

自然循环锅炉启动过程中过热器超温机理的研究

(华北电力大学) 阎维平

摘要 根据热量平衡原理,提出了一种简单直观的计算分析方法对锅炉启动过程中的过热器超温的原因进行了分析和论证,其结论与实际测量结果一致。该结论揭示了锅炉启动过程中过热器超温的实质,对过热器超温机理的研究和提出解决过热器超温的措施有一定的参考价值。

关键词 锅炉 启动 过热器超温

中图分类号 TK227.7

1 前言

电站锅炉过热器超温爆管的原因十分复杂,如果排除管材材质、施工安装和违反规程的操作等原因,则应着重从锅炉设计和运行方式进行分析。目前,锅炉设计中的壁温计算方法已较完善,且偏保守,因此,计算结果较可靠。但是,在锅炉设计中通常仅进行额定负荷及额定压力参数工况下的壁温计算,低负荷校核计算通常也是在额定压力条件下进行的,一般不校核启动过程中的壁温。运行表明,在额定负荷及额定压力参数运行的条件下,计算与实测的壁温较为接近,较少发生超温现象。

对大型电站锅炉运行情况的调查和对国产 200 MW 超高压参数的自然循环锅炉的实际壁温测定的结果表明,过热器的金属壁温往往在锅炉的启动过程中的 60% ~ 80% 负荷范围内达到最高值,大大高于额定负荷正常运行时的壁温值。尽管由于启动中管内工质的压力较低而不会在启动过程中发生爆管,但是,持续一段时间的金属超温将严重损害过热器管金属的寿命,从而常在锅炉额定负荷运行中发生过热器的爆管,本文从热量平衡的原理出发,对锅炉启动过程中的过热器超温的原因进行了分析和论证,对研究解决过热器超温的措施有重要的理论意义和现实意义。

2 锅炉在启动过程中过热器超温现象

对华北某台国产 200 MW 超高压参数自然循环锅炉炉内若干点壁温测定的结果表明,锅炉过热器

的壁温在启动过程中逐渐升高,80% 负荷时的管壁温度最高达 640℃,而同一点的壁温在锅炉 100% 负荷时仅为 600℃。该台锅炉在运行中过热器爆管频繁,严重影响了机组运行的安全与经济性。文献 [1] 在某台 350 MW 亚临界锅炉的升负荷实验中也发现了类似的问题。

3 锅炉在启动过程中各有关参数的变化分析

在锅炉启动过程中,工质的压力和温度均由低向高逐渐变化,其中工质的温度将在压力仍较低时很快接近或达到额定参数,而工质的升压将经历整个启动过程,这一特点与锅炉的低负荷过热器管金属超温问题密切相关。

3.1 在锅炉启动过程中工质的蒸发及过热吸热份额的变化

根据水蒸气的特性,锅炉在启动的全过程中,随工质压力的升高,单位质量工质的蒸发吸热的份额由大至小,而过热吸热的份额由小至大发生显著变化。

3.2 金属蓄热量的变化

在锅炉升压的过程中工质的升温及金属受热面(包括炉墙)的蓄热升温都需要外来的热量。在锅炉的总蓄热能力中金属约占 15% ~ 35% [1]。炉膛水冷壁蒸发系统蓄热量的变化与管内工质的温度变化密切相关。对于水工质,其饱和温度与对应的饱和压力之间的关系可近似表示为:

$$t_b \approx 100 \sqrt[4]{P_b}$$

随饱和压力的增加,饱和温度开始时上升较快,随后逐渐放慢。因此,对锅炉水冷壁蒸发系统来说,在较低的压力时,所需金属蓄热量较大,而随压力的升高逐渐减小,当工质升至饱和温度后,随压力的升高,所需金属蓄热量也逐渐减小。

3.3 炉内辐射换热量的变化对炉膛出口烟温的影响

锅炉升负荷时,燃料量相应增加,炉内火焰温度场的形态和数值也将随之而变。炉内温度场的变化必然导致炉内辐射换热量的改变。但是,炉内辐射换热量的变化幅度并不等于燃料量的变化幅度,根据

收稿日期 1997-03-02 收修改稿 1997-08-20

本文联系人 阎维平 男 1955年生 教授 071003 河北保定

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

试验^[3], 炉内辐射换热量的变化率小于锅炉负荷的变化率。所以, 锅炉负荷增加时, 火焰平均温度的增长率大于辐射换热量的增长率, 炉膛出口烟焓必然增加, 炉膛出口烟温升高, 其规律见图 1 所示。

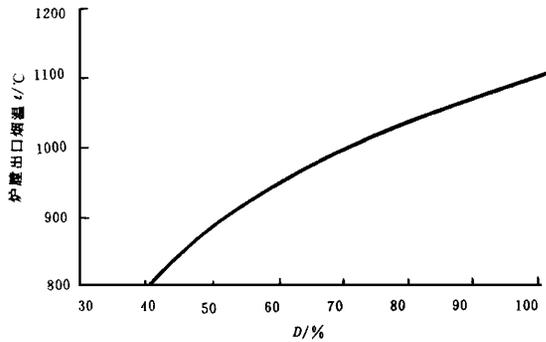


图 1 炉膛出口烟温随锅炉负荷变化的关系

4 锅炉在启动过程中过热器超温原因的分析

由以上分析可知, 在升压过程中, 工质蒸发吸热的份额由大至小的变化。所需的金属蓄热量在较低的压力时较大, 而随压力的升高逐渐减小。

因此, 在锅炉启动升温升压的低负荷范围内, 投入锅炉的燃料在炉膛里的放热量一方面用于工质的升温升压, 并且包括在较低压力范围内工质的蒸发吸热的份额较大所需的额外吸热量; 另一方面还用于金属的蓄热。所以, 为达到一定的产汽负荷所投入的燃料量, 必然会大于在相同负荷下锅炉按额定压力设计 (未考虑金属的蓄热) 时所需的燃料量。这一部分多出的燃料量对按额定压力设计的锅炉过热器受热面的吸热量将产生两方面的影响, 一方面, 当燃料量增大时, 离开炉膛进入对流传热区的烟气流量和烟温均将改变, 对流区内各处的烟速、烟温将发生变化, 传热系数 K 增大, 对流传热量增加; 另一方面, 炉膛出口烟温升高使辐射吸热量也有所增加, 而造成过热器受热面的吸热量增加, 再加之此时管内蒸汽质量流速仍偏低, 对管壁冷却较差, 使管壁温度升高。

5 计算分析方法及依据

为了验证以上的分析结果, 以某台国产 12.5 MW 420 t/h 超高压燃煤锅炉为例, 选定其对应的设计煤种进行了计算分析, 锅炉结构数据及煤质资料均从略, 详见文献 [4] 计算方法如下。

5.1 做出典型的自然循环锅炉的启动升压曲线 $P \sim D$, 图 2 为根据某台 12.5 MW 机组启动过程中的升压与升温曲线整理的锅炉压力随负荷变化的曲线。

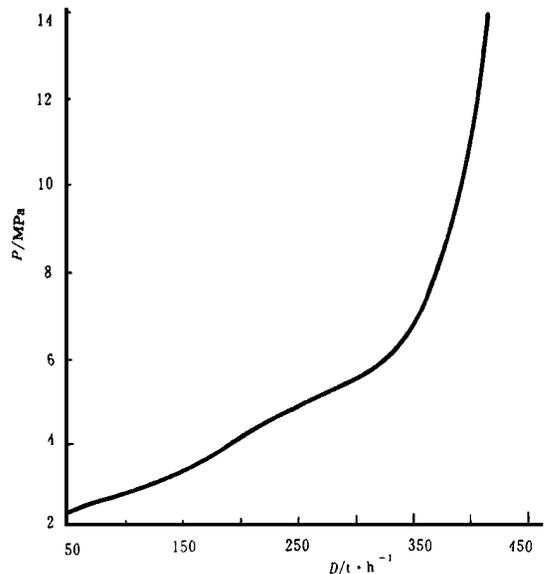


图 2 锅炉启动过程中压力与负荷的关系

5.2 沿 $P \sim D$ 曲线在一定负荷范围内选择一组 (P_i, D_i) , 计算在相应的工质压力和流量下的工质总蒸发吸热量 Q_{st} , 并考虑下降管工质的欠焓;

5.3 在不同的锅炉负荷下, 按图 1 所给出的炉膛出口温度计算相对于单位质量燃料在炉膛内的辐射吸热量 Q_r 对应于送入炉膛的计算燃料量 B_j 在炉膛内的总换热量应等于工质总蒸发吸热量 Q_{st} 与水冷壁蒸发系统的金属蓄热量 Q_{sr} 之和, 即:

$$Q_r \times B_j = Q_{st} + Q_{sr}$$

单位质量燃料在炉膛内的辐射吸热量 Q_r 按下式计算:

$$Q_r = h(Q - I_1)$$

式中, h - 保热系数;

Q - 送入炉膛的热量, kJ/kg;

I_1 - 炉膛出口烟焓值, kg/kg

由上式计算炉膛内的换热量 Q_r 时, 考虑了扣除前屏过热器与附加受热面所吸收的热量。

在锅炉的启动过程中, 不同负荷下的水冷壁蒸发系统的金属总蓄热量按以下方法近似估算: 按在额定负荷下计算水冷壁蒸发系统的金属总蓄热量, 将此部分热量在全负荷范围内按低负荷较大、高负荷较小的规律近似分配。本文根据文献 [2] 中的有关水冷壁蒸发系统金属总质量的数据并结合本算例估算得出, 这部分热量大致折合为额定负荷下单位时间内工质总蒸发吸热量的 2% ~ 4%, 并且, 启动过程越长, 该百分数越小。这也说明升温速率越快, 金属蓄热量的影响作用越大, 越易超温, 反之不易超温。这与文献 [1] 所得结论是一致的。

由该平衡式可得出实际送入炉膛的计算燃料量 B_j ;

5.4 另一方面, 按锅炉的设计条件, 在额定压

力下根据锅炉整体热平衡方程可计算得出在不同负荷下的计算燃料量 B_j ;

5.5 在相同的锅炉负荷下对 B_j 和 B_j' 两个计算燃料量进行比较,在锅炉启动过程中其差值 ($B_j - B_j'$) 的大小将反映过热器吸热量增加的幅度。

6 计算结果

图 3 为在不同锅炉负荷下,工质总的蒸发吸热

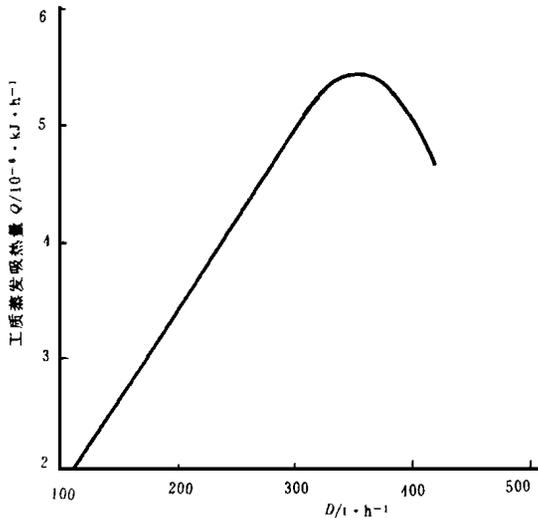


图 3 锅炉启动过程中工质蒸发吸热量随负荷变化的关系

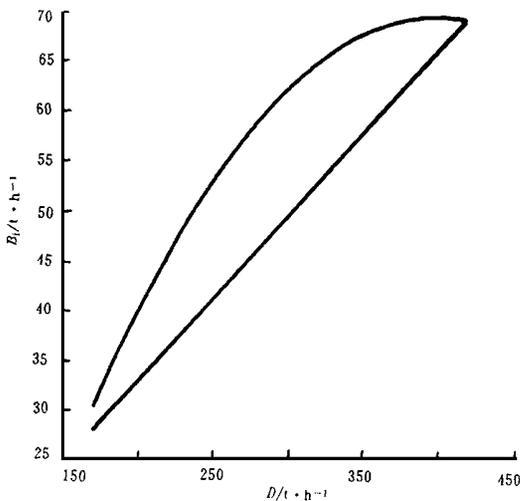


图 4 锅炉计算燃煤量随负荷变化的关系

B_j' - 锅炉启动过程中的计算燃煤量

B_j - 定压运行且不计蓄热的计算燃煤量

量在大约 80% 负荷时达到最高值,随后下降。

图 4 为在不同锅炉负荷下,由锅炉炉膛内的热量平衡式得出的实际送入的计算燃料量 B_j 与在额定压力下根据锅炉整体热平衡方程计算得出的计算燃料量 B_j' 的变化关系。在额定负荷及压力下由两种不同的热量平衡方法得出的计算燃料量十分接近,说明前者的计算方法是合理并可靠的。

由图 4 可见,随锅炉负荷的升高,二者间的差值逐渐增大,在 60% ~ 80% 负荷范围内达到最大,约多出 20% 左右的燃煤量,而且,在 80% 负荷附近范围内 B_j 甚至略大于额定负荷时的计算燃料量 B_j' 。

因此,由计算结果可知,在 60% ~ 80% 负荷范围内显著多出的这部分燃料量对过热器受热面吸热量的增加产生重要的影响,也就是锅炉在启动过程中过热器普遍发生超温现象的重要原因所在。

7 结论

计算和分析表明,在锅炉启动升温升压的低负荷范围内,实际投入锅炉的燃料量大于在相同负荷下锅炉按额定压力设计时所需的燃料量,在 60% ~ 80% 负荷范围内超出量最大,约为按锅炉整体热平衡方程得出的计算燃料量的 20%,从而造成过热器受热面的吸热量增加,加之此时管内蒸汽质量流速偏低,则管壁温度升高。计算结果与实际测定的过热器壁温在锅炉的启动过程中的 60% ~ 80% 负荷范围内达到最高值的超温现象基本一致。

控制锅炉升负荷的速率,并密切监视过热器的壁温工况,合理延长启动时间是防止超温的重要措施之一。

作者所采用的计算分析方法合理可行,揭示了锅炉启动过程中过热器超温的实质,对过热器超温机理的研究和提出解决过热器超温的措施有重要的参考价值。

本文提出的计算分析方法所依据的某些假设和选取的某些数据还不够完善,尤其是对水冷壁的蓄热量的估算还较粗糙,计算不可避免存在误差,有待于对有关工作进行深入的研究。

参考文献

- 1 吴东垠,赵军旗. 机组负荷变化对过热器安全性的影响. 锅炉技术. 1997. 5
- 2 冯俊凯,沈幼庭. 锅炉原理及计算(第二版). 科学出版社, 1992 年.
- 3 陈立勋,曹子栋. 锅炉本体布置及计算. 西安交通大学出版社, 1990年.
- 4 赵翔,任有中. 锅炉课程设计. 水利电力出版社, 1991年.

(复 编辑)

量的变化曲线,可见随负荷的增加,工质的蒸发吸热

压气机的湿压缩特性及计算模型初步研究 = **A Preliminary Study of Compressor Wet Compression Characteristics and its Calculation Model** [刊, 中] / Lin Feng, Wen Xueyou (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 402~ 405

After analyzing a huge amount of information and data published abroad concerning water spray into a compressor flow path and on the basis of the preliminary test results already obtained the authors sum up the main features of the compressor performance after a water spray and key factors which can exercise an influence on the compressor performance. A theoretical analysis and argumentation/justification of these features have been conducted. Finally, a calculation model is proposed based on the features of "wet compression". Key words compressor, wet compression, model

锅炉过热器汇流集箱流动机理研究 = **A Study of the Flow Mechanism in the Collector of a Boiler Superheater** [刊, 中] / Wang Junye, Wu Guojiang, Wang Deping, et al (Shanghai Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 406~ 408

The uniform distribution of flow in a boiler header constitutes one of the key technological factors ensuring the safe design of boiler superheaters and reheaters. On the basis of momentum conservation this paper focuses on the study of flow mechanism of the header and its flow static pressure distribution. Furthermore, an analysis is also conducted of the basic governing rules and design parameters of the flow in the boiler header. Key words boiler, header, superheater, branch flow, reheater

电站辅机可靠性考核验证方案 = **A Reliability Verification Scheme for Power Station Auxiliaries** [刊, 中] / Xu Hongquan, et al (China National Aviation Comprehensive Technology Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 409~ 411

MTBF(mean time between failure) and AF(availability factor) indexes are employed to verify the reliability of power station auxiliaries. Presented is a scheme for reliability index verification of power station auxiliaries by the use of power station on-site operation data along with some pertinent practical examples. This can serve as a guide for power station auxiliaries manufacturers and electric power operation departments in formulating reliability verification methods. Key words power station auxiliaries, mean time between failure, availability factor, reliability verification test

自然循环锅炉启动过程中过热器超温机理的研究 = **A Study of the Overheating Mechanism of Superheaters During Start-up of Natural Circulation Boilers** [刊, 中] / Yan Weiping (North China University of Electric Power Engineering) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power). - 1998, 13(6). - 412~ 414

On the basis of a heat balance principle presented in this paper is a simple and intuitive analytical method of calculation for analysing and substantiating the underlying cause of superheater overheating during a boiler start-up. The results obtained agree well with those of actual measurements. The essence of superheater overheating during the boiler start-up is hereby clarified, which can have a certain reference value for the study of the superheater overheating mechanism and the determination of measures for solving the superheater overheating issues. Key words boiler, boiler start-up, superheater overheating

氢能燃气轮机循环低温能有效利用及热力学分析 = **The Effective Utilization of Hydrogen Energy-based Gas Turbine Cycle Low-temperature Energy and Its Thermodynamic Analysis** [刊, 中] / Cao Huiling, Yu