

火炬气在燃煤锅炉上的回收利用研究

柴沁虎¹, 鞞军¹, 张德华², 沈新豪²

(1. 清华大学 建筑技术科学系, 北京 100084; 2. 扬子石化有限责任公司热电厂, 江苏 南京 210048)

摘 要: 通过一具体改造实例, 分析了燃煤锅炉回收利用火炬气的问题, 测试了燃煤锅炉掺烧火炬气后锅炉运行特性的变化。认为只要在配风方式、最佳过剩空气系数等方面根据火炬气掺烧量、火炬气特性等因素做相应调整, 完全可以利用燃煤锅炉长期安全回收火炬气, 实现环境保护和废热利用。

关 键 词: 燃煤锅炉; 火炬气; 回收装置

中图分类号: TK229.6 文献标识码: B

1 引 言

目前世界上只有很少几家工厂能够有效回收火炬气^[1-3]。随着节能环保意识的增强, 以及越来越严格的污染控制法案的实施, 近来国内外许多企业、研究机构都在研究火炬气的回收利用^[4-5]。

国外火炬气的回收利用的主要手段是将火炬气作为燃料送入燃油、燃气加热炉进行燃烧处理, 而由于我国国情的限制如果能将火炬气引入燃煤锅炉进行燃烧处理, 其经济效益、社会效益将远远大于将火炬气送入燃气燃油加热炉, 但是由于火炬气的排放很不稳定, 其流量、压力、热值没有规律, 组成成分复杂, 不仅含有一些易爆气体, 而且还含有很多化工工艺伴生的升华硫、颗粒状生产物料等, 因而通过燃煤锅炉实现火炬气的回收利用存在很多难以解决的困难^[6]。扬子石化在国内率先实现基于燃煤锅炉的火炬气回收利用, 本文通过对这一改造方案的分析, 指出改造过程中的一些注意事项; 通过对全燃煤锅炉掺烧火炬气后锅炉热力性能的实际测试, 指出要想达到最佳的回收效果必须在配风方式、最佳过剩空气系数确定方面根据火炬气掺烧量、火炬气组分等环节做相应调整。该系统已经运行近 2 年, 实际运行效果表明, 该改造方案达到了预期目标, 取得良好的经济、社会效益, 在行业内外造成较大影响, 目前这一方法已经在系统内多家企业得到推广应

用。

2 设备改造原则及方案

该改造方案在企业自备电厂实施, 锅炉系 HG-220/100-10 型单汽包、自然循环燃煤锅炉。

火炬气设计成分如下: $H_2=37\%$; $H_2S=1.5\%$; $CO_2=3.6\%$; $N_2=2.6\%$; $NH_3=0.48\%$; $C_1=16\%$; $C_2=12\%$; $C_3=13\%$; $Q_{dw}^y=29\,300\sim 42\,000\text{ kJ/kg}$ 。实测数据表明, 其品质远远低于设计值, 且各组分随着生产过程变化较大, 这给回收利用带来一定的困难。

根据该厂系石化系统自备电厂的特点以及实际生产情况, 改造方案应能够保证锅炉在各种正常工况下长期安全、稳定、高效运行, 能够尽可能减小火炬气系统压力、热值波动对锅炉系统可能带来的冲击, 能够减小火炬气组分变化对运行带来的影响。

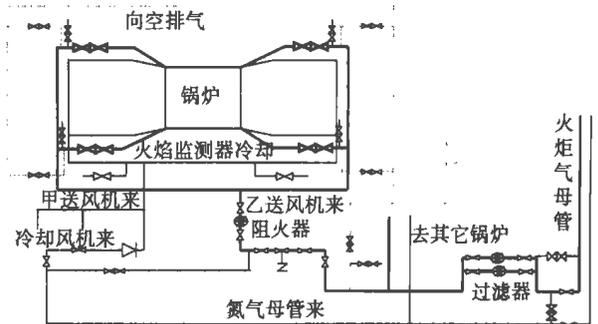


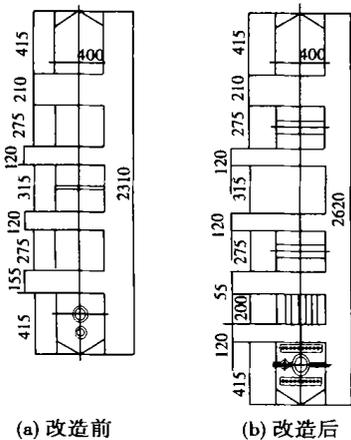
图 1 火炬气回收利用系统示意图

火炬气回收利用系统如图 1 所示, 来自生产装置的火炬气, 通过火炬气回收系统储存、加压后作为燃料气并入燃料管网, 供自备热电厂锅炉、烯烃厂超高压蒸汽锅炉和芳烃厂加热炉等处, 替代生产所需的煤、重质油、液化气等燃料。来自火炬气母管的火炬气经过过滤器送至电厂运转层母管, 由运转层母

管分配至各台掺烧火炬气的锅炉。火炬气经由炉前燃气压力调节阀,将压力稳定在 0.03 ± 0.01 MPa 送入燃气喷口进行燃烧。在每个燃气喷口管路上面均设有火炬气取样口,供取样分析用。为确保安全,防止意外事故发生,在燃气调整阀前后以及每个燃气喷口前均设有快关阀门,在事故状态下,阀门迅速关闭,防止继续向锅炉供气。在火炬气燃烧器上方,巡检线路经过处平台上,布置煤气报警器。

原燃烧器为 100% 全燃煤烟煤燃烧器,为了实现掺烧火炬气的要求,对原有的燃烧器进行了重新设计,随着火炬气掺烧量的提高,火炬气与煤的混合燃料理论燃烧温度会下降,同时随着火炬气掺烧量的增加,炉膛出口截面处烟气体积流量也会增加,并影响着辐射换热量和对流换热量的比例,综合考虑这两个因素,将火炬气掺烧量确定为 20% (按入炉热量)。

改进前、后的燃烧器如图 2,其技术参数如下:



名称:煤掺气燃烧器;型号:D-68130
 -0-0;燃煤量:29 t/h;燃气量:2 800 m³/h;燃气压力:0.03~0.05 MPa;燃气二次风速:50 m/s;燃油压力:3.47 MPa;燃烧效率 98%;锅炉容许最低负荷:120 t/h;

改进后的燃烧器具有以下特点:考虑到火炬气的燃烧行程较短,为防止对一次

风发生抢风,缝隙式燃气喷嘴加设在下次二次风风口内;为保证下一次风处燃烧的稳定性,将下次风风口改为上浓下稀的浓、稀相风口。下次风风口增加周界风,并且单独设有周界风手动调节挡板,为了保证一二次风的合适配比在下次风的下方布置一个下二次风风口;在中二次风风口和下二次风风口中装有 6° 的导流隔板,使得这两层二次风可以形成与其它喷口同向但直径更大的切圆;为了减少改造的工作量,一次风喷口的中心标高维持不变。

锅炉原折焰角的斜率为 30°,运行时,发现高、低温过热器均有部分管束埋在了炉灰里面。考虑到燃用火炬气后,混合燃料的硫含量会有所上升,为防止发生高温腐蚀,在改造时,将折焰角斜坡改为 40°,以

消除可能发生的积灰,过热器管束也做了相应改进。

3 火炬气回收利用系统性能测试

为了评判改造效果,我们对改造后的锅炉进行了相应的性能测试,各项目测试方法主要依据《电站锅炉性能试验规程 (GB10184-88)》中的相关规定,热效率以及热损失的计算方法完全依据此规程中的相关规定和计算公式进行。

3.1 炉膛出口温度分布测试

在 220 t/h、240 t/h 两个工况下进行了炉膛出口温度分布的测试,测试结果如图 3 所示。

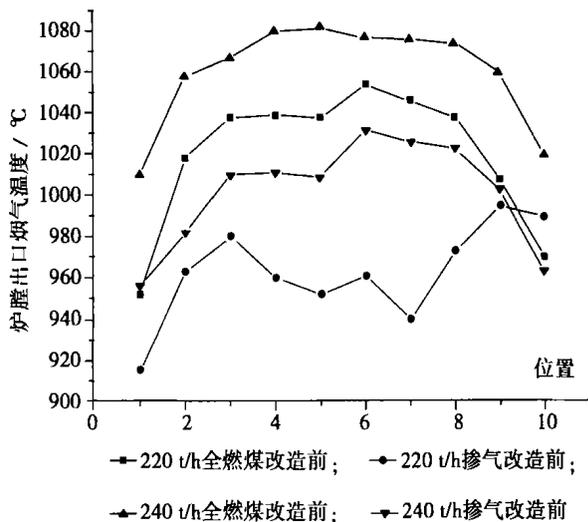


图 3 3 号锅炉炉膛出口烟气温度分布

图中的数据表明,掺烧火炬气后在 240 t/h 和 220 t/h 负荷下,炉膛出口烟温均不超过设计值 1089 °C、1059 °C,且与全燃煤时相比降低约 50~70 °C,这对于锅炉的安全运行非常有利。

3.2 变过剩空气系数测试

220 t/h 时变过剩空气系数试验的 3 个工况下的排烟温度、飞灰炉渣含碳量、各项热损失、效率以及对流过热器出口管束最高壁温的数据列于表 1。

由试验数据可见,各工况下对流过热器壁温均在安全范围内。随着过剩空气系数的增加,排烟热损失、固体未完全燃烧热损失相应增加,锅炉效率有所降低。控制氧量一旦超过 3.0 锅炉效率将呈下降趋势,这主要是因为火炬气极易燃烧,在较低的氧量以及较小的下次二次风开度情形下也能充分燃烧。我们注意到在较低氧量,以及较小下次二次风开度

表 1 3 号锅炉氧量优化调整试验结果

O ₂	$\theta_{py}/^{\circ}\text{C}$	$c_{H_2}/\%$	$c_{I_2}/\%$	$q_2/\%$	$q_4/\%$	$q_5/\%$	$q_6/\%$	$\eta/\%$	$t/^{\circ}\text{C}$
2.9	167.5	5.32	20.39	6.59	2.43	0.69	0.21	90.09	547
3.3	169.7	4.52	25.78	6.75	2.47	0.69	0.21	89.88	544
4.0	167.7	4.02	28.73	6.86	2.49	0.69	0.21	89.74	545

表 2 配风方式调整试验结果

	$\theta_{py}/^{\circ}\text{C}$	$c_{H_2}/\%$	$c_{I_2}/\%$	$q_2/\%$	$q_4/\%$	$q_5/\%$	$q_6/\%$	$\eta/\%$	$t/^{\circ}\text{C}$
倒塔型	167	1.99	23.3	7.39	1.48	0.80	0.20	90.12	555
正塔型	169.8	2.50	5.20	7.17	0.81	0.82	0.17	91.02	553
均等型	167.5	2.57	7.63	7.08	0.91	0.82	0.17	91.01	536

* 均等配风方式各风门的开度均为 60%，正塔型配风方式上、中、下、下下二次风的开度分别为 50%、40%、80%、80%，全部开度均为校正后的实际开度。

的情况下, 如果将高温省煤器出口氧量控制在 2.0, 空预器出口烟气 CO 含量不超过 10×10^{-6} , 故氧量控制可以仍然按照飞灰炉渣含碳量以及排烟温度协调的原则加以确定, 不宜太大。

3.3 配风方式测试

由于火炬气燃烧火焰行程短, 消耗氧气速度快, 如果供给氧气量不足, 就会和下一次风煤粉发生抢风现象, 这样就会使得下一次风煤粉燃烧推迟, 火焰中心上升, 炉膛出口温度升高, 锅炉整体效率降低, 同时下落的煤粉得不到充足的氧气进一步燃尽, 因而配风方式对于混合燃料的高效燃烧具有较大的影响。测试表明, 对于在一定的掺烧方式和掺烧比例下, 应该选择合适的配风方式, 保证火炬气燃烧侧的氧气供给量。220 t/h 工况时, 正塔型配风和均等配风以及倒塔型配风测试结果如表 2 所示(此时掺气量按输入热量计达到 24%)。在正塔型的配风方式下, 下层二次风风量充足, 炉渣含碳量也较低, 但炉膛出口烟温较高, 造成了对流过热器管壁超温, 相应的排烟温度也较高。均等配风和正塔型配风方式相比, 锅炉效率相差较小, 但对流过热器管壁温度要低, 处于安全运行的范围内。而倒塔型配风由于下下二次风风量不够, 造成炉渣飞灰含量急剧增加, 使得效率下降较多。

综合配风、管壁温度、排烟温度、飞灰含碳量和炉渣含碳量等因素可以得出结论: 下下二次风量对于保证炉底灰渣可燃物含量水平具有重要的意义, 随着火炬气掺烧量的增加, 必须相应增加下下二次风量。当锅炉负荷在 200 t/h 以下运行时, 宜采用均等配风方式, 而高负荷运行时, 从过热器的安全运行性能来看, 应该采用倒塔型配风方式, 但此时必须适当控制掺烧的火炬气量, 以免由于炉底灰渣可燃物

含量急剧上升, 影响锅炉整体效率; 在任何情况下, 不得同侧同时投运燃气、燃油喷口。

3.4 变火炬气量测试

从改变火炬气的掺烧比例来观察混合燃料对受热面壁温、飞灰含碳量、炉渣含碳量以及排烟温度的影响, 测试结果表明: 在配风方式合理的情况下, 掺烧量在一定范围内时 ($< 24\%$), 排烟温度、对流过热器壁温基本相同, 随着掺烧量的增加并未出现火焰中心上移、炉膛出口烟气温度升高、过热器管壁温度超温的现象; 但是一旦突破这个界限, 由于供给火炬气燃烧的下下层二次风量不足, 导致火炬气抢用下一次风燃烧所用的空气, 使得一方面下落的煤粉得不到充足的氧气进一步燃尽; 另一方面, 下一次风燃烧推迟, 火焰中心上升, 炉膛出口温度升高, 使得整体效率降低, 甚至还出现了对流过热器局部超温的现象, 这从另一方面证实了火炬气掺烧量确定在 20% 的合理性。

4 存在问题讨论

炉渣含碳量在各个测试工况下均维持在较高水平, 进一步分析发现是因为下层二次风比下层一次风射流向外偏转了 6° 。二次风偏转 6° 以后对一次风中的煤粉的托浮能力比起二次风、一次风同角引入的方式要差一些, 同时下层二次风风口面积偏大, 如果下层二次风开度较大就会使得下部气量明显增加, 导致火焰中心上移, 从而引发排烟温度上升、对流过热器管壁超温; 如果下层二次风开度较小 ($< 30\%$), 氧气又会消耗过快, 不利于下落的煤粉进一步燃尽, 炉渣含碳量将会明显增加。我们将下层二次风改为与一次风同向引入, 并适当减小了下下层二次风口

的面积,改进以后运行效果良好,炉渣含碳量降低到正常水平。喷燃器的冷却效果、燃煤时各层二次风风量的燃烧调整都得到较好考虑。

火炬气属于易燃易爆气体,为避免当火炬气流量较小时,有回火到回收主系统中,根据相关标准,系统必须加装阻火器,但是由于火炬气硫的含量较高,这些成分很容易发生升华附着在阻火器上面,加上颗粒状化工原料的存在使得其非常容易堵塞,对阻火器的型号设计必须考虑有一定的裕量,适当加大阻火器面积,以延缓堵塞过程,同时加设阻火器的切换旁路。

由于火炬气系石化装置启、停车以及日常生产过程物料不能平衡的一部分转化而来,因而尽管添加了专门的火炬气回收、储存、加压装置,但仍然不可避免地存在火炬气热值、流量、压力波动较大的现象。为此,火炬气系统专门添加了压力调整系统,使得调节阀后压力保持在 0.04 ± 0.01 MPa,如果调节阀后压力不正常地偏高、偏低,则自动停止燃气喷口,运行表明,这一措施效果较好。

5 结 论

火炬气的改造是成功的,达到了掺烧 20% 的火炬气(按入炉热量计)安全、稳定、长期运行的设计要求,不仅能够节约大量外购原煤,同时降低了火炬气周边的声、光污染,节省了大量中压消烟蒸汽,减少了废气燃烧产生的有害气体,实现了降低现场噪音和清洁生产的目标,取得了经济效益和社会环保效

益的和谐统一。仅 2001 年上半年,电厂燃煤锅炉就回收火炬气 3.2 万多吨,节省标煤 5.1 万吨,直接创造经济效益 1600 多万元。

全燃煤锅炉掺烧火炬气后必须在配风方式、过剩空气系数确定方面根据火炬气掺烧量、火炬气组分等环节相应调整才可以保证在掺烧火炬气后系统的经济性,这些因素中配风方式对于锅炉效率影响最大。

我公司火炬气回收利用的成功,在行业内外产生了较强的社会影响,该项技术改造已经被很多兄弟单位加以推广,还有相当多的单位正在进行调研、论证工作。可以预计随着更多企业成功开展火炬气的回收利用,其社会效益将进一步增加。

参考文献:

- [1] Flaring, venting and other losses of natural gas in north african countries annually 1975 to 1995 [R] . **Energy Exploration & Exploitation**, 1997, 15(12): 171—176.
- [2] MILANESI, INES. Flare gas recovery[J] . **International Journal of Hydrocarbon Engineering**, 1999, 4(6): 79—80.
- [3] HOLDFOND MARK R. Evaluation of methods available for reducing slution gas flaring in Alberta[A] . **Proceedings of the Air & Waste Management Association' s Annual Meeting & Exhibition[C]** . University of Calgary. Air & Waste Management Assoc. 1998. 17—28.
- [4] OMAR, ADNAN E. Some aspects of miscible flooding with refinery flare gas[J] . **Energy Sources**, 1991, 13(2): 217—228.
- [5] 雷正香. 火炬气的回收利用[J] . **石油化工**, 1996, 25(2): 102—105.
- [6] 张兰波. 火炬气回收装置改造及运行状况分析[J] . **石化技术与应用**, 2000, 18(3): 156—157.

(辉 编辑)

新技术

激光稳定低 NO_x 燃烧技术

据《Gas Turbine World》2002 年 5~6 月号报道, Solar Turbines(索拉透平)公司正在开发激光稳定低 NO_x 燃烧技术。在不需要排气处理或催化技术时,该技术能使燃轮机排放的 NO_x 低于 $5 \text{ mL}/\text{m}^3$ 。

此新颖的燃烧技术正由 Solar Turbines, CFD 研究室和 Los Alamos 国家实验室共同开发。

研究和开发的目的是:激光帮助点火和火焰稳定相关的技术,使它能结合进燃气轮机燃烧室中。

该技术使用脉冲激光束在燃烧室流场内产生等离子区,使来自等离子体的能量成为点火源并在极端贫燃运行条件下保持火焰。

在燃烧室试验台上比例缩小的模型试验已经证实了工程预言,最终阶段将是在索拉透平公司的全尺度系统的验证试验。

(吉桂明 供稿)

process a local thermodynamic-balance fluid model was employed with SIMPLEX algorithm being used for a numerical scheme. A curvilinear coordinate system was put into use for a mesh model. A distribution diagram showing the variation of temperature and speed field and constituent elements was provided by the calculation results. **Key words:** plasma, numerical simulation, chemical reaction, local thermodynamics equilibrium

用资源的观点评价能源利用项目 = **Evaluation of Energy Resource Utilization Projects from the Viewpoint of Resources** [刊, 汉] / YE Han-dong, LI Yu-hong, YE Da-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 407 ~ 410

During the evaluation of energy resource utilization projects a comprehensive evaluation method should be used with technical, economic, environmental and other related factors being taken into account. The authors have described a comprehensive evaluation method based on a total resource system. Under this method air, water and fuel, etc consumed (including those expended by pollution) in production are converted into material resources. Moreover, from the viewpoint of social-average marginal cost-cut calculated is the external cost to the society due to the utilization of resources. It is noted that during the calculation of resource values the external cost must be included and be listed into the final total cost. Furthermore, the principles of this comprehensive evaluation method are also expounded. A combined cycle cogeneration power plant involving a natural gas-fired gas turbine is compared with a coal-fired cogeneration power plant system. The results of this comparison demonstrate that the evaluation of power projects from the viewpoint of resource utilization is fully justified. **Key words:** total resources, comprehensive evaluation, energy-based power project, environment

火炬气在燃煤锅炉上的回收利用研究 = **An Investigation on the Recycling of Flare Gas for Use in a Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / CHAI Qin-hu, DING Yan-jun (Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084), ZHANG De-hua, ZHANG Wen-wu (Thermal Power Plant of Yangtze Petrochemical Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 210048) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 411 ~ 414

Through a specific retrofit example the problem of flare gas recycling for use in a coal-fired boiler is analyzed with the impact of mixed burning of coal and flare gas on the boiler operating characteristics being tested and probed. It is noted that, depending on the volume flow of flare gas and its specific properties, one must adjust accordingly the air distribution mode and optimum excess air factor, etc with a view to achieving satisfactory results in this recycling effort. **Key words:** coal-fired boiler, flare gas, recycling unit

等离子点火系统在燃气轮机上的应用 = **The Use of Plasma Ignition Systems in Gas Turbines** [刊, 汉] / HAN Li-zhong, CHEN Hong-fa, CHEN Yan-fen (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), ZENG Xi (Chinese Navy Military Representative Office at No. 436 Factory) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 415 ~ 416

The composition, working principles and usage effectiveness of a plasma ignition system are described. As compared with other electric-spark ignition units, the plasma ignition system features high electric-discharge energy, dirt resistance, and particularly a combustion intensification function during ignition. Some requirements regarding the system configuration for different engine units are analyzed, and several issues meriting close attention during operation also presented. **Key words:** gas turbine, combustor, plasma

HS-A 柴油机燃料油技术研究 = **Technical Study of HS-A Diesel Engine Fuel Oil** [刊, 汉] / WANG Zhi-cheng, CAO Zhi-de, ZHANG Hong-qi (Heilongjiang Provincial Energy Source Environment Research Academy, Harbin, China, Post Code: 150090) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 417 ~ 420