

水泥窑余热锅炉窄点温差

于治民 高吉国

(哈尔滨锅炉责任有限公司)

〔摘要〕 本文论述了水泥窑余热锅炉内加热介质和受热介质间温度窄点的特性,推导出计算水泥窑余热锅炉蒸发量和锅炉内各段热力参数的简便方法。

关键词 水泥窑余热锅炉 窄点温差

分类号 TK229.929

0 前言

水泥行业工艺过程的余热利用,是“九五”期间国家节能工作的重点。而利用余热锅炉生产一定品位的蒸汽和热水,是余热利用最有效的方式。余热锅炉在设计过程中,最关键的技术问题是在给定的条件下,如何选择余热锅炉的参数及合理配置余热锅炉内各换热区段的热力参数,以保证余热锅炉结构设计的合理性。

笔者在实践中,发现窄点,即:蒸发受热段中加热介质和被加热介质间最小温度的差值是解决上述问题的最重要的热力参数。在水泥窑余热锅炉的设计中,尤其是中、低温余热烟气的利用,窄点对锅炉参数的选取,锅炉内各区段热力计算均起着决定性作用。因此,有必要对水泥窑炉窄点进行分析,并在此基础上,总结出简便的水泥窑余热锅炉热力参数计算方法,作为水泥窑余热锅炉设计,锅炉内部热力区段的划分和受热面布置的依据。

1 热力过程曲线和窄点

图 1 为余热锅炉烟气温度和受热介质(水或水蒸气,下同)的温度变化过程曲线。纵座标表示温度,以 θ 表示加热介质温度, t 表示受热介质温度;横座标表示受热介质热力过程的状态变化。以水为受热介质的余热锅炉,0~1 为省煤器区段,1~2 为蒸发区段,2~3 为过热器区段。在进行方案比较中,横座标也可以表示各段受热面的吸热量。各段之和则代表受热介质的总吸热量。图 1(a) 表示具有沸腾式省煤器(或饱和蒸汽直流水型)余热锅炉的热力过程曲线;(b) 表示带非沸腾式省煤器和过热器的余热锅炉热力过程曲线;(c) 表示带沸腾式省煤器(或直流锅炉)和过热器的余热锅炉热力过程曲线。

在图 1 曲线中,通常用“1”线处的温差即: $\Delta t = \theta - t_1$ 表示窄点的数值,为规范起见,确定用 Δt_c 表示窄点,即:

$$\Delta t_c = \theta_2 - t_2 \quad (1)$$

式中: θ_2 —蒸发受热段加热介质温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_2 —被加热介质在该工作点压力下的饱和温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

收稿日期 1996-02-16 定稿日期 1996-04-28

本文联系人 于治民 男 1947 年生 工程师 150040 哈尔滨市动力区大庆路 17 号

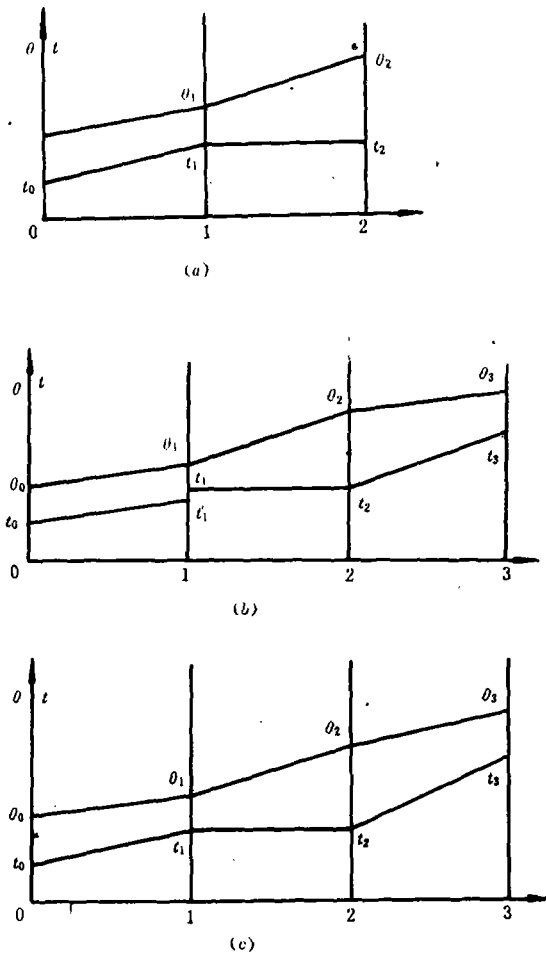


图1 热力过程与窄点的关系

通常在设计过程中将窄点定义为经济允许的最小温差,早期为 50℃,后降至 30℃。由于能源调价和扩展受热面应用,窄点值在不同受热面形式中具有不同的数值,目前在海外采用翅片管(圈片管)受热面时, $\Delta t_c = 120^\circ\text{C}$ 。由图 1(b)、(c) 曲线可以看到在“3”线处存在另一个“窄点”,即:过热蒸汽和加热介质的最小温差。在设计带有过热器的水泥窑余热锅炉时,该“窄点”数值的选取,同样有着重要的作用。笔者认为可参照循环流化床锅炉推荐数值进行设计。因为进入循环流化床锅炉的过热器区段的烟温约在 800 —

900℃ 之间,与余热锅炉过热器区段的工作状态相类似。根据循环流化床锅炉的资料中推荐,该温差不应小于 38℃,因此在水泥窑余热锅炉设计中,该温差取为 38℃ 是合适的。

2 窄点和余热锅炉的温度区段

余热锅炉中合理划分温度区段,是布置余热锅炉受热面,最大限度利用余热的基础。设计时,通常余热锅炉入口烟温是给定的,但是,对排烟温度的要求,往往根据用户的需求有两种情况:一种是限定排烟温度,低于或高于某一数值(或在某一个范围之间);另一种是 unlimited 排烟温度,只要求锅炉合理范围内最大限度利用余热。

2.1 分析图 1 曲线时会发现,当不考虑排烟温度要求时,可令: $\Delta t_c = 0$, 即: $\theta_2 = \Delta t_c$ (或 $\theta_2 = t_0$)。此时,蒸发段和过热器段吸热量达到最大值,余热锅炉的蒸发量也达到最大值 (D_{\max}),其计算公式如下:

$$D_{\max} = \frac{(I' - I'_2) \Phi V^\circ}{I'_g - I'_e} \quad (2)$$

式中: D_{\max} — 锅炉最大蒸发量, kg/h;

I' — 锅炉入口烟温下烟焓, kJ/(Nm³);

I'_2 — 当 $\Delta t_c = 0$, 即: $\theta_2 = t_0$ 时蒸发段 θ_2 点处饱和温度时烟焓 kJ/Nm³;

Φ — 保温系数,一般取 0.97 左右;

V° — 进入锅炉原始烟气量, Nm³/h;

I'_g — 锅炉出口处蒸汽焓, kJ/kg;

I'_e — 进入蒸发段的水焓, kJ/kg。

保温系数, Φ 为 0.97 是完全可以达到,其对应的散热损失 q_s 在 1.8 — 2.4 范围变化,对锅炉热力计算和效率影响较小,对以后的计算影响也不大。

2.2 实际上在设计水泥窑余热锅炉时必须使 $\Delta t_c > 0$, 这是因为排烟温度要受到传热环境和用户工艺的限制。因此锅炉蒸发量计算有两种方法:

2.2.1 按排烟温度计算锅炉蒸发量的公式为:

$$D = \frac{(I' - I'_{pv})\Phi V^{\circ}}{I'_{pv} - I'_{pw}} \quad (3)$$

式中: D — 锅炉蒸发量, kg/h;

I'_{pv} — 要求排烟温度下烟焓, kJ/(Nm³);

I'_{pw} — 锅炉给水焓, kJ/kg;

其余与式(2)符号一致。

2.2.2 按窄点计算锅炉蒸发量的公式为:

$$D = \frac{(I' - I_z)\Phi V^{\circ}}{I'_{pv} - I_z} \quad (4)$$

式中: I_z — 烟温为 θ_z 时的烟焓 kJ/(Nm³); 其余与式(2)符号一致。此时, Δt_z 应按锅炉受热面合理布置来选取。按式(4)计算出锅炉蒸发量后, 按下式计算以式(4)计算条件下的排烟温度对应的烟焓 I'_{pv} :

$$I'_{pv} = I' - \frac{D(I'_{pw} - I'_{pw})}{\Phi V^{\circ}} \quad (5)$$

式中: I'_{pw} — 为给水焓, 其他符号与式(2)、(3)、(4)一致。

由 I'_{pv} 值按烟气焓温表可查出排烟温度 θ_{pv} , 按式(3)、(4)、(5)可计算出不同的锅炉蒸发量及排烟温度, 根据用户要求选择采用值。由于按式(4)计算出的锅炉蒸发量选用经济条件下的最小窄点, 其得出的蒸发量 D 是锅炉经济条件下最大蒸发量, 由此计算的排烟温度是经济条件下的最低排烟温度。所以当用式(4)计算的蒸发量小于按式(3)计算的蒸发量时, 应按式(4)值进行热力参数计算, 排烟温度也应按此式计算。

根据式(3)、(4)、(5)的计算结果, 参照锅炉热力计算公式, 可以很方便地计算出锅炉效率和各区段的加热介质和受热介质的进出口温度及对应焓。在确定余热利用的设计方案时, 用本方法可以计算出不同方案的热

力参数值, 可供方案比较和分析用。在具体布置余热锅炉受热面时, 也应以此方法得到的计算值作为设计、计算依据。在布置受热面时, 由于结构上的原因, 对用此方法得出的计算值应做调整。当积累一定经验后会发现, 用该方法计算的热力数据与具体设计时的计算数据多数都相符合。

通常水泥窑余热锅炉入口在烟温均为 650° 以上, 锅炉受热介质为中、低压参数。当工程上对排烟温度没有低限要求时, 采用式(3)计算, 结果也能满足要求。但当余热锅炉入口烟温低于 650° 时, 则应用式(3)、(4)、(5)中的计算结果, 综合分析后再选取各热力参数。

3 结束语

1 用本方法计算出的水泥窑余热锅炉热力参数适用于工程设计, 特别是在热源复杂时, 此方法可十分方便地计算出所要求余热锅炉的主要热力参数。

2 当采用较小窄点值计算水泥窑余热锅炉时, 用式(4)、(5)可计算出余热锅炉当入口烟温变化时的锅炉蒸发量和锅炉排烟温度的变化值。因为采用较小窄点值, 锅炉入口烟温变化对窄点值影响不大。当受热面不变时, 余热锅炉入口烟温提高, 锅炉蒸发量增加, 排烟温度降低; 当余热锅炉入口烟温降低时, 锅炉蒸发量减少, 排烟温度提高。本方法还可方便计算锅炉动态条件下热力参数变化。

3 用本方法可在锅炉受热面未布置情况下, 较精确的计算锅炉各热力数据, 可作为用户与水泥窑余热锅炉承制商和工程承包商报价的依据。 □

necessitates a test rig compatibility design. This paper gives a detailed description of the said design philosophy and process, and analyses the stage characteristics of the three-dimensional flow blade wheel, which provides a reliable basis for the uprating-oriented modification of the compressor. **Key words:** axial-flow test rig, centrifugal stage test, test rig compatibility test, multi-function stage characteristics.

电站锅炉汽温问题的现状及应采取的对策 = The Present Status of Utility Boiler Steam Temperature Problems and Some Countermeasures [刊, 中]/Liu Linhua, Yu Qizheng, et al. (Harbin Institute of Technology), Xu Wanli (Harbin University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -297~300

Some existing problems relating to utility boiler steam temperature are reviewed and the present status of steam temperature research in China presented with the future main direction of experimental research in this field being proposed. **Key words:** boiler, steam temperature, present status, countermeasures

宽调节比燃烧器空气动力场的数值模拟 = Numerical Simulation of the Aerodynamic Field of Wide-range Burners [刊, 中]/Liu Guisu, Chen Shiyong, et al. (Huazhong University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -301~304

A numerical calculation was performed of the aerodynamic field of a wide-range burner through the use of $k-\epsilon$ model. Obtained were the axial speed in the flow field, turbulent kinetic energy and the dissipation rate distribution of the said energy. The difference between the wide-range burner and a conventional one was compared and analyzed with calculation results being used to analyze the location of the wide-range burner bluff body and the effect of bluff body side width on the burner flow field structure. **Key words:** burner, numerical simulation

供热系统“单耗分析”模型 = “Unit Consumption” Model for a Heat Supply System [刊, 中]/Song Zhiping (North China Electrical Engineering University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, -1996, 11(5). -305~310

Starting with a simple outline of the “unit consumption analysis” theory and method proposed by the author a generalized model was set up for a modern heat supply system. With regard to this model the fuel unit consumption for boiler heat supply, electric heat supply and heat pump heat supply was calculated with a calculation formula for heat supply cost being given, which is readily applicable for specific engineering cases. **Key words:** heat supply, unit consumption, cogeneration, exergy saving, exergy

风水共冷式冷渣器的换热计算 = Heat-transfer Calculation of a Slag Cooler Cooled by Air and Water [刊, 中]/Zhao Guangbo, Zhu Qunyi, et al. (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -311

水泥窑余热锅炉窄点温差 = Heat Recovery Boilers for Cement Kilns and Their Pinch Temperature [刊, 中]/Yu Zhimin, Gao Jiguo (Harbin Boiler Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(5). -312~314

Key words: cement kiln heat recovery boiler, pinch point temperature