

天津翔悦

天津翔悦密封材料有限公司



弗莱希波·泰格  
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

## 四角切圆燃烧锅炉烟气偏差形成机理的研究

Research on The Forming Mechanism of The Flue-Gas Velocity and Temperature Deviation  
for Tangentially Fired Boiler

武汉大学(430072) 严响林 顾昌 陈伟

**摘要:** 四角切圆燃烧锅炉普遍存在烟气偏差的问题, 本文从热力学和理论力学的角度分析了这些偏差产生的机理, 提出了改进方向。

**关键词:** 四角切圆锅炉 烟气偏差 形成机理

**Abstract:** The flue-gas velocity and temperature deviation is popular in the tangentially fired boiler. The forming mechanism of it is analyzed in the terms of thermodynamics and theory mechanics and improving direction has been proposed.

**Keywords:** tangentially fired boiler, flue-gas velocity and temperature deviation, forming mechanism

### 1 概述

四角切向燃烧锅炉由于其着火稳定性好、炉内热负荷分布较均匀以及对煤种和负荷适应性强等优点而成为电站锅炉广泛采用的一种炉型。但是, 在早期投产的锅炉机组中, 发现采用四角切向燃烧方式大容量电站锅炉普遍存在较严重的烟气侧速度和温度偏差以及过热器、再热器汽温偏差, 甚至于频繁发生超温爆管的事故。由于这个问题的普遍性和对锅炉运行安全性、可靠性的不利影响, 已引起国内动力工程界、电站锅炉制造厂家和用户的严重关注。

引起烟气偏差的原因十分复杂, 到目前为止, 还没有一个完整而合理的理论模型来解释, 普遍认为是由于炉内火焰在到达屏底时存在残余旋转, 且炉膛顶部的分隔屏并不能起到很好的削旋作用, 大部分烟气从右侧进入屏区和水平烟道中, 产生了烟气、蒸汽参数偏置现象。本文对各文献中提出的炉膛出口及水平烟道烟气偏差的成因, 从热力学和理论力学的角度作了一些概括和分析。

### 2 烟气偏差形成的热力学分析

一般来说, 炉膛出口处气流的残余旋转是引起烟速偏差的根本原因, 而烟温偏差又与烟速偏差成正比关系。

#### 2.1 残余旋转在炉内的形成过程

在炉膛内, 从四角燃烧器喷口喷出的射流沿错动的燃烧喷口轴线进入炉膛后, 在上游环流作用下向水冷壁偏转, 此偏转射流尾端受下游邻角射流的拦截而弯曲, 形成炉内旋转气流, 这种旋转气流呈螺旋状上升一直到炉膛出口, 对四角均匀投粉、配风的正常运行工况来讲, 可以认为截止到分隔屏底, 炉内气流的温度场和速度场是左右对称的, 没有偏置现象存在。然而随着旋转气流离开垂直炉膛向后部水平

烟道运动过程中，残余旋转的存在使气流在左右两侧烟道中形成偏差。

## 2.2 残余旋转对屏区烟气偏差的影响

在进入屏区后，由于残余旋流的存在，出现了烟气速度场、流量场及温度场的偏置现象。对逆时针切圆燃烧方式的锅炉，上炉膛左侧气室内烟气向炉后运动的阻力大于右侧，从而造成了左侧区烟气流量低于右侧区烟气流量，即左侧的烟气速度小于右侧的烟气速度。但是在左侧区气室中气流的运动机理比右侧气室中气流的运动机理复杂，气流在左侧气室中有一个速度衰减、滞止及反向加速过程，而已经反向加速的前锋气流又会涡流而造成较强的气流扰动，强化了左侧区的烟气对流换热；而右侧区气室内气流的运动情况则比较简明，气流进入屏区后，在两个基本同向的力的作用下，平稳地加速流向炉后。这样，在辐射条件等同（入口侧烟温相同）的情况下，由于左侧受热面附加了上述对流强化效应，造成了工质吸热左多右少的分布现象，这是一个定性的可能因素。另外，由于残余旋流的存在，左侧区主烟气的流向向前，而主烟气流方向是指向炉后的，因此，其主气流只经过分隔屏的下部区域（或不经过分隔屏）而直接短路流向炉后。后屏区的烟气流动情况也与之类似，也就是说，在上炉膛中，左侧区的烟气充满程度大大好于右侧区，如图1所示。这也是屏区受热面吸热量左高右低而造成屏区出口烟温右高左低的一个定性原因。这样，由于左右侧换热条件的不同，使得烟气温度偏差和工质侧沿炉膛宽度方向上的温度偏差，伴随着换热的进行而进行<sup>[1]</sup>。

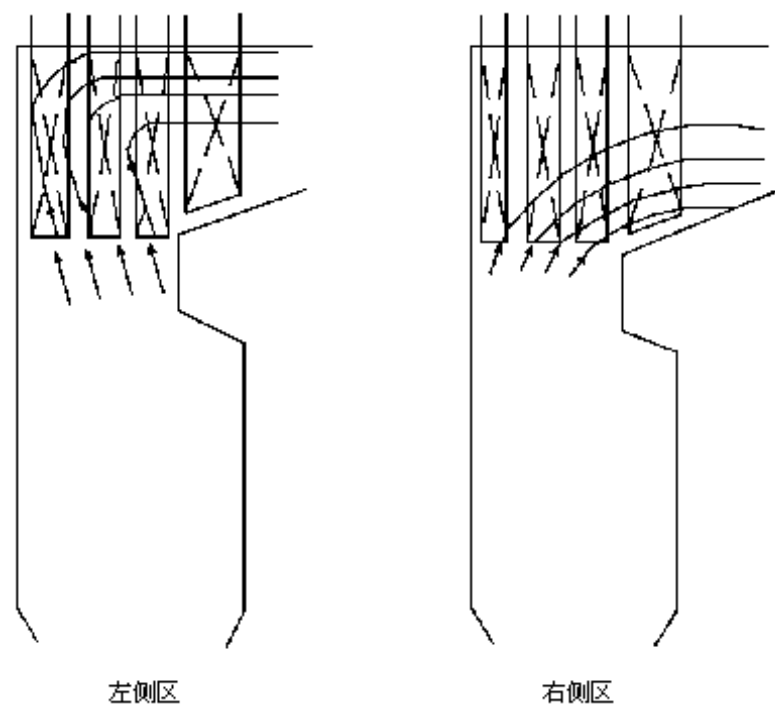


图1 上炉膛中烟气主流走向示意图

对逆时针旋转的锅炉而言，炉膛出口处气流分布为右高左低，炉膛出口处的烟气相对速度分布如图5.2所示，气流没有旋转时，炉膛出口速度为正态抛物线分布；当气流旋转时，在炉膛出口处左右侧气流会产生偏差，最大速度偏差可达1.8~2.0。

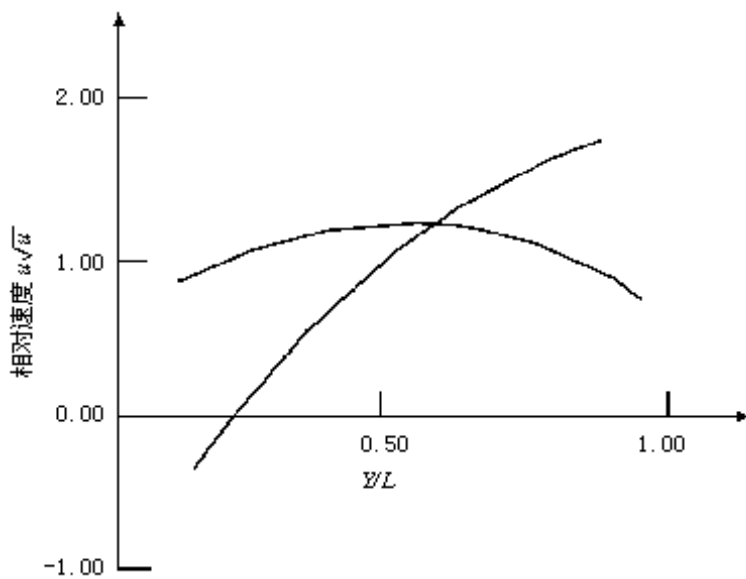


图2 炉膛出口相对速度分布

### 2.3 残余旋转对水平烟道烟气偏差的影响

当烟气进入水平烟道后，主要为对流受热面，其沿炉膛宽度方向的热偏差分布主要受水平烟道处的烟气速度场控制，也就是说水平烟道入口沿宽度方向的烟速偏差会引起烟温偏差，因为烟速低的烟气通过同一等长烟道的时间要比烟速高的长，所以每公斤烟气放热多，温降大，烟温自然就低。从烟气角度来看，每公斤烟气通过长为L的烟气通道时放热量为：

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{放}} &= Q_{\text{放}} + Q_{\text{辐}} \\
 &= a_{\text{对}} F_{\text{对}} (T_{\text{烟}} - T_{\text{壁}}) \tau + \epsilon_{\text{壁}} \sigma F_{\text{辐}} (\epsilon_{\text{烟}} T_{\text{烟}}^4 - A_{\text{烟}} T_{\text{壁}}^4) \tau \\
 &= K W_y^{0.8} F_{\text{对}} (T_{\text{烟}} - T_{\text{壁}}) L / W_y + \epsilon_{\text{壁}} \sigma F_{\text{辐}} (\epsilon_{\text{烟}} T_{\text{烟}}^4 - A_{\text{烟}} T_{\text{壁}}^4) L / W_y \\
 &= K F_{\text{对}} (T_{\text{烟}} - T_{\text{壁}}) L / W_y^{0.2} + \epsilon_{\text{壁}} \sigma F_{\text{辐}} (\epsilon_{\text{烟}} T_{\text{烟}}^4 - A_{\text{烟}} T_{\text{壁}}^4) L / W_y
 \end{aligned}$$

对于逆时针方式旋转的锅炉来说，在水平烟道中，由于右侧的烟速比左侧高，因此右侧烟气放热量比左侧的少，故右侧的烟温比左侧高，实炉测试得结果也表明，烟速高的地方，烟温也高。

烟气对管束的对流放热系数  $a \propto v^{0.65}$ ，故烟速  $v$  低的  $a$  小，又因烟温低，温压  $\Delta t$  也小，故烟速低的区域蒸汽吸热也少，因此炉膛出口烟速分布的不均匀（右高左低），将引起水平烟道受热面管束吸热不均匀，右侧管束的吸热量将比左侧高。

这样，由于烟气在水平烟道入口右侧区的体积流量高于左侧区的体积流量（即右侧烟速高于左侧烟速），导致右侧区烟温水平低于左侧区烟温水平的这一事实，强化了水平烟道内右侧区域受热面上的对流换热，使水平烟道中各级受热面比炉膛出口受热面右侧的汽温与管壁温度都高，所处的环境最恶劣，经常发生超温爆管的现象。

## 3 烟气偏差形成的理论力学分析

如图3所示，选炉膛为定系，烟气所形成的圆柱体为动系，圆柱体内任意一点为动点。动系相对定系的运动为牵连运动，认为是炉膛内气流的整体运行，其速度为牵连速度  $V_Q$  表示，动点相对于动系的运动相对运动，其速度为相对速度，用  $V_x$  表示，当燃烧器切向喷出的气流在炉内形成旋涡，除沿炉膛中心上下轴线外，任意一点的气流都在由气流组成的圆柱体内按各自的运动轨迹做旋转运动，并具有一定的切向

速度。动点与定系之间的运动为绝对运动，其速度为绝对速度，用 $V_J$ 表示。上述3个速度的矢量关系式为：

$$V_J = V_Q + V_x$$

炉内烟气从下部旋转上升，各质点都有各自不同的绝对速度，因此可看成无数个质点遵循不同的运动轨迹旋转向上而行。在烟气上升过程中对于A、B两侧不同质点1、1'来说，由于 $V_x$ 和 $V_Q$ 互为垂直，从理论上说质点1和质点1'均有相等绝对值即 $|V_{J1}| = |V_{J1}'|$ ，但A侧的质点 $V_{J1}$ 水平方向的分量均指向水平烟道流向，而B侧的质点 $V_{J1}'$ 水平方向的分量逆向水平烟道。当烟气升至折焰角上部烟道附近时，由于 $V_Q$ 从上下运动改为水平烟道。当烟气升至与 $V_J$ 合成得到一个新的合成速度 $V_w = V_J + V_Q$ 。显然处于A侧的质点 $V_{J1}$ 与 $V_Q$ 迭加后其水平分量是增加的，而处于B侧的质点 $V_{J1}'$ 与 $V_Q$ 迭加后其水平分量是减少的。这就是水平烟道右侧速度高于左侧的原因。同时由于右侧的烟速高，而管内蒸汽带走热量有限，烟气热量得不到有效释放，故右侧温高于左侧烟温<sup>[2]</sup>。

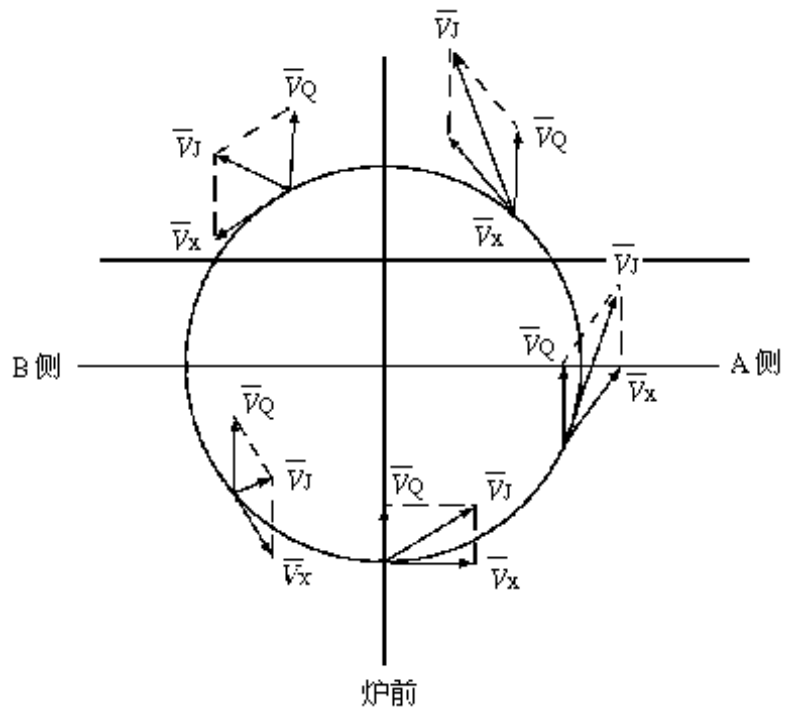
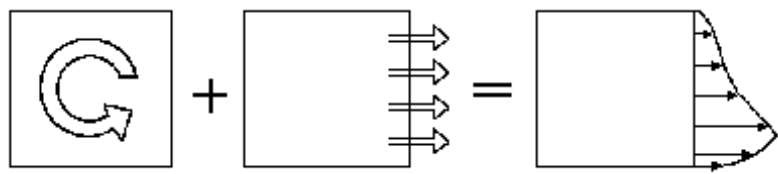
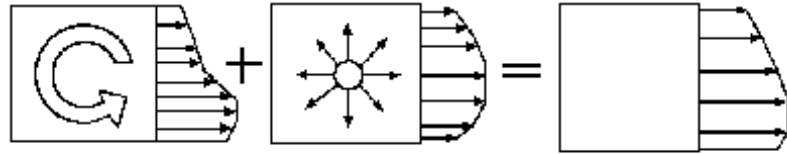


图3 折焰角上部烟气速度合成图

综前所述，因为炉膛出口仍存在由于切圆燃烧引起的残余旋转，而残余旋转又与水平烟道中的向后运动迭加，造成了左右不对称的速度场，如图4(a)所示。不对称的速度场即导致了炉膛出口过热器、再热器区域不对称的对流热流场。另一方面，此区域所受到的炉内火焰的辐射传热却是内高外低的对称辐射场。因此，不对称的对流传热与对称辐射传热的简单迭加，结果总的传热特性仍是左右不对称的。这即是四角切圆燃烧锅炉出口过、再热器区域烟气侧热力偏差的主要成因。如图4(b)所示<sup>[3]</sup>。



(a) 切向燃烧炉膛出口的速度场分布



(b) 四角切圆燃烧锅炉的烟气偏差

图4 切圆燃烧锅炉的烟气侧热力偏差成因分析

#### 4 结束语

根据烟气偏差形成的原因，为解决水平烟道内烟速和烟温的偏差，一方面可以根据残余旋转产生的原因，从炉内着手，通过更好的组织炉内空气动力工况来削弱炉膛出口气流的残余旋转；另一方面可以从上部炉膛及水平烟道结构着手，通过改进布置在上部炉膛屏的结构和折焰角的结构，来使水平烟道入口的烟速分布均匀化。

#### 5 参考文献

- [1] 姜道义, 李永兴, 刘明仁. 四角切圆燃烧大容量电站锅炉烟气参数场偏置问题的研究. 动力工程, 1994, (5): 16-21.
- [2] 钟先良. 锅炉水平烟道温差大的原因分析及处理. 湖南电力, 2000, 20(5): 39-41.
- [3] 章明川, 牛天况, 范卫东等. Π型布置切圆燃烧锅炉超大型化发展的一些动向及分析展望——介绍一种新的单炉膛双切圆燃烧方式. 锅炉技术, 2001. (1)

文章作者: 严响林

发表时间: 2005-07-12 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)