

锅炉进风温度修正计算方法的研究

郑浦水, 赵振宁

(华北电力科学研究院有限责任公司, 北京 100045)

摘要: 进风温度变化对于排烟温度的修正是锅炉性能试验中最为重要的一项, 但由于 ASME 标准和我国 GB 标准对修正计算公式的规定不同, 使用过程中存在误解。对该修正进行了导出和分析, 得出使用该公式的条件为: 空预器顶端、侧边密封良好, 漏风可忽略; 进风温度选择空预器入口冷风温度, 且修正前后漏风率相同。在此基础上提出考虑漏风率有变化条件, 用风机入口温度的变化来修正排烟温度的计算方法。该方法与传统方法形式一致, 便于理解, 对正确处理该类问题有明确的参考意义。

关键词: 动力机械工程; 进风温度; 排烟温度; 修正; ASME 规程; 国标规程

中图分类号: TK212

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)05-0065-04

电站锅炉设计是在一定的环境条件下进行的, 而正常运行时不可能完全按照设计条件。为了通过正常运行的情况来考察设计是否合理, 或是在 2 个不同条件下比较锅炉运行的情况, 就往往需要通过修正计算, 把它们放在同一个标准下衡量^[1]。锅炉岛最重要的修正为锅炉进风温度的修正。GB10184—1988 (下简称 GB 标准)^[2] 和美国系列标准 ASME PTC 4—1988、ASME PTC 4.3—1968 (下简称 ASME 标准)^[3,4] 均考虑了进风温度变化对排烟温度的修正, 且两者均使用式(1)进行计算。

$$\theta_d'' = \frac{t_d'(\theta' + \theta'') + \theta'(\theta'' - t')}{(\theta' - t')} \quad (1)$$

式中: θ 为烟气温度, $^{\circ}\text{C}$; t 为空气温度, $^{\circ}\text{C}$; 上标“'”表示进口, “''”表示出口, 下标“d”表示设计工况下, 无下标则表示实际工况下。但 GB 标准与 ASME 在使用式(1)时有很大差异: 前者规定进风温度 t' 为送风机入口温度, 投用暖风器时, 需要根据暖风器出口温度等条件分 3 种情况进行考虑, 使用非常复杂; 后者规定进风温度为空预器入口的进风温度, 并没有涉及风机进口温度、暖风器等。因此, 同样的数据在 2 个标准下计算结果会有很大的差别, 给使用者带来了一定的困惑。此外, 现代锅炉多配置回转式空气预热器, 而回转式空预器烟气通道与空气通道相连, 烟气侧与空气侧工质压力相差很大, 不可避免地产生了漏风。由于漏风率的大小对锅炉排烟温度的影响很大, 而式(1)中却并没有漏风率的信息, 这也给效率的测试与计算带来一定的困惑。

国内学者对于排烟温度的修正研究较少, 除蒋敏华^[5]针对 CFB 锅炉一次风温升高的问题提出一种新的修正计算方法外, 刘林波^[6]研究了一次风温

变化对于效率的影响因素外, 其他大部分学者主要研究排烟温度修正计算形式、规定方面的不同^[7], 而对这 2 种修正方法的关系、等价性方面的研究鲜有报道。为了解决这些问题, 文中通过理论推导与实际算例相结合的方法, 对进风温度的修正方法进行了全面地研究, 得出了该修正方法的适用条件与使用方法。

1 修正公式(1)的来源

1.1 空预器工作与传热效率

典型的回转式空预器如图 1 所示, 其工作原理为: 热烟气通过换热元件, 换热元件被加热后, 旋转通过空气通道, 把冷空气加热, 热烟气冷却。在空预器出口、入口及侧面都有一定数量的一次风与二次风漏入到压力相对较低的烟气侧。

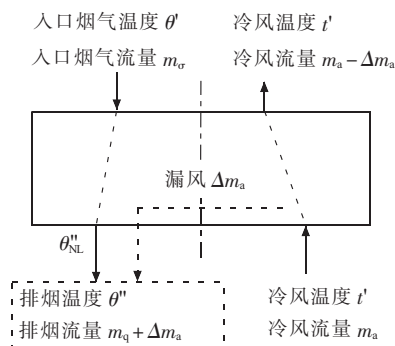


图 1 空预器工作情况

在没有漏风的条件下, 空预器最高温度是进口烟气温度 θ' , 最低温度为进口空气温度 t' , 可用 $\theta' - t'$ 表示排烟温度最大可能的温降, 用 $\theta' - \theta_{NL}''$ 表示空预器空预器的实际温降, 用两者的比表示空预器的传热效率为:

$$\eta_g = 100 \frac{\theta' - \theta_{NL}''}{\theta' - t'} \quad (2)$$

式中: η_g 表示烟气侧传热效率,%;下标“NL”表示无漏风。

当空预器运行在烟气流与空气量相对不变的情况下,传热效率实际上表示了其传热系数的变化。前苏联锅炉热力计算标准^[8]表明,当热风温度变化在50℃之内时,传热系数基本上不发生变化。而在负荷相同的条件下,一般出口热风温度的变化很少能超出该限,因而可以假定传热效率不变。此时,如果仅当入口空气温度由式(2)中的 t' 变为 t'_d ,而其他条件不变时,有:

$$\eta_{g,d}=100\frac{\theta'-\theta''_{NL,d}}{\theta'-t'_d} \quad (3)$$

显然有 $\eta_g=\eta_{g,d}$,即:

$$\frac{\theta'-\theta''_{NL}}{\theta'-t'}=\frac{\theta'-\theta''_{NL,d}}{\theta'-t'_d} \quad (4)$$

1.2 漏风及其对无漏风排烟温度的影响

由于烟道阻力分布的不均匀性,正常运行时空预器中间流道的烟气量大,导致空预器导热元件的温度高于罩壳的温度;同时,空预器为逆流布置,在烟气进口外与高温空气换热,烟气出口处与低温空气换热,因而空预器运行时上部导热元件的温度整体大于下部,导致其上部横向膨胀大于下部的横向膨胀量;空预器转子支撑端在底部,这样,在中心膨胀量大于四周膨胀量,上部膨胀量大于下部膨胀量的共同作用下,运行后的空预器发生所谓“蘑菇状”变形,如图2所示。在空预器冷态调整时,一般要使空预器上、下、侧3个方向上的密封保持到最小但不接触的程度,热态时该“蘑菇状”变形使得空预器上密封、侧密封的间距减少,下部密封的间距增大;而空预器进口风压高于出口风压,就使得低部空气进口处漏风远大于出口处热空气的漏风量。

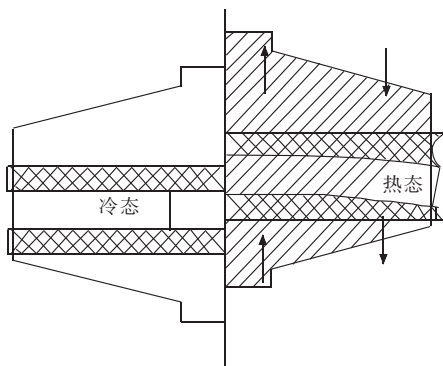


图2 空预器的蘑菇状热变形

基于这种情况,ASME认为,图1所示回转式空预器的漏风主要发生在冷端,而其他部位的空预器漏风可以忽略,表现在漏风的温度上即为:

$$t_L=t' \quad (5)$$

这样,在所漏冷风影响下,原来出口烟气温度为 θ''_{NL} 的出口温度变为实际的出口烟气温度 θ'' ,同时漏入到烟气侧的冷风被加热到出口烟气温度 θ'' 。根据图1所示的热平衡与流量平衡关系,有:

$$\begin{aligned} m_g \theta''_{NL} c_{p,g} \Big|_{\theta''_{NL}} + \Delta m_a t' c_{p,a} \\ = m_g \theta'' c_{p,g} \Big|_{\theta''} + \Delta m_a \theta'' c_{p,a} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $c_{p,g} \Big|_{\theta''_{NL}}$ 和 $c_{p,g} \Big|_{\theta''}$ 分别为烟气从温度 θ''_{NL} 到0℃和 θ'' 到0℃的平均定压比热容,由于两温度值差别很小,所以可以取相同值,用 $c_{p,g}$ 表示; $c_{p,a}$ 为空气从温度 t' 到0℃的平均定压比热容。

漏风率 α_L 定义为由空气侧漏入烟气侧的空气质量占空预热器入口的烟气质量百分比,即:

$$\alpha_L = \frac{\Delta m_a}{m_g} \times 100 \quad (7)$$

这样,整理式(6)得出正常运行条件下的无漏风排烟温度为:

$$\theta''_{NL} = \theta'' + \frac{c_{p,a} \alpha_L}{100 c_{p,g}} \times (\theta'' - t') \quad (8)$$

1.3 进风温度变化修正公式

当进风由 t' 变为 t'_d 的条件下,根据式(8),显然此时空预器出口无漏风烟气温度变为:

$$\theta''_{NL,d} = \theta''_d + \frac{c_{p,a} \alpha_L}{100 c_{p,g} \Big|_d} \times (\theta''_d - t') \quad (9)$$

进风温度变化幅度通常小于50℃,排烟温度会随着进风温度的升降而同向变化,因而这一小范围的温度变化对空气比热容与烟气比热容的比值影响很小,在漏风率 α_L 不变的情况下,可以认为:

$$K = \frac{c_{p,a} \alpha_L}{100 c_{p,g} \Big|_d} = \frac{c_{p,a} \alpha_L}{100 c_{p,g}} \quad (10)$$

把式(10)代入式(8)、式(9)后,并代入式(4),可得:

$$\frac{\theta' - [\theta'' + K(\theta'' - t')]}{\theta' - t'} = \frac{\theta' - [\theta''_d + K(\theta''_d - t')]}{\theta' - t'_d} \quad (11)$$

仅把 θ''_d 当作变量,求解式(11),正好可以消去 K 得到式(1)^[3]。

2 修正公式的使用

从修正公式的来源可以明显看出,其使用的前提必须附合漏风仅发生在冷端、进风温度为空预器入口而非风机入口温度,且修正前后漏风率相同。在实际工作中,往往很难满足这3个条件,因而其应用有一定的条件。

2.1 空预器其他位置漏风的影响

空预器不可能仅在冷端发生漏风,而是在上部、侧边均发生漏风,而顶部、侧边漏风温度均大于冷风

温度。当其他部位漏风后,其温度均大于冷风的温度,因而这一部分温度较高的漏风会使漏风的平均温度 t_L 升高,导致实际的排烟温度高于修正值计算出的温度。

2.2 风机和暖风器的影响

我国标准中性能试验基准温度为风机入口的环境温度 t_0 。由于暖风器一般安装在风机的出口、空预器的入口,当温度为 t_0 的冷风先后经过风机、暖风器后才能到达空预器的入口,温度会增加到 t' ,如图3所示。该温升给 t_0 变化时对排烟温度的修正计算带来了一定的困难。目前最常用的方法直接使用 t_0 代替 t' 来进行排烟损失 q_2 的计算。考虑到送风机有 $5\sim 10\text{ }^\circ\text{C}$ 的温升,一次风机有 $10\sim 20\text{ }^\circ\text{C}$ 的温升,而暖风器的温升取决于空预器防止冷端腐蚀的要求,有时有 $30\sim 40\text{ }^\circ\text{C}$ 的温升。这些温升不是空预器传热得来的,用 t_0 代替 t' 必然会带来一定的误差。

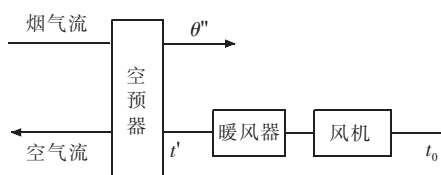


图3 暖风器及风机的温升

为了解决这种问题,文中提出如下的分段计算方法,具体过程为:试验情况测量 t_0 和 t' ,计算其温差 $\Delta t'$,然后以要修正到的目标环境温度 t'_0 为基准,用 $\Delta t'+t'_0$ 作为新的空预器入口冷风温度,代入式(1)进行计算求得新的 θ''_d ,并在计算修正后的排烟损失时采用 $\theta''_d-t'_0$ 作为温差。这种方法的理论基础是相同负荷下风机、暖风器温升相对稳定。大量的实践表明,尽管环境温度变化在某种程度上改变其温升的幅度,但只要在负荷相近、设备状态良好相近的条件下,环境温度变化导致温升的变化值一般在 $1\sim 3\text{ }^\circ\text{C}$ 之内,比直接用 t_0 代替 t' 的方法有明显小的误差。

例如锅炉大修后试验时,实测送风机入口风温 t_0 为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,空预器入口风温 t' 为 $50\text{ }^\circ\text{C}$,空预器进口烟气温度为 $300\text{ }^\circ\text{C}$,排烟温度为 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 。假定修前试验时的风机入口环境温度 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,要比较检修后对于排烟温度的影响,则必须用 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的入口风温来进行修正。

如果直接用 t_0 代替 t' 时,计算出排烟温度为:

$$\theta''_{20} = \frac{20(300-150)+300(150-50)}{(300-150)} = 132(^\circ\text{C})$$

用文中方法:先计算风机温升为 $50-25=25\text{ }^\circ\text{C}$,可知当风温由 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 变化到 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,空预器出口温

度 t'_d 变为 $25+20=45\text{ }^\circ\text{C}$,把 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 代入式(1)计算出排烟温度为:

$$\theta''_{20} = \frac{45(300-150)+300(150-50)}{(300-150)} = 147(^\circ\text{C})$$

基于文中方法的2个假定,文献[6]把风机当作另外一个与空预器串联的加热器,还提出一种方法:

$$\theta''_{20} = \theta'' + (t'_d - t_0) \frac{\theta'' - \theta'}{(\theta' - t')} \quad (12)$$

代入相关数据,计算可得修正后的排烟温度为 $147\text{ }^\circ\text{C}$,与文中的计算结果完全相同。虽然文献[6]方法更加简单,但是文中方法有更为明确的思路,且非常适合区分工况来使用。

2.3 空预器漏风率的影响

运行中空预器的漏风率是一个变化的量,密封片的磨损、倒伏及低温腐蚀,或是不同负荷导致的进口烟气流、一/二次风的运行压力、空预器进/出口的负压等参数发生变化时,漏网率都会发生明显的变化。当空预器漏风率发生变化时,式(10)相等的基础就不存在了,修正式(1)的基础也就不存在。因而,当漏风率发生变化时,特别是锅炉经历大、小修后,随着受热面的清洁、空预器密封间隙的调整、阻力的减少等因素,漏风率发生明显变化时,不宜直接用式(1)计算出的结果直接比较,而应按如下进行处理:

(1) 使用文中所提分段计算的方法修正新入口温度条件下的排烟温度。该计算结果实际上表示当前漏风率下,风机进口温度发生变化时对锅炉排烟温度在当前漏风率条件下的排烟温度;

(2) 利用式(6)所示的热平衡方法,在当前排烟温度的条件下,再增加或减少一定量的漏入冷风,再计算混合后的冷风。

仍以上文数据为例,假定修前试验时空预器漏风率为 8% ,修后试验为 5% ,则式(13)计算所得结果为漏风率 5% 时的修正结果。相关数据代入式(6),忽略烟气比热容与空气比热容的差别,进一步计算出漏风率为 8% 条件下的排烟温度为:

$$\theta'' = 147 - \frac{(0.08-0.05) \times 45 \times c_{p,a}|_{45}}{c_{p,g}|_{147}} = 145.65(^\circ\text{C})$$

3 结束语

进风温度对于排烟温度的修正公式是锅炉性能试验中最为重要的一项,但是在不同的标准中有不同的规定,导致实际使用过程中存在误解。通过对该公式导出过程全面分析得知,该公式的使用必须满足3个条件:空预器顶端、侧边密封良好,其漏风可忽略;进风温度选择空预器入口冷风温度,而非风机入口温度;修正计算前后的空预器漏风率相同。在此

基础上,分析了这3个因素变化对于排烟温度修正结果的影响规律,并提出了可用于漏风率有变化条件下,用风机入口温度变化来修正排烟温度的计算方法。该方法与传统方法形式一致,便于理解,对于正确处理该类问题有明确的参考意义。

参考文献:

- [1] 赵振宁,张清峰,赵振宙. 电站锅炉性能试验原理、方法及计算[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [2] GB10184—1988,电站锅炉性能试验规程[S].
- [3] ASME PTC4.3—1968, Air Heaters, Supplement to Performance Test Code for Steam Generating Units [S].
- [4] ASME PTC 4—1998, Fired steam generators performance test code[S].

- [5] 蒋敏华,肖平. CFB锅炉性能试验排烟温度修正方法[J]. 热力发电,2008,37(6):16-19.
- [6] 刘林波,李斌,蔺殿军.进风温度变化对锅炉修正排烟温度和修正热效率的影响[J].华中电力,2004,17(4):20-22.
- [7] 阎维平,云曦. ASME PTC 4—1998 锅炉性能试验规程的主要特点[J].动力工程,2007,27(2):27-31,41.
- [8] 北京锅炉厂译.锅炉机组热力计算标准方法[M].北京:机械工业出版社,1976.

作者简介:

郑浦水(1955),男,北京人,工程师,从事电站锅炉生产技术服务工作;

赵振宇(1973),男,内蒙古集宁人,高级工程师,从事电站锅炉节能优化工作。

Research on Calculation Method for the Modification of Inlet Air Temperature of Boilers

ZHENG Pu-shui, ZHAO Zhen-ning

(Huabei Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The modification of exhaust gas temperature influenced by the variation of inlet air temperature is the most important work in the performance test of boilers. However, the difference between ASME code and GB standard always leads to misunderstandings. Based on analysis results of the modification method, it is concluded that the application conditions of this method is that: a good sealing of the air preheater should be maintained; the temperature of the inlet cool air should be adopted and the value of the air leakage ratio before and after modification should keep constant.

Key words: power engineering; inlet air temperature; exhaust gas temperature; ASME code; GB standard

我国页岩气可采资源量初步估计为 31 万亿 m³

从2月12日结束的全国地质调查工作会议上获悉:今年我国地质调查将大力加强页岩气等非常规能源资源调查评价和开发技术攻关,尤其要加大页岩气调查评价力度,缓解我国油气资源短缺的现状,形成油气勘探开发新格局,有望最终改变我国能源勘探开发乃至整个能源结构。

国土资源部副部长、中国地质调查局局长汪民说,2012年全国地质调查将大力加强页岩气、煤层气、油页岩、致密砂岩气、油砂等非常规能源资源调查评价和开发技术攻关,推动页岩气调查评价专项申报,加快页岩气产业的快速发展。把页岩气作为独立矿种加大调查评价力度,加快页岩气产业的快速发展。

据介绍,页岩气是国务院最近批准的新的独立矿种,赋存于富有机质泥页岩及其夹层中,它是以吸附和游离状态为主要存在方式的非常规天然气,成分以甲烷为主,是一种清洁、高效的能源资源和化工原料,主要用于居民燃气、城市供热、发电、汽车燃料和化工生产等,用途广泛。页岩气生产过程中一般无需排水,生产周期长,一般30~50年,勘探开发成功率高,具有较高的工业经济价值。中国页岩气资源潜力大,初步估计中国页岩气可采资源量在31万亿m³,与常规天然气相当。

页岩气发展,首先从美国开始。美国2011年页岩气产量达1800亿m³,极大改变了美国能源消费结构。据国土资源部油气中心对我国西藏以外所有陆域盆地开展评价工作,我国页岩气资源量至少与美国旗鼓相当。我国预计2020年产量将超过1000亿m³,达到目前常规天然气生产水平。2030年产量有望与常规天然气相当,与美国接近。尽快实现页岩气规模开发,将有利于缓解我国油气资源短缺的现状,形成油气勘探开发新格局,甚至改变整个能源结构。

摘自《国家电力信息网》

欢迎投稿 欢迎订阅