

1025t / h 控制循环炉低温再热器包裹实践及分析

周文奎，丁永三

(国电谏壁发电厂，江苏 镇江 212006)

摘 要：针对国电谏壁电厂 1025t/h 控制循环炉低再热蒸汽温度高，二次汽减温水用量大的问题，通过论证，提出对 9 号低温再热器进行包裹的技术改造。在低温再热器水平段进行包裹，有效降低了低温再热器的吸热份额，达到了降低再热器出口温度及管屏温度的目的，实践后取得较好的经济效益和安全效益。

关键词：低温再热器包裹；再热汽温；减温水量；脱硝

0 引言

国电谏壁发电厂 9 号锅炉为上海锅炉厂有限公司制造的 SG-1025/16.77-M857 型，亚临界、中间一次再热控制循环、单炉膛 Π 型露天布置、平衡通风、单炉体双切园四角切向燃烧、固态排渣炉。制粉系统采用钢球磨中间储仓式乏气送粉，配四台 350/600 钢球磨。机组配备回转式空气预热器和电除尘器，采用石灰石-石膏湿法脱硫系统。9 号炉属于第一代国产 1000t/h 直流炉，于 1986 年 5 月投运，2001 年改造成 1025t/h 控制循环炉。2011 年 7 月配合脱硝设计先行进行了低氮燃烧器改造，2011 年 7 月增加抽热炉烟气供制粉系统加热用，2013 年 4 月增加脱硝系统。

实际运行中锅炉再热汽温偏高，机组负荷 300MW 时再热汽温达 550℃，甚至还高，再热器减温水（事故及微量减温水）调门开足，二次汽减温水量增大，造成机组耗差效率下降，严重时被迫降低主汽温度，从而降低再热汽温，制约机组负荷的接带。

根据原低再改造资料，上次改造低再水平段受热面增加了一圈，受热面积约增加 45%，再热器裕度为 8℃（改造后再热器汽温为 548℃），后续经过低氮燃烧器、抽热炉烟提高制粉系统出力改造，炉膛出口温度有所上升，造成再热器温度时有超限，管屏超温。

采用包裹低温再热器受热面，可减少低温再热器吸热份额，达到降低再热汽温的目的，同时可降低再热器管屏温度，对防止四管爆有益。

1 再热汽温较高的原因分析

1.1 直流锅炉改为控制循环炉的影响

直流锅炉改为控制循环炉时，再热汽温设计值较高，实际运行中，锅炉在 300MW 时，转向室进口烟温比设计值高，高出约 30℃，造成再热汽温同比升高；同时在低再出口水平段增加一圈受热面，防止低负荷时再热器出口汽温偏低的情况的发生，造成再热器吸热量同比上升。设计参数见表 1。

表 1 控制循环炉设计参数（设计煤种）

参数	BMCR	100%	高加全切	50%
发电机功率/MW	338.5	315.14	297.9	168.4
过热器流量/(t/h)	1025	945	800	500
再热器流量/(t/h)	872	808	795	442
再热器进口汽温/℃	320	320	327	322
再热器出口汽温/℃	548	547	547	513
给水温度/℃	261	254	159	222
喷水温度/℃	169	167	159	143
二悬进口烟温/℃	749	742	737	658
转向室进口烟温/℃	732	726	721	644
低再垂直段烟温/℃	727	720	715	637
低再水平段烟温/℃	677	671	666	590
低过进口烟温/℃	530	528	527	477
低再出口汽温/℃	450.46	451.49	454.24	434.45
二次汽减温水量/(t/h)	13.03	11.89	11.55	0

1.2 低氮燃烧器改造的影响

2011 年 7 月 9 号炉进行了低氮燃烧器改造，改造后，再热汽温上升较大。原因如下：

(1)利用高位 SOFA 风对燃烧系统实现低 NO_x 的改造，使炉内火焰中心呈上移的趋势。受其影响，炉膛出口烟气温度升高，炉膛水冷壁的吸热和炉内过热受热面的吸热减少。

(2)主燃烧器各一、二次风风口标高不动，将左右浓淡分离改造为上下浓淡分离，并增设高位 SOFA 风，满负荷时 SOFA 风量为总风量的 22-25%，

会使炉膛出口烟气温度升高，再热蒸汽温度升高。

(3) BMCR 负荷工况时，因燃烧区域采用欠氧燃烧，在燃烬区域采用过氧燃烧，炉膛出口烟气温度升高，过热蒸汽减温水再增加 2.9t/h，再热蒸汽减温水再增加 1.6t/h。因烟台龙源无热力计算，且严重偏离设计值，参数失准，无参考价值；而上海达岸锅炉热力计算结论与改造后实际运行值基本一致。表 2 为上海达岸（再热器）设计值。

表 2 低氮燃烧器改造（再热器）设计值（上海达岸）

工况（设计煤）	改造前/（t/h）	改造后/（t/h）	差值/（t/h）
BMCR	13.03	28.44	+15.41
BRL	11.89	27.04	+15.15
50% BRL	0.01	0.01	0
高加全切	11.55	24.83	+13.28

1.3 燃煤品质的变化的影响

锅炉煤质原设计煤种为烟煤。近年来，实际运行中掺烧部分褐煤。原设计及改造后实际煤质特性见表 3。

表 3 锅炉原设计煤质特性

项目	符号	单位	原设计煤	实际燃煤
收到基碳	Car	%	55.39	47.52
收到基氢	Har	%	3.39	3.63
收到基氧	Oar	%	6.04	6.28
收到基氮	Nar	%	0.86	1.03
收到基硫	Sar	%	0.48	0.54
收到基灰分	Aar	%	28.64	21.00
收到基水分	Mar	%	5.20	20.00
低位发热量	Qnet,ar	kJ/kg	21200	16560
收到基挥发分	Var	%	—	26.00
空干基水分	Mad	%	1.42	8.00
干燥无灰基挥发分	Vdaf	%	31.09	44.07

从表 3 看出：原煤收到基水分 Mar 从 5.2%上升至 20.00%，水份越大，在烟气卷席量不变的前提下，先析出燃料中的水份，再析出挥发物，挥发物析出所需时间越长，着火推迟；热值越低，耗风越大，对流过热器吸热越多，再热汽温越高。

1.4 再热器温升分析

经查阅锅炉设计产品说明书及生产现场打印的画面进行对比，实际运行中锅炉满负荷时低再温升比设计值高约 50℃，高温再热器温升比设计值高 13℃，再热器总温升比设计值高出 63℃。导致二次汽减温水量超高。见表 4。

表 4 再热器温升

设备名称	330MW(设)	165MW(设)	320MW(实)	250MW(实)
高排温度/℃	320	322	330℃	306℃
低温再热器/℃	130.46℃	112.45℃	180℃	210℃
高温再热器/℃	107℃	84.5℃	120℃	170℃

注：实际温度通过查找打印画面所得。

1.5 二次汽减温水量对比

查阅生产现场打印的画面，不同负荷下对应的二次汽减温水量。机组高负荷时二次汽减温水量较高，约 17t/h 且再热汽温偏高，若遇高水份煤则二次汽温更高；中低负荷因烟气量减少，吸热下降，再热汽温可控在控。见表 5。

表 5 不同负荷下的二次汽减温水量

名称	320MW	250MW	200MW
事故减温水量/(t/h)	8.14	5.81	0.24
微量减温水量/(t/h)	8.71	5.24	3.53
平均再热汽温/℃	549	549.4	542.1

2 具体实施方案

2.1 包裹方案选择

因高再吸热温差不大且在高热负荷区，包裹高温再热器不太可能，故采取包裹立式低温再热器，降低低温再热器温升，该处间隙大，空间开阔，施工方便，立式低再顶棚以下高度约为 6m，立式低再平均温升为：24/6=4℃/m，本工程锅炉该处烟气温度的约为 703℃（低温再热器进口），参考某电厂实施经验，实施后平均温降约为 2.5℃/m，分析包裹后套与管间仍存在热传导，刚好起到冷却管套的作用，有益于管套使用寿命，所以温降达不到 4℃。2.5℃属试验后温降，数据相对可靠。

2.2 包裹材料的选择

使用 1Cr18Ni9Ti，成本低，该处烟气温度 703℃，刚好处在材质温度上限，加上管子对管套有冷却作用，根据其他工程经验，使用后不变形，不氧化。

1Cr18Ni9Ti 相当于 AISI321，连续许用温度 ≤700℃，抗氧化温度 850℃。

2.3 包裹实施方案

根据烟气流向，在顶棚下 124 排低再垂直段（垂直段共 3 层管夹，第一层管夹顶棚管下 0.3m 左右，第一层管夹与第三层管夹间约 4m）加装 4m 长不锈钢钢板制作的包裹，为保证安装质量及施工的方便，不锈钢包裹采用 1m 长一块，其好处是如果首次装好后温降不够可以继续按比例增加，如果温降多了则可按比例减少。此次方案不考虑降温过多，以防低负荷时再热器温度不够。低再垂直段总宽度为 360mm，管子管径为 Φ51mm，管子之间间隙很小，故采用前后段用 M16mm 不锈钢螺丝紧固，中间用卡板固定(类似于宽管夹)，迎火面拼缝满焊，层与

层间无间隙(中间烧 200mm,前后让其膨胀)。包裹后的低再见图 1。



图 1 低温再热器包裹后俯视图

3 实施后运行分析

机组启动后于 2015 年 5 月 8 日加负荷至 311MW, 且供汽 80t/h, 折算后负荷达 320MW, 参数与包裹前对比: 低再出口温度同比下降 10℃, 二次减温水量同比下降 6.9 吨, 下降比例达 33%, 且二次汽减温水调门开度只有 20%, 调节裕度大。基本上与设计值相同, 达到预期效果。见表 6。

表 6 不同负荷下的二次汽减温水量

名称	320MW	250MW	200MW
事故减温水量/(t/h)	4.6	2.81	0.56
微量减温水量/(t/h)	6.1	3.24	1.53
平均再热汽温/℃	547	547.4	543.1

4 效益分析

从表 6 与表 5 统计数据对比, 可见: 9 号炉低温再热器包裹后, 高负荷时二次汽减温水量下降约 6 t/h, 下降达 33%, 中负荷时二次汽减温水量下降约 4 t/h, 按每天高、中、低负荷各占 8 小时统计, 取中值按 250MW 估算, 二次汽减温水量平均下降 4 t/h, 而我厂 9 号炉再热器减温水量年平均约为 12t/h, 年平均再热蒸汽流量为 700t/h (平均负荷按 250MW 计算), 影响煤耗: $12/700=1.7\%$, 取值 1% 减温水量影响煤耗 0.75g, $1.7 \times 0.75=1.275\text{g}$, 计算年节约费用: $1.275 \times 18 \times 600 \times 33\%=45.44$ 万元/年。

投资, 包裹套板材厚度取 3mm, 套周长 1.2m, 套高度 4m, 套体积: $1.2 \times 4 \times 0.003 \times 124=1.8\text{m}^3$, $1.8 \times 7.952=14.3\text{t}$, 如果使用 1Cr18Ni9Ti 市场价格 2.7 万元/t, 加工后 $2.7 \times 1.6=4.4$ 万元/t, 投资: $14.3 \times 4.4=63$ 万元, 焊条: 2000 元。施工费用: 20 人, 20 天, $20 \times 20 \times 300=12$ 万元, 合计费用: $63+12+0.2=75.2$ 万元。一年半收回投资。

5 结论

(1) 经济效益: 经实践后, 采用包裹低温再热器, 投资少, 安全可靠, 预期一年半收回投资。

(2) 安全效益: 包裹低温再热器后, 二次汽减温水量下降 33%, 在高负荷时由原二次汽减温水调门开足时汽温仍高, 包裹后事故及微量调门开度只有 20-30%, 调节裕度大, 再热器壁温及汽温可控、在控; 确保了壁屏温度可控, 对防止四管爆漏有益。

(3) 环保效益: 增加脱硝系统后, 设计脱硝进口烟温 $>309^\circ\text{C}$ 时脱硝才能投运, 此时对应负荷需 $>200\text{MW}$, 包裹低温再热器后脱硝入口烟温上升, 启动过程中负荷达 50% 时即可投入, 降低了 NO_x 的排放, 满足脱硝全程投运要求, 提高环保效益。

(4) 建议: 包裹低温再热器后排烟温度同比上升, 造成热量损失, 需加装低温省煤器才能降低排烟热损失, 9 号炉在本次中修中安装了低温省煤器, 故排烟热损失未作分析。

参考文献:

- [1] 1025t/h 控制循环炉产品说明书[R].
- [2] 上海达岸. 国电谏壁电厂 9 号炉低氮燃烧器改造 (再热器) 设计值》热力计算说明书[R].

作者简介:

周文奎 (1964-), 男, 江苏射阳人, 高级技师, 国电谏壁发电厂发电部锅炉专工, E-mail: Zhouwk@mail.jb.cgdc.com.cn。