

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.07.003

城市燃气生产过程未利用热的焓分析及利用途径的探讨

□ 上海吴淞煤气制气有限公司 (200431) 殷剑君

摘 要: 能源利用过程的分析研究已成为人工燃气生产中的一项重要工作, 对城市燃气的生产具有指导意义。上海吴淞煤气制气有限公司对城市燃气的用能设备进行了大量的热平衡测试, 本文针对热平衡测试的数据, 对其中的未利用热进行火用分析, 提出节能措施和利用途径的探讨。

关 键 词: 燃气生产 能源利用 未利用热 焓分析

Energy Analysis and Potential Utilization of Waste Heat During Gas Manufacture Processes

Guangdong Vanward New Electric Co., Ltd Chen Bihua

Abstract: Analysis and research about energy utilization process has become an important part of gas manufacture process. Shanghai Wusong Gas Works carried out large amount of measurement about related plants in gas manufacture process. In this paper exergy analysis of waste heat was performed based upon measured data, therefore to discuss energy conservation and potential utilization.

Keywords: Gas manufacture energy utilization waste heat exergy analysis

1 前言

城市燃气的生产和供应已逐步被天然气直接供应所替代, 但在许多城市和地区, 人工煤气和天然气改制作作为过渡气源仍有一定的生存必要和空间。目前上海的燃气供应就有天然气直供、液化石油气和人工煤气三者并存的格局, 按规划将于2015年完成天然气直接供应。对能源利用的分析研究作为人工燃气生产

中的一项重要工作, 是提高用能设备能源利用率的一项有效途径, 在很长的一段时间内对城市燃气的生产具有指导意义。

上海吴淞煤气制气有限公司历史上包括重油裂解炉、水煤气炉、机械发生炉和2000年投入研究并经重油裂解炉改制的天然气改制炉。重油裂解炉、水煤气炉由于能源转换率低、污染难治理而退出人工煤气生产。天然气、天然气改制气和机械发生炉煤气掺混,

制成符合城市煤气要求的燃气出厂。由于公司对能源转换率有要求,且连年提高,公司进行了大量细致、准确的热平衡测试,以便系统全面地了解能源转换设备的能效情况。本文针对热平衡测试数据中的未利用热,进行焓分析和对其利用途径的探讨。

2 2#机械发生炉生产中未利用热的焓分析

(1) 出炉干煤气焓损失 E_{X1}

$$E_{X1}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)=V_{gas}c_p(t_r-t_0)\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中, T_0 ——环境温度,285.5K; T_r ——煤气出炉温度,856.3K; $T_{r0}=\frac{T_r-T_0}{\ln \frac{T_r}{T_0}}$;

$$E_{X1}=2.3642 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

(2) 出炉煤气中水蒸汽焓损失 E_{X2}

$$E_{X2}=G[(h-h_0)-T_0(S-S_0)]$$

其中: G ——出炉煤气中水蒸汽量,kg/h; h 、 h_0 ——出炉温度 T_r 和环境温度 T_0 下蒸汽焓值,kJ/kg; S 、 S_0 ——出炉温度 T_r 和环境温度 T_0 下蒸汽的熵,kJ/kg.K;

由水蒸汽的物性表,可得:

$$h=3\ 657.3 \text{ kJ/kg}; h_0=50.38 \text{ kJ/kg}; S=9.05393 \text{ kJ/kg.k}; S_0=0.1805 \text{ kJ/kg.k};$$

$$\text{故: } E_{X2}=99\ 133 \text{ kJ/h};$$

(3) 煤气中带出物的焓损失 E_{X3} : 煤气中带出物的焓指带出物的化学热损失。

$$E_{X3}=7.17 \times 26.62 \times 10^3=190\ 865 \text{ kJ/h}$$

(4) 炉渣带出焓损失 E_{X4} ,包括显热和化学热对应的焓损失。

$$\text{炉渣带出显热焓损失 } E_{X4-a}=G_{渣}c_p(t_r-t_0)\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中, T_r ——炉渣出炉温度,723K;

$$\text{数据代入计算得: } E_{X4-a}=31\ 468 \text{ kJ/h}$$

$$\text{炉渣带出化学焓损失 } E_{X4-b}=928\ 158 \text{ kJ/h}$$

(5) 溢流水带出焓损失 E_{X5} , 炉渣带出显热焓

$$\text{损失 } E_{X5}=G_{水}c_p(t_r-t_0)\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中, T_r ——水温,327.4K; 数据代入计算得:

$$E_{X5-a}=79\ 420 \text{ kJ/h}$$

(6) 炉壁散热焓损失 E_{X6} ,包括炉顶、炉侧面、下锥侧部共3部分。

$$\text{炉顶散热焓损失 } E_{X6-a}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right), \text{ 其中 } T_r \text{——壁}$$

面温度,326.6 K; Q ——散热量,17 541 kJ/h;

$$\text{故 } E_{X6-a}=1\ 153 \text{ kJ/h}$$

炉体侧面(圆柱体部分)散热焓损失:

$$E_{X6-b}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中 T_r ——壁面温度,335.9K; Q ——散热量,101 842 kJ/h; 故 $E_{X6-b}=8\ 055 \text{ kJ/h}$

$$\text{炉体下锥侧部散热焓损失 } E_{X6-c}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right), \text{ 其}$$

中 T_r ——壁面温度,315K; Q ——散热量,15 639 kJ/h; 故 $E_{X6-c}=756 \text{ kJ/h}$

总的散热焓损失为: $E_{X6}=E_{X6-a}+E_{X6-b}+E_{X6-c}=9\ 964 \text{ kJ/h}$

表1给出了实测的热损失和计算的焓损失情况。

表1 机炉生产中热损失和焓损失对照

序号	名称	热量损失 (106kJ/h)	焓损失 (106kJ/h)	焓损失与热量 损失比值%
1	出炉干煤气	5.3616	2.3642	44.10
2	煤气中水蒸汽	0.3377	0.09913	29.35
3	带出物	0.1909	0.1909	100.00
4	灰渣	1.0081	0.9596	95.19
5	溢流水	1.1871	0.07942	6.69
6	炉壁散热	0.1350	0.009964	7.38

3 天然气改质炉未利用热焓计算分析

(1) 加热烟气出废热锅炉焓损失 E_{X1}

$$E_{X1}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中, T_0 ——环境温度,300K; T_r ——烟气出炉温度,453K; $T_{r0}=\frac{T_r-T_0}{\ln \frac{T_r}{T_0}}$;

Q ——烟气带走热量,为 $4.3916 \times 10^6 \text{ kJ/周期}$

$$E_{X1}=0.8433 \times 10^6 \text{ kJ/周期}$$

$$(2) \text{ 改质气出废热锅炉焓损失 } E_{X2}=Q\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right)$$

其中, T_0 ——环境温度, 300K; T_r ——改制气离

$$\text{开废热锅炉的温度, } 463\text{K}; T_{r0} = \frac{T_r - T_0}{\ln \frac{T_r}{T_0}};$$

Q ——改制气带走热量, 为 $6.7680 \times 10^6 \text{kJ/周期}$;

$$E_{X2} = 1.3622 \times 10^6 \text{kJ/周期}$$

(3) 改制气中蒸汽带出废热锅炉物理焓损失

$$E_{X3} = G[(h - h_0) - T_0(S - S_0)]$$

其中, G ——水蒸气流量, $16\ 801.4 \text{kg/周期}$;

T_r ——水蒸气离开废热锅炉的温度, 463K;

由水蒸气的物性表, 查得:

$$h = 2855.5 \text{kJ/kg}; h_0 = 113.13 \text{kJ/kg};$$

$$S = 7.7922 \text{kJ/kg} \cdot \text{K}; S_0 = 0.3949 \text{kJ/kg} \cdot \text{K};$$

$$E_{X3} = G[(h - h_0) - T_0(S - S_0)] = 46.0756 \times 10^6 \text{kJ/周期}$$

(4) 炉壁散热焓损失, 为各表面散热焓损失之和 $E_{X4} = \sum E_{X4-i}$

其中, $E_{X4-i} = Q_i \left(1 - \frac{T_0}{T_{r0-i}} \right)$; 各壁面的温度和散热量见表2;

表2 相关炉壁实测温度及散热损失计算结果

序号	部位	$A_i (\text{m}^2)$	$t_i (^\circ\text{C})$	$Q_i (\text{kJ/h})$
1	燃烧室	39.16	108.0	179 399
2	蒸蓄炉	152.88	95.1	572 698
3	改制炉	207.17	90.2	713 169
4	过道	10.32	126.7	60 610
5	废热锅炉	96.40	43.2	77 212

由表2中的相关 t_i 及 Q_i 数据, 计算各部位的散热火用损失, 如下:

$$\text{燃烧室: } T_{r0} = 332.9\text{K}; E_{X4-1} = 4.3916 \times 10^6 \text{kJ/h};$$

$$\text{蒸蓄炉: } T_{r0} = 332.9\text{K}; E_{X4-2} = 56\ 599 \text{kJ/h};$$

$$\text{改制炉: } T_{r0} = 330.6\text{K}; E_{X4-3} = 66\ 010 \text{kJ/h};$$

$$\text{过道: } T_{r0} = 347.5\text{K}; E_{X4-4} = 2\ 285 \text{kJ/h};$$

$$\text{废热锅炉: } T_{r0} = 308\text{K}; E_{X4-5} = 2\ 005 \text{kJ/h};$$

$$\text{总的散热火用损失为 } E_{X4} = \sum E_{X4-i} = 153\ 491 \text{kJ/h}$$

当日测试周期为 12:16~15:04PM, 共计2.8h, 折算为1个工作周期, 有: $E_{X4} = 429\ 775 \text{kJ/周期}$ 。

改制炉的焓计算结果见表3。

表3 改制炉生产中热损失和焓损失对照

序号	名称	热量损失 Q (10^6kJ/周期)	焓损失 E_x (10^6kJ/周期)	焓占热量 比例(%)
1	加热烟气 出废热锅 炉显热	4.3916	0.8433	19.20
2	改制气 出废热 锅炉显热	6.7680	1.3622	20.13
3	改制气中 蒸汽潜热	46.0756	8.7902	19.08
4	炉壁散热	4.4886	0.42978	9.57

4 计算结果的分析

传统的以热力学第一定律为基础的能量平衡, 仅从数量上表明能量的置配状态, 不能提供能质方面的信息, 因此, 并不能全面地反映能量利用状态。从热力学第二定律出发: 能量=焓+熵, 焓是能量可用性、有效能的统称, 它把能量的“量”和“质”结合起来评价能量的价值。熵为不能转换的能量。

结合吴煤公司的燃气生产, 以吴煤公司的改制炉、机械发生炉热平衡测试数据及计算报告为依据, 对上述生产工艺中的未利用热进行焓的计算。根据计算结果, 可认为吴煤公司的主要能源转化设备(锅炉、改制炉、机械发生炉)的能源利用状态较佳。

有关机械发生炉的热效率等技术经济参数目前尚无国家标准对照, 机械发生炉是传统的常压固定床气化工工艺, 对于该生产工艺, 相关资料报导, 随气化原料不同气化热效率一般为70%~75%, 灰渣碳含量一般为15%~20%。而本次实测结果热效率为75.65%, 灰渣含碳量为10.32%。对比数据说明: 机械发生炉的能源利用状态好。由于灰渣含碳量降低, 从焓分析角度来看, 降低了有效能的损失。

吴煤公司的天然气改制炉是常压改制炉, 该工艺过程的热效率76.37%, 生产城市燃气效率84.74%。对照国内常压改制炉生产数据, 属于较好水平生产燃气。这种能源转换设备不同于其他燃气生产设备, 无固体灰渣排出, 因此, 热量损失评价可以从排烟热损失(显热损失和化学不完全燃烧热损失)及炉壁散热损失进行考察。测试数据显示, 仅有部分炉体外壁温度有所偏高, 较易克服以减少热量损失。从焓占热

量损失的比值来看分别为机械发生炉为45%，锅炉为59.53%，天然气改质炉为18.52%，由此可见，天然气改质炉的能源转换和热量利用最好。

5 节能措施和未利用热的利用途径

针对上述两种不同生产设备的详细测试和计算结果，结合现有的工艺生产状况提出以下节能建议和利用途径：

(1) 从表1机炉生产中热损失和烟损失对照可见，机炉生产中主要的热量损失为出炉煤气显热，其次是灰渣带出热和溢流水带走热损失，由于溢流水排出温度低，这部分热量损失中有效能（烟）很低，计算所得的烟损失只占热量损失的6.69%，这部分热量很难利用。炉壁表面温度低，所以，这部分烟损失很小，说明炉体保温效果好，这部分已无节能潜力。虽然煤气中带出物只占原料焦炭的0.5%，但这部分的热量损失全部是有效能，而带出物的热值高，为此，建议带出物累计一定量后回收利用。因出炉煤气温度高，这部分热损失中有效能（烟）占有较大比例，烟损失占热量损失的44.1%。灰渣的热量损失主要是不完全燃烧热损失，这部分热损失中95%为有效能（烟）。出炉干燥煤气的显热烟损失由于工艺生产条件难于避免，所以，在日常生产中尽量控制灰渣的低含碳量，使该部分热量有效利用和提高节能效果。

(2) 从改质炉生产中热损失和烟损失计算结果

（表3）可见，无论是热量损失还是烟损失，改质气中蒸汽的潜热损失和烟损失占极大部分。因此，在改质炉生产中节能的关键在于调节到最适宜的操作参数，在满足改质气质量指标的情况下，尽可能提高水蒸汽分解率，可以提高操作温度和降低水蒸汽与天然气之比来实现，从而降低改质炉生产中有效能（烟）损失。另外，在停产检修时，尽量做好废热锅炉的清扫工作，改善传热效果，尽可能降低加热烟气和改质气出废热锅炉的出口温度，从而降低这两部分的热量烟损失和能量利用率。从炉体表面温度测试记录可知，燃烧室、蒸蓄炉、改质炉、过道的表面温度分别为108.0℃、95.0℃、90.2℃、126.6℃，这些表面温度偏高，可以在停产检修时考虑改善保温材料的保温性能，降低炉壁表面温度，降低炉壁散热损失，使热量得到有效利用。

参考文献

- 1 吴淞煤气制气有限公司天然气改制炉热平衡测试报告. 上海应用技术学院能源与资源综合利用研究所, 2007
- 2 吴淞煤气制气有限公司机械发生炉热平衡测试报告. 上海华东理工大学能源化工系, 2009
- 3 王以中. 上海天然气发展战略与机遇. 上海市市政管理局, 2008

安全管理消息

加强应急实战演练 确保燃气供应保障能力

暑期临近，在“安全生产月”期间，秦皇岛市燃气总公司强化燃气应急抢险预警机制，大力开展应急抢险实战演练活动。自2014年6月初以来，相继开展了设定液化天然气储配站泄漏、液化石油气储罐泄漏等应急抢险实兵演练活动，同时按照上级要求，为担负起全市燃气应急抢险任务，积极参加2014年北戴河暑期安保省市联合反恐演习。历时

一个多月的演习准备工作期间，燃气反恐分队参加由市相关部门组织的40余次防破坏应急抢险现场预演、合练活动，2014年5月30日正式参加了省级反恐视频拉动演练，6月4日正式进行了2014年北戴河暑期安保省市联合反恐演习，大大提高了处理突发事件的快速反应能力和应急救援能力。

（陆 忠）