

阳城电厂 FW “W” 火焰锅炉性能分析

武卫红 李凯勇

山西电力科学研究院

摘要：本文根据阳城电厂 1#机组的调试情况，分析了 FW “W” 火焰锅炉燃烧问题产生的根源，对 FW “W” 火焰锅炉性能作出了客观的评价，并对阳城电厂运行及 FW “W” 火焰锅炉设备改进提出了合理的建议。

关键词：“W” 火焰 燃烧问题 性能评价 改进

1. 前 言

“W”火焰锅炉作为燃烧无烟煤的锅炉，近年来在我国得到较大的发展，仅在我省，就有阳泉二电厂四台 300MW “W”火焰锅炉(两台东锅厂生产、两台北京巴威生产)相继投产。现阳城电厂的六台福斯特惠勒 350MW “W”火焰锅炉 1、2#机组已投入商业运营，3#机组的调试已近尾声。笔者就阳城 1#机组调试过程中出现的燃烧问题作一分析，并就此对福斯特—惠勒 350MW “W”火焰锅炉性能作一评价，希望同行借鉴。

2. 设备概况

2.1 设备简述

阳城电厂锅炉为美国福斯特—惠勒提供的亚临界、一次中间再热、拱型单炉膛 “W” 火焰、平衡通风、固态排渣、露天布置、自然循环汽包型燃煤锅炉。锅炉风烟系统配有两台三分仓回转式空气预热器、两台动叶可调轴流式送风机、两台动叶可调轴流式引风机；二次风采用分级送风方式，由二次风箱内的不同挡板（A、B、C、D、E、F）控制风量。制粉系统为双进双出钢球磨正压直吹式制粉系统，配有四台 D—10—D 磨煤机、两台入口导叶调节离心式一次风机，煤粉燃烧器采用双旋风筒煤粉分离式燃烧器，每台磨煤机对应 6 个燃烧器，每台炉共 24

只燃烧器，每个燃烧器由 2 个煤粉喷嘴、2 个乏气管、2 个乏气挡板、2 个消旋叶片组成。

2.2. 主要设计参数

参 数	单 位	BMCR	100%ECR	50%ECR
蒸汽流量	t/h	1188.0	1058.8	511.2
过热器压力	MPa	17.36	17.23	10.23
过热蒸汽温度	℃	541.0	541.0	541.0
汽包压力	MPa	18.76	18.36	10.77
再热蒸汽流量	t/h	966.5	866.2	438.4
给水温度	℃	290.0	282.0	243.0
排烟温度（修正）	℃	121	116	102
燃料消耗量	t/h	128.2	117.4	61.4
投运磨的数量	台	4	3	2
干烟气热损失	%	5.22	5.04	4.23
不完全燃烧损失	%	2.88	2.88	2.88
散热损失	%	0.15	0.15	0.28
灰渣物理热损失	%	0.35	0.35	0.35
锅炉效率	%	91.12	91.32	92.06

2.3 FW“W”火焰锅炉燃烧系统特点

- 双拱型绝热炉膛，下炉膛敷设大量的卫燃带，并利用前后拱使上下炉膛分离，使燃烧区温度提高，利于稳燃。
- 燃烧器布置在前后墙拱上，火焰先下后上，延长了煤粉在炉内的停留时间，利于燃烬，高温烟气回流至火焰根部，利于煤粉的着火和稳燃。
- 二次风分级设计，拱上风少，利于煤粉着火，而拱下风则及时补充燃烧后期所需氧量，利于煤粉燃烬。
- 独特的双旋风煤粉浓缩型燃烧器，使主喷口煤粉浓度提高，流速降低，利于煤粉着火；乏气靠近高温区送入，既易着火又补充了氧量。
- 配用双进双出磨煤机，负荷越低，煤粉越细，利于低负荷稳燃。

3. 阳城电厂调试情况

3.1 调试概况

阳城电厂 1#机组带负荷试运工作从 2000 年元月开始直至 2001 元月移交电厂商业运行，同国内其他一些同类型机组相比，阳城电厂 1#机组调试周期较长，除了一些人为因素外，影响机组移交的主要问题是锅炉的燃烧问题。为此，进行了多次、反复的调整工作。

3.2 煤种情况

为验证锅炉的性能，调试期间共用三类煤进行试验，即阳城当地小窑煤，高平煤和成庄煤，这几种煤与设计煤种的特性分析见下表。同设计煤种相比主要是挥发分和可磨系数的区别，按挥发分从低到高排列顺序依次是设计煤、阳城煤、成庄煤、高平煤，按可磨系数相比从低到高排列依次是阳城无烟煤、成庄煤、设计煤、高平煤，从试运情况看，燃烧状况的状况好坏依次排列是高平煤、成庄煤、阳城煤。

值得说明的是，设计煤种基本等同于阳城无烟煤，但设计煤种的可磨系数并不是一个真实值，而是根据晋东南地区的典型煤样分析得出的，可以说，并无设计煤种这样的的煤。设计原本就存在着失误。

试运煤种与设计煤种特性对照表

特性	单位	设计煤	阳城煤	高平煤			成庄煤		
Mt	%	5.67	5.4	6.0	7.0	6.6	8.2	6.8	6.2
Mad	%	3.83		1.81	2.61	2.61			
Car	%	70.98	73.27	70.84	67.55	69.05	73.49	68.8	74.99
Har	%	2.8	2.3	2.53	2.23	2.22	2.3	2.3	2.3
Nar	%	0.97		1.28	1.13	1.15			
Oar	%	3.11		2.86	3.36	2.96			

Sar	%	0.34	0.45	0.50	0.42	0.41	0.36	0.33	0.35
Aar	%	17.99	18.34	15.96	18.29	17.62	16.02	17.92	15.91
Vdaf	%	7.02	7.25	11.01	11.41	11.07	7.97	7.4	8.28
Qnet	Mj/kg	25.53	24.18	26.78	25.57	26.06	26.39	25.92	26.18
HGI	%	55	38	69	71	70	48	48	48

3.3 阳城当地煤试运情况

试运初期煤种是阳城当地小窑煤，负荷较低时情况还算好，锅炉在 250MW 时全撤油枪，运行状态良好，但发现锅炉负荷越高，燃烧越是不稳定。

主要表现为：

- 锅炉负荷超过 320MW 后燃烧不稳定，煤火检闪烁，炉膛负压波动大，曾发生过四次高负荷灭火事故，需油枪支持燃烧。
- 飞灰、大渣可燃物含量高，且随负荷增加有明显的上升趋势。
- 锅炉设计三台磨煤机可带 350MW 的满负荷，但实际最高曾带到 290MW，而此时，锅炉的燃烧状况已急剧恶化，磨煤机风量达到了最大值，底渣的可燃物含量达到了 70%之多。

3.4 使用阳城当地煤的燃烧调整过程

鉴于上述情况，我们进行了多方面的调整：

锅炉前后拱共布置有 24 个双旋风分离式煤粉喷燃器，每个燃烧器有六个二次风调节挡板，另外还有燃烧器的乏气挡板、消旋叶片和防焦风挡板共同构成了 FW 双旋风分离式煤粉喷燃器赖以自豪的众多的调整手段，调节这些挡板的开度，可以改变火焰中心的高度、炉膛的温度场、火焰的行程、二次风率等。我们发现随锅炉负荷的增加，燃烧逐渐恶化，二次风也越来越难以加入，火焰根部的温度越来越低，我们认为火焰根部的风量随着锅炉负荷的增加而不断增加，影响了高温烟气的回流，且着火所需吸热量增加，是燃烧不稳定的一个重要原因，故调整的主要思路是提高火焰根部的温度，尽量减少火焰根部的用风，大量燃烧所需风量从拱下风口送入，这也符合 FW 的设计思路。

A 挡板为一不可调节的挡板，它为旋流燃烧器的乏气喷嘴提供燃烧所需的二次风；B 挡板为一手动挡板，它为煤粉喷嘴提供环型助燃风，针对锅炉燃烧不稳

定、火焰根部温度低的问题，我们认为二次风虽是热风（350℃左右），但它相对于喷嘴出口区域的温度（900~1100℃）来讲仍是一股冷风，所以应尽量减少其对火焰根部温度场的影响，为此我们在A挡板上加装了堵板，使其通流面积缩小为原来的2/3，B挡板也只保持20~30%的开度；C挡板为油枪助燃风，在油枪退出后及时关闭该挡板，防止其影响火焰根部温度场；D、E、F为炉膛拱下垂直水冷壁上的三组挡板，D、E、F从上到下实现对火焰的分级送风，D、E挡板控制火焰根部和中段的风量，FW建议开度分别为10%和20%，我们发现还偏大，故将D、E挡板仅保持5%的冷却开度。F挡板是一电动挡板，其进风量最大，占总二次风量的65%，它除了为火焰提供助燃风外，还可以改变火焰的行程，开大F挡板可以托住下冲的火焰，缩短火焰行程，关小F挡板可以保持火焰有足够的下冲力度，同时可降低火焰中心的高度，FW建议开度为30%，经过冷态风速测试和热态氧量测试，发现同样的F挡板的开度，中间的进风量偏小，为此，我们将F挡板沿炉膛宽度作拱形分布，即中间大、两头小，开度为15~45%。

风箱风压也是影响燃烧的一个重要参数，风箱风压不但影响到风门的调节特性，重要的是影响拱上和拱下二次风的比例，风箱风压高，相对而讲，拱上风的比例加大，不利于燃烧，运行中，控制风箱风压在800~1000Pa之间，如偏高则靠开大F挡板来调整。

消旋叶片是改变主喷嘴火焰的旋流强度，拉起消旋杆，煤粉气流的旋流强度大，能卷吸周围的高温烟气，有利于煤粉的着火，但其作用很有限，且其使火焰中心上移，炉膛出口烟温升高，受热面超温，故将其设置在中间位置。

乏气挡板可以调节主喷嘴的煤粉浓度，煤粉浓度高，有利于煤粉的着火，是为FW燃烧无烟煤的一个主要调整手段，但乏气含粉率低，不易着火，而且影响主火焰对高温烟气的卷吸，调试过程中，发现开大乏气挡板，反而对稳燃不利，基于此，我们将乏气挡板置于25%的开度。

在测量煤粉管煤粉分配情况和磨煤机煤粉细度的过程中，我们发现个别磨煤机煤粉管的煤粉浓度有一定偏差，最高可达30%，为此我们调整了磨煤机两端分配器出口调节挡板，使各煤粉管的煤粉分配尽量平衡；另外，在磨煤机两端分离器下部有四个煤粉细度调节挡板，为了提高煤粉细度，我们将该挡板调至最大，增加粗粉的回粉率，但效果不明显。

为了提高磨煤机的出力，我们增加了磨煤机的装球量，刚开始加球量为 64 吨后装到了设计最大装球量 71 吨，在加钢球的过程中我们发现，开始加入钢球后，磨煤机的出力有明显的提高，后来再加入钢球，磨煤机的出力变化不大，说明磨煤机的装球量和出力已经达到最大。

为了提高煤粉的着火特性，我们将磨煤机出口风粉混合物温度从设计的 93℃ 提高到 115℃，可以看出，磨煤机出口风粉混合物温度的提高对锅炉燃烧极有帮助，但这时因磨煤机两端耳轴温度的限制，风粉温度已经达到了极限，一般仅能在 105℃ 以下运行。

除了完成上述的一些调整外，我们也进行了其它一些辅助调整，例如优化引风机的炉膛负压调节特性，提高磨煤机负荷挡板的调节特性，使其尽量达到平缓、稳定，避免振荡和大幅度波动；改变炉膛吹灰器的运行方式，避免因吹灰导致锅炉灭火。

经过上述一系列的燃烧调整后，我们看到锅炉的燃烧、磨煤机的出力、煤粉细度等都有一定的改善，锅炉四台磨煤机无油枪情况下勉强可带 350MW 负荷，说明锅炉燃烧调整有一定效果，但不能说锅炉稳燃，工况一有所变化(加风，变负荷，吹灰)即开始波动，且距三台磨煤机带 350MW 负荷相差较远。可以说燃烧调整并未起到决定性的成果。

排除了其它影响因素外，我们认为，煤质是是影响燃烧的决定性因素。

阳城电厂提供给 FW 设计煤种的可磨系数为 55，FW 据此设计为四台 D-10D 双进双出磨煤机，三台磨煤机可带 350MW 的额定负荷，但实际运行煤种阳城当地煤的可磨系数一般为 38~41，最低时仅为 31，可磨系数低，直接导致磨煤机出力降低，煤粉细度低，影响锅炉的燃烧，据 FW 的资料介绍，煤质的可磨系数从 55 降到 40，磨煤机出力降低 20%，（可磨性系数与磨煤机出力关系曲线见下图一）运行中为了锅炉负荷的需要，必须要增加磨煤机的一次风量，必然的结果是以牺牲煤粉细度为代价，进入锅炉的煤粉过粗，并且由于磨煤机的一次风量的增加，使得煤粉浓度变低，一次风速过大，都对燃烧造成了不利的影响。

另外，燃用煤种的干燥无灰基挥发分较低，一般在 6~8%之间，最低曾达到 5%，要烧这样的煤种，需要采取较为特殊的措施，而此锅炉同 FW 其它电厂的 300MW “W” 火焰锅炉没有什么区别，设计上并未作特殊考虑。

图一 可磨性系数与磨煤机出力关系曲线

3.5 锅炉燃用阳城煤性能验证试验

考虑到阳城电厂今后长期烧阳城当地煤，在移交商业运行前我们会同西安热工院对阳城电厂作了燃烧验证试验，试验时正值雨季，煤质水分高达 12.2%，试验情况较前为差。

试验主要结论如下：

- 磨煤机出力小于 22~23t/h，煤粉细度满足设计值， $R_{75} \leq 15\%$ ，磨煤机最大出力约为 32t/h，此时通风量大于 50000kg/h，煤粉细度 $R_{75}=22\sim 25\%$ ，超出设计值。
- 四台磨煤机运行，煤粉细度满足的前提下，机组负荷约为 260MW，锅炉燃烧稳定，可进行正常的吹灰操作。飞灰可燃物约为 17%。
- 四台磨煤机运行，机组负荷 330MW，燃烧稳定，但煤粉细度 $R_{75}=22\%$ ，飞灰可燃物约为 36%。该工况下不能吹灰。
- 四台磨煤机运行，机组负荷 350MW，燃烧状况变差，需投入油枪助燃，飞灰可燃物约为 40.55%。大渣可燃物 27.6%。

- 三台磨煤机运行，机组的最大负荷为 250MW，此时单台磨煤机出力已达最大值，磨煤机通风量增至 54000~57000kg/h，燃烧基本稳定，飞灰可燃物约为 50.4%，大渣可燃物 70.85%。

3.6 锅炉燃用高平煤进行锅炉性能试验

锅炉燃用高平煤进行锅炉性能考核试验，此阶段由于煤质较好，锅炉未进行大的调整工作，但在整个试验过程中，燃烧极为稳定，抗干扰能力非常强。

试验主要结论如下：

- 锅炉三台磨煤机即可带 BMCR 的最大连续出力，锅炉燃烧稳定，优于设计值。
- 两台磨煤机运行可以达到保证的 40%的最低不投油的稳燃负荷。
- 350MW 时三次锅炉效率的结果分别为 90.78、91.46、90.95。按两次接近的效率计算为 90.86%低于 91.32%的保证值，不过这是由于 FW 专家所确定的试验工况不合适。第二工况效率超过了保证值，说明工况选取合适的话，锅炉效率可以达到保证值。
- 灰渣可燃物的化验结果分析

负 荷	底渣可燃物 含量 (%)	飞灰可燃物含量 (%)			
		一电场	二电场	三电场	平均值
ECR	10.37	19.71	20.02	8.38	19.17
ECR	8.14	15.97	15.10	4.03	15.28
ECR	6.71	18.11	15.78	6.83	17.31

按灰渣可燃物分析，距设计要求相差还较大。锅炉效率尽管接近设计值，但不完全燃烧损失远远大于设计值，烟气热损失低于设计值说明锅炉用风量偏小。

3.7 成庄煤试运情况

锅炉燃用接近设计煤种的成庄煤进行 168 小时满负荷试运，满负荷试运过程中，锅炉全撤油枪，保护全部投入，自动包括机组协调控制全部投入，高标准地达到了《启规》的要求。

试验结果分析：

- 成庄煤同设计煤种比较，干燥无灰基挥发分 $V_{daf}=9.78$ 较设计偏高近两个百分点，利于燃烧。可磨系数接近设计值为 48，磨煤机出力及细度可以达到设计要求。
- 用成庄煤可以勉强达到三台磨煤机带 350MW 的设计要求，此时飞灰可燃物含量为 29.31%(一电场)
- 四台磨煤机运行带 350MW，锅炉燃烧基本稳定，但锅炉氧量偏低（设计值为 4.8%，实际约为 2.5%），飞灰可燃物含量较高约为 24.09%（一电场）。如要加大风量，则燃烧状况恶化，炉膛负压波动大，火检信号不稳定。

3.8 燃烧问题小结

从燃烧上述几种煤种的实际运行情况看，高平煤情况最好，成庄煤次之，阳城煤最差，正好与挥发分及煤质可磨系数的情况相吻合。

无论燃烧什么煤种，锅炉负荷从低到高，灰渣可燃物含量也从低到高，说明煤粉细度对锅炉燃烧的影响很大。

4. 锅炉性能评价

4.1 稳燃性能

高负荷稳燃特性较差。

锅炉在高负荷时，燃烧不稳。具体表现为：炉膛负压波动较大，燃烧器火检闪烁，炉膛温度降低，稍有外界扰动，即可能造成灭火。以燃烧可磨系数为 38 左右的阳城当地小窑煤为例，四台磨煤机运行，燃烧较为稳定的负荷约在 220~280MW 之间，此阶段可进行正常的吹灰操作，280~320MW 负荷锅炉尚能勉强运行，但燃烧已较前脆弱，吹灰时需油枪助燃。320MW 以上负荷燃烧非常脆弱，燃烧器下部的炉膛温度从稳燃状态的 1100~1200℃降至 900℃左右，此时，锅炉已不能保证安全运行，需投入两只以上油枪助燃。燃烧接近设计煤种的成庄煤，锅炉满负荷时可以不投油枪，但燃烧状况较差，不能安全地进行吹灰操作是毋庸置疑的。

低负荷的稳燃特性较好。

锅炉不投油三台磨煤机可以稳定运行在 160MW 左右，此时，锅炉燃烧状况仍相当稳定，影响锅炉负荷进一步降低的因素其一：二次风量的降低受到诸多手动风门的限制，相对比较二次风量较大；其二：受磨煤机的低风量保护的限制。

4.2 燃烬性能

锅炉的燃烬性能较差。

锅炉的燃烬性能较差，灰渣可燃物含量较高，且随着锅炉负荷的升高，呈显著上升趋势。即使是燃烧较高挥发分，较高可磨系数的高平煤，最好的结果是底渣可燃物含量 8.14%，飞灰可燃物含量是 15.28%，距设计要求相差较远。对于高平煤，经过较为精细的调整，灰渣可燃物含量可能会有所降低，向设计值靠拢，而象燃烧阳城当地小窑煤时，可燃物约为 40.55%，大渣可燃物 27.6%，显然不是经过一般的调整所能解决的。成庄煤同设计煤种比较，干燥无灰基挥发分 $V_{daf}=9.78$ 较设计偏高近两个百分点，利于燃烧。可磨系数接近为 48，磨煤机出力及细度可以达到设计要求。飞灰可燃物含量约为 24.09%（一电场），是为较客观的数据。

分析锅炉燃烬性能差原因有以下几点：

- 高负荷时磨煤机出力增加，煤粉变粗；
- 炉膛高度偏低，煤粉在燃烧区停留时间短；
- 运行氧量偏低，燃烧不充分；

4.3 省煤器出口氧量

省煤器出口氧量偏低。

锅炉设计过剩空气系数为 1.3，省煤器出口氧量为 4.8%，实际运行中，往往达不到设计值，一般仅在 2%左右，煤质较差时尤其如此，加风会引起锅炉燃烧的波动。负荷越高，氧量偏离设计值越多。

4.4 汽温特性

锅炉在 50~100%负荷运行，过热汽温及再热汽温均能满足额定汽温的要求。低负荷时尤其是启动首台磨煤机时锅炉尾部受热面有超温现象，此阶段，锅炉汽温上升较快而汽压上升较慢，为保护屏过及高过受热面不超温，需投入减温水，但

投入减温水使低过蒸汽流量降低，低过受热面超温现象加剧。所以应采取控制风量、提高给水温度、加快带负荷速度等手段，使该阶段快速过渡。

4.5 减温水量

锅炉减温水量较设计值偏离较大。

设计满负荷时减温水总量为 28.8t/h，而实际运行约在 70~130t/h 之间，炉膛吹灰会有所改善，吹灰后，减温水量一般约下降 40t/h，但很快减温水量就又上来了，炉膛的吹灰周期约为 4~6 次/天。风量增加，减温水量明显上升，这也是制约锅炉加风的一个重要因素。

4.6 磨煤机配置

锅炉设计配有四台 FW 公司 D-10D 双进双出磨煤机，同国内其他一些 300MW 机组配用 D-10D 甚至 D-11D 磨煤机相比，显然选型偏小，尤其是燃烧阳城当地煤，挥发分较低，煤的着火性能和燃烬性能均较差，这样的煤要想安全经济运行，应该达到设计的煤粉细度 ($R_{75} \leq 15\%$) 或更低。而由于煤的可磨系数较设计值偏低，在运行中，磨煤机的磨制能力达不到，往往使高负荷时煤粉变粗，燃烧状况变差，并造成恶性循环。

4.7 锅炉炉膛

该炉炉膛尺寸和容积和已运行的阳泉二电厂 1#、2#，上安电厂 3#、4#，鄂州电厂 1#、2#（额定出力 300MW）完全相同，上炉膛深度为 7239mm，宽度 24765mm，高度为 23520mm，下炉膛深度为 13345，宽度为 24765mm，高度为 15420mm。谈判时，我方曾要求 FW 增加炉膛的高度，但 FW 没有接受。炉膛容积热负荷约为 $140\text{kw}/\text{m}^3$ (BMCR) 是全国目前投入运行的 W 火焰锅炉中的最高值（其他各厂为 $108\sim 125\text{kw}/\text{m}^3$ ），炉膛过小，燃烧产物停留时间短，炉膛出口烟温高，这是造成飞灰可燃物偏高和减温水量偏高的主要原因。

4.8 卫燃带

为提高燃烧区的温度，下炉膛敷设了大量的卫燃带，按 FW 的说明，根据燃烧煤种的变化，卫燃带的敷设面积可以有所改变，显然，在燃烧挥发分较低的阳城

无烟煤时，应增加卫燃带的敷设面积，但锅炉炉膛容积偏小，炉膛出口烟温高，减温水量严重超标，限制了这一措施的实施。

4.9 整体设计评价

阳城电厂 W 火焰锅炉是 FW 公司的一个传统的锅炉设计，同国内其他电厂 FW300MW 级别的 W 火焰锅炉相比，几无差别，只是使用煤质的不同。可以看出，它有着同类锅炉低负荷稳燃性能好、调峰能力强的优点，也有着高负荷稳燃性能较差，飞灰可燃物较高，减温水量偏大等缺点，甚至有过之而无不及。据了解，FW 公司 W 火焰锅炉并无燃烧 V_{daf} 在 10% 以下煤种的优良业绩，其引以自豪的西班牙康波斯蒂拉电厂使用煤种的 V_{daf} 在 13% 以上，优于阳城电厂性能试验用的高平煤。针对阳城这种较难燃的煤种，锅炉并无采取特殊的加强稳燃、燃烬的措施（例如增大卫燃带的面积，减少过热器的传热面积、提高炉膛高度、配置大容积的磨煤机、提高磨煤机出口风粉混合物的温度等）。且由于阳城煤的可磨系数较设计值偏低、磨煤机的选型偏小及煤粉细度偏大使锅炉高负荷稳燃性能更差。

5. 结论与建议

5.1 进一步燃烧调整

机组目前仍旧以试运时的方式运行，尽管能满足国调公司的负荷要求，但满负荷时不得不投入油枪助燃，且燃烧效率较差，使经济上受到极大损失。由于调试期间，运行工况不稳定，锅炉的燃烧状况不可能达到最佳状态，燃烧调整需要长期不断的努力，才能达到较佳状态。现机组每天均有固定的运行负荷曲线，是不可多得的良机，相信经过精细的调整，锅炉的燃烧状态会有所改善。

5.2 改善煤质

煤质成为制约电厂正常运行的一个关键性因素，阳城当地煤挥发分较低，较难烧，且由于小窑煤煤质的不确定因素使得锅炉运行安全难以保证。希望电厂加强进煤渠道管理。鉴于锅炉目前的总体设计已难以改变，大的改动已不现实，燃烧现有煤种难以满足设计要求，建议利用混煤，使燃用煤种的可磨系数升至 50

左右， V_{daf} 升至 9% 左右，接近成庄煤的性能。这样锅炉可以保证四台磨煤机运行 350MW 的满负荷，不需油枪助燃。

5.3 火检保护

锅炉的原火检保护设计比较严格，只要燃烧器的火检没有，不但要保护停运这一燃烧器，且要停掉相对应的一个燃烧器，而对于磨煤机来讲，少于四个燃烧器运行，即要跳掉磨煤机，也就是说，磨煤机只要有不对称的两个燃烧器丢掉火检，就要跳磨煤机。在运行中，在负荷变化过程中，往往有个别火检摆动，此时并不一定是此燃烧器燃烧不好，而是燃烧区域有所变化，火检检测不到，如果此时跳掉燃烧器，必然引起炉膛负压波动，波及其它燃烧器的火检，跳掉磨煤机，进而引起其它磨煤机的不稳定，完全可能造成锅炉灭火事故，反而使锅炉运行不安全。我们认为，个别燃烧器的火检波动，并不影响锅炉整体的运行安全，而磨煤机完全可以少于四个燃烧器运行，在征求了 FW 的意见后，我们去掉了火检掉燃烧器的保护，另外火检跳磨的保护我们也进行了改进，磨煤机有三个以上的火检同时消失，说明该磨煤机运行出现问题，跳掉此台磨煤机，此改进也符合锅炉临界火焰保护的原则，这样既防止了磨煤机误掉，又保证了锅炉主保护的可靠性。值得注意的是，锅炉火检在一定程度上真实地反映了锅炉的燃烧状况，如果在运行中发现有火检闪烁不定，一定要查明原因，及时采取措施，防止锅炉燃烧状况进一步恶化。

5.4 磨煤机辅助风的使用

磨煤机辅助风设计在磨煤机低负荷运行时投用以增加一次风速，防止堵粉。运行中发现，其有两个问题，一是辅助风取自一次风机出口的冷风，进入炉膛后对燃烧扰动较大；另外辅助风管垂直接入一次风管，辅助风的投用对磨煤机出口的风粉混合物形成阻力，随着辅助风门逐渐开大，磨煤机一次风量逐渐减小，燃烧器出口风粉混合物浓度降低，形成恶性循环，直至辅助风门全开，燃烧扰动更大，这显然不是设计者的初衷。因此建议少用辅助风。

5.5 锅炉设计改进方向

- 对于燃用挥发分较低的煤种，可以考虑选用较大的磨煤机，出力相同的情况下，煤粉细度提高，利于煤粉的着火和燃烬。
- 改进现磨煤机出口分离器，提高分离器的分离效率，提高磨煤机出力。
- 可以考虑配套传统的中间储仓式制粉系统，用热风送粉，提高一次风温度，成功的经验见阳泉二电厂 3#、4#北京巴威锅炉。
- 炉膛加高，延长煤粉停留时间，降低飞灰可燃物含量；并可减缓过热器减温水量过大的问题。
- 针对锅炉的运行工况，重新设计过热器的布置，在满足主汽温度要求的同时，尽量减少减温水的用量。
- 乏气风可考虑换个地方进入炉膛，以避免其对高温烟气回流的影响。如下炉膛中部或拱上。
- 磨煤机辅助风可考虑使用热风，以提高一次风温度。

6. 结束语

福斯特惠勒“W”火焰锅炉在燃烧无烟煤方面确有其独特之处，但其在燃用较低挥发分煤时高负荷存在燃烧不稳，灰渣可燃物含量高，减温水量大等缺点，这其中有设计方面的原因，也可能有调整的原因，希望本文能给大家以启示。由于笔者接触“W”火焰锅炉的时间不长，学术水平有限，认识上必有不当之处，望大家批评指正。

参考文献

1. 阳城电厂 1#锅炉调试报告(山西电力科学研究院)
2. 阳城电厂 1#机组性能试验报告(山西电力科学研究院)
3. 阳城电厂 1#机组燃用阳城小窑煤燃烧调整及验证试验报告(国家电力公司西安热工研究院\山西电力科学研究院)