

# 以空气-水蒸汽为气化剂下吸式生物质气化炉设计与试验

傅玉栋，徐有宁，陈俊峰

(沈阳工程学院能源与动力学院，辽宁沈阳110136)

**摘要：**针对下吸式生物质气化炉主要部件对气化效果的影响进行了分析，并且设计了1台生物质气化炉。以空气-水蒸汽为气化剂，松木颗粒为原料，对该气化炉进行试验。在仅以空气为气化剂时，确定了最佳空气当量比(ER)为0.263，还原区反应温度达到671℃，燃气热值达到峰值1569kcal/Nm<sup>3</sup>

。在ER保持0.263不变的条件下，增加水蒸汽与燃料质量比(S/B)，在反应温度高于600℃时，燃气中CO含量逐渐减少，H<sub>2</sub>含量逐渐增加。当该气化炉以空气-水蒸汽为气化剂，ER为0.263，S/B为0.078时，燃气热值达到最大值1627kcal/Nm<sup>3</sup>。

面对日益突出的能源短缺和环境治理问题，新型清洁能源的开发与利用是社会发展的必然要求。在众多新能源之中，生物质能的开发与利用得到了更广泛的关注。生物质能是最重要和最普遍的能源之一。目前，我国的生物质能利用效率非常低，一些新技术还未成熟，未能得到广泛发展[1]。

生物质气化技术主要包括以空气、水蒸汽、富氧等为气化剂的固定床和流化床气化技术[2]。其中，下吸式固定床气化炉的燃料由气化炉顶部加入。随着气化反应的进行，生物质燃料依靠自身重量，逐渐下移，气化后产生的灰由炉底排出。下吸式固定床气化炉由于其装置结构简单，坚固耐用，运行方便，而且对反应变化适应性强，燃气焦油含量较少等特点被广泛应用[3]。然而，下吸式气化炉的气化效率相对较低，床层阻力较大，运行不稳定，易发生“搭桥”和床层烧穿等问题。因此，针对下吸式气化炉特点，分析了下吸式气化炉的设计要素，并设计了以空气-水蒸汽为气化剂的气化炉。

## 1下吸式气化炉主要部件设计

设计1台功率为135kW的下吸式气化炉，取燃气低位热值 $Q_{net}=5200\text{kJ/Nm}^3$ ，气化炉产气负荷取值 $B_g=0.3\text{Nm}^3/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ 。气化燃料选取松木颗粒，其元素分析和工业分析结果如表1所示。

**表1 松木的工业分析和元素分析** %

工业分析			元素分析				
$M_{ad}$	$V_{ad}$	$A_{ad}$	$C_{ad}$	$H_{ad}$	$O_{ad}$	$N_{ad}$	$S_{ad}$
8	74.29	0.55	46.44	6.48	37.82	0.14	0.57

### 1.1喉部尺寸

喉部形状和直径大小直接决定气化炉的性能。带喉部的气化炉可以增加气化还原区的反应时间，提高气化效率，一定程度上还对“搭桥”有所改善。此外，还能保证还原反应区的温度要求。喉部直径直接影响气化炉的出力，直径过小满足不了断面热负荷的要求，而直径过大需要更高的流速才能够使空气喷射到气化炉中心，会对燃气穿层造成影响[4]，这也限制了下吸式气化炉大型化的发展。

通过气化炉功率计算公式得出气化炉单位时间产气量 $V^{[5-6]}$ ：

$$P = \frac{Q_{\text{net}} \cdot V}{3600} \quad (1)$$

$$V = AB_g \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3)$$

式中, $P$ 为气化炉功率, $A$ 为气化炉喉部截面积,其值由式(2)算得,通过式(3)可算出气化炉喉部直径 $d=20\text{ cm}$ 。

#### 1.2空气喷嘴

ER是实际通入的空气量与理论完全燃烧空气量的比值。ER小于0.2,则会导致气化不完全,燃气中有过多的焦油,生成的燃气热值过低等问题;ER大于0.4,完全燃烧比重加大,燃气中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 量增加, $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 含量减少,热值降低。所以,最佳ER选择范围是0.2~0.3[7]。

ER选取0.25,按照气化炉最大处理燃料量为100kg/h设计,生物质气化所需空气量约为 $69\text{m}^3/\text{h}$ ,则喷嘴直径取30mm。

#### 1.3气化炉高度

固定床气化炉高度为炉内各反应区与灰室、燃料储存层高度之和。干燥和热解区热量来源于氧化区燃料燃烧产生的热量,所以干燥区与热解区高度很小。此外,干燥热解区高度还和气化炉直径、燃料颗粒度等因素有关。综合考虑各因素,干燥热解区高度取值为300mm。

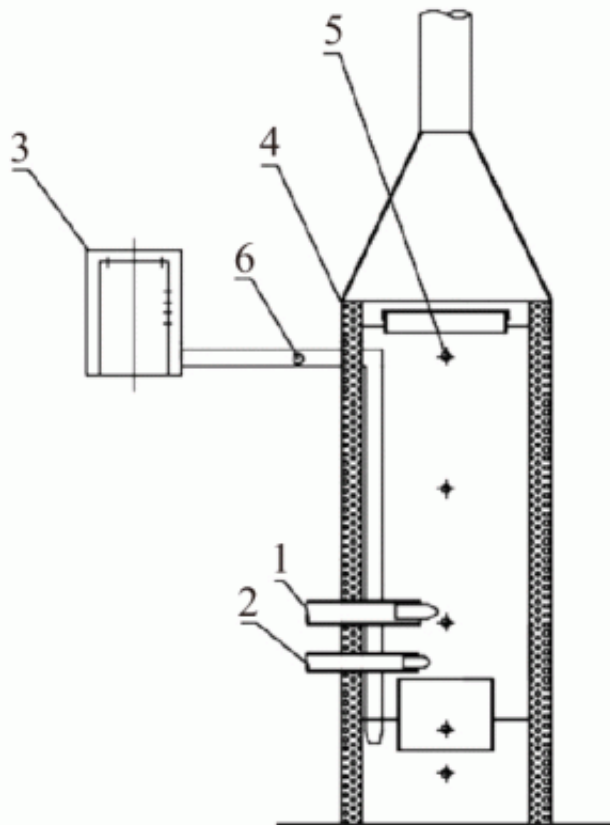
考虑灰室和燃料储存层高度不低于600mm,气化炉总高度取值为1250mm。

#### 1.4蒸汽喷嘴尺寸

蒸汽作为气化剂不仅可以提高燃气品质,增加 $\text{H}_2$ 含量,还能辅助控制反应床温,避免床温过高,造成碱金属腐蚀设备。

蒸汽量的衡量用指标S/B,其值取0.1,蒸汽喷嘴直径为 $d_{n1}=25\text{mm}$ 。

气化炉结构如图1所示。



1-空气喷嘴;2-蒸汽喷嘴;3-燃气燃烧器;4-气化炉炉体;  
5-热电偶;6-燃气取样口

图1 气化炉结构

## 2试验方法

试验采用空气-水蒸汽作为气化剂，在仅以空气为气化剂的条件下，改变空气当量比ER，测定反应温度、燃气组分及热值，确定最佳空气当量比。保持最佳空气当量比不变，改变通入水蒸汽的流量，确定以空气-水蒸汽为气化介质的气化炉特性参数。

试验过程如下：

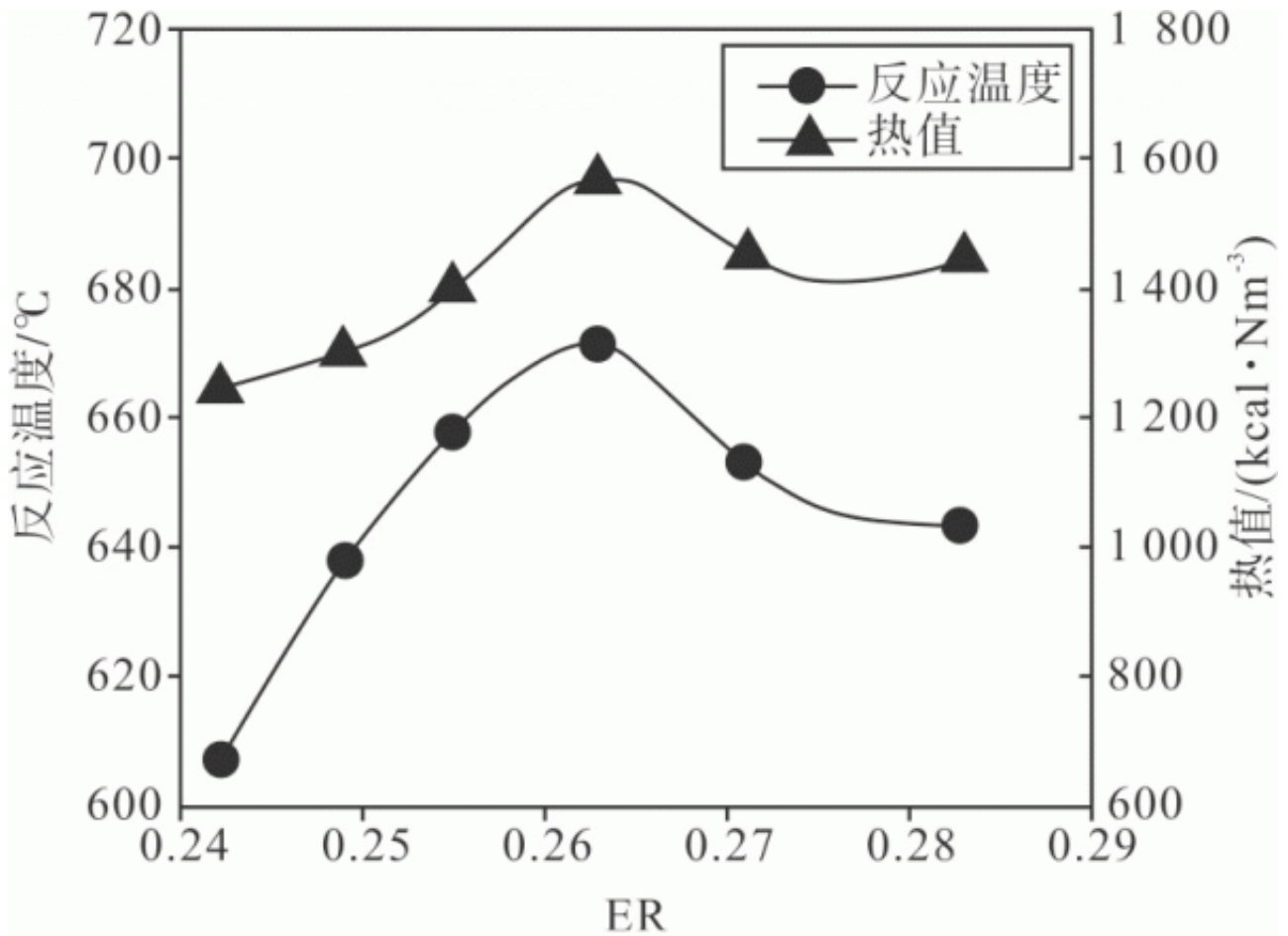
1) 为气化炉添加新料至加料口，点火后待各测温点温度稳定后，通入空气和空气-水蒸汽，每隔3min，记录该工况下气化温度及燃气组分变化。燃气组分通过型号为GASBOARD-3100P的红外煤气分析仪进行检测。

2) 待气化反应结束，燃烧器火焰熄灭后，关停蒸汽发生器和通风机，排空尾气。

## 3试验结果与分析

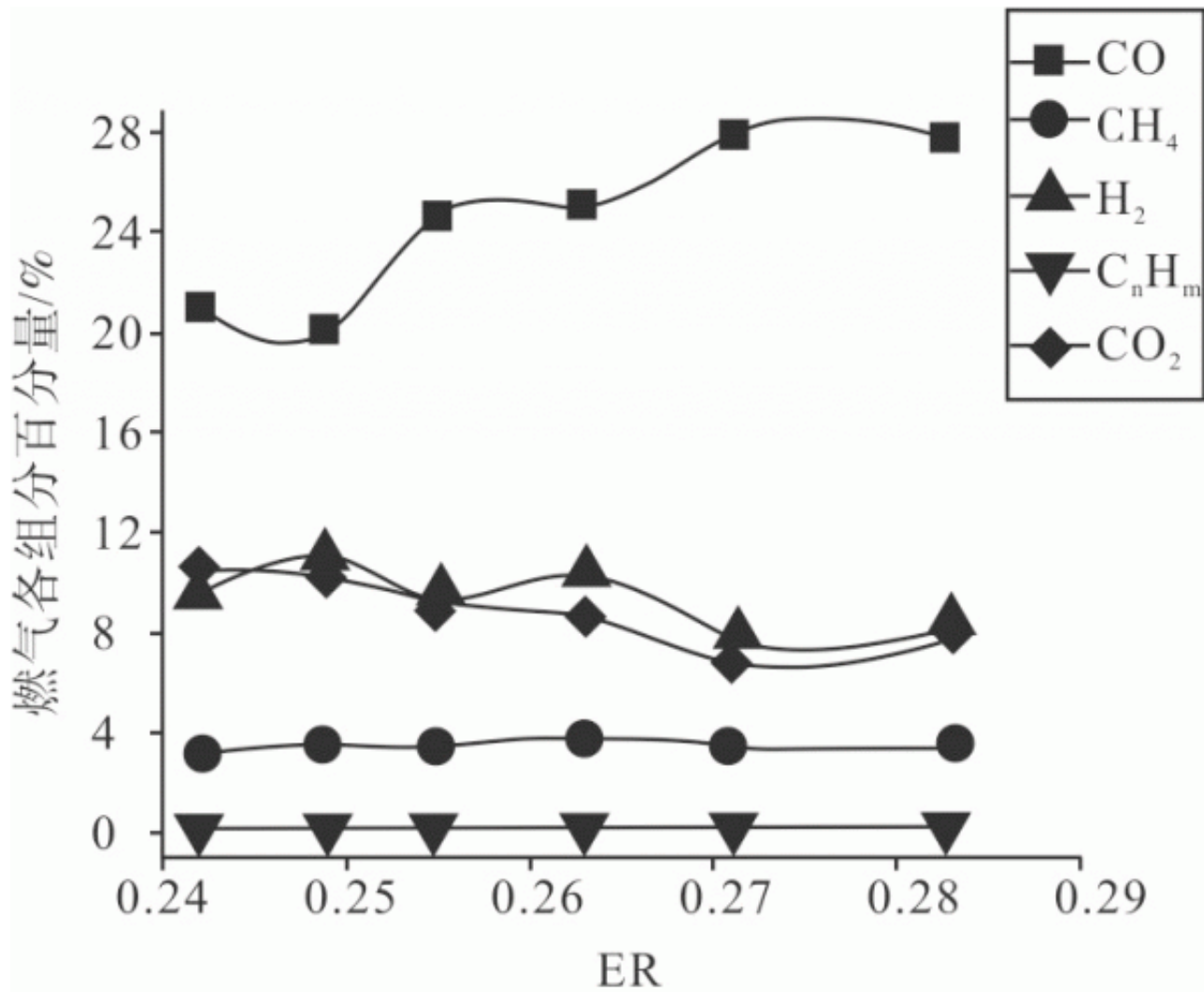
图2为还原反应温度、热值与ER关系曲线，随着ER的增加，炉内O<sub>2</sub>

增加，氧化反应增强，产生更多热量使还原反应温度增加，当ER为0.263时，反应温度为671，达到峰值。当ER大于0.263时，随着ER继续增加，惰性气体N<sub>2</sub>也增加，使炉内部分热量被N<sub>2</sub>带出，降低反应温度。



**图2 还原区反应温度和热值随ER变化曲线**

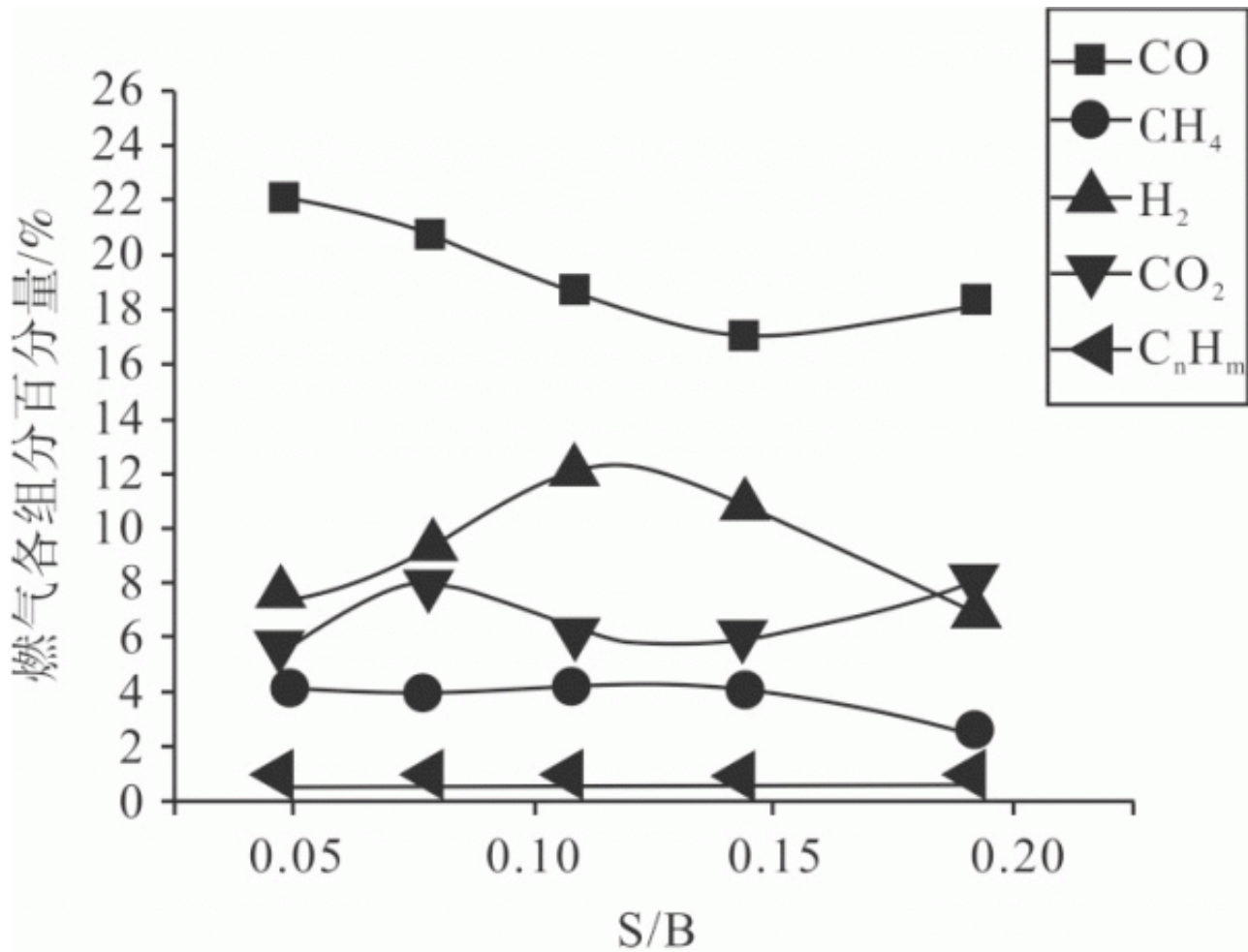
图3为ER对燃气各组分百分含量的影响，随着ER从0.242增加到0.283，燃气中CO和H<sub>2</sub>的含量先增加后降低。当ER为0.271时，C O含量最高，达到27.9%，而此时H<sub>2</sub>含量较低，为7.86%。图2热值与ER变化曲线显示，当ER为0.263时，燃气具有较高热值，为1569 kcal/Nm<sup>3</sup>，还原区温度升高促进了CO和H<sub>2</sub>的生成。所以，该气化炉最佳ER值取0.263。



**图3 燃气各组分百分含量随ER变化曲线**

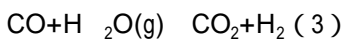
对于下吸式气化炉，气化剂量和反应温度直接决定气化效果。随着S/B的增加，燃气各成分含量有较大的变化，其中CO含量逐渐降低，当S/B增加到0.144时，达到最低值；H<sub>2</sub>含量则逐渐升高，当S/B增加到0.108时，达到峰值。而CH<sub>4</sub>和C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>含量变化并不大，如图4所示。





**图4 燃气各组分百分含量随S/B变化曲线**

产生该变化的原因是当通入蒸汽气化剂后，还原区进行CO变换反应：



由反应式可以看出，CO参与了变换反应，生成了H<sub>2</sub>。因此，CO浓度是逐渐降低的，而H<sub>2</sub>含量是逐渐增加的。H<sub>2</sub>含量增加时，燃气燃烧火焰外缘颜色呈蓝色。

还原区反应温度随S/B的增加而逐渐降低，当温度低于600℃时，CO变换反应进行缓慢。当S/B进一步增加，反应温度则继续降低，使气化炉内的可燃气体含量减少。通过分析可以得出，该气化炉当量比ER为0.263，S/B值为0.078时，燃气热值达到最大，即1627kcal/Nm<sup>3</sup>，如图5所示。

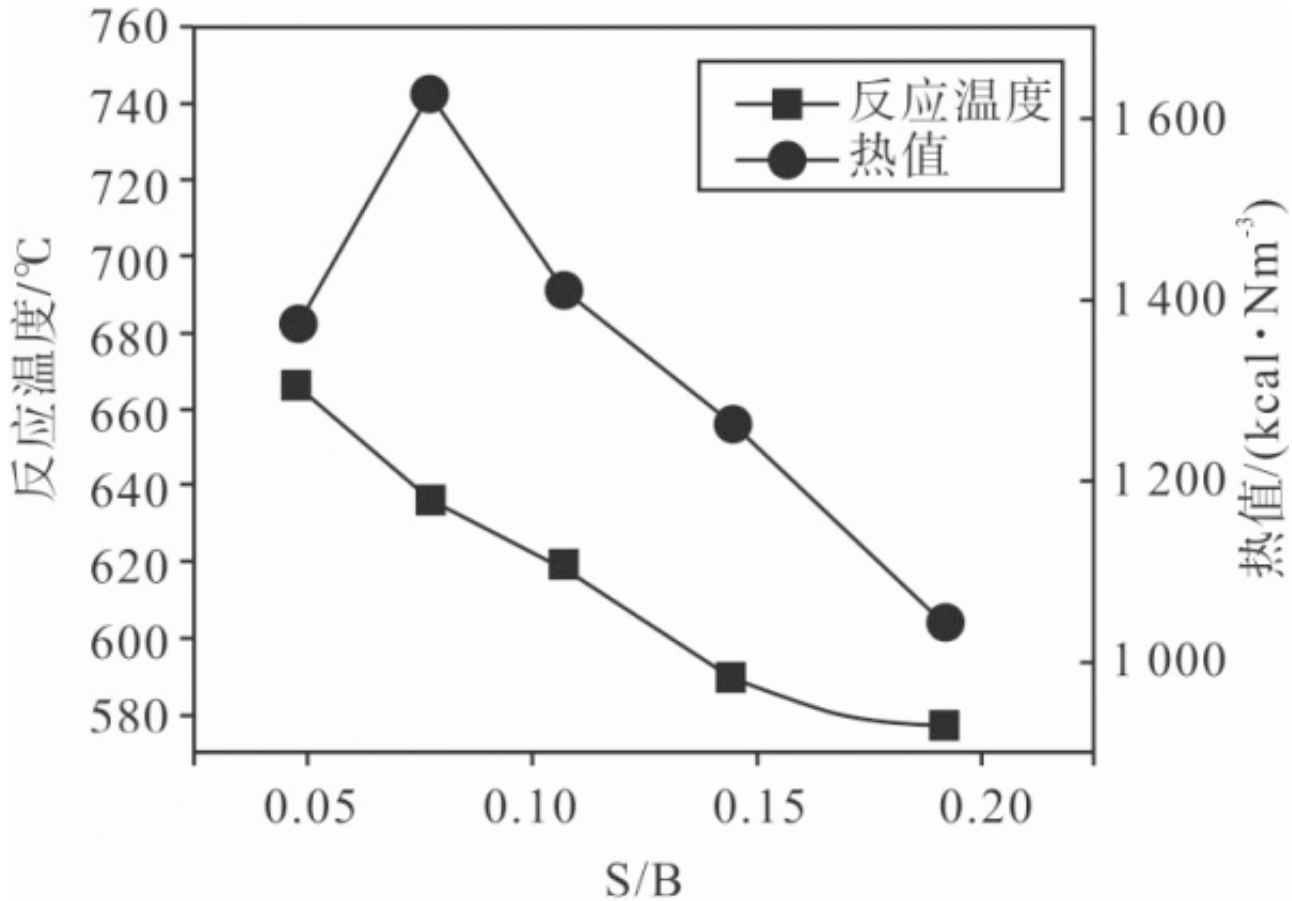


图5 还原区反应温度和热值随S/B变化曲线

4结论

下吸式气化炉喉部直径、空气喷嘴等主要部件对气化效果有较大的影响，综合考虑各影响因素，设计了1台以空气-水蒸汽为气化剂的生物质气化炉。在仅以空气为气化剂的条件下，确定了该气化炉最佳空气当量比；在保持最佳空气当量比不变的条件下，研究了S/B值对该气化炉气化特性的影响。

试验表明，当ER为0.263时，还原区反应温度最高为671，燃气热值最大为1569kcal/Nm<sup>3</sup>

；而当ER大于0.263时，继续增大ER，反应温度会降低，可燃气体CO和H<sub>2</sub>含量也减少。通入水蒸汽后，随着S/B值的增加，还原区发生CO变换反应，燃气中CO含量会逐渐减少，而H<sub>2</sub>

含量会逐渐增加。但是随着S/B值的增加，反应区温度会逐渐降低，当温度低于600以下时，气化效果变差，燃气热值降低较多。该气化炉在以空气-水蒸汽为气化剂，ER为0.263、S/B为0.078时，得到最大燃气热值为1627kcal/Nm<sup>3</sup>。

## 参考文献

- [1] 常 轩,齐永锋,张冬冬,等. 生物质气化技术研究现状及其发展[J]. 现代工业,2013,33(6):36 - 40.
- [2] 孙 立,张晓东. 生物质热解气化原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [3] 吴创之,马隆龙. 生物质能现代化利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [4] BASU P. Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory [M]. 2nd ed. San Diego: Elsevier, 2008.
- [5] 李 斌,陈汉平,杨海平,等. 上吸式生物质气化炉的设计与试验[J]. 农业工程学报,2011,27(7):270 - 273.
- [6] 吕兆川,李景东,张兆玲,等. 不同配气工艺下生物质固定床气化试验研究[J]. 化学工程,2014,42(8):12 - 16.
- [7] OJOLO S J, ORISALEYE J I. Design and Development of a Laboratory Scale Biomass Gasifier [J]. Journal of Energy and Power Engineering, 2010, 4(8): 16 - 23.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/175883.html>