沼气固体氧化物燃料电池发电系统的性能分析

史香锟，张 霖，吴 昊，刘世学，张淑兴
（中广核研究院有限公司，广东 深圳 518100）

摘 要：为了提高沼气发电效率，文章提出一种基于固体氧化物燃料电池(SOFC)的沼气发电系统。建立了沼气 SOFC 发电系统模型，分析了燃料利用率、水碳比、沼气甲烷含量、沼气含氧量对系统发电性能的影响。结果表明：当沼气中甲烷含量为 70%，二氧化碳含量为 30%时，系统发电效率可达到 47.8%；增加燃料利用率会增大系统发电功率和发电效率；降低水碳比会增大系统发电功率，但发生积碳的风险加大；沼气中甲烷含量越高，系统发电功率越高，但发电效率略微下降；沼气中含有少量的氧气不会影响 SOFC 阳极材料的安全性，且对系统发电效率影响较小。

关键词：沼气；固体氧化物燃料电池；发电系统；发电效率
中图分类号：TM911.4；S216.4 **文献标志码**：A **文章编号**：1671-5292(2026)01-0001-07

0 引言

沼气是一种清洁环保的可再生能源，是世界各国清洁能源产业的重要组成部分[1]。沼气利用为我国的能源安全和生态文明建设做出了重要贡献[2]，其减污、减排效果已得到广泛研究和认可[3]。沼气发电是沼气利用的重要方向之一，《“十四五”可再生能源发展规划》明确提出，要有序发展生物质发电和沼气发电。但是，作为发电系统的燃料，沼气中除了含有大量 CH_4(50%~80%)外，还含有大量的 CO_2(20%~40%)和少量 O_2，H_2S 等气体[4]，这些气体不但会降低沼气的热值，还会增加脱碳、脱硫[5]等预处理过程，加大了沼气利用的复杂程度和成本。此外，沼气内燃机发电技术受限于卡诺循环，存在效率低下(一般低于 30%)的问题。这些不利因素限制了沼气的大规模发电应用，亟需一种简洁、高效的沼气发电技术。

固体氧化物燃料电池(Solid Oxide Fuel Cell，SOFC)发电技术与沼气具备良好的适配性。一方面，SOFC 可以直接利用沼气，不需要进行复杂的脱碳处理；另一方面，SOFC 通过电化学反应直接将沼气的化学能转化为电能，不受卡诺循环限制，理论能量转化效率可达到 50%以上。沼气 SOFC 是一种简洁、高效的发电技术，具备广阔的应用前景。

国外对沼气 SOFC 的研发起步较早，主要集中在理论分析与仿真建模方面，示范应用较少。Santarelli M[6]建立了沼气 SOFC 甲烷重整分析模型，发现在沼气 SOFC 发电系统中，甲烷蒸汽重整比干法重整具有更高的转化效率。Tjaden B[7]建立了 25 kW 沼气 SOFC 模型，分析了运行压力与燃料利用率对沼气 SOFC 发电系统发电效率的影响。Cardoso W[8]建立了沼气 SOFC 热电联供系统的数学模型，发现在理想情况下，系统发电效率可达到 52.9%，热电联供效率可达到 94.5%。Arespacochaga D N[9]对西班牙一家污水处理厂的沼气 SOFC 发电系统进行了评估，结果表明，系统的发电功率为 2.8 kW，发电效率为 34%，热效率为 28%，持续运行时长为 700 h。国内对沼气 SOFC 的研发相对较少。冯楠楠[1]综述了不同阳极材料的沼气 SOFC 在重整催化、抗碳、抗硫和发电性能等方面的研究进展。谷豆豆[10]和姚瑶[11]分别对沼气 SOFC 的抗积碳机制及其催化剂进行了研究，相应研究主要关注内重整模式下阳极材料的抗积碳特征，未对沼气 SOFC 发电系统的特性进行深入描述。

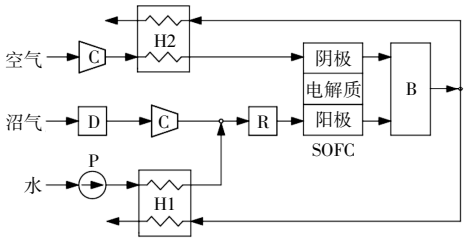
由于现阶段沼气内重整的 SOFC 电堆技术尚不成熟，因此，本文基于相对成熟的蒸汽外重整模式，建立了沼气 SOFC 发电系统模型，并分析了燃料利用率、水碳比、沼气中甲烷含量和含氧量等对系统性能的影响。研究结果可为沼气 SOFC 发电

收稿日期：2024-04-03。
基金项目：国家重点研发计划项目(2017YFB0902100)。
作者简介：史香锟(1990-)，男，硕士，高级工程师，研究方向为氢能与燃料电池技术。E-mail：shangine@163.com

系统的设计与应用提供参考。

1 系统描述

沼气 SOFC 发电系统如图 1 所示。



D–脱硫器;C–压缩机;R–重整器;P–泵;H1–蒸汽发生器;H2–空气预热器;B–燃烧器。

图 1 沼气 SOFC 发电系统示意图

Fig.1 The schematic diagram of biogas-SOFC system

该系统的工作过程:沼气经脱硫、加压后与蒸汽发生器(H1)生成的水蒸气混合,然后进入重整器(R)进行重整反应,重整后的燃料气进入 SOFC 阳极;空气经加压后进入空气预热器(H2)进行预热,然后进入 SOFC 阴极;燃料与空气在 SOFC 中发生电化学反应输出电能,阳极和阴极的排放气进入燃烧器(B)进行燃烧,产生的高温尾气分为两路,分别流经蒸汽发生器和空气预热器对水和空气进行预热,实现热量回收利用。燃烧器、SOFC、重整器和换热器在同一个热区内,设备之间存在强烈的热耦合效应,因此,重整器能够利用系统的热量进行重整反应。

2 系统模拟

2.1 SOFC 电化学模型

SOFC 主要由多孔的阴极、阳极和致密的电解质组成。空气中的 O_2 在多孔阴极层的三相界面处得到电子,解离出 O^{2-},O^{2-}穿过致密的电解质层到达阳极侧,与阳极侧通入的燃料气发生氧化反应,同时释放电子,电子经外电路回到阴极形成电流回路。

本系统中,阳极侧燃料气为沼气发生重整反应后生成的混合气,其主要反应过程包括:

$$CH_4+H_2O\leftrightarrow CO+3H_2$$

$$CO+H_2O\leftrightarrow CO_2+H_2$$

$$CH_4+CO_2\leftrightarrow 2CO+2H_2$$

重整反应主要在重整器中进行,可使大部分的 CH_4 完成重整转化,少量未反应的 CH_4 可在 SOFC 阳极发生重整。由于 H_2 分子小于 CO,CH_4 分子,扩散速度更快,因此可以做如下近似假设:在 SOFC 阳极,CO 先转化为 H_2,仅有 H_2 参加电化学反应[12],即 SOFC 中主要发生如下反应:

$$2H_2+O_2\leftrightarrow 2H_2O$$

为了简化模拟过程,对沼气 SOFC 发电系统模型做如下假设[11]:

1)反应气体为理想气体;

2)阴、阳极参数均取进、出口参数的平均值;

3)不考虑 CO 的电化学反应,仅有 H_2 参加电化学反应;

4)所有反应均处于平衡状态;

5)不考虑散热损失。

实际应用中由于 SOFC 单电池功率较小,通常将多个单电池堆叠为电堆,甚至进一步将多个电堆集成为模组,以扩大 SOFC 的发电功率。为简化考虑,本文仅对 SOFC 单电池进行建模,SOFC 发电系统的特性可视为多个单电池的集成效果。

SOFC 电流 I 的计算式为

$$I=2Fn_{equ}U_f \tag{1}$$

式中:F 为法拉第常数,本文取 96 485 C/mol;n_{equ} 为阳极燃料气的氢气当量,mol/s;U_f 为燃料利用率。

沼气 SOFC 中进入阳极参与反应的燃料包括 H_2,CO 和 CH_4,因此 n_{equ} 的计算式为

$$n_{equ}=n_{1,in}+n_{2,in}+n_{3,in} \tag{2}$$

式中:$n_{1,in}$,$n_{2,in}$,$n_{3,in}$分别为进入阳极的燃料中 H_2,CO,CH_4 的流量,mol/s。

燃料利用率 U_f 表示参与电化学反应的燃料与输入燃料之比,即:

$$U_f=\frac{n_{rea}}{n_{equ}} \tag{3}$$

式中:n_{rea} 为参与电化学反应的氢气当量,mol/s。

SOFC 电压 V 的计算式为

$$V=V_N-V_{act}-V_{ohm}-V_{con} \tag{4}$$

式中:V_N 为理想开路电压,V;V_{act} 为活化损失电压,V;V_{ohm} 为欧姆损失电压,V;V_{con} 为浓差损失电压,V。

V_{act},V_{ohm} 和 V_{con} 可通过理论模型进行求解,文献[13,14]中已详细论及,本文不再赘述。

V_N 的计算式为

$$V_N=1.286-2.887\times10^{-4}T+\frac{RT}{2F}\ln\left(\frac{x_1x_2^{0.5}}{x_3}\right) \tag{5}$$

式中:T 为 SOFC 运行温度,K;R 为通用气体常

数,8.314 J/(mol·K);x_1,x_2,x_3 分别为 SOFC 反应气体中H_2,O_2,H_2O 的摩尔分数。

2.2　配套设备模型

系统中的配套设备包括泵、压缩机、换热器、重整器和燃烧器。泵和压缩机采用通用的等熵模型;换热器采用能量守恒模型;重整器和燃烧器采用质量守恒和能量守恒模型,无散热损失,重整器出口组分根据吉布斯自由能最小原理确定,燃烧器假定为完全氧化燃烧。

2.3　评价分析指标

定义 SOFC 发电系统的水碳比 α 为

$$\alpha=\frac{n_w}{n_f} \tag{6}$$

式中:n_w 为水的流量,mol/s;n_f 为燃料中 CH_4 的流量,mol/s。

定义 SOFC 发电系统的空燃比 λ 为

$$\lambda=\frac{n_a}{n_{fu}} \tag{7}$$

式中:n_a 为空气流量,mol/s;n_{fu} 为燃料流量,mol/s。

SOFC 发电系统输出功率 P 的计算式为

$$P=NIV \tag{8}$$

式中:N 为单电池片数量。

SOFC 发电系统的发电效率 η 为

$$\eta=\frac{P-W}{n_{fu}Q_{fu}}\times 100\% \tag{9}$$

式中:W 为泵与压缩机耗功,J;Q_{fu} 为燃料的低位热值,J/mol。

3　结果与分析

3.1　模型与验证

采用文献[15]中的输入参数与计算结果对本文建立的 SOFC 模型进行验证。主要输入参数包括:燃料为 H_2 和 H_2O(体积比为 9:1),SOFC 运行温度为 900 ℃,空气过量系数为 8.24,运行压力为 0.1 MPa,燃料利用率为 85%。对电堆密度为 0~12 000 A/m^2 时的放电电压进行求解,对比结果如图 2 所示。

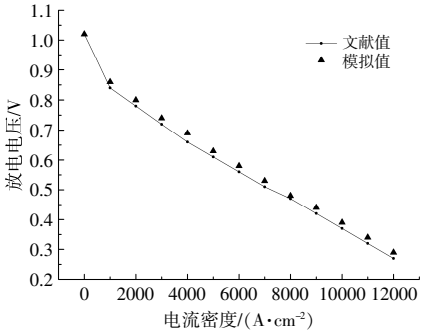


图 2　模型验证结果对比

Fig.2 Model validation result

由图 2 可知,模拟值与文献值吻合度较高,最大误差不超过 6.9%,说明本文建立的 SOFC 模型基本合理,可以用于 SOFC 发电系统的性能分析。

3.2　设计工况分析

本文建立的 SOFC 电化学模型的有关参数如表 1 所示。沼气 SOFC 发电系统的设计参数如表 2 所示。根据表 2 中的设计参数,对沼气 SOFC 发电系统进行计算,主要设计结果如表 3 所示。由表

表 1　SOFC 电化学模型参数

Table 1 Electrochemical model parameters of the SOFC

参数	数值
阳极厚度 l_a/m	0.000 5
阴极厚度 l_c/m	0.000 05
电解质厚度 l_e/m	0.000 02
连接体厚度 l_i/m	0.002 5
单电池片有效面积 S/m^2	0.01
阳极电阻率 ρ_a/(Ω·m)	$[9.5\times10^7/T\times\exp(-1\ 150/T)]^{-1}$
阴极电阻率 ρ_c/(Ω·m)	$[4.2\times10^7/T\times\exp(-1\ 200/T)]^{-1}$
电解质电阻率 ρ_e/(Ω·m)	$[3.34\times10^4/T\times\exp(-10\ 300/T)]^{-1}$
连接体电阻率 ρ_i/(Ω·m)	$[9.3\times10^6/T\times\exp(-1\ 100/T)]^{-1}$
阳极指前系数 k_a/(A·m^{-2})	5.5×10^8
阴极指前系数 k_c/(A·m^{-2})	7×10^8
阳极活化能 E_a/(J·mol^{-1})	100 000
阴极活化能 E_c/(J·mol^{-1})	120 000
阴、阳极孔隙率 ε	0.5
阴、阳极曲折度 ξ	3
阴、阳极平均孔隙直径 d_p/m	1×10^{-6}

表 2　沼气 SOFC 发电系统的设计参数

Table 2 Design parameters of biogas SOFC power generation system

参数	数值
环境温度/℃	25
标准大气压/Pa	1.01×10^5
重整器运行温度/℃	600
沼气组分(体积分数)	CH_4:70%;CO_2:30%
阳极燃料入口温度/℃	700
阴极空气入口温度/℃	700
阳极尾气出口温度/℃	750
阴极尾气出口温度/℃	750
水碳比 α	2
空燃比 λ	20
燃料利用率 U_f/%	70
电流密度 j/(A·m^{-2})	3 500
额定发电功率 P/W	1 000

表 3 沼气 SOFC 发电系统的设计结果

Table 3 Design results of biogas SOFC power generation system

参数	数值
单电池片输出电压/V	0.709
单电池片输出功率/W	25
1 kW 所需单电池片数量 N	40
沼气流量/(kg·h^{-1})	0.328
空气流量/(kg·h^{-1})	7.744
水流量/(kg·h^{-1})	0.338
发电效率/%	47.8

3 可知,1 kW 沼气 SOFC 发电系统应选用由 40 片 25 W 单电池组成的电堆，在系统设计工况下,沼气流量为 0.328 kg/h,空气流量为 7.744 kg/h,水流量为 0.338 kg/h。采用图 1 所示的两路分流尾气分别对空气预热器和蒸汽发生器进行加热，进入空气预热器的尾气流量占比为 85%,此时系统发电效率为 47.8%。

3.3 燃料利用率对系统性能的影响

燃料利用率可以表征沼气 SOFC 中发生电化学反应的程度,对沼气 SOFC 发电系统的稳定性、发电特性等具有直接影响。未发生电化学反应的燃料会直接进入燃烧器进行燃烧，释放的热量通过内部热耦合效应及换热器对重整器及水、空气等介质进行加热,维持系统稳定运行。燃料利用率对沼气 SOFC 发电系统发电功率及发电效率的影响如图 3 所示。

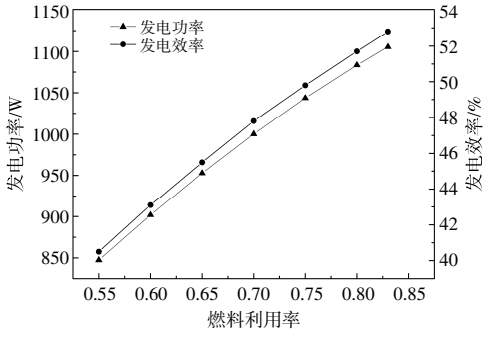


图 3 燃料利用率对系统性能的影响

Fig.3 Effects of fuel utilization factor on the system performances

由图 3 可知,当 U_f 由 0.55 增加到 0.83 时,沼气 SOFC 发电系统的发电功率由 847.4 W 逐步增加至 1 105.6 W，发电效率由 40.5% 增加至 52.8%。这是因为随着 U_f 的增大，电流逐步增大[由式(1)可知 I 与 U_f 呈正比关系],虽然该过程中活化损失电压、欧姆损失电压和浓差损失电压也随之增大,导致放电电压降低,但由于电流增大的影响大于电压降低的影响，系统发电功率与发电效率均呈现出增大的趋势。

U_f 存在上限值,本文中最大为 0.83,超过后系统无法稳定运行。这是因为随着 U_f 的增大,发电功率逐步增大，而用于维持系统运行的热量逐步减小。当 U_f 增大到某一极值时,通过燃烧器燃烧反应释放的热量已不足以满足重整器和换热器的运行需求,系统会因此失去稳定性。

综上所述,增大 U_f,沼气 SOFC 发电系统的发电功率与发电效率均随之增大，但系统运行稳定性相应降低。当 U_f 增大到某一极值时,系统无法稳定运行。因此,对于沼气 SOFC 发电系统,应综合考虑发电特性与系统运行稳定性，选取合适的 U_f。

3.4 水碳比对系统性能的影响

水碳比会直接影响重整器中 CH_4 的重整比例,进而影响沼气 SOFC 发电系统的性能。CH_4 重整反应是一个吸热反应，利用重整器提前将 CH_4 转化为 H_2 和 CO，可以避免在 SOFC 内部发生大量的重整反应，防止大幅降温对 SOFC 输出电压带来的不利影响,并减小单电池片的温度梯度,有利于提升单电池片的使用寿命。通过向沼气中加入足量的水蒸气,可以有效防止重整器发生积碳,由文献[16]可知,为防止积碳,在 700 ℃下,水碳比应大于 0.9。水碳比对 CH_4 重整率及沼气 SOFC 发电系统发电效率的影响如图 4 所示。

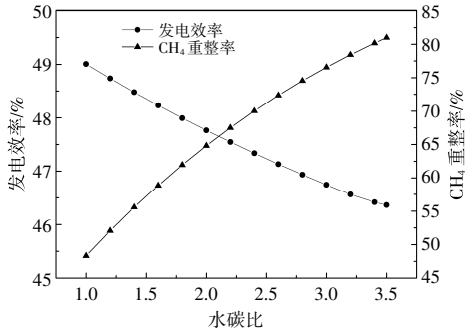


图 4 水碳比对系统性能的影响

Fig.4 Effects of water-to-carbon ratio on the system performances

由图 4 可知，随着 α 由 1.0 增加至 3.5,CH_4 重整率从 48.3%增加至 81.0%，而系统发电效率由 49.0%降低至 46.4%。这是因为随着 α 的增大,

$CH_4+H_2O\leftrightarrow CO+3H_2$ 向正反应方向移动,CH_4 重整率随之增加;而 SOFC 燃料组分发生变化后,开路电压降低,活化损失电压与浓差损失电压小幅增加,导致放电电压逐步下降;此外,随着供水量的增加,将其加热至水蒸气所需的热量也随之加大,因此系统发电功率与发电效率均随之降低。

α 也存在上限值,本文中最大为 3.5,超过后系统无法稳定运行。这是因为随着 α 的增大,供水量增大,将其加热至水蒸气的耗热量随之增加,当 α 增加到某一极值时,燃烧器尾气余热已不足以维持系统的热平衡状态。

综上所述,随着 α 的增大,沼气 SOFC 发电系统的 CH_4 重整率随之升高,重整器发生积碳的风险随之减小,有利于单电池片的长期使用,但系统发电功率和发电效率随之降低。为了防止积碳发生,α 存在下限值;为了防止打破系统热平衡状态,α 存在上限值。因此,对于沼气 SOFC 发电系统,应综合考虑发电特性与系统运行稳定性,选取合适的 α。

3.5　沼气中 CH_4 含量对系统性能的影响

根据沼气生成途径的不同,沼气中 CH_4 含量一般为 50%~80%。不同 CH_4 含量的沼气在 SOFC 系统中具有不同的发电潜力。假定其他参数不变,且沼气只包含 CH_4 和 CO_2,沼气 SOFC 系统在不同 CH_4 含量下的性能如图 5 所示。

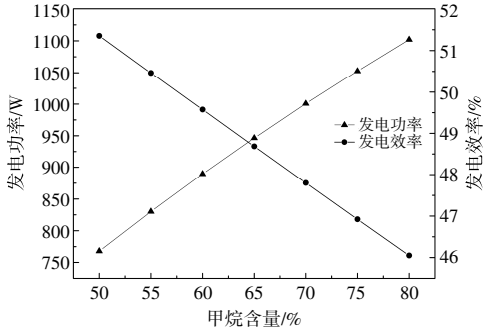


图 5　甲烷含量对系统性能的影响

Fig.5 Effects of methane content on the system performances

由图 5 可知,当沼气中 CH_4 含量由 50%增至 80%时,沼气 SOFC 系统的发电功率由 767.9 W 增至 1 101.8 W,而发电效率由 51.4%降至 46.1%。这是因为随着 CH_4 含量的增加,参与 SOFC 电化学反应的氢气当量增大,电流随之增大;电流密度增加导致极化损失电压加大,放电电压随之降低。由于电流增大的影响大于电压降低的影响,系统发电功率呈现出增加的趋势。而由于极化损失电压的加大,SOFC 逐渐偏离最佳运行状态,因此系统发电效率呈现出下降的趋势。

3.6　沼气含氧量对系统性能的影响

沼气中除了含有大量的 CH_4 和 CO_2 外,还含有少量的 H_2S 和 O_2 等气体。H_2S 会影响 SOFC 阳极材料的催化活性,造成催化剂中毒[1],因此在通入 SOFC 系统前,沼气一般要先进行脱硫处理。理论上,沼气中的 O_2 若直接通入 SOFC 阳极,也会降低阳极材料的催化活性,对输出电压带来不利影响。但在本文的沼气 SOFC 发电系统中,由于设置了重整器,少量的 O_2 会在重整器中完全发生反应,不会对 SOFC 阳极材料造成影响。

O_2 的存在将对重整反应后的燃料组分造成一定影响。假定其他参数不变,且沼气中 CH_4 含量保持在 70%,含氧量(0~0.3%)对沼气 SOFC 系统性能的影响如图 6 所示。

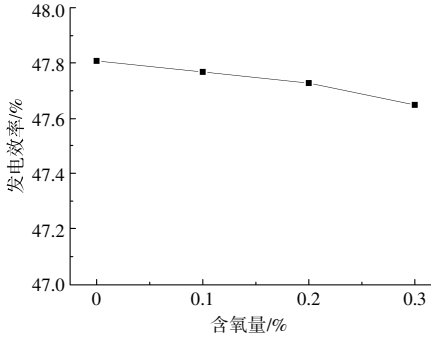


图 6　含氧量对系统性能的影响

Fig.6 Effects of oxygen content on the system performances

由图 6 可知,当含氧量由 0 增至 0.3%时,系统发电效率由 47.8%小幅降至 47.6%。这是因为沼气中存在的少量 O_2 会消耗一定量的燃料,减少参与电化学反应的氢气当量,同时反应物浓度的降低会略微减小输出电压,从而导致系统发电效率略微下降。

总体而言,由于沼气中 O_2 含量较小,在重整器中会完全转化,对系统发电效率的影响相对较小,因此不必专门对沼气的 O_2 进行预处理。

4　结论

本文建立了沼气 SOFC 发电系统模型,并分析了关键参数对系统发电性能的影响。研究结果表明:当沼气中 CH_4 和 CO_2 的体积比为 7:3 时,沼气 SOFC 系统在设计工况下的发电效率可达到 47.8%;当燃料利用率由 0.55 增加到 0.83 时,发

电效率由 40.5%增加到 52.8%，但受限于系统运行稳定性,燃料利用率存在上限,应综合考虑系统发电性能与稳定性,选择合适的燃料利用率;当水碳比由 1.0 增加到 3.5 时,CH_4 重整率从 48.3%增加至 81.0%，系统发电效率由 49.0%降低到 46.4%,降低水碳比会增大发电效率,但重整器发生积碳的风险会随之增加，应综合考虑系统发电性能与运行安全性,选择合适的水碳比;当沼气中 CH_4 含量由 50%增加到 80%时,发电功率由 767.9 W 增至 1 101.8 W，而发电效率由 51.4%降至 46.1%；沼气中少量的 O_2 不影响 SOFC 阳极的安全性,且对发电效率影响较小,因此不必对沼气专门进行除氧处理。

参考文献:

[1] 冯楠楠,张文强,朱建新.基于固体氧化物燃料电池的沼气清洁高效利用技术研究进展[J].中国沼气,2018,36(5):17-23.

[2] 李景明,徐文勇,李冰峰,等.关于中国沼气行业发展困境和出路的思考 [J]. 可再生能源,2020,38(12):1563-1568.

[3] 党乐,胡文博,邱泽晶,等.中国农业沼气工程生命周期评价[J].可再生能源,2023,41(4):442-451.

[4] 包海军.我国沼气提纯技术及生物天然气产业发展情况[J].中国沼气,2021,39(1):54-58.

[5] 金子烁,刘虎成,寇巍,等.基于层次分析法和熵权法的中小型沼气工程净化提纯技术筛选[J].可再生能源,2021,39(10):1294-1300.

[6] Santarelli M,Quesito F,Novaresio V,et al. Direct reforming of biogas on Ni-based SOFC anodes: Modelling of heterogeneous reactions and validation with experiments [J].Journal of Power Sources,2013,242:405-414.

[7] Tjaden B,Gandiglio M,Lanzini A,et al. Small-scale biogas-SOFC plant:Technical analysis and assessment of different fuel reforming options [J].Energy & Fuels,2014,28(6):4216-4232.

[8] Cardoso W,Di Felice R,Baptista R C. Mathematical modeling of a solid oxide fuel cell operating on biogas [J].Bulletin of Electrical Engineering and Informatics,2021,10(6):2929-2942.

[9] Arespacochaga D N,Valderrama C,Peregrina C,et al. Evaluation of a pilot-scale sewage biogas powered 2.8 kW solid oxide fuel cell:Assessment of heat-to-power ratio and influence of oxygen content [J].Journal of Power Sources,2015,300:325-335.

[10] 谷豆豆. 基于沼气燃料的固体氧化物燃料电池的抗积碳机制研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.

[11] 姚瑶. 沼气干重整 SOFC 镍基阳极抗积碳催化剂的研究[D].徐州:中国矿业大学,2022.

[12] Saadabadi A S,Thattai T A,Fan L,et al. Solid oxide fuel cells fuelled with biogas:Potential and constraints [J].Renewable Energy,2019,134:194-214.

[13] 于泽庭,蒙青山,张承慧,等. CO_2 近零排放固体氧化物燃料电池冷热电联供系统的性能分析[J].中国电机工程学报,2017,37(1):200-209.

[14] 罗丽琦,谢广元,王绍荣. 以气化煤气为燃料的固体氧化物燃料电池热电联供系统设计 [J]. 洁净煤技术,2023,29(5):68-79.

[15] Mehrpooya M,Akbarpour S,Vatani A,et al. Modeling and optimum design of hybrid solid oxide fuel cell-gas turbine power plants[J].International Journal of Hydrogen Energy,2014,39(36):1-19.

[16] Chouhan K,Sinha S,Kumar S,et al. Utilization of biogas from different substrates for SOFC feed via steam reform: Thermodynamic and exergy analyses [J].Journal of Environmental Chemical Engineering,2019,7(2):1-13.

Performance analysis of solid oxide fuel cell power generation system fueled with biogas

Shi Xiangkun, Zhang Lin, Wu Hao, Liu Shixue, Zhang Shuxing
(China Nuclear Power Technology Research Institute Co. Ltd., Shenzhen 518100, China)

Abstract: To improve the efficiency of biogas power generation system, this paper proposes a biogas power generation system based on solid oxide fuel cell (SOFC). A model of the biogas SOFC power generation system is established, and the effects of fuel utilization rate, water-to-carbon ratio, methane content in biogas, and oxygen content in biogas on system's power generation performance are analyzed. The results show that: when the methane content in biogas is 70% and the carbon dioxide content in biogas is 30%, the power generation efficiency of the system can reach 47.8%; increasing the fuel utilization will increase both the system's power output and efficiency; reducing the water-to-carbon ratio will increase the system's power outputbut also raise the risk of carbon deposition; higher methane content in the biogas leads to higher power output, though with a slight decrease in efficiency. A small amount of oxygen in the biogas does not compromise the safety of SOFC anode material and has minimal impact on the system's power generation efficiency.

Keywords: biogas; solid oxide fuel cell; power generation system; power generation efficiency