

元宝山发电厂国产600 MW 机组锅炉再热器综合治理

Comprehensive Treatment of Boiler Reheater of Home-made
600 MW Generating Units in Yuanbaoshan Power Plant

孟祥东，姚祥国，蒋 种

(1. 元宝山发电厂，内蒙古 赤峰 024070；2. 辽宁电力科学研究院，辽宁 沈阳 110006)

摘要：针对元宝山发电厂3号锅炉后屏再热器及末级再热器频繁爆管以及再热汽温偏低的问题进行了详尽的分析，提出了综合治理再热器爆管和解决再热汽温偏低的技术方案，改造后锅炉运行的可靠性得到了显著提高。

(2. 关键词：锅炉；再热器；爆管；管材；残余旋转

元宝山发电厂3号炉系哈尔滨锅炉厂引进美国CE公司技术生产的600 Mw 汽轮机组配套锅炉。该炉于1998年投产以来，后屏再热器及末级再热器先后发生了多次爆管，因再热器爆管所引起的锅炉频繁停机严重影响了电厂的安全稳定运行。此外，锅炉还存在再热汽温偏低的问题，影响了机组运行的经济性。本文详细地分析了后屏再热器和末级再热器频繁爆管的原因，锅炉启动过程中后屏再热器不会发生超温爆管，但在大负荷工况下，由于炉膛出口烟气偏斜问题容易导致后屏再热器局部超温爆管；在锅炉的高负荷和低负荷工况下末级再热器都会发生超温爆管，炉膛出口的烟气偏斜及使用材料的安全裕度小是造成末级再热器局部超温爆管的主要原因，提出了提高再热器材质等级和燃烧器反切改造的治理措施，并增加了末级再热器的受热面积。改造后再热汽温提高了13℃，没有发生再热器爆管，大大提高了机组运行的安全性和经济性

1 设备简介

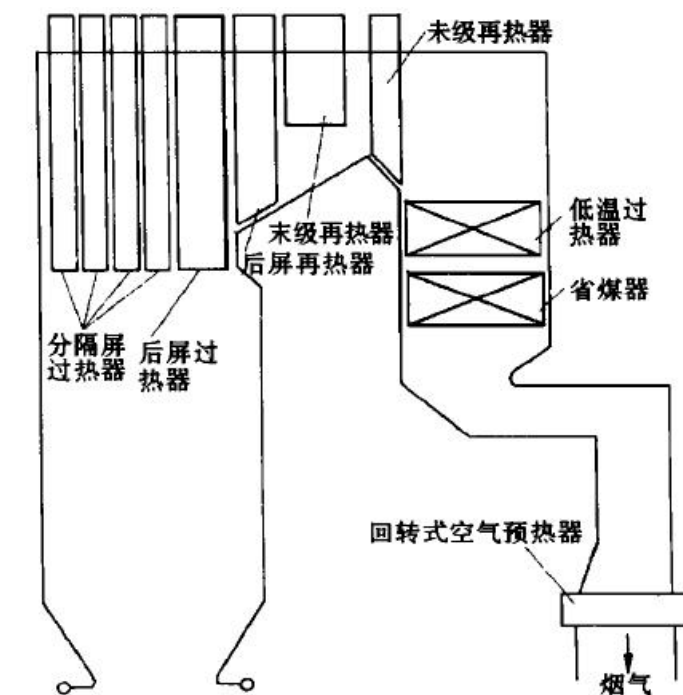


图1 锅炉简图

元宝山发电厂3号锅炉为单炉膛，四角布置直流燃烧器，燃烧器可以上下摆动用于调节再热汽温；32只煤粉燃烧器分8层布置于炉膛的四角，一次风和二次风气流相切于逆时针方向旋转的两个假想圆。

沿炉膛出口依次布置墙式辐射再热器(前墙及两侧墙)、过热器分隔屏、后屏过热器、后屏再热器、末级再热器、末级过热器，尾部竖井烟道布置立式过热器、卧式过热器、省煤器及回转式空气预热器。烟气依次流过上述各受热面，在电除尘器中除尘后经引风机排入烟囱而后进入大气。锅炉简图见图1

再热器由三部分组成，分别为辐射再热器、后屏再热器和末级再热器。辐射再热器布置在水冷壁前墙和水冷壁侧墙靠近前墙的部分，按高度占炉膛高度的1/3左右；后屏再热器布置在后屏过热器后面的水平烟道内，横向52片，每片由18根管并列组成；末级再热器位于水平烟道的后屏再热器之后，末级再热器横向78排，每排由并列12根管组成。末级再热器底部距斜坡墙2.7 m，用以必要时增加受热面来调节再热汽温。再热蒸汽流向为：来自汽机高压缸排汽一墙式辐射再热器一后屏再热器一末级再热器。再热汽温主要采用燃烧器摆动和辅助的事故喷水来调节，事故喷水位于再热器进口的蒸汽管道上。各级再热器的设计热力特性及使用的管材列于表1。

表1 各级再热器的主要热力参数及使用的管材

项目	数 据		
	辐射再热器	后屏再热器	末级再热器
烟气进口温度/℃	1 340	966	820
烟气出口温度/℃	1 340	828	751
蒸汽进口温度/℃	315	353.5	481
蒸汽出口温度/℃	353.5	481	540.6
使用的管材	15CrMo	15CrMo	15CrMo
		12Cr1MoV	12Cr1MoV
		钢研 102	钢研 102
		SA - BTP - 304H	SA - BTP - 304H

2 再热器存在的问题

2.1 再热器爆管

元宝山发电厂3号锅炉自投入运行后，再热器曾多次发生爆管，具体情况见表2。

表2 爆管情况统计

漏泄部位	时间	漏泄直接原因	具体位置
末级再热器	1999年3月	安装焊口缺陷	末级再热器联箱东数24排。
末级再热器	1999年9月	过热爆管	末级再热器自西向东数第35排、36排、37排。
末级再热器	2000年3月	管材原始缺陷	末级再热器自西向东数第37排，出口侧自外向里数第5排，在顶棚密封处下面漏泄。
后屏再热器	2000年5月	管材原始缺陷	锅炉65 m后屏再热器由东向西数第3排管屏，由外向内数第17、18管圈漏泄。
末级再热器	2000年9月	过热爆管	由西向东数第40排管屏，由内向外数第5管圈弯头，将40排内数第6管圈吹爆。

由表2可以看出，对于后屏再热器和末级再热器，爆管的主要原因是过热和管材的原始缺陷。

2.2 再热汽温偏低

3号炉自投产以来，由于设计原因再热汽温一直低于设计值540℃，特别是在上层磨煤机停止运行时尤为严重，有时甚至低于520℃，大大降低了机组运行的经济性。

3 爆管原因分析

影响高温对流及辐射受热面超温爆管的因素较多，锅内、炉内以及运行等对受热面的爆管都会有一定的影响。元宝山发电厂3号锅炉再热器爆管是多方面因素综合作用的结果。

多数分析认为再热器爆管是由于在锅炉启动的过程中再热器处于干烧造成

的。但仔细分析就会发现，锅炉启动过程中再热器存在的干烧而导致的超温情况在某种意义上还不至于使后屏再热器和末级再热器频繁爆管。这是因为在这一过程中，壁式辐射再热器的工作环境比后屏再热器和末级再热器更为恶劣，况且壁式辐射再热器所使用的管材材质(15CrMo)比后屏再热器及末级再热器低1~2个等级。因此，从爆管统计数据上看，在锅炉启动的过程中后屏及末级再热器处于干烧造成爆管是不成立的。

事实上，后屏再热器和末级再热器的爆管与锅炉大负荷下个别管束区域局部温度过高有着不可分割的关系。在大负荷下末级再热器超温爆管有以下3种原因。

a. 水平烟道内沿炉膛宽度方向存在较大的烟气速度场以及温度场的偏差。对于采用四角切圆燃烧方式的锅炉来说，烟气流在炉膛内的强烈旋转使得煤粉在炉内与空气充分混合、炉膛充满度好、热负荷均匀，且加强了其在炉内的停留时间，这是四角燃烧方式与其他燃烧方式相比的优势所在；但同时，也正是由于烟气流在炉膛内的强烈旋转，其旋转特性在到达炉膛出口时虽经过热器分割屏的消旋作用，但仍然存在一定的残余旋转，这使得烟气在进入水平烟道后产生了流量及温度的偏差，即烟气能量的偏差。

图2为元宝山3号炉俯视图，由图可以看出由于炉内烟气流是逆时针旋转，这必然造成进入水平烟道的东侧烟气流量大于西侧的烟气流量，使得水平烟道内沿炉膛宽度方向上产生较大的烟气流场、速度场以及温度场的偏差。这使得水平烟道内的受热面东西两侧的换热也产生了较大的偏差，最终导致了局部受热面超温爆管。

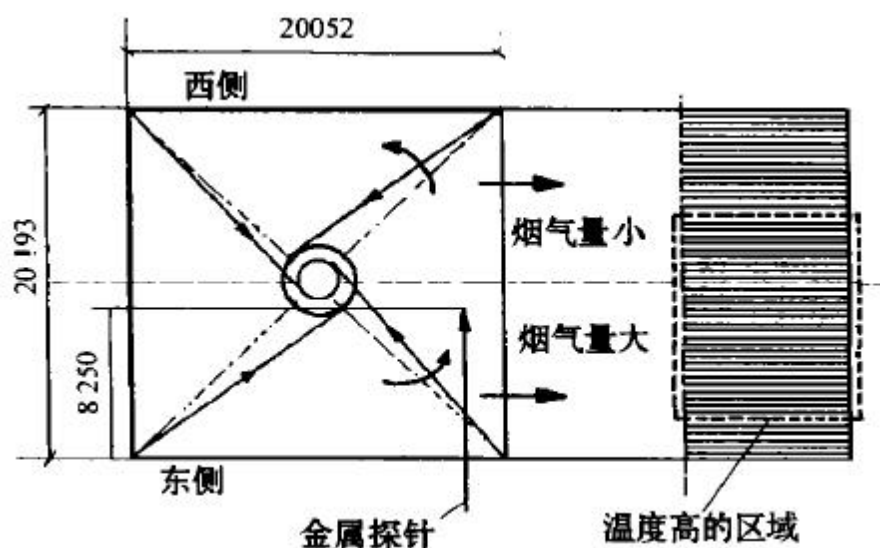


图2 锅炉俯视图

图3为不同机组负荷下末级再热器管壁温度的分布图。从图中可以看出，在大负荷情况下，沿炉膛宽度方向上，温度较高的区域在炉膛中心线靠近东侧的区域，最高点在东侧墙附近，温度接近600℃；在低负荷下，温度最高的区域向西侧迁移，靠近炉膛的中心线，但还在水平烟道的东侧，反映了在低负荷下烟气残余旋转仍然存在。

b. 末级再热器底部存在很大的烟气走廊。炉膛出口的烟气残余旋转不仅在水平烟道内的水平方向存在烟气的热力偏差，结构上的特点也必然导致在高度方向上存在较大的烟气热力偏差。由于末级再热器底部与下面的斜坡墙存在高达2.7m的烟气走廊，使得流经后屏再热器和末级再热器下部的烟气量较大，从而对这一

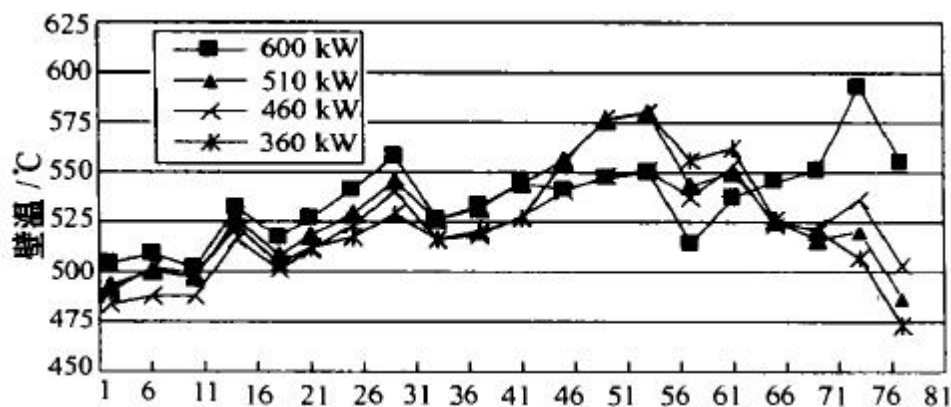


图3 末级再热器管壁温度的分布

区域受热面的安全运行构成较大的威胁。图4为上炉膛顶部左右两侧的烟气流场示意图。从图中可以看出，当烟气流进入分隔屏后，对于西侧的烟气，由于其切向速度方向与水平烟道烟气流动方向相反，其在上升的同时切向速度不断衰减，除少部分烟气绕到东侧外，绝大部分烟气最终改变为指向水平烟道流动；而对于东侧的烟气，由于其切向速度与水平烟道烟气流动方向相同，故上升很短的距离后就进入水平烟道。由于东、西侧烟气流场的差别，使得在炉膛上部接近顶棚的地方，西侧烟气流量高于东侧的烟气流量，而随着高度的降低，西侧的烟气流量逐渐减少，东侧的烟气流量逐渐增加，并渐渐高出西侧的相应值，且东侧总的烟气量要高于西侧总的烟气量。

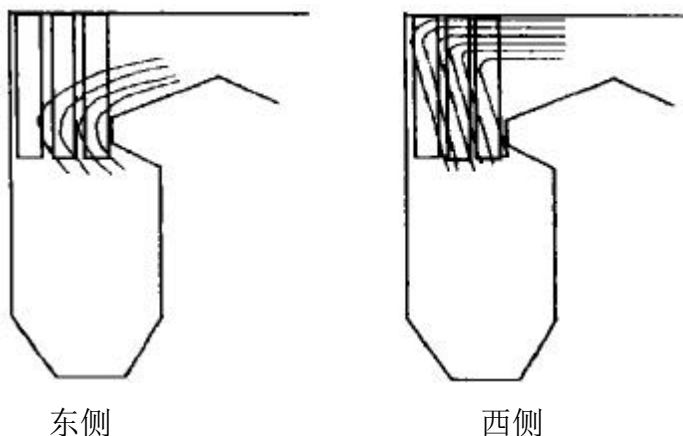


图4 上炉膛顶部左右两侧的烟气流场示意图

以上两个因素共同作用的结果就使得末级再热器下部受热面的烟气温度要比上部的烟气温度高得多，下部管子的工作环境要比上部来得恶劣。通过炉膛出口烟气温度的测量发现，东西两侧烟温偏差约为100℃，而上下偏差高达210℃，这说明高度方向烟气温度的偏差比水平方向上要来得大。统计数据显示，超温爆管基本上也是发生在末级再热器的下部。

c. 工质侧存在的流量偏差在局部区域与烟道内的烟气偏差相叠加，加剧了再热器受热面的超温。

4 再热器的治理措施

综合前面的分析，为了消除再热器爆管事故的发生，提高再热汽温，采取了以下3个措施。

a. 更换后屏再热器和末级再热器部分管材对于后屏再热器，在锅炉大负荷的情况下，出口蒸汽温度为481℃，而15CrMo和12Cr1MoV的使用温度分别为550℃

和580℃，由于烟气的偏斜作用，局部区域的管壁温度很容易超过550℃而发生超温爆管，因此，后屏再热器管子的材质裕度相对较低，靠近东侧的管屏较西侧更容易发生超温爆管。

对于末级再热器，在大负荷下，由于烟气残余旋转的存在，使得在水平烟道内左右侧之间、上下之间存在较大的烟气速度场和温度场的偏差，东侧受热面的工作环境较为恶劣，管壁温度最高的区域在紧靠近东侧的管排上，由于烟气走廊的存在，管壁温度最高的区域集中在受热面的下方，而且应在管圈的后回程的管段上；在低负荷情况下，东侧的整体烟气温度水平仍然要比西侧的高，沿炉膛的宽度方向，最危险的区域由大负荷时的靠近东侧开始向炉膛中心线方向迁移。根据以上分析，采取了如下的更换管材的方案：对于后屏再热器，外1圈的钢研102和12Cr1MoV全部更换为TP304H，外2.7圈的钢研102、12Cr1MoV和15CrMo材质更换为T91材质，外8.18圈的15CrMo材质全部更换为12Cr1MoV的材质；对于末级再热器，由原来的只有少量的TP304H和12Cr1MoV材质和大量的钢研102材质全部更换为TP304H。

b. 增加末级再热器受热面积

为了提高再热蒸汽温度，必须增加再热器的受热面积，而利用末级再热器下部的空间来增加受热面积，还可以降低烟气走廊，同时满足提高再热汽温和消除再热器超温爆管两方面的要求。根据热力计算结果，决定将末级再热器原管屏在原来的13 184 mm基础上在炉内加长1 600 mm变为14 784mm，受热面积增加了12.7%，烟气走廊的高度由原来的2.7m降低为1.1m，提高汽温可在10℃左右。

c. 燃烧器改造

由于产生再热器超温爆管的主要原因之一为炉膛出口存在的烟气残余旋转，为了消除再热器的超温爆管，应减小炉膛出口的烟气残余旋转。为此，将燃烧器顶部四层上二次风喷口反切14°，以达到降低炉膛出口烟气残余旋转，消除再热器超温爆管的目的。

5 改造效果

通过减小烟气走廊，反切上二次风喷口的改造，大大降低了炉膛出口的烟气残余旋转，使得再热器东西两侧偏差大幅度下降，壁温分布曲线趋向均匀。图5为改造前后末级再热器满负荷下的壁温分布曲线比较图。从图中可以清楚地看出，改造后温度最高区域的温度水平整体下降，曲线呈现出较均匀的分布，其中第73排管壁平均温度已由原来改造前的602℃降低到改造后的563℃，对安全运行不再构成威胁。

通过更换再热器部分管材，使再热器管材等级得以提高，再热器耐温裕度大大增加，加上改造后水平烟道内烟气偏差大幅度下降，使得再热器受热面的工作环境明显提高，基本消除了再热器超温爆管事故的发生。

通过增加末级再热器受热面积，使得再热汽温提高了11℃，大大提高了机组运行的经济性。

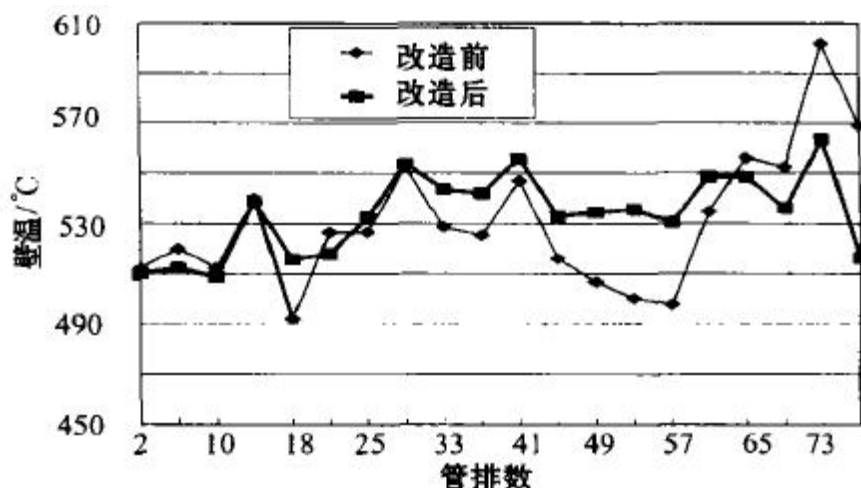


图5 末级再热器改造前后壁温分布曲线对比图

3号机组每次因锅炉漏泄造成的非正常停机造成直接损失110万元(包括油耗、水耗、电耗),每次临检影响发电量36 000 MW·h(每天发电12 000 MW·h,临检时间3 d),如按电量赢利0.089(kW·h)计算,每次非正常停机将减少赢利320万元,如按每年因再热器爆管引起的非正常停机为2.2次(统计结果),则经改造治理后每年可节约费用约为946万元;如按每提高再热蒸汽温1℃降低煤耗0.1 g计算,则经过改造治理后煤耗降低了1.1 g,以2002年发电量为2 345 100 MW·h计算,1年节省标准煤2 580 t,合人民币67万元;两者共计每年节省费用1 013万元。

6 结论

- 炉膛出口存在的烟气残余旋转造成了水平烟道内东西两侧及上部下部的烟气分布的偏差,使得在水平烟道上部西侧烟气量高于东侧烟气量,在水平烟道下部东侧烟气量高于西侧烟气量,最终使得东侧后屏再热器和末级再热器管排的壁温高于西侧,在大负荷下,温度最高的区域靠近东侧墙,在低负荷下,该区域向水平烟道的中心迁移,但仍然在东侧。
- 末级再热器底部存在很大的烟气走廊,加剧了沿水平烟道高度方向的烟气能量偏差,后屏再热器和末级再热器下部的管段会受到烟气强烈的冲刷,从而对这一区域管段的安全运行构成威胁,致使后屏再热器和末级再热器频繁发生超温爆管。
- 更换后屏再热器和末级再热器的部分管材使得管材的耐热能力得以提高。
- 增加末级再热器受热面积使再热蒸汽温度提高了11℃,且减小烟气走廊。
- 反切部分燃烧器喷口削弱了炉膛出口烟气的残余旋转,使得水平烟道内的烟气分布比较均匀。
- 通过综合治理,消除了再热器超温爆管事故的发生,提高了再热蒸汽温度,提高了机组的安全性和经济性。

参考文献:

- [1] 窦文字等. 引进型600 MW切向燃烧锅炉烟气偏差的试验研究【J】. 动力工程, 1999 (2)