

热管空气预热器的应用

中国科学院力学研究所 吴东根

北京第三热电厂 李宝岩

石家庄电力学校 杨金社

1 前言

热管作为一种高效传热元件,已广泛应用于各个领域,热管具有优良的性能,并显示了强大的生命力。但热管技术应用却是近几年的事,本世纪40年代美国俄亥俄州通用发动机公司的Gaugler提出了最早的热管构想,并于1942年12月提出专利申请。当时人们尚未意识到其中的巨大潜力,后来又逢战乱,在以后的20年内,该项工作几乎处于停滞状态。到了60年代,随着航天事业的开发,不断遇到新的问题,促使人们重新对热管原理构想的先进和巧妙产生浓厚的兴趣,为此进行了大量的理论和试验研究工作,并在空间技术的应用上进行了广泛的探索,同时,在其它领域中也逐渐引入热管的理论。目前,热管已广泛应用于宇航、能源工程、化工、电子器件及仪器设备等方面。其中热管空气预热器就是热管在能源工程中应用的典型实例。

电站锅炉一般应用传统的炉管式及回转式空气预热器。长期以来,空气预热器经常发生腐蚀、堵灰和漏风等问题,致使锅炉的排烟损失增大,锅炉效率降低,甚至影响锅炉的正常运行。为了降低排烟损

失,提高机组的可靠性和满负荷发电的能力,保证锅炉安全经济的运行,自70年代开始,国内一些高等院校和研究机构开始对热管技术进行试验研究,并逐步商业化。南京炼油厂、抚顺石油二厂和兰州炼油厂等在有关高等院校的合作下,相继投产了热管空气预热器并取得了显著的经济效益。随后,许多火力发电厂亦对老式空气预热器进行了相应的改造,如石嘴山发电厂、洛阳热电厂等,为了考察其应用效果,作者等在现场工作人员的配合下,对洛阳热电厂6#炉热管空气预热器改造效果进行了测试。

2 空气预热器改造前后的运行状况

2.1 空气预热器改造前的运行状况

洛阳热电厂6#炉自投产运行至今已有40余年。该炉为苏制T—13/A—220型锅炉,属于高压自然循环汽包炉,直流燃烧器分双层呈四角布置,空气预热器分高低温两级,与高低温省煤器交叉布置,未配置暖风器等空气预热装置。原设计排烟温度为127,后因割去10%的过热器受热面,又装设自冷凝表面减温包,实际运行的排烟温度为130

了双重防窃电功能,这样解决了电能表安装不符合规定且受干扰的问题,截止目前,共有50个低压配电室计量改造完毕,使电能表计量的回收率月平均达到90%以上,比原来提高了25.2%,净增经济效益96.6万元。

总之,经过加强企业内部管理,电量流失得到有效控制,企业的管理水平得到明显提高,在用户中“电是商品”的意识得到增强,使用户缴纳电费由被动转为主动,为本单位增创了很大的经济效益。

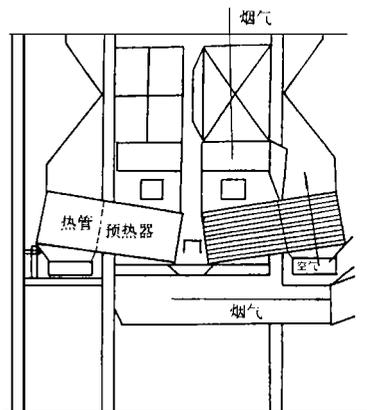


图 1 热管式空气预热器安装位置示意图

表 1 主要测试数据和计算结果

项 目	单位	改 前		改 后	
		设计	实测	设计	实测
锅炉负荷	t/h	220	225	220	226
排烟温度	℃	127	143.4	150	147.2
排烟 O ₂	%	5.9	9.785	5.9	8.691
排烟 RO ₂	%		9.805		10.34
排烟 CO	%		0.043		0.0611
飞灰/大渣含碳量	%		2.94/5.56		3.54/3.63
排烟损失 q ₄	%	5.22	8.60		7.62
化学不完全燃烧损失	%	0.5	0.24		0.34
机械不完全燃烧损失	%	1.5	1.75		1.47
散热损失	%	0.54	0.74		0.74
灰渣物理热损失	%		0.25		0.18
锅炉效率 η	%	92.24	88.42		89.65
修正后的锅炉效率	%		88.69		89.65
修正后的 q ₂	%		8.33		7.62
低温省煤器入口氧量	%		8.342		7.558
漏风率	%		30.7	5.30	9.20
烟气流量	Nm ³ /h	229512	275829	235212	276704
烟气流速	m/s	9.3	11.18	8.14	9.58
送风机入口风温	℃	30	21.8	30	30.3

1. 排烟 O₂ 为低温省煤器入口氧量;
2. 按送风机入口风温为 30℃ 修正排烟温度, 进入效率计算;
3. CO 含量较小 (CO < 1000ppm), 计算过剩空气系数时采用氧公式, 又 q₄ < 2%, 可略去其影响, 所以采用公式 $\alpha = 21/(21 - O_2)$ 。

表 2 低温段空气预热器阻力 (Pa)

项 目	改前(甲/乙)	改后(甲/乙)
烟气入口静压	- 590/- 570	- 870/- 740
烟气出口静压	- 930/- 850	- 1290/- 1050
烟气侧阻力	340/280	420/310
空气入口静压	1820	1730
空气出口静压	1640/1650	1620/1630
空气侧阻力	180/170	110/100
引风机入口负压	- 3125	- 2333
高温空预器出口风压	1200	1080

~ 160 。

由于设备老化及腐蚀堵灰严重, 预热器末端管子表面已相当粗糙陈旧, 造成 40% ~ 50% 的管子易发生堵灰。虽然每次机组大小修均用高压水枪清洗疏通, 也只能维持很短的运行时间, 加上长期腐蚀, 管子漏风已相当严重。改前末级预热器漏风率高达 20%, 而且其它部分的漏风也很大。

堵灰和漏风使排烟损失增加, 检修维护费用及工作量加大, 尽管引风机挡板开至最大, 仍无法维持正常的炉膛负压运行。

2.2 空气预热器改造后的运行状况

为了节省投资, 该炉只改造了空气预热器的低温冷段。热管空气预热器由热管管束、箱体及中间隔板等组成, 管束由中间隔板分隔成分别流过烟气和空气的两部分, 如图 1 所示。热管采用重力钢—水热管, 热管与水平面成 70° 倾角布置, 以便靠重力回流工作液。钢—水热管的最高使用温度为 280 ~ 300 。

3 热管空气预热器的运行效果

洛阳热电厂 6# 炉的改后测试是在改造后运行四个半月后进行的, 因而管子表面的清洁程度处于正常状态, 具备考核条件。

试验主要通过比较空气预热器改造前后的锅炉效率、漏风、烟速和阻力等几个主要性能指标, 评价其改造效果。表 1、表 2 分别列出了有关项目的测试数据及计算结果。

从改造前后的分析计算看, 改后锅炉效率提高了 0.96%, 其中排烟损失的减少量为 0.71%, 这个成绩就是减少了漏风的效果之一。

从表面上看, 改后的排烟温度略高于改前, 这是由于改前测试时的空气温度较低, 这点在效率计算过程中将予以修正; 另外, 改前漏风较大, 漏入的冷空气降低了烟气温度, 但烟气量增大, 总烟焓实际仍高于改后。

将改后设计值与实测值比较, 热风温度和排烟温度都达到了预期设计目的, 然而锅炉效率的提高却没有人们通常预想的那么高, 这是设计上出于防磨和防腐要求的考虑。

电厂燃用义马煤, Fe₂O₃ 含量超过 30%, 这是一种切削力较强的氧化物。在灰分和烟速都很高的情况下, 预热器烟气侧的设计按电厂的要求采用了鳍片式热管。这种移值鳍片式省煤器的做法可以有效地减轻

节能技术

磨损,但也损失了高效传热性能。据估算:在相同的空间,肋片式热管可以比鳍片式热管多布置 35% 的受热面;同时,在相同壁温下,可以获得更低的排烟温度。

改后低温省煤器入口 O_2 量增加,说明前级受热面漏风增大。影响因素有两点:其一是炉膛能够维持负压运行后,从炉膛到低温省煤器入口沿程的负压增大,加上锅炉老化,漏风点多,各处的漏风都会增加。其二是高温空气预热器入口烟速超过 12m/s ,磨损比较严重,在烟气、空气压差增高后,漏风也相应增加。

从表 2 的数据看:低温冷段空气预热器以前各级受热面在整个烟气侧阻力中所占的比例较小,主要的阻力集中在除尘器。目前,除尘器入口堵灰非常严重,损失了约 $1/2 \sim 2/3$ 的引风压头,锅炉需要经常停炉处理。

改后烟气侧阻力增加 20%,空气侧阻力降低 40%,这个结果通过分析计算是可以预见到的。一般来说,纵向冲刷流经管束的烟速在比横掠烟速高一倍时,两者的阻力才相当。改前烟气纵向冲刷管束,改后则烟气横掠热管,烟气侧阻力增加合乎情理。空气侧改后的流程缩短,而且没有 180 转弯,空气侧阻力下降也是必然的。

4 结论

(1) 从锅炉效率、漏风、阻力及热风温度等的计算分析结果看,空气预热器改造在这些方面均达到了预期的目的,不仅在传热计算上是成功的,同时实际运行情况与设计也比较符合。由于采用鳍片式热管,热管间的平均烟速为 9.85m/s ,对这种防磨结构的预热器不仅不会磨损,而且对积灰有一定的自吹扫能力。但是,由于鳍片式热管的引入,无论从空间结构上,还是在壁温控制上都限制了排烟温度的进一步降低。对燃用高灰份煤种的锅炉,在进行预热器设计时,单纯环形肋片式热管和单纯鳍片式热管很难兼顾防磨和高效传热的两方面重任。如能采用鳍片和肋片一体的鳍—肋复合式热管,将会较好地解决磨损和传热等问题。因此,热管预热器引入燃煤锅炉后其结构形式和布置方式还须进一步优化,仍有相当大的潜力。就现有水平来说,改后的锅炉效率提高 0.96%,每年(按 7000 小时运行时间计算)可节约标准煤 1500 吨,供电煤耗下降 $4 \sim 5\text{g/kWh}$,效益

还是相当明显的。

(2) 改后吸风机已有调整裕度,只要能控制除尘器阻力,热管预热器的阻力增加几个毫米水柱不会有太大影响。

(3) 从实测的排烟温度和进风温度看,夏季预热器可以避免堵灰。但在冬季,如改前试验进风温度仅 21.8 ,这种现象在运行中应该进行调整,避免烟气结露造成低温腐蚀。

(4) 随着克服钢—水不相容性措施的研究,起步时所用的昂贵的钢铜复合管—水热管正逐渐被廉价的碳钢—水热管代替。这样就降低了初投资,从而有利于热管的推广应用。事实上,在我国,气—气热管换热器最初应用于炼油厂加热炉以及工业锅炉,并在电站锅炉上使用,均取得显著的经济效益。

(5) 热管空气预热器传热性能良好,优于管壳式、板式和回转式等其它型式的换热器,而且确保两部分气流不相互渗透,有效地解决空气预热器漏风这一难题。此外,热管空气预热器还具有安装灵活,运行可靠,维修量小等优点。显然,对电站锅炉来说,热管空气预热器是比较理想的换热设备。

总之,热管空气预热器取代传统的空气预热器是节能的有效途径之一,进一步研究的目标应是提高效率,简化结构,降低成本,优化性能,增长寿命。在运行中的烟尘堵塞,结垢,除尘磨损,腐蚀等一系列问题尚待积累经验,提出合理的解决措施。

参考文献

- [1] Gaugler, R. S., "Heat Transfer Device", U. S. Patent 2350348 1942, 12, Published 1994, 6.
- [2] 辛明道等编译,《热管设计研究及工程应用》,科学技术文献出版社重庆分社,1981
- [3] [美]E. R. F. 温特, W. O. 巴西著,陈叔平译,《热管》,科学出版社,1975
- [4] 王学军、吴东垠、赵军旗等,石嘴山电厂 7 号炉复合式空气预热器的改造,热力发电,1994
- [5] 赵荣弟、朱玉华、刘德才等,“钢—水热管相容性研究”,中国工程热物理学会传热传质分会第一届热管会议论文,1983,哈尔滨
- [6] 靳明聪、陈远国编著,《热管及热管换热器》,重庆大学出版社,1986
- [7] 李亭寒、华诚生等编著,《热管设计与应用》,化学工业出版社,1987