

锅炉的计算效率与燃料的高低位发热值的关系

高 飞, 杨伟良

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘 要: 对分别采用燃料的高低位发热值计算出的锅炉热效率及各项热损失进行比较, 并建立起各项热损失之间的关系式, 便于相互转换。

关 键 词: 锅炉效率; 发热值; 各项热损失

中图分类号: TK212 文献标识码: B

1 前言

锅炉的热效率是热力计算一项重要的内容, 也是锅炉投运后一项重要的考核指标。原苏联“锅炉机组热力计算标准方法”采用燃料的低位发热值来计算锅炉热效率。为适应国内用户使用上的方便和习惯, 一般需将采用引进美国燃烧工程公司(简称 CE)技术设计的电站锅炉的高位发热值锅炉热效率转换成低位发热值热效率。由于高低位发热值的定义和各项热损失计算方法的不同, 所计算出来的各项热损失不能相互简单转换。

2 燃料的高低位发热值的定义、锅炉的效率和各项热损失

2.1 了解燃料的高低位发热值的定义是解决问题的关键

在锅炉原理和 ASTM 标准 D2015 中对高低位发热值有明确的定义和测定方法, 它们都是在绝热式氧弹热量计中直接测量的。1 千克(或 1 磅)固体燃料完全燃烧所放出的全部热量称为高位发热值或总热值(Q_{gw} 或 HHV), 它包括燃烧产物中水蒸气凝结时放出的潜热。在锅炉实际运行时, 排烟中水蒸气不会冷至露点以下, 这种潜热是不能放出来的。从高位发热值中扣除水蒸气的汽化潜热就得到燃料的低位发热值, 或称净热值(Q_{dw} 或 LHV)。这个扣除

的热量等于每千克(或每磅)燃料中的水蒸气总量(燃料中的水分加上燃料中的氢燃烧后产生的蒸汽)乘以出口烟气中蒸汽分压下的蒸汽潜热, 这个值的范围约为 2 395~2 512 kJ/kg。所以燃料的高低位发热值二者之间的关系式如下(按应用基):

$$Q_{gw}^y - Q_{dw}^y = 2500(9H^y/100 + W^y/100)$$

式中: 2500 是水在 0 °C 时的汽化潜热近似值 kJ/kg

$H^y/100$ 、 $W^y/100$ 是燃料中应用基氢和水分的质量 %

2.2 锅炉的效率和各项热损失

锅炉的热效率(η)是锅炉的总有效利用热量占锅炉送入热量的百分比。其计算方法分为正平衡法和反平衡法。在锅炉设计时一般采用反平衡法, 即先选取化学不完全燃烧损失(q_3), 机械不完全燃烧损失(q_4)和散热损失(q_5), 再计算出排烟热损失(q_2)和灰渣热损失(q_6), 由下式计算出锅炉热效率:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%$$

以上是采用原苏联“锅炉机组热力计算标准方法”按燃料的低位发热值来表达的热效率求解公式。

美国燃烧工程公司采用高位发热值进行锅炉热效率计算, 将锅炉各项热损失分为如下几项: 干烟气损失(L_2), 燃料中水分引起的热损失(L_3), 燃料中氢燃烧生成的水引起的热损失(L_6), 空气中水分引起的热损失(L_7), 未燃尽碳损失(L_4), 辐射损失(L_5)和未计及热损失(L_8)。其中未计及热损失包括那些不能分类, 难于测量(如灰中的显热损失)和制造厂为达到所计算的效率而留有的余量。由下式计算出锅炉的高位发热值效率:

$$\eta = 100 - (L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8), \%$$

3 锅炉的高低位发热值和各项热损失的关系式

(1) 由上述可以看出, 用高低位发热值分别计算的各项热损失的项目是有很大的区别的。但有一个原则, 无论是采用高位发热值还是低位发热值来进行计算同一台锅炉的热力计算(锅炉参数、排烟温度等数据相同), 其总有效利用热量是一定的, 即:

$$\eta_{dw} \cdot B \cdot Q_{dw}^y = \eta_{gw} \cdot B \cdot Q_{gw}^y$$

$$\eta_{dw} / \eta_{gw} = Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$$

式中: η_{gw} 、 η_{dw} — 高低位发热值效率

B — 锅炉燃料量

Q_{gw}^y 、 Q_{dw}^y — 高低位发热值

(2) 虽然由高低位发热值计算的各项热损失的项目不同, 但其计算原理还是一致的。低位发热值的排烟热损失相当于高位发热值的干烟气热损失, 燃料中水分引起的热损失, 燃料中氢燃烧生成的水引起的热损失和空气中水分引起的热损失之和。化学不完全燃烧损失在正常情况下其数值很小, 对煤粉炉, 苏联方法一般取为 0, CE 公司并未计入的热损失中。机械不完全燃烧损失相当于高位发热值的未燃尽碳损失, 散热损失相当于辐射损失, 灰渣热损失的概念比 CE 公司的未计及热损失的概念小。

高低位发热值的热量相差在烟气中水蒸气凝结时放出的热量, 各项热损失的转换必须考虑水蒸气汽化潜热的影响, 高位发热值的各项热损失转为低位发热值的各项热损失的公式, 见表 1。

表 1

高位发热值热损失	低位发热值热损失
干烟气热损失 L_2	$L_2 \cdot Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$
燃料中水分引起的热损失 L_3	$(L_3 \cdot Q_{gw}^y - W^y \cdot 2581.87) / Q_{dw}^y$
燃料中氢燃烧生成的水引起的热损失 L_6	$(L_6 \cdot Q_{gw}^y - H^y \cdot 22608.72) / Q_{dw}^y$
空气中水分引起的热损失 L_7	$L_7 \cdot Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$

以上为排烟热损失的转换, 其中 2581.87 和 22608.72 分别为燃料中水分和氢燃烧产生的水的潜热值, 单位: kJ/kg

未燃尽碳损失 L_4 $L_4 \cdot Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$

辐射损失 L_5 $L_5 \cdot Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$

未计及热损失 L_8 $L_8 \cdot Q_{gw}^y / Q_{dw}^y$

下面我们来验证以上公式的正确性。

例: 某电厂 300 MW 和 600 MW 锅炉, 其煤质特性见表 2 和 3。

表 2

项目	单位	煤质 1	煤质 2	煤质 3
H_y	%	3.36	3.84	2.35
W_y	%	9.61	8.3	25.28
Q_{dw}^y	kJ/kg	22441.2	25677.6	13196.7
Q_{gw}^y	kJ/kg	23467	26782.9	14381.6

表 3

	高位发热值热损失			低位发热值热损失			
	煤质 1	煤质 2	煤质 3	煤质 1	煤质 2	煤质 3	
L_2	4.65	4.70	5.07	4.8625	4.9023	5.5252	
L_3	1.09	0.83	4.74	0.0342	0.0312	0.2197	
L_6	3.39	3.40	3.91	0.1599	0.1653	0.2350	
L_7	0.11	0.11	0.09	0.1150	0.1147	0.0981	
			q_2	≥ 5.1716	5.2135	6.0780	
L_4	1.00	1.00	0.50	q_4	1.0457	1.0430	0.5449
L_5	0.18	0.19	0.18	q_5	0.1882	0.1982	0.1962
L_8	0.71	0.71	1.30	q_6	0.7425	0.7406	1.4167
η_{gw}	88.87	89.06	84.21	$\sum q$	92.8520	92.8047	91.7642
原计算效率				η_{dw}	92.93	92.89	91.77
偏差 %				$(\eta_{dw} - \sum q) / \eta_{dw}$	0.084	0.092	0.006

从上面计算可以看出: 用上述公式计算的低位发热值热效率与原计算效率十分接近, 其偏差不到 0.1%, 相当准确。

参考文献:

[1] 陈学俊, 陈听宽. 锅炉原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
 [2] (美) J. G. 辛格. 燃烧[R]. 美国: 燃烧工程公司(CE), 1981.

(何静芳 编辑)

补燃和不补燃余热锅炉的蒸汽曲线

《Gas Turbine World》2000~2001 年年度手册以 32 页篇幅的图表提供了与宽广功率范围相配合的补燃和不补燃余热锅炉(HRSG)的蒸汽曲线。

这些数据可能与燃气轮机世界年度手册的“性能规范”部分给出的 ISO 条件下的额定值略有不同。其原因是计入了 102 mm 进口压力损失和 254 mm 出口压力损失而调整的结果。随着热效率和燃气排气温度相应的增加, 输出功率的结果略有减小。

此外, 还给出了航改型和重型结构燃机的损失以及补燃余热锅炉的设计标准。

对于各型燃气轮机, 在其补燃和不补燃 HRSG 的蒸汽曲线上给出了蒸汽产量(每小时蒸汽流量)、蒸汽的温度和压力。

(思 娟 供稿)

During the operation of a heat recovery boiler some problems have arisen, which include excessive ash buildup on heating surfaces, tube deformation and excessive dust and smoke emissions. Following an detailed analysis of these problems a series of methods were proposed for their effective resolution. **Key words:** heat recovery boiler, ash buildup on heating surfaces, dust and smoke abatement

滑参数停炉、停机的试验研究 = **Experimental Study of Boiler and Turbine Shutdowns under the Operating Condition of Sliding Parameters** [刊, 汉] / ZHAO Bing (Kailuan Thermal Power Co., Tangshan, Hebei Province, China, Post Code: 063103) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 554 ~ 557

The boiler and turbine shutdown of a power plant under the operating condition of sliding parameters was conducted for the first time at Kailuan Thermal Power Co. By carrying out this trial the Co. has accumulated the experience of boiler and turbine shutdown under the sliding-parameters condition, which can serve as an effective guide for a plant shutdown under such circumstances. A detailed account is given concerning the necessity for and requisite conditions of such shutdowns as well as the temporary monitoring measures and specific operation procedures required in this regard. An analysis was given of the influence of such shutdowns on a power plant. Some issues demanding special attention are also presented. **Key words:** boiler, steam turbine, plant shutdown under sliding parameters, test

热力设备水冲击的原因分析及防范措施 = **An Analysis of the Causes of Thermal Equipment Hydraulic Shocks and Measures Taken for their Prevention** [刊, 汉] / HUANG Sheng-ji (Wuhan Biological Products Research Institute, Wuhan, China, Post Code: 430060), ZHOU Ju-hua (Wuhan Electric Power School, Wuhan, China, Post Code: 430079) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 557 ~ 559

链条炉排的侧密封 = **Lateral Seal of a Chain Grate Stoker** [刊, 汉] / WANG Yu (Harbin Hongqi Boiler Works, Harbin, China, Post Code: 150080) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 560 ~ 561
With commonly used fish-scale type chain grate stoker serving as an example the author cites the importance of lateral seal for a grate stoker. After an enumeration of the existing problems specific to a labyrinth seal the necessity of employing contact and running-in type seals was expounded along with an exploratory study of the lateral seal for a light-type chain grate stoker. **Key words:** labyrinth seal, contact seal, running-in seal

常压热水锅炉供暖系统安装错误事例分析 = **An Analysis of the Mistakes Identified During the Installation of the Heat Supply System of a Constant-pressure Hot-water Boiler** [刊, 汉] / HOU Yun-tao (Boiler and Pressure Vessel Inspection Institute under the Harbin Municipal Labor Bureau, Harbin, China, Post Code: 150076) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 562 ~ 563

锅炉的计算效率与燃料的高低位发热值的关系 = **Relationship Between the Calculated Efficiency of a Boiler and the Low and High Calorific Value of Fuel** [刊, 汉] / GAO Fei, YANG Wei-liang (Harbin Boiler Works Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 564 ~ 565

The thermal efficiency of a boiler and its various heat losses calculated through the use of low calorific value of fuel were compared with those calculated respectively on the basis of high calorific value of fuel. The relation among various heat losses was established to facilitate mutual conversion. **Key words:** boiler efficiency, calorific value, various heat losses

有效控制汽轮机变工况运行 = **Effective Control of Steam Turbine Off-design Operation** [刊, 汉] / WANG Jin-ming (Huaibei City Thermal Power Plant, Huaibei, Anhui Province, China, Post Code: 235029) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(5). — 546