

循环流化床锅炉外置式换热器设计方法的探讨

骆仲泱 张彦军 王勤辉 周劲松 方梦祥 倪明江 岑可法

(杭州 浙江大学 热能工程研究所)

李文健

(哈尔滨锅炉有限责任公司)

摘 要

简要介绍了循环流化床锅炉外置式换热器的工作原理、特点及其应用情况,并在冷、热态试验基础上,给出了外置式换热器的设计原则和方法。利用该原则和方法对 1 台 420t/h 循环流化床锅炉的外置式换热器进行了设计。图 3 参 11。

主题词: 循环流化床锅炉 外置式换热器 设计方法

0 前言

在循环流化床锅炉问世之初,世界上主要有两大循环流化床技术流派,即鲁奇(Lurgi)型和奥斯龙(Ahlstrom)型,而二者的主要区别在于前者在燃烧室外设置了“外置式换热器”(EHE)。所谓外置式换热器就是将炉内的一部分受热面移至炉外,通过高温循环灰加热的一种热交换装置。后来,Battelle 研究中心的M SFB 技术也采用了外置式换热器设计。

外置式换热器实际上是由一个或多个仓室构成的非燃烧细粒子鼓泡流化床^{[1],[2],[4],[8],[10]}布置在高温灰循环回路中,位于分离器下部。高温循环物料经分离器分离后,在分流装置的作用下,一部分经返料装置以高温灰形式返回炉膛;另一部分流经外置式换热器,与布置在外置式换热器内的受热面完成热交换后,以低温灰形式返回炉膛。外置式换热器内布置的受热面通常有蒸发、过热或再热受热面。通过调节进入外置式换热器和返料装置的循环物料流量的比例,实现床温控制和气温控制的要求。与不带外置式换热器的循环流化床锅炉相比,外置式换热器使燃烧和传热分开,大大提高了床温、气温调节和锅炉负荷调节的灵活性。它尤其有利于锅炉受热面的布置特别是再热器的布置,易于循环流化床锅炉的大型化。但外置式

换热器使循环流化床锅炉的结构和运行控制系统复杂化,投资增加,因此它在中小容量循环流化床锅炉中应用并不占优势。

目前,世界上许多锅炉制造公司 CFB 锅炉都采用了外置式换热器,如采用 Lurgi 公司循环流化床技术的美国 ABB-CE 公司、法国 Stein 公司等^{[5],[6],[8]};采用 M SFB 技术的美国 Riley Stoker 公司、日本三井造船公司等^{[3],[9]};美国 Foster Wheeler 公司也推出了独特的外置式换热器技术^[2];在中国,浙江大学首次在 75t/h CFB 锅炉上采用了外置式换热器设计,并取得良好的运行效果。

1995 年 11 月,由法国 Stein 公司制造的 25MW 机组循环流化床锅炉在普罗旺斯电厂正式投入商业运行,在该机组中装备了 4 个外置式换热器。Stein 公司还计划在 600MW 机组中使用 6 个外置式换热器,并将外置式换热器大型化^[6]。所有这些无疑预示着外置式换热器在大型循环流化床锅炉中的美好前景。

虽然外置式换热器在国外得到了广泛的应用,但在国内有关的研究和开发却很少,而且由于涉及专利技术保密等原因,公开发表的介绍外置式换热器的设计方法和运行特性的文献资料也很少。而从已投运的外置式换热器来看,也出现过结焦、磨损、受热面超温、结构破坏等问题,以至影响整个循环流化床锅炉的运行。因此,研究开发一种独立技术的设计运行、调节控制简单可靠的外置式换热器,并通过冷、热态试验和理论分析,提出

外置式换热器的设计原则和方法,全面指导外置式换热器的设计和运行,促进我国大型循环流化床锅炉的开发研制是十分必要的。

1 外置式换热器试验研究

目前,国外 EHE 设计大多数采用机械阀进行物料的分流和调节控制,这种方法调节精确度高,但结构和制造很复杂,而且是专利技术。为此,浙江大学提出采用非机械调节方式即气力调节方式,通过改变 EHE 及返料装置的充气量来调节进入返料机构和外置式换热器的高温物料量,从而调节外置式换热器的运行参数及吸热量。因此,在本文的研究中,外置式换热器和返料机构的联运方式就显得很重要。为此提出了叠置式和并置式 2 种布置方案,并分别进行冷态试验研究。所谓叠置式,就是负责传热的 EHE 与负责物料分流的返料机构在空间高度上相互叠置,如返料机构放在 EHE 的上方;相应地,在并置式方案中,EHE 与返料机构大致处于同一高度上。2 种布置方案示于图 1 和图 2。

冷态试验研究表明:2 种布置方案都能完成循环物料的分流,并且通过调节外置式换热器和返料装置的充气量或结构参数,可以实现物料分流比例的调节。

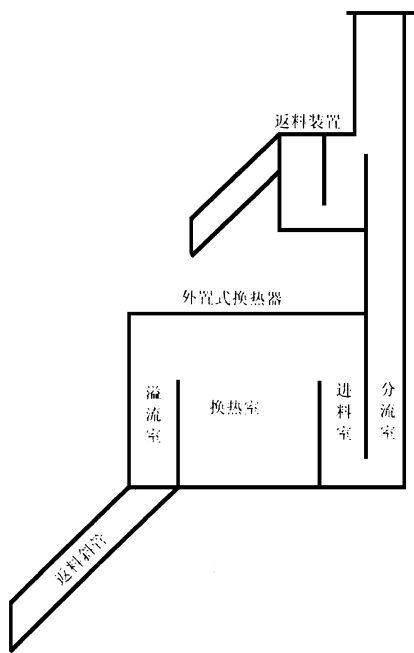


图 1 外置式换热器叠置式布置图

为了进一步了解 EHE 及与其联动的返料装置的流动和传热特性,浙江大学还在 1 台自行开

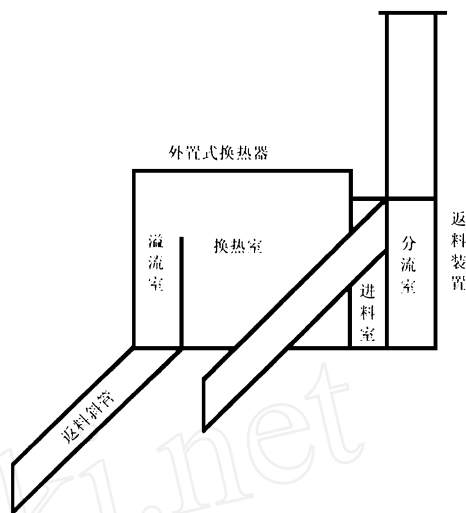


图 2 外置式换热器并置式布置图

发设计的 75t/h CFB 锅炉^[11]外置式换热器上进行了热态试验。试验研究表明 EHE 和返料装置的配风可起一定的物料分流和调节作用: EHE 内传热系数可达 $300 \sim 450 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, EHE 具有良好的传热作用;同时还观察到 EHE 对锅炉负荷和燃烧室床温有很好的调节作用。

2 外置式换热器设计原则和方法

EHE 布置在高温物料回路中,既要完成传热任务,又要保证循环物料的顺利返料,同时又要参与燃烧室与受热面工质的调温过程,所有这些决定了 EHE 设计及运行的复杂性。本文在冷态、热态试验研究及 75t/h CFB 锅炉设计和运行经验基础上,针对叠置式与并置式 2 种 EHE 设计方案,提出 EHE 的设计原则和方法。

EHE 的设计应考虑以下几个方面:

- EHE 的物料分流及调节方法:能够实现循环物料的分流及调节 EHE 正常运行的基础环节,也是保证实现 EHE 诸多功能的关键。

- EHE 的热负荷匹配:即 EHE 内受热面吸热量占锅炉总吸热量的比例,这是决定 EHE 内受热面布置和 EHE 结构的前提,也是影响 EHE 运行的重要因素。

- EHE 内受热面的布置: EHE 内受热面的布置方式、结构特性、固定方式将直接影响 EHE 的阻力特性、传热特性、磨损特性及安全稳定的运行。

- EHE 的结构设计: EHE 结构十分复杂,包括分流室、进料室、换热室、溢流室和返料斜管,只有保证所有结构设计的合理性,才能保证 EHE

的正常运行。

· 布风装置的设计: 充气量的大小一方面取决于物料的性质和 EHE 的结构设计; 另一方面取决于布风装置的阻力特性。良好的布风可以避免 EHE 内存在停滞和死区, 同时还可以顺利调节进入 EHE 的循环物料量, 因此布风装置也是 EHE 正常运行的关键。

· 风量和风压的确定: 无论是采用单独风机作为 EHE 的风源, 还是采用主床共用同一风源, 风压和风量的选取都是十分重要的。

· 与 EHE 联运的返料装置设计: 无论采用叠置式还是并置式方案设计, EHE 的物料分流及调节是通过与之联动的返料装置实现的, 所以该返料装置必须具有良好的起动和运行调节特性, 由于这些返料装置如 Loop Seal 等的设计已十分成熟, 因此, 本文中不详述有关的情况。

2.1 EHE 物料分流和调节的原则和方法

实际上, EHE 对燃烧室温度及 EHE 内受热面工质温度的控制和调节实际上是通过控制进入 EHE 和返料装置的循环物料量比例来实现的。高温循环物料被分离下来进入返料立管后, 在分流装置的作用下, 一部分进入 EHE, 完成换热后以低温灰形式返回燃烧室; 另一部分则进入返料装置, 以高温灰形式返回燃料室。通过控制低温灰和高温灰的比例控制燃烧室温度及 EHE 内受热面工质温度, 因此保证循环物料分流并对分流量充分控制和调节是实现 EHE 调温手段的前提。

在本文提出的叠置式 EHE 设计方案中, 采用分流挡板和气力调节相结合的方法进行物料分流和调节。即循环物料经分流挡板预分流后, 一部分进入返料装置, 另一部分进入 EHE。这是一种粗分流手段, 然后通过调节返料装置流化风和 EHE 流化风以及侧吹风对循环物料量进行细分流。在并置式方案中, 是利用水平孔口阻力特性和气力调节相结合的方法进行物料分流和调节的。高温循环物料由返料立管进入分流室, 然后经水平孔口分别流入 EHE 进料室和返料装置的返料室。根据冷态试验结果和理论分析我们知道, 水平孔口阻力与水平孔口的面积有关, 所以我们对 EHE 进料室和返料装置返料室的水平孔口面积采用不同的比值, 这样就决定进入 EHE 和返料装置的循环物料量的比例, 这也是一种粗分流手段; 然后再通过气力调节方式, 调节 EHE 流化风和返料装置流化风对循环物料比例进行细分流。

2.2 EHE 内热负荷匹配原则

EHE 用来吸收循环回路中的一部分热量以保证最佳的燃烧室温度和过量空气系数。EHE 热负荷即 EHE 内受热面吸热量占锅炉总吸热量或循环回路吸热量的比值, 一般与燃料种类、锅炉容量及炉内受热面布置有关。

物料的种类不同, 其燃烧和脱硫特性也不同, 高硫煤如石油焦须在 850℃ 左右燃烧才能达到最佳的脱硫效果; 而低硫低反应活性的煤种如无烟煤屑, 应运行在较高的温度和过量空气下才能达到较高的燃烧效率。因此, 燃料特性决定了炉膛最佳燃烧温度, 从而也确定了离开炉膛的热量份额。而对于不同燃料, 烟气在同一温度下离开炉膛时带走的热量份额不同, 燃用劣质燃料如废木料时烟气将近 60% 的燃烧热带进对流烟道; 而燃用优质燃料, 如烟煤时烟气仅将 40% 左右的燃烧热带进对流烟道。因此, 不同燃料, 循环回路中吸收的热量份额也不同, 为保证最佳的燃烧、脱硫温度和过量空气系数, EHE 在循环回路中吸收的热量份额即热负荷也不同。燃用优质燃料时, EHE 热负荷高一些, 燃用劣质燃料时则低一些。

锅炉容量对 EHE 热负荷的影响主要表现在随着锅炉容量的变化, 锅炉蒸汽参数不同, 从而引起 EHE 热负荷的变化。如高参数锅炉, 其蒸发吸热量减少, 则循环回路中炉膛水冷壁吸热量较小, 为保证稳定的炉内温度, 必须增加 EHE 的吸热量; 反之, EHE 吸热量减少。

炉内受热面的布置直接影响 EHE 热负荷, 如前所述, 炉内受热面增多, 则循环回路中炉内吸热量增多, 而 EHE 吸热量减少。所以对于 M SFB 型锅炉, 由于其炉内受热面(水冷壁)布置得很少, 所以其 EHE 热负荷通常较高。

一般来讲, EHE 热负荷不能太大, 否则易于引起燃烧室内温度和物料流动的波动, 而且造成 EHE 结构庞大, 占地面积大, 不利于锅炉的总体布置; 同时, EHE 热负荷也不能太小, 否则 EHE 的调节效果不明显, 不利于床温和汽温的控制。

2.3 EHE 内受热面布置原则和方法

EHE 内布置的受热面通常有省煤器、蒸发受热面、过热器和再热器。对非再热机组, EHE 内通常布置省煤器/蒸发受热面和过热器; 对于再热机组, EHE 内一般布置末级再热器和过热器, 流经末级再热器的物料用来控制再热蒸汽温度, 流经过热器的物料用来控制燃烧室温度。当 EHE 内

布置有不同种类的受热面时,应用分隔墙分隔出不同床温的分床,以达到最佳的传热效果。分隔墙上应开有压力平衡孔,以保证各床之间的压力均衡,减少波动,增加流动的稳定性。

EHE 内受热面种类及其热负荷确定以后,根据能量平衡确定各个分床的床温,即进口循环物料带入的热量+ 流化空气带入的热量= 受热面工质吸热量+ 循环物料带走的热量+ 流化空气带出的热量。

EHE 内传热系数目前尚没有成熟的计算方法, W erdemann 和 W erther^[5]等推荐外置式换热器换热室内的传热系数可以采用常规鼓泡流化床的传热系数方法进行计算,即床层与受热面的总传量可以采用下式计算:

$$q = KA_h(T_b - T_0) \quad (1)$$

其中
$$K = \frac{1}{\frac{r_0}{r_i h_i} + \frac{r_0 \ln(r_0/r_i)}{\lambda} + \frac{1}{h_2}} \quad (2)$$

受热面外侧的放热系数 h_2 受很多因素的影响,如床层温度、流化速度、固体颗粒粒等,我们推荐可以采用 A ndeen 和 G licksm an 的公式^[4]计算:

$$h_2 = 900(1 - \epsilon) \frac{\lambda_g}{2r_0} \left[\frac{2u_g r_0 \rho_0}{\mu} \frac{\mu^2}{d_p^3 \rho_p^2 g} \right]^{0.326} P_1^{0.3} + \frac{\sigma(T_b^4 - T_s^4)}{(1/\epsilon_b + 1/\epsilon_s - 1)(T_b - T_s)} \quad (3)$$

其中: $\epsilon_b = 0.5(1 + \epsilon_p)$

若管内流动的工质是过热蒸汽和空气,则管内侧表面的传热系数 h_1 ,与管外侧的传热系数 h_0 相当,可按常规方法计算。

若管内工质为水,如蒸发受热面或省煤器,则 h_1 约比 h_2 大一个数量,从而上式中分母的第一项可以忽略了。

传热系数确定以后,根据受热面工质参数,计算受热面面积,确定受热面的结构尺寸。埋管受热面的横、纵向节距也是十分重要的参数,直接影响 EHE 的传热和阻力特性。

受热面管束的固定是一个比较关键的问题。由于受热面管束浸泡在鼓泡流化床中,要受到床料的冲刷和脉冲力的作用,在高温区域受热面还有很大的膨胀量,在设计时必须给予足够考虑。在国外的循环流化床锅炉中,EHE 在运行中就出现过振动、夹持元件脱落等问题,造成受热面磨损和泄漏,影响了机组的正常运行。

EHE 受热面可采用悬吊结构。每片受热面蛇形管束之间焊有小块扁钢,使之在纵向方向上构成一个“钢体”;在横向方面上,每 5 片蛇形管用梳形钢板焊到一起,使之成为刚性较强的整体,然后焊到吊挂管上。整个受热面通过吊挂管穿过 EHE 顶棚连到受热面集箱上,然后悬吊在固定梁上。

2.4 EHE 结构确定原则

EHE 共包括分流室、进料室、换热室、溢流室和返料斜管等部分,主要是由受热面结构和返料立管结构确定的。所有这些仓室的内壁均应衬有耐磨和保温材料,以保证 EHE 的防磨和安全的外壁温度。

EHE 的每个仓室下部开有排渣管,保证事故状态下排掉循环物料,或排掉脱落的大块耐磨材料,以免结焦。

EHE 各仓上部开有加料口,以在启动前向 EHE 各仓室内填加物料,避免炉膛烟气短路。

EHE 上还开有人孔,供事故检修用。

EHE 荷载十分庞大,应用采支撑结构。

由于 EHE 与炉膛、分离器的膨胀方向不同,它们之间存在着三向膨胀差,所以必须在它们之间的连接处加设三向膨胀节。

2.5 EHE 布风装置的设计原则

EHE 所采用的布风装置与目前流化床锅炉采用的布风装置基本上是相同的,具体结构设计在这里就不介绍了。布风装置的设计应保证 EHE 底部的充气均匀地分布,保证固体颗粒能均匀地从分流室向进料室和换热室传输以及换热室内良好的流化,避免出现停滞和死区。

为保证 EHE 各仓室的调节性能,各仓室应采用独立配风方式,即 EHE 分流室、进料室和换热室均有各自的风室和布风板。正常运行时,通过调节各仓室及返料装置的配风量来调节进入各仓室和返料装置的循环物料量。

2.6 EHE 风量与风压的确定

EHE 的送风量 Q_e 由 3 部分组成:即分流室风量 Q_f 、进料室风量 Q_j 及换热室风量 Q_{ho} 。可根据实际运行温度下循环物料中最大颗粒的最小流化速度和 EHE 仓室的截面积计算出最小流化风量 Q_{mf} ,考虑到实际运行时通过改变充气量去调节循环物料量,所以 EHE 运行总风量一般为最小流化风量的 (2~5) 倍,即:

$$Q_e = (2 \sim 5) Q_{mf} \quad (4)$$

在计算风机的送风量时,最小流化风量应折

算成常温下的临界风量 Q'_{mf} 。另外, EHE 启动时要克服一定的阻力, 风机的风量选择应当留有一定的富裕量, 这样实际风机风量的选取可在常温下的临界风量的 (3~5) 倍, 即:

$$Q_{sj} = (3 \sim 5) Q'_{mf} \quad (5)$$

风量与风压是相辅相成的, 风源的风压选择过低, 所提供的风量和压头不足, 使 EHE 无法正常工作。若风源风压过高, 虽然能够提供足够的风量, 但过高的压力将使返料立管内的循环灰流化, 这样就无法通过充气量去调节和控制固体颗粒循环量的大小。

考虑到返料立管负压差移动床所能提供的最大压降, 即最小流化时的压降, 风源提供的风压应满足下列条件:

$$P_2 < \Delta P_{bf2} + \rho_p (1 - \epsilon_{mf}) gh \quad (6)$$

式中 h —— 返料立管内料位高度, m

同时为保证 EHE 进料室和换热室处于流化工作状态还应保证下面条件成立:

$$P_2 > \Delta P_{bf2} + \rho_p (1 - \epsilon_{mf}) gh_2 \quad (7)$$

另外, 考虑到循环系统的压力平衡特性, 还需要考虑主床循环灰入口的位置以及立床的阻力特性, 图 3 为循环系统运行机理简图。

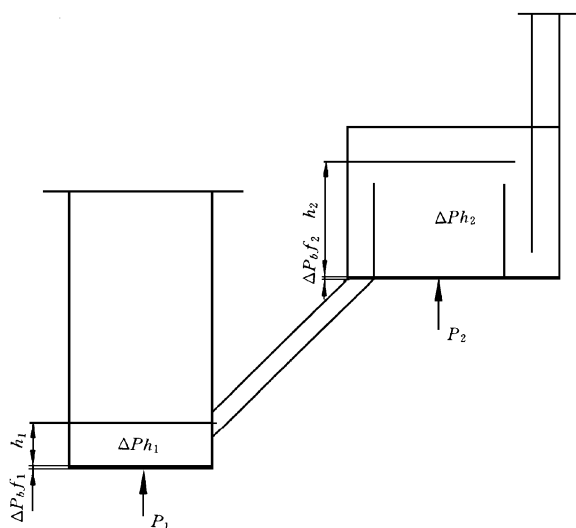


图3 循环系统运行机理简图

因此, 为保证 EHE 返料顺利通畅, 风源压头还应满足下列条件:

$$P_2 \geq P_1 - \Delta P_{bf1} - \Delta P_{bf2} + \Delta P_{h2} \quad (8)$$

$$\text{其中: } \Delta P_{h1} = \rho_p (1 - \epsilon_1) gh_1 \quad (9)$$

$$\Delta P_{h2} = \rho_p (1 - \epsilon_2) gh_2 \quad (10)$$

EHE 及与之联动的返料装置可共用 1 台风机, 因此在风机风量的选择上还要考虑返料装置

所需的风量。

3 EHE 设计实例

为推动我国大型循环流化床锅炉技术的发展, 哈尔滨锅炉有限责任公司开发设计了带再热的 420t/h CFB 锅炉, 在该锅炉设计中采用了与浙江大学联合开发的外置和并置式换热器。根据上述设计原则和方法, 浙江大学对该外置式换热器进行了设计。为方便 CFB 锅炉的总体布置, EHE 本体与返料机构间采用了叠置和并置式 2 种布置方案。在 2 个布置方案中, EHE 本体分为 2 部分, 按锅炉中心线对称布置, 每个 EHE 与一个分离器下料管相连。EHE 换热室由分隔墙分成 3 部分, 分别布置二级过热器冷段、二级过热器热段和末末再热器。下面给出基础设计参数和设计结果:

(1) 基础设计参数

EHE 进口灰温	920 ℃
EHE 进口返灰量	960t/h
二过工质流量	415t/h
二过工质进口温度	362 ℃
二过工质出口温度	463 ℃
末级再热器工质流量	341t/h
末级再热器工质进口温度	465 ℃
末末再热器工质出口温度	540 ℃
EHE 进口风温	250 ℃

(2) 设计结果

EHE 热负荷	21.06%
EHE 表观气速	0.5m/s
EHE 换热室床温	
二级过热器冷段仓室	790 ℃
二级过热器热段仓室	600 ℃
再热器仓室	600 ℃
EHE 总风量	31515m ³ /h
	(标准状态)

4 结论

本文在冷、热态试验研究的基础上, 给出了 CFB 锅炉 EHE 的设计原则和方法, 并将之应用到 420t/h CFB 锅炉的具体设计工作中。可以得到这样的结论:

(1) 本文提出的非机械分流方法能够实现对高温循环物料的分流和调节控制;

(2) 本文提出的 EHE 及其联动的返料装置

之间的叠置式和并置式布置方案能够满足锅炉总体布置和设计要求;

(3) 利用该设计该原则和方法能够对 CFB 锅炉的 EHE 进行设计, 并能够满足锅炉设计和运行要求。

符 号 说 明

A_h —埋管受热面积, m^2

T_b —床温, K

T_0 —工质温度

K —EHE 换热室总传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

h_1 —管子内侧换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

h_2 —管子外侧换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

r_0 —受热面管子外径

r_i —受热面管子内径, m

σ —斯蒂芬·波尔兹曼常数, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

T_{bs} —外置换热器床层温度

T_s —外置换热器管壁温度

u_g —床层的空截面风速, m/s

ϵ —床层空

e_h —床层的

e_s —管壁的

e_p —床料的黑度

Q_e —EHE 送风量, m^3/s

Q_f —EHE 分流室送风量, m^3/s

Q_j —EHE 进料室送风量, m^3/s

Q_h —EHE 换热室送风量, m^3/s

Q_{mf} —EHE 最小流化风量, m^3/s

Q'_{mf} —EHE 常温下的临界风量, m^3/s (标准状态)

Q_{sj} —实际风机风量, m^3/s (标准状态)

h —返料立管内料位高度, m

P_1 —主床风室压力, Pa

ΔP_{bf1} —主床布风板阻力, Pa

ΔP_{bf2} —EHE 布风板阻力, Pa

ρ_p —循环物料密度, kg/m^3

h_1 —主床循环物料返料口至主床布风板的高度, m

h_2 —EHE 溢流口中心线至布风板的高度, m

ΔP_{h1} —主床循环物料入口以下部分的床层压降, Pa

ΔP_{h2} —EHE 换热室压降, Pa

ζ_{mf} —返料立管临界空腔率

ζ_1 —主床循环灰入口下部床层空腔率

ζ_2 —EHE 床层空腔率

参 考 文 献

- [1] 岑可法, 倪明江, 骆仲泐, 严建华, 池涌, 李绚天, 程乐鹏等. 循环流化床锅炉的理论设计和运行. 1995
- [2] 倪晓辉, 东方·福斯特·惠勒. 大型循环流化床锅炉的技术特点. 东方锅炉, 1995(1): 1~8
- [3] 牛天况. 300t/h 燃煤、油和气的三井循环沸腾床锅炉的经验锅炉技术, 1994(5): 1~10
- [4] 巴苏 P, 弗雷泽 SA 著. 循环流化床锅炉的设计和运行. 1994
- [5] Kevan Rliey, David Thimsen. TNP-ONE: Three years of Commercial CFB Operation. Proceeding of the 12th Int. Conf On CFB, 1993: 389~396
- [6] Lucat P, Jaud P. Utility-Type CBF Boilers: 250Mwe And Beyond. Proceeding of the 12th Int. Conf. On CFB, 1993: 9~15
- [7] Cord C Werdeinan, Joachim Werther. Solids Flow Pattern And Heat Transfer In An Industriant-Scale Fluidized Bed Heat Exchanger. Proceeding of the 12th Int. Conf. On CFB, 1993: 985~990
- [8] Beisswenger H, Darling S, Plass l, Wechsler A. Burning Multiple Fuels And Following Load In Lurgi/Combustion Engineering Circulating Fluidized Bed Boiler. Proceeding of the 9th Int. Conf. On CFB, 1987: 619~638
- [9] Terence R, Ake, Vijay B, Dixit, Ralph K, Mongeon. High performance test results from riley stoker's advanced CFB pilot scale facility. Proceeding of the 12th Int. Conf. On CFB, 1993: 81~92
- [10] 周一工. 循环流化床锅炉外置式换热器问题. 东方锅炉, 1998(2): 28~36
- [11] 王勤辉, 骆仲泐, 方梦祥, 李绚天, 倪明江, 岑可法. 循环流化床锅炉旋风分离及回送的热态试验研究. 动力工程, 1998, 18(1): 48~53

第一作者简介 骆仲泐, 1982 年 7 月毕业于浙江大学物理工程系, 1990 年 12 月在浙江大学能源工程系获工学博士学位, 1994 年晋升为教授、博士生导师。现为浙江大学热能工程研究所常务副所长, 国家教育部洁净燃烧技术开发研究实验室主任, 中国动力工程学会理事。共获各类科技成果奖 12 项, 其中中科院科技成果一等奖 1 项, 国家教育部科技进步二等奖 2 项, 三等奖 1 项, 省科协优秀论文奖 24 项, 获浙江省优秀教学成果一等奖, 国家优秀教学成果二等奖。在国内外杂志和会议上发表论文 203 篇, 出版译著 1 部, 专著 2 部。

ABSTRACT

Luo Zhong-yang (Hangzhou, Zhejiang University), **Zhang Yan-jun**, **Wang Qing-hui**, **Zhou Jin-song**, **Fang Meng-xiang**, **Ni Ming-jiang**, **Cen Ke-fa**, **Li Wen-jiang** **Design Method of Extended Heat Exchanger for CFB Boiler** *Power Engineering*, 1999, 19(3): 1~6

Extended Heat Exchanger (EHE) has been paid more attention in scale-up of circulating fluidized bed boiler. The characteristic and application state of EHE was surveyed briefly in this paper. The principle and approach of EHE was investigated based on experimental results in the cold EHE models and EHE of 75t/h CFB boiler. Finally, an EHE for 420t/h CFB boiler is designed using these methods. Figs 3 and refs 11.

Zhou Yue-gui (Xi'an, Xi'an Jiaotong University), **Dou Wen-yu**, **Zhou Qu-lan**, **Xu Tong-mo**, **Hui Shi-en** **Experimental Research on the Influence of the Furnace Arch on Velocity Deviation in Flue-Gas Channel of Tangentially Fired Boiler** *Power Engineering*, 1999, 19(3): 7~10, 24

Cold modeling test is done in the model of tangentially fired boiler of 600MW unit and the influence of different arch structures on velocity deviation in flue-gas channel is systematically researched. The results show that there is large velocity deviation in original arch structure of boilers. Based on original arch structure, new arch structure is put forward and it may obviously meliorate non-uniformity of flow field in flue gas channel. It provides valuable scientific experimental data for solution of velocity deviation in flue gas channel of large scale tangentially fired boiler and gives reference to the design and retrofit of boilers. Figs 2, tables 3 and refs 5.

Wang Qin-hui (Hangzhou, Zhejiang University), **Luo Zhong-yang**, **Fang Meng-xiang**, **Ni Ming-jiang**, **Cen Ke-fa** **Experimental Research for Characteristics of Fluid Dynamics and Combustion in a Circulating Fluidized Bed Boiler Furnace** *Power Engineering*, 1999, 19(3): 11~17

To expect better understanding of the characteristics of the fluid dynamic and combustion of circulating fluidized bed (CFB) boiler, measurements at a 12MW CFB boiler were made to determine some operating parameters in the furnace such as solid flow rate, particle size distribution, carbon content in particles and distributions of O₂, CO, H₂ and CH₄. The results not only gave a verification for the typical characteristic obtained in previous researches, but also show a lot of new features and obtained further understanding of the complex processes in CFB boiler furnace. Figs 15, tables 3 and refs 8.

Jing You-yin (Baoding, North China Electric Power University), **Chen Hai-ping**, **Wang Bao-sheng**, **Qing Yu-xiang**, **Han Hong-chai** **Application and Research on Stabilized Combustion Technology of Concentrated and Thin Phases Pulverized Coal Ellipse Drill Body** *Power Engineering*, 1999, 19(3): 18~19, 64

Based upon studying sufficiently pulverized coal burning principle, the stabilized combustion performance and stabilization technology some burners newly developed at home and imported from abroad are analyzed. A new type concentrated and thin phases pulverized coal ellipse drill body burner with low load stabilized combustion and direct firing of pulverized coal with less oil is put forward and developed. Figs 4 and refs 3.

Fan Wei-dong (Harbin, Harbin Institute of Technology), **Gao Ji-hui**, **Lin Zheng-chun**, **Sun Shao-zeng**, **Wu Shan-hua**, **Qin Yu-kun** **Experiment and Numerical Simulation Study about Gas-Solid Flow in the Louver Pulverized Coal Concentrator** *Power Engineering*, 1999, 19(3): 20~24

The mature turbulence and particle trajectory models have been applied to calculate gas-solid flow in the louver pulverized coal concentrator, and combining with experiment, a lot of analyse and research works were done in this paper. Simultaneously, plenty of gas and particle movement features and separation mechanisms in the louver were put forth. Comparison of the calculation results with the experiment reveals good agreement. The conclusions obtained by calculation and experiment in