

生物质气为燃料微型燃气轮机运行的仿真模拟分析

谢哲，赵志军

(上海理工大学能用与动力工程学院，上海200093)

摘要：将某公司的微型燃机作为研究对象，使用仿真模拟方法对将生物质气作为燃料研究燃料微型燃气轮机运行的可行性。通过仿真模拟表示，此燃机不能够燃烧低热值棉柴气和稻草气，所以也就无法同时有效满足透平入口温度、压气机喘振裕度的需求。燃用高热值沼气和木片气的时候，微型燃机能够安全地运行。基于此，对微型燃机无法燃烧低热值燃料的问题提出了压气机改进的方案，此方案能够有效提高低热值燃料燃用时压气机透平入口及喘振裕度，使微型燃气轮机能够安全、有效地运行。

引言

生物质气技术就是将木片、秸秆等一系列的生物质化成为可燃生物质的合成器，其属于较为现代的生物质能利用技术。高温燃料电池属于能够直接使染料化学能转变成为电能的装置，因为高温燃料电池的排气温度比较高，从而使其能够与同燃气轮机组合成为混合的动力系统，以此有效提高了系统的整体发电效率。因为熔融碳酸盐燃料电池工作温度及生物质气、重整温度相互接近，以此使其成为了能够与生物质气化为一体的发电系统动力系统。相关研究表明，小规模生物质气燃料燃气轮机系统能够在林场、农场等生物质能较为丰富的地区使用，从而实现分布式的功能。基于此，将生物质气作为燃料，实现微型燃气轮机运行仿真的模拟分析。

1 微型燃气轮机系统

微型燃气轮机系统中主要包括燃气轮机、生物质气化系统及燃料电池系统（见图1）。其中，汽化炉中的生物质气通过净化之后和蒸发器产生饱和蒸汽相结合，混合之后的气体通过低温换热器加热之后进入到重整器中，之后进入到MCFC阳极出现电化学反应，没有完全反应的阳极气体和燃气轮机涡轮排气混合进入到催化燃烧室中进行燃烧，产生高温烟气进入到燃料电池阴极中，以此为电化学反应提供二氧化碳^[1]

。阴极排气要将燃料进行预热，之后进入到蒸发器中为其提供热量。空气利用压气机压缩之后，通过高温换热器、回热器进行加热，得到高温高压气体之后进入到涡轮膨胀进行做功^[2]。

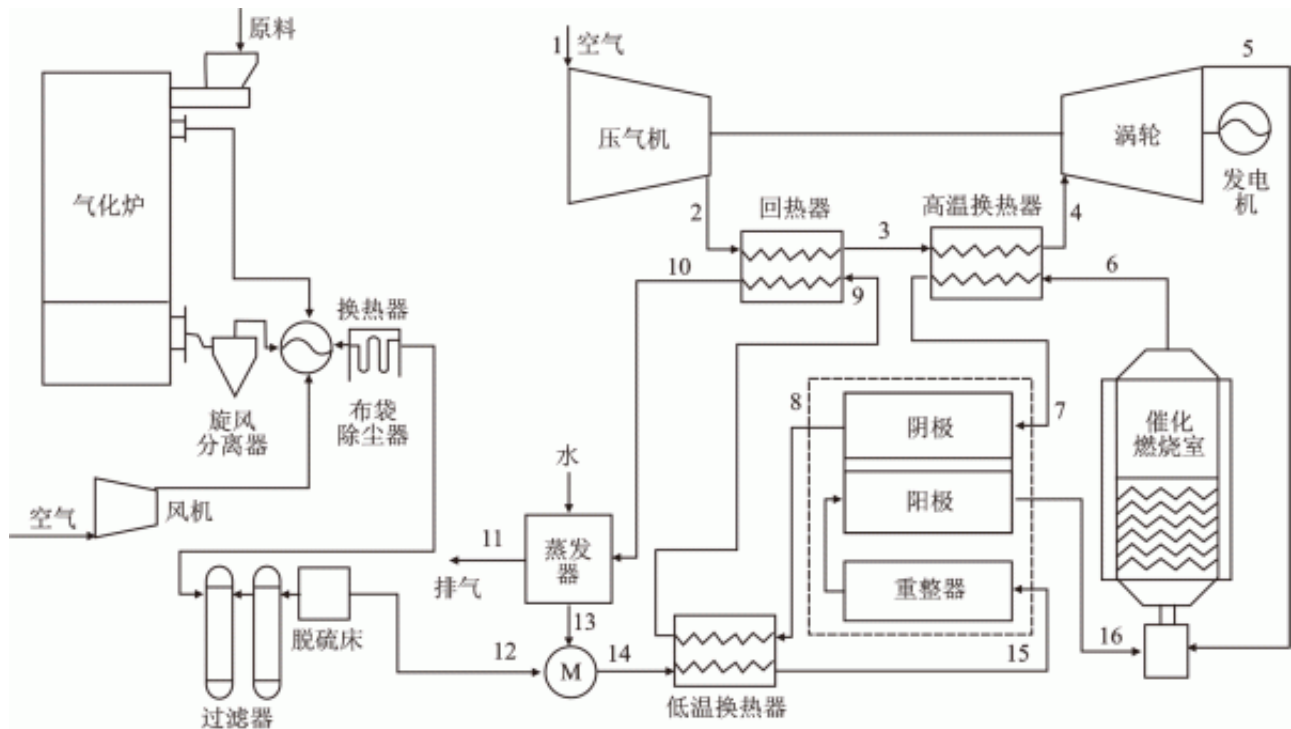


图1 微型燃气轮机的系统示意图

2运行模型分析

2.1压气机模型

压气机属于燃气轮机的主要部件，微型燃气轮中的流量、体积和重量都比较小，所以大部分都是使用离心式压气机。离心式压气机中的气体一般都是顺着和轴线垂直半径方向进行流动，其主要特点就是短轴向、高单级压比，并且工况发生变化的时候具有良好的适应性，而且效率的变化较为平缓，但是空气流量比较小，效率比较低^[3]。

压气机工作特点和压比 π 、折合流量 $Ga\sqrt{T}/P$ 、折合转速 n/\sqrt{T} 、效率 η_c 具有密切的联系，在进行仿真计算的过程中，压比与转速都属于已知状态参数，使用折合转速与压比能够得到相应折合流量及效率。那么可以使用试验得到压气机特性的曲线，使用多元差值得到折合流量及效率^[4]。压气机的数学模型如图2所示。

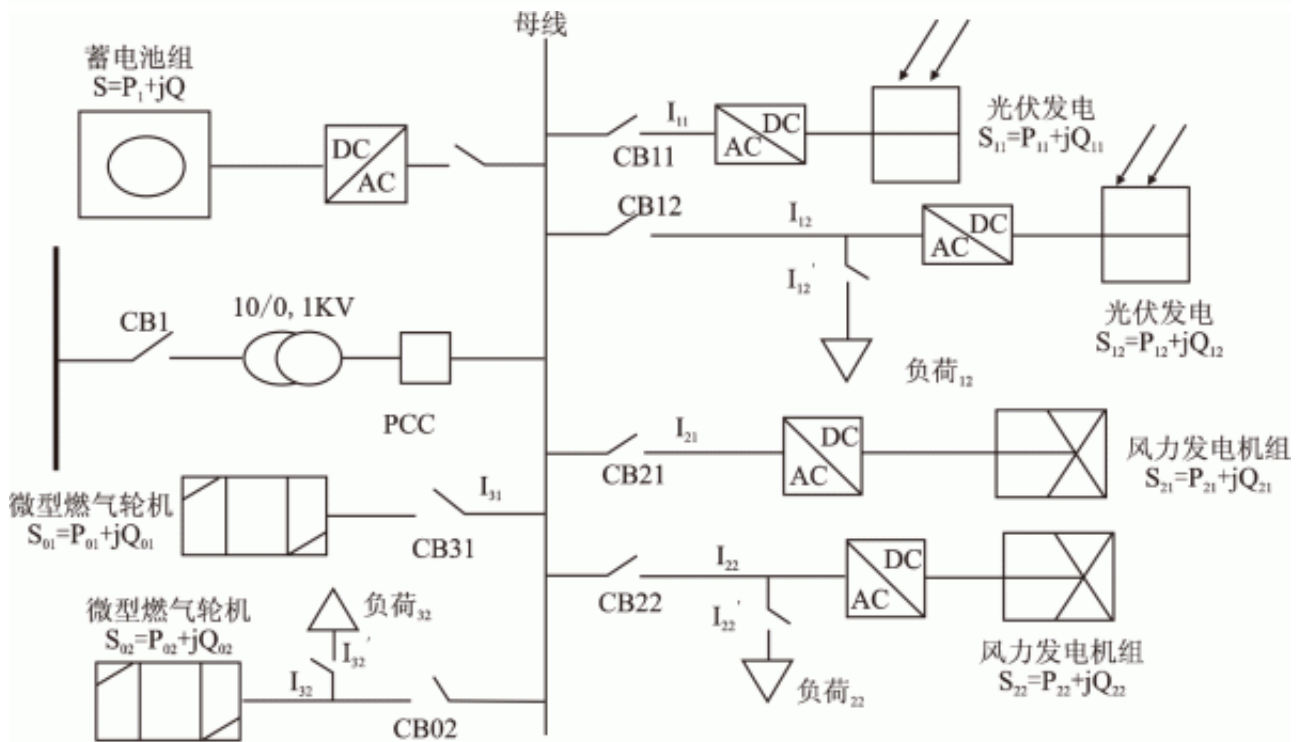


图2 压气机的数学模型

压气机主要的性能参数与计算方法为：

$$\frac{G_a \sqrt{T}}{P_1} = f_1 \left(\pi, \frac{n}{\sqrt{T}} \right) \quad ①$$

$$\eta_c = f_2 \left(\pi, \frac{n}{\sqrt{T}} \right) \quad ②$$

$$T_2 = T_1 \left(1 + \frac{\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_c} \right) \quad ③$$

$$W_c = G_a (h_2 - h_1) \quad ④$$

$$T_q = \frac{W_c}{\omega} \quad ⑤$$

式中， G_a ——压气机的进口质量流量 (kg/s) ；

T_1 ——压气机的进口温度 (°C) ；

T_2 ——压气机的出口温度 (°C) ；

n ——燃气轮机的主轴转速 (r/min) ；

h_1 ——压气机的进口焓 (kJ) ；

h_2 ——压气机的出口焓 (kJ) ；

k ——绝热系数 [kJ/(m·°C)] ；

W_c ——压气机的消耗功 (kW) ；

T_q ——转子扭矩^[5] (NM)。

2.2回热器模型

回热器能够使循环热效率得到进一步的提高，但回热器的容积惯性及热惯性比较大，其在燃气轮机工况发生变化的

^[6]。以能量守恒及质量守恒能够实现回热器模块数学模型的创建：

$$\frac{dP_2}{dt} = \frac{G_{g2}h_{g2} - G_{g2}h_{g2} - Q_g + W}{Vg \left(1 + \frac{C_{p2}}{R_2}\right)} \quad (6)$$

式中， G_{g2} ——流体和换热管关闭的换热(W)；
 W ——轴功(Ws)。

2.3透平模型

向心透平结构较为紧凑，并且具有较高的强度，制造工艺较为简单，造价较低，被广泛应用到微型燃气轮机中，但是其效率较低。在实现仿真计算的过程中，转速与膨胀比属于已知状态参数，并且使用折合转速与膨胀比能够得到折合流量及效率^[7]。透平主要性能参数和计算方法为：

$$\frac{G_g \sqrt{T_3}}{P_3} = f_3 \left(\lambda, \frac{n}{\sqrt{T_3}} \right) \quad (7)$$

$$\eta_t = f_t \left(\lambda, \frac{n}{\sqrt{T_t}} \right) \quad (8)$$

通过Matlab环境创建透平仿真模块，为了能够使计算机对特性曲线进行处理，将特性曲线数据作为2张表。在查表过程中，假如输入点处于输入变量范围中，为了提高精确度，那么可以使用曲线差值得到输出数据^[8]。

3仿真结果和分析

选择棉柴气、稻草气、沼气和木片气进行实验，4种生物质气的热值及成分如表1所示。

表1 4种生物质气的热值及成分

燃料	组分体积百分比 (%)						热值 (MJ/kg)
	CH ₄	CO	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂	
棉柴气	1.9	22.7	11.5	11.6	52.2	0	4.41
稻草气	2.0	16	11	13.6	57.8	0	3.61
沼气	65	0	0	31	0	5	22.62
木片气	4.52	13.85	23.62	17.52	41.25	0	6.25

使微型燃气轮机输出功率保持在30kW，通过创建的仿真模型，对4种生物质气微型燃气轮机性能实现计算，微型燃气轮机性能的仿真结果如表2所示。通过表2可以看出，生物质气的热值越低，那么需要的燃料流量就会提高。为了能够使透气通流量和压气机相互匹配，压气机压比就会变大，进入到压气机空气流量就会变小，以此导致出现喘振等问题，降低机组运行过程中的安全性。

表2 微型燃气轮机性能的仿真结果

参数	棉柴气	稻草气	沼气	木片气
环境温度 (K)	298.25	298.25	298.25	298.25
环境压力 (MPa)	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
转速 (r/min)	96000	96000	96000	96000
压比	3.562	3.625	3.205	3.265
喘振裕度	4.31	0	14.25	14.25
燃料流量(kg/s)	0.0236	0.0362	0.052	0.0025
透平入口温度 (K)	1025	922.5	1125	1115
燃机功率 (kW)	30.01	21.52	30.01	30.04
燃机效率	0.2362	0.1825	0.2652	0.2365

4改进分析

为了能够使微型燃机对低热值生物质气进行良好的燃用，可以使用改进压气机方式，及时对叶片安装角对通流面积进行改变，降低空气通流量。本研究使用仿真方法对压气机压比进行了计算，改进压气机方案就是基于压气机压比不发生变化，利用安装叶片降低空气流量，并且提高进入燃烧室中的染料流量。通过仿真模拟的结果，以前文描述微型燃机安全运行的限制条件，对此方案可行性进行分析。透平入口温度在压气机空气减少量的改变，如图3所示。通过图3可以看出，对于此种生物质气，在压气机空气减少量不断提高的过程中，透平入口温度也在提高。燃料量在空气减少量的改变，如图4所示。通过图4可以看出，基于透平入口温度下限，在压气机空气量降低的过程中，压气机功耗就会降低。燃料量在增加的过程中，透平入口温度也会使透平输出功率降低，以此提高整机的效率及功率。以此表示，改进之后的压气机能够使透平入口温度得到提高，使机组运行安全性也得到了有效的提高^[9]。

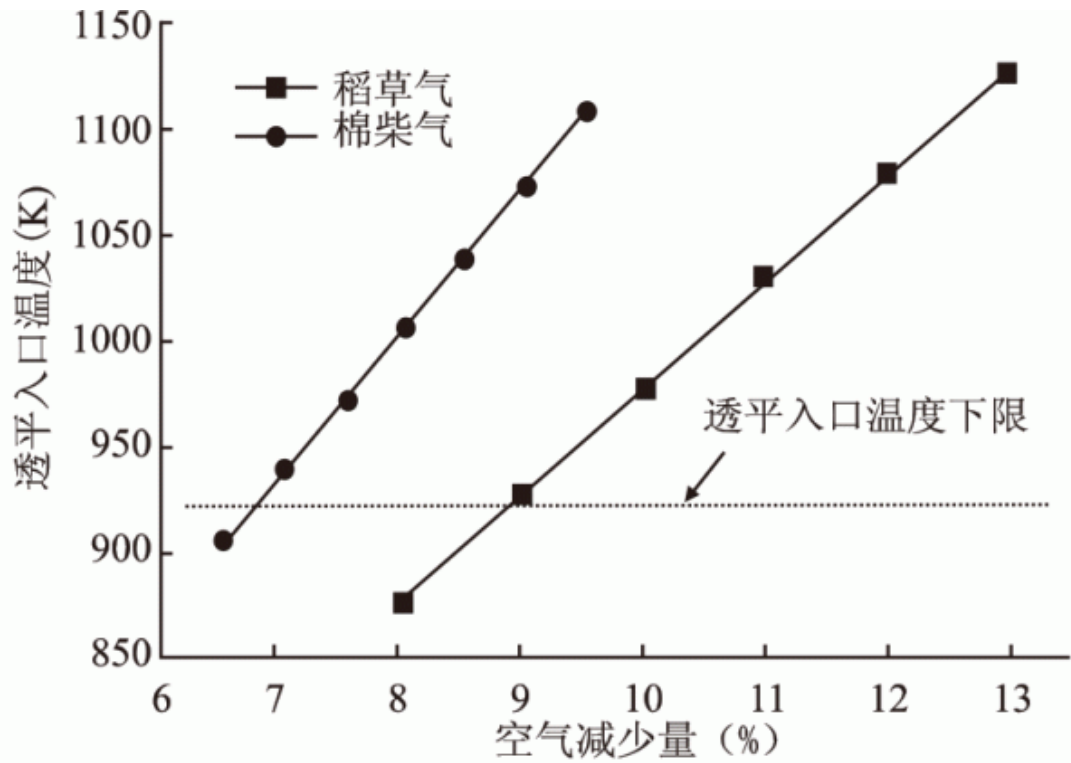


图3 透平入口温度在压气机空气减少量的改变

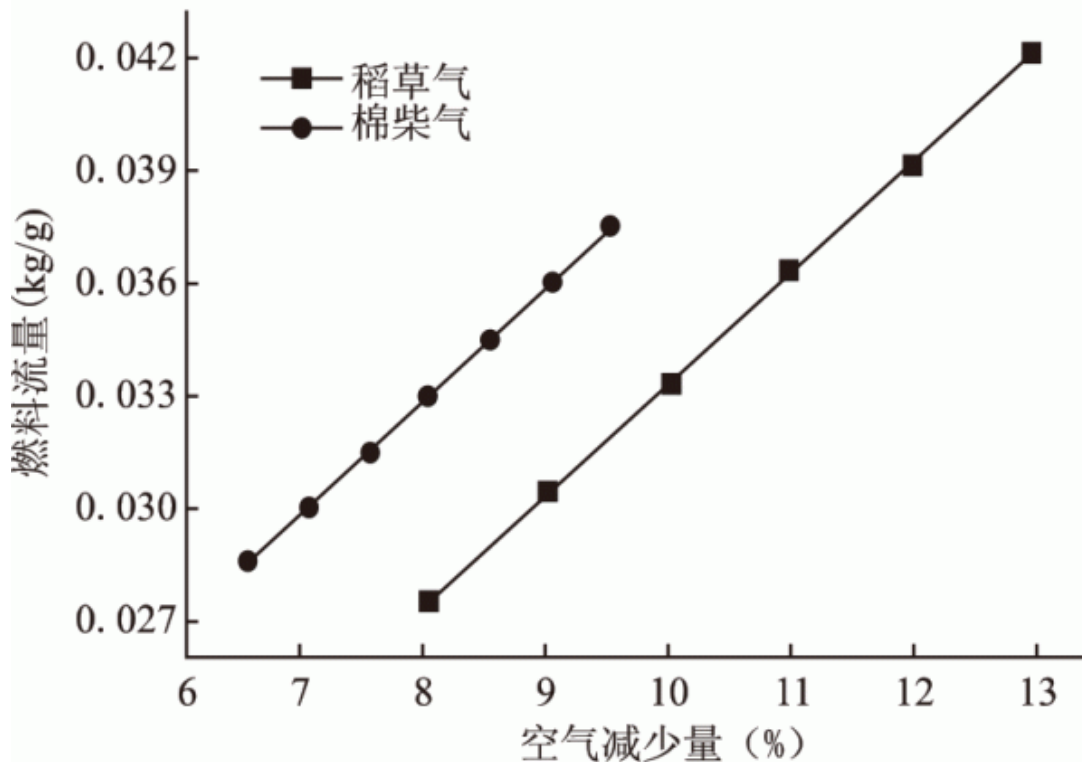


图4 燃料量在空气减少量的改变

5结语

生物质气分布供能系统属于全新的项目，其应用前景较为广阔。因为化石燃料越来越少，环境污染问题不断突出，促进了生物质能的发展。利用仿真模型的创建，研究生物质气热值与燃料流量的关系。针对此方面的问题，实现了微型燃气轮组的优化设计。改进之后的压气机能够提高机组安全性，能够使微型燃机运行范围得到扩大。

参考文献

- [1]耿孝儒，吕小静，翁一武.基于生物质气的固体氧化物燃料电池-燃气轮机混合动力系统的性能分析[J].动力工程学报，2015，35（2）：166-172.
- [2]吴旺松，翁一武.使用不同生物质气的微型燃气轮机性能分析[J].华东电力，2012，（9）：1603-1606.
- [3]张军，孙崎胜，吴晓燕，等.污泥热解气为燃料的SOFC-MGT联合发电系统能效分析[J].环境工程学报，2016，10（11）：6642-6648.
- [4]吴旺松.生物质气微型燃气轮机分布式供能系统性能分析[D].上海：上海交通大学，2013.
- [5]徐仁超.生物质气化燃料电池-燃气轮机与地源热泵联合循环的系统仿真与性能分析[D].厦门：厦门大学，2015.
- [6]张倩倩，薄泽民，桑振坤，等.以生物质气为燃料的微型燃气轮机运行特性分析[J].热能动力工程，2016，31（3）：44-49.
- [7]王海蓉，梁栋，黄模志.生物质型CCHP系统的联合循环仿真及性能分析[J].化工学报，2015，66（s2）：279-286.
- [8]陈俊龙，王玉璋，刘闯钊，等.微型燃气轮机低热值燃料燃烧室喷嘴流动实验研究[J].热能动力工程，2017，（12）：33-40.
- [9]吕小静，耿孝儒，朱新坚，等.以木片气为燃料的中温型固体氧化物燃料电池/燃气轮机混合动力系统性能研究[J].中国电机工程学报，2015，（1）：133-141.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/162421.html>