

炉烟干燥开式制粉系统的锅炉热平衡 及烟气特性计算方法

马有福

(上海理工大学 能源与动力工程学院,上海 200093)

摘 要: 在当前国内的锅炉相关标准及文献中,均未对炉烟干燥开式制粉系统锅炉的热平衡及热力计算方法予以介绍。本研究提出了开式制粉系统的 3 种炉烟干燥方案,并对应用这 3 种炉烟干燥方案的开式制粉系统锅炉的热平衡及烟气特性进行了深入分析,指出了其与传统闭式制粉系统锅炉的区别。继而,基于常规的燃煤收到基分析数据及低位发热量,提出了适用于炉烟干燥开式制粉系统锅炉的热平衡及烟气特性计算方法,据此可完成完整的开式制粉系统锅炉热力计算。该计算方法为炉烟干燥开式制粉系统锅炉的研究、应用及优化提供了理论基础。

关 键 词: 褐煤; 锅炉; 热平衡; 热力计算; 开式制粉系统
中图分类号: TK221 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2014.06.031

引 言

为提高褐煤利用水平,国内外开展了多种形式的褐煤干燥技术研究,如抽汽预干燥技术、烟气干燥技术及热压/热力脱水技术等^[1-7]。但上述褐煤干燥技术在干燥设备投资及运行费用、干燥系统运行安全性、干燥后褐煤的成型和安全贮存运输等方面均存在特有的困难,在规模化应用之前仍需进一步研究与完善。

目前,褐煤利用的主要途径仍为通过坑口电站燃烧发电。煤中水分增加使燃料热值降低、炉内温度下降、烟气体积增大、烟气中水蒸汽份额增大,从而影响煤的着火与燃尽,并使锅炉排烟热损失和引风机电耗较大,锅炉尾部受热面的低温腐蚀和堵灰也趋于加重。因而与常规烟煤锅炉相比,褐煤锅炉体积大、价格高且热效率低。此外,我国褐煤产区大多同时也是缺水地区,水资源匮乏制约了当地的电源基地建设和经济发展。为此,文献[8]提出了基于炉烟干燥 OPSB(开式制粉及制粉乏气水回收的

褐煤锅炉)方案,该方案既有助于提高锅炉热效率,还可通过制粉乏气的冷却回收烟气中大量水资源,使实现“零水耗”燃煤电厂成为可能。然而,在当前的锅炉相关标准及文献中,均未对这类炉烟干燥开式制粉系统锅炉的热平衡及烟气特性计算方法予以介绍。因此,本研究将对 3 种炉烟干燥方案的开式制粉系统锅炉进行热平衡分析,并提出相应的锅炉热平衡及烟气特性计算方法,从而为炉烟干燥开式制粉系统锅炉的研究、应用及优化提供理论基础。

1 3 种炉烟干燥方案

在高水分燃煤制粉系统中,一般需从炉膛出口抽取高温炉烟(简称热烟)作为干燥剂组分之一,以保证制粉系统干燥出力。此外,制粉系统为直吹式时,为满足锅炉一次风率的要求,热风也常是干燥剂组分之一。然而在开式制粉系统中,由于干燥剂不再作为锅炉一次风,热风不再是必选的干燥剂组分。对于水分高且挥发分高的褐煤,以炉烟为制粉系统干燥剂既可保证制粉系统干燥能力,还可显著降低干燥剂氧含量,有利于制粉系统防爆及安全运行。文献[8]以风扇磨煤机制粉系统为例,介绍了炉烟干燥开式制粉系统锅炉的工作原理,并通过工程实例的对比计算,介绍了其在节煤及烟气水回收方面的优势。

在文献[8]所述制粉系统中,制粉系统干燥剂由热烟和冷烟(来自锅炉引风机出口烟道)混合而成。然而在同为炉烟干燥的前提下,干燥剂也可由热烟和中温炉烟(简称中烟,来自空气预热器入口烟道)混合而成,还可由热烟与制粉乏气混合而成,如图 1 所示。因而,在炉烟干燥开式制粉系统锅炉中制粉系统干燥剂有 3 种方案可供选用,本研究按

收稿日期: 2014-03-10; 修订日期: 2014-04-26

作者简介: 马有福(1978-),男,新疆伊犁人,上海理工大学副教授。

其中调温介质的名称分别称为冷烟方案、中烟方案和乏气方案。将对 3 种炉烟干燥方案的开式制粉系统锅炉进行热平衡分析,并提出相应的锅炉热平衡及烟气特性计算方法。根据本研究提出的计算方法,通过工程实例的对比计算,可对这三种炉烟干燥开式制粉系统锅炉的节煤及水回收效益进行比较。

需要说明的是,在文献 [8] 所述炉烟干燥开式制粉系统锅炉中采用了乏气暖风器(利用制粉乏气预热锅炉送风),并将暖风器出口风温取为 60 ℃,

以便直接将其作为一次风用于送粉和燃烧。但进一步的计算比较表明,利用乏气预热锅炉送风对提高锅炉热效率并无益处,反而使锅炉系统趋于复杂,而且影响锅炉运行的可靠性。因此,本研究中炉烟干燥开式制粉系统锅炉中取消了乏气暖风器,乏气中水分的回收由独立于锅炉系统的水回收设备完成;同时,送粉风温由空气预热器出口热风与旁路冷风按一定比例混合予以保证,如图 1 所示。

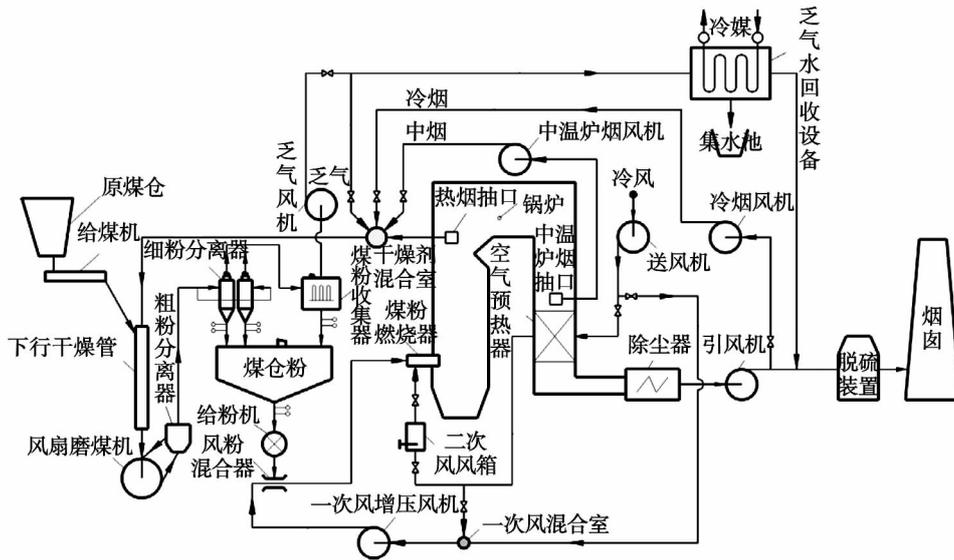


图 1 炉烟干燥开式制粉燃煤锅炉系统及其 3 种炉烟干燥方案

Fig. 1 Flue gas dried open type pulverized coal-fired boiler milling system and its three flue gas drying versions

2 锅炉热平衡及烟气特性计算方法

2.1 炉烟干燥开式制粉系统锅炉热平衡分析

OPSB 的热平衡方程式为:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 \quad (1)$$

式中: $q_1 - q_7$ 分别为锅炉有效利用热量 Q_1 、排烟热损失 Q_2 、可燃气体未完全燃烧热损失 Q_3 、固体未完全燃烧热损失 Q_4 、锅炉散热损失 Q_5 、灰渣物理热损失及冷却水热损失 Q_6 、飞煤热损失 Q_7 在锅炉输入热量 Q_{in} 中的份额 %。

无论采用开式或闭式制粉系统, Q_1 的计算方法未有改变。对于炉烟干燥开式制粉系统锅炉的排烟热损失,本研究提出了相应的计算方法。由于制粉乏气中可能存在挥发分热损失,故在 OPSB 中 q_3 的

选取,需以深入的制粉系统挥发分析出特性研究为基础;若乏气中含有可燃气体,其热损失可计入 Q_3 中。鉴于炉烟干燥开式制粉系统并未改变煤粉特性,且使锅炉炉膛内温度明显升高,故 q_4 可参考 CPSB(闭式制粉系统锅炉)进行选取。关于 q_5 和 q_6 ,可认为 OPSB 与 CPSB 并无差别。

但在 OPSB 中, Q_{in} (kJ/kg) 和 q_2 的计算方法有所不同。 q_2 计算方法详见 2.3 节。 Q_{in} 为:

$$Q_{in} = Q_{ar,net} - Q_{ba} \quad (2)$$

式中: $Q_{ar,net}$ —燃煤低位发热量, kJ/kg; Q_{ba} —制粉系统漏风在制粉系统内吸收的热量, kJ/kg。

这是因为在开式制粉系统中制粉系统漏风(含磨煤机密封风)以环境温度进入制粉系统,而后未入锅炉直接由磨煤机出口排出锅炉机组。因乏气排放温度高于环境温度,故这部分漏风会吸收一部分

锅炉系统内热量,使得 Q_{in} 降低。

本研究中制粉系统漏风均为环境空气漏入制粉系统,即假定磨煤机入口均为负压,这符合绝大多数炉烟干燥制粉系统的实际情况。由式(2)可以看出,由于制粉系统漏风,使得 OPSB 的 Q_{in} 有稍许降低;而在 CPSB 中,制粉系统漏风也使得经过空气预热器的空气量减少,从而使锅炉排烟温度趋于升高。由于锅炉空气预热器内空气温升(约 300 °C)远大于开式制粉系统内空气温升(<150 °C),故在相同漏风量下,制粉系统漏风对 CPSB 热效率的不利影响更为明显。

q_7 为因开式制粉而带来的额外热损失,其计算式为:

$$q_7 = (100 - \eta_{cyc})(100 - \eta_{bag}) \times 10^{-2} \quad (3)$$

式中: η_{cyc} 、 η_{bag} —细粉分离器和煤粉收集器的分离效率, %。根据当前细粉分离器和布袋式煤粉收集器商业化产品的分离性能,可取 η_{cyc} 和 η_{bag} 分别为 90% 和 99.95%,由此可得 $q_7 = 0.005\%$ 。可见在开式制粉系统中如果保证煤粉收集器运行状态良好,由飞煤排放造成的热损失很小,几乎可以忽略。

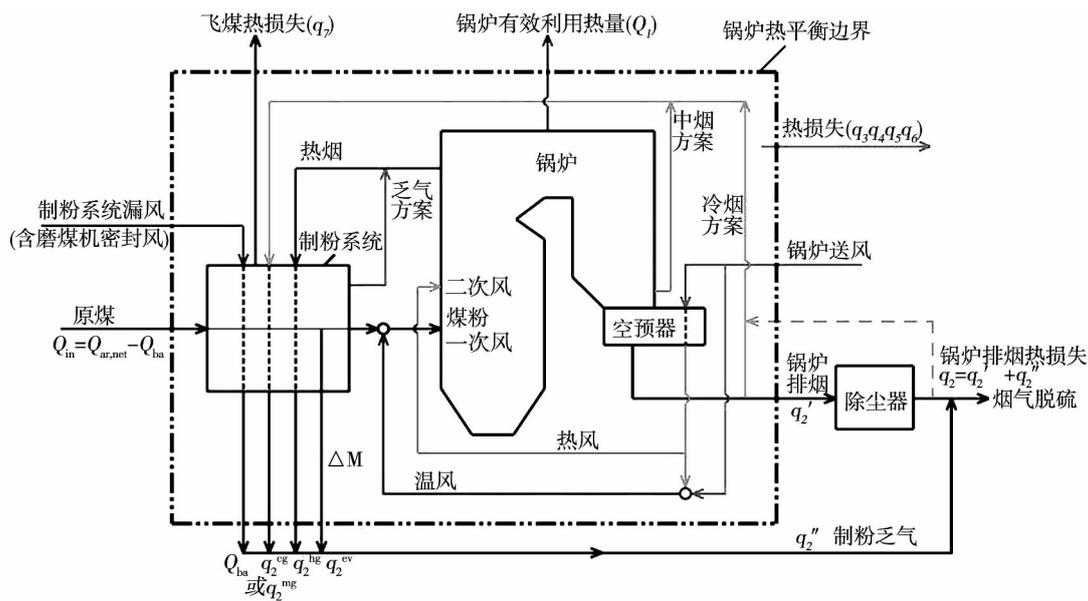


图 2 炉烟干燥开式制粉系统锅炉热平衡示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the heat balance of a boiler with a flue gas dried open type milling system

2.2 烟气特性计算方法

烟气特性计算是锅炉热平衡计算、制粉系统热平衡计算及锅炉热力计算的基础。本研究以收到基煤质分析数据为基础,给出 OPSB 的烟气特性计算方法,并分析其与 CPSB 对应计算方法的区别。

无论采用开式或闭式制粉系统,对应于 1 kg 燃煤带入锅炉的可燃元素及燃料自身氧量并未变化,故理论空气量 V^o (m³/kg) 及理论空气焓 I_a^o (kJ/kg) 的计算方法是相同的。

OPSB 的理论烟气体积 V_g^o (m³/kg) 和理论烟气质量 m_g^o (kg/kg) 为:

$$V_g^o = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o \quad (4)$$

$$V_{RO_2} = 0.01866(C_{ar} + 0.375S_{ar}) \quad (5)$$

$$V_{N_2}^o = 0.79V^o + 0.008N_{ar} \quad (6)$$

$$V_{H_2O}^o = 0.111H_{ar} + 0.0124M_{pc,ar} + 0.0161V^o \quad (7)$$

$$m_g^o = 1.9635V_{RO_2} + 1.25V_{N_2}^o + 0.804V_{H_2O}^o \quad (8)$$

式中: V_{RO_2} 、 $V_{N_2}^o$ 、 $V_{H_2O}^o$ —三原子气体 RO_2 ($CO_2 + SO_2$) 体积、理论氮气体积及理论水蒸气体积, Nm^3/kg ; C_{ar} 、 H_{ar} 、 S_{ar} 、 N_{ar} —收到基碳、氢、硫、氮, %; $M_{pc,ar}$ —换算至原煤收到基的煤粉水分(%),按式(9)计算:

$$M_{pc,ar} = \frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{pc}} M_{pc} \quad (9)$$

式中: M_{ar} —原煤收到基水分, kg/kg; M_{pc} —煤粉水分, kg/kg。

由式(4) - 式(9)可知,与 CPSB 相比 OPSB 的 V_g^o 计算仅区别于对 $V_{H_2O}^o$ 的计算(本研究取空气含湿量 $d_a = 10 \text{ g/kg}$)。这是因为开式制粉系统使得制粉系统蒸发水分(ΔM)不再进入锅炉,这时由煤中水分而带入锅炉的水蒸汽量仅来自于煤粉水分。

2.2.1 热烟抽口之前的炉内烟气特性

在风扇磨煤机制粉系统中,热烟抽口一般位于炉膛出口附近烟温约 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右的位置。故本研究所热烟抽口前烟气特性一般指炉膛内烟气特性。

炉膛内实际烟气体积 V_g (m^3/kg) 和烟气质量 m_g (kg/kg) 为:

$$V_g = V_g^o + 1.0161(\alpha_F'' - 1)V^o \quad (10)$$

$$m_g = m_g^o + 1.306(\alpha_F'' - 1)V^o \quad (11)$$

式中: α_F'' 为炉膛出口过量空气系数。

炉膛内的干烟气体积 V_{dg} (m^3/kg) 与水蒸汽体积 V_{H_2O} (Nm^3/kg) 为 ($V_g = V_{dg} + V_{H_2O}$):

$$V_{dg} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + (\alpha_F'' - 1)V^o \quad (12)$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0.0161(\alpha_F'' - 1)V^o \quad (13)$$

烟气成分计算是计算烟气焓及烟气辐射换热的基础。为计算方便,将烟气视为由 RO_2 、理论 N_2 、水蒸气及干空气 4 部分组成。由此,炉膛内烟气中 RO_2 、理论 N_2 、水蒸气及干空气的容积份额分别为:

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_g}; r_{N_2}^o = \frac{V_{N_2}^o}{V_g}; r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_g};$$

$$r_{N_2O_2} = \frac{(\alpha_F'' - 1)V^o}{V_g} \quad (14)$$

由此,炉膛内烟气的焓 I_g (kJ/kg) 为:

$$I_g = V_g(r_{RO_2}c_{CO_2} + r_{N_2}^oc_{N_2} + r_{H_2O}c_{H_2O} + r_{N_2O_2}c_{N_2O_2})t_g \quad (15)$$

式中: t_g 为烟气温度, $^\circ\text{C}$; c_{RO_2} 、 c_{N_2} 、 c_{H_2O} 及 $c_{N_2O_2}$ — RO_2 、 N_2 、水蒸气及干空气在相应温度下的比热容, $\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ 。如需在烟气焓中计入飞灰焓,可按锅炉热力计算标准[9]予以相应考虑。

炉膛内烟气的飞灰浓度 μ_{fa} (kg/kg) 为:

$$\mu_{fa} = \frac{A_{ar}\alpha_{fa}}{100m_g} \quad (16)$$

式中: A_{ar} —收到基灰分, %; α_{fa} —飞灰份额。

2.2.2 热烟抽口之后各受热面的烟气特性

在 OPSB 中,一部分烟气作为制粉系统干燥剂从热烟抽口抽出,大部分烟气仍保留在烟道内与各

级受热面内工质进行换热。热烟的抽取量取决于制粉系统热平衡计算^[10]。若定义热烟抽取率 R_{hg} 为热烟抽取量与热烟抽口处炉内烟气总量之比,并假定烟道某计算截面 X 处的过量空气系数为 α_X ,则该计算截面处的实际烟气体积 V_{gX} (m^3/kg) 和烟气质量 m_{gX} (kg/kg) 分别为:

$$V_{gX} = (1 - R_{hg})V_g + 1.0161(\alpha_X - \alpha_F'')V^o \quad (17)$$

$$m_{gX} = (1 - R_{hg})m_g + 1.306(\alpha_X - \alpha_F'')V^o \quad (18)$$

干烟气体积 V_{dgX} (m^3/kg) 与实际水蒸汽体积 $V_{H_2O X}$ (m^3/kg) 为:

$$V_{dgX} = (1 - R_{hg})V_{dg} + (\alpha_X - \alpha_F'')V^o \quad (19)$$

$$V_{H_2O X} = (1 - R_{hg})V_{H_2O} + 0.0161(\alpha_X - \alpha_F'')V^o \quad (20)$$

烟气中 RO_2 、理论 N_2 、水蒸气及干空气的容积份额分别为:

$$r_{RO_2 X} = \frac{(1 - R_{hg})V_{RO_2}}{V_{gX}};$$

$$r_{N_2 X}^o = \frac{(1 - R_{hg})V_{N_2}^o}{V_{gX}};$$

$$r_{H_2O X} = \frac{V_{H_2O X}}{V_{gX}};$$

$$r_{N_2O_2 X} = \frac{[(1 - R_{hg})(\alpha_F'' - 1) + (\alpha_X - \alpha_F'')]V^o}{V_{gX}} \quad (21)$$

烟气的焓 I_{gX} (kJ/kg) 为:

$$I_{gX} = V_{gX}(r_{RO_2 X}c_{CO_2} + r_{N_2 X}^oc_{N_2} + r_{H_2O X}c_{H_2O} + r_{N_2O_2 X}c_{N_2O_2})t_g \quad (22)$$

烟气的飞灰浓度 $\mu_{fa X}$ (kg/kg) 为:

$$\mu_{fa X} = \frac{(1 - R_{hg})A_{ar}\alpha_{fa}}{100m_{gX}} \quad (23)$$

式(17) - 式(23)适用于干燥剂为冷烟方案和乏气方案时所有位于热烟抽口之后的受热面(包括空气预热器),亦适用于干燥剂为中烟方案时位于热烟抽口与中烟抽口之间的所有受热面。

2.2.3 中烟抽口之后空气预热器的烟气特性

从空气预热器入口烟道抽取炉烟作为干燥剂组分,将使得锅炉空气预热器内的烟气流进一步减少。若定义中烟抽取率 R_{mg} 为中烟抽取量与中烟抽口处烟道内烟气总量之比,则此时空气预热器出口烟气的体积、质量、各组分容积份额、焓及飞灰浓度可分

别按以下公式计算:

$$V_{g, AH}^{c_2} = [(1 - R_{hg}) V_g + 1.016 (1 - \alpha_{AH} - \alpha_F) V^0] (1 - R_{mg}) + 1.016 \Delta \alpha_{AH} V^0 \quad (24)$$

$$m_{g, AH}^{c_2} = [(1 - R_{hg}) m_g + 1.306 (\alpha_{AH} - \alpha_F) V^0] (1 - R_{mg}) + 1.306 \Delta \alpha_{AH} V^0 \quad (25)$$

$$r_{RO_2, AH}^{c_2} = \frac{(1 - R_{hg}) (1 - R_{mg}) V_{RO_2}}{V_{g, AH}^{c_2}}$$

$$r_{N_2, AH}^{o, c_2} = \frac{(1 - R_{hg}) (1 - R_{mg}) V_{N_2}^0}{V_{g, AH}^{c_2}}$$

$$r_{H_2O, AH}^{c_2} = \frac{[(1 - R_{hg}) V_{H_2O} + 0.016 (1 - \alpha_{AH} - \alpha_F) V^0] (1 - R_{mg}) + 0.016 \Delta \alpha_{AH} V^0}{V_{g, AH}^{c_2}}$$

$$r_{N_2O_2, AH}^{c_2} = \frac{[(1 - R_{hg}) (\alpha_F - 1) + (\alpha_{AH} - \alpha_F) (1 - R_{mg})] V^0 + \Delta \alpha_{AH} V^0}{V_{g, AH}^{c_2}} \quad (26)$$

$$I_{g, AH}^{c_2} = V_{g, AH}^{c_2} (r_{RO_2, AH}^{c_2} c_{CO_2} + r_{N_2, AH}^{o, c_2} c_{N_2} + r_{H_2O, AH}^{c_2} c_{H_2O} + r_{N_2O_2, AH}^{c_2} c_{N_2O_2}) t_g \quad (27)$$

$$\mu_{fa, AH}^{c_2} = \frac{(1 - R_{hg}) (1 - R_{mg}) A_{ar} \alpha_{fa}}{100 m_{g, AH}^{c_2}} \quad (28)$$

式(24) - 式(28)中,下角标 AH 指代空气预热器,上角标 ' 和 " 分别表示进口和出口参数,上角标 c_2 表该参数只针对中烟方案。可以看出,只要将式(24) - 式(28)中等式右边含有 $\Delta \alpha_{AH} V^0$ 的项去掉,即为相应的空气预热器进口烟气特性计算式。

2.3 锅炉排烟热损失计算方法

OPSB 的排烟由空气预热器出口排烟和制粉系统乏气两部分组成。因而,OPSB 的排烟热损失需根据上述 2 个排烟口各自的烟气温度、烟气流量及烟气成分分别计算并求和,从而获得锅炉机组总的排烟热损失。即

$$q_2 = q_2' + q_2'' \quad (29)$$

式中: q_2' 和 q_2'' — 空气预热器出口排烟热损失和制粉系统乏气热损失, %。

2.3.1 q_2' 计算方法

冷烟方案:

$$q_2' = \frac{I_{g, AH}'' - [(1 - R_{hg}) \alpha_F'' + (\alpha_{AH}'' - \alpha_F'') I_a^0 - R_{cg} I_{cg}^0] (100 - q_4)}{Q_{in}} \quad (30)$$

式中: $I_{g, AH}''$ 和 I_{cg} — 空气预热器出口烟焓与冷烟抽口烟焓,可按相应的烟温及过量空气系数通过式(22)计算, kJ/kg; α_{AH}'' — 空气预热器出口过量空气系数; R_{cg} — 冷烟抽取率。

中烟方案:

$$q_2' = \frac{I_{g, AH}'' - [(1 - R_{hg}) (1 - R_{mg}) \alpha_F'' + (1 - R_{mg}) (\alpha_{AH}'' - \alpha_F'') + \Delta \alpha_{AH} I_a^0] (100 - q_4)}{Q_{in}} \quad (31)$$

乏气方案:

$$q_2' = \frac{I_{g, AH}'' - [(1 - R_{hg}) \alpha_F'' + (\alpha_{AH}'' - \alpha_F'') I_a^0] (100 - q_4)}{Q_{in}} \quad (32)$$

2.3.2 q_2'' 计算方法

干燥剂为冷烟方案或中烟方案时可将制粉乏气视为由热烟、冷烟(或中烟)、制粉系统蒸发水分及制粉系统漏风(含磨煤机密封风)四部分组成,干燥剂为乏气方案时可将制粉乏气视为由热烟、制粉系统蒸发水分及制粉系统漏风(含磨煤机密封风)3部分组成,如图 2 所示。由于制粉系统漏风在制粉系统内的吸热已在 Q_{in} 的计算中作为负的外来热量处理,故在乏气热损失中不再考虑其影响。因此, q_2'' 可由其余各组分各自的热损失求和而得:

冷烟方案:

$$q_2'' = q_2^{hg} + q_2^{cg} + q_2^{ev} \quad (33)$$

中烟方案:

$$q_2'' = q_2^{hg} + q_2^{mg} + q_2^{ev} \quad (34)$$

乏气方案:

$$q_2'' = q_2^{hg} + q_2^{ev} \quad (35)$$

式中: q_2^{hg} 、 q_2^{cg} (或 q_2^{mg})、 q_2^{ev} — 乏气中热烟、冷烟(或中烟)及制粉系统蒸发水分的热损失(%),计算式分别如下:

$$q_2^{hg} = \frac{R_{hg} (I_g^{mo} - \alpha_F'' I_a^0)}{Q_{in}} (100 - q_4) \quad (36)$$

$$q_2^{cg} = \frac{R_{cg} (I_{cg}^{mo} - \alpha_{cg} I_a^0)}{Q_{in}} (100 - q_4)$$

$$q_2^{mg} = \frac{R_{mg} (I_{mg}^{mo} - \alpha_{AH}'' I_a^0)}{Q_{in}} (100 - q_4) \quad (37)$$

$$q_2^{ev} = \frac{100 \Delta M c_{H_2O} t_2}{Q_{in}} \quad (38)$$

式中: I_g^{mo} — 磨煤机出口温度 t_2 下的热烟焓,由式(15)计算 ($\alpha_X = \alpha_F''$, $t_g = t_2$), kJ/kg; I_{cg}^{mo} — t_2 下的冷烟焓,由式(22)计算 ($\alpha_X = \alpha_{cg}$, $t_g = t_2$), kJ/kg; α_{cg} — 冷烟抽口处烟道内烟气的过量空气系数; I_{mg}^{mo} — t_2 下的中烟焓,由式(22)计算 ($\alpha_X = \alpha_{AH}''$, $t_g = t_2$), kJ/kg; ΔM — 制粉系统蒸发水分, kg/kg。

由前文可以看出,在 OPSB 中,干燥剂量、磨煤

机出口温度及煤粉水分等制粉系统参数与锅炉机组热效率密切相关。因而,在 OPSB 中锅炉热平衡与制粉系统热平衡必需联系在一起进行计算,才能确定出锅炉热效率及燃煤量等,这与常规 CPSB 有区别。

3 结 论

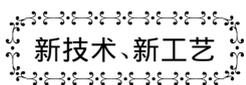
对于高水分燃煤,采用炉烟干燥开式制粉系统,既有助于提高锅炉热效率,还可通过制粉乏气的冷却回收烟气中大量水资源,具有重大环保意义。然而,在当前的锅炉相关标准及文献中,均未对这类炉烟干燥开式制粉系统锅炉的热平衡及热力计算方法予以介绍。本研究提出了炉烟干燥开式制粉系统的 3 种炉烟干燥方案,并对应用这 3 种炉烟干燥方案的开式制粉系统锅炉的热平衡及烟气特性进行了深入分析,指出了其与传统闭式制粉系统锅炉的区别。继而,基于常规的燃煤收到基分析数据及低位发热量,提出了适用于炉烟干燥开式制粉系统锅炉的热平衡及烟气特性计算方法,据此可完成完整的开式制粉系统锅炉热力计算。该计算方法为炉烟干燥开式制粉系统锅炉的研究、应用及优化提供了必需的理论基础。

参考文献:

- [1] Hatzilyberis K S, Androutopoulos G P, Salmas C E. Indirect thermal drying of lignite: design aspects of a rotary dryer [J]. *Drying Technology* 2000, 18(9): 2009 - 2049.
- [2] Muhammad Aziz, Yasuki Kansha, Atsushi Tsutsumi. Self-heat recuperative fluidized bed drying of brown coal [J]. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 2011, 50(9): 944

- 951.
- [3] Wang W C. Laboratory investigation of drying process of Illinois coals. *Powder Technology* 2012, 225: 72 - 85.
- [4] 郝正虎. 折流下落床高温烟气褐煤干燥技术开发与关键技术研究 [硕士学位论文]. 清华大学, 2011.
- HAO Zheng-hu. Development of the flow deflection falling-down bed high temperature flue gas lignite drying technology and study of the key technologies [D]. Beijing: Tsinghua University, 2011.
- [5] 田忠坤. 直管式气流干燥器干燥褐煤的试验研究 [J]. *选煤技术* 2010, 3(3): 16 - 20.
- TIAN Zhong-kun. Experimental study of a straight pipe type air flow dryer to dry lignite [J]. *Coal Sifting Technology* 2010, 3(3): 16 - 20.
- [6] Bergins C. Kinetics and mechanism during mechanical/thermal dewatering of lignite. *Fuel* 2003, 82: 355 - 364.
- [7] Favas G, Jackson W R. Hydrothermal dewatering of lower rank coals. 1. Effects of process conditions on the properties of dried product. *Fuel* 2003, 82: 53 - 57.
- [8] 马有福, 郭晓克, 肖峰, 等. 基于炉烟干燥及水回收风扇磨仓储式制粉系统的高效褐煤发电技术 [J]. *中国电机工程学报*, 2013, 33(5): 13 - 20.
- MA You-fu, GUO Xiao-ke, XIAO Feng, et al. Efficient lignite-fired power generation technology based on a flue gas drying and water recovery fan mill bunker type milling system [J]. *Proceedings of China Electric Machinery Engineering* 2013, 33(5): 13 - 20.
- [9] [前苏联] 锅炉机组热力计算标准方法 [M]. 北京: 中国机械工业出版社, 1976.
- Standard method for thermal calculating boiler units [M]. Beijing: China Machine Press, 1976.
- [10] DL/T5145 - 2002. 火力发电厂制粉系统设计计算技术规定 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- DL/T5145 - 2002. Technical specification for design and calculation of milling systems in thermal power plants [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

(单丽华 编辑)



新技术、新工艺

全俄热工研究所超临界直流锅炉蒸发受热面可靠性研究

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2014.06.032

据《Электрические станции》2013 年 8 月刊报道,全俄热工研究所的专家对超临界直流锅炉蒸发受热面的可靠性进行了深入研究。

总结了世界上首台超临界蒸汽参数的试验锅炉的研究,300 - 1 200 MW 发电机组锅炉在超临界压力下的流体动力学和热交换研究和工业研究,以保证超临界和超超临界蒸汽参数的直流锅炉蒸发受热面在各种运行工况下的可靠性。

(吉桂明 摘译)

[刊, 汉] WANG Xiang, XIANG Wen-guo, CHEN Xiao-ping, ZHAO Chang-sui (Education Ministry Key Laboratory on Energy-source-based Heat Conversion and Process Measurement and Control, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210094) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(6). - 720 - 725

The main results of an experimental work on the regulating characteristic of the loop seal used as an ash discharging device are reported in this paper. The influence of aeration rates in the two chambers of the loop seal on solids flow behavior were studied respectively. Compared with the aeration in the recycle chamber, the regulating characteristic of aeration in the supply chamber is better, due to its larger regulating range. Solids mass flux increases linearly with increasing aeration rate in the supply chamber until it reaches a maximum value. Three sizes of sands were used in the experiments. Results show that aeration requirement to obtain the same solids mass flux increases with the increase of particle sizes. Meanwhile, the effects of pressure drop of loop seal on solid mass flux were also evaluated. Results show that solids mass flux increases with the increase of the pressure drop. **Key Words:** flow seal valve, regulation feature, ash discharge

配置炉烟干燥开式制粉系统的锅炉热平衡及烟气特性计算方法 = **Method for Calculating the Heat Balance and Flue Gas Characteristics of a Boiler Equipped With a Flue Gas Dried Open Type Milling System** [刊, 汉] MA You-fu (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(6). - 726 - 730

At present, the method for calculating the heat balance and thermal calculation of a boiler with flue gas dried open type milling system (OPSB) has not been described in literatures and standards devoted to boilers. This paper presented three kinds of flue gas combinations to be used as the drying agent of open type milling systems. Then, the heat balance and flue gas properties of the three OPSBs were analyzed to clarify their differences between the boilers with an open and a closed pulverizing system. Finally, a set of methods for calculating the heat balance and flue gas properties of the three OPSBs was advanced based on the conventional proximate/ultimate analysis data and the net calorific value of coal. By using this method, the whole thermal calculation of the OPSB can be accomplished. Therefore, the method presented in this paper lays a theoretical foundation for research, application and optimization of OPSBs. **Key Words:** lignite, boiler, heat balance, thermal calculation, open type milling system

PSO-SVM 软测量方法在火电厂煤质发热量测量中的应用 = **Application of the PSO-SVM (Particle Swarm Optimization-Supporting Vector Machine) Soft Measurement Method in Measurement of Heat Quantity Produced By Burning Coal in Thermal Power Plants** [刊, 汉] CAO Hong-fang, FU Zhong-guang, QI Min-fang