

# 天然气锅炉效率与用气量关系探讨

□ 港华投资有限公司(518026) 田春燕 邱建杭 伍宇铿 蔡秋池

**摘要:** 燃气公司一直寻找优质的锅炉合作伙伴推荐给客户, 实现多赢。选定合作厂商的最重要标准之一: 锅炉设备的效率高。然而对于每个锅炉客户, 因生产工艺不同, 蒸汽利用情况不同, 导致回水的温度和流量不同, 进而锅炉给水温度不同。所以, 不同客户即使采用相同效率的锅炉, 每吨蒸汽需用天然气量也可能不相等。为了在向客户推荐锅炉时, 可以根据客户的工艺流程, 快速给出客户具体的蒸汽吨耗数值, 需要一个简易工具供市场人员查阅使用。为此, 本文通过理论分析, 计算了锅炉在不同的给水温度、天然气热值、锅炉效率、蒸汽压力下产生1t蒸汽需要的天然气量, 并以此编制了一个excel计算模板, 并通过实际案例检验了该模板的正确性, 为市场人员快速给出锅炉蒸汽吨耗给出实际参考。

**关键词:** 锅炉 蒸汽吨耗 效率 用气量

## 1 背景: 锅炉厂家耗能数据的重要性

煤价持续下跌, 天然气价格经过多次调整整体逆势上涨, 煤与天然气之间的价格差距进一步扩大, 使得将“煤改气”作为工作主题的燃气公司面临更大的挑战。“使煤用户进行天然气改造后单位产品的燃料成本增加值最少”这一话题, 既符合客户的利益需

求, 又能为燃气公司的可持续发展提供数据支撑。而降低客户的燃料成本, 在气价不变更的前提下, 只能通过降低用户的产品能耗来达到, 因此多地燃气公司寻找并筛选一些高效能设备推荐给客户。

恰逢今年多地开展锅炉“煤改气”项目, 许多锅炉厂家会提到锅炉热效率问题, 但由于客户的工艺需求不同, 蒸汽利用情况不同, 所以无法只按照锅炉效

一方面, 燃气放散监控技术的普及还可为燃气行业申请出售碳排放权提供有效的数据依据。通过碳排放权交易市场出售降低燃气放散所产生的碳排放权进而获利, 目前价格约为40元/t, 许多电力企业每年可通过贩卖其碳排放权获得上亿元的经济收益, 但是燃气行业在碳排放权上的应用还是空白。该技术的应用可为燃气行业提供了新的盈利思路和手段。

### 参考文献

- 1 向素平等. 燃气调压后安全放散阀的选型[J]. 城市燃气, 2012; 23-26
- 2 中华人民共和国建设部主编. 城镇燃气设计规范.GB50028-1993. 北京: 中国计划出版社, 1994

率折算客户蒸汽吨耗。为此本文通过理论分析,计算了锅炉在不同的给水温度、天然气热值、锅炉效率、蒸汽压力下产生1t蒸汽需要的天然气量,并以此编制了一个excel计算模板。并且使用某厂商已运行案例的数据检验了模板的正确性,为燃气市场人员通过锅炉效率、客户需求更精准地计算出蒸汽吨耗提供了参考模式,也为客户对锅炉“煤改气”后的实际运行成本提供了数据基础。

## 2 蒸汽锅炉热效率

蒸汽锅炉的热效率计算方式有如下两种:

正平衡法:

$$\frac{\text{蒸发量} \times (\text{蒸汽热量} - \text{给水热量})}{\text{燃料使用量} \times \text{燃料低位发热量}} \times 100\%$$

反平衡法:

$$\frac{\text{放热损失} + \text{排烟热损失} + \text{排污热损失} + \text{停炉期间热损失} + \text{低负荷热负荷}}{\text{燃料使用量} \times \text{燃料低位发热量}} \times 100\%$$

从公式可以看出,正平衡法需要的数据个数少,较容易获得,因此本文以正平衡法推算燃料使用量。

燃料使用量:

$$\text{燃料使用量} = \frac{\text{蒸发量} \times (\text{蒸汽热量} - \text{给水热量})}{\text{燃料低位发热量} \times \text{锅炉效率}}$$

可见,锅炉天然气使用量与蒸发量、蒸汽热量、给水热量、天然气低位热值、锅炉效率有关,确定这些参数,即可得到锅炉蒸汽吨耗。

## 3 蒸汽锅炉中水的定压加热过程

水的定压加热过程:过冷水→饱和水→湿饱和蒸汽→干饱和蒸汽→过热蒸汽<sup>[1]</sup>。

A状态,水温低于饱和温度,称为过冷水;

B状态,水温达到压力P对应的饱和温度 $t_s$ ,称为饱和水;

C状态,水开始沸腾汽化,温度仍然为 $t_s$ ,这种蒸汽和水的混合物称为湿饱和蒸汽;

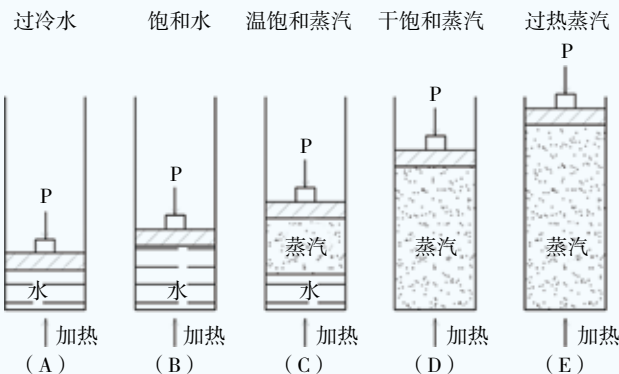


图1 水的定压加热过程

D状态,水全部变成蒸汽,温度仍然为 $t_s$ ,这时的蒸汽称为干饱和蒸汽;

E状态,蒸汽温度升高 $t > t_s$ ,这时的蒸汽称为过热蒸汽。

表1 等压力时,不同加热状态的焓值

状态	A	B	C	D	E
焓	与水温有关	查表获得	与B、D的焓值,以及水蒸汽的比例有关	查表获得	与蒸汽温度有关

锅炉中水的加热过程是定压过程,在满负荷工作时,通过精准自动控制,可近似认为锅炉出口的蒸汽恰好处于D状态。

因此,1t的水从进水加热到饱和蒸汽需要的热量为A→D状态的热量差:

$$Q_{A \rightarrow D} = H_D - Q_{0 \rightarrow A}$$

## 4 蒸汽锅炉吨耗计算

暂选取蒸汽锅炉常用压力10bar、给水温度50℃进行计算。

查表,相应的值见表2。

表2 10bar时的焓值

压力/bar	饱和温度 $t_s/^\circ\text{C}$	D状态焓 $h_D/(\text{kJ/kg})$
10	180.0	2 778

锅炉给水温度为 $t_A$ 。

计算的参考数据如下:

$$Q_{0\text{℃} \rightarrow A} = cm \Delta t$$

$$c = 4.18 \text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{℃}) ;$$

$$\Delta t = t_A - 0$$

$$H_D = h_D * m$$

$$Q_{A \rightarrow D} = H_D - Q_{0\text{℃} \rightarrow A}$$

$$\text{天然气使用量} (m^3) = \frac{\text{蒸发量} (kg) \times (\text{蒸汽热量} (\frac{kJ}{kg}) - \text{给水热量} (\frac{kJ}{kg}))}{\text{燃料低位发热量} (\frac{kJ}{m^3}) \times \text{锅炉效率}}$$

$$\text{锅炉蒸汽吨耗} (m^3/t) = \frac{1000kg \times (\text{蒸汽热量} (\frac{kJ}{kg}) - \text{给水热量} (\frac{kJ}{kg}))}{\text{燃料低位发热量} (\frac{kJ}{m^3}) \times \text{锅炉效率}}$$

当燃气热值  $8300 \text{kcal}/m^3 = 8300 \times 4.18 \text{kJ}/m^3$ ，锅炉效率  $93\%$  时，计算  $10 \text{bar}$  压力下天然气的体积数见表3。

表3 10bar时的天然气体积数计算

压力/bar	$H_D$ /MJ	$Q_{0\text{℃} \rightarrow A}$ /MJ	$Q_{A \rightarrow D}$ /MJ	锅炉蒸汽吨耗/ $m^3$
10	2 778	209	2 569	79.6

## 4 锅炉蒸汽吨耗的计算模板建立

### 4.1 模板建立

根据锅炉蒸汽吨耗计算方式，编制计算模板，模板的流程如图2，具体的成型模板图如图3所示。

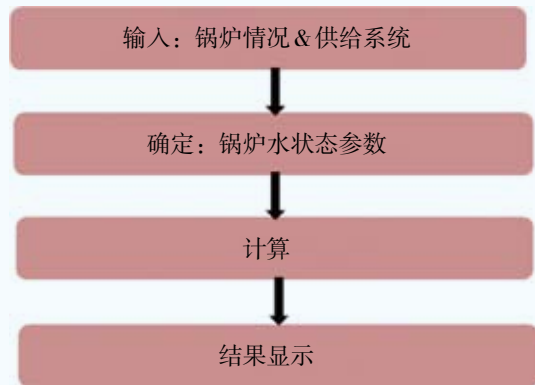


图2 模板流程

### 4.2 模板检验

从某客户处获得XX厂商的实际运行数据见表4，红色标注数据为计算需要输入的数据。据厂家称，XX锅炉运行效率为  $93\%$ ，在锅炉运行效率框内输入  $93\%$ ，计算结果为：锅炉蒸汽吨耗  $77.6 m^3$ ，实际值及计算结果见图4，与表4的实际蒸汽吨耗数据  $78 m^3$ （蓝

输入数字				
锅炉情况	吨位/t	蒸汽压力/bar	锅炉运行效率	
	1	10	93%	
供给系统	给水温度 $t_A$ /℃	天然气低位热值/(kcal/ $m^3$ )		
	50	8 300		
锅炉水状态	过冷水	饱和水	湿饱和蒸汽	饱和蒸汽
	A	B	C	D
温度/℃	50	180	180	180
单位焓/(kJ/kg)				2 778
蒸汽热量 $h_D$ (kJ/kg)	2 778			
蒸汽热量 $H_D$ (MJ/t)	2 778			
给水热量 $Q_{0\text{℃} \rightarrow A}$ (MJ/t)	209			
$Q_{A \rightarrow D}$ (MJ/t)	2 569			
蒸发量/kg	1 000			
锅炉蒸汽吨耗/ $m^3$	79.6			

图3 成型模板

表4 某工厂的锅炉实际运行数据

锅炉品牌(生产厂家)	XX	蒸汽产量(t/d)	96
锅炉数量(台)	3	排污量(t/d)	1.2
锅炉燃烧机品牌	XX	是否采用烟气冷凝回收(是/否)	否
锅炉蒸吨数(t)	4	是否采用蒸汽冷凝水回收(是/否)	是
锅炉常规排烟温度(°C)	130	锅炉是否有回水(是/否)	是
蒸汽温度(°C)	172	回水温度(°C)	65
蒸汽压力(bar)	8.5	回水量(t/d)	70
锅炉耗水量(t/d)	96	回水是否和新水混合后进入锅炉(是/否)	是
蒸汽吨耗(m <sup>3</sup> )	78	混合后进入锅炉的炉水温度(°C)	50
天然气热值(kcal/m <sup>3</sup> )	8 500		

输入数字				
锅炉情况	吨位/t	蒸汽压力/bar	锅炉运行效率	
	4	8.5	93%	
供给系统	给水温度t <sub>A</sub> /°C	天然气低位热值/(kcal/m <sup>3</sup> )		
	50	8 500		
锅炉水状态	过冷水	饱和水	湿饱和蒸汽	饱和蒸汽
	A	B	C	D
温度/°C	50	172.9	172.9	172.9
单位焓/(kJ/kg)				2 771.5
蒸汽热量h <sub>D</sub> (kJ/kg)	2 771.5			
蒸汽热量H <sub>D</sub> (MJ/t)	2 771.5			
给水热量Q <sub>0C-A</sub> (MJ/t)	209			
Q <sub>A-D</sub> (MJ/t)	2 563			
蒸发量/kg	4 000			
锅炉蒸汽吨耗/m <sup>3</sup>		77.6	计算结果	

图4 试算结果

色数据)相差0.5%,证明所编制模板正确,具有实际参考意义。

## 5 结论

对于同一客户,锅炉效率越高,蒸汽吨耗越低。然而不同客户,因工艺需求、蒸汽利用及凝水回收情况均不相同,蒸汽吨耗数值也具有独特性。因此,建

立一个锅炉效率与用气量的计算模板非常重要,可以为燃气公司市场人员快速向客户提供运行数据的实际参考。

### 参考文献

- 1 朱明善. 工程热力学[M]. 清华大学出版社, 1995