

工业锅炉节能改造对整个供热系统能源利用率的影响

何心良

(上海工业锅炉研究所,上海 200071)

摘要:通过对工业锅炉节能改造所采取的措施及效果的分析,从提高能源利用率的角度提出节能改造应立足整个供热系统的观点。根据供热系统特点,建立能量平衡模型,分别给出一般供热系统和冷凝水回收利用供热系统能源利用率的计算公式,并结合实际情况,对3种单独节能改造(工业锅炉改造、用热设备改造、冷凝水回收利用)和实施综合节能改造对整个供热系统能源利用率的影响分别进行了案例分析,结果表明综合改造的节能效果远高于单独改造工业锅炉的节能效果。最后,对以锅炉为热源供热系统的节能改造提出了一些建议。

关键词:工业锅炉;节能改造;供热系统;能源利用率

中图分类号:TK227

文献标识码:B

文章编号:1006-6772(2012)03-0092-04

Influence of industrial boiler transformation on energy utilization ratio of heating system

HE Xin-liang

(Shanghai Industrial Boiler Research Institute, Shanghai 200071, China)

Abstract: To improve the energy utilization ratio of heating system just transforming industrial boiler is not enough. Establish energy balance model based on the characteristics of the heating system. Set up formulae for calculating conventional heating system and condensate recycling heating system. Transform the industrial boiler, energy consumption devices and condensate recycling system respectively, then compare the effect of separate transformations with that of comprehensive transformation. The results show that the latter gets far better effect. At last, provide a series of suggestions for heating system transform.

Key words: industrial boiler; energy conservation transformation; heating system; energy utilization ratio

中国长期以来针对工业锅炉的节能改造,对提高工业锅炉运行效率起到了积极的作用。但在以锅炉为热源的供热系统中,由于工业锅炉只是一种能源转换设备,本身并不需要消费能源,真正需要消耗能源的是用热设备,因此,一味强调实施工业锅炉节能改造,而不综合考虑整个供热系统可能存在的问题,对提高能源利用率和节约能源只起到部分作用,无法获得最佳效果。本文提出工业锅炉节能改造应结合整个供热系统,尤其是对供热系统中用热设备效率较低的情况,以及负荷变化大、负荷

率低的运行环境,更应强调供热系统的整体节能改造。

1 工业锅炉运行效率影响因素

由于受热面布置不足或不合理、燃烧系统有缺陷以及维保不善导致的排烟温度偏高、燃烧不完全、漏风、过量空气系数大等是造成锅炉运行效率低的直接原因(内部因素)。另外还受到诸如燃料是否适合、负荷情况以及运行管理水平等外部因素的影响^[1-3]。

收稿日期:2012-04-17 责任编辑:孙淑君

基金项目:上海市科委“科技创新行动计划”节能减排专项资助项目(08DZ1201100)

作者简介:何心良(1963—)男,浙江金华人,硕士,高级工程师,长期从事工业锅炉及节能技术研究工作。

引用格式:何心良.工业锅炉节能改造对整个供热系统能源利用率的影响[J].洁净煤技术,2012,18(3):92-95,99.

正常情况下,工业锅炉的运行效率主要取决于锅炉本身,但当外部因素明显不符合锅炉运行基本要求时,会对运行效率产生极为不利的影 响。例如,负荷过低造成链条炉排锅炉无法连续稳定运行,锅炉运行效率大大降低。

2 工业锅炉节能改造措施及效果分析

工业锅炉节能改造目的是提高锅炉的运行效率,降低能源消耗。针对影响运行效率的各种因素和使用中普遍存在的问题,目前工业锅炉节能改造一般以锅炉系统(锅炉及辅机)为对象,主要解决主机(锅炉)和辅机的技术性能及两者的匹配问题。对锅炉本体的节能改造采取的主要措施有:通过采用分层燃烧技术、改进炉拱布置、优化燃烧设备以及改变控制方式等控制过量空气系数,提高燃烧效率,并解决锅炉对燃料的适应性;另外,利用余热回收技术,降低排烟热损失以及通过做好保温减少散热损失等^[4]。对辅机的改造目前主要采用变频调速技术。

节能改造的效果表明,锅炉本身存在的问题和部分外部不利因素都能通过节能改造得到不同程度地解决,从而提高锅炉运行效率。工业锅炉节能改造可以较好地解决设备缺陷、燃料不适应以及水质问题对锅炉运行效率的影响,但难以解决负荷率低及负荷剧烈变化所产生的影响。

3 节能改造应立足整个供热系统

在企业中,工业锅炉将燃料的化学能转换成热能,然后通过供热管网系统输送给用热设备,完成能源的最终消费。整个过程包括能源的转换、输送和使用等环节。根据节能基本原则,要提高供热系统的能源利用率,必须保证设备效率高、转换输送过程少、能耗低^[5]、最大限度地回收利用排放的能量。即需全面分析解决供热系统中存在的各种问题,包括用热设备、用热情况变化对工业锅炉运行效率的影响,这种影响很难通过工业锅炉节能改造解决,因此,节能改造必须立足整个供热系统^[6]。

4 以锅炉为热源供热系统能源利用率的确定

以锅炉为热源的供热系统主要由三部分组成,即实现能源转换的工业锅炉系统(锅炉及辅机)、输送热能的供热管网系统以及用热设备。如果对余热进行回收利用,在整个供热系统中就增加了一个

余热回收系统。本文研究了以蒸汽锅炉为热源的供热系统,分析了一般供热系统和冷凝水(余热)回收利用供热系统的能源利用率。

4.1 一般供热系统

图1是一般供热系统能量平衡模型。

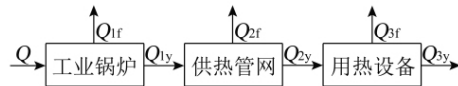


图1 一般供热系统能量平衡模型

Q —输入锅炉能量; Q_{1y} —锅炉输出热能; Q_{1f} —锅炉热能损失;
 Q_{2y} —供热管网系统输送热能; Q_{2f} —供热管网系统散热损失;
 Q_{3y} —有效利用热; Q_{3f} —用热设备热损失

从图1可知:

锅炉能源转换效率(运行效率)为

$$\eta_1 = Q_{1y} / Q \times 100\% \quad (1)$$

供热管网输送效率为

$$\eta_2 = Q_{2y} / Q_{1y} \times 100\% \quad (2)$$

用热设备效率为

$$\eta_3 = Q_{3y} / Q_{2y} \times 100\% \quad (3)$$

整个供热系统能源利用率可表示为

$$\eta = \frac{Q_{3y}}{Q} = \frac{Q_{3y}}{Q_{2y}} \times \frac{Q_{2y}}{Q_{1y}} \times \frac{Q_{1y}}{Q} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (4)$$

4.2 冷凝水回收利用的供热系统

图2为冷凝水回收并通过锅炉再利用的供热系统能量平衡模型。

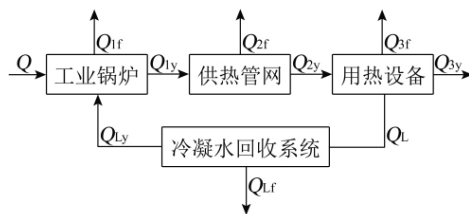


图2 冷凝水回收并通过锅炉再利用的供热系统能量平衡模型

$Q, Q_{1y}, Q_{1f}, Q_{2y}, Q_{2f}, Q_{3y}, Q_{3f}$ 代表内容与图1相同;
 Q_L —冷凝水热量; Q_{1y} —回收利用的冷凝水热量;
 Q_{Lf} —冷凝水回收系统热损失

锅炉能源转换效率、供热管网输送效率以及用热设备效率的计算与4.1中相应效率的计算相同。

冷凝水回收系统热能回收率为

$$\eta_{1y} = Q_{1y} / Q_L \times 100\% \quad (5)$$

冷凝水热量占供给用热设备全部蒸汽热能的百分比

$$\rho = Q_L / Q_{2y} \times 100\% \quad (6)$$

根据饱和水焓值与饱和蒸汽焓值之间的对应

关系^[7] 经过曲线拟合得到 ρ (在不同蒸汽压力下的最大值) 与供给用热设备蒸汽压力 P 之间的关系, 具体如图 3 所示。

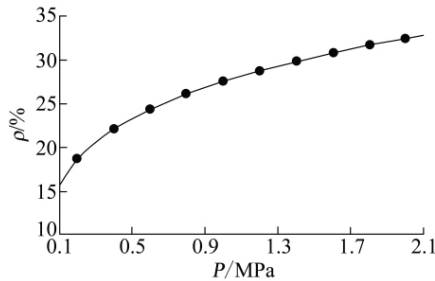


图 3 不同蒸汽压力下 ρ 的最大值

将式(6)代入式(5)可得

$$Q_{Ly} = \eta_{Ly} \cdot \rho \cdot Q_{2y} \quad (7)$$

计算供热系统能源利用率可采用下述 2 种方法:

(1) 对于开式冷凝水回收系统和大多数闭式系统, 由于冷凝水进锅炉温度低于 100 °C, 因此对锅炉热效率的影响较小。为简化计算, 假定锅炉效率不变, 回收的余热全部通过锅炉输出, 即

$$Q_{Ly} = Q \cdot \eta_1 + Q_{Ly} \quad (8)$$

$$Q = (Q_{Ly} - Q_{Ly}) / \eta_1 \quad (9)$$

整个供热系统能源利用率为

$$\eta = Q_{3y} / Q \times 100\% \quad (10)$$

将式(9)代入式(10), 可以得到

$$\eta = \eta_1 \cdot Q_{3y} / (Q_{Ly} - Q_{Ly}) \quad (11)$$

式(11)分子分母同除以 Q_{Ly} , 并将式(7)代入得

$$\eta = \frac{\eta_1 \cdot Q_{3y} / Q_{Ly}}{(Q_{Ly} - Q_{2y} \cdot \eta_{Ly} \cdot \rho) / Q_{Ly}} = \frac{\eta_1 \cdot Q_{3y} / Q_{2y} \cdot Q_{2y} / Q_{Ly}}{1 - Q_{2y} / Q_{Ly} \cdot \eta_{Ly} \cdot \rho} \quad (12)$$

如果把式(2)和(3)代入式(12) 并令 $\eta_L = \eta_{Ly} \cdot \rho$, 那么

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 / (1 - \eta_2 \eta_L) \quad (13)$$

式中 η_L 代表通过冷凝水回收系统回收利用的热量与供给用热设备全部热量的比值。

(2) 对于一些比较特殊的闭式冷凝水回收系统,

若冷凝水回收率大于 80%, 冷凝水温度超过 100 °C, 会对锅炉运行效率产生一定影响, 应考虑锅炉效率下降对能源利用率的影响。如仍采用式(13) 计算整个供热系统的能源利用率, 那么 η_1 就需用回收利用冷凝水后重新测定的锅炉效率代入。根据经验数据和理论分析, 也可继续使用回收利用冷凝水前的锅炉效率, 然后用式(14) 计算。

$$\eta = \frac{Q_{3y}}{Q} = \frac{Q_{3y}}{Q_{Ly} / \eta_1 - Q_{Ly}} = \frac{\eta_1 Q_{3y}}{Q_{Ly} - \eta_1 Q_{Ly}} = \frac{\eta_1 Q_{3y} / Q_{Ly}}{1 - \eta_1 Q_{Ly} / Q_{Ly}} = \frac{\eta_1 Q_{3y} / Q_{2y} \cdot Q_{2y} / Q_{Ly}}{1 - \eta_1 Q_{2y} / Q_{Ly} \cdot \eta_{Ly} \rho} = \frac{\eta_1 \eta_2 \eta_3}{1 - \eta_1 \eta_2 \eta_L} \quad (14)$$

5 以锅炉为热源供热系统节能改造

5.1 改造工业锅炉与用热设备的对比

对于一般供热系统, 根据已导出能源利用率计算公式可推导出通过改造工业锅炉所提高的供热系统能源利用率为

$$\Delta \eta = \Delta \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (15)$$

通过改造用热设备而同样程度提高供热系统能源利用率可表示为

$$\Delta \eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \Delta \eta_3 \quad (16)$$

两式相除得

$$\Delta \eta_1 / \Delta \eta_3 = \eta_1 / \eta_3 \quad (17)$$

显然, 当 $\eta_1 > \eta_3$ 时, 必有 $\Delta \eta_1 > \Delta \eta_3$, 即当用热设备效率低于锅炉效率时, 要达到整个供热系统相同的节能效果, 改造用热设备比改造锅炉收效大且难度小。如果用热设备的效率大于工业锅炉的效率, 那么改造的重点就应该集中在工业锅炉上。

某一用于产品烘干的供热系统, 工业锅炉效率 $\eta_1 = 70\%$, 供热管网输送效率 $\eta_2 = 95\%$, 用热设备效率 $\eta_3 = 40\%$, 工作压力为 1.0 MPa。整个供热系统能源利用率 $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 26.60\%$ 。

分别改造工业锅炉和用热设备, 假设效率都提高 5%。现分析各自对整个供热系统能源利用率提高 ($\Delta \eta$) 的影响, 计算结果见表 1。

表 1 节能效果比较

项目	$\eta_1 / \%$	$\eta_2 / \%$	$\eta_3 / \%$	$\eta / \%$	$\Delta \eta / \%$	节能率 $\Delta \eta / \%$	备注
改造前	70	95	40	26.60	—	—	基准
改造工业锅炉(效率提高 5%)	75	95	40	28.50	1.90	6.67	—
改造用热设备(效率提高 5%)	70	95	45	29.93	3.33	11.13	—

注: 节能率 $\Delta \eta = (\text{改造后能源利用率} - \text{改造前能源利用率}) / \text{改造后能源利用率}$

表1结果显示,改造用热设备比改造工业锅炉节能效果明显。同样提高5%的效率,工业锅炉改造的难度比较大,因为要将原来的热损失率($100\% - \eta_1$) = 30%降为25%,其减损率为 $(5\%/30\%) \times 100\% = 16.67\%$ 。若是改造用热设备,将其效率由40%提高到45%,只要将用热设备的热损失率由60%减为55%,其减损率只有 $(5\%/60\%) \times 100\% = 8.33\%$,难度较小。

5.2 冷凝水回收作为锅炉给水对供热系统能源利用率的影响

接5.1中的例子,即 $\eta_1 = 70\%$, $\eta_2 = 95\%$, $\eta_3 = 40\%$, $p = 1.0 \text{ MPa}$ 。

因用热设备主体为间壁式换热器,蒸汽释放潜热后全部凝结成冷凝水,从疏水器排出,从图3查得 $\rho = 27.48\%$ 。假设冷凝式回收系统热能回收率为40%(实施难度很小),则 $\eta_L = \eta_{L_y} \cdot \rho = 40\% \times 27.48\% \approx 11\%$

根据式(13),供热系统能源利用率为: $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 / (1 - \eta_2 \eta_L) = 70\% \times 95\% \times 40\% / (1 - 95\% \times 11\%) \approx 29.70\%$

供热系统能源利用率提高: $\Delta\eta = 29.70\% - 26.60\% = 3.10\%$

节能率 $\Delta\eta_\eta = \Delta\eta/\eta = 3.10\% / 29.70\% = 10.44\%$

5.3 综合改造产生的节能效果

如果对上述供热系统同时实施设备改造和冷凝水回收利用,并假设工业锅炉能源转换效率和用热设备效率仍分别提高5%,冷凝水回收系统回收的热量与供给用热设备全部热量的比值仍为11%,即 $\eta_1 = 75\%$, $\eta_2 = 95\%$, $\eta_3 = 45\%$, $\eta_L = 11\%$ 。

那么供热系统通过综合节能改造后的能源利用率为: $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 / (1 - \eta_2 \eta_L) \approx 35.80\%$

供热系统能源利用率提高: $\Delta\eta = 35.80\% - 26.60\% = 9.20\%$

节能率 $\Delta\eta_\eta = \Delta\eta/\eta \times 100\% = 9.20\% / 35.80\% \times 100\% = 25.70\%$

显然,综合改造比单独改造工业锅炉节能效果好。对于案例的供热系统,改造用热设备的难度比改造工业锅炉小,冷凝水回收利用难度也很小。因此,这类供热系统不能片面强调工业锅炉节能改造。

6 建 议

(1) 开展节能技术改造,在方案设计时必须从系统角度考虑各种可能的影响因素,分析这些因素可能对改造效果造成的影响;要重视那些无法通过

改造技改对象解决,但又会对技改对象产生负面作用的外部因素,必要时要把与这些因素相关的设备或设施一并纳入改造范围。

(2) 本文对供热管网系统未进行专门的分析研究,只是在举例计算整个供热系统能源利用率时,明确供热管网输送效率为95%。在实际运行的供热系统中,确实有一些设计合理、保温良好的管网系统可以达到这个水平,但大多数估计仅为85%~90%,甚至更低。由工质的散热损失导致的能源浪费较为严重,因此,在对工业锅炉实施节能改造时必须重视供热管网系统的散热损失和跑、冒、滴、漏现象,尤其要注意分汽缸、阀门等部件的热量损失,另外,还要注意保温材料是否老化损坏。

(3) 了解用热设备的情况,以找到节能最佳途径。如果用热设备效率远低于工业锅炉运行效率,应先解决用热设备的耗能问题,当然也可与工业锅炉节能改造同时进行,除非用热设备效率在技术上已无法提高或提高效率的经济性不佳。

(4) 就目前的技术而论,能源毫无损耗的转换、传输、使用是不可能的。在以锅炉为热源的供热系统中,除通过对工业锅炉的节能改造,尽可能回收利用排烟中的余热和排污水中的热量,要重视由用热设备形成的冷凝水的回收利用。

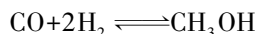
(5) 做好锅炉与辅机,锅炉与用热设备的科学匹配;在运行管理中通过对整个系统有效的组织协调,减少负荷变化对锅炉运行效率的影响;对于负荷变化较大的情况,可以在系统中安装合适的蓄热器^[8],以保证锅炉的平稳运行和较高的热效率,从而确保整个供热系统的能源利用率。

7 结 语

对工业锅炉进行节能改造,可以提高运行效率,但无法改变用热设备因用热变化对运行效率的影响。另外,用热设备是能源的消费者,目前很多用热设备的效率低于工业锅炉效率,用热设备实际上是整个供热系统中造成能耗大的关键环节。本文在推导供热系统能源利用率时,为简化问题,没有把系统涉及的所有能源都予以明示,如电能的消耗等,但导出的供热系统能源利用率计算公式仍具有普适性。在实际使用时,只要把各种能源的消耗归集计算到相关的设备或系统中即可。在对节能改造效果进行分析评价时,应注意不能遗漏各种相关能耗,否则很可能得出不切实际的结论。

(1) 甲醇

甲醇是一种重要的化工原料和清洁燃料,用于制造甲醛、二甲醚、烯烃和甲醇汽油等。2011年甲醇产能达到4800万t,产量达到2026万t。中国为富煤、少气、贫油的国家,甲醇大部分由煤制合成气生产,CO和H₂在200~230℃,5~30MPa的压力下反应生成甲醇,反应式如下



因此完全可以在有条件的地方用电石炉尾气生产甲醇,可以节省大量的煤炭资源。

(2) 天然气

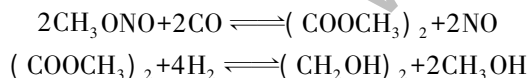
天然气是一种主要由甲烷组成的气态化石燃料。中国正在建设和计划建设的煤制天然气有200亿m³/a,需要的合成气量是巨大的。CO和H₂在300~750℃,2.5~4.5MPa压力下^[3],在催化剂作用下进行反应,反应式如下



如果能在电石厂集中的地方,把电石炉尾气集中收集并处理,可以作为煤制天然气的一部分气源,是一件利国利民利企的好事。

(3) 乙二醇

2011年国内乙二醇产量为300万t左右,进口量为727万t,几乎全部由环氧乙烷直接水合法制得。目前,在建和已经建成的煤制乙二醇有200万t,计划建设的煤制乙二醇项目超过200万t,煤制乙二醇,要先生产草酸二甲酯,草酸二甲酯加氢生产乙二醇。草酸二甲酯由亚硝酸甲酯和CO反应制得,以上两步反应式如下



理论上每生产1t乙二醇需要723m³CO,需要1450m³H₂,如果所有煤制乙二醇的CO和H₂,全部

由电石炉尾气生产,则所有电石炉所产生的尾气可以全部利用,对提高煤制乙二醇的竞争力大有好处,尤其计划建设的煤制乙二醇项目,应考虑采用电石炉尾气生产。在草酸酯的合成中为了消除H₂对CO偶联反应的影响^[4],还要对电石炉尾气生产的CO进行脱氢,使用专用的脱氢剂,将氢脱到10⁻⁴以下。

3 结 语

中国电石产量巨大,生产的电石炉尾气是一种宝贵的资源,目前对电石炉尾气的利用是较低附加值的利用。为提高电石炉尾气的利用价值,利用电石炉尾气作为化工原料生产高附加值的化工产品,是未来的发展趋势。电石生产企业和煤化工企业,应对此进行深入研究并进行工程实施,从理论上讲,只要是煤化工能生产的化工产品,都可以由电石炉尾气来生产。将电石炉尾气转变为化工产品,发展循环经济,提高资源的利用率,既可节省煤炭资源,又可减少大量的CO₂排放,实现经济效益和环境效益的协同发展。

参考文献:

- [1] 贺永德. 现代煤化工技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 高恒, 张爱民, 刘宏建, 等. 利用电石炉尾气制备醋酸的工艺方法[P]. 中国专利: ZL200910064084.4, 2011-11-02.
- [3] 左玉帮, 刘永健, 李江涛, 等. 合成气甲烷化制替代天然气热力学分析[J]. 化学工业与工程, 2011, 28(6): 47-53.
- [4] 孟凡东, 许根慧, 杜葩, 等. 氢气存在下一氧化碳偶联反应的化学和性能[J]. 燃料化学学报, 2002, 30(6): 573-576.
- [4] 朱宇龙, 陆涛, 青俊. 小型燃煤蒸汽锅炉节能技术分析[J]. 节能技术, 2010, 28(11): 569-572.
- [5] 谢继东. 中国节能产业的发展与机遇[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(1): 8-11.
- [6] 谢继东, 姜英, 徐振刚. 一站服务型节能管理方法探讨[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1): 91-93.
- [7] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] 廖建. 工业锅炉蒸汽系统节能的有效途径[J]. 节能与环保, 2011(9): 52-54.

(上接第95页)

参考文献:

- [1] 冯俊凯, 沈幼庭. 锅炉原理与设计[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 张清林. 提高中国燃煤工业锅炉运行效率及节能措施研究[J]. 洁净煤技术, 2005, 11(2): 5-10.
- [3] 王军, 张传聚, 张春岚. 链条炉运行调整对锅炉节能效果影响分析[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(1): 47-49.