

低热值燃料对微型燃气轮机运行特性的影响

刘爱毓, 翁 一武, 翁 史烈, 张 巍

(上海交通大学 动力与机械工程教育部重点实验室, 上海 200240)

摘 要: 生物质气具有热值低、可燃成分不同的特点, 这种特点导致生物质气在微型燃气轮机上的应用存在问题。为天然气设计的微型燃气轮机应用低热值燃料时, 会导致工质流量和热力学特性的变化, 从而导致燃气轮机运行特性的变化。为将这种低热值燃料应用于微型燃气轮机, 提出了几种对微型燃气轮机进行调整和改进的方法, 使微型燃气轮机能适应这种低热值的燃料。应用数学模型, 计算出了在应用这些方法后对微型燃气轮机运行特性的影响。结果表明, 应用低热值燃料后微型燃气轮机的运行特性会发生明显的改变, 在调节和改进方法中对压气机和透平进行改进以适应新的流量匹配是最适合的方法。除匹配外, 还提出了一些应用低热值燃料有待解决的问题。

关 键 词: 生物质; 低热值; 微型燃气轮机

中图分类号: TK47 文献标识码: A

引 言

与天然气这类高热值的燃料相比生物质气化产品气的特点是热值低、可燃成份不同。这些特点给燃气轮机带来的影响主要有两个方面^[1]: (1) 透平入口处燃气流量的不同, 这种影响会给压气机和透平的匹配带来问题; (2) 在透平膨胀过程中由于燃气成份的不同会导致焓降不同, 这会使相同条件下透平的输出功有所变化。

如果将这种低热值的生物质气应用到为天然气设计的微型燃气轮机中, 由于生物质气的这些特点会导致燃气轮机的运行参数发生改变甚至使燃气轮机无法正常工作。因此在应用这种生物质气时要对燃气轮机进行适当的调节甚至是改进, 使燃气轮机在应用这种生物质气时仍然可以正常工作。为分析生物质气对微型燃气轮机运行特性的影响, 建立了一个微型燃气轮机的模型^[2~3]。本研究以 CAPSTONE 公司的 C30 型微型燃气轮机为对象, 文中的

计算和分析都是建立在微型燃气轮机数学仿真模型基础之上的, 表 1 为燃气轮机在使用高热值燃料时的额定工况参数。在燃气轮机的建模过程中, 由于所使用的生物质气属于含有不可燃成份的气体燃料, 同时这种燃料又是由多种成份组成, 所以将燃料作为复合变量加以建模。而燃气的热力学性质会不同于使用常规燃料所产生燃气的热力学性质, 其计算过程根据含有不可燃成份的混合气体燃料的计算方法来计算。

表 1 微型燃气轮机额定工况参数

	数 值
环境温度/ K	288.5
压比	3.2
燃机输出功/ kW	30
透平入口温度/ K	1 113
燃料流量/ kg·s ⁻¹	0.002 46
环境压力/ MPa	0.1
转速/ r·min ⁻¹	96 000
燃机效率/ %	26.0±2
尾气温度/ K	548
空气流量/ kg·s ⁻¹	0.31

1 低热值生物质气对微型燃气轮机运行特性的影响

生物质气化时, 气化方式的不同及气化原料和气化剂的不同都会导致气化所产生的生物质气的成份和热值不同。当采用不同的气化原料时, 气化所产生的生物质气的主要成份和热值如表 2 所示^[4]。对所有的生物质气进行计算是不客观的, 因此选取有代表性的一组生物质气(玉米秸)来进行计算。

收稿日期: 2008-02-18; 修订日期: 2008-12-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90610019)

作者简介: 刘爱毓(1979-)男, 辽宁锦州人, 上海交通大学博士研究生

表 2 不同的生物质对气化产品气成份和热值的影响

	含量/%			
	玉米芯	棉柴	玉米秸	麦秸
二氧化碳 CO ₂	12.5	11.6	13.0	14.0
氧气 O ₂	1.4	1.5	1.65	1.7
一氧化碳 CO	22.5	22.7	21.4	17.6
氢气 H ₂	12.3	11.5	12.2	8.5
甲烷 CH ₄	2.32	1.92	1.87	1.36
氮气 N ₂	48.98	50.78	49.88	56.84
热值/kJ·m ⁻³	5 032.8	5 585.2	5 327.7	3 663.5

1.1 燃料成份的影响

燃料成份的不同其热力学性质就会表现出一定的差异,更重要的是由于燃料成份的不同燃烧后所生成工质的成份会不同。在热力循环中最重要的热力学参数是比热容,因此为确定不同的燃料成份对燃气轮机运行性能的影响将燃料的定压比热容和工

表 3 燃料成份对微型燃气轮机运行特性的影响

不同燃料	燃料流量 /kg·s ⁻¹	透平出口温度 /K	透平输出功 /kW	T3 时的 c _p /kJ·(kg·K) ⁻¹	T4 时的 c _p /kJ·(kg·K) ⁻¹	等熵焓降 /kJ·kg ⁻¹	燃机效率 /%
纯甲烷气	0.002 37	912	77.1	1.298	1.144	401	25.35
生物质气	0.039 4	905	85	1.191	1.131	302	24.59

可以看出,如果透平的入口条件相同,则经过等熵膨胀后使用生物质气的工质焓降小于纯甲烷气的焓降。对于等熵膨胀后焓降有影响的因素有两个方面:一方面是等熵膨胀前后的温差;另一方面是膨胀中的平均定压比热容。使用生物质气时等熵膨胀后温差增大,这可以使焓降增大;但由于燃料成份不同而导致燃烧后所形成的工质成份不同,使其定压比热容相差很大。在使用生物质气作燃料时,工质中比热容高的水含量少,氮气含量多就会导致所形成的工质其膨胀过程中平均比热容小,从而等熵焓降小。

1.2 低热值的影响

由于生物质气的热值低,如果不改变燃料的流量而仍然采用高热值燃料的燃空比,其燃烧室的温升低透平输出功减少,透平的输出功不足以用于拖动压气机。若要燃气轮机能够输出功,就要加大燃料的流量使透平的入口温度提高。在所建立的微型燃气轮机数值仿真模型中逐渐增大燃料的流量,那么燃气轮机的输出功和效率随燃料流量的加大而变化的关系如图 1 所示。

由图 1 可以看出,只有当生物质气的流量达到

质的定压比热容表示成为成份和温度的函数^[5]。等熵膨胀过程中的焓降可以由下式来计算:

$$\Delta h_{is} = \int_{T_{FN,IS}}^{T_{IN}} c_p(T) dT$$

式中: T_{IN}—透平入口温度, K; T_{FN, IS}—工质经过等熵膨胀后在透平出口的温度, K; c_p(T)—温度及成份的函数, 首先将工质中各成份表示成温度的函数然后应用道尔顿分压定律将工质的定压比热表示为温度和成份的函数。

当单独考虑燃料的成份变化对微型燃气轮机运行特性的影响时,燃料成份主要影响的是透平的膨胀过程,为分析使用不同燃料对透平膨胀过程中焓降的影响,对生物质气和纯甲烷气在相同的透平入口条件下进行了等熵膨胀计算。透平的入口条件相同,经过等熵膨胀后使用纯甲烷气和生物质气的燃气轮机的运行参数如表 3 所示。

约 0.017 kg/s 时,微型燃气轮机才开始有功输出。虽然这种计算方法不符合燃气轮机的运行特性,但它却可以反应出低热值燃料对微型燃气轮机的影响。

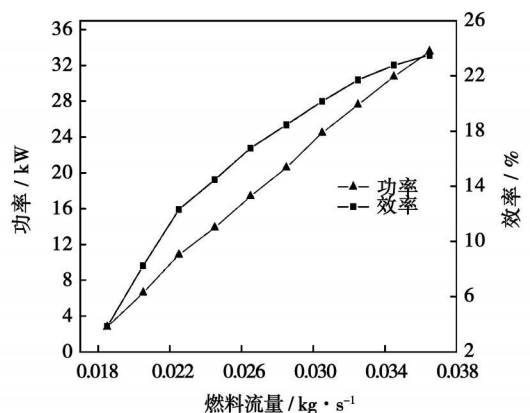


图 1 燃气轮机输出功率和效率随燃料的变化

1.3 应用低热值生物质气时燃气轮机的运行特性
应用微型燃气轮机的仿真模型对微型燃气轮机以生物质气作为燃料,而不对燃气轮机做任何调整时燃气轮机的运行特性进行计算。分两种情况进行计算:(1)保持透平的入口温度与原设计工况相同;

(2) 保持燃气轮机的输出功与原设计工况相同。

1.3.1 入口温度相同

保持压气机的运行特性不变,应用一维热力学计算,计算出在保持透平的入口温度达到与使用甲烷气时的相同值时燃气轮机的运行工况,计算结果如表 4 所示。

1.3.2 输出功相同

同样保持压气机的运行特性不变,根据质量守恒计算燃气轮机使用生物质燃料时保持输出功与设计工况相同时燃气轮机的运行特性如表 4 所示。

表 4 微型燃气轮机在使用不同燃料时的运行工况

	纯甲	使用生物质气时的工况	
	烷气	温度相同	输出功相同
燃烧室入口空气温度/K	839	832	767.7
燃料质量流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.0023	0.0394	0.03419
燃烧室出口燃气温度/K	1113	1113	1027
透平出口燃气温度/K	912	905	833.3
透平出口质量流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.312	0.3494	0.3442
透平输出功/kW	77.1	85	77.11
燃气轮机输出功/kW	30	37.89	30
燃气轮机效率/%	25.35	24.59	22.43

由以上的计算结果可以看出,在使用低热值的生物质气作为燃料时,为达到相同的透平入口温度燃料的质量流量将增大到设计工况的 16.6 倍,燃气轮机的输出功变大,而效率则有少许的降低;当燃气轮机输出相同的功时,燃料的质量流量增大到原来的 14.4 倍,燃气轮机的效率会明显的降低。输出功的增大是由于压气机的运行特性不变则耗功也不变,而通过透平的工质流量明显增加,透平的输出功增大,从而会导致整个燃气轮机的输出功增大;而燃气轮机效率的降低是由多方面的因素引起的,主要包括以下几个方面:(1) 进入燃烧室的燃料是没有被预热的,其温度低于进入燃烧室空气的温度,而其流量又明显增大。所以,这就会导致燃气轮机效率的降低,如果将燃料预热到一定温度会提高燃气轮机的效率;(2) 由于透平的工质流量改变会导致透平不再工作在设计点,透平效率下降,同样也会导致

燃气轮机效率的降低;(3) 在保持燃气轮机输出功率相同时,以上计算可以看出透平的入口温度明显降低,这样就会导致效率的明显下降。

由上面的计算可以看出,无论是保持透平的入口温度相同还是保持输出功相同,生物质气的质量流量都将是甲烷的 10 倍以上。这样所导致的问题就是在燃气轮机中通过压气机的流量与通过透平的流量之间存在较大的差值,原有的压气机和透平不能匹配工作,这时就需要对燃气轮机进行调节,甚至改型^[6~7]。

2 应用低热值生物质气时燃气轮机的调节

在大型燃气轮机上应用低热值的生物质气作为燃料已经有一定的经验,大型燃气轮机通常都会有一定的调节裕度,如 GE 公司的 9F 型燃气轮机,透平通流能力有 10% 的裕度、压气机压比有 12% 的裕度、燃气轮机功率有 20% 的提高裕度。同时大型燃气轮机还具有可调导叶,因此可以通过调节燃气轮机来使压气机和透平达到匹配。但微型燃气轮机的一些特性与大型燃气轮机有很大的差异,在大型燃气轮机上适用的方法在微型燃气轮机上不一定合适。为确定调节方式及改型的可靠性,对几种调节方式和改型进行了数值计算与分析。

2.1 提高压比降低透平入口温度

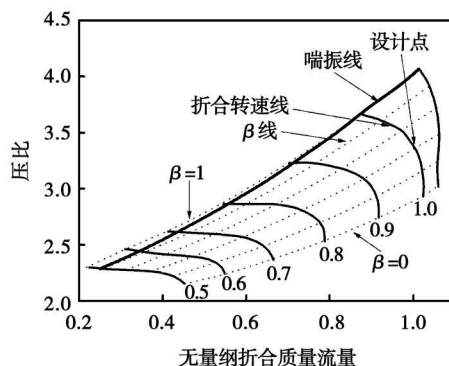


图 2 压气机的运行曲线

对于有一定压比裕度的压气机,可以先尽量提高其压比,加大透平的通流能力,同时也可以采用减小压气机流量的方法来使压气机与透平匹配。但微型燃气轮机一般来说都不会有较大的压比裕度,所以在使压比达到最大的同时还应该降低透平的入口温度。首先,使压缩机的压比达到最大值再降低透平入口温度来实现压气与透平之间的匹配。压气机

的折合运行曲线如图 2 所示, 从运行曲线可以看出在转速不变的情况下压比的可调范围很小, 但由于在设计运行点附近运行曲线比较平坦, 此时压比有较小的改变也会影响到压气机的空气流量, 此时的运行参数如表 5 中工况 2 所示。由表可以看出, 此时燃气轮机的效率和输出功都明显下降, 并且压气机已经在最大压比下工作, 很容易发生喘振。所以, 这种调节方法对于微型燃气轮机这种压比裕度很小的燃气轮机是不适用的, 是以牺牲燃气轮机的功率和效率为基础的。

表 5 微型燃气轮机的几种运行工况

	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4
转速/ $r \cdot \text{min}^{-1}$	n	n	$0.95n$	$0.9n$
压气机压比	3.2	3.257	3.09	2.634
压气机出口流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.31	0.288	0.278 2	0.268 8
压气机出口温度/K	444	446.8	439.6	418
压气机耗功/kW	47.1	44.42	40.8	33.33
回热器空气出口温度/K	839	662.7	807.9	886.2
压气机出口压力/kPa	319.297 6	324.98	308.3	262.8
回热器出口压力/kPa	309.7	316.7	300.6	255.6
燃料流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.002 368	0.025 27	0.032 24	0.031 88
燃烧室出口温度 T_3 /K	1 113	888.3	1 072	1 144
透平出口温度 T_4 /K	912	718	877.5	964.1
透平出口流量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0.312 368	0.316 4	0.313 5	0.303 7
透平输出功/kW	77.1	62.61	70.72	63.35
燃气轮机输出功/kW	30	17.69	30	30
燃气轮机效率/%	25.35	17.89	23.73	24.07
压气机效率	0.818	0.82	0.817 6	0.810 7
透平效率	0.816 4	0.812 7	0.807 2	0.814 8

2.2 对压气机进行适当的调节

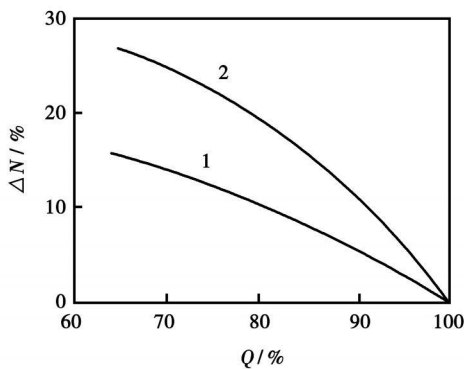


图 3 3种调节方法的经济性比较

单纯的调节压气机, 使压气机的流量减少, 从而达到与透平匹配。离心式压气机的调节方法一般有以下几种^[8]: (1) 出口节流; (2) 进口节流; (3) 采用可转动的进口导叶(进气预旋调节)和可转动的扩压叶片; (4) 改变转速。无论采用哪种调节方法, 与调节前相比都会导致压气机耗功增加, 而当调节方法不同时压气机耗功的变化会有所不同。图 3 为不同的调节方法的经济性比较^[8], 图中的曲线 1 表示进气旋绕比进气节流所节省的功率, 曲线 2 表示改变转速比进气节流所节省的功率, 3 种调节方法中显然以转速调节的经济性最好。

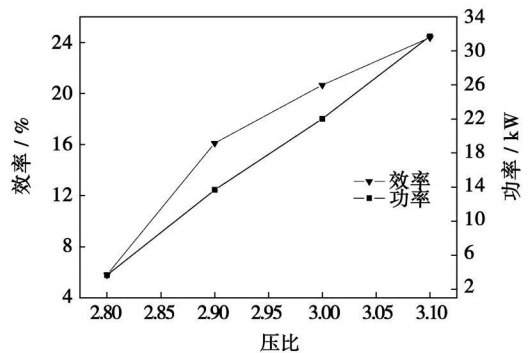


图 4 转速为 0.95 n 时燃气轮机效率与输出功率

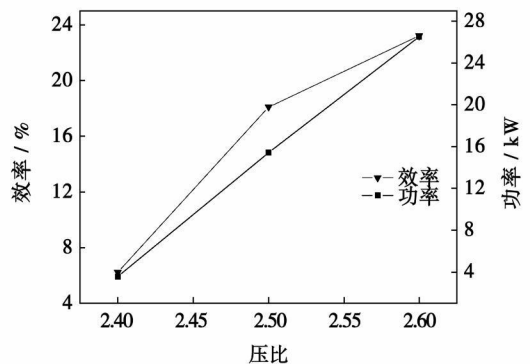


图 5 转速为 0.9 n 时燃气轮机效率与输出功率

可以考虑通过改变压气机转速的方法来实现流量的匹配, 但是由于微型燃气轮机通常是同轴的, 用转速调节来改变压气机的流量时, 透平的运行特性和发电机的运行特性会受到影响, 从而导致整个燃气轮机的运行特性发生改变。图 4 和图 5 是应用微型燃气轮机的仿真模型通过调节燃气轮机的转速来改变燃气轮机的运行性能, 当燃气轮机的转速变为额定转速的 0.95 n 和 0.9 n 时燃气轮机的效率和输出功随压比的变化关系, 这里的 n 指的是燃气轮机的设计转速。其中, 当转速分别为 0.95 n 和 0.9

调节方法的思路是保持透平的运行特性不变而

n 时达到相同输出功的运行工况的具体参数如表 5 中工况 3 和工况 4 所示。如表中所示, 当降低转速时透平的输出功会减小, 但由于压气机的通流量减小, 耗功也减少, 所以还是可以达到与使用纯甲烷气时的相同输出功, 此时的燃气轮机效率都会有不同程度的下降。当转速降低到 $0.9n$ 时, 为达到相同的输出功透平的入口温度会高于工况 1 时的温度, 这时很有可能超温。同时, 由于燃气轮机转速的降低, 压气机和透平的效率都会降低, 在考虑通过降低燃气轮机的转速来达到压气机与透平的匹配时, 如果是同轴的还应考虑到降低转速对发电机的影响。

2.3 对压气机和透平进行改进

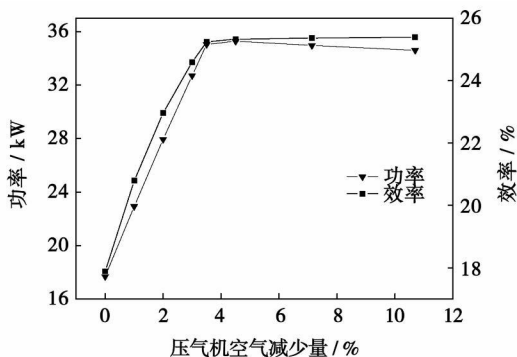


图 6 微型燃气轮机功率和效率随压气机流量减小的变化曲线

通过调节转速, 可以解决微型燃气轮机的压气机与透平之间的匹配问题。但是, 微型燃气轮机通常是同轴的, 当转速改变时会对发电机产生影响; 而发电机的运行特征又会反过来影响燃气轮机的运行, 这时的调节与控制将会变得更困难。如果能在燃气轮机的压气机和透平本身做一定的改进, 使之能适应低热值的生物质气, 而不改变额定工况下燃气轮机的转速那将是很理想的。一般来说, 目前微型燃气轮机都没有采用可调静叶或静叶^[9], 但是若微型燃气轮机中的压气机采用可调静叶调节方式, 可以使微型燃气轮机在使用低热值的生物质气时不会对燃气轮机造成更大的影响。压气机的叶片较薄, 采用可调静叶在结构上难度较大, 且会增加造价, 但从系统运行特性的角度来讲, 若实现如此结构却可以得到很大收益。由燃气轮机的运行工况 2 开始, 压比保持不变, 然后逐渐减小空气的流量, 这时由于燃料流量的加大透平入口温度会逐渐提高。当空气流量减小到设计值 0.965 时, 透平入口温度达到了设计值, 燃气轮机的输出功率达到 35.02 kW 。

一般情况下, 压气机的压比不应低于设计值, 所以在透平入口温度达到设计值后应保持透平的入口温度不变, 继续关小压气机的可转导叶, 则燃气轮机的功率和压缩比开始下降, 直至压比达到设计值。随压气机流量的减少, 燃气轮机的效率和输出功率的变化如图 6 所示。

同时, 如果能改变透平的通流能力, 在转速不变的条件使透平的通流能力加大, 可以改善燃气轮机的运行性能。改变透平静叶安装角或静叶高度, 增大透平通流面积, 可以更有效地改善燃低热值燃料的燃气轮机的性能。同样从工况 2 的运行点开始, 保持压气机的增压比不变, 增大透平的通流面积则其通流能力也会加大。由于透平入口温度的增加, 燃气轮机的输出功率和效率也迅速增加, 直到透平的入口温度达到设计值。这时保持透平入口温度不变, 继续增大透平的通流面积, 将导致透平前压力的下降, 压气机的压比开始逐渐下降。但此时是在最高的透平入口温度下燃气的流量还在增加, 故功率与效率还在缓慢增加。微型燃气轮机的功率和效率随透平通流能力的增加而变化的关系如图 7 所示。由以上的计算结果可以看出, 如果对压气机和透平进行改进, 使用生物质气作燃料时, 压气机与透平的流量相匹配, 燃气轮机的运行特性是最理想的。但此时还应注意的, 无论是改变压气机还是改变透平在达到透平入口设计温度时, 燃气轮机的输出功率都大于设计输出功, 这时就要考虑燃气轮机的超功是否会对燃气轮机的结构产生影响。

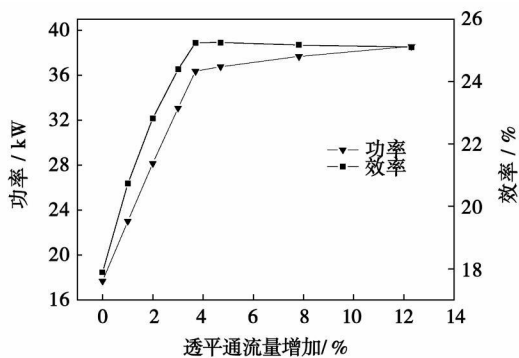


图 7 微型燃气轮机功率和效率随透平通流能力的增加变化曲线

3 结 论

通过模型计算, 阐述了将生物质气作为微型燃气轮机燃料时给燃气轮机带来的问题。同时, 分析了几种可行的解决方案对微型燃气轮机运行特性的

影响。

(1) 调整燃气轮机运行参数。改变压比和透平入口温度时, 由于微型燃气轮机的可调裕量不是很充分, 所以会导致燃气轮机效率和输出功的下降, 燃气轮机运行特性变差。而调节燃气轮机的转速时, 由于微型燃气轮机通常都是同轴的, 虽然调节转速会解决压气机与透平的流量匹配, 但调节转速也会影响发电机的运行特性。发电机运行特性的改变又会影响到燃气轮机的运行特性, 所以这种调节方法会给燃气轮机的控制与稳定带来影响。

(2) 改进压气机和透平。应用这种方法会提高燃气轮机的效率和输出功, 但这种方法也存在一定的问题。如通过对压气机进行改型而使压气机与透平的流量相匹配是建立在减少压气机空气流量的基础之上的, 由于生物质气的热值低, 存在点火困难的问题, 如果再降低空气的流量使与燃料中可燃成份接触的氧气浓度更加降低, 在这种条件下能否顺利点火和点火后的燃烧特性还需要进一步的研究。

在微型燃气轮机应用生物质气化产品气这种低热值的燃料时, 除了由于热值低导致的压气机与透平的流量匹配问题外还存在着点火和燃烧问题。由于热值低为达到较高的燃烧温度就需要有较大的燃料流量, 如果仍然使用高热值燃料所设计的燃料喷嘴, 那么燃料的流速就会加大, 使燃料的点火成为问题。因此, 在解决压气机与透平的匹配问题的同时还应考虑燃烧时的点火问题, 对燃料喷嘴进行改进

或采用其它的燃烧方式。

参考文献:

- [1] DIETER BOHN, JOACHIM LEPERS. Effect of biogas combustion on the operation characteristics and pollution emissions of a micro gas turbine [R]. Atlanta: Power for Land Sea and Air, 2003.
- [2] 李 政, 王德慧, 薛亚丽, 等. 微型燃气轮机的建模研究 [J]. 中国动力工程学报, 2005, 25(1): 13-17.
- [3] CAMPOREALE S M, FORTUNATO B, MASTROVITO M. A modular code for real time dynamic simulation of gas turbine in simulink [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2006, 128: 506-517.
- [4] 中国工程院. 发展燃气轮机充分利用我国燃气能源的研究参考资料 [R]. 北京: 中国石化集团公司胜利石油管理局动力机械厂, 2006.
- [5] TODD B, YOUNG J B. Thermodynamic and transport properties of gases for use in solid oxide fuel cell modeling [J]. Journal of Power Sources 2002, 110: 186-200.
- [6] PAOLO CHIESA GIOVANNI LOZZA, LUIGI MAZZOCCHI. Using hydrogen as gas turbine fuel [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2005, 127: 73-80.
- [7] FABIO BOZZA, MARIA CRISTINA CAMERETTI, RAFFAELE TUCCILLO. Adapting the micro-gas turbine operation to variable thermal and electrical requirements [J]. Transaction of the ASME, 2005 127: 514-524.
- [8] 西安交通大学透平压缩机教研室. 离心式压缩机原理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [9] 李 政, 王德慧. 微型燃气轮机变工况运行方式研究 [J]. 汽轮机技术, 2005, 47(2): 114-117.

(编辑 韩 锋)

新技术、新工艺

第三代高效氧—燃料电站

据《Gas Turbine World》2008年7~8月号报道, 属于正在进行的 DOE(美国能源部)先进涡轮合同, Siemens Energy 和 Clean Energy Systems 在完成了第一阶段的可行性研究后, 正在进行用于第三代高效氧—燃料电站的第二阶段开发研究工作。

主要目标是改进于 2015~2020 年前商业开发的基于煤的氧—燃料装置的效率和性能。

效率—循环净效率为 36%~40%, 包括用于煤的气化和碳捕获的寄生损失。

排放—CO₂ 捕获率达 99%, NO_x、SO_x、水银或 PM₁₀ 排放实际上为零。

示范装置—正在建造一个 25 MW 的第一代装置, 以便验证 CO₂ 的捕获。

第三代基于煤的氧—燃料电站具有先进的超高温度和压力的汽轮机, 提供了一种可以代替具有以氢作为燃料的燃气轮机先进的基于煤的 IGCC(整体煤气化联合循环)的技术方案。

(吉桂明 供稿)

Compared with traditional water-cooled units, air-cooled units are susceptible to the changes of environmental factors, and, as a result, their object characteristics become more complicated. A load-pressure object dynamic model of the air-cooled units was established, and the variation regularity and range of their main parameters were analyzed. On this basis, by employing two control modes, namely, boiler operation based on turbine control and turbine operation based on boiler control, simulated and analyzed was the influence of the load-pressure operating point, exhaust steam pressure and the change of fuel heat value on the performance of the control system. It has been found that PID (proportional, integral-differential) controllers can boast a relatively good robustness, and can overcome the influence of the change of exhaust steam pressure and fuel heat value of the power unit on the control system. The pulverized-coal milling inertia and time delay as well as the change of boiler heat accumulation coefficient in the model both caused by the change of load-pressure operating point, and the self nonlinearity of an object under study still constitute the main factors influencing the control quality of the air-cooled unit. **Key words:** automation control technology, direct air-cooled unit, coordinated control, robustness, simulation analysis

船用相继增压柴油机 1TC/2TC 切换过程仿真分析 = **Simulation Analysis of the 1TC/2TC Switch-over Process of a Marine Sequentially Supercharged Diesel** [刊, 汉] / CHEN Hua-qing (Department of Thermal Energy, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100161) Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 226 ~ 229

The sequential turbocharging technology is one of the main measures for improving the low-load performance of a marine diesel. The 1TC/2TC switch-over time and process exercise a relatively big influence on the transient performance of a sequentially supercharged diesel. The authors have established a quasi-steady-state mathematical model for the foregoing diesel, and simulated and analyzed the dynamic performance of the 1TC/2TC switch-over process of a 16PA6STC type sequentially turbocharged marine diesel. The research results show that as far as the 1TC/2TC switch-over process of the diesel in question is concerned, a comparatively appropriate switch-over time has been determined as follows: after the gas valve to the controlled turbocharger has been opened when the rotating speed of the controlled turbocharger slightly exceeds that of the basic turbocharger, open promptly the air valve of the controlled turbocharger. It is more appropriate that the time delay for the 1TC/2TC switch-over process of the 16PA6STC diesel should be chosen at 2.7 seconds. **Key words:** diesel, sequential turbocharging, performance simulation

低热值燃料对微型燃气轮机运行特性的影响 = **Influence of Low-heating-value Fuels on the Operating Characteristics of a Miniature Gas Turbine** [刊, 汉] / LIU Ai-guo, WENG Yi-wu, WENG Shi-lie, et al (Education Ministry Key Laboratory on Power and Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200240) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 230 ~ 235

Biomass gas features a low heat value and different combustible constituents, leading to various problems during its application in miniature gas turbines. When a miniature gas turbine designed for burning natural gas uses a low-heat-value fuel, a change of working medium flow rate and thermodynamic characteristics may result, bringing about a change of the operating characteristics of the gas turbine. To use the low-heat-value fuel for the gas turbine, proposed were several methods for adjusting and improving the miniature gas turbine to adapt it to such a fuel. By using a mathematical model, calculated was the influence of using these methods on the operating characteristics of the gas turbine. It has been found that after the use of the low-heat-value fuel, a conspicuous change may occur to the operating characteristics of the gas turbine. Among the methods under discussion, the improvement of the compressor and turbine to accommodate to a new matching of the flow rates is the most suitable one. Apart from the matching problem, the authors have also mentioned other problems yet

to be solved for using low-heat-value fuels. **Key words:** biomass, low heat value, miniature gas turbine

合成气-甲醇掺烧火焰研究= **Investigation of Mixing-dilution Combustion Flames of Syngas-methanol**[刊, 汉]/ ZHANG Wen-xing, MU Ke-jin, WANG Yue, et al (Key Laboratory on Advanced Energy and Power, Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Post Code: 100190)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24 (2). — 236 ~ 241

An experimental study and numerical analysis was performed of the mixing-dilution combustion flames of syngas-methanol. During the experiment, the flame morphology was observed, and the flame temperature as well as the concentration of NO_x pollutants in the flue gas were measured. The test results show that under the condition of an equal power output, the shape of the mixing-dilution combustion flame of the syngas-methanol seems slightly slender as compared with that of a syngas flame, the temperature in the high-temperature zone is a bit low and the NO_x emissions from the flue gas are comparatively small. A numerical calculation and analysis shows that the mixing-dilution combustion flame in question becomes longer, because the methanol in the flame has not been burnt out in time, and the drop of flame temperature comes about from a relatively low temperature of the methanol flame. The decrease of NO_x emissions from the flue gas results from the addition of methanol to the flame, which is conducive to suppressing the formation of NO of both the thermal and intermediate type. **Key words:** syngas, methanol, mixing-dilution combustion, NO_x

湿法脱硫的传质与化学平衡模型研究= **Study of a Model Featuring Mass Transfer and Chemical Equilibrium for Wet Method-based Desulfuration**[刊, 汉]/ ZHANG Xiao-dong, WANG Xiu-yan (College of Energy Source and Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China, Post Code: 102206), ZHENG Yong-gang (College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing, China, Post Code: 400044)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 242 ~ 246

The technology of limestone-gypsum wet-method desulfuration by using a spray absorption tower is nowadays most widely used in coal-fired power plants. Inside the tower, the sprinkling liquid droplets will fall in an inverse direction against the rising flue gas flow to absorb SO_2 in the flue gas. Based on a steady-state assumption, the authors analyzed the equilibrium relationship between the chemical reaction process in the droplets and liquid-phase constituents, and also presented a model featuring the dissolution velocity of solid CaCO_3 . By employing a total mass transfer coefficient, set up was a mass transfer rate model for droplet absorption-phase constituents. Through an analysis of the material quantity equilibrium of various components between the gas and liquid phases, established was an equilibrium equation for the controlled volume in the absorption zone. The model in question can provide guidance for relevant engineering applications, and can also be used for the emulation calculation of absorption towers and flow-field numerical simulation calculations. **Key words:** absorption tower, flue gas desulfuration, controlled volume, mass transfer rate

利用 CFD 技术对城市生活垃圾富氧燃烧特性分析= **Research on the Characteristics of MSW (Municipal Solid Waste) Oxygen-enriched Combustion Based on Computational Fluid Dynamics**[刊, 汉]/ LIU Guo-hui, MA Xiao-qian, YU Zhao-sheng (College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou, Post Code: 510640)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2009, 24(2). — 247 ~ 251

The oxygen-enriched combustion technology enjoys conspicuous benefits of energy-saving and environment protection, and represents an effective measure for achieving a steady combustion of low-heat-value wastes and reducing pollutant emissions. By employing CFD (Computational Fluid Dynamics) technology, studied were the characteristics of MSW (Municipal Solid Waste) combustion in the oxygen-enriched atmosphere of a mechanical stoker. The authors have presented the curves showing the flue gas temperature and constituent concentration over and above the waste-burning bed layer as well