

有换热的流化床废液焚烧炉燃烧室热力计算

(哈尔滨工业大学) 别如山 刘文铁 李炳熙 杨励丹
(哈尔滨锅炉厂) 杨 钊

[摘要] 建立了流化床废液焚烧炉内布置受热面时燃烧室的热力计算方法。通过求解密相区、稀相区热平衡方程,求得密相区和稀相区出口的焚烧温度,以及辅助燃料耗量和焚烧炉效率的计算公式,为设计流化床废液焚烧炉奠定了理论基础。

关键词 流化床 焚烧炉 热力计算 传热
辅助燃料耗量 热效率

中图分类号 TK223.21

助燃料。为了控制炉膛内的焚烧温度,就需要在炉内布置受热面。有时用户焚烧的废液量有波动,因此也需要布置受热面来调节床温。有必要研究存在换热时流化床废液焚烧炉燃烧室热力计算方法。本文探讨废液同时送入密相区、稀相区内焚烧时^[1],在密相区、稀相区内布置受热面,流化床废液焚烧炉燃烧室内的热力计算方法。

1 前言

在设计流化床废液焚烧炉时,通常需要将废热加以回收,有时用户所需的锅炉额定负荷,比废液焚烧炉产生的废热要高许多,因此,需要燃烧较多的辅

2 密相区热平衡及密相区温度的确定

为了进行热平衡计算,首先画出燃烧室热平衡框图,如图 1 所示。

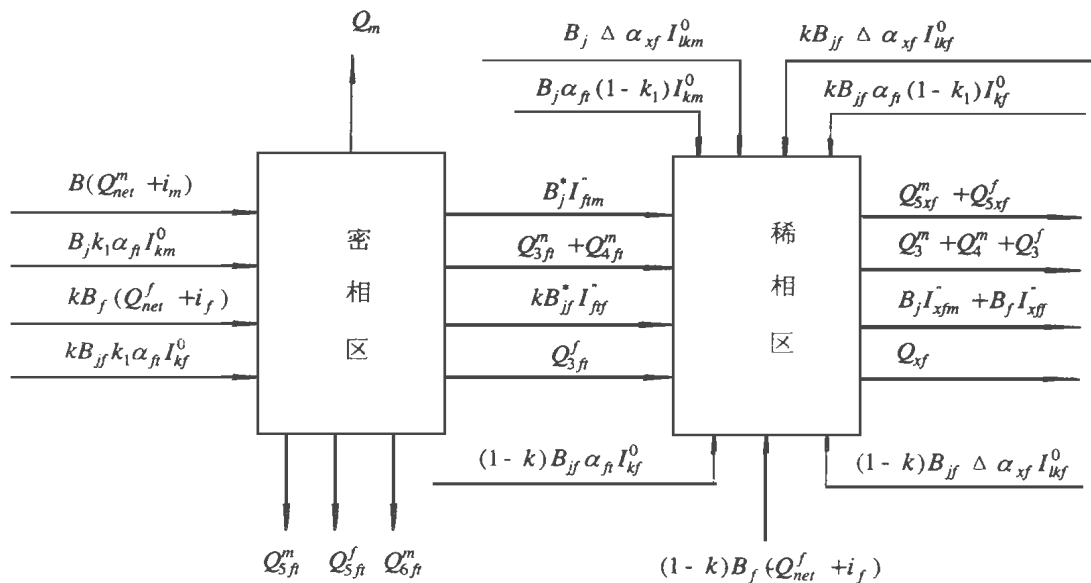


图 1 流化床焚烧室热平衡框图

由图 1 知,当一部分废液 kB_f 送入密相区焚烧时, k 为送入密相区的废液量占总量的份额, B_f 为单位时间内需处理的废液量。密相区的热平衡方程为:

$$Q_m + Q_{5fm}^m + Q_{5fm}^f = B(Q_{net}^m + i_m) - Q_{3fm}^m - Q_{4fm}^m - Q_{6fm}^m + B_j k_1 \alpha_{fm} I_{km}^0 - B_j^* I_{fjm}^m + kB_f(Q_{net}^f + i_f) - Q_{3fm}^f +$$

$$kB_j k_1 \alpha_{fm} I_{km}^0 - kB_{jf}^* I_{fjm}^f \quad (1)$$

方程的左侧表示散热损失 (Q_{5fm}^m, Q_{5fm}^f) 和传热量 (Q_m),方程右侧为煤和废液带入密相区的热量、空气焓以及各种热损失和带出密相区的热量。其中, Q_{net}^m 为辅助燃料煤的低位发热值, B 为辅助燃料消耗

量, B_j 为计算燃料消耗量, B_j^* 为辅助燃料在密相区的计算燃料消耗量, I''_{fjm} 为密相区出口每公斤辅助燃料完全燃烧产生的烟气所具有的焓值, i_m 为煤的物理热, a_{fi} 为密相区的名义空气过剩系数, I_{km}^0 为煤的理论空气焓, k_1 为一次风份额, Q_{net}^f 为废液的低位发热值 (kJ/kg), i_f 为废液的物理热, B_{jf} 为废液的计算燃料消耗量, B_{jf}^* 为废液在密相区的计算燃料消耗量, I_{kf}^0 为废液的理论空气焓, 按废液的理论空气量计算, 其它符号的意义与文献 [2] 相同。角标 m, f 分别代表辅助燃料煤和废液。公式 (1) 中的 I''_{nfm} (kJ/kg) 为密相区温度下每公斤废液完全燃烧产生的烟气所具有的焓值, 按下式计算。

$$I''_{nfm} = (C_{RO_2} V_{RO_2}^f + C_{N_2} V_{N_2}^f + C_{H_2O} V_{H_2O}^f + (k_1 T_{fi} - 1) C_k V_i^f) \theta_{fi} \quad (2)$$

其中 $C_{RO_2}, C_{N_2}, C_{H_2O}, C_k$ 分别为三原子气体、氮气、水蒸汽和空气在密相区温度下的比热 (kJ/(Nm³·°C))。 $V_i^f, V_{RO_2}^f, V_{N_2}^f, V_{H_2O}^f$ 分别为废液的理论空气量、三原子烟气体积、氮气体积和水蒸汽体积; θ_{fi} 为密相区温度。

对废液来说, 由于含灰量很低, 且大多是不可燃盐类, 废液中有机物属于可燃物质, 所以固体不完全燃烧损失可以忽略不计, 即 $q_4^f = 0, q_{4ft}^f = 0$ 。按照煤在密相区燃烧份额的定义, 可定义废液在密相区的燃烧份额为:

$$W = \frac{100 - (q_{3ft}^f + q_{4ft}^f)}{100 - (q_3^f + q_4^f)} = \frac{100 - q_{3ft}^f}{100 - q_3^f} \quad (3)$$

并且有 $B_{jf} = B_f \frac{100 - q_4^f}{100} = B_f; B_{jft}^* = B_{jf} \frac{100 - q_{4ft}^f}{100} = B_f$ (4)

定义 $q_{3ft}^f = \frac{100 Q_{3ft}^f}{k B_f (Q_{net}^f + i_f)} \%$ (5)

将式 (3) ~ (5) 代入式 (1), 其余参数按文献 [2] 中公式计算, 经化简得

$$B_j [Q^m - \frac{100 - q_{4ft}^m}{100 - q_4^m} I''_{fjm}] + k B_f [Q^f - I''_{nfm}] = Q_m + Q_{3ft}^m + Q_{5ft}^m \quad (6)$$

其中 $Q^m = Q_r \frac{W^m (100 - q_3^m - q_4^m) - q_{6ft}^m}{100 - q_4^m} + k_1 T_{fi} I_{km}^0$ (7)

$$Q_r = Q_{net}^m + i_m \quad (8)$$

$$Q^f = Q_r \frac{W^f (100 - q_3^f)}{100} + k_1 T_{fi} I_{kf}^0 \quad (9)$$

$$Q_r^f = Q_{net}^f + i_f \quad (10)$$

其中 q_3^m, q_4^m 为辅助燃料在焚烧室出口的气体不完全燃烧损失和固体不完全燃烧损失, q_{6ft}^m 为煤在密相区的灰渣热损失, W^m 为煤在密相区的燃烧份额, 根据

煤种选取。 W^f 为废液在密相区的燃烧份额, 可根据废液的含水率和不同送入位置, 参考煤的燃烧份额选取。当废液喷于床层表面时, $W^f = 0$ 。 q_3^f 为废液在焚烧室出口的气体不完全燃烧损失, 可参考燃煤的 q_3^m 取值选取。

由保热系数 (h) 的定义: $Q_m + Q_{3ft}^m + Q_{5ft}^m = \frac{Q_m}{h}$, 带入式 (6) 得

$$Q_m = h [B_j (Q^m - \frac{100 - q_{4ft}^m}{100 - q_4^m} I''_{fjm}) + k B_f (Q^f - I''_{nfm})] \quad (11)$$

由密相区的传热方程知: $Q_m = K_m H_m (\theta_{fi} - t_g)$ 带入上式得

$$K_m H_m (\theta_{fi} - t_g) = h [B_j (Q^m - \frac{100 - q_{4ft}^m}{100 - q_4^m} I''_{fjm}) + k B_f (Q^f - I''_{nfm})] \quad (12)$$

其中 K_m, H_m 分别为密相区的传热系数和埋管受热面积, θ_{fi}, t_g 分别为密相区温度和埋管内工质温度。设密相区出口处由煤和废液产生的烟气的平均热量分别为 $V_c^m = I''_{fjm} \theta_{fi}; V_c^f = I''_{nfm} / Q_r$ 带入式 (12), 求得密相区的燃烧温度为:

$$\theta_{fi} = \frac{K_m H_m t_g + h (B_j Q^m + k B_f Q^f)}{K_m H_m + h B_j V_c^m \frac{100 - q_{4ft}^m}{100 - q_4^m} + h k B_f V_c^f} \quad (13)$$

当 $k = 0$ 时, 结论和常规流化床燃煤锅炉相同。

3 稀相区的热平衡及焚烧室出口温度的确定

由热平衡框图知, 稀相区热平衡方程为

$$Q_{xf} + Q_{5xf}^m + Q_{6xf}^m = B_j^* I''_{fjm} + Q_{3ft}^m + Q_{4ft}^m - Q_3^m - Q_4^m + B \Delta T_{kf} I_{km}^0 + B_j T_{fi} (1 - k_1) I_{km}^0 - B_j I''_{xfm} + k B_{jf}^* I''_{nfm} + Q_{3ft}^f - Q_3^f + k B_j \Delta T_{kf} I_{kf}^0 + k B_{jf} T_{fi} (1 - k_1) I_{kf}^0 + (1 - k) B_f (Q_{net}^f + i_f) + (1 - k) B_{jf} T_{fi} I_{kf}^0 + (1 - k) B_j \Delta T_{kf} I_{kf}^0 - B_f I''_{xft} \quad (14)$$

化简得: $B_j [Q'_{xfm} - I''_{xfm}] + B_f [Q'_{xft} - I''_{xft}] = Q_{xf} + Q_{5xf}^m + Q_{6xf}^m$ (14a)

其中 $Q'_{xfm} = \frac{100 - q_{4ft}^m}{100 - q_4^m} I''_{fjm} +$

$$Q_r \frac{(1 - W^m)(100 - q_3^m - q_4^m)}{100 - q_4^m} + \Delta T_{kf} I_{km}^0 + T_{fi} (1 - k_1) I_{km}^0 \quad (15)$$

$$Q'_{xft} = k I''_{nfm} + Q_r \frac{k(1 - W)(100 - q_3^f) + (k - 1)q_3^f}{100} + \Delta T_{kf} I_{kf}^0 + (1$$

$$-k)Q_{\text{r}}^{\text{f}} + T_{\text{r}}(1 - kk_1)I_{\text{kr}}^0 \quad (16)$$

$$I'_{\text{xfm}} = [C_{\text{RO}_2} V_{\text{RO}_2}^{\text{m}} + C_{\text{N}_2} V_{\text{N}_2}^{\text{m}} + C_{\text{H}_2\text{O}} V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{m}} + (T_{\text{r}} + \Delta T_{\text{r}} - 1)C_{\text{k}} V_{\text{m}}^0 \beta''_{\text{xf}} + I_{\text{th}} \quad (17)$$

其中 $V_{\text{m}}^0, V_{\text{RO}_2}^{\text{m}}, V_{\text{N}_2}^{\text{m}}, V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{m}}$ 分别为煤的理论空气量、三原子烟气体积、氮气体积和水蒸汽体积; I_{th} 为炉膛出口飞灰焓,按常规方法计算

$$I''_{\text{xff}} = [C_{\text{R O}_2} V_{\text{R O}_2}^{\text{f}} + C_{\text{N}_2} V_{\text{N}_2}^{\text{f}} + C_{\text{H}_2\text{O}} V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{f}} + (T_{\text{r}} + \Delta T_{\text{r}} - 1)C_{\text{k}} V_{\text{f}}^0 \beta''_{\text{xf}} \quad (18)$$

由保热系数的定义: $Q_{\text{xf}} + Q_{\text{xf}}^{\text{m}} + Q_{\text{xf}}^{\text{f}} = \frac{Q_{\text{xf}}}{h}$ 带入 (14a) 得:

$$Q_{\text{xf}} = h[B_{\text{i}}(Q'_{\text{xfm}} - I''_{\text{xfm}}) + B_{\text{f}}(Q'_{\text{xff}} - I''_{\text{xff}})] \quad (19)$$

Q_{xf} 为稀相区的传热量, kW。

定义悬浮室平均总热容量为:

$$V_{\text{c}} = \frac{B_{\text{i}}(Q'_{\text{xfm}} - I''_{\text{xfm}}) + B_{\text{f}}(Q'_{\text{xff}} - I''_{\text{xff}})}{\theta'_{\text{xf}} - \theta''_{\text{xf}}}, \quad \text{kW} / \text{C} \quad (20)$$

则波尔茨曼常数 $B_0 = \frac{hV_{\text{c}}}{\epsilon_0 H_{\text{x}} T_{\text{xf}}^3}$, 式中 H_{x} 为悬浮段的辐射受热面积, T'_{xf} 为悬浮段入口折算温度 (K), $T'_{\text{xf}} = \theta'_{\text{xf}} + 273$, 根据悬浮室入口总热量 $B\theta'_{\text{xfm}} + B\theta'_{\text{xff}}$, 对应悬浮室出口过剩空气系数 $(T_{\text{r}} + \Delta T_{\text{r}})$, 查焓温表获得。

悬浮室传热计算基本方程为:

$$Q''_{\text{xf}} = \frac{1}{2} B_0 \left(\frac{1}{T_{\text{xf}}} + m \right) \left(1 + \frac{4}{B_0 \left(\frac{1}{T_{\text{xf}}} + m \right)} - 1 \right) \quad (21)$$

式中, Q''_{xf} — 悬浮室出口无因次温度, $Q''_{\text{xf}} = T''_{\text{xf}} / T'_{\text{xf}}$; T_{xf} — 悬浮室系统黑度; m — 考虑水冷壁结灰层表面温度对悬浮室传热影响, 可根据标准^[2] 查取或计算。在计算 T_{xf} 时用到烟气黑度, 按悬浮室平均烟气特性计算。则悬浮室出口烟气温度按下式计算

$$\theta''_{\text{xf}} = Q''_{\text{xf}} T'_{\text{xf}} - 273 \quad (22)$$

4 辅助燃料耗量的确定及焚烧炉的热效率

一般情况下, 单位时间内处理的废液量 B_{f} (kg/s) 是已知的, 用户要求的热负荷为定值, 因此, 由焚烧炉和余热炉的总体热平衡可求得辅助燃料量 B , kg/s

$$B Q_{\text{r}} Z^{\text{m}} / 100 + B_{\text{f}} Q_{\text{r}} Z / 100 = Q_{\text{t}} \quad (23)$$

Q_{t} 为锅炉的输出热, 式中 $Z^{\text{m}} = 100 - (q_2^{\text{m}} + q_3^{\text{m}} + q_4^{\text{m}} + q_5^{\text{m}} + q_6^{\text{m}})$; $Z = 100 - (q_2^{\text{f}} + q_3^{\text{f}} + q_5^{\text{f}})$ 分别按常规锅炉的计算方法计算或选取。辅助燃料量为:

$$B = \frac{100 Q_{\text{t}} - B_{\text{f}} Q_{\text{r}} Z}{Z^{\text{m}} Q_{\text{r}}} \quad (24)$$

因此, 焚烧炉的热效率为: $Z = \frac{B Q_{\text{r}} Z^{\text{m}} + Q_{\text{f}} B_{\text{f}} Z}{B Q_{\text{r}} + B_{\text{f}} Q_{\text{r}}} \%$ (25)

焚烧炉的保热系数 $h = 1 - \frac{q_5}{Z_4 + q_5}$, q_5 为焚烧炉的散热损失, 取 $q_5 = q_5^{\text{m}} = q_5^{\text{f}}$, 按焚烧炉容量选取

5 结论

本文建立了废液分别在流化床密相区、稀相区内焚烧的热力计算方法, 在有炉内换热条件下, 获得密相区、稀相区出口的烟气温度的计算公式, 根据焚烧炉系统的总体热平衡, 求得辅助燃料消耗量和焚烧炉的热效率

参考文献

- 1 别如山, 杨励丹, 鲍亦令. 己二酸和己二胺生产废水在流化床中焚烧处理的问题与对策. 化工环保, 1997, 17(5): 259~ 263.
- 2 层状燃烧及沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法 (报批稿), 上海工业锅炉研究出版, 1981. 2 29~ 36. (渠源 编辑)

能源项目

牧民利用太阳能

据“Modern Power Systems”1998年3月号报道, 中国青海省牧民现在使用太阳能盘来生产电力。该地区每天平均有9小时阳光。

该太阳能盘重约17 kg, 是便携式的, 每个价格约200美元(合人民币1656元), 置于大多数家庭的有效作用范围内。

当地政府已花费180000美元购买这些设备

并且计划今后每年花费120000美元, 以便帮助5000个牧民获得这种太阳能发电装置。青海省也已经建立了9个太阳能电站。

同时, 世界环保基金正在为青海、新疆、甘肃和内蒙古提供二千万美元, 用来建立200000个太阳能发电装置。

(思娟 供稿)

ence of an internal heat source, obtained by the use of a complex series method, and in tandem with the introduction of plate corner heat flux corner conditions, the anisotropic heat source-containing rectangular domain temperature field of four-side convection heat exchange was analyzed for the first time. Discussed is the effect of ply angle, anisotropic degree, boundary convection heat exchange factor and length-to-width ratio on the temperature field distribution. Key words anisotropic steady state heat conduction, convection, rectangular domain, analytic solution, corner condition, heat source

有换热的流化床废液焚烧炉燃烧室热力计算 = Thermodynamic Calculation of the Furnace of a Fluidized Bed Waste Liquid Incinerator Containing Heating Surfaces [刊,中] /Bie Rushan, Liu Wentie, Yang Lidan, et al (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 441- 443

A furnace thermodynamic calculation method has been established for a fluidized bed waste liquid incinerator equipped with heating surfaces. By solving for dense phase zone and rarified phase zone heat balance equation obtained are the dense phase zone and rarified phase zone outlet incineration temperature as well as the formula for calculating auxiliary fuel consumption and incinerator efficiency. All the above has provided a theoretical basis for the design of fluidized bed waste liquid incinerators. Key words fluidized bed, incinerator, thermodynamic calculation, heat transfer, auxiliary fuel consumption, thermal efficiency

蒸汽透平全三元粘性流场计算 = The Calculation of A Steam Turbine Three-dimensional Viscous Flow Field [刊,中] /Huang Diangui (Southeastern University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 444- 446

This paper gives a brief description of the method for calculating three-dimensional viscous flow field of a steam turbine blade row with the use of a finite volume time marching method. The specific calculation of an existing steam turbine blade row has demonstrated the validity and correctness of the calculation method and procedures. The proposed method can be used for conducting a detailed analysis of steam turbine blade performance. Key words turbine, three-dimensional flow, viscosity

热电厂热负荷预测的神经网络模型 = A Neural Network Model for Predicting Cogeneration Plant Thermal Loads [刊,中] /Li Yong, Sun Haibo (Beijing College of Electric Power Engineering), Zhou Qin (Jilin Dongguan Cogeneration Plant) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 447- 448

On the basis of an improved version of BP network the authors propose a synthesized BP network model for predicting cogeneration plant thermal loads. Discussed also are the network structure constructing method and fitting precision. The results of actual prediction show that this prediction model based on the synthesized BP network performs very well in the prediction of cogeneration plant thermal loads. Key words thermal load, neural network, prediction model

IFC公式在热能动工程中的应用 = The Application of IFC Formula in Thermal Energy Power Engineering [刊,中] /Wang Shizhong, Li Zhongying, Wang Huaibin (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 449- 451