

# 磁场强度对层流预混火焰燃烧过程中 NO<sub>x</sub> 生成特性的影响

陈伟鹏, 朱秉森, 李保卫, 武文斐  
(内蒙古科技大学 能源与环境学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 以液化气层流预混火焰为实验研究对象。搭建了燃烧试验台, 并在火焰两侧施加放电磁场, 测定磁场强度, 并测量了电磁场中层流预混火焰燃烧温度和 NO<sub>x</sub> 浓度, 分析了在不同磁场强度下层流预混火焰燃烧特性及 NO<sub>x</sub> 生成特性。结果显示, 在电磁场的作用下, 火焰温度升高、直径略微增加、高度有所降低, 同时电磁场降低火焰中 N、HCN、CN 等离子和离子团与氧的碰撞几率, 导致 NO<sub>x</sub> 浓度下降, 最大下降为 2.998 mg/m<sup>3</sup>。

**关 键 词:** 预混火焰; 层流燃烧; 电磁场; 热力型 NO<sub>x</sub>

中图分类号: X511 文献标识码: A

## 引 言

火焰燃烧过程中, 燃料热解会产生一定带电离子或离子团。在火焰内部, 这些离子和离子团不会马上与氧气结合形成分子, 而会以离子的形式存在一定时间。离子和离子团的分布状态和运动形式对氮氧化物生成有较大影响。将火焰放在磁场中, 洛伦兹力会改变燃烧过程中产生的离子和离子团的运动轨迹, 由无序运动变为一定轨迹下的规律运动, 燃烧过程中各种反应物的化学反应速度将发生改变, 火焰温度场分布也产生变化, 从而影响 NO<sub>x</sub> 的生成特性。

近年来, 国内外的一些学者对磁场中火焰的燃烧开展了相关研究。国内夏春云等针对固定磁场对旋转火焰、扩散火焰和预混火焰的特性进行了研究<sup>[1-3]</sup>; 陈伟鹏等研究了磁场强度对扩散火焰及 NO<sub>x</sub> 生成特性的影响<sup>[4-5]</sup>; 国外 Wakayama 等针对磁场梯度内的扩散火焰和部分预混火焰<sup>[6-9]</sup>, 研究了顺磁性和微重力对火焰燃烧特性的影响; Yuki-oMizutani 等实验研究了均匀磁场对层流预混火焰的直接作用<sup>[10]</sup>, 发现火焰的传播速率主要受到高速

化学反应控制, 不受磁场的影响; 而氮氧化物的形成受低速率的化学反应的控制, 也可以认为磁场对低速率 NO<sub>x</sub> 的形成产生了一定的影响。FouadKhaldi 等证明了磁场能够消除浮力对火焰的影响<sup>[11]</sup>。但是国内外的研究中很少提到磁场对 NO<sub>x</sub> 生成特性的影响, 少数学者也只是对无磁场湍流燃烧过程中生成 NO<sub>x</sub> 特性进行研究。之前我们对层流扩散火焰的 NO<sub>x</sub> 生成特性的研究取得了一定成果<sup>[4-5]</sup>。本例主要研究不同磁场强度对层流预混火焰中 NO<sub>x</sub> 生成特性的影响。通过在层流火焰周围对称放置电磁铁产生磁场, 测量磁场强度、火焰面温度/高度、氮氧化物浓度, 分析不同强度电磁场下的层流预混火焰特性和 NO<sub>x</sub> 生成特性。

## 1 实验装置

实验台如图 1 所示, 主要由燃烧装置、供电回路和检测装置组成。燃烧气体为液化气, 主要成分为 90% C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, 10% C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, 压力 0.9-1.0 MPa。燃烧装置采用上海实博实业有限公司生产的火焰实验台, 实验台面上安装了内径 φ5.1 mm 的不锈钢烧嘴, 烧嘴两侧对称放置一对游标卡尺(利于实验精度的提高), 在游标卡尺上固定一个电磁铁, 电磁铁由 MZD1 型电磁线圈(外部)和 φ32 mm × 200 mm 的圆柱铁芯(内部)组成。供电回路包括 BK-150 VA 交流变压器(频率 50 Hz, 输出电压 36 V, 110 V)、电阻和铜质导线。气体流量采用 LZJ-10 玻璃转子流量计监测, 工作压力为 101 325 Pa; 温度测量采用 XMT-1100 铂铑热电偶; NO<sub>x</sub> 浓度测量采用 KM9106 总和烟气分析仪(英国 KANE 公司), 分辨率 1 mg/m<sup>3</sup>, 分析范围 0-5 000 mg/m<sup>3</sup>; 磁场分布采用 F. W.

收稿日期: 2013-10-11; 修订日期: 2013-12-24

基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目(2011MS0707)

作者简介: 陈伟鹏(1974-), 男, 内蒙古包头人, 内蒙古科技大学副教授, 硕士。

BELL 5070 型数字式特斯拉计测量; 另外, 还利用 CCD( 高清摄像机) 和专业的火焰测量软件来记录火焰特性的变化。

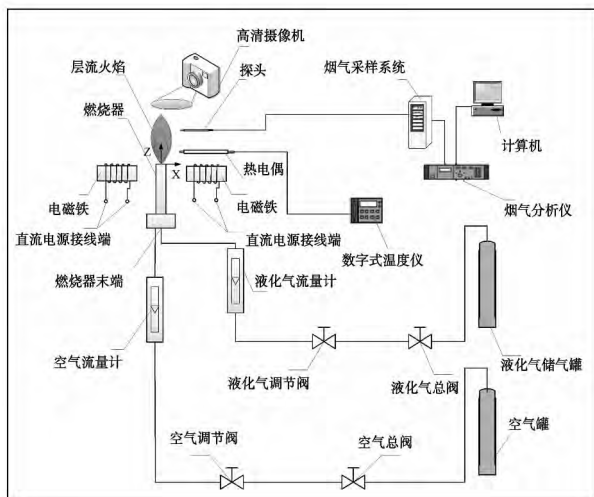


图 1 燃烧装置和监测系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the combustion device and monitoring system

### 2 实验方法

实验工况设置如表 1 所示。实验中液化气流量分别为 2、3 和 4.5 L/h、每种流量均在 0.36 和 110 V 3 种电压下产生的磁场中进行实验, 主要研究内容包括火焰形状、温度分布、NO<sub>x</sub> 浓度分布。

表 1 实验条件

Tab. 1 Test conditions

工况	液化气流量/L · h <sup>-1</sup>	试管直径/m	电压/V
1	2	0.005	0/36/110
2	3	0.005	0/36/110
3	4.5	0.005	0/36/110

实验开始前调整预混前空气及液化气流量, 达到淡蓝色火焰后用直径 5 cm 的玻璃试管罩住一段时间, 若火焰不熄灭则符合实验条件, 实验中燃气流量大于 4.5 L/h 后, 火焰不能保持稳定, 以 4.5 L/h 为上限向下取 3 个流量进行层流预混燃烧实验。为确保实验的精确度, 实验均在黑屋内进行。在实验过程中, 燃烧前测量磁场分布, 燃烧过程中同时测量火焰特性( 温度、外形) 及 NO<sub>x</sub> 浓度。图 2 为坐标示意图, 实验测试得到磁场强度、火焰温度、NO<sub>x</sub> 浓度

均与图中纵坐标相一致。以烧嘴中心为轴向上每隔 5 mm 布置一个磁场测量点; 每隔 3 mm 布置一个温度测量点, 与此同时用摄像头拍摄下火焰的照片观察火焰结构和形状的变化; 每隔 3 mm 布置一个 NO<sub>x</sub> 浓度测量点, 其中磁场测量点的横坐标为 0 mm, 温度和 NO<sub>x</sub> 浓度测量点紧贴火焰面外缘, 且在不影响火焰燃烧状态下进行。采集实验数据采用多次测量取其平均值的原则, 为减小误差剔除个别与其它数据明显不符的错误数据。为了保证各工况实验条件一致, 在进行完一组实验以后, 待各实验设备完全降至室温后再开始下一组实验。

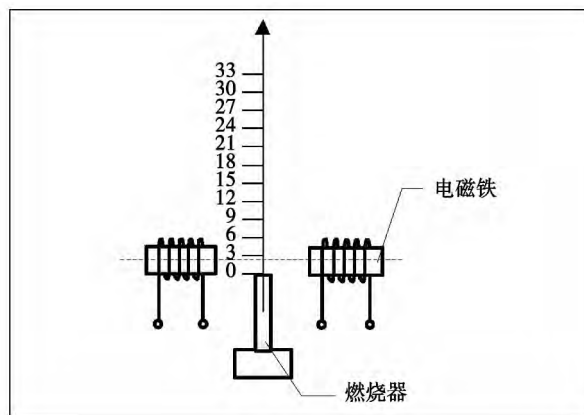


图 2 实验坐标示意图( mm)

Fig. 2 Schematic drawing of the coordinates of the test ( mm)

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 磁场分布

磁场源由两个电磁线圈构成, 铁芯相距 40 mm, 通过改变线圈电压来改变磁场强度, 磁场分布如图 3 所示。从图中可以看出磁场最大值在距离烧嘴 16 mm 处, 磁场先增大后减小, 由于火焰比较短, 所以实验过程一直处于强磁区中, 不同电压下的磁场强度相差比较大。

#### 3.2 磁场强度对火焰形状的影响

图 4 是在不同液化气流量下, 火焰在 3 种磁场( 0 V、36 V、110 V) 中的形状对比。跟据火焰软件分析及火焰图片得出如表 2 中所列结果。

总结得到, 在 3 种液化气流量下, 随着磁场强度的增加, 火焰长度有所下降, 火焰最大直径有所增加。

出现此现象的原因是气体燃料燃烧反应属连锁反应中的支链反应,由于火焰燃烧的不完全性产生了活化中心,活化中心(各种带电离子或离子团)在火焰传播过程中起到很重要的作用。火焰燃烧在无磁场工况中,活化中心随着气流向上运动;而在有磁场工况中,活化中心受到磁场中洛伦兹力的作用改变了原来的运动轨迹,向两侧运动,降低了向上的运动速度,且加剧了喷嘴出口处火焰的燃烧,所以外加磁场后火焰直径有所增加,火焰的高度略微降低。

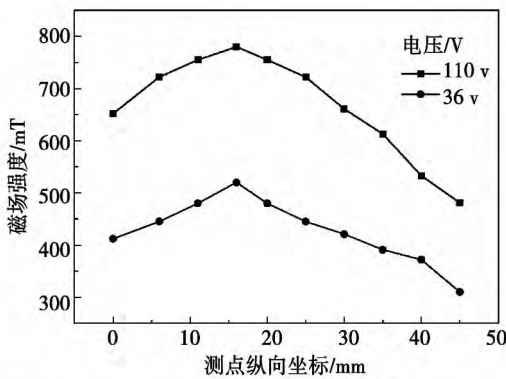


图 3 磁场强度分布

Fig. 3 Distribution of the intensity of the magnetic field

表 2 不同流量下磁场对火焰燃烧特性的影响

Tab. 2 Effect of the magnetic field on the combustion characteristics of the flame at different flow rates

液化气流量	4.5 L/h		3 L/h		2 L/h	
	火焰长度/mm	火焰直径/mm	火焰长度/mm	火焰直径/mm	火焰长度/mm	火焰直径/mm
电压						
0	38.3	7.6	28.2	6.9	25.6	8.6
36 V	37.5	8.1	27.5	7.3	25.4	9.1
110 V	35.8	8.8	26.7	7.6	25.1	9.2

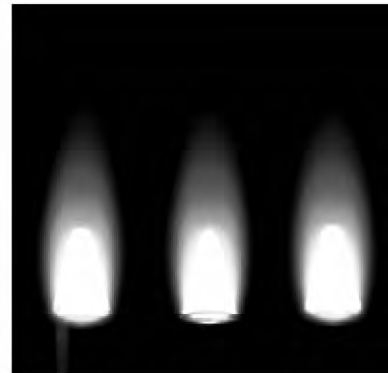
### 3.3 磁场强度对火焰温度的影响

测温点在火焰面外缘紧贴火焰面,测量数据只反应了火焰温度的相对变化,并不代表火焰温度的绝对值。

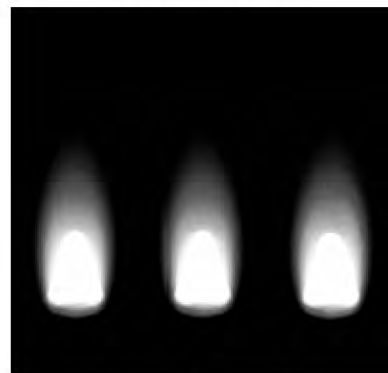
图 5 为在不同液化气流流量下,火焰在 3 种磁场(0 V、36 V 和 110 V)中的温度分布对比。用 origin 软件分析实验数据得到结论:

(1) 液化气流流量为 2 L/h 时火焰温度分布如图 5(a) 所示。可以看出在  $Z = 16$  mm 以下范围,火焰面温度呈线性增长均低于  $680$  °C,且各监测点的温

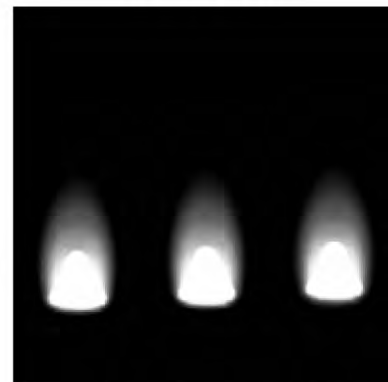
度增长幅度比较明显,在  $Z = +6$  mm 处火焰面温度差幅达到了峰值,110 V 工况下的火焰面温度比无磁场工况提高了  $52$  °C。说明受磁场强度的影响,火焰面温度有所升高,且随着磁场强度的增大,温度升高的幅度增大,在  $Z = +18$  mm 以上时磁场对火焰面温度无太大影响。



0 36V 110V  
液化气流量4.5 L/h



0 36V 110V  
液化气流量3 L/h



0 36V 110V  
液化气流量2 L/h

图 4 火焰高度实物图

Fig. 4 Real object photo of the flame height

(2) 液化气流量为 3 L/h 时火焰面温度分布如图 5(b) 所示。可以看出在 Z = +16 mm 以下范围, 火焰面温度呈线性增长, 且各监测点有一定的温度增长幅度。在 Z = +6 mm 处火焰面温度差幅达到了峰值, 110 V 工况下的火焰面温度比无磁场工况提高了 47 °C。说明受磁场强度影响, 火焰面温度有所升高, 且随着磁场强度的增大, 温度升高的幅度也在增大。在 Z = +18 mm 以上时磁场对火焰面温度无太大影响。

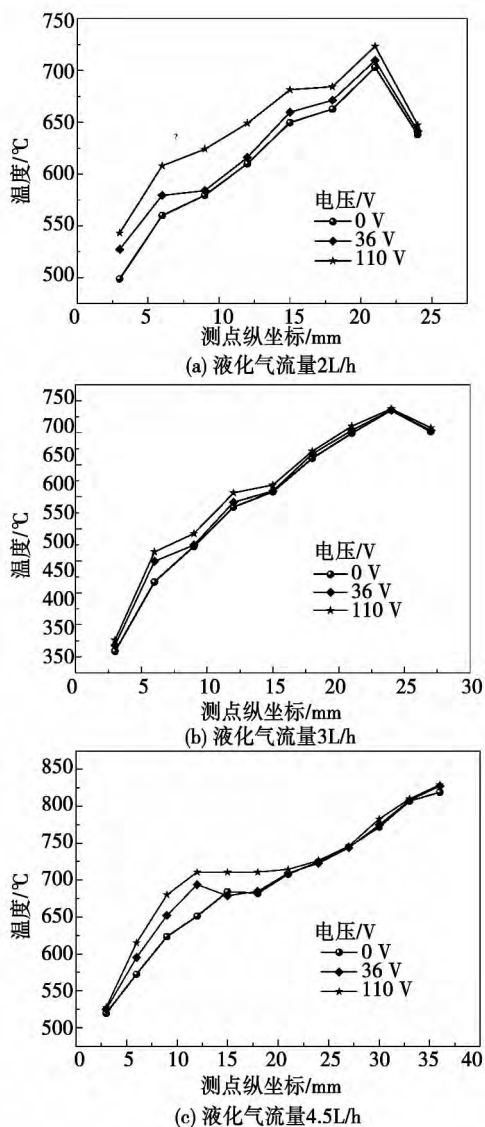


图 5 各实验条件下温度分布对比

Fig. 5 Comparison of the temperature distribution under various test conditions

(3) 液化气流量为 4.5 L/h 时的火焰面温度分布如图 5(c) 所示。可以看出在 Z = +16 mm 以下范围, 火焰面温度呈线性增长, 且各监测点有一定的

温度增长幅度。在 Z = +12 mm 处火焰面温度差幅达到了峰值, 110 V 工况下的火焰面温度比无磁场工况提高了 47 °C。说明受磁场强度影响, 火焰面温度有所升高, 且随着磁场强度的增大, 温度升高的幅度增大。在 Z = +18 mm 以上时磁场对火焰面温度无太大影响。

综上所述发现, 火焰在 Z = +18 mm 以下各监测点温度差幅明显, 随着磁场强度的增大, 火焰面温度均有所提高。在 Z = +18 mm 以上时, 随着磁场的减小, 火焰受空气流动影响较大。另外液化气流量为 2 L/h 时, 各监测点温度差幅比另外两种条件更加明显。说明随着液化气流量的增大, 磁场对温度的影响进一步减小。

### 3.4 磁场强度对 NO<sub>x</sub> 生成特性的影响

图 6 为在不同液化气流量下, 火焰在 3 种磁场 (分别由 0 V、36 V 和 110 V 电压产生) 中与火焰温度分布同步进行测量得出的浓度分布对比, 由图可以看出:

(1) 液化气流量为 2 L/h 时 NO<sub>x</sub> 浓度分布如图 6(a) 所示, 3 种磁场下 NO<sub>x</sub> 浓度分布近似。在 Z = 0 mm 处最低, NO<sub>x</sub> 浓度仅为 7.134 mg/m<sup>3</sup>, 且 110 V 工况下与无磁场相比 NO<sub>x</sub> 浓度降低了 23.5%, NO<sub>x</sub> 浓度先升高后降低, 在 Z = 9 mm 处时, NO<sub>x</sub> 浓度下降了 21.3%, 其余差幅在 10% - 15% 之间。110 V 工况下与 36 V 工况下相比, NO<sub>x</sub> 浓度差幅不大。

(2) 液化气流量为 3 L/h 时 NO<sub>x</sub> 浓度分布如图 6(b) 所示, 3 种磁场下 NO<sub>x</sub> 浓度分布近似。在 Z = 0 mm 处最低, 且 110 V 工况下与无磁场时相比 NO<sub>x</sub> 浓度降低了 15.7%。NO<sub>x</sub> 浓度总体处于持续增大, 在 Z = +3 mm 处时, NO<sub>x</sub> 浓度为 10.344 mg/m<sup>3</sup>, 110 V 工况和无磁场 NO<sub>x</sub> 浓度差幅最大, 达到了 21.9%。其余部分 NO<sub>x</sub> 浓度差幅在 10% - 15% 之间。110 V 工况下与 36 V 工况下相比, NO<sub>x</sub> 浓度差幅不大。

(3) 液化气流量为 4.5 L/h 时 NO<sub>x</sub> 浓度分布如图 6(c) 所示。3 种磁场下 NO<sub>x</sub> 浓度分布近似。在 Z = 0 mm 处最低, 且 110 V 工况下与无磁场时相比降低了 19.6%。NO<sub>x</sub> 浓度先增大后减小, 在 Z = +15 mm 处时, NO<sub>x</sub> 浓度仅为 9.524 mg/m<sup>3</sup>, 110 V 磁场和无磁场 NO<sub>x</sub> 浓度差幅最大, 达到了 23.9%。随后随着磁场强度的减弱, 在 Z = +20 mm 后 NO<sub>x</sub> 浓度趋于一致。110 V 工况下与 36 V 工况下相比, NO<sub>x</sub> 浓度差幅不大。

在各液化气流量工况下, 当到达某一高度时, 就

检测不到氮氧化物浓度。资料表明热力型  $\text{NO}_x$  大量生成是在火焰面的下游,特别是火焰面下游局部高温、局部氧浓度大和烟气停留时间长的地方,更容易生成热力型  $\text{NO}_x$  [12]。该说法是否成立将在后续的工作中进行研究。

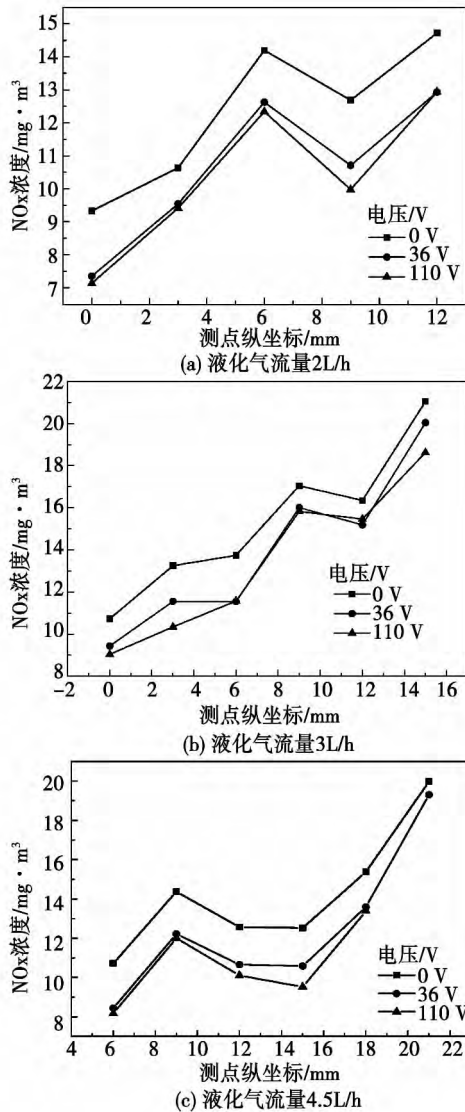


图6 各实验条件下浓度分布对比

Fig. 6 Comparison of the concentration distribution under various test conditions

比较各实验工况下  $\text{NO}_x$  浓度变化幅度可以看出,磁场对预混火焰生成的  $\text{NO}_x$  浓度起到了一定的抑制作用,最大降幅达到了 23.5%,普遍降幅达到 10% - 15%。之前探讨的磁场对扩散火焰中  $\text{NO}_x$  的抑制作用,最大降幅达到了 78.6% 和 53.12%。两者相比较可以看出磁场对预混火焰的抑制效果不如扩散火焰明显。

在微观领域,层流火焰燃烧过程中,燃料热解产生了较多 N、HCN、CN 等含 N 原子的离子或者离子团。正常情况下它们会与空气中的 O 原子或者  $\text{O}_2$  发生有效碰撞反应生成  $\text{NO}_x$ 。随着温度的升高,含 N 离子、离子团及  $\text{O}_x$  会变得活跃,发生碰撞的机会增加,生成量应该增大。但在实验结果显示  $\text{NO}_x$  生成量降低。这是因为在层流燃烧过程中,产生的含 N 离子或离子团都带有电荷,外加磁场后,受到洛伦兹力作用,减缓了离子或者离子团随气流向上的无序运动,而是有规律的顺着洛伦兹力的受力方向运动,大大减少与 O 原子或  $\text{O}_2$  的碰撞次数,使得  $\text{NO}_x$  生成量减少。

### 3 结论

磁场强度对层流预混火焰及  $\text{NO}_x$  生成特性的影响,可通过将液化气和空气燃烧的层流火焰置于电磁场中实现。实验通过测量不同工况下火焰形状以及、火焰温度分布、 $\text{NO}_x$  浓度分布数据并进行对比分析,得到如下结论:

- (1) 与无磁场相比,层流火焰在电磁场中燃烧更加剧烈,预混火焰长度变短,直径变粗;
- (2) 在一个梯度磁场中,磁场强度大的区间火焰面的温度比较高,且随着磁场强度的增大而升高;
- (3) 在强磁区,含 N 离子或离子团受到洛伦兹力的作用,使原来无序的随着气流向上的运动变为有规律的向受力的方向运动,减缓了含 N 离子或离子团与 O 原子或者  $\text{O}_2$  的碰撞几率,从而降低了反应速度,最终导致  $\text{NO}_x$  浓度降低。在液化气流量为 4.5、3 和 2L/h 时, $\text{NO}_x$  浓度最大降幅分别为 23.9%、21.9% 和 23.5%。

### 参考文献:

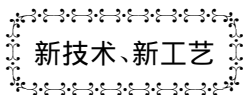
[1] 夏云春,王清安. 磁场对旋转火焰涡量的影响(Ⅰ) [J]. 燃烧科学与技术 2005, 11(3): 257 - 260.  
XIA Yun-chun, WANG Qing-an. Influence of the magnetic field on the rotary vorticity of the flame (Ⅰ) [J]. Combustion Science and Technology 2005, 11(3): 257 - 260.

[2] 夏云春,王清安. 磁场对扩散火焰特性的影响 [J]. 火灾科学, 2002, 11(4): 242 - 243.  
XIA Yun-chun, WANG Qing-an. Effect of the magnetic field on the diffusion characteristics of flame [J]. Fire Disaster Science 2002, 11(4): 242 - 243.

[3] 夏云春,王清安. 磁场对预混火焰特性的影响 [J]. 燃烧科学与

- 技术 2004 ,10(1):73-75.
- XIA Yun-chun ,WANG Qing-an. Effect of the magnetic field on the pre-mixed flame characteristics [J]. Combustion Science and Technology 2004 ,10(1):73-75.
- [4] 陈伟鹏,朱秉森,史庆祥,等. 电磁场强度对层流火焰和  $\text{NO}$  生成特性的影响[J]. 过程工程学报 2012 ,12(6):953-955.
- CHEN Wei-peng ,ZHU Bing-sen ,SHI Qing-xiang ,et al. Effect of the intensity of an electromagnetic field on the laminar flow flame and  $\text{NO}$  generation characteristics [J]. Journal of Process Engineering 2012 ,12(6):953-955.
- [5] 史庆祥,武文斐,陈伟鹏,等. 磁场梯度对甲烷层流燃烧时  $\text{NO}_x$  生成特性的影响[J]. 热科学与技术 2012 ,11(4):337-339.
- SHI Qing-xiang ,WU Wen-fei ,CHEN Wei-peng ,et al. Influence of the gradient of a magnetic field on  $\text{NO}_x$  generation characteristics during the laminar flow combustion of methane [J]. Combustion Science and Technology 2012 ,11(4):337-339.
- [6] Wakayama ,N.I. Effect of a gradient magnetic-field on the combustion reaction of methane in air [J]. Chemical Physics Letters , 1992 ,188 (3-4):279-281.
- [7] Wakayama N. I ,Sugie M. Magnetic promotion of combustion in diffusion flames [J] . Combustion and Flame ,1993 ,93 (3): 207-214.
- [8] N. I. Wakayama ,H. Ito ,Y. Kuroda ,O. Fujita and K. Ito. Magnetic support of combustion in diffusion flames under microgravity [J]. Combustion and Flame ,1996 ,107 (1-2):187-188.
- [9] Wakayama N. I ,Sugie M. Magnetic promotion of combustion in diffusion flames [J]. Physica. Section B ,1996 ,216 (3-4):403-405.
- [10] Mizutani Y ,Fuchihata M ,Ohkura Y. Pre-mixed Laminar Flames in a Uniform Magnetic Field [J]. Combustion and Flame ,2001 ,125 (1-2):1071-1073.
- [11] FouadKhalidi ,KarimMessadek ,Adel Mustapha Benselama. Isolation of gravity effect on diffusion flame by magnetic field [J]. Microgravity Science and Technology 2010 ,22 (1):1-5.
- [12] 徐 鹏,傅忠诚. 全预混燃烧降低污染物排放的探讨[J]. 北京建筑工程学院学报 2005 ,21(2):21-23.
- XU Peng ,FU Zhong-cheng. Exploratory study of the wholly premixed combustion in lowering the pollutant emissions [J]. Journal of Beijing Institute of Civil Engineering 2005 ,21(2):21-23.

( 陈 滨 编辑)



## 2009 - 2013 年新生产的 28 型燃气轮机

据《Gas Turbine World》2013 年年度手册报道,在 2009 - 2013 年的 5 年期间共有 28 型新设计的燃气轮机已经投放市场,用于发电和机械驱动工程。

这些燃气轮机都是利用了原设备制造厂商已有的设计经验,使用了现代新技术、新材料和新工艺进行设计和制造。在同档功率的机组中,这些燃气轮机具有更大的输出功率、更高的热效率和更长的使用寿命。

例如,川崎重工的 L30A 型延续了该公司在设计中小功率的设计优势,使该燃气轮机的效率高达 40.1%。

曙光 - 机器设计公司的 UGT - 60000 型是在该公司 110000 kW 功率的 UGT - 110000 型基础上按比例缩小燃气轮机,功率降档到 63 500 kW,效率高达 38.8%。

三菱重工的 M501J 型结合了该公司 G 级和 H 级燃气轮机的先进技术并使用了高达 1 600 °C 的涡轮进口温度,使其成为大功率燃气轮机,效率高达 41.0%。

列出了这些燃气轮机的制造厂商、燃气轮机型号、输出功率、热耗率、效率、涡轮进口温度和推出年份。

( 吉桂明 摘译)

**ted and Mixed with Water on the Thermal Efficiency of a Boiler** [刊, 汉] ZHANG Lu, ZHU Yi-min, LI Tie, TANG Xiao-jia, ZHANG Hong-peng (Environmental Pollution Treatment Research Institute, Dalian Maritime University, Dalian, China, Post Code: 116026) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(3). - 274 - 278

A self-made mechanical micro agitation fuel oil water-dilution-mixing device was adopted to prepare fuel oil mixed with water in various water drop particle diameters (9.36  $\mu\text{m}$ , 11.27  $\mu\text{m}$ , 14.49  $\mu\text{m}$  and 20.55  $\mu\text{m}$ ) and such fuel oil was applied in a thermally-injected boiler in an oil field for an on-line test. The test results show that the thermal efficiency of the boiler burning the fuel oil diluted and mixed with water prepared by using the mechanical agitation method can be improved remarkably when compared with that burning the fuel oil not diluted and mixed with water and when the water drop particle diameter of the fuel oil mixed with water is 9.36  $\mu\text{m}$ , the thermal efficiency of the boiler will be highest. In such a case, the direct balance efficiency of the boiler will be 89.73% and the oil saving rate will be 4.49%. **Key words:** mechanical micro agitation, water drop particle diameter, fuel oil diluted and mixed with water, thermal efficiency of a boiler, oil saving

**燃煤锅炉 NO<sub>x</sub>排放浓度的智能预报 = Intelligent Prediction of the NO<sub>x</sub> Emissions Concentration of a Coal-fired Boiler** [刊, 汉] YIN Ling-xiao, WANG Ming-chun, SHANG Qiang (College of Energy Source and Environment, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(3). - 279 - 283

On the basis of the hot state test data, the BP neural network and supporting vector machine regression algorithms were used respectively to establish models controlling the NO<sub>x</sub> emissions characteristics of a coal-fired boiler and verify the accuracy of the models. The research results show that the maximum prediction error, minimum prediction error and mean variance of the specimen by using the BP network model are 4.263%, 0.556% and 2.2133% respectively and those by using the supporting vector machine model are 2.121%, 0.091% and 0.4549% respectively. Both intelligent technologies can make a relatively accurate prediction of NO<sub>x</sub> emissions under various operating conditions of the boiler, however, the supporting vector machine model is obviously superior to the neural network model in terms of general-purpose capability, converging speed and optimization etc. **Key words:** NO<sub>x</sub>, boiler, neural network, supporting vector machine

**磁场强度对层流预混火焰燃烧过程中 NO<sub>x</sub>生成特性的影响 = Influence of the Intensity of a Magnetic Field on the NO<sub>x</sub> Production Characteristics During the Laminar Flow Premixed Flame Combustion** [刊, 汉] CHEN Wei-peng, ZHU Bing-sen, LI Bao-wei, WU Wen-fei (Inner Mongolia University of Science and Technology,

Baotou ,China ,Post Code: 014010) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2014 29(3) . – 284 – 289

With the laminar flow premixed flame of liquefied gas serving as the object of study ,set up was a combustion test rig with an electromagnetic field being applied at both sides of the flame to determine the intensity of the field ,measure the combustion temperature of the laminar flow premixed flame in the electromagnetic field and  $\text{NO}_x$  concentration and analyze the laminar flow premixed flame combustion characteristics at various intensities in the magnetic field and production characteristics of  $\text{NO}_x$ . It has been found that under the action of the electromagnetic field ,the flame temperature will rise ,the flame diameter will slightly increase ,its height will somewhat decrease and at the same time ,the electromagnetic field will reduce the possibility of N ,HCN and CN etc. ion and ion groups in the flame to collide with oxygen ,resulting in a decline of  $\text{NO}_x$  concentration ,maximally reduced by  $2.998 \text{ mg/m}^3$ . **Key words:** premixed flame ,laminar flow combustion ,electromagnetic field ,thermal type  $\text{NO}_x$

超超临界机组模型的非线性分析及控制 = **Non-linear Analysis and Control of the Model for Ultra-super-critical Units** [刊 ,汉] ZHU Ya-qing ,CHEN Shi-he ( Academy of Electric Power Sciences ,Guangdong Power Grid Company ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510080) ,ZHANG Man ,ZENG De-liang ( North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2014 29 (3) . – 290 – 296

To realize the stable operation of large-sized ultra-supercritical units in a wide range at a variable load ,adopted was a conception of the clearance measure. On this basis ,the non-linear characteristics of a model for 1 000 MW ultra-supercritical units with three inputs and three outputs were analyzed. By adopting the K-mean clustering algorithm ,the division of loads of the unit and the selection of its typical operating points were accomplished. By employing the small deviation linearization method ,the linear models at each typical operating point were obtained and then ,based on the  $H_\infty$  loop formation ,the corresponding robust controllers to each linearization models were designed. Finally ,in combination with the fuzzy supervision and control ,a fuzzy multi-model supervision and control version was given. The test and simulation results show that the design version of the controller under discussion can realize a quick tracking of the load of a ultra-supercritical unit ,thus offering a new method for controlling a non-linear system. **Key words:** clearance measure ,non-linear analysis , $H_\infty$  loop formation ,fuzzy multi-model supervision and control

根部风对增压锅炉气流特性影响的数值分析 = **Numerical Analysis of the Influence of the Root Air on the Air Flow Characteristics of a Supercharged Boiler** [刊 ,汉] ZHANG Liang ,LIU Ming-zhu ,HE Zhao-bin ( CSIC Harbin No. 703 Research Institute ,Harbin ,China ,Post Code: 150078) //Journal of Engineering for Thermal Energy