

氢含量对氢气 甲烷混合气扩散 燃烧特性的影响研究

武 辉, 穆克进, 王 岳, 肖云汉

(中国科学院工程热物理研究所 先进能源动力重点实验室, 北京 100190)

摘 要: 用实验与数值模拟手段研究了含氢量对氢气 甲烷混合燃料的扩散燃烧特性的影响, 结果表明, 在保持燃料总发热量不变的前提下, 含氢量的增加并未使火焰长度发生显著变化, 这是由于含氢量增加引起火焰缩短的趋势与燃料流量增加引起火焰加长的趋势共同作用的结果。所有燃料火焰的最高温度都发生在回流区内, 随着含氢量的增加, 火焰高温区域的轴向高度越来越大。火焰稳定性随着含氢量的提高而显著加强。OH 基浓度分布的 PLIF 测量结果表明, 随着含氢量的增加, 火焰根部的边界越来越清晰, 这说明根部的燃烧强度越来越剧烈。NO_x 排放浓度随着燃料中含氢量的增加而呈指数上升趋势, 并与火焰温度的变化趋势相符合。燃料含氢量从 0% 增加到 80% 时, NO_x 浓度相对增加了 46%, 而从 80% 增加到 100% 时, NO_x 浓度相对增加了 48%。从这个角度上说, 含氢量 80% 的燃料也许比纯氢燃料更具有优势。

关键词: 氢气; 甲烷; 扩散火焰; 含氢量; 燃烧特性

中图分类号: TK16 文献标识码: A

引 言

为了减少能源利用过程中的污染物排放, 尤其是为了实现二氧化碳零排放, 以氢气或高含氢燃料来替代传统化石燃料的课题正变得越来越有吸引力。然而, 由于氢气的燃烧特性与天然气等传统燃料有很大差别, 因此用现有燃烧室直接燃用纯氢燃料可能会引发许多问题。另一方面, 在制氢的过程中常会生成一些既含氢气, 又含碳氢化合物的中间产物, 而这些产物很有可能成为传统化石燃料与纯氢燃料之间很好的过渡燃料。因此, 本研究主要针对不同含氢量的氢气 甲烷混合气与纯氢气、纯甲烷的燃烧特性之间存在的差异进行了对比研究。另外, 由于含氢量 80% (体积分数) 的混合气是本实验

室一步式制氢装置的主要产物^[1-2], 因此对其研究也是非常重要的。

1 实验部分

图 1 为一个同轴射流钝体稳焰扩散燃烧器。燃料从直径为 $\phi 6$ mm 的中心喷孔喷出, 而空气从环绕着燃料喷嘴的环形喷嘴中喷出。燃料喷嘴略高于空气喷嘴, 起到了钝体稳焰的效果, 在实验中能够清楚的观察到回流区。

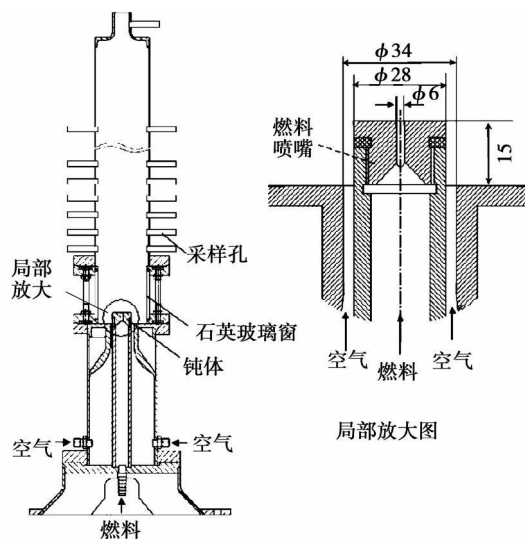


图 1 实验装置示意图

在以往关于氢气 碳氢化合物混合气燃烧的研究中, 对于不同的燃料, 通常采用相同流量来进行对比^[3-7]。事实上, 氢气的单位体积热值远远低于甲烷, 为了达到相等的总发热量, 燃料含氢量越大时, 需要的流量也越大。在实际的燃烧室中, 燃烧特性与燃料流量的大小具有密不可分的关联性。因此,

收稿日期: 2009-01-13 修订日期: 2009-11-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50576098); 国家 863 计划基金资助项目 (2006AA05A104)

作者简介: 武 辉 (1978-), 女, 山西临汾人, 中国科学院工程热物理研究所博士研究生。

以相同总发热量为基准来对不同含氢量的燃料进行对比具有更加重要的意义。

表 1 燃料参数

体积分数 /%		流量 /m ³ · h ⁻¹	流速 /m · s ⁻¹
H ₂	CH ₄		
100	0	2.50	24.57
90	10	2.03	19.95
80	20	1.71	16.80
70	30	1.47	14.45
60	40	1.29	12.68
50	50	1.15	11.3
40	60	1.04	10.23
30	70	0.95	9.32
20	80	0.87	8.55
10	90	0.81	7.92
0	100	0.75	7.39

本研究中所有燃料具有相等的总发热量 2.675×10^7 J/h 对应的流量与喷嘴出口流速列于表 1。空气流量固定为 $7.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 对应喷嘴出口流速 6.85 m/s 。CH₄ 与 H₂ 的当量比分别为 0.99 和 0.83 其它燃料当量比则介于 0.99 与 0.83 之间。所有实验在常温常压下进行。

火焰照片采用普通相机拍摄, 曝光时长 4 s。火焰温度测量采用直线对焊 S 型热电偶, 偶丝直径 0.3 mm, 允许偏差 $\pm 0.25\%$, 测量范围 0~1500 K, 短期最高测量温度可达 1800 K。对于辐射误差与传热误差的温度修正式为 (当测量温度为 1000 K 时, 误差约为 70 K):

$$\Delta T = T_g - T_p = \frac{1.25 \epsilon \sigma d^{25}}{k_g} \cdot \left(\frac{v}{u} \right)^{0.25} \cdot (T_p - T_w)$$

图 2 为水冷采样探针, 用以测量烟气中 NO_x 浓度。其陶瓷管探头直径为 $\phi 1.5 \text{ mm}$ 。探针末端连接德国 MRU VRAIO 增强型工业气体连续监测仪, 该仪器能够直接显示 NO_x 浓度值。

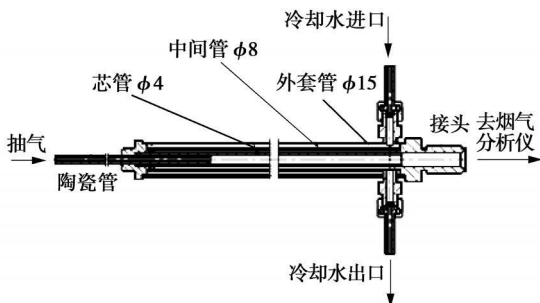


图 2 采样探针示意图

OH 基浓度测量采用图 3 所示的平面激光诱导荧光 (PLIF) 系统。其基本原理是: 由 Nd:YAG 固体激光器产生波长为 355 nm 的激光, 该激光进入染料激光器, 激发其中的染料产生波长约为 567 nm 的激光, 该激光经 BBO 倍频晶体和分光器后获得波长为 283.55 nm 的紫外光, 该紫外光再经过片光透镜组, 扩束为宽 120 mm 厚 0.5 mm 的薄片光, 用于激发火焰中 OH 基产生荧光。信号接收系统采用具备影像增强器的 CCD 摄像机, 并配有窄带滤波片 (BP308/10), 用于消除火焰自发荧光信号以及其它杂波。拍摄到的原始 PLIF 图像经过背景噪声修正、激光脉冲能量修正等误差处理后, 再作平均分析。

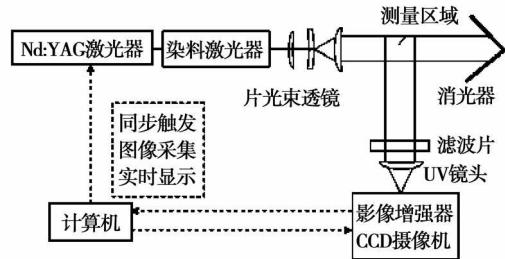


图 3 PLIF 系统示意图

2 数值模拟

利用 Fluent 与 Chemkin 模拟软件, 对实验得到的数据进行对比分析。Fluent 模拟中, 湍流模型采用标准 k-ε 模型, 燃烧模型采用 Flamelet 模型, 化学反应机理采用 GRB 0 机理。

Chemkin 模拟中采用了对冲火焰模型, 其中, 燃料和空气速度均为 100 cm/s, 喷嘴间距为 2 cm, 燃料喷嘴与空气喷嘴的坐标分别为 0 与 2.0 cm。

3 结果与讨论

3.1 火焰形态

图 4 所示为 H₂、CH₄ 与 80% H₂ 的火焰对比照片。从照片上看, 甲烷的火焰最为明亮, 80% H₂ 燃料的火焰是蓝色的, 而纯氢的火焰则发出微弱的红色光亮, 这可能是由于燃料气不够纯净造成的。

火焰长度对于燃烧室的设计具有重要意义。许多文献中提出, 当向碳氢燃料中添加氢气时, 火焰长度将随之大为缩短。然而, 上述结论是以燃料总流量不变为前提的。

在实验中, 为了保持相等的总发热量, 燃料流量随着含氢量的增加而加大, 纯氢的流量约为甲烷流

量的 2 3 倍。在此条件下, 实验观测到的火焰长度并未随氢含量发生明显的变化, 如图 4 所示。

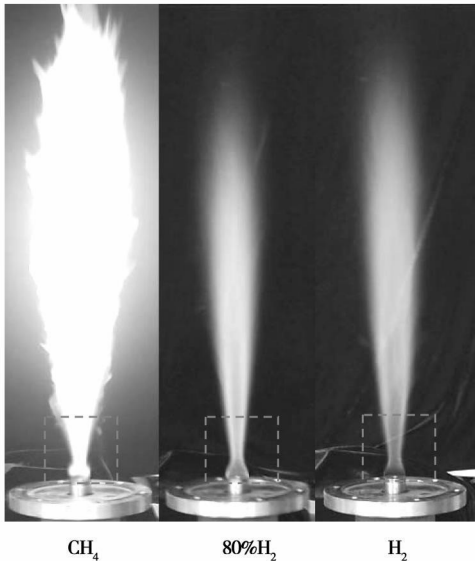


图 4 火焰形态对比

§ P Burke和 T E Schumann等人曾对同轴射流扩散燃烧器中影响火焰长度的各种因素进行了详细分析^[8]。这些因素主要包括压力、预热温度、喷嘴直径、燃料在空气中的扩散系数 (k)、燃料速度 (U_j) 和单位可燃气体完全燃烧所需氧气的摩尔数 (i)。

当其它因素不变时, 火焰长度随 i 值增加而变长, 随 k 值增加而变短。H₂ 的 i 值为 0.5 k 值为 0.71 cm²/s, 而 CH₄ 的 i 值为 2 k 值为 0.196 cm²/s。因此, 在 U_j 相等的条件下, H₂ 的火焰长度应明显短于 CH₄, 并且, 混合气火焰长度应随氢含量增加而缩短。

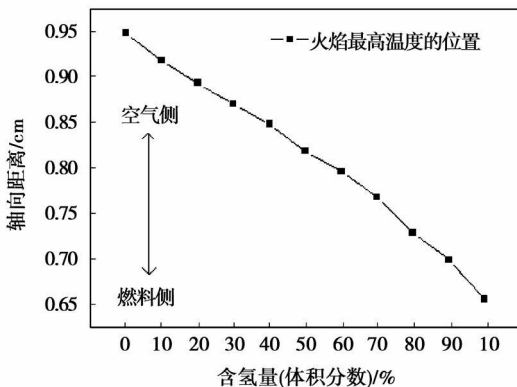


图 5 火焰锋面位置随燃料含氢量的变化

采用 Chemkin模拟验证了上述规律。图 5 给出了对冲扩散火焰模型中, 最高火焰温度的位置 (即

火焰锋面位置) 随含氢量的变化。从图上能够明显看出, 随着含氢量的增加, 火焰锋面向燃料侧逐渐靠拢, 即火焰长度逐渐缩短。

另一方面, 当 i k 值不变时, 火焰长度会随 U_j 的增加而变长。图 6 是 Fluent模拟获得的不同 U_j 下的 H₂ 火焰温度场。由图可见, 随着 U_j 的增加, 火焰高温区域变长, 即火焰长度增加。

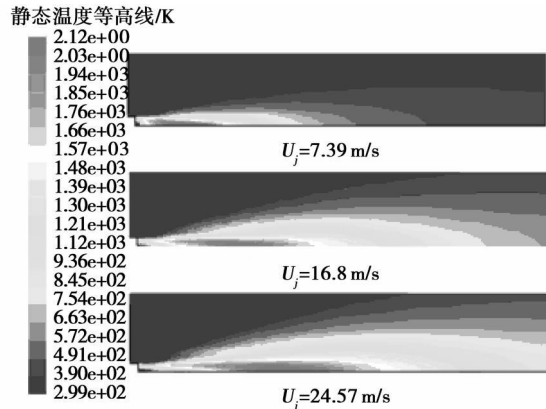


图 6 不同 U_j 下 H₂ 火焰温度场

根据以上分析, 在本实验条件下, 由于上述两种影响因素同时存在, 因此导致不同含氢量燃料的火焰长度并无太大差异。

3.2 火焰温度

实验中, 沿轴向高度布置了 7 个测温面 ($H = 1.7\phi, 4.2\phi, 10\phi, 18.3\phi, 33.3\phi, 50\phi, 75\phi$), 在每个截面上从喷孔轴线沿径向每毫米设一个测点, 典型的 3 种火焰温度分布如图 7 所示。从图中能够很清楚的看到火焰根部的回流区。根据实验数据, H₂ 火焰温度最高, 而 CH₄ 温度最低, 两者最高温度相差大约 150 K。所有燃料的火焰最高温度都发生在回流区内。

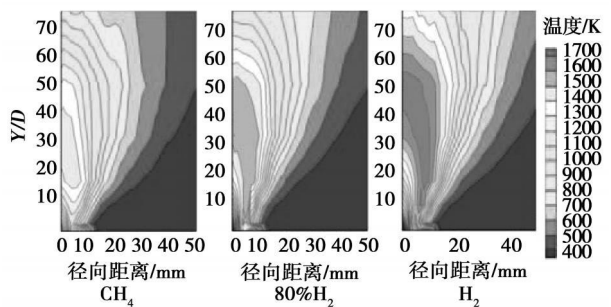


图 7 火焰温度分布

从图中还可看出, H₂ 火焰在轴向 $H = 60\phi$ 的高度范围内都保持了与回流区相当的较高温, 随着含氢量的减少, 该高度范围逐渐降低, 至 CH₄ 时大

约为 $H=40\phi$ 。结合图 7 与图 5 分析发现, 在实验条件下, 随着含氢量的增加, 虽然火焰长度没有明显变化, 但火焰高温区域实际上会越来越长。

3.3 吹熄特性

J. ESQUIMA—DANO 等人的研究揭示了同轴射流钝体稳焰燃烧器火焰随着 U_f/U_a 的降低而经历的 8 个不同阶段^[9], 如图 8 所示 (U_a 为空气喷嘴出口流速)。

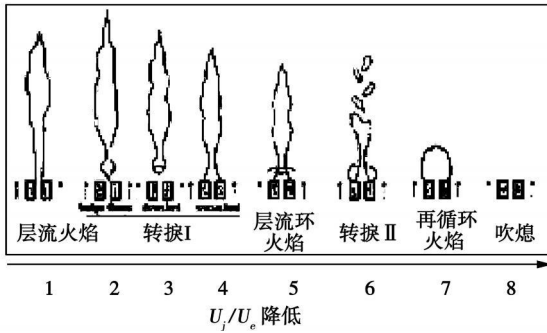


图 8 非预混钝体稳焰燃烧器火焰变化趋势

实验中采用不同直径的燃料喷嘴, 保证所有燃料流速均为 $U_f=7.39\text{ m/s}$, 通过增加空气流速 U_a 来考察不同含氢量燃料的吹熄特性。结果表明, 随着氢气含量的增加, 火焰稳定性逐步提高。 CH_4 火焰在 $U_a=7.4\text{ m/s}$ 时被抬升, 随后继续加大 U_a CH_4 火焰很快被吹熄。 $80\% \text{ H}_2$ 火焰则呈现了与图 8 同样的趋势, 如图 9 所示。 $U_a=6.8\text{ m/s}$ 时, 火焰处于图 8 中的第一阶段; $U_a=8.6\text{ m/s}$ 时, 火焰被抬升, 到达了第三阶段; 随着 U_a 继续增加, 火焰根部重新返回喷嘴, 并经过阶段 4~6 最终达到第七阶段 ($U_a=57\text{ m/s}$)。 H_2 火焰变化趋势与 $80\% \text{ H}_2$ 火焰基本一致。

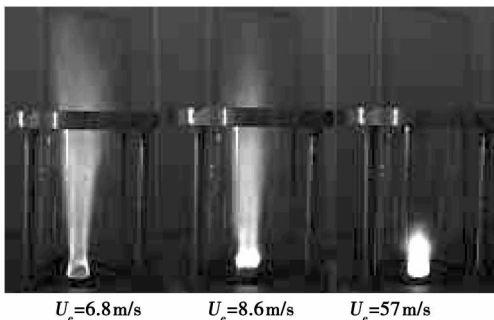


图 9 $80\% \text{ H}_2$ 火焰吹熄特性

3.4 OH基浓度分布

图 10 是用 PLIF 测量的火焰中 OH 基浓度分布, 它们是 100 幅图片的平均图像。 PLIF 测量的范围是图 3 所示虚线框内的范围, 亦即火焰根部的位置。从图 10 可以看到, H_2 和 $80\% \text{ H}_2$ 火焰的边界要

比 CH_4 的火焰边界清晰得多, 也就是说, 在火焰根部, 随着燃料含氢量的增加, 燃烧强度加大。这或许就是火焰稳定性随含氢量增加而越来越好的主要原因。

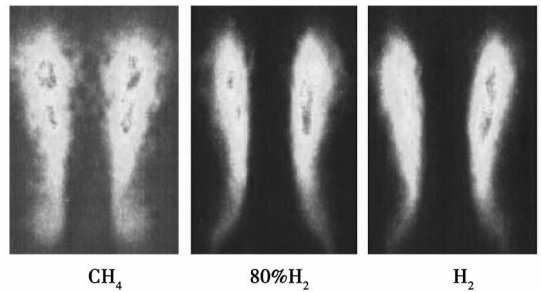


图 10 火焰根部 OH 基浓度分布

3.5 NOx 排放

测量 NO_x 排放时, 在 $H=180\phi$ 的平面上设置 5 个采样点, 取 5 个点测量结果的平均值。图 11 是实验所得不同含氢量燃料的 NO_x 排放浓度与火焰最高温度的对比曲线。由图可见, NO_x 浓度与火焰温度具有很强的正相关性, 随燃料含氢量增加, 火焰温度升高, 烟气中 NO_x 浓度也随之增大。

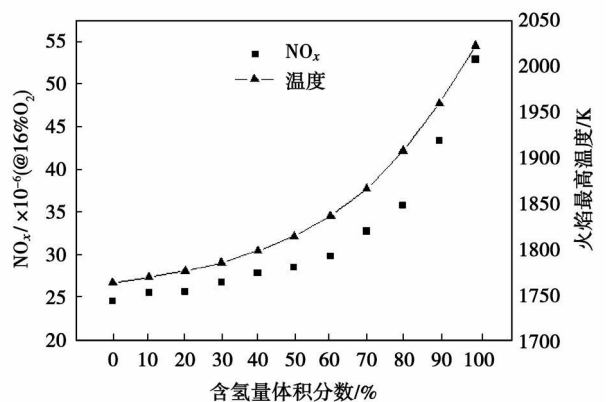


图 11 NO_x 浓度随含氢量的变化

另一方面, NO_x 浓度并未与燃料中 H_2 的体积分数呈现出线性关系, 而是随含氢量的增加呈指数上升趋势。从图中可以发现, 燃料含氢量从 0% 增加到 80% 时, NO_x 浓度相对增加了 46% , 而从 80% 增加到 100% 时, NO_x 浓度相对增加了 48% 。因此, 仅从减排 NO_x 的方面来考虑, 含氢量 80% 的燃料也许比纯氢燃料更有优势。

4 结 论

通过实验与数值模拟手段, 分析了含氢量对氢

气、甲烷混合气燃料扩散燃烧特性的影响。

火焰长度并未如预期一样随着含氢量的增加而变短,这是由于为了达到相同的总发热量,燃料流量和流速随着含氢量的增加而加大,导致火焰变长,这种影响趋势与氢浓度增加带来的使火焰长度缩短的趋势相互抵消,从而造成实际火焰长度未发生明显变化。

所有燃料火焰的最高温度都发生在回流区内。在实验条件下,虽然火焰长度没有随含氢量的增加而发生明显变化,但火焰的高温区域实际上会越来越长。

随着含氢量的增加,火焰稳定性显著加强。

CH_4 火焰极易被吹熄,燃料与空气速度比稍小于1时,火焰就被抬升,随即熄灭。而 H_2 与80% H_2 火焰则随着燃空速度比的降低,经历了钝体稳焰燃烧器火焰典型的8个阶段,在实验范围内从未被吹熄。

OH基浓度分布的PLIF测量结果表明,随着含氢量的增加,火焰根部的边界越来越清晰,也就是说,根部的燃烧强度越来越剧烈,这可能就是火焰稳定性随着含氢量增加而越来越好的主要原因。

NO_x 排放浓度随着燃料中含氢量的增加而呈指数上升趋势,并与火焰温度的变化趋势相符合。仅从 NO_x 减排来考虑,含氢量80%的燃料也许比纯氢燃料更有优势。

参考文献:

[1] YANG YUELONG, TIAN WENDONG, XIAO YUNHAN, et al.

The dynamic analysis and experimental research on direct hydrogen production from carbonaceous energy [J]. Journal of Engineering Thermophysics 2003, 24: 744—746.

- [2] QIAO CHUNZHEN, YUNHAN XIAO. Comparison of processes of hydrogen from carbon and analysis of hydrogen from carbon direct [J]. Journal of Engineering Thermophysics 2005, 26: 729—732.
- [3] CHOUDHURI AHSAN R., GOLLAHALLI S R. Combustion characteristics of hydrogen hydrocarbon hybrid fuels [J]. Hydrogen Energy 2000, 25: 451—462.
- [4] CHOUDHURI AHSAN R., GOLLAHALLI S R. Characteristics of hydrogen hydrocarbon composite fuel turbulent jet flames [J]. Hydrogen Energy 2003, 28: 445—454.
- [5] MUSTAFA İBBAŞ, İLKER YILMAZ, YUKSEL KAPLAN. Investigations of hydrogen and hydrogen hydrocarbon composite fuel combustion and NO_x emission characteristics in a model combustor [J]. Hydrogen Energy 2005, 30: 1139—1147.
- [6] COZZI F., COGHE A. Behavior of hydrogen-enriched non-premixed swirling natural gas flames [J]. Hydrogen Energy 2006, 31: 669—677.
- [7] CHENG T S, WU C Y, CHEN C P, et al. Detailed measurement and assessment of laminar hydrogen jet diffusion flames [J]. Combustion and Flame 2006, 146: 168—282.
- [8] BURKE S P., SCHUMANN T E W. Diffusion flames [R]. Proceedings of the First Symposium on Combustion (1928) and the Second Symposium on Combustion (1937), 2—11.
- [9] ESQUIVA DANO J., NGUYEN H T., ESCUDIE D. Influence of a bluff body's shape on the stabilization regime of non-premixed flames [J]. Combustion and Flame 2001, 127: 2167—2180.

(本文责任编辑 陈 滨)

新技术、新工艺

带余热锅炉的燃气轮机装置排气道噪声的降低

据《Теплоэнергетика》2009年1月号报道,МЭИ(莫斯科动力学院)的研究人员对带余热锅炉的燃气轮机装置排气道的噪声以及降低的措施进行了详细的研究。

源于烟囱出口的噪声级取决于许多因素:燃气轮机装置排气辐射的声能;在余热锅炉烟道内,包括它的受热面,声能的降低;到计算点的距离;在大气内声音的衰减等等。

在噪声方面超过卫生标准不是由燃气轮机装置的电功率决定的,而是取决于它的独特的噪声特性。

研制的消音器能保证要求的降噪并具有适度的气动阻力,它不会限制余热锅炉的发热量/或蒸汽生产量,并且不降低燃气轮机装置的运行特性。

根据对降低噪声级的要求而设计的消音器和它们的变型可被建议用于其它现有的或被设计的蒸燃联合装置发电机组的排烟道。

(吉桂明 摘译)

底饲进料循环喷动床进料与回料混合特性及影响因素 = Feed and Return Material Mixing Characteristics of a Underfeed Circulating Spouted Bed and Their Influencing Factors 刊, 汉 1 / TAO Min JIN Bao sheng YANG Ya ping et al (College of Energy Source and Environment, Southeast University Nanjing, China, Post Code 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(1). — 91 ~ 96

With quartz sand and calcium hydroxide serving as the feed and return material respectively studied were the particle mixing characteristics of a $\phi 0.6 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ underfeed circulating spouted bed in a desulfurization tower. The mixing entropies at various locations and its mixing indexes of the underfeed and return material at various elevations were calculated by utilizing the solubility difference of the quartz sand and calcium hydroxide in water and the influence of various operating parameters on the particle mixing behavior of particles in the tower was analyzed. The research results show that the mixing index can reflect very well the mixing quality of the feed and return material particles in the tower. With an increase of the fluidization speed, the mixing indexes at various elevations in the tower assume an ascending tendency. The spouting velocity and circulation ratio conspicuously affect the particle distribution characteristics in the tower, especially at its bottom. When a relatively high spouting speed and a comparatively high circulation ratio are adopted, the mixing index will go up accordingly, indicating that the mixing quality in the tower has been improved. Key words: underfeed circulating spouted bed, desulfurization, mixing entropy, mixing index

氧量对天然焦蒸汽气化特性的影响研究 = Study of the Influence of the Oxygen Quantity on Natural Coke Steam Gasification Characteristics 刊, 汉 1 / XIANG Wen guo ZHAO Chang sui (College of Energy Source and Environment, Southeast University Nanjing, China, Post Code 210096), PANG Ke lang (Research Center for National Power Plant Combustion Engineering Technology, Shenyang, China, Post Code 110034) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25(1). — 97 ~ 101

On a small sized fluidized bed (diameter $\phi 50 \text{ mm}$ and height 1 600 mm) test rig, an experimental study has been performed of Peicheng originated natural coke steam gasification reaction. The influence of the gasification medium steam, when mixed with oxygen, on the gas production capacity, carbon conversion rate, coal gas heating value and gas constituents etc. was investigated and compared with the simulation results of the gasification process obtained by using software ASPEN PLUS. During the test, the amount of natural coke sample has reached 0.2 kg/h, the steam flow rate was 1.05 kg/h and the gasification temperature was 900 °C. The test results show that the oxygen content in the gasification medium influences evidently the natural coke steam gasification characteristics. With an increase of the oxygen content (0 ~ 0.2 L/min) in the initial stage, the coal gas production capacity will increase by 1.76 times, and the carbon conversion rate by 1.94 times, both of which rise remarkably. With a further increase of the oxygen content (0.2 ~ 1 L/min), the growth margin will gradually decrease, the gas production capacity increase by 1.16 times and the carbon conversion rate will rise by 1.34 times. The volumetric fraction of effective gases ($\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4$) in the coal gas and its heating value will continue to go down. The effective gas proportion will descend from 76.9% to 54.3% and the heating value of the coal gas decrease from 9.01 MJ/m³ to 6.34 MJ/m³, but the volumetric fraction of CO₂ will increase obviously from 23.1% to 37.3%. The simulation results obtained by using software ASPEN basically correspond with the test ones. Therefore, the foregoing can offer guidance for practical engineering applications. Key words: natural coke, fluidized bed, simulation, steam gasification

氢含量对氢气/甲烷混合气扩散燃烧特性的影响研究 = Investigation of the Influence of the Hydrogen Content on the Diffusion Combustion Characteristics of Hydrogen/methane Hybrid Gas 刊, 汉 1 / WU Hui MU Ke jin WANG Yue et al (Key Laboratory on Advanced Energy and Power Engineering, Thermophysics Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code 100190) // Journal of Engineering for Ther

mal Energy & Power — 2010 25 (1). — 102 ~ 106

By using test and numerical simulation methods studied was the influence of hydrogen content on the diffusion combustion characteristics of a hydrogen/methane mixture fuel. It has been found that under the precondition of keeping the total heating value unchanged, the increase in hydrogen content has not caused a remarkable change in flame length. This is the result of a joint action of the increase of the hydrogen content, which will result in a tendency to shorten the flame and the increase of the fuel flow rate, which will lead to a tendency to lengthen the flame. The highest temperature of all the fuel flames happens in the return flow zone. With an increase of the hydrogen content, the flame in the high temperature zone becomes higher and higher in the axial direction. The flame stability is notably enhanced with an increase of the hydrogen content. The results of the OH concentration distribution measured by PLIF (Planar laser induced fluorescence) show that with an increase of the hydrogen content, the boundary at the root of the flame becomes more and more clear, indicating that the combustion at the root grows in intensity ever strongly. The NO_x emissions concentration assumes an exponent ascending tendency and corresponds with the variation tendency of the flame temperature when the hydrogen content in the fuel is increased. When the hydrogen content of the fuel increases from 0% to 80%, the NO_x concentration relatively increases by 46%. When the hydrogen content increases from 80% to 100%, the NO_x concentration relatively increases by 48%. From such a standpoint, the fuel with a hydrogen content of 80% is perhaps more advantageous than pure hydrogen fuel. Key words: hydrogen; methane; diffusion flame; hydrogen content; combustion characteristics

不可逆反渗透分离过程的性能分析 = Performance Analysis of an Irreversible Reverse Osmosis Separation Process [刊, 汉] / SHU Liwei, CHEN Lin-gen, SUN Feng-rui (Postgraduate School, Naval University of Engineering, Wuhan, China, Post Code: 430033) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (1). — 107 ~ 111

On the basis of a model for an inner reversible reverse osmosis process and with a further consideration of the influence of the friction loss of the reverse osmosis module (pressure drop), the flow resistance and efficiencies of a water pump and water turbine on the performance of a reverse osmosis separation process, set up was a model for an irreversible reverse osmosis separation process. Moreover, an investigation of the process has been performed by using the theory of finite time thermodynamics and the working principle of a fluid flow based work doing device. It has been found that to increase the pure water recovery rate or the efficiency of the water pump can enhance the thermal efficiency of the system. To boost the material feeding pressure or improve the efficiency of the water turbine can increase the pure water flow rate. However, the friction loss of the reverse osmosis module exercises a relatively small influence on the system performance. In the meantime, it has been proven that there exists a maximal value of the power consumed by the reverse osmosis separation process, i.e. the conversion rate of a mechanical energy to a chemical one has a maximal value. Key words: reverse osmosis process; irreversible efficiency; separation power; energy loss rate; finite time thermodynamics

压汽闪蒸法海水淡化装置的热力学分析 = A Thermodynamic Analysis of a Pressurized-steam Flash Evaporation Method-based Seawater Desalination Plant [刊, 汉] / CHOU Qiao-li, JIN Cong-zhuo (Hefei Swan Refrigeration Science and Technology Co., Ltd., Hefei, China, Post Code: 230088), JIN Cong-zhuo, SHU Peng-cheng (Xian Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010 25 (1). — 112 ~ 115

Key words: pressurized steam; flash evaporation; seawater desalination; plant