

民用生物质燃气炉具的设计

郭瑞琴¹，刘圣勇²，刘莉³，杨群发²，李遂亮²

(1.河南省农业干部学校，河南郑州450008；2.河南农业大学机电工程学院，河南郑州450002；3.河南纺织高等专科学校，河南郑州450007)

摘要：根据生物质燃气的特性，对生物质燃气炉具的喷嘴、引射器部件进行了设计，研制出了生物质燃气炉具。经试验与检测证实，该炉具有运行稳定，使用安全，热负荷大，效率高，成本低等优点，在村镇有较高的推广应用价值。

生物质热解气化作为一种主要的生物质能转换技术，近年来得到较大的发展，各种生物质气化装置和生物质燃气发电机组相继研制成功，把生物质的高品位利用推到了一个较新的高度。同时生物质固定床热解气化已发展到村级规模集中供

气和气化烘干

等领域，而且以追求中热值

为目标的流化床和循环流化床气化装置的研究已取得初步成果^[1]

。虽然气化技术有了迅速的发展，但气化后得到的生物质燃气仅仅局限于锅炉供气、生产供热、发电、茶叶、木材烘干等，而广大农村来说生物质燃气主要用于炊事，目前还没有一种合理的炉具与之相配套。由于生物质燃气可燃成分少，热值低，消耗量大等特点，为保证这种燃气安全稳定着火并充分燃烧，必须配套专门炉具才能使用。为此，作者首次研制出了民用生物质燃气炉具。该炉具非常适合于生物质燃气，具有燃烧稳定、使用安全可靠、热负荷大、热效率高、成本低等特点，在我国有较好的推广应用前景。

1 设计要求及技术参数

1.1 设计要求

为设计出比较理想的生物质燃气炉具，对炉具应提出下列要求：

(1) 炉具的热负荷应满足炊事的要求。炉具在燃烧过程中，热负荷过大，则热效率低，卫生条件变坏；热负荷过小，势必使炊事时间延长。我国民用燃气炊具的热负荷应在3000W左右为宜^[2]。

(2) 燃烧稳定性好。这是指燃气压力和热值在一定范围内变化时，生物质燃气炉不应发生脱火、回火及出现黄色火焰。

(3) 热效率高。炉具在额定热负荷下的热效率不应低于55%。

(4) 卫生条件符合国家规定。生物质燃气燃烧时，排出的烟气中COA=1的含量不应超过0.1%。

(5) 炉具的设计压力不高。一般在设计中应按贮气柜燃气的最低压力考虑，否则由于燃气压力不足或波动，灶具难以保证设计的热负荷。

(6) 结构简单，加工方便，成本低廉，使用安全可靠等。

(1) 生物质燃气成分(%)：CO 20.9，H₂ 16.1，CH₄ 2.5，N₂ 49.7，CO₂ 9.2，O₂ 1.6^[3]。生物质燃气热值(Qs)为5284.2kJ·Nm⁻³，重度(r)12.25N·Nm⁻³，理论空气量(V0)为5.51Nm³·Nm⁻³。

(2) 炉具热负荷(I)为3000W，燃气炉前压力(P)833Pa，该炉具采用大气式燃烧方式，一次空气系数(A)0.9^[4]。

2 生物质燃气炉具的设计

该炉具主要是由喷嘴、引射器、空气调节板、炉头、固定座、炉头连接螺栓等组成，其结构如图1所示。

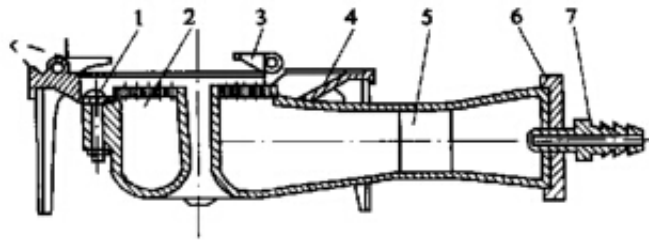


图1 炉具结构图

1. 炉头连接螺栓 2. 炉头 3. 活动支撑
4. 固定座 5. 引射器 6. 空气调节板 7. 喷嘴

喷嘴是炉具的关键部分，必须具备以下功能：保证喷射一定量的燃气；使燃气产生喷射作用，引射一定的空气。为满足第一功能的要求，必须选择适当大小的喷嘴，喷嘴的计算是基于气体动量和气体流动的基本方程，其直径(d_r)可由(1)式算出，长度(l_r)可由(2)式算出，取综合系数为10。

$$d_r = 10 \sqrt{I/Q_s} \cdot \sqrt[4]{r/P} \quad (1)$$

$$l_r = d_r \quad (2)$$

把所选参数代入相应公式，设计出喷嘴的结构及尺寸(图2，表1)。

为满足喷嘴的第二项功能要求，尽可能地将喷嘴安装在混合管的中心线上。否则，喷射偏离中心线，燃气射流撞击混合管壁，造成动量的损失，减少一次空气的引射量。

对于喷嘴的形状，必须考虑流量系数，引射效果及加工制造的难易等因素。加工要达到一定工艺要求，形状要规则，否则将影响功能的实现。

2.2 引射器

影响大气式燃烧器性能的很多因素中，引射一次空气及一次空气与燃气的混合是最主要的。这两项性能全部在引射器内完成，引射器的一般形状为文丘里管(Venturi Tube)，但也有整个引射器采用同一内径的。采用文丘里管式引射器，燃气与空气混合较好，燃气在流动的过程中，涡流少，引射一次空气的能力强，因此广泛应用于民用燃具方面。影响引射器性能的主要因素有喉管的大小、混合管的长度、一次空气吸入口的形状等。

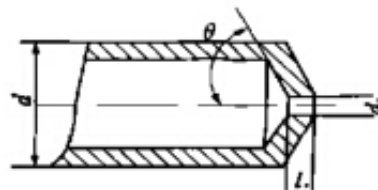


图2 喷嘴的结构

具有一定压力的生物质燃气从喷嘴喷出后在引射器内与空气充分混合，形成一定压力和速度的燃气，才能保证燃气在炉具中的燃烧。引射器主要有扩散管、喉管和收缩管组成。引射器的设计是以动量定理、连续性方程及能量守恒定律为基础，同时考虑了燃气和空气在混合管内所产生的撞击及摩擦损失，而撞击损失又属于完全非弹性体的阻力性质

。根据(3)式^[5]

，可计算出喉管的直径(D₂)，依据一定的关系，可得出引射器的其它尺寸。引射器的各部分结构及尺寸见图3，表1。

$$D_2 = d_r \sqrt{k(1 + \alpha V_0)(1 + \alpha V_0/S)} \quad (3)$$

式中： k ——引射器的阻力系数，取 1.3；

S ——生物质燃气体积质量，取 0.97。

引射器的收缩管处吸入一次空气的部分，就称之为引射器的进口或引射器的锥形口，这是因为从喷嘴喷出的燃气具有一定的能量，为使引射一次空气时少产生能量的损失，将混合器送入喉管，喉管进口即收缩管必须作成锥形而得名。为进一步减少能量的损失，喉管入口可做成圆弧形，曲率半径为喉管直径的2.0~2.5倍，如图3所示。同时，喷嘴端部与喉管的距离，对引射一次空气影响很大。尽管喷嘴设计形状良好，如果与喉管的相对位置安装不当，也不能取得良好的引射效果。反之，通过调节其相互间距离，就能增减引射的一次空气量。当 $D_2 > d$ 时，喷嘴与喉管的距离 L_4 必须在一定范围内，如图4所示。

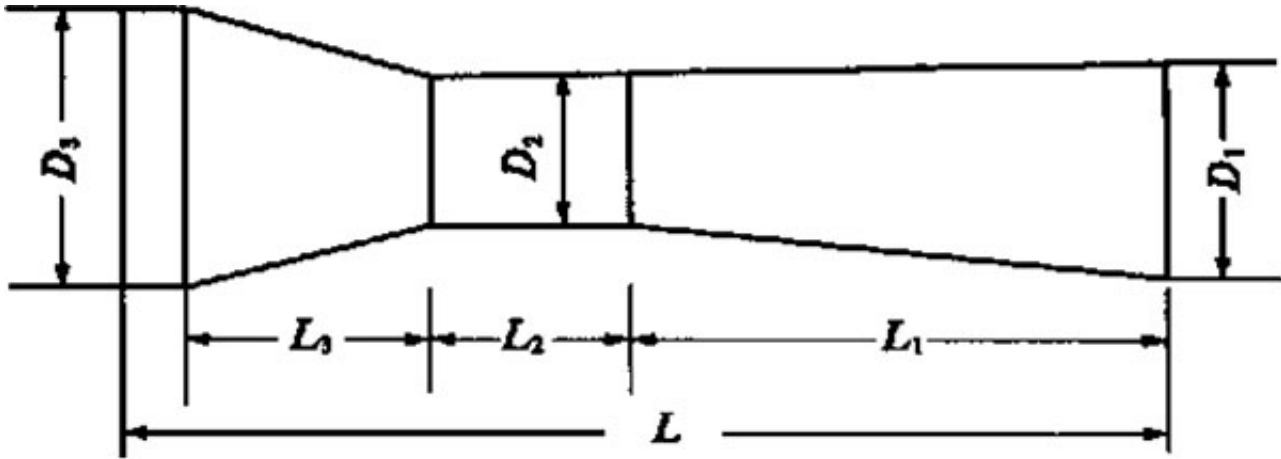


图3 引射器的结构

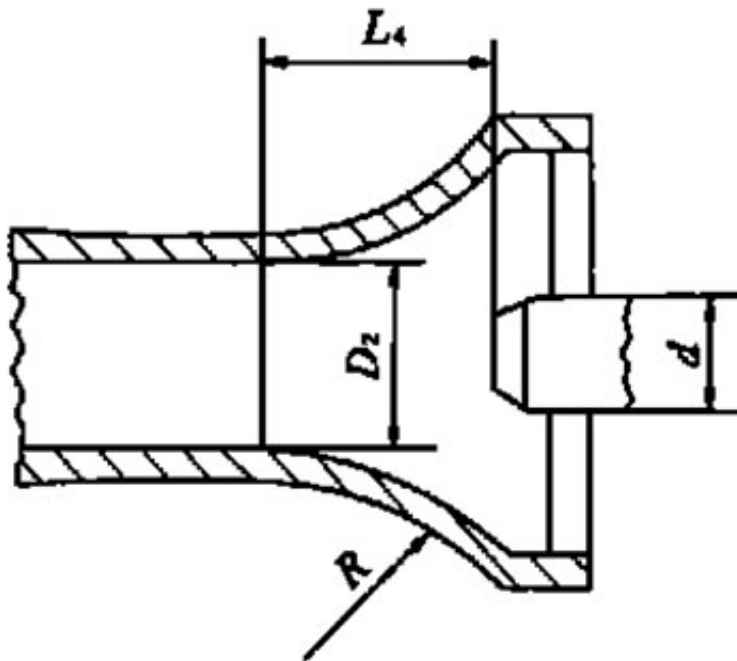


图4 喷嘴与一次空气进风口的相对位置

2.3头部

炉具头部的作用是使燃气和空气混合物均匀地分布在各个火孔上，以利于完全燃烧。因此设计时要充分考虑火孔的形式、大小，孔数以及排列等因素。这些因素并不单由燃烧器本身所决定，而是根据不同的用途，受加热物的大小、形状及燃烧空间的大小等因素的影响。

(1)头部出火孔总面积(F_0)采用(4)式^[6]计算。

(1) 头部出火孔总面积(F_0)采用(4)式^[6]计算.

$$F_0 = \frac{278I(1 + \alpha V_0)}{Q_s W_0} \quad (4)$$

式中: F_0 ——火孔总面积(mm^2);

W_0 ——火孔出口流速, 取 $0.6(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$.

(2) 头部火孔数目(n)可采用(5)式计算.

$$n = \frac{5F_0}{\pi d_0^2} \quad (5)$$

式中: d_0 ——火孔直径(mm), 取 5 mm ; n ——火孔数目(个).

火孔深度(δ)可采用(6)式计算.

$$\delta = 1.5 d_0 \quad (6)$$

火孔与火孔中心距(a)采用(7)式计算.

$$a = 2d_0 \quad (7)$$

(3) 一次空气进风口面积(F_k)采用(8)式计算.

$$F_k = \frac{278\alpha V_0 I}{W_k Q_s} \quad (8)$$

式中: F_k ——一次空气进风口面积(mm^2);

W_k ——一次空气进风口速度, 取 $1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 求出 F_k 后, 可求出炉盘直径 D_L .

(4) 二次空气进风口截面积(F'')采用(9)式计算.

$$F'' = 3I \quad (9)$$

把已知数据代入(4)~(9)式, 得炉具头部的尺寸如表1所示, 结果如图4所示.

表1 民用炉具的各部分设计尺寸

参数	d_r	L	$\theta(^{\circ})$	D_1	D_2	D_3	L_1	L_2	L_3	L	F_0/mm^2	$n/\text{个}$	δ	a	F_k/mm^2	F''	D_L
尺寸	5	5	60	54	34	68	204	153	88	432	5643	288	7.5	10	2561	7751	200

3 试验结果与分析

作者研制的生物质燃气炉具, 在试验室条件下进行试验. 在其它条件不变的情况下, 分别改变喷嘴的安装位置、引射器的入口形状、燃气的流量对炉具主要性能的影响进行了试验, 试验结果如表2~表4所示.

3.1 喷嘴与喉管的距离对炉具性能的影响

从表2可知, 当喷嘴与喉管的距离 $L_4 < 34 \text{ mm}$ 时, 炉具的各项性能指标变差. 这是由于喷嘴与喉管距离太近时, 喷嘴位置占据了引射一次空气的通道, 减少了引射一次空气的通风面积, 使一次空气量减少, 使点燃工况与燃烧工况变差, 因而使炉具的各项技术指标都变低. 当喷嘴与喉管距离 $L_4 > 50 \text{ mm}$ 时, 炉具的各项性能指标也变差, 这是由于喷嘴与喉管的距离 L_4 太大, 当喷嘴喷射燃气时有一定的扩散角, 扩散燃气与混合管管壁相碰撞, 使燃气产生涡流, 从而使燃气的动能降低, 燃气引射空气的能力下降, 一次空气量产生不足, 从而使炉具的各项技术指标变差. 当 $34 \text{ mm} \leq L_4 \leq 50 \text{ mm}$ 时, 喷嘴的安装位置合适, 喷嘴引射一次空气的能力较强, 同时一次空气与燃气能充分的混合, 为燃气的点火

与燃烧提供了有利的条件，炉具的各项技术指标较好。

表 2 喷嘴与喉管的距离对炉具主要性能的影响

喷嘴与喉管的距离/mm	点火率/%	燃烧工况	燃烧效率/%	火焰温度/℃	热负荷/W	热效率/%	燃产物中CO的含量/%	噪声/dB
26	83	燃烧不稳定,有黄焰、回火现象	83.2	1051	2702	55.7	0.06	50
34	96	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	91.2	1123	2928	62.5	0.045	45
46	100	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	93.5	1153	3002	63.8	0.042	42
50	95	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	90.8	1105	2913	62.6	0.046	47
58	82	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	82.11	1041	2634	54.3	0.064	55

3.2喉管入口形状对炉具性能的影响

从表3可知，当引射器入口为圆管时，炉具的各项性能指标较差，这主要是由于在燃气引射能力一定的条件下，进风面积减小，使燃气所需要的一次空气量不够，同时燃气与一次空气的混合也不好所造成的。

当引射器入口为圆弧锥形管时，炉具的各项性能指标达到最好，这主要是由于圆弧锥形入口面能保持一定的流线型，使引射一次空气与圆弧侧壁的摩擦力减小，减少了圆弧侧壁对一次空气的流动阻力。单位时间内，燃气引入的一次空气量增多，因此炉具的各项性能指标达到最佳。当引射器入口为直线锥形管时，炉具的各项性能指标与圆弧锥形管相差不多，仅次于圆锥形管的状态，但考虑到直线锥形管加工的方便性，本炉具的引射器采用直线锥形管入口。

表 3 引射器喉管入口形状对炉具主要性能的影响

喉管入口形状	点火率/%	燃烧工况	燃烧效率/%	火焰温度/℃	热负荷/W	热效率/%	燃产物中CO的含量/%	噪声/dB
直管	73	燃烧不稳定,有黄焰、回火现象	75	1023	2407	53.7	0.075	54
直线锥形管	99	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	93.6	1152	3004	64.1	0.041	42
圆弧锥形管	100	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	95.8	1161	3075	65.3	0.040	40

3.3燃气流量对炉具性能的影响

表 4 燃气流量对炉具性能的影响

燃气流量/($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	点火率/%	燃烧工况	燃烧效率/%	火焰温度/℃	热负荷/W	热效率/%	燃产物中CO的含量/%	噪声/dB
307	75	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	95.3	1031	1546	65.4	0.030	35
407	88	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	94.7	1074	2037	65.0	0.033	37
507	98	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	94.1	1115	2521	64.6	0.037	43
607	100	燃烧稳定,无黄焰、无回火、脱火现象	93.5	1152	3005	64.2	0.041	45
707	100	燃烧不稳定,有黄焰、有回火、脱火现象	80.1	1141	2993	54.8	0.067	55

从表4可知，当燃气的流量低于设计要求($607\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)时，除点火性能较差，做饭时间增长外，其它性能指标较好。当燃气流量主同于设计要求时，燃烧工况变差，炉具的各项性能变差。若

考虑到点火性能和做饭时间上，当选用设计流量或稍低于设计流量时($407\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)[$607\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]炉具的综合性较好。

3.4 炉具的主要技术指标

作者研制的民用炉具检测，其主要性能指标检测结果如表5所示。从表5可知，炉具的各项技术指标均达到CJ4-835家用煤气灶6标准要求。

表 5 生物质燃气炉具主要性能

项目	测试结果	标准要求
热效率/ %	63.5	> 55
热负荷/ W	3 100±5%	≥2 910
燃烧	均匀、稳定	均匀、稳定
气密性	无压降	无压降
点火率/ %	100	100
CO 含量/ %	0.042	≤0.1
噪声/ dB	45	< 65

4 效益分析

4.1 经济效益

(1) 燃气效益。1户3~5口之家，1个月使用天然气15~20m³，天然气价格116元·m⁻³，月消耗天然气燃料费为24~32元。若用生物质燃气，1个月需100~134m³，生物质燃气价格0.15元·m⁻³，月消耗生物质燃气费为15~20元，1户1个月可节省燃料费9~12元，1户1a可节省燃料费为108~144元。与液化气相比，节省的就更多。

(2) 炉具效益。每台炉具总成本(带有电子打火)为85元，市场售价可达150元，则每台炉具纯利润65元，年产1万台炉具的厂家可获纯利润为65万元。

4.2 社会效益

民用生物质燃气炉具的研制为生物质能集中供气的广大居民提供了配套的专门炉具，提高了他们生活舒适的文明程度，节约了炊事时间与劳动量，使环境和庭院卫生有了明显改善；同时该炉具的研制拓宽了生物质燃气使用的范围，从而推动了生物质能集中供气的推广与应用，更有效地提高秸秆的利用率，减少了秸秆直接燃用和燃烧给环境造成的污染，适合现代化社会的需要。

5 结语

1) 本炉具在给定设计参数下点火率、热负荷、热效率、燃烧工况、气密性、环保指标均能达到设计的要求。说明了设计方法的科学性与正确性。

2) 该炉具与其它炉具相比具有运行稳定、操作方便、使用安全、热负荷大、热效率高、成本低等优点，适合农民使

用，同时提高了农民的卫生、文明条件，在我国村镇有较好的推广应用前景。

3)该炉具的研制为生物质集中供气提供了配套的新型炉具，推动了生物质集中供气的可持续发展与应用，为生物质秸秆的合理利用与有效利用寻找了一条新途径，具有显著的经济效益与社会效益。

参考文献：

[1]万仁新.生物质能工程[M].北京：中国农业出版社，1995。

[2]刘圣勇，杨群发.GTL高碳液体燃料炉具的研制[J].新能源，1996，(10)：20-23.

[3]杨世关.生物质气化烤烟系统研究[D].郑州：河南农业大学，1998.

[4]张全国，刘圣勇.燃烧理论及应用[M].郑州：河南科技出版社，1994.

[5]曹承昭.沼气技术[M].北京：中国农业出版社，1983.

[6]日本煤气协会.煤气应用手册[M].李强森，蔡玉琢，译.北京：中国建筑工业出版社，1989.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/97046.html>