

固体燃料在 O₂ 气氛下气化特性研究

诸 林, 范峻铭

(西南石油大学化学化工学院, 四川 成都 610500)

摘 要: 基于 Gibbs 自由能最小化原理和 Van Krevelen 坐标系研究了不同固体燃料在 O₂ 气氛下完全气化时的气化特性。结果表明: 当固体燃料完全气化时, CO、CO₂、H₂ 和 H₂O 摩尔分数变化范围分别为 0.4 - 1.0, 0 - 0.15, 0 - 0.45, 0 - 0.08。当固体燃料 H/C 比固定时, 在低 O/C 比下, H₂ 和 CO 含量保持恒定; 在高 O/C 比下, O/C 比增加会减少当量氧气的比, 降低气化温度。气化炉有效效率随 O/C 比增加而减小。当固体燃料 O/C 比固定时, 气化温度随 H/C 比增加而减少, CO 含量减少, 而 H₂、CO₂ 和 H₂O 含量增加。

关 键 词: Gibbs 自由能; Van Krevelen 坐标系; 氧气; 气化; 有效效率

中图分类号: TK0 文献标识码: A

引 言

固体燃料主要包括煤、生物质等可燃的、呈固态的物质。在我国, 固体燃料主要通过燃烧用于产热、发电, 这不仅造成能源利用率低下, 也极大地污染了环境。气化技术作为一种新颖、高效的热化学加工手段, 可将固体燃料转变为清洁、便于加工利用的合成气。氧气、水蒸气及两者的混合物常被用作固体燃料气化剂, 其中, 氧气气化合成气(C 含量较高) 主要被用作发热和发电, 水蒸气气化合成气(H 含量较高) 主要被用作化工合成原料^[1-2]。

动力学和热力学平衡两种模型均可用作固体燃料气化过程建模。动力学模型需考虑反应体系的反应动力学、流体特性等方面的因素, 使建模过程变得非常复杂。热力学平衡方法考虑反应体系的极限情况, 可为气化炉的初期设计提供基本数据, 因此多被采用进行估算^[2]。热力学平衡方法多基于 Gibbs 自由能最小化原理进行计算, 其可摆脱复杂的化学反应机理, 并具有高度的热力学一致性。大量文献表明 Gibbs 自由能最小化法对固体燃料气化过程的平衡计算是十分有效的^[3-7]。目前的研究主要集中在描述特定固体燃料(煤、生物质等)的气化性质, 先

有研究者对比分析不同固体燃料的气化特性, 以此形成规律性的结论。本研究利用 Gibbs 自由能最小化原理, 对比分析不同固体燃料在氧气气氛下的气化特性, 并从热力学第一、二定律出发, 考察不同固体燃料气化有效效率, 找到固体燃料气化规律, 为今后的研究提供理论指导和基本数据。

1 基本原理

固体燃料可根据其 O/C 比和 H/C 比(摩尔比, 下同) 不同进行划分。图 1 显示了在 Van Krevelen 坐标系中固体燃料随 H/C 和 O/C 比的变化关系^[8]。由图可知, 煤主要由 C 元素组成, 生物质则主要由 H、O 元素组成。且随着 O/C 比和 H/C 比的增加, 煤根据其变质程度的差异可大致分为无烟煤、烟煤、褐煤和泥煤(煤阶依次降低)。

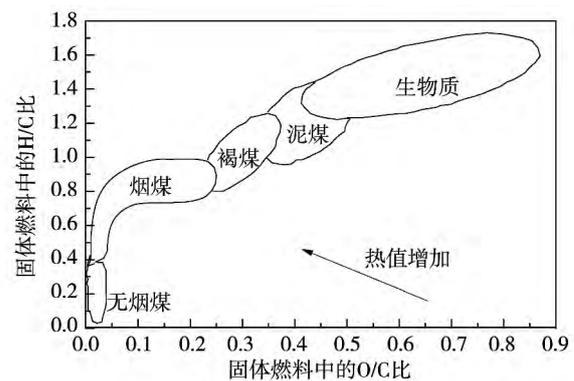


图 1 Van Krevelen 坐标系下固体燃料组成
Fig. 1 Constituents of the solid fuel under Van Krevelen coordinates

本研究假定固体仅由 C、H 和 O 3 种元素构成, 原因如下:

(1) C、H、O 3 种元素约占固体燃料质量分数的 85% - 90% 左右, 其余元素(N、Cl、S 等) 含量较

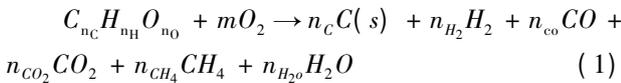
收稿日期: 2014 - 03 - 05; 修订日期: 2014 - 05 - 07

作者简介: 诸 林(1965 -), 男, 四川成都人, 西南石油大学博士生导师。

少,且固体燃料气化合成气主要由 H_2 、 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 等组分组成。

(2) 不同固体燃料组成特性不同,其 N、Cl、S 等元素含量的判定也无特定规律可寻。

基于以上两个原因,本研究假设固体燃料分子式可记为 $C_{n_c}H_{n_H}O_{n_o}$,总气化反应如式(1)所示:



固体燃料在氧气作用下发生的主要气化反应,如表 1 所示。

表 1 固体燃料在 O_2 气氛下气化过程的主要反应
Tab. 1 Main reactions during the gasification process of the solid fuel in the O_2 atmosphere

反应描述	反应方程式
碳不完全燃烧反应	$C + 1/2O_2 \rightarrow CO$
碳完全燃烧反应	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
合成甲烷反应	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
歧化反应	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$
碳气化反应	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
水汽变换反应	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
甲烷重整反应	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
氢气燃烧反应	$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$

本研究考察 Van Krevelen 坐标系中不同 H/C 和 O/C 比确定的固体燃料在氧气气氛作用下的气化行为。为方便对比分析,假定研究范围内的固体燃料均完全气化(固体燃料中的 C 元素全部转变到气相),考察燃料完全气化时所需当量氧气比及所能达到的平衡温度、合成气组成等关键参数。

1.1 气化模型建立

本研究应用 ASPEN PLUS 模拟软件对固体燃料气化过程进行热力学分析。运用 Gibbs 自由能最小化方法建立的固体燃料气化过程模型如图 2 所示,其主要由燃料分解反应器和 Gibbs 反应器组成。燃料分解反应器主要作用是据不同固体燃料物质组成,将其分解为对应组成单质^[9],分解后的单质及裂解热将导入 Gibbs 反应器,Gibbs 反应器运用 Gibbs 自由能最小化原理求得气化合成气组成和平衡温度。本研究设定整个气化系统在常压(101.325 kPa)下进行,氧气及固体燃料进料温度均为 25 °C。固体燃料完全气化所需当量氧气流量通过 Dsign Spec 模块计算确定,选用 RKS - BM 作为全局物性方法。

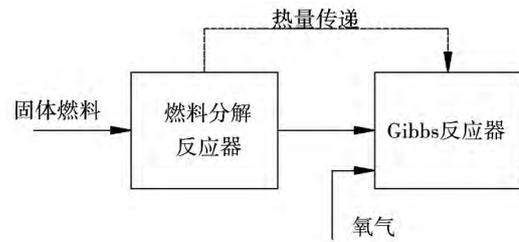


图 2 固体燃料气化过程模拟简图

Fig. 2 Sketch showing the simulation of the gasification process of the solid fuel

固体燃料气化系统考虑其中包含的元素为 C、H 和 O,包含的组分有: C(固体)、 H_2 、 O_2 、 CO 、 CO_2 、 H_2O 和 CH_4 ,共 7 个。依据 Gibbs 自由能达到最小时判定系统热力学平衡(包括化学平衡和相平衡)。以此建立气化过程的数学模型如式(2)所示^[5]:

目标函数:

$$\min G; G = \sum_{j=1}^M G_j^0 n_j + \sum_{j=S+1}^C \sum_{l=1}^P G_{jl} n_{jl} \quad (2)$$

该模型属于非线性数学规划问题,其约束条件由下式可得:

质量平衡约束条件:

$$b_k = \sum_{j=1}^M m_{jk} n_{jk} + \sum_{j=M+1}^C \sum_{l=1}^P m_{jk} n_{jl} \quad k = 1, \dots, E \quad (3)$$

热量平衡约束条件:

$$\sum_{i=1}^C n_i \Delta H_{f, feed, 298}^0 + \sum_{i=1}^C n_i H_i(T_{feed, i}) = \sum_{i=1}^C n_i \Delta H_{f, prod, 298}^0 + \sum_{i=1}^C n_i H_i(T_{prod}) + Q \quad (4)$$

组分非负约束条件:

$$n_i \geq 0 \quad (5)$$

式中: M —单独存在的相态,如固体颗粒; P —系统中相数目; C —组分数目; m_{jk} —组分的原子矩阵; E —系统考虑的元素数目; Q —热损失; H —组分焓值; n —摩尔数。

1.2 气化过程热力学分析

为更好体现气化过程实际利用效率,基于热力学第一、二定律,引入气化炉有效能效率^[10],定义为合成气有效能和输入有效能(固体燃料和氧气有效能)的比值^[11]:

$$\varphi_{gasifier} = \frac{m_{syn}(\varepsilon_{ch, syn} + \varepsilon_{ph, syn})}{m_{sf}(\varepsilon_{ch, sf} + \varepsilon_{ph, sf}) + m_{oxygen}(\varepsilon_{ch, oxygen} + \varepsilon_{ph, oxygen})} \quad (6)$$

式中: $\varphi_{\text{gasifier}}$ —以有效能衡量的气化效率; m_{syn} , m_{oxygen} , m_{sf} —合成气, 氧气, 固体燃料质量流率, kg/h; ε_{ch} —物质流化学有效能, MJ/kg; ε_{ph} —物质流物理有效能, MJ/kg。

固体燃料化学有效能的计算式为^[12]:

$$\varepsilon_{\text{ch, sf}} = \beta LHV_{\text{sf}} \quad (7)$$

其中当 $\frac{O}{C} \leq 0.5$

$$\beta = 1.043 \times 8 + 0.015 \times \frac{H}{C} + 0.081 \times 3 \times \frac{O}{C}$$

当 $0.5 \leq \frac{O}{C} \leq 2$

$\beta =$

$$\frac{1.041 \times 4 + 0.017 \times 7 \times (H/C) - 0.332 \times 8 \times (O/C) [1 + 0.053 \times 7 \times (H/C)]}{1 - 0.402 \times 1 \times (O/C)}$$

式中: β —固体燃料有效能与固体燃料低位热值之间的换算系数; LHV_{sf} —固体燃料低位热值, MJ/kg; H/C 和 O/C —固体燃料元素成分比率。

固体燃料高位热值和低位热值分别为^[12]:

$$HHV_{\text{sf}} = 0.349 \times 1x_{\text{C}} + 1.178 \times 3x_{\text{H}} - 0.103 \times 4x_{\text{O}} \quad (8)$$

$$LHV_{\text{sf}} = \frac{m_{\text{sf}} HHV_{\text{sf}} - 0.5 n_{\text{H}} \lambda_{298}}{m_{\text{sf}}} \quad (9)$$

式中: HHV_{sf} —固体燃料高位热值, MJ/kg; x_{C} , x_{H} , x_{O} —固体燃料中 C、H、O 元素的质量分数; λ_{298} —水蒸气 298 K 时气化潜热, kJ/mol; n_{H} —H 原子摩尔流率, mol/h。

气化合成气的化学有效能为:

$$\varepsilon_{\text{ch, syn}} = \sum_i y_i \varepsilon_{0, i} + RT_0 \sum_i y_i \ln y_i \quad (10)$$

基于环境温度和压力, 合成气的物理有效能计算式为:

$$\varepsilon_{\text{ph, syn}} = (H - H_0) - T_0 (S - S_0) \quad (11)$$

式中: H 和 S —单位摩尔物质流的焓和熵, kJ/mol 和 kJ/(mol · K); T_0 —环境温度, K; H_0 和 S_0 —环境温度压力下单位摩尔物质流的焓和熵, kJ/mol 和 kJ/(mol · K); y_i —合成气组分摩尔分率; $\varepsilon_{0, i}$ —标准单位摩尔物质的化学有效能, MJ/kg。

2 结果与分析

2.1 固体燃料完全气化所需当量氧气比及所能达到的平衡温度

图 3 显示了 Van Krevelen 坐标系中的固体燃料完全气化所需的当量氧气比(所需氧气摩尔量/固体燃料中 C 摩尔量)。由图可知, 气化反应完全进

行时所需的当量氧气比在 0.15 - 0.45 区间变化。在一定 H/C 比下, 随着 O/C 比增加, 固体燃料中的释放的 O₂ 可充当部分气化剂, 使得所需当量氧气比降低。当 O/C 比较低时 (< 0.4), H/C 比的改变对所需当量氧气比影响较小, 而当 O/C 增大后 (> 0.4) 在一定 O/C 比下, 所需当量氧气比随 H/C 比增加而提高, 此结论和 Mark 的研究结果相同^[8]。

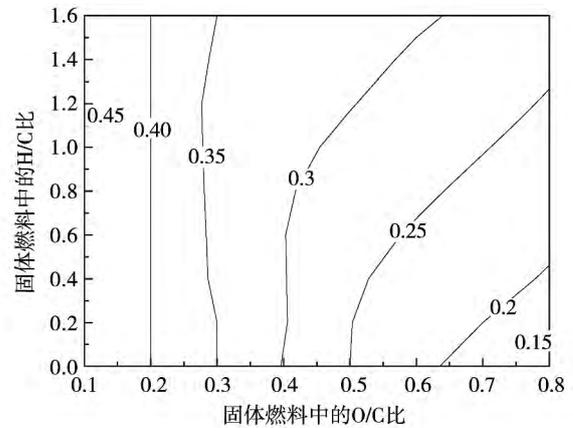


图 3 不同 H/C 和 O/C 比的固体燃料完全气化所需的当量氧气比

Fig. 3 Equivalent oxygen ratios of the solid fuel required by an entire gasification at various H/C and O/C ratios

图 4 显示了 Van Krevelen 坐标系中的固体燃料完全气化时的平衡温度。由图可知, 气化过程平衡温度的变化区间为 700 - 3 500 °C。在一定 H/C 比下, 随着 O/C 比增加, 平衡温度迅速降低, 当 O/C 比小于 0.6 后, 平衡温度不再有明显变化。在一定 O/C 比下, 平衡温度随 H/C 比增加而降低。

绝热条件下, 1 mol 燃料内部 O 比气化剂 O₂ 所释放的气化热小得多^[13]。因此, 当固体燃料 H/C 比固定时, O/C 比增加不能弥补因气化剂 O₂ 减少而造成的气化热损失, 故平衡温度的不断降低。当 O/C 比较小时 (< 0.4), 平衡温度较高 (> 2 000 °C, 如图 4 所示), 促进了碳歧化和碳气化两个反应^[11], 使得未被氧气气化的余碳得到完全气化, 故 H/C 增加对所需当量氧气比影响较小。另一方面, 在此范围内, H/C 比增加抑制了水汽变换反应, 导致放热减少, 平衡温度降低。H/C 比增加会降低平衡温度, 因此碳的气化过程更多是通过碳燃烧反应实现, 故所需当量氧气比增加。

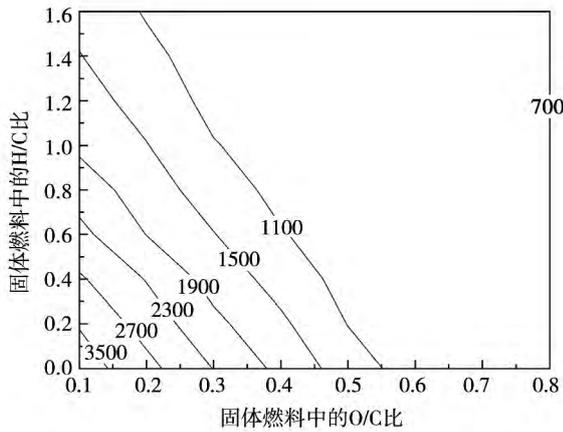


图4 不同 H/C 和 O/C 比的固体燃料完全气化达到平衡温度(°C)
Fig. 4 Equilibrium temperature of the solid fuel during its entire gasification at various H/C and O/C ratios

2.2 固体燃料完全气化平衡组成

图5显示了固体燃料完全气化合成气平衡组成。由图可知 H_2 、 CO 、 CO_2 和 H_2O 各自含量变化范围分别为: $0 - 0.45$ 、 $0.4 - 1.0$ 、 $0 - 0.15$ 和 $0 - 0.08$ 。当 O/C 比小于 0.4 时,平衡温度较高 ($> 2000\text{ }^\circ\text{C}$), 碳歧化和气化两个反应是此刻气化过程的主要反应,因此 CO_2 和 H_2O 含量微少, CO 和 H_2 含量几乎不变。当 O/C 比大于 0.4 时,由于平衡温度不断降低,促进了放热反应(碳燃烧、氢燃烧和水汽变换)的进行,因此 CO_2 和 H_2O 含量增加, CO 和 H_2 含量减少。

在一定 O/C 比下, H/C 比增加降低了平衡温度,因此促进了水汽变换反应,因此 CO 含量减少, H_2 含量增加;平衡温度的降低有利于放热反应的发生,因此 H_2O 和 CO_2 含量也出现增长的趋势。

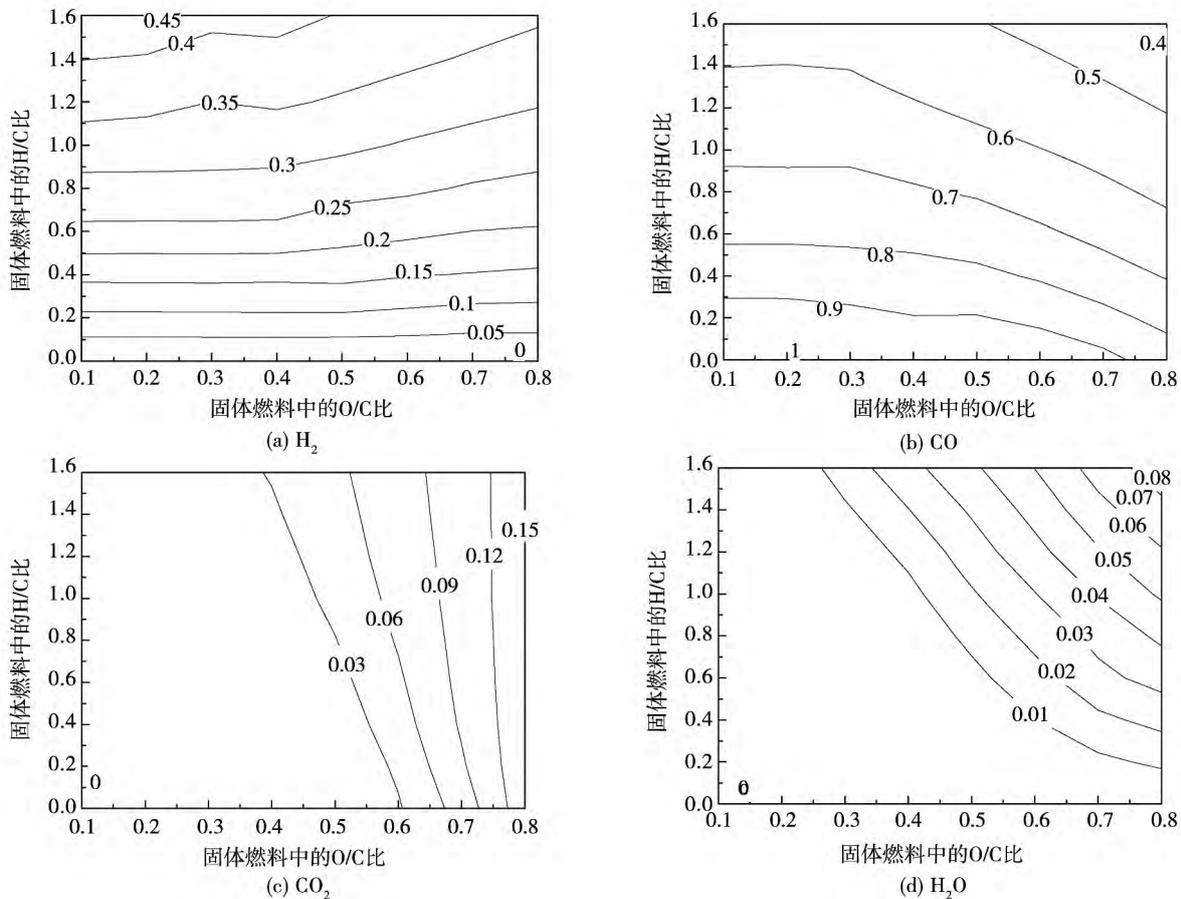


图5 不同 H/C 和 O/C 比的固体燃料完全气化合成气中组分摩尔分数(湿基)
Fig. 5 Mole fractions of the constituents (wet basis) of the syngas produced during an entire gasification of the solid fuel at various H/C and O/C ratios

2.3 固体燃料完全气化有效能效率

图6显示了固体燃料完全气化时气化炉有效能效率及合成气化学有效能。由图可知,当H/C比固定时,气化炉有效能效率和合成气化学有效能均随O/C比增加而降低;当O/C比固定时,气化炉有效能效率随H/C比增加而减小,然而,合成气化学有效能随之增加。这是由于固体燃料O/C比或H/C比的增加均会降低平衡温度,造成气化炉因不可逆过程造成的有效能损失增大,故气化炉有效能效率降低。在一定H/C比下,O/C比的增加一方面使得合成气中对化学有效能贡献较大的H₂、CO组分减少,另一方面造成多组分混合功损耗增加(即式(10)中的 $RT_0 \sum y_i \ln y_i$ 部分),故造成合成气化学有效能的减少。而一定O/C比下,H/C比的增加会促进H₂的生成,因此化学有效能增加。

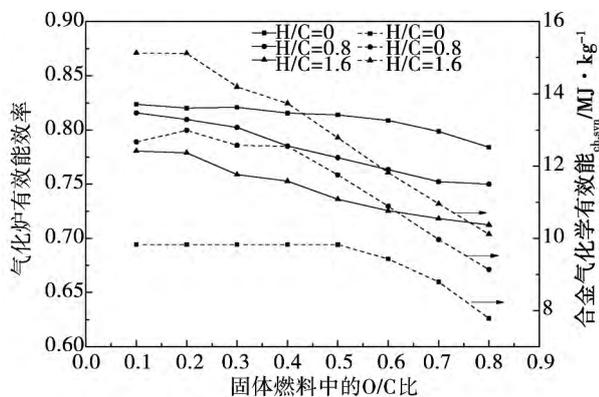


图6 不同固体燃料气化炉完全气化有效能效率及合成气化学有效能

Fig. 6 Exergy efficiency of the gasifier burning various solid fuels during the entire gasification and chemical exergy of the syngas

3 结论与建议

本研究基于 Gibbs 自由能最小化原理研究 Van Krevelen 坐标系中不同固体燃料在 O₂ 气氛作用下完全气化时所需当量氧气比及所能达到的平衡温度、合成气组成等气化特性参数结果以期为单一固体燃料气化和多种燃料共气化提供理论指导和基础数据。据此研究,本研究得到如下结论:

(1) 固体燃料完全气化时,H₂、CO、CO₂和H₂O

各自含量变化范围分别为:0-0.45、0.4-1.0、0-0.15和0-0.08;

(2) 当固体燃料H/C比一定时,在低O/C比下(<0.4),因在高温下主要进行碳歧化和气化两个反应,使得H₂和CO含量几乎不受O/C变化的影响,保持恒定,H₂O和CO₂含量微少。在高O/C比下,O/C比增加会减少所需当量氧气比,使平衡气化温度降低,促进了放热反应,因而消耗了H₂、CO,生成更多的CO₂和H₂O,气化炉有效能效率随O/C比增加而减小;

(3) 当固体燃料O/C比一定时,H/C比增加使得平衡温度降低,促进了放热反应,CO含量随之减少。H₂、CO₂和H₂O含量随H/C比增加而增长,气化炉有效能效率则随H/C比增加而减少。

参考文献:

- [1] 吴创之,刘华财,阴秀丽. 生物质气化技术发展分析[J]. 燃料化学学报 2013 41(7): 798-804.
WU Chuang-zhi, LIU Hua-cai, YIN Xiu-li. Analysis of the development of the biomass gasification technology [J]. Journal of Fuel Chemistry 2013 41(7): 798-804.
- [2] Anapagaddi R, Thiruvengadam R, Subramaniam P. Generalized Analysis of Gasifier Performance using Equilibrium Modeling [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research 2011 7: 1601-1611.
- [3] 裘啸, 阎维平, 孙俊威, 等. 基于 Gibbs 自由能最小化原理模拟生物质流化床气化[J]. 可再生能源 2011 29(4): 32-39.
QIU Xiao, YAN Wei-ping, SUN Jun-wei, et al. Simulation of the gasification of biomass in a fluidized bed based on the theory of minimizing Gibbs free energy [J]. Renewable Energy Resources, 2011 29(4): 32-39.
- [4] 代正华, 龚欣, 王辅臣, 等. 气流床粉煤气化的 Gibbs 自由能最小化模拟[J]. 燃料化学学报 2005 33(2): 129-133.
DAI Zheng-hua, GONG Xin, WANG Fu-chen, et al. Gibbs free energy minimization method-based simulation of the gasification of pulverized coal in an entrained-flow bed [J]. Journal of Fuel Chemistry 2005 33(2): 129-133.
- [5] 汪洋, 代正华, 于广锁, 等. 运用 Gibbs 自由能最小化方法模拟气流床煤气化炉[J]. 煤炭转化 2004 27(4): 27-33.
WANG Yang, DAI Zheng-hua, YU Guang-suo, et al. Simulation of an entrained-flow bed coal gasifier by using the Gibbs free energy minimization method [J]. Coal Conversion 2004 27(4): 27-33.

(下转第575页)

- tics of seaweed biomass-formed ash [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering 2008 28(5): 96-101
- [7] 牛艳青, 谭厚章. 辣椒秆灰熔融特性分析 [J]. 中国电机工程学报 2010 (11): 68-72.
NIU Yan-qing, TAN Hou-zhang. Analysis of the fusion characteristics of capsicum stalk-formed ash [J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Machinery Engineering 2010 30(26): 82-85.
- [8] Vassilev S V, Baxter D, Andersen L K, et al. An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase-mineral and chemical composition and classification [J]. Fuel 2013, 105: 40-76.
- [9] Thy P, Jenkins B M, Grundvig S, et al. High temperature elemental losses and mineralogical changes in common biomass ashes [J]. Fuel 2006 85(5): 783-795.
- [10] 胡云鹏, 程世庆. 生物质及其与煤掺烧的灰熔融特性研究 [J]. 热力发电 2011 40(10): 8-12.
HU Yun-peng, CHENG Shi-qing. Study of the fusion characteristics of ash produced by burning biomass diluted with coal [J]. Thermal Power Generation 2011 40(10): 8-12.
- [11] Q. H. Li, Y. G. Zhang, et al. Experimental study on ash fusion characteristics of biomass [J]. Fuel Processing Technology 2013 (107): 107-112.
- [12] H P Nielsen, L L Baxter, G Slippab, et al. Deposition of Potassium Salts on Heat Transfer Surfaces in Straw-Fired Boilers: A Pilot-Scale Study [J]. Fuel 2000(79): 131-139.
- [13] Christensen K A, Stenholm M, Libjerg H. The Formation of Sub-micron Aerosol Particles HCl and SO₂ in Straw-Fired Boilers [J]. Journal of Aerosol Science 1998 29: 421-428.
- [14] H P Nielsen, L L Baxter, F J Frandsen, K Dam-Johansen, et al. The Implications of Chlorine-Associated Corrosion on the Operation of Biomass-Fired Boilers [J]. Progress in Energy and Combustion Science 2000 26: 283-298.
- [15] Lone A Hansen, Hanne P Nielsen. Influence of Deposit Formation on Corrosion at A Straw-Fired boiler [J]. Fuel Processing Technology 2000(64): 189-209.
- [16] 孙宏伟, 吕薇. 生物质燃烧过程中的碱金属问题研究 [J]. 节能技术 2009 27(1): 24-26.
SUN Hong-wei, LU Wei. Study of the alkali metal problems in the combustion process of biomass [J]. Energy Conservation Technology 2009 27(1): 24-26.
- [17] 刘洋, 刘正宁. 生物质灰结渣机理研究 [J]. 工程热物理学报 2010 31(5): 895-899.
LIU Yang, LIU Zheng-ning. Study of the mechanism governing the slagging of ash produced by burning biomass [J]. Journal of Engineering Thermophysics 2010 33(5): 895-899.
- [18] 郭少青. 煤转化过程中汞的迁移行为及影响因素 [M]. 北京: 化学工业出版社 2012: 14-18.
GUO Shao-qing. Migration behavior of mercury in the process of coal conversion and its influencing factors [M]. Beijing: Chemical Industry Press 2012: 14-18.
- [19] 王运军, 段钰锋. 600 MW 燃煤电站烟气汞形态转化影响因素分析 [J]. 热能动力工程 2008 23(4): 399-403.
WANG Yun-jun, DUAN Yu-feng. Analysis of the factors exercising an influence on the morphological transformation of mercury in the flue gas of a 600 MW coal-fired power plant [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power 2008 23(4): 399-403.

(丛敏编辑)

(上接第565页)

- [6] 冯杰, 吴志斌, 秦育红, 等. 生物质空气-水蒸气气化制取合成气热力学分析 [J]. 燃料化学学报 2007 35(04): 397-400.
FENG Jie, WU Zhi-bin, QIN Yu-hong, et al. Thermodynamic analysis of the preparation of syngas through gasification of biomass air-steam [J]. Journal of Fuel Chemistry 2007 35(04): 397-400.
- [7] 王辅臣. 气流床煤气化炉内流动、混合与反应过程的研究进展 [J]. 燃料化学学报 2013 41(7): 769-786.
WANG Fu-chen. Latest research findings concerning the flow, mixing and reaction process inside entrained-flow coal gasifiers [J]. Journal of Fuel Chemistry 2013 41(7): 769-786.
- [8] Mark J, Krzysstof J, Ptasinski F, et al. From coal to biomass gasification: Comparison of thermodynamic efficiency [J]. Energy 2007, 32: 1248-1259.
- [9] 张小桃, 黄明华, 王爱军, 等. 生物质气化特性研究及 exergy 分析 [J]. 农业工程学报 2011 27(2): 282-286.
ZHANG Xiao-tao, HUANG Ming-hua, WANG Ai-jun, et al. Study and exergy analysis of biomass gasification characteristics [J]. Transactions of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 282-286.
- [10] Rodriguez L, Gaggioli RA. Second-law efficiency of a coal gasification process [J]. Can J Chem Eng 1980 58(3): 376-381.
- [11] Mark J, Krzysstof J, Ptasinski F, et al. From coal to biomass gasification: Comparison of thermodynamic efficiency [J]. Energy, 2007 32: 1248-1259.
- [12] Szargut J, Styrylaka T. Approximate evaluation of the exergy of fuels [J]. Brennst Warme Kraft 1964 16(12): 589-596.
- [13] Prins M, Ptasinski K, Janssen F. From coal to biomass gasification: comparison of thermodynamic efficiency [J]. energy 2007, 32: 1248-1259.

(丛敏编辑)

at the outlet of the OFA spout will attenuate relatively slow and the rotating kinetic energy can be effectively transferred to the furnace center, thus making the combustible substances and air thereto sufficiently mixed and ensuring a burn-out degree. **Key Words:** W-shaped flame boiler, OFA spout, experimental study, numerical simulation

颗粒粒径对层燃炉煤层 NO_x 析出影响的研究 = **Study of the Influence of the Particle Diameter on the Precipitation of NO_x from the Coal Bed of a Laminar Combustion Boiler** [刊, 汉] DU Hai-liang, ZHANG Pin, LUO Yong-hao, CAO Yang (Thermal Energy Engineering Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(5). - 554 - 560

To investigate the influence of the coal particle diameter on the precipitation of NO_x from the coal bed of a laminar combustion boiler, a series of combustion test of different coal ranks at various particle diameters (5 to 10 mm and 12 to 20 mm) was carried out on a laminar combustion monoblock test stand. During the test, the NO_x concentration on the surface of the coal bed and O_2 , CO_2 , CO and H_2 concentration were tested and the influence of the particle diameter on the combustion characteristics of the laminar combustion boiler and its NO_x precipitation characteristics as well as the influence of CO on the NO_x precipitation characteristics were contrasted and analyzed. It has been found that the NO_x concentration along the direction of the chain grate features a dual-peak distribution and the first peak value is bigger than the second one. During the initial combustion time period, the volatile nitrogen was oxidized to form a great quantity of NO_x and the coal particles in small diameters delayed the combustion time duration while the diffusion coefficient of the ash bed formed by the coal particles in big diameters was smaller. Therefore, fewer NO_x was separated out in the earlier stage of the combustion, however, more NO_x was precipitated in the latter stage. The CO and NO_x on the coal bed enjoyed a very good correlation and the peak value of CO concentration corresponded to the valley value of NO_x concentration. CO intensified the heterogeneous reduction reaction of coke and NO . **Key Words:** laminar combustion boiler, NO_x , particle diameter, experimental study

固体燃料在 O_2 气氛下气化特性研究 = **Study of the Gasification Characteristics of Solid Fuels in O_2 Atmosphere** [刊, 汉] ZHU Lin, FAN Jun-ming (College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, China, Post Code: 610500) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2014, 29(5). - 561 - 566

Based on the Gibbs free energy minimization theory and Van Krevelen coordinates, studied were the gasification characteristics of various solid fuels in the oxygen atmosphere when the fuels were fully gasified. It has been found that when the solid fuels are fully gasified, the variation ranges of CO , CO_2 , H_2 and H_2O mole fraction are 0.4 to

1.0 ρ to 0.15 ρ to 0.45 and 0 to 0.08 respectively. When the H/C ratios of the solid fuels are constant μ nder the condition of O/C ratio being low μ he H₂ and CO content will be kept constant. Under the condition of the O/C ratio being high μ o increase the O/C ratio will decrease both equivalent oxygen ratio and gasification temperature. The exergy efficiency of the gasifier will decrease with an increase of O/C ratio. When the O/C ratios of the solid fuels are constant μ he gasification temperature will decrease with an increase of the H/C ratio μ he CO content will also drop while the H₂ ,CO₂ and H₂O content will increase. **Key Words:** Gibbs free energy ,Van Krevelen coordinates , oxygen gasification μ exergy efficiency

一种近岸波浪能发电装置及数值计算 = **An Alongshore Wave Energy Power Generation Device and Its Numerical Calculation** [刊 汉] TONG Jun-jie ,LING Chang-ming (College of Engineering ,Guangdong Oceanology University Zhenjiang ,China ,Post Code: 524006) ,MA Xiao-qian (College of Electric Power ,South China University of Science and Technology ,Guangzhou ,China ,Post Code: 510641) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2014 29(5) . -567 -571

Described was an alongshore wave energy power generation device μ of which the special dual-channel structure could convert the flow of sea water in dual directions into the rotation of the impeller in a single direction. A two-dimensional numerical calculation of the structure of the dual-channel was performed by utilizing the MRF (moving reference frame) model in the software Fluent 6.3. The velocity and pressure distribution of the fluid inside the channel were analyzed when the number of blades was 4 and the fluid turned various angles. The water flow rate through the power generation equipment item and its output power were also studied. Furthermore μ he influence of the angle that the blades on the impeller turn on the utilization efficiency of the wave energy was investigated. The calculation results show that when the turning angle of the impeller is relatively small μ he pressure difference between any two zones of the impeller is conspicuous μ thus the flow rate passing through the equipment item is relatively small. With an increase of the turning angle of the impeller μ he pressure difference between any two zones of the impeller will first decrease and then increase. Corresponding with this μ he flow rate passing through and the output power of the equipment item will first increase and then decrease gradually. **Key Words:** dual channel ,wave energy , numerical calculation

新疆棉秆直燃特性分析 = **Analysis of the Direct Combustion Characteristics of Xinjiang-originated Cotton Stalk** [刊 汉] CHENG Wei-liang ,LI Bai-jie (College of Energy Source ,Power and Mechanical Engineering ,North China University of Electric Power ,Beijing ,China ,Post Code: 102206) ,WANG Li-cheng (Utility Engineering Workshop ,COFCO Biochemical Energy Source (Yushu) Co. ,Ltd. ,Changchun ,China ,Post Code: 130401) //