

反切风消减锅炉烟道两侧烟气参数偏差的探讨

章 旋 (苏州热工研究所)
徐通模 惠世恩 (西安交通大学)

〔摘要〕 通过大型电站锅炉的冷态模拟试验获得了炉内和炉膛出口水平烟道流场的分布规律。对残余旋转引起锅炉烟道两侧烟气参数偏差的原因和规律进行了试验研究和分析,着重研究了采用反切风消减偏差的机理和合理方案。对克服因烟气偏差引起的过热器、再热器超温爆管事故具有一定的指导价值。

关键词 反切风 烟气参数偏差

分类号 227.1

0 前言

现阶段我国大容量锅炉多数采用四角切圆燃烧方式,炉内的强烈旋转使煤粉气流的后期湍流混合十分强烈,煤粉燃尽条件也较理想。但是由于旋转火焰在炉膛出口处仍然存在一定程度的残余旋转,造成水平烟道两侧烟速和烟温的偏差。例如平圩发电厂 1 号机组的 HG-2008/186-M 型锅炉(逆时针旋转气流),右侧烟温较左侧最大高出 250℃,右侧汽温较左侧最大高出 50℃^[1]。

由于烟速烟温偏差引起汽温偏差,导致过热器、再热器发生超温爆管事故,许多国产锅炉和不少进口锅炉均有发生^[2,3]。而且随着机组容量增大,偏差问题日趋严重。目前这已成为电站锅炉向更大容量发展过程中需解决的一个问题。

如何削减残余旋转在对流烟道内的影

响?以国内外运行经验看,采用部分二次风和三次风反切是较为可行的方案,它在一定程度上具有改善炉膛出口气流分布均匀性和减小两侧烟气偏差的效果。但是应该取多大的反切角度、多少反切风量以及反切风的作用机理都是急待研究的课题。对此我们在近几年做了不少试验研究^[4,5],积累了一些数据资料。本文试对残余旋转气流的影响、反切风作用的机理和规律进行探讨。

1 残余旋转引起烟道两侧烟气参数偏差的原因

炉内若为逆时针方向的旋转上升气流,经炉膛出口进入水平烟道时,由于残余旋转的存在,其整体旋转气流沿圆周各处的气流微团的切向速度 V_t 如图 1 所示。设炉膛出口

收稿日期 1995-04-17

本文联系人 章旋 男 1970 年生 硕士 215004 苏州市

处的静压为 P_1 , 水平烟道后部的静压为 P_2 , 由于锅炉送引风机的作用, 存在静压差 $\Delta P = P_1 - P_2$; 又设水平烟道沿宽度方向内的阻力 $F_{阻}$ 相同, 则作用于气体微团的驱动力内 $F_{驱} = \Delta P - F_{阻}$ 。该驱动力迫使气流微团由炉膛出口进入水平烟道向后流动。众所周知, 作用于气流微团的作用力等于单位时间内气流微团的动量变化。因此旋转气流进入水平烟道后某截面处速度分布为:

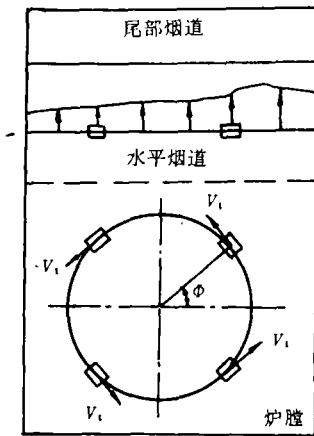


图 1 水平烟道烟速偏差原理图

$$V = \frac{F_{驱}}{m} + V_1 \cos \phi$$

式中: m 为气流微团质量

由图 1 可见在烟道右半侧, $0^\circ < \phi < 90^\circ$ 和 $270^\circ < \phi < 360^\circ$, 故 $V_1 \cos \phi > 0$; 而在烟道左半侧, $90^\circ < \phi < 270^\circ$, 故 $V_1 \cos \phi < 0$ 。所以, 由于残余旋转的存在, 造成水平烟道右侧烟速大于左侧的不均匀分布状态。对于组织炉内顺时针方向旋转气流时即形成左侧烟速大于右侧的不均匀分布状态。

炉内旋转气流到达炉膛出口后运动方向开始发生变化, 即从垂直运行变为斜向运动, 继而进入倾斜对流烟道逐渐趋于水平方

面。而这时如果仍然存在一定的旋转强度, 则会出现水平烟道下部右侧速度大于左侧, 在烟道上部左侧速度等于或略大于右侧的现象。这一现象已在 600 MW 机组锅炉的冷模试验中发现。

随着锅炉容量的增加, 一、二次风量的增加 (ΔQ) 与锅炉容量的增加 (ΔD) 存在如下关系:

$$\Delta Q \propto \Delta D$$

假设锅炉容积热负荷不变, 炉膛单边尺寸的增加 (ΔL) 与锅炉容量的增加之间存在 $\frac{1}{3}$ 次方关系, 即:

$$\Delta L \propto \Delta D^{\frac{1}{3}}$$

所以炉内旋转动量矩的增加 (ΔM) 与锅炉容量的增加之间存在如下关系:

$$\Delta M \propto \Delta D^{\frac{1}{3}}$$

这表明锅炉容量愈大, 炉内旋转动量矩愈大。同时由于炉内单边尺寸增加幅度小于锅炉容量的增加, 所以大容量锅炉从燃烧器中心到炉膛出口的相对烟气行程比小容量锅炉短, 致命名炉膛出口残余旋转强度随锅炉容量的增加而增大。相应地由残余旋转引起的锅炉烟道两侧烟气流速偏差也随锅炉容量的增加而增大。

2 反切风作用机理

反切风是燃烧器整组射流的一部分, 因此燃烧器反切风与正切风之间存在互相影响, 同时四角反切风之间以及旋转气流与反切风之间也存在相互作用。所以反切风的作用机理是十分复杂的, 必须将其置于整体流场之中分析。

燃烧器整组射流离开喷口后, 大约要经过六至八倍的喷口宽度的距离后才与炉内旋转主气流发生强烈作用, 在这段距离内可近似认为燃烧器射流是自由射流。由于各喷口

之间的距离较小,所以可近似认为燃烧器整组射流由下部的正切风组成的平面射流(高宽比足够大,与上部反切风组成的矩形射流两部分构成。这两股射流呈空间相离关系。以往试验表明,若两股射流之间的夹角(即反切角)比较小,则两者之间存在较强的相互引射作用;若反切角度较大,则两者之间几乎互不影响。

燃烧器射流在向炉膛中央行进中必然受到上游射流及旋转气流的推射作用,使其向下游偏转,同时其本身也推动旋转气流并加入其中共同构成新一层次的旋转气流。值得注意的是:正切风相对炉膛中心向下游偏移一定角度,与旋转气流呈锐角相交,起到推动和加速旋转的作用;而反切风是相对炉膛中心向上游偏移一定角度,因此它与旋转气流呈钝角相交,这意味着反切风的一部分动量由于与旋转动量反向而命名部分旋转动量被抵消,从而起到削弱旋转的目的,最终体现在炉膛出口处残余旋转减弱,由此引起的烟道两侧偏差也相应得到改善。

3 反切风消减偏差的作用规律

反切风消减偏差的作用规律就是指在某一反切角度和反切风动量流率下消减烟道两侧烟气偏差的效果。可以用反切风动量流率矩来综合反切角度和反切风动量流率两个量。反切风动量流率矩是由反切风动量流率与反切风假想切圆半径相乘获得,即:

$$M_1 = (\sum \rho_{1i} u_{1i}^2 A_{1i}) R_1$$

式中: ρ_{1i} 为各股反切风密度;

u_{1i} 为各股反切风离开喷口时的平均速度;

A_{1i} 为各股反切风喷口面积;

R_1 为反切风假想切圆半径。

同样正切风动量流率矩为:

$$M_2 = (\sum \rho_{2i} u_{2i}^2 A_{2i}) R_2$$

式中 ρ_{2i} 为各股正切风密度;

u_{2i} 为各股正切风离开喷口时的平均速度;

A_{2i} 为各股正切风喷口面积;

R_2 为正切风假想切圆半径。

反切风动量流率矩与正切风动量流率矩之比: $M_R = M_1/M_2$ 是反映炉内流场分布和反切风作用效果的重要指标。 M_R 在一定范围内,随着 M_R 增大烟道两侧烟气偏差和不均匀性都有明显改善。其范围的下限值 $M_{R,\min}$ 和上限值 $M_{R,\max}$ 与锅炉容量,燃烧器一、二次风组织方式,正切风假想切圆,反切风动量,反切角度,反切风布置方式等因素有关。试验数据可得 $M_{R,\min}$ 在 0.21 ~ 0.30, $M_{R,\max}$ 在 1.15 ~ 1.4 范围。试验还发现存在临界动量流率矩比 M_c ,当 $M_R > M_c$ 时,流场整体做反方向旋转。 M_c 值大于 1。这说明燃烧器下部流场比上部流场起着更主要的作用。

炉内流场十分复杂,仅依靠反切与正切动量流率矩之比 (M_R) 一个指标无法全面反映反切风的作用规律。反切风与正切风之间的夹角也是一个重要控制变量。此外,烟道两侧偏差和不均匀性是涉及流量的概念,所以炉内旋转流量也是应该考虑的影响因素。

在试验研究过程中还发现一个现象,当反切角度比较小时,对于 300 MW 机组和 200 MW 机组锅炉,反切风的作用对削减烟道两侧偏差几乎毫无效果;而对于 600 MW 机组锅炉,反切风的作用结果反而使烟道两侧偏差稍有增大,现分析如下。

如前所述,当反切角度较小时,反切风射流和正切风射流之间存在着不可忽略的相互引射作用,使反切风射流离开喷口后向正切方向偏移;同时正切风射流上部也有向炉膛中心偏移的趋势。图 2 表示反切风射流和正切风射流在离开喷口时投影于平面上的位置关系。若正切风射流和反切风射流的相互

作用较强,则最终效果可能是反切风射流轴线偏移至反切风射流和正切风射流投影的重叠区域的中心线处。这样反切风在与旋转气流作用时不再起到反切作用,而起到推动旋转的正切作用。反切风射流与正切风射流的相互作用结果使燃烧器各层喷口射流组织的假想切圆呈下部大上部小的圆锥形,无疑这种组织方式将使主体旋转气流所受阻力较小,旋转气流的稳定性提高,易于保持较大的旋转强度。所以在小角度反切的情况下,有可能使炉膛出口处的残余旋转较无反切风时更大,烟道两侧偏差和不均匀性也更大。特别是对于2000 t/h的大型电站锅炉,其反切风和正切风的动量流率都相当大,而且反切风射流与正切风射流之间相对更接近,所以两者之间的相互作用比较大,易于发生上述现象,这已在平圩发电厂的HG-2008/168-M型锅炉的冷态模化试验中得到证实。

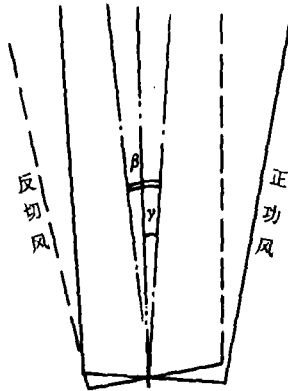


图2 正、反切风投影位置图

- 正切风外边界
- 反切风外边界
- · - 正、反切风射流轴线
- · · - 重叠区域中心线

由图2在已知下部正切风射流半扩展角(α_1)和上部反切风射流半扩展角(α_2)的条件下,两股射流的投影重叠区域中心线与正切风射流中心线之间的夹角(γ)和反切角(β)

之间近似满足如下关系:
$$\gamma = \frac{\alpha_1 - \alpha_2 + \beta}{2}$$

γ 与正切风射流相对炉膛中心的偏移角之间的大小关系决定了反切风对旋转气流的实际作用效果是反切还是正切。根据理论计算和试验结果,为了避免可能发生小角度反切引起烟道两侧偏差增大的现象,建议反切角不小于 10° 。

就反切风布置方式而言,采用多层反切风集中布置优于多层反切风分散布置。将多层反切风分散布置,一方面削弱了反切风的消旋能力,另一方面也不利于组织炉内的稳定燃烧。此外,在反切风射流与正切风射流之间停一层喷口将大大增强反切风的消旋能力,这是因为此时加大了两股射流之间的距离,两者之间相互引射的作用大大减弱,从而保证反切风作用于旋转气流时具有较大的反向动量。

反切风的使用也应保证锅炉可靠燃烧为前提,过大的反切风量无疑削弱了四角切圆燃烧的优势,不利于煤粉及时着火和稳定燃烧。过大的反切角度可能造成一次风贴墙,使一次风缺氧,既易造成结渣又无法保证充分燃尽。反切风可以有效地改善烟道两侧偏差和不均匀性,但对于局部因结构不合理造成的严重偏差和不均匀性就显得能力有限了。所以必须重视锅炉烟道结构和受热面布置的合理设计,避免出现烟气走廊之类的缺陷,这对削减烟道两侧偏差是至关重要的。

4 结论

1 炉膛出口处存在气流的残余旋转是造成烟道两侧烟气参数偏差和不均匀性的一个主要原因。

2 合理组织反切风可以有效地改善烟道两侧烟气参数偏差和不均匀性,在 $M_{R,\min} < M_R < M_{R,\max}$ 范围内,随 M_R 增大烟道两侧偏

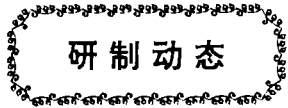
差和不均匀性有明显改善, $M_{R,min}$ 在 0.21 ~ 0.30, $M_{R,max}$ 在 1.15 ~ 1.4。存在临界动量流率比 M_c , 当 $M_R > M_c$ 时, 炉内整体气流做反方向旋转。 M_c 值大于 1。在选择反切角度时不宜小于 10°。反切风采用集中布置优于分散布置。

参 考 文 献

1 平圩发电厂, 西安热工所. 平圩发电厂燃烧调整试验报

告. 1993.4
 2 刘林华. 大容量电站锅炉过、再热器偏差计算的理论分析和试验研究. 锅炉技术, 1991(3)
 3 王孟浩. 大容量电站锅炉过热器、再热器温度偏差起因及防止对策. 锅炉技术, 1992(3)
 4 车得福, 惠世恩, 徐通模等. 四角切圆燃烧锅炉烟道内气体速度分布的模化试验研究. 动力工程, 1994, 14(5): 22 ~ 28
 5 惠世恩, 车得福, 郭宏生等. WG200MW 机组锅炉烟道内气体速度偏差的模化试验研究. 热力发电, 1994(6): 41 ~ 46

(李乡复 编辑)



5 和 15MW ATS 发动机

据“Gas Turbine World”1996 年 1—2 月号报道, 索拉透平公司 5 和 15MW 工业 ATS(先进涡轮系统)设计已较前两阶段草拟的方案有了很大的改变。

原方案是中间冷却回热式燃气轮机, 燃气初温约为 1371℃, 压比为 18:1。现在改变为优化的回热循环, 更适度的性能参数, 从而避免了中间冷却的费用和复杂性。

新 ATS 的压比约为 9:1, 燃气初温为 1177℃。设计将使用装有受控扩压叶型的先进部件压气机(ACE), 每级具有较少的叶片并具有更高的超过 88% 的绝热效率。单级、高功、空气冷却的燃气发生器涡轮代替了原来的二级设计。

设计人员倾向于管—环式燃烧室而不是过去阶段采用的全环式燃烧室, 这种方案能引入催化燃烧。

索拉 15MW 第三阶段发动机设计的热效率将超过 43%, 高于美国能源部提出的目标。以天然气作为燃料, 在 ISO 基本负荷条件下, 较小的 5MW ATS 燃气轮机设计的热效率的约为 (42~43)%。

(学牛 供稿)

翅片形式对强化换热影响的研究及其效应评价=A Study of the Effect of Fin Shapes on Intensified Heat Exchange and the Evaluation of the Said Effect [刊,中]/Luo Zhongyang, Yin Chungeng, et al (Zhejiang University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -257~261

An experimental study is conducted of the effects of fin shapes on convection heat exchange and flow characteristics. By combining the above two effects and on the basis of a thermodynamic system energy analysis an evaluation is made of the effectiveness of the various fin shapes on the intensified heat exchange. **Key words:** intensified heat exchange, heat exchange characteristics, resistance characteristics, entropy.

反切风消减锅炉烟道两侧烟气参数偏差的探讨=A Preliminary Study on the Reduction and Elimination of Flue Gas Parameters Deviation at Both Sides of a Boiler Gas Duct through the Introduction of Anti-tangential Air [刊,中]/Zhang Xuan, Xu Tongmo, et al. (Xi'an Jiaotong University)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -262~266

Through the cold-state model test of a high-capacity boiler obtained is the flow field distribution within the boiler and at the furnace outlet horizontal gas pass. An experimental study and analysis is conducted with respect to the reasons and governing laws of flue gas parameter deviation at both sides of the boiler gas duct caused by a remnant rotation with main focus on the mechanism of eliminating such a deviation by way of introducing anti-tangential air and the search for a rational version. This research work of the authors can provide useful guidance in eliminating excessively high temperature-related tube explosion failures of superheaters and reheaters caused by flue gas parameter deviations. **key words:** anti-tangential air, flue gas parameter deviation

角管式热水锅炉辐射受热面水动力特性分析=An Analysis of the Radiant Heating Surface Hydrodynamic Characteristics of a Corner-tube Hot-water Boiler [刊,中]/Ji Dezhong, Meng Zhaopeng, et al (Harbin Institute of Technology), Gao Xijiang (Heilongjiang Provincial Labor Bureau)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -267~271

This paper describes a method for calculating the hydrodynamic properties of the side water wall of a corner-tube hot-water boiler. An analysis is given of the effect of the flow rate of working medium entering a side-wall lower header on the water wall hydrodynamic characteristics. **Key words:** corner-tube hot water boiler, side water wall, hydrodynamic characteristics

腔体式吸收器与真空管吸收器的热性能比较=Comparison of Thermal Properties of Cavity Type Absorbers and Vacuum Tube Absorbers [刊,中]/Chou Qiaoli, Ge Xinshi, et al (China National University of Science & Technology)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996,11(5). -273~277

An analysis is performed of the thermo-physical characteristics of cavity type absorbers with tube bundle construction and ring-casing construction used in a parabolic solar energy collector as well as a vacuum tube absorber. The thermal resistance network in the said absorbers is shown in an illustration and the general control equation of the solar energy collector is also provided. Based on the above the authors have conducted a numerical analysis and comparison of the thermal properties for the above-cited