

低温省煤器运行效果和节能环保分析

董 琨¹, 井新经², 张俊杰¹, 谭厚章³, 许伟刚³, 李 杨²

(1. 神华国华(北京)电力研究院有限公司, 北京 100025;

2. 西安西热节能技术有限公司, 陕西 西安 710054; 3. 西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 为分析低温省煤器改造前后运行情况和节能环保效果,并解决运行中存在的退出运行等问题,对已投运低温省煤器的 14 台机组的省煤器进出口烟气温度、运行率、经济性以及对除尘效果的影响进行了分析。结果表明:低温省煤器进口烟温较低、各烟道烟温偏差和变负荷导致的烟温波动易导致低温腐蚀和硫酸氢铵析出,是导致退出运行的主要原因;投运低温省煤器可节煤 0.34~1.71 g/(kW·h),降低电除尘出口粉尘浓度 19%~48%,节能和环保效果显著。

关键词: 低温省煤器; 运行优化; 经济性; 发电煤耗; 除尘效率

中图分类号:TK223.3⁺3

文献标识码:B

文章编号:1672-4763(2019)05-0071-05

0 前 言

加装低温省煤器是电站锅炉运用最广泛的烟气余热回收形式,利用锅炉低温烟气余热来加热汽轮机凝结水,可节省部分汽轮机抽汽和降低供电煤耗^[1-4],供热机组在供暖季还可利用余热加热热网回水^[5]。Sergio等^[6-7]学者结合烟温变量与经济效益成本,对回收烟气余热加热凝结水的节煤效果做系统分析。韩中和等^[8]利用热平衡法和等效焓降法计算得出低温省煤器可以降低发电煤耗。

刘利等^[9]发现,加装低温省煤器后,烟温降低,烟气量大幅减少,烟气中飞灰比电阻相对被降低,可有效提高电除尘器效率。张超^[9]发现低温省煤器下游体积电流量减小,可以相应减小烟道、引风机和增压风机等容量,从而降低厂用电。王岩^[10]则发现低温省煤器后烟温降低可以减少脱硫塔为达到最佳脱硫温度而喷射的减温水量,节省脱硫系统喷水量。唐晓妮等^[11]也发现对于排烟温度过高,超过脱硫装置入口允许的最高温度 150℃的机组,加装省煤器可以有效降低排烟温度,保证脱硫系统的安全运行。

但加装低温省煤器也会带来许多问题。低温省煤器被放置在空气预热器与电除尘器之间,

含尘量大,设备积灰较为严重导致阻力增加,同时对管壁造成冲刷和磨损,增加了设备泄漏的几率^[12]。加装低温省煤器后排烟温度已经接近烟气的酸露点,其后设备除尘器、烟道、引风机等均可能发生腐蚀^[13]。烟温过低同时氨逃逸量高的情况下会导致引风机叶片表面硫酸盐沉积,影响引风机出力和锅炉带负荷能力^[14]。加装低温省煤器后,在机组变负荷运行时其动态特性将影响锅炉运行的安全、经济性^[15]。

本文对目前国华公司已投运低温省煤器的 7 个电厂(分别记为 A-G)共 14 台机组(分别记为 A1-A4、B3-B4、C1-C2、D1-D2、E2、E4、F7、G2)2016 年 1~9 月的低温省煤器进出口烟温、投运率和除尘器效果进行了统计,总结了改造运行中的问题并提出了解决方案,同时分析了增设低温省煤器的节能和环保效果。

1 进出口烟温

对 2016 年 1~9 月低温省煤器各进口烟温平均值进行统计分析,结果见表 1,双室电除尘共有 4 个进口烟气通道,其中 A 电厂各机组只测量了 2 个烟温。由表 1 可见,C2 进口烟温最高,达 138.3℃,B4 进口烟温最低,为 109.5℃。各低温省煤器进口烟温均存在一定偏差,其中最大偏

收稿日期:2018-09-10; 修回日期:2019-04-08

作者简介:董琨(1979-),男,硕士,高级工程师,主要从事发电机组热力系统节能方面的工作。

差达 15.1℃。如此大的烟温偏差给低温省煤器的投入和控制带来了困难:若按各进口烟温最小值进行控制,为防止省煤器后发生低温腐蚀,必须保证低温省煤器出口烟温高于酸露点,则只能

降低整体烟温降,影响节能效果;若按各进口烟温平均值进行控制,则烟温低的通道出口烟温实际值低于控制值,易降低到酸露点以下,带来低温腐蚀问题。

表 1 各低温省煤器进口平均烟温的统计分析

	烟温 1/℃	烟温 2/℃	烟温 3/℃	烟温 4/℃	平均值/℃	标准偏差	最大偏差/℃
A1	130.2	132.9	—	—	131.6	1.3	2.7
A2	126.9	131.6	—	—	129.3	2.3	4.7
A3	129.0	122.6	—	—	125.8	3.2	6.4
A4	128.7	128.0	—	—	128.4	0.3	0.7
B3	112.1	120.3	116.3	106.4	113.8	5.2	13.9
B4	105.6	117.5	111.7	103.2	109.5	5.6	14.3
C1	146.1	140.9	131.0	134.9	138.2	5.8	15.1
C2	142.4	137.1	133.8	139.9	138.3	3.2	8.6
D1	118.1	127.9	127.0	118.0	122.8	4.7	9.9
D2	133.1	121.9	124.0	132.8	128.0	5.1	11.2
E2	116.1	119.7	119.4	115.9	117.8	1.8	3.8
E4	122.0	125.6	125.0	120.0	123.2	2.3	5.6
F7	124.1	120.6	119.9	121.3	121.5	1.6	4.2
G2	121.2	127.5	118.2	130.0	124.2	4.7	11.8

对 2016 年 1~9 月低温省煤器各进口烟温平均值进行统计,并与设计值和控制值进行对比,结果见图 1。

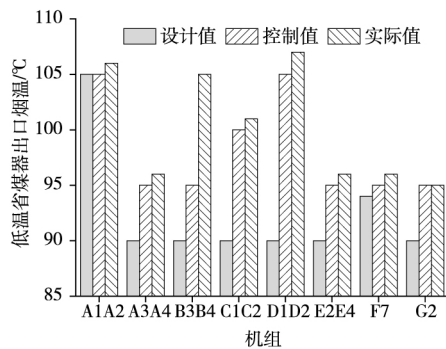


图 1 各低温省煤器出口平均烟温与设计值、控制值对比

由图 1 可见,除 A1、A2 设计值为 105℃和 F7 设计值为 94℃外,其余设计值均为 90℃。除 A1、A2 控制值与设计值相同外,其余各机组控制值均高于设计值,这主要是由于为防止低温省煤器后设备低温腐蚀,投运初期低温省煤器出口温度控制值均较为保守,逐步降低出口烟温并加强检查的稳步推进措施,而 A1、A2 设计值已过于保守,因此控制值并未进一步增加。除 B3、B4 的实际值与控制值相差较大外,其余差值均在 2℃以内,说明除 B3、B4 外的控制系

统运行良好。

负荷分别为 100%、75%和 50%时各低温省煤器进出口的温降情况见图 2。由图 2 可见,B3、B4 和 D1 的进出口烟温降较小,其余各低温省煤器进出口烟温降几乎都在 20℃以上,烟气余热被大量回收。

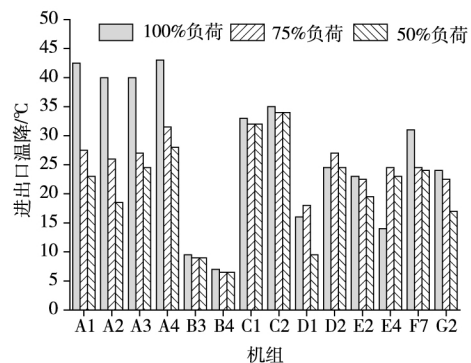


图 2 不同负荷下各低温省煤器进出口温降

2 投运率

统计各低温省煤器 2016 年 1~9 月的投运率,即进出口烟温降大于 5℃(进出口烟温降小于 5℃则视为低温省煤器退出运行)的运行时间与总运行时间之比,统计结果见图 3。由图 3 可见,B3、B4、C1、E2、E4 存在较多的退出运行情

况。以下分别分析其原因。

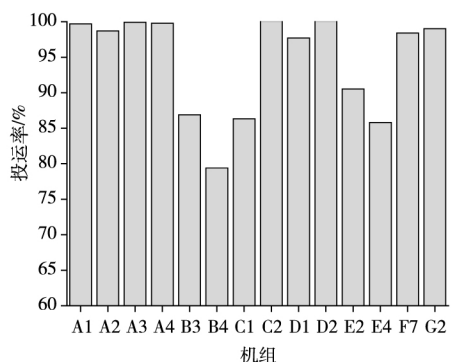


图 3 各低温省煤器投运率

B3 和 B4 在不同负荷下的投运率见图 4。由图 4 可见,100% 负荷时,B3 和 B4 的投运率很高,但随着负荷降低,投运率显著降低。这主要是由于 B3 和 B4 机组低氮燃烧器、分级省煤器、低温省煤器改造同时进行,改造后低温省煤器进口温度较设计值大幅降低,分别为 113.8℃ 和 109.5℃(见表 1),且 4 个烟道烟温偏差较大(14℃),低负荷情况下部分烟道烟温测点显示值甚至低于 100℃。且由于低负荷时脱硝喷氨过多,引起严重硫酸氢铵析出问题,导致电除尘极线极板积灰板结甚至电场多次退出运行,应电除尘厂家要求,对电除尘入口(低温省煤器出口)烟温保守控制为不低于 95℃(煤质为神华侏罗纪烟煤,计算酸露点为 90℃~95℃)(见图 2)。进出口烟温差太小,因此 B3 和 B4 退出运行,以保证低温省煤器出口烟温在酸露点以上,防止低温腐蚀。

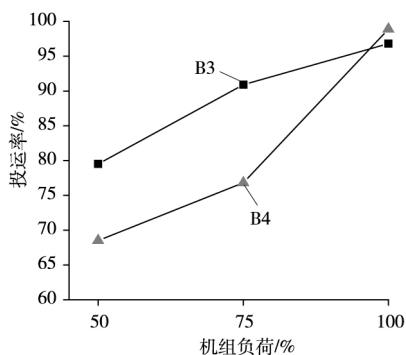


图 4 B3 和 B4 在不同负荷下的投运率

E2 和 E4 的情况与 B3 和 B4 类似,E2 和 E4 投运较晚,投运初期由于调节及负荷波动等各种原因,低温省煤器进口温度波动较大,当进口温度较低时,出口烟温经常低于 95℃ 的控制值,从而触发烟温低保护逻辑,发生自动退出情况。

C1 的情况与其他机组不同,由于低温省煤器循环水板式换热器泄漏,退出运行 1 个月。其 2016 年 1~9 月总投运率为 86.3%,因此除泄露停运的 1 个月外,另 8 个月的投运率为 $86.3\% \times 9/8=97.1\%$,退出运行情况很少。

3 经济性分析

已知各负荷下节煤量,只需要知道全年各负荷下的运行时间,就可以通过式(1)计算全年平均节煤量:

$$W = \frac{W_{100}H_{100} + W_{75}H_{75} + W_{50}H_{50}}{H_{100} + H_{75} + H_{50}} \quad (1)$$

式中:W 和 W_{100} 、 W_{75} 、 W_{50} 分别为平均节煤量和 100%、75%、50% 负荷下节煤量, $g/(kW \cdot h)$; H_{100} 、 H_{75} 、 H_{50} 分别为 100%、75%、50% 负荷下全年运行时间, h。

据分析,低温省煤器吸收锅炉排烟热量并加热凝结水,除去自身设备压损、风机阻力增加电耗升高等不利影响,烟温降低 20℃,约可节煤 1 $g/(kW \cdot h)$,按此进行估算。再按年利用 4 500 h 对应 100%、75%和 50%负荷下分别运行 1 500 h、2 000 h 和 3 000 h,年利用 5 000 h 对应 100%、75%和 50%负荷下分别运行 2 000 h、2 000 h 和 3 000 h,可以分别计算出年利用 4 500 h 和 5 000 h 时各机组平均节煤量,结果见表 2。

表 2 节煤量估算结果

机组	节煤量/ $[g \cdot (kW \cdot h)^{-1}]$				
	100% 负荷	75% 负荷	50% 负荷	年利用 4 500 h	年利用 5 000 h
A1	2.13	1.38	1.15	1.45	1.50
A2	2	1.3	0.93	1.29	1.34
A3	2	1.35	1.23	1.44	1.48
A4	2.15	1.58	1.4	1.63	1.67
B3	0.48	0.45	0.45	0.46	0.46
B4	0.35	0.33	0.33	0.33	0.34
C1	1.65	1.6	1.6	1.61	1.61
C2	1.75	1.7	1.7	1.71	1.71
D1	0.8	0.9	0.48	0.68	0.69
D2	1.23	1.35	1.23	1.27	1.26
E2	1.15	1.13	0.98	1.07	1.07
E4	0.7	1.23	1.15	1.07	1.04
F7	1.55	1.23	1.2	1.29	1.31
G2	1.2	1.13	0.85	1.02	1.03

根据各厂近 5 年到厂平均煤价、年利用小时数和投资成本可估算各机组的投资回收年限

(投资成本未计入电除尘适应性改造), 计算结果见表 3。由表 3 可见, B3、B4、C1、C2、D1 的投资回收年限较长, 以下分别分析其原因和改进方案。

表 3 投资回收年限估算值

机组	投资回收年限	
	年利用 4 500 h	年利用 5 000 h
A1	8.4	7.3
A2	8.9	7.7
A3	10.6	9.3
A4	9.5	8.4
B3	21.1	18.9
B4	21.1	18.9
C1	14.9	13.4
C2	14.9	13.4
D1	20.1	17.9
D2	11.7	10.6
E2	9.2	8.2
E4	9.2	8.5
F7	8.5	7.5
G2	10.4	9.2

B3、B4 和 D1 投资年限长主要是由于其平均节煤量较小(见表 2), 节煤量小的原因则是进口烟温实际值和出口烟温控制值相差太小(见图 2), 节能空间有限。B3 和 B4 主要是进口烟温实际值太低, 分别为 113.8 °C 和 109.5 °C(见表 1), 可通过加装调节阀门分烟道控制低温省煤器的凝结水流量, 逐步降低出口烟温值, 并利用停机时间检查电除尘极线极板结垢情况。D1 主要是出口烟温控制值太高, 比设计值高 15 °C, 达 105 °C(见图 1), 在确保不发生低温腐蚀的前提下, 通过逐步降低出口烟温进行试验并加强检查, 有望将出口烟温控制值降低, 提高节能效果, 降低投资回报年限。

C1 和 C2 的实际节能量可观, 但由于原煤价格低(约每吨 200 元), 因此投资回报年限高。冬季供热情况下, 低温省煤器系统接入热网水, 节煤量会大于夏季, 实际节能效果会优于计算值。

4 对除尘效果的影响

在满负荷下, 对部分机组低温省煤器投运和退出情况下的电除尘出口粉尘浓度进行测量, 并分析低温省煤器除尘效果的影响, 其结果见表 4。

表 4 低温省煤器对除尘效果的影响

机组	负荷率/%	电除尘出口粉尘浓度/(mg·Nm ⁻³)		除尘效果提升率/%
		低温省煤器投运	低温省煤器退出	
		A1	100	
	75	12.43	16.18	23
A4	100	16.6	23.1	28
B4	100	40.3	58.9	32
	100	34.8	43.1	19
C1	75	24.7	35.1	30
	50	14.5	18.3	21
D1	100	13.65	20.63	34
E2	100	7.1	13.63	48

由表 4 可见, 投运低温省煤器后, 电除尘出口粉尘浓度明显降低, 降低幅度达 19%~48%, 这主要是由于经过低温省煤器降温后, 烟气体积流量减小, 粉尘比电阻降低, 除尘效率提升。同时可以看出, 不同负荷下低温省煤器对电除尘效果的影响是不同的。

5 结 语

通过对已投运低温省煤器的 14 台机组的省煤器进出口烟温、运行率和电除尘出口粉尘浓度进行统计, 分析了低温省煤器运行状况及其节能环保效果。

(1) 为防止低温腐蚀, 低温省煤器运行参数普遍偏离设计值保守运行, 应分析其中原因并制定相应运行措施, 提高节能效果。

(2) 对已投运机组, 低温腐蚀和硫酸氢铵析出是导致低温省煤器退出运行的主要原因。低温省煤器进口烟温较低、各烟道烟温偏差和变负荷导致的烟温波动都易使出口烟温接近酸露点。严格控制机组喷氨量, 特别是低负荷喷氨量可避免硫酸氢铵析出问题。

(3) 统计机组投运低温省煤器可平均节煤 0.34~1.71 g/(kW·h), 最短 7.3 年即可收回投资成本。平均节煤量受省煤器进口烟温、出口控制参数和负荷影响, 提高低温省煤器投运率可提高节能效果。投资回收年限则不仅受平均节煤量影响, 还与煤价相关。

(4) 投运低温省煤器可以使除尘器出口粉尘浓度下降 19%~48%, 但此效果受负荷影响。

参考文献:

- [1] 徐钢,许诚,杨勇平,等. 电站锅炉余热深度利用及尾部受热面综合优化[J]. 中国电机工程学报,2013, 33(14): 1-8.
- [2] 李慧君,王研飞,常澍平,等. 330 MW 机组双级低温省煤器系统热经济性分析[J]. 电力科学与工程, 2015(6): 63-67.
- [3] 徐民,赵明,梁俊宇,等. 火电锅炉烟气余热利用研究[J]. 热能动力工程,2015,30(6):880-884.
- [4] 牛树赞. 某循环流化床锅炉增设低温省煤器降低排烟温度的节能分析[J]. 热力发电,2012,41(10):9-12.
- [5] 刘利,朱鹏达,谭锐. 350 MW 供热机组的低温省煤器经济性分析[J]. 电力科技与环保, 2017(1): 59-60.
- [6] WANG, C, HE B, SUN S, et al. Application of a low pressure economizer for waste heat recovery from the exhaust flue gas in a 600 MW power plant[J]. Energy, 2012, 48(1): 196-202.
- [7] ESPATOLERO S, CORTÉS C, ROMEO L M. Optimization of boiler cold-end and integration with the steam cycle in supercritical units [J]. Applied Energy, 2010, 87 (5): 1651-1660.
- [8] 韩中合,李鹏. 低温省煤器对凝汽器真空及机组热经济性影响[J]. 化工进展, 2015(11): 4114-4119.
- [9] 张超. 锅炉低温省煤器系统优化设计及热经济性分析[D]. 吉林:东北电力大学,2015.
- [10] 王岩. 660 MW 超超临界机组低温省煤器配置方案研究[J]. 应用能源技术, 2013(7): 28-31.
- [11] 康晓妮,马文举,马涛,等. 320 MW 机组锅炉加装低温省煤器的经济性研究[J]. 热力发电, 2012,41(5): 8-11.
- [12] 杨福成,李晓辉. 350 MW 机组低温省煤器运行效果分析[J]. 电站辅机, 2016(4): 26-29.
- [13] 刘鹤忠,连正权. 低温省煤器在火力发电厂中的运用探讨[J]. 电力勘测设计, 2010(4): 32-38.
- [14] 王毅斌,谭厚章,萧嘉繁,等. 超低排放燃煤电厂引风机叶片硫酸盐沉积分析[J]. 热力发电, 2016, 45(12): 9-13.
- [15] 李斌,党自力. 低温省煤器设计及其动态特性分析[J]. 热力发电, 2014,43(2): 25-29.

Analysis of Operation Effect and Energy Saving and Environmental Protection of Low Temperature Economizers

DONG Kun¹, JING Xinjing², ZHANG Junjie¹, TAN Houzhang³,
XU Weigang³, LI Yang²

(1. Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100025, China;

2. Xi'an TPRI Energy Conservation Technology Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

3. School of Energy and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To analyze operation condition and energy saving and environmental protection before and after low temperature economizer retrofit, and to solve problems during operation such as quitting of low temperature economizer, an investigation is performed on fourteen units with low temperature economizers, which focuses on gas temperature, operation rate, economic and dust removal effect at the entrance and exit of low temperature economizer. Results show that gas temperature at the entrance of low temperature economizer is low, therefore gas temperature deviation between different flues and variable load can lead to low temperature corrosion and precipitation of ammonium hydrogen sulfate, which is the main reason for quitting operation; With low temperature economizer put into operation, coal consumption rate decrease by 0.34~1.71 g/(kW·h), and dust concentration at the exit of electrostatic precipitator decrease by 19%~48%, thus significant energy saving and environmental protection effect is achieved.

Key words: low temperature economizer; operation optimization; economic; gross coal consumption rate; dust removal efficiency