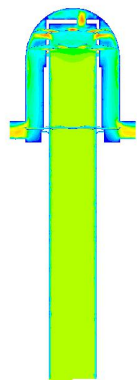
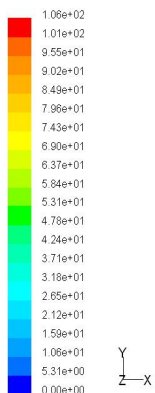
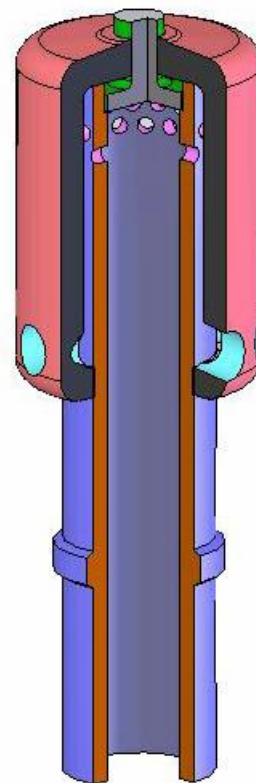
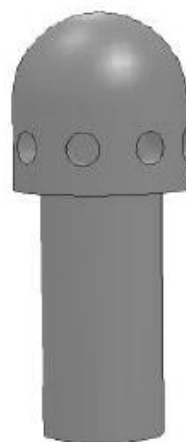
避免风帽脱落

合理控制燃料



风帽设计要求

- 阻力和出口速度独立控制
- 首选钟罩风帽
- 具体项目具体分析，优化结构设计
- 合理利用数值模拟软件
- 重视制造加工和现场安装



风帽改造案例一

◆ 内蒙某厂4×200MW CFB锅炉

锅炉规范:

过热蒸汽流量: 690t/h

过热蒸汽压力: 13.73MPa

过热蒸汽温度: 540℃

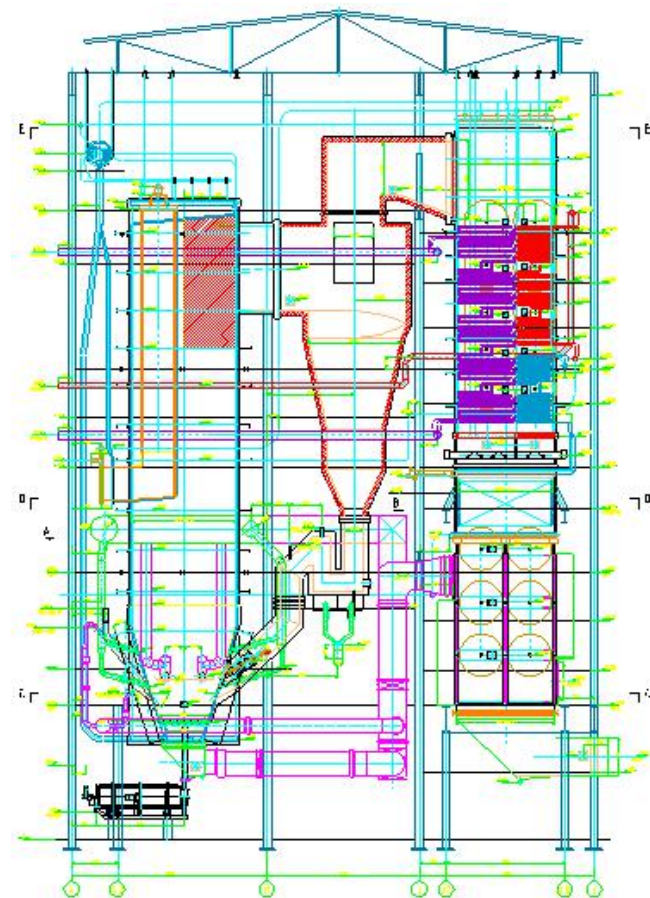
再热蒸汽流量: 582t/h

再热蒸汽进/出口压力: 2.54/2.4MPa

再热蒸汽进/出口温度: 315/540℃

给水温度: 244℃

锅炉设计效率: 91.4%



风帽改造案例一

- ◆大直径逆流柱状风帽，布风板上均匀布置风帽2615个
- ◆布风板阻力3.8kPa（设计4.5kPa）
- ◆外罩材质为ZG8Cr26Mn7N，芯管材质为1Cr18Ni9Ti

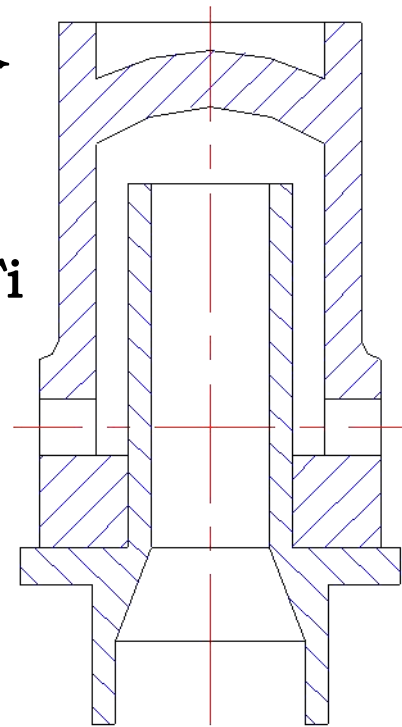
- ◆ 问题表现

四台锅炉自投产后普遍存在风室漏渣问题

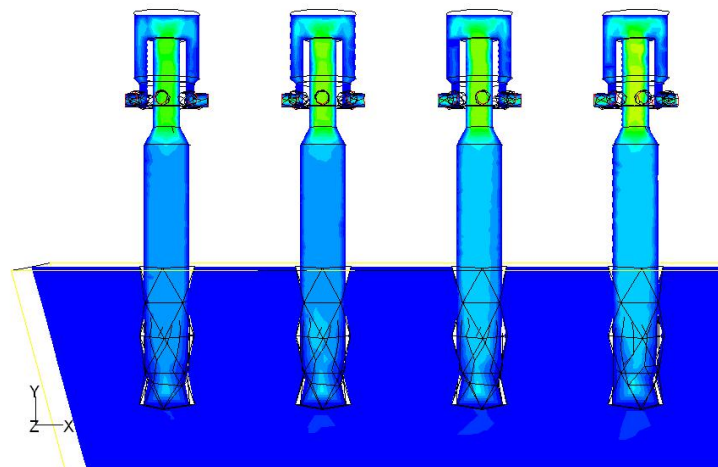
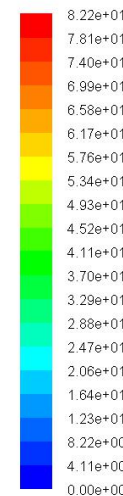
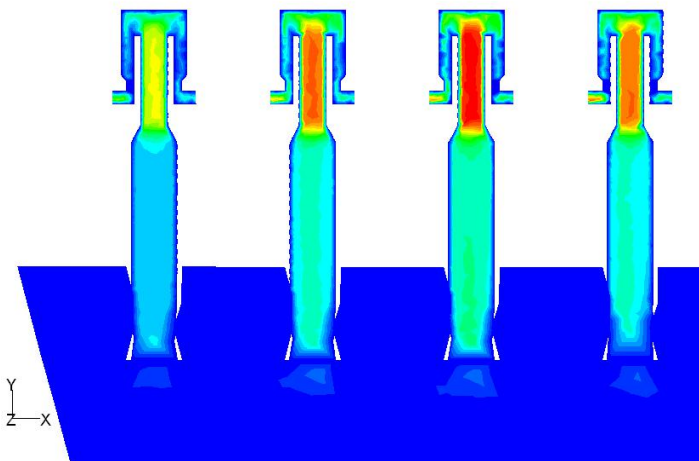
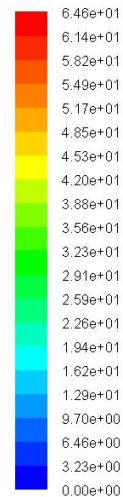
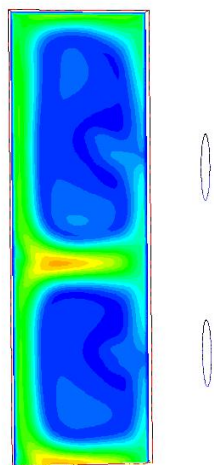
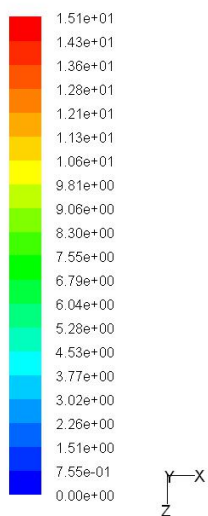
先后进行过四次改造试验

改造后漏渣情况得到一定程度缓解，但始终没有得到彻底解决

低负荷工况下风帽漏渣严重、磨损加剧，检修更换量大



风帽改造案例一



◆ 四周区域与中间区域差异大

◆ 风帽自身阻力特性有待提高

风帽改造案例一

◆采用新型钟罩结构形式

结构经过实炉长期运行检验

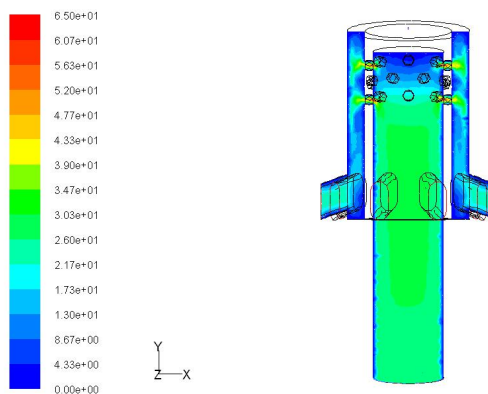
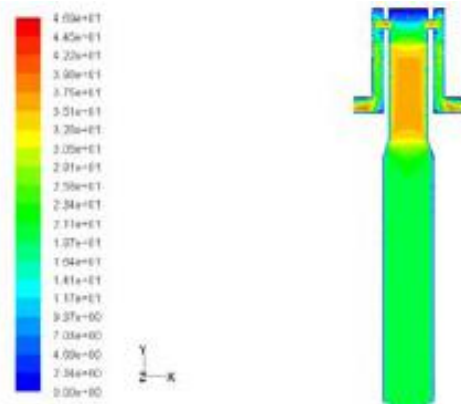
低出口速度

长寿命

细节优化

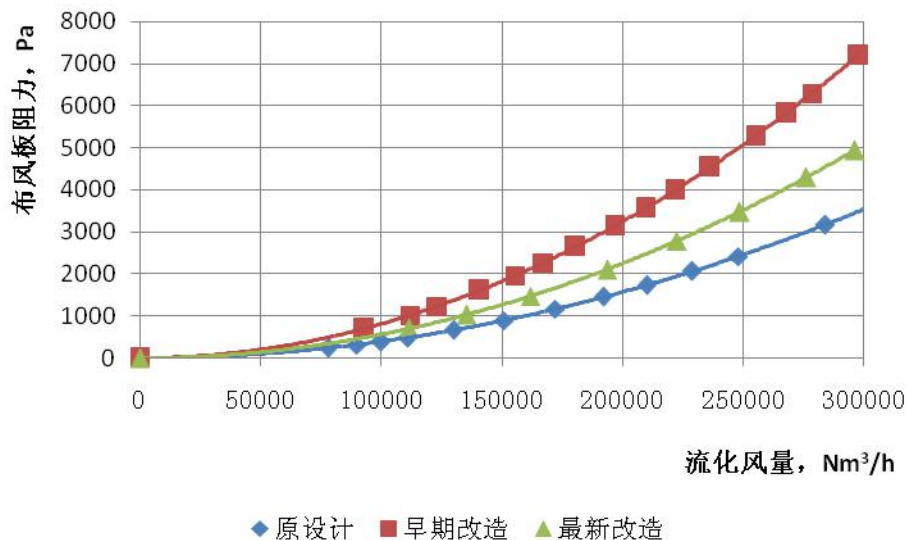
◆ 利用冷态风帽试验台验证结构

◆ 数值模拟优选方案，减小风险



风帽改造案例一

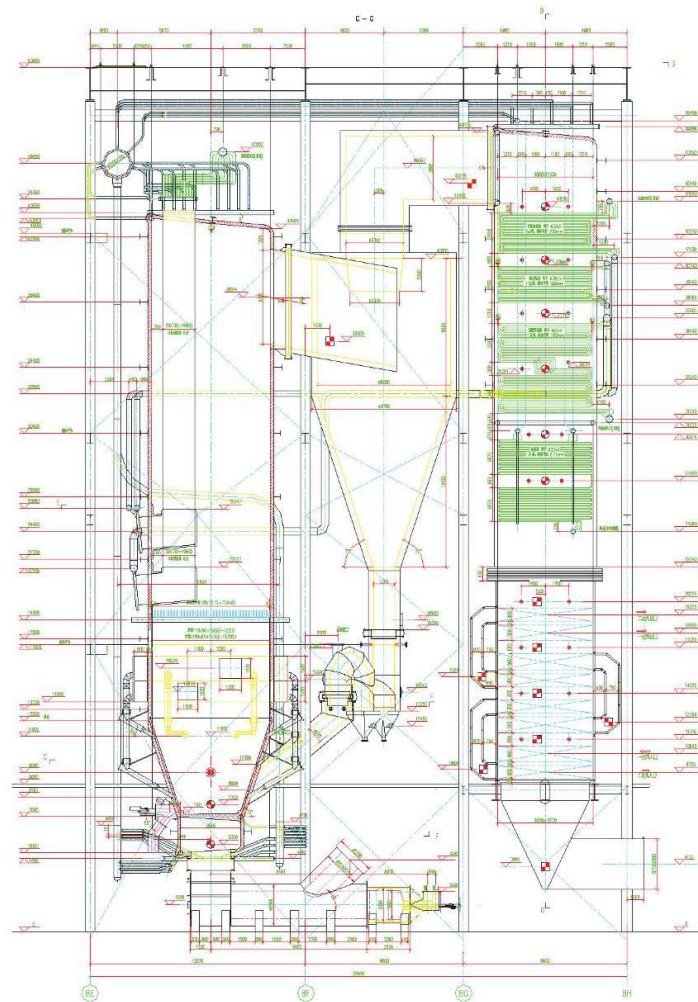
- ◆最小流化风量为 $100\text{kNm}^3/\text{h}$ ，在此风量下床料流化均匀、流化良好
- ◆改造后布风板阻力约 5kPa ，流化风量降低至 $170\text{kNm}^3/\text{h}$ 也不发生漏渣
- ◆安全性显著提高
- ◆布风板阻力明显降低，一次风机电耗明显下降



风帽改造案例二

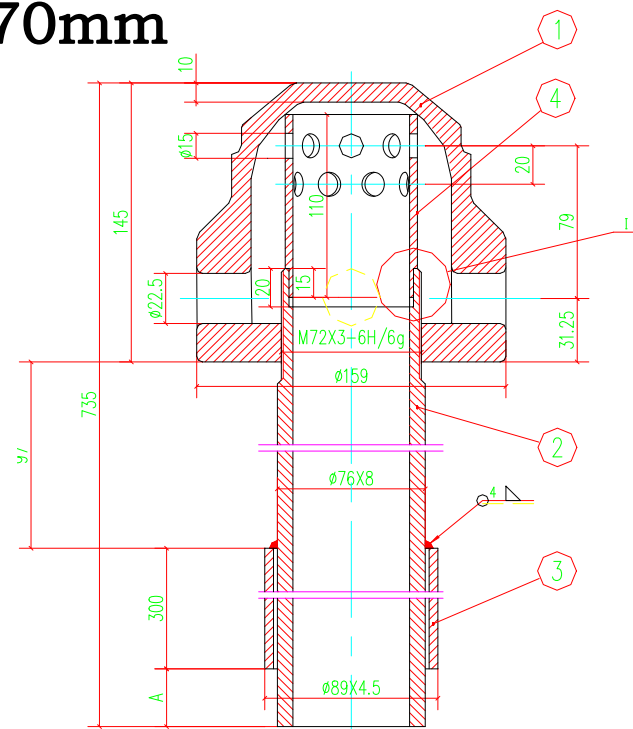
◆ 山西某厂2×135MW CFB锅炉

名 称	单位	设计煤种	设计煤种
过热蒸汽流量	t/h	480	420.6
过热蒸汽出口压力	MPa	13.7	13.7
过热蒸汽出口温度	℃	540	540
省煤器入口压力	MPa	15.5	15
省煤器入口温度	℃	248.2	240.7
再热蒸汽出口流量	t/h	444	365.6
再热蒸汽出口压力	MPa	2.48	2.17
再热蒸汽出口温度	℃	540	540
再热器入口压力	MPa	2.66	2.33
再热器入口温度	℃	318.5	308.2



风帽改造案例二

- ◆采用大直径钟罩式
- ◆整个布风装置上安装风帽715个
- ◆风帽之间的水平节距和垂直截距均为270mm



风帽改造案例二

◆问题表现

外罩小孔磨损和堵塞



风帽改造案例二

◆问题表现

内芯管断裂



风帽改造案例二

◆问题表现

更换后的风帽与原有风帽高低错位

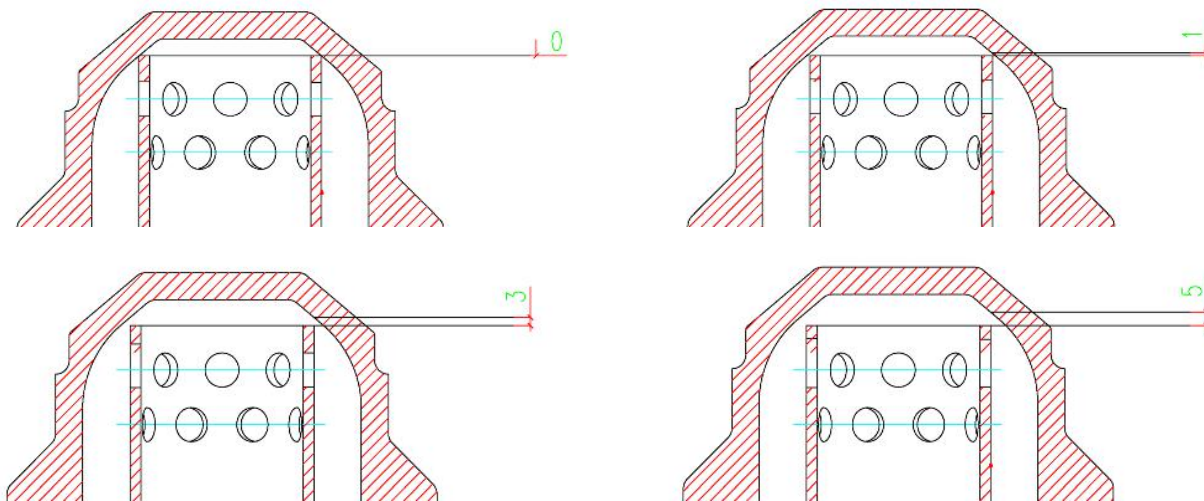


更换后的风帽高低不一
阻力分区！
局部磨损大！！

风帽改造案例二

◆结构设计的影响

芯管顶部与风帽外罩存在间隙时会影响风帽芯管阻力系数，采用数值模拟技术研究分析无间隙方案（即良好安装的方案）、间隙1mm方案、间隙3mm方案、间隙5mm方案

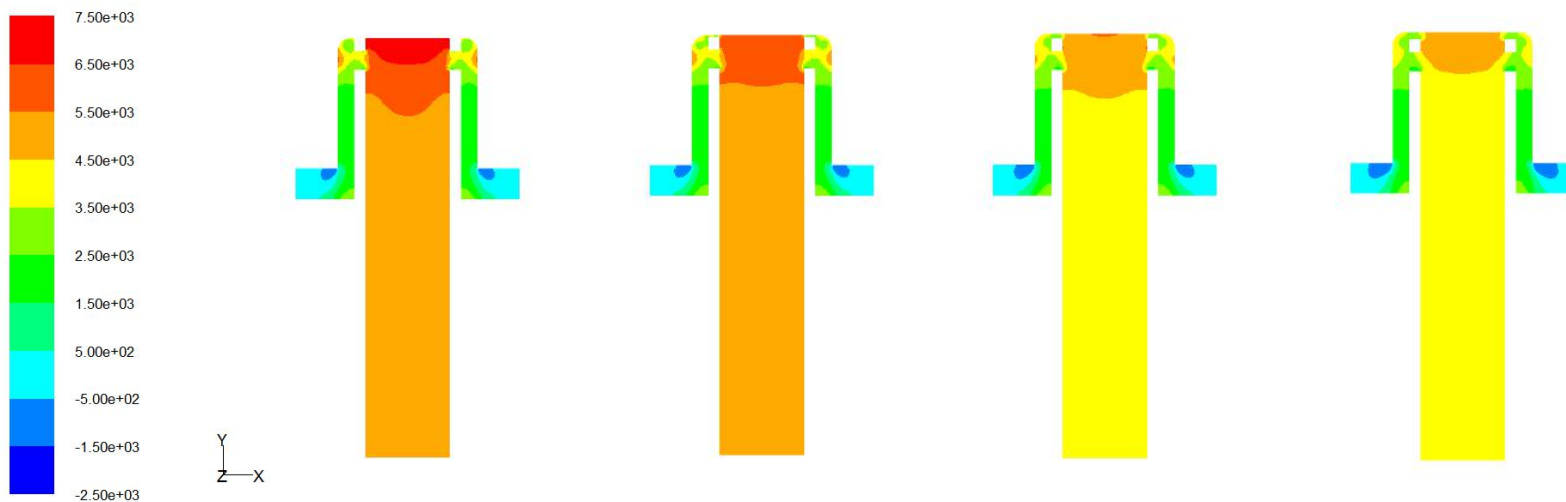


风帽改造案例二

◆结构设计的影响

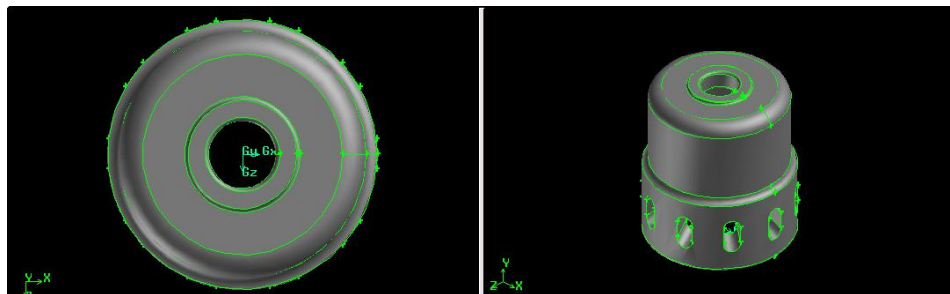
随着间隙的逐步加大，芯管小孔阻力削减的非常快，整个风帽的阻力随之显著降低。气流由芯管和外罩之间的夹层向外罩小孔流动时，在转向区域的上部有一个明显的负压区，会使得床料更容易由风帽外部进入到风帽内部，形成漏渣

最佳处理方式：整体更换



风帽改造案例二

- ◆优化改造后启动期间最小流化风量降低至10万Nm³/h也不会发生风帽漏渣，较一次风量可以维持在较低水平
- ◆布风均匀性显著改善
- ◆床温下降10℃
- ◆底渣含碳量有所降低



主要内容

一、技术背景

二、问题的提出

三、分离器靶区磨损控制与工程改造

四、钟罩式风帽工程改造与应用效果

五、研究结论

结论

- 分析了分离器靶区磨损的成因，开展了数值模拟研究，完成了分离器靶区改造，通过合理选材、优化施工、运行控制可以有效提高分离器靶区的抗磨损能力，提高锅炉运行周期
- 风帽改造对于提高循环流化床锅炉安全经济性有重要意义，风帽现有问题受到结构设计、阻力匹配等多个因素的共同影响。新型钟罩形风帽阻力特性优良，具有良好的抗磨损能力，适用于新建机组及老机组改造
- 华能清能院愿与广大电力生产企业一起促进循环流化床锅炉技术进步，为中国电力的全面、协调和可持续发展多做贡献

中国华能集团清洁能源技术研究院

低质煤清洁高效利用技术部

北京市海淀区知春路甲48号 盈都大厦A座22层

黄 中 所长助理、高级工程师

手机: 13636706755

电话: 010-56436960 029-82102325

传真: 010-58733800 029-82102702

邮件: huangzhong@hnceri.com, chinacfb@gmail.com

