

木块气化过程焦油联合脱除工况优化*

李大中 武英杰 单志伟

(华北电力大学自动化系,保定 071003)

【摘要】 基于松木块气化试验数据,建立了燃气焦油炉内、炉外联合脱除过程最小二乘支持向量机模型(LS-SVM)。在燃气焦油炉内脱除工况优化基础上,针对催化剂活性进一步拟合了燃气焦油炉外催化裂解脱除过程多目标优化模型,优化计算得到气化燃气焦油联合脱除工况的 Pareto 最优解集。寻优结果表明,气化炉出口燃气焦油质量浓度低于 2 g/m^3 ,满足焦油催化裂解器对入口燃气焦油含量要求;焦油催化裂解器出口燃气焦油质量浓度降低至 $0.126 \sim 0.340 \text{ g/m}^3$ 之间,同时满足燃气热值大于 4 MJ/m^3 的工程要求,燃气总体品质明显优于试验结果。

关键词: 木块气化 焦油 联合脱除 工况优化

中图分类号: TK6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)05-0097-06

Conditions Optimization for Tar Combined Removal in the Woodblock Gasification Technological Process

Li Dazhong Wu Yingjie Shan Zhiwei

(Department of Automation, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract

The LS-SVM (least square supporting vector machine) model of combined tar removal process in pine block gasification was established according to the experimental data. On the basis of condition optimizing for tar removal in the furnace, multi-objective optimization function for catalytic activity was put forward, and then the Pareto-optimal solutions were gained after optimization. The results showed that the tar content from gasifier outlet was less than 2 g/m^3 , which met the requirements of inlet tar content for catalytic cracker. The tar content at the entrance of tar catalytic cracker was between 0.126 g/m^3 and 0.340 g/m^3 . The gas heating value was more than 4 MJ/m^3 , met the engineering requirements, so after condition optimization, the gas quality is better than that of the experimental results.

Key words Woodblock gasification, Tar, Combined removal, Conditions optimization

引言

目前,国内外生物质气化焦油脱除过程中,即使采用了焦油炉外催化裂解技术,也仍需水洗净化,焦油炉外催化裂解技术的单独使用尚无商业应用先例。主要问题是:①气化炉出口燃气焦油质量浓度低于 2 g/m^3 的很少,大都在 $8 \sim 15 \text{ g/m}^3$ ^[1],焦油炉外催化裂解率即使达到 95%,也达不到内燃机对燃气焦油质量浓度小于 50 mg/m^3 的要求^[2],因此,完全依靠催化裂解脱除焦油比较困难,仍需采用水洗或

电除焦。②催化剂表面积碳失活,致使焦油催化裂解装置不能够连续运行,催化剂表面积碳主要来自焦油的裂解反应,当焦油含量较高的气化燃气进入催化裂解器时,会加速催化剂表面积碳^[1]。

因此,生物质炉内气化和炉外燃气焦油催化裂解脱除运行工况优化研究,对降低成品燃气焦油含量、延长催化剂使用寿命有着重要意义。本文在文献[3]试验电站镍基单成岩高温燃气的焦油脱焦试验研究基础上,建立松树木块气化燃气焦油炉内/外联合脱除模型及优化目标函数,通过对炉内和炉外

运行工况联合优化,使成品燃气焦油含量满足工程要求,并保持催化剂较高的活性。

1 燃气焦油含量影响因素

1.1 气化过程

松木块气化燃气生产工艺过程如图1所示^[3]。气化温度是影响气化气焦油含量的重要因素,Fagbemi^[4]试验指出起初焦油产率随温度升高而升高,在600℃时达到最大,当温度再升高,二次反应使焦油裂解增强,焦油产率随之降低。在图1气化站中,进料口附近的温度为气化温度,在二次风入口处的温度称为自由段温度,炉内温度分布主要受当量比、二次风量、进料速率、一次风速率及原料含水率的影响。

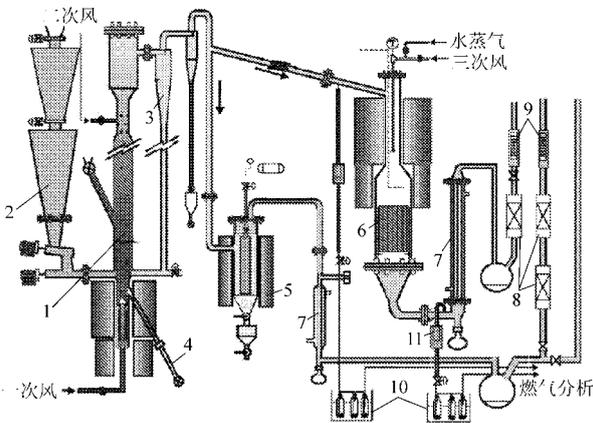


图1 松木块气化燃气生产工艺流程图

Fig. 1 Schematic of biomass gasification for gas production

1. 流化床气化炉 2. 进料系统 3. 旋风分离器 4. 排渣 5. 燃气过滤器 6. 催化反应器 7. 燃气冷却器 8. 燃气净化装置
9. 流量计 10. 燃气采样装置 11. 采样过滤器

在进料工况不变的情况下,当量比和气化温度呈近似线性关系^[5]。图1中一次风速率会直接影响气化温度,较高进气速率下,有利于气化温度的升高;二次风的加入,能够提高自由段附近的温度,促进焦油热裂解反应。

进料速率代表气化炉的运行负荷,不同负荷下的气化温度波动范围不同^[5],进而影响气化气焦油含量,另外,白云石添加量也会影响燃气焦油含量。

1.2 燃气炉外催化裂解

燃气炉外催化裂解过程中,入口燃气焦油含量和焦油转化率决定着出口燃气焦油含量,影响焦油转化率的主要因素有:催化裂解温度、气相停留时间及催化剂类型。焦油裂解器通入三次风后,如图1所示,部分燃气燃烧为催化裂解过程提供热量,促进焦油的热裂解和催化裂解反应;延长气相停留时间,使焦油充分催化裂解,转化为可燃气;另外,不同类

型催化剂的催化活性有很大差别,例如商业镍基催化剂活性很高,但表面积碳或高温烧结易使其失活^[2]。

1.3 催化剂活性

催化剂活性在很大程度上代表了焦油的催化裂解率,保持催化剂活性在较大值,有利于延长催化剂使用寿命,避免催化剂的频繁更换,使燃气生产连续进行。催化剂活性 k_{eff} 的定义为^[3]

$$k_{\text{eff}} = \ln \left(\frac{1 - X_{\text{tar,th}}}{1 - X_{\text{tar,cat}}} \right) / t_s \quad (1)$$

式中 $X_{\text{tar,th}}$ ——焦油热裂解转化率

$X_{\text{tar,cat}}$ ——焦油催化裂解率

t_s ——气相停留时间

由定义看出,催化剂活性的大小取决于焦油热裂解转化率、焦油催化裂解率以及气相停留时间,其值越大则表示催化作用越强。

2 燃气焦油联合脱除过程建模

2.1 LS-SVM 模型

基于最小二乘支持向量机^[6-7]建立的松树木块气化焦油联合脱除过程LS-SVM模型为

$$(y_{T_{\text{ar,out}}}, y_{Q_{\text{out}}}, y_{(H_2, CO, CH_4)}) = \sum_{i=1}^d a_i K(x_i, x_j) + b \quad (2)$$

其中 $x = (E_R, T_1, T_2, V_{\text{WHSV}}, V, U_0, W, t_s, T_{\text{cat}})$

式中 $K(x_i, x_j)$ ——核函数 d ——训练次数

a_i ——待定系数 b ——偏差

气化过程模型以当量比 E_R 、气化温度 T_1 、自由段(二次风入口)温度 T_2 、进料速率 V_{WHSV} 、一次风速率 U_0 和白云石添加量 W 为输入,以气化气低位热值 Q 和焦化气焦油质量浓度 T_{ar} 为输出;焦油催化裂解脱除过程模型以气相停留时间 t_s 和催化裂解温度 T_{cat} 为输入,以燃气主要成分(H_2, CO, CH_4)体积分数、燃气低位热值 Q_{out} 和燃气焦油含量 $T_{\text{ar,out}}$ 为输出,如图2所示。

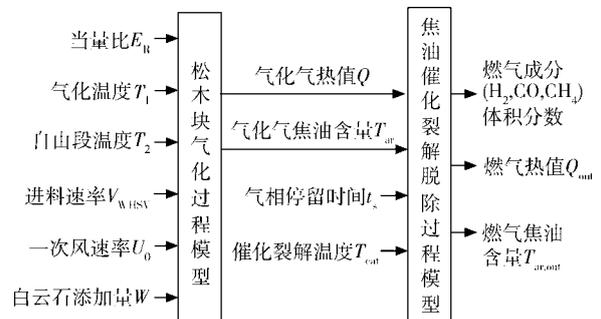


图2 松木块气化焦油联合脱除过程模型

Fig. 2 Model of combined tar removal process in pine block gasification

2.2 模型验证

由表1数据^[3]可知,二次风量 R_{sec} (二次风占总风量的百分比)的加入,使自由段温度超过了900℃,这将有利于焦油的热裂解转化;另外,燃气焦油质量浓度若高于 2 g/m^3 ,则不能直接进入焦油裂解器^[1]。

选取表1中前12组数据用于模型训练,后3组

数据用于模型测试,结果如表2所示,焦油含量最大相对误差为5.6%,气化气热值最大相对误差为4.1%。因此,该模型能够有效预测松木块气化过程。

由表3数据^[3]看出,气化气经过焦油催化裂解器后,焦油含量大幅度降低,但燃气热值也有所降低,甚至低于内燃机要求的 4 MJ/m^3 。

表1 松木块气化试验数据

Tab.1 Experimental data of pine block gasification process

试验编号	E_R	$T_1/^\circ\text{C}$	$R_{\text{sec}}/\%$	$T_2/^\circ\text{C}$	$W/\%$	$V_{\text{WHSV}}/\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$	$U_0/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	$T_{\text{ar}}/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$Q/\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$
N-78	0.40	820	10	880	3	0.61	43.7	6 300	5.6
N-79	0.27	785	11.1	960	3	0.69	43.7	1 090	6.0
N-80	0.29	842	5.9	920	3	0.70	46.1	4 550	6.2
N-81	0.31	785	0	840	3	0.66	33.3	3 150	6.3
N-82	0.27	795	0	865	3	0.96	35.3	15 400	4.3
N-83	0.36	859	0	870	0	0.70	31.0	5 700	5.5
N-84	0.42	850	10.2	965	0	0.54	38.0	5 230	4.8
N-85	0.37	814	11.4	932	0	0.51	32.0	2 230	5.3
N-86	0.52	827	10.9	936	0	0.33	25.0	3 720	4.6
N-87	0.40	879	11.1	941	0	0.42	39.0	5 000	3.6
N-88	0.35	850	0	850	0	0.72	52.0	930	5.1
N-89	0.40	820	0	885	0	0.47	51.0	1 85	4.9
N-90	0.33	852	0	900	4	0.48	48.0	4 280	4.6
N-91	0.36	850	0	902	4	0.43	56.0	1 860	5.5
N-92	0.30	852	0	896	4	0.46	56.0	2 230	6.0

表2 松木块气化过程模型值与试验值比较

Tab.2 Comparison between model output and the experimental data in pine block gasification

测试 工况	焦油质量浓度			气化气热值		
	试验值/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	模型值/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	相对误差/%	试验值/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$	模型值/ $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$	相对误差/%
N-90	4 280	4 040.3	5.6	4.6	4.79	4.1
N-91	1 860	1 923.2	3.4	5.5	5.31	3.5
N-92	2 230	2 274.6	2.0	6.0	5.85	2.5

选取表3中前13组数据用于模型训练,后2组数据用于模型测试,结果如表4所示,其中焦油含量最大相对误差为7.1%,燃气热值最大相对误差为8.6%,燃气主要组分最大相对误差为14.3%。若有更多的试验样本数据模型误差会更小。因此,该模型能够较好地模拟燃气焦油催化裂解过程。

3 松木块气化焦油联合脱除工况优化

3.1 气化过程焦油脱除工况优化

3.1.1 方案确立

气化站进料速率调节由供气负荷要求而定,所以气化工况优化中将固定进料速率($V_{\text{WHSV}} =$

0.6 kg/h)^[3];另外,由于白云石催化剂添加量变化较小,在寻优过程中也取为固定值(3%)^[3],因此,优化目标即为寻找当气化气热值最大和焦油含量最低时,气化过程的当量比、气化温度、自由段温度和进气速率的最佳目标值。

3.1.2 约束条件

基于优化方案及表1试验工况,确定待寻优量变化范围:当量比 E_R :0.27~0.52;气化温度 T_1 :780~880℃;自由段温度 T_2 :840~970℃;一次风速率 U_0 :25~56 cm/s^[3]。

3.1.3 多目标优化模型建立

气化过程优化目标是尽可能地降低气化过程气

表 3 松木块气化焦油炉外催化裂解试验数据

Tab.3 Experimental data of catalytic cracking of tar from gasification

试验 编号	T_{ar} /mg·m ⁻³	Q /MJ·m ⁻³	t_s /s	T_{cat} /°C	$T_{ar,out}$ /mg·m ⁻³	Q_{out} /MJ·m ⁻³	H ₂ 体积 分数/%	CO 体积 分数/%	CH ₄ 体积 分数/%
N-78	6 300	5.6	0.74	820	2 700	5.3	15.7	16.0	3.1
N-79	1 100	6.0	0.66	865	500	5.4	17.5	16.7	3.0
N-80	4 550	6.2	0.66	890	2 550	5.4	10.3	13.1	2.2
N-81	3 210	6.3	0.89	835	1 500	4.5	15.9	12.6	1.8
N-82	15 400	4.3	0.86	855	2 800	5.9	20.9	16.9	3.5
N-83	5 690	5.5	0.80	956	3 100	5.0	15.7	16.0	3.1
N-84	5 230	4.8	0.63	912	270	5.4	18.8	20.0	2.0
N-85	2 230	5.3	0.72	937	1 200	4.8	13.6	14.8	3.3
N-86	3 720	4.6	0.87	961	350	4.2	10.9	13.8	3.1
N-87	5 000	3.6	0.54	854	1 245	3.9	16.5	17.2	3.6
N-88	960	5.1	0.35	910	200	4.0	13.3	13.5	2.0
N-89	1 260	4.9	0.36	832	935	3.8	11.3	11.3	2.6
N-90	4 280	4.6	0.29	875	1 310	4.1	18.6	17.7	2.8
N-91	1 860	5.5	0.24	880	570	3.5	9.6	11.0	2.8
N-92	2 230	6.0	0.24	820	1 970	4.5	11.2	13.1	4.0

表 4 松木块气化焦油催化裂解过程模型计算值与试验值比较

Tab.4 Comparison between model output and the experimental data in catalytic cracking of tar

项目	N-91					N-92				
	$T_{ar,out}$ /mg·m ⁻³	Q_{out} /MJ·m ⁻³	H ₂ 体积 分数/%	CO 体积 分数/%	CH ₄ 体积 分数/%	$T_{ar,out}$ /mg·m ⁻³	Q_{out} /MJ·m ⁻³	H ₂ 体积 分数/%	CO 体积 分数/%	CH ₄ 体积 分数/%
试验值	570.0	3.5	9.6	11.0	2.8	1 970.0	4.5	11.2	13.1	4.0
计算值	610.4	3.8	10.3	12.1	2.4	1 867.5	4.8	11.8	14.2	3.5
相对误差/%	7.1	8.6	7.3	10.0	14.3	5.2	6.7	5.4	8.4	12.5

化气中的焦油含量,使催化裂解器入口化气焦油质量浓度满足小于 2 g/m³要求,以减轻燃气净化负担^[1]。因此,建立气化过程焦油脱除多目标优化模型为

$$\begin{cases}
 \max Y & (Y_1(x'_i) < 2 \text{ g/m}^3) \\
 \text{s. t.} & 0.27 \leq x'_1 \leq 0.52 \\
 & 780^\circ\text{C} \leq x'_2 \leq 880^\circ\text{C} \\
 & 840^\circ\text{C} \leq x'_3 \leq 970^\circ\text{C} \\
 & x'_4 = 0.6 \text{ kg/h} \\
 & 25 \text{ cm/s} \leq x'_5 \leq 56 \text{ cm/s} \\
 & x'_6 = 3\%
 \end{cases} \quad (3)$$

其中 $x' = (E_R, T_1, T_2, V_{WHSV}, U_0, W)$

$$Y = (1/Y_1(x'_i), Y_2(x'_i))$$

式中, $Y_1(x'_i)$ 表示气化气焦油质量浓度 T_{ar} , $Y_2(x'_i)$ 表示气化气热值 Q 。

3.1.4 优化计算

基于并列选择遗传算法^[8-9]进行优化计算,流

程如图 3 所示,优化结果如表 5 所示。

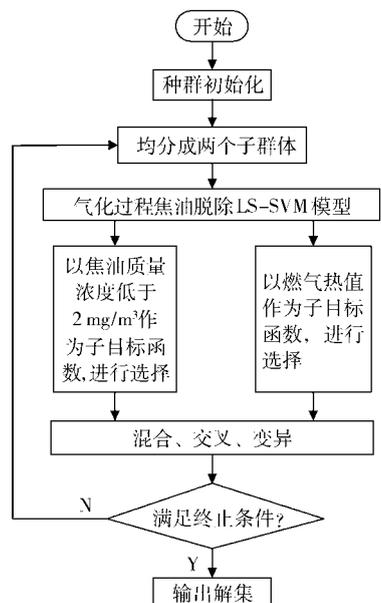


图 3 松木块气化过程焦油脱除优化流程图

Fig.3 Optimization process of tar removal in gasification

表5 松木块气化过程工况优化结果

Tab.5 Optimization results for pine block gasification

E_R	V_{WHSV} /kg·h ⁻¹	T_1 /°C	T_2 /°C	U_0 /cm·s ⁻¹	T_{ar} /mg·m ⁻³	Q /MJ·m ⁻³
0.3	0.6	801	957	52.9	877.6	6.5
0.3	0.6	800	879	52.9	1 104.8	6.4
0.3	0.6	798	841	26.9	1 122.3	6.3
0.3	0.6	787	910	42.2	1 225.7	6.1

从表5看出,第1组数据为松木块气化过程最优工况,即当气化气焦油质量浓度 877.6 mg/m³、热值 6.5 MJ/m³为最优值时,对应气化过程输入量为: $E_R = 0.3$ 、 $T_1 = 801$ °C、 $T_2 = 957$ °C、 $U_0 = 52.9$ cm/s。

3.2 气化气焦油炉外催化裂解工况优化

3.2.1 方案确立

由表3试验数据看出,经催化裂解后,气化气焦油质量浓度均远高于内燃机要求的 50 mg/m³ 标准^[2],仍需水洗或电除焦,为减轻后续净化处理负担,同时保持催化剂较高活性,使催化裂解器连续运行,优化方案重点考虑焦油含量和燃气热值,并兼顾催化剂活性,为方便寻优计算,用焦油转化率与气相停留时间的比值代表催化剂活性^[3]。

3.2.2 约束条件

根据焦油联合脱除过程模型,选取表5中最优工况下的焦油含量和燃气热值作为焦油催化裂解过程的已知输入,催化裂解温度 T_{cat} 和气相停留时间 t_s 作为待优化工况参数,其寻优范围分别为 800 ~ 1 000°C 和 0.24 ~ 1 s^[3]。

3.2.3 多目标优化模型建立

在优化方案及约束条件确定基础上,建立气化气焦油炉外催化裂解脱除多目标优化模型

$$\begin{cases} \max Y \\ \text{s. t. } & x_1'' = 6.5 \text{ MJ/m}^3 \\ & x_2'' = 877.6^\circ\text{C} \\ & 0.24 \text{ s} \leq x_3'' \leq 1 \text{ s} \\ & 800^\circ\text{C} \leq x_4'' \leq 1000^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4)$$

其中 $x'' = (Q, T_{ar}, t_s, T_{cat})$

$$Y = (1/Y_1(x_i''), Y_2(x_i''), Y_3(x_i''))$$

$Y_1(x_i'')$ 为焦油质量浓度 $T_{ar,out}$, $Y_2(x_i'')$ 为燃气热值

Q_{out} , $Y_3(x_i'')$ 为催化剂活性 k_{eff} 。

该目标优化模型旨在寻找当催化裂解器出口燃气焦油含量最小、燃气热值最大时,催化裂解温度和气相停留时间的最佳目标值。

3.2.4 优化计算

针对多目标优化模型(式(4)),采用并列选择遗传算法^[8-9]进行寻优,优化流程与图3结构类似,不同之处在于3个子目标函数分别为焦油质量浓度、燃气热值和催化剂活性,优化结果如表6所示,其中每组解都属于非劣解,又称其为 Pareto 最优解集。

表6 松木块气化气焦油催化裂解脱除工况优化结果

Tab.6 Optimization results for catalytic cracking of tar

t_s /s	T_{cat} /°C	$T_{ar,out}$ /mg·m ⁻³	Q_{out} /MJ·m ⁻³	k_{eff} /s ⁻¹
0.90	884	340.1	5.3	0.68
0.49	890	207.6	4.8	1.57
0.41	897	197.9	4.5	1.88
0.39	903	180.2	4.3	2.05
0.46	903	126.0	4.7	1.86

焦油催化裂解过程中,焦油含量随催化裂解温度的增加而降低,同时气相停留时间的增加也有利于焦油催化裂解,然而缩短气相停留时间也会减缓催化剂表面的积碳速率,使得催化剂活性维持在较大值;燃气热值受催化裂解温度的影响较大,温度越高需消耗更多的燃气来补充能量,但同时焦油催化裂解反应增强,使更多焦油转化为燃气,表6优化结果和以上分析是一致的。

3.3 结果分析

根据内燃机对燃气热值大于 4 MJ/m³ 的工程要求^[10],从表6中选取燃气焦油含量最低的3组解作为焦油联合脱除优化解子集,如表7所示。可以看出,催化裂解温度和气相停留时间的最优目标值分别在 900°C 和 0.4 s 附近。表8列出了3种优化工况下的燃气主要成分含量,除 CH₄ 体积分数稍低于试验值外, H₂ 和 CO 体积分数都接近试验数据的最大值,整体效果优于试验结果^[3]。

表7 松木块气化气焦油联合脱除工况优化结果

Tab.7 Optimization results for combined removal of tar from gasification

进料工况 [V_{WHSV}, W]	气化工况 [E_R, T_1, T_2, U_0]	Q /MJ·m ⁻³	T_{ar} /mg·m ⁻³	催化裂解工况 [t_s, T_{cat}]	$T_{ar,out}$ /mg·m ⁻³	Q_{out} /MJ·m ⁻³	k_{eff} /s ⁻¹
[0.6, 3%]	[0.3, 801, 957, 52.9]	6.5	877.6	[0.41, 897]	197.9	4.5	1.88
				[0.39, 903]	180.2	4.3	2.05
				[0.46, 903]	126.0	4.7	1.86

表 8 优化工况下催化裂解器输出燃气主要组分
Tab. 8 Main component contents from catalytic cracker

t_s /s	T_{cat} /°C	H ₂ 体积 分数/%	CO 体积 分数/%	CH ₄ 体积 分数/%
0.41	897	18.5	18.1	2.3
0.39	903	18.1	17.4	2.5
0.46	903	18.0	18.1	2.0

4 结论

(1) 在分析了影响气化气焦油含量多种因素基

础上,建立了松木块气化气焦油联合脱除过程模型,验证结果表明,气化过程气化气焦油含量预测值最大相对误差为 5.6%,焦油炉外催化裂解过程燃气焦油量预测值最大相对误差为 7.1%。

(2) 进一步拟合了气化过程及焦油催化裂解脱除过程优化目标函数。优化结果表明,松木块整体气化工艺过程最终燃气品质性能均优于气化站试验结果^[3]。所得松木块气化工艺过程焦油联合脱除最佳运行工况优化目标值,可作为实际工程参考。

参 考 文 献

- Corella J, Toledo J M, Molina G. Calculation of the conditions to get less than 2 g tar/m³ in a fluidized bed biomass gasifier [J]. Fuel Processing Technology, 2006, 87(9):841 ~ 846.
- 李永玲. 新型生物质双床热解制气工艺的关键技术研究[D]. 北京:清华大学,2008.
Li Yongling. Study on key technology in the new design and process of biomass pyrolysis technics in two bed reactor [D]. Beijing: Tsinghua University, 2008. (in Chinese)
- Corella J, Toledo J M, Padilla R. Catalytic hot gas cleaning with monoliths in biomass gasification in fluidized beds. 1. Their effectiveness for tar elimination[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2004, 43(10):2 433 ~ 2 445.
- Fagbemi L, Khezami L, Capart R. Pyrolysis products from different biomasses application to the thermal cracking of tar[J]. Applied Energy, 2001, 69(4):293 ~ 306.
- 陈平, 阴秀丽, 周肇秋, 等. MW 级生物质气化发电运行特性分析[J]. 太阳能学报, 2007, 28(4):389 ~ 393.
Chen Ping, Yin Xiuli, Zhou Zhaoqiu, et al. Operational performance of MW-scale biomass gasification and power generation plant[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2007, 28(4):389 ~ 393. (in Chinese)
- 李大中, 王臻. 基于最小二乘支持向量机的生物质气化过程模型建立[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3):629 ~ 633.
Li Dazhong, Wang Zhen. Modeling of biomass gasification process based on least squares SVM [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(3):629 ~ 633. (in Chinese)
- 李大中, 王卉. 稻秆气化焦油催化裂解脱除过程模型改进与优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3):109 ~ 102.
Li Dazhong, Wang Hui. Improving and optimizing the LS - SVM model of the rice straw gasification tar removal process by catalytic cracking[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3):109 ~ 102. (in Chinese)
- de Toro F, Ortega J, Fernández J, et al. PSFGA: a parallel genetic algorithm for multiobjective optimization [C] // Proceedings 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing, 2002:384 ~ 391.
- 姜健, 赵杰, 臧希喆. 基于并列选择遗传算法的多机器人协作探测[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(5):1 218 ~ 1 221.
Jiang Jian, Zhao Jie, Zang Xizhe. Coordinated multi-robot exploration based on parallelism selection genetic algorithm [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(5):1 218 ~ 1 221. (in Chinese)
- Sagüés C, García-Bacaicoa P, Serrano S. Automatic control of biomass gasifiers using fuzzy inference systems [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(4):845 ~ 855.