掺氢天然气 SOFC 发电系统性能优化研究

闫红丽[1,2,3]，闫国华[4]，樊 琛[1,2,3]
(1.西安交通大学城市学院 智能制造与新能源学院，陕西 西安 710018；2.机器人与智能制造陕西省高校工程研究中心，陕西 西安 710018；3.舌肌康复智能机器人系统陕西高校青年创新团队，陕西 西安 710018；4.山东铁雄新沙能源有限公司，山东 菏泽 274000)

摘 要：文章基于 Cycle-Tempo 软件建立了掺氢天然气固体氧化物燃料电池(SOFC)发电系统模型，并详细分析了燃料电池的单电池电压、反应温度等工作条件和掺氢量、阳极燃料利用率等关键参数对 SOFC 发电系统的影响。研究结果表明：提高掺氢比、进口温度、单电池电压和阳极燃料利用率可以提高发电量，掺氢比提高可显著降低温室气体尤其是 CO_2 的排放；当燃气流量为 0.043 7 kg/s、单电池电压为 0.75 V、燃料利用率为 80%，燃料电池进口温度为 700 ℃、掺氢比为 60%时，发电量为 1 220.33 kW，效率为 52.67%，碳排放量降低 27.86%。

关键词：掺氢天然气；固体氧化物燃料电池；发电；性能优化
中图分类号：TK91 **文献标志码**：A **文章编号**：1671-5292(2025)12-1579-09

0 引言

近年来，气候变化和能源发展问题已然成为日益紧迫的全球公共议题。太阳能、风能等可再生能源在能源供应中的比例逐年提高。然而，这些一次可再生能源具有高度的间歇性和不稳定性，通常需要与二次能源系统相结合才能实现大规模应用。作为一种来源广泛、绿色无碳、应用场景丰富的二次能源，氢能成为推动未来可再生能源大规模发展的理想能源[1,2]。因此，在未来能源结构中，氢可作为重要的能量载体，发展氢能有助于构建以可再生能源为动力的低碳社会。2022 年 3 月，国家发改委和国家能源局联合印发《氢能产业发展中长期规划(2021-2035 年)》，该规划指出，氢能是未来国家能源体系的重要组成部分，是用能终端实现绿色低碳转型的重要手段，是战略性新兴产业和未来产业重点发展方向，从而奠定了氢能的战略地位。

氢能产业链主要包括氢制取、氢储存、加氢站、氢燃料电池和应用 5 部分。其中，氢燃料电池是一种新型能源转换装置，可以将燃料的化学能直接转化为电能，具有不受卡诺循环限制、高能量转换效率、产物只有水、零排放、低噪声、应用范围广的优势。作为环境友好型能量转换技术，燃料电池发电被视为继火力发电、水力发电和核能发电之后的第四大能量转化方式。作为高温燃料电池的一种，固体氧化物燃料电池 (Solid Oxide Fuel Cell，SOFC)的操作温度一般为 650~1 000 ℃，这使得 SOFC 可以将烃类、醇类等燃料转换为电化学反应的原料(如 H_2，CO 等)，极大提高了 SOFC 的燃料灵活性[3,4]。因此，掺氢后的天然气也可以作为 SOFC 的燃料用于发电。

国内外学者针对 SOFC 发电性能进行了大量研究。Ni M 研究了以甲烷为燃料的 SOFC 的工作机制和发电性能，在 SOFC 稳态多物理场模拟方面也做了大量研究[5,6]。Zhang X 研究了电极反应动力学对 SOFC 性能的影响，为 SOFC 电极反应动力学方程的选择提供了参考[7]。Xie Y 构建了甲烷内重整的 SOFC 多物理场模型，并且采用实验数据对模型进行了验证，确认了模型的有效性，并利用模型计算结果从反应机理出发，揭示了甲烷重整对 SOFC 发电性能的影响[8]。吴晓燕测试了以污泥热解生物质气为燃料的 SOFC 的发电性能，探究了气体组成和操作参数对电池发电性能的影响[9]。Xu H 构建了以固体碳(煤、石墨、活性炭、生物质炭等) 为燃料的管式 SOFC 多物理场二维模型，研究了工作参数对电池性能的影响，确定了作

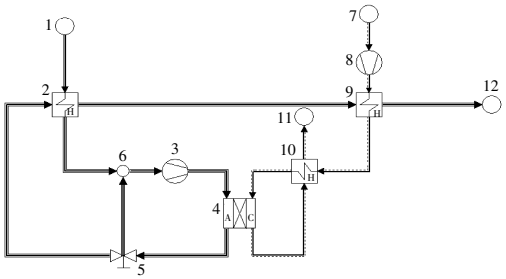
收稿日期：2024-10-16。
基金项目：陕西省自然科学基金青年基金(2021JQ-890)；西安交通大学城市学院 2022 年度机器人与智能制造陕西省高校工程研究中心基金项目重点项目(2022GZ06)。
作者简介：闫红丽(1986-)，女，硕士，讲师，研究方向为燃料电池发电、氢能利用。E-mail：1071976107@qq.com
通信作者：樊 琛(1983-)，女，博士，教授，研究方向为电力优化、生机电一体化。E-mail：641154688@qq.com

为性能决定步骤的碳气化过程与传质过程对于电池输出功率、能量转换效率以及电气联产特性的影响[10,11]。刘汉宇研究了甲烷和二氧化碳体积比对 SOFC 开路电压及电功率的影响，发现当两者比例为 3:2 时,SOFC发电性能受甲烷流量影响较小,更利于实现低燃料流量、高电流密度放电[12]。综上所述,燃料的成分组成对 SOFC 的能量转换效率、功率密度等产电性能有显著影响。

基于以上研究成果，本文提出了以掺氢天然气为燃料的 SOFC 发电系统。采用 Cycle-Tempo 软件,基于质量和能量守恒定律,从燃料电池的单电池电压、反应温度等工作条件和掺氢量、阳极燃料利用率等关键参数入手，进行了相应的参数分析，以期提高掺氢天然气 SOFC 发电系统的综合性能。

1 系统设计与运行原理

以掺氢天然气为燃料的 SOFC 发电系统如图 1 所示。



1-天然气燃料;2,9,10-热交换器;3,8-压缩机;4-燃料电池;5-分配器;6-混合器;7-空气源;11-阴极尾气;12-阳极尾气。

图 1 系统流程图

Fig.1 System flowchart

系统工作原理描述如下：掺氢天然气经热交换器 2 预热后,与部分 SOFC 阳极尾气混合,经过压缩机 3 加压后进入 SOFC 阳极；空气经过压缩机 8 增压后,进入热交换器 9 被阳极尾气加热,接着进入热交换器 10 被阴极尾气加热，最后进入 SOFC 和阳极的燃料发生电化学反应产生电能。

2 系统建模

由于本文主要关注 SOFC 系统中的能量转换和物质转化的稳态性能，故采用零维参数集总模型进行系统建模。

2.1 燃料电池模型

燃料电池中发生的甲烷重整和水煤气变换反应可以用式(1),(2)来描述[13]。

重整反应：

$$CH_4+H_2O\rightarrow CO+3H_2 \quad \Delta H=206\ \text{kJ/mol} \tag{1}$$

变换反应：

$$CO+H_2O\rightarrow CO_2+H_2 \quad \Delta H=-41\ \text{kJ/mol} \tag{2}$$

燃料电池实际输出电压 V 的计算式为

$$V=V_{re}-V_{act}-V_{conc}-V_{ohm} \tag{3}$$

式中:V_{re} 为理想可逆电压,V;V_{act} 为活化过电压,V;V_{conc} 为浓差过电压,V;V_{ohm} 为欧姆过电压,V。

V_{act},V_{conc} 和 V_{ohm} 的计算式可参考文献[14,15],V_{re} 的计算式[16]为

$$V_{re}=1.253-2.451\ 6\times10^{-4}T-\frac{RT}{4F}\ln\frac{p(H_2O)^2}{p(H_2)^2p(O_2)} \tag{4}$$

式中:T 为 SOFC 温度,K;R 为气体常数,J/(mol·K);F 为法拉第常数,C/mol;$p(H_2O)$,$p(H_2)$,$p(O_2)$分别为水蒸气、氢气和氧气的分压,MPa。

燃料电池工作时电流密度 J 的计算式为

$$J=\frac{I}{NA_c}=\frac{2\mu F\phi(H_2)}{NA_c} \tag{5}$$

式中:I 为电流,A;μ 为燃料利用率;$\phi(H_2)$为通过燃料电池的氢气流量,mol/s;N 为单电池数量;A_c 为单电池面积,m^2。

燃料电池输出功率 W_S 的计算式为

$$W_S=\eta IV=2\eta\mu F\phi(H_2)V \tag{6}$$

式中:η 为 DC/AC 逆变器效率。

2.2 压缩机模型

压缩机消耗功率 W_c 的计算式为

$$W_c=\phi CT_{in}(\gamma^{\alpha}-1)\frac{1}{\eta_{ISE}\eta_{MEC}} \tag{7}$$

式中:ϕ 为质量流量,kg/s;T_{in} 为压缩机进口温度,K;γ 为规模指数;C 为比热容,J/(kg·K);α 为多变指数;η_{ISE} 为绝热效率;η_{MEC} 为机械效率。

2.3 热交换器模型

热交换器的能量平衡表达式为

$$\phi_hC_h(T_{h1}-T_{l1})=\phi_cC_c(T_{h2}-T_{l2}) \tag{8}$$

式中:ϕ_h,ϕ_c 分别为热侧流体、冷侧流体质量流量,kg/s;C_h,C_c 分别为热侧流体、冷侧流体比热容,J/(kg·K);T_{h1},T_{l1} 分别为热侧流体进口、出口温度,K;T_{h2},T_{l2} 分别为冷侧流体进口、出口温度,K。

2.4 模型验证

本文采用质量和能量守恒定律，在掺氢比为 0、燃料电池进口温度为 750 ℃、燃料利用率为 0.8、单电池电压为 0.75 V 的工况下对模型进行验证。

SOFC 发电系统的质量和能量守恒验证结果如表 1 所示。

表 1　SOFC 发电系统质量和能量守恒验证

Table 1 Verification of mass and energy conservation in SOFC power generation system

输入和输出		质量流量 kg/s	能量 kW	合计能量 kW	误差 kW	相对误差/%
输入	天然气	0.044	2 052.38			
	空气	4.287	109.93	2 240.16		
	压缩机		77.85		70.41	3.14
输出	阳极尾气	0.159	587.52			
	阴极尾气	4.171	582.31	2 169.75		
	燃料电池		999.92			

由表 1 可知:SOFC 发电系统输入的质量流量(燃料和空气的质量流量)为 4.331 kg/s,输出的质量流量 (阳极尾气和阴极尾气的质量流量)为 4.33 kg/s,相对误差为 0.02%,表明发电系统质量守恒;输入的能量为 2 240.16 kW,输出的能量为 2 169.75 kW, 误差为 70.41 kW, 相对误差为 3.14%,表明发电系统能量守恒。

3　结果与讨论

3.1　燃料电池进口温度对发电系统的影响

燃料电池进口温度对发电系统的影响如图 2 所示。

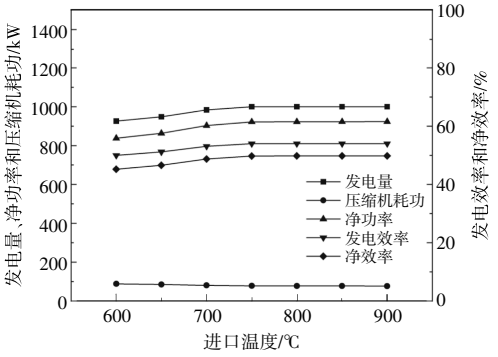


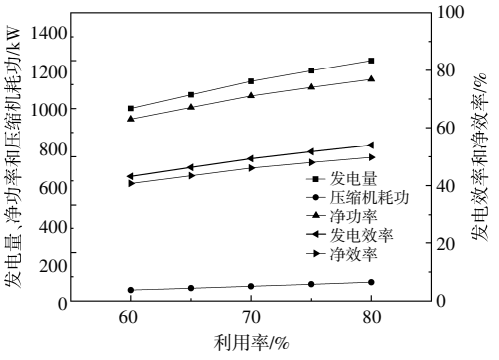
图 2　燃料电池进口温度对发电系统的影响

Fig.2 Influence of fuel cells inlet temperature on power generation system

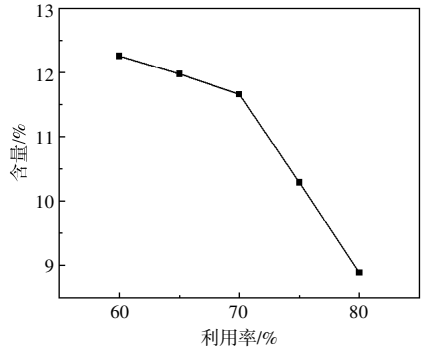
从图 2 可以看出: 随着燃料电池进口温度的升高,发电系统的发电量、净功率、发电效率和净效率均逐渐上升, 在进口温度达到 750 ℃后增加不明显,其中,发电量维持在 1 000 kW 左右,净功率维持在 922 kW 左右, 发电效率维持在 54%左右,净效率维持在 49.8%左右;压缩机耗功随着燃料电池进口温度的升高而降低, 当进口温度从 600 ℃升高到 900 ℃时, 压缩机耗功从 80.45 kW 降低到了 76.9 kW。

3.2　燃料电池中阳极燃料利用率对发电系统的影响

燃料电池中阳极燃料利用率对发电系统的影响如图 3 所示。



(a)燃料利用率对发电系统性能的影响



(b)燃料利用率对 CO 含量的影响

图 3　阳极燃料利用率对发电系统的影响

Fig.3 Effects of anode fuel utilization rate on power generation system

从图 3(a)可以看出,随着燃料利用率的增加,发电系统的发电量、净功率、发电效率、净效率以及压缩机的耗功均逐渐上升。当燃料利用率从 60%上升到 80%时, 发电系统的发电量从 800.62 kW 上升到 999.92 kW, 系统净功率从 755.45 kW 上升到 922.07 kW, 发电效率从 43.21%上升到 53.97%,净效率从 40.78%上升到 49.77%,压缩机的耗功从 45.17 kW 上升到 77.85 kW。

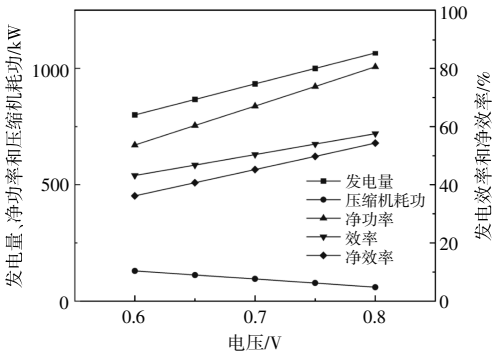
从图 3(b)可以看出,随着燃料利用率的增加,尾气中的CO 含量逐步降低,当燃料利用率从 60%增加到 80%时,CO 含量从 12.26%降低到 8.89%。

综上可知, 提高燃料电池中燃料的利用率有助于提高燃料电池发电系统的发电量、系统净功率、发电效率、净效率,降低尾气中 CO 的含量,但

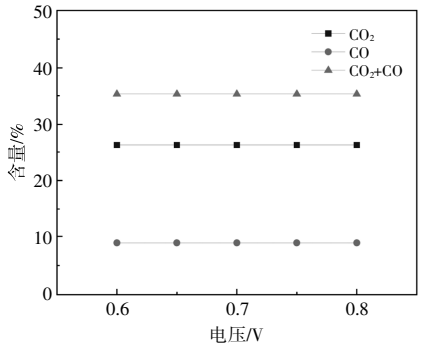
同时也增加了压缩机的耗功。

3.3 燃料电池单电池电压对发电系统的影响

燃料电池单电池电压对发电系统的影响如图4所示。



(a)单电池电压对发电系统性能的影响



(b)单电池电压对温室气体含量的影响

图4 燃料电池单电池电压对发电系统的影响

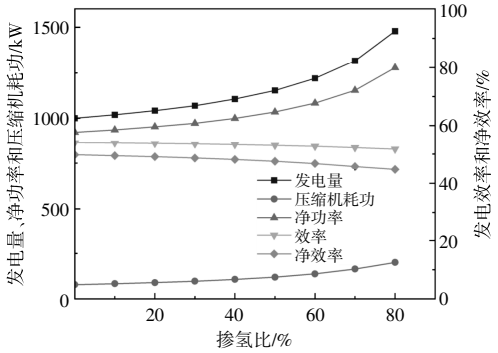
Fig.4 Effects of individual cell voltage on power generation system

从图4(a)可以看出,随着燃料电池单电池电压的增加,发电系统的发电量、净功率、发电效率和净效率均逐渐上升,压缩机的耗功逐渐下降。当单电池电压从0.6 V增加到0.8 V时,发电系统的发电量从800.14 kW增加到1 066.59 kW,净功率从670.36 kW上升到1 006.87 kW,发电效率从43.19%上升到57.57%,净效率从36.18%上升到54.35%,压缩机的耗功从129.78 kW降低到59.71 kW。

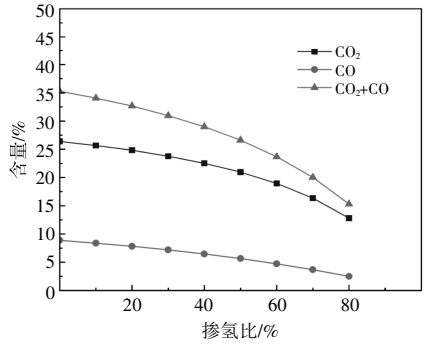
从图4(b)可以看出,随着燃料电池单电池电压从0.6 V增加到0.8 V,尾气中的CO_2和CO含量不变,分别维持在26.40%和8.89%,尾气中CO_2和CO的总含量(表征含碳氧化物的总含量)维持在35.29%。因此,改变燃料电池单电池的电压不会降低尾气中的温室气体含量。

3.4 掺氢比对发电系统的影响

天然气的主要成分是甲烷,其热值为35~40 MJ/kg,而氢气的热值为120~142 MJ/kg,是天然气的3~4倍。作为SOFC的燃料,氢气释放的能量要比天然气大得多,因此,随着天然气掺氢比的增加,SOFC的发电量相应增加。掺氢比对发电系统的影响如图5所示。



(a)掺氢比对发电系统性能的影响



(b)掺氢比对温室气体含量的影响

图5 掺氢比对发电系统的影响

Fig.5 Influence of hydrogen blending ratio on power generation system

从图5(a)可以看出,随着天然气掺氢比的增加,发电系统的发电量、净功率以及压缩机耗功均逐步增加。当天然气掺氢比为0时,发电系统的发电量为999.92 kW,净功率为922.07 kW,效率为53.97%,净效率为49.77%;当天然气掺氢比为80%时,发电系统的发电量为1 479.22 kW,净功率为1 279.09 kW,效率为51.74%,净效率为44.75%,相较于未掺氢气时,发电量增加了38.71%,净功率增加了38.72%。由此可见,天然气掺氢比越高,发电系统的发电量和净功率增加越显著,但由于掺氢后燃料的热值和氢压缩功耗也在增加,会导致发电系统的效率和净效率出现小幅的降低。

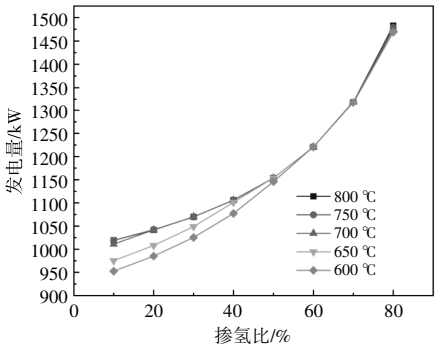
从图5(b)可以看出,随着天然气掺氢比的增加,尾气中CO_2和CO的含量明显降低,天然气掺

氢比越高，温室气体含量的降低越显著。由此可见，提高天然气掺氢比有助于降低发电系统的温室气体排放。

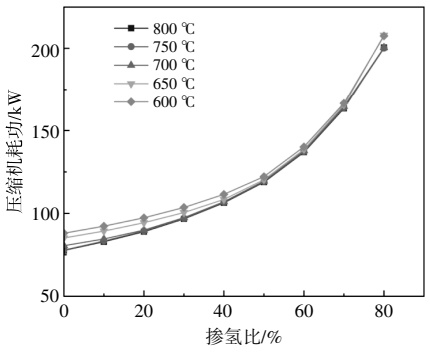
3.5　不同燃料电池进口温度下掺氢比对发电系统的影响

不同燃料电池温度下，掺氢比对发电系统的影响如图 6 所示。

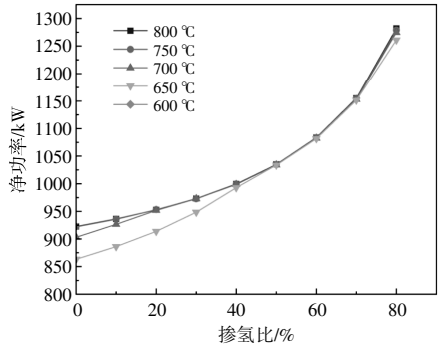
从图 6(a)~(c)可以看出：在同一进口温度下，随着掺氢比的增加，发电系统的发电量、净功率和压缩机耗功均逐渐增加；当掺氢比高于 60% 时，各个进口温度下发电系统的发电量、净功率差别不大；当掺氢比相同时，燃料电池进口温度越低，压缩机耗功越高。



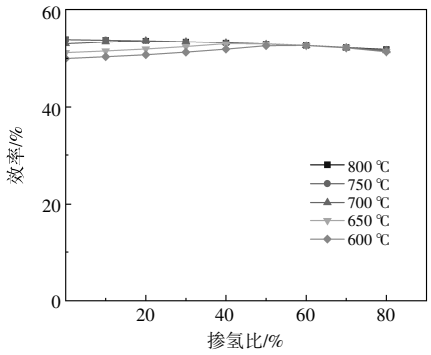
(a)发电量



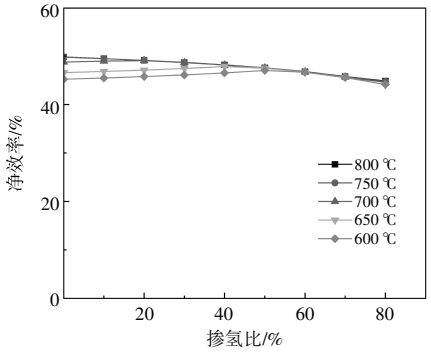
(b)压缩机耗功



(c)净功率



(d)效率



(e)净效率

图 6　不同燃料电池进口温度下掺氢比对发电系统的影响

Fig.6 Effects of hydrogen blending ratio on power generation system at different fuel cell inlet temperatures

从图 6(d),(e)可以看出：当掺氢比相同时，燃料电池进口温度越高，发电系统的效率和净效率越高；同一进口温度下，随着掺氢比的增加，发电系统的效率和净效率变化不大。这是由于随着天然气掺氢比的增加，燃料热值随之增加，如果发电量增加的幅度与燃料热值的增加幅度差不多，则发电系统的效率变化不明显；同样，随着天然气掺氢比的增加，压缩机耗功也随之增加，发电量和压缩机耗功差值的增加幅度与燃料热值的增加幅度差不多(表 2)，因此，发电系统的净效率变化也不明显。

3.6　不同单电池电压下掺氢比对发电系统的影响

不同单电池电压下，掺氢比对发电系统的影响如图 7 所示。

从图 7(a),(b)可以看出：在不同单电池电压下，随着掺氢比的增加，发电系统的发电量、净功率均逐渐增加；在掺氢比相同的情况下，单电池电压越高，发电系统的发电量、净功率也越高。

从图 7(c),(d)可以看出，当单电池电压相同

表 2 进口温度为 750 ℃时,发电系统的燃料能量、发电量、压缩机耗功和燃料热值

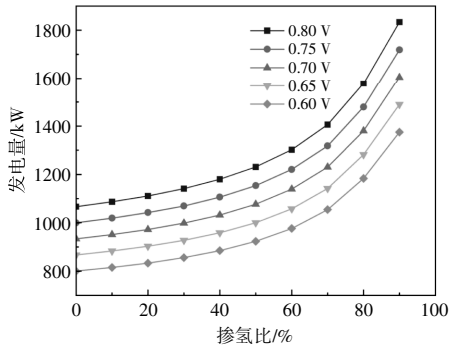
Table 2 Fuel energy, power generation, compressor power consumption and fuel calorific value of power generation system with inlet temperature is 750 ℃

掺氢比/%	0	10	20	30	40	50	60	70	80
燃料能量/kW	1 852	1 892	1 941	1 999	2 075	2 176	2 317	2 524	2 859
发电量/kW	1 000	1 019	1 042	1 070	1 106	1 154	1 221	1 318	1 479
压缩机耗功/kW	78	83	89	97	107	119	137	164	200
燃料热值/MJ·kg^{-1}	42	43	44	46	47	50	53	58	65

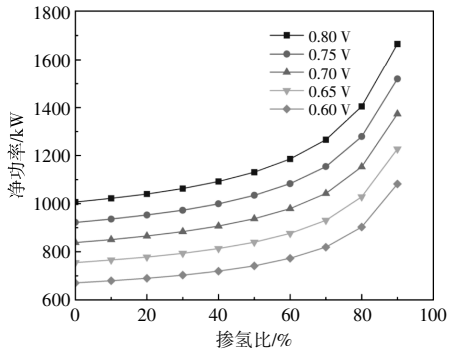
注:燃料电池电压为 0.7 V,利用率为 80%。

时,随着掺氢比的增加,发电系统的效率和净效率变化不大,但是,当掺氢比相同时,单电池的电压越高,发电系统的效率和净效率也越高。

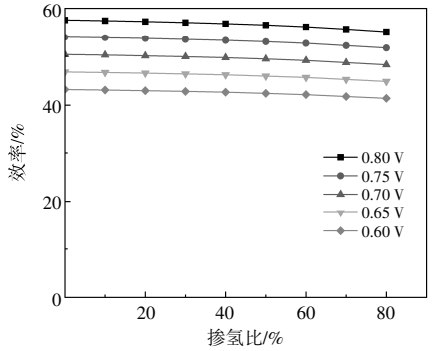
从图 7(e)可以看出:随着掺氢比的增加,发电系统尾气中 CO_2,CO 含量以及 CO_2 和 CO 的总含量均逐步降低;当掺氢比相同时,不同单电池电压下,发电系统尾气中的 CO_2,CO 含量以及 CO_2 和 CO 的总含量相同。



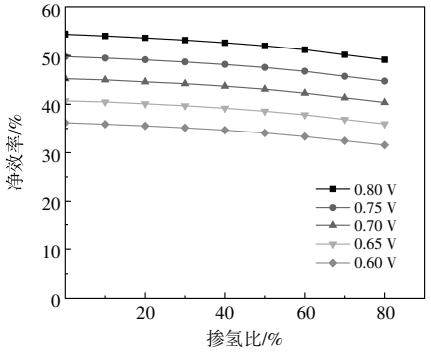
(a)发电量



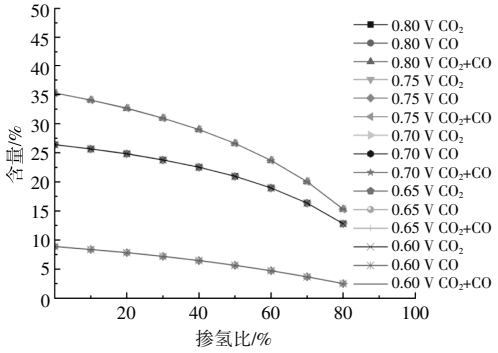
(b)净功率



(c)效率



(d)净效率



(e)温室气体含量

图 7 不同单电池电压下掺氢比对发电系统的影响

Fig.7 Influence of hydrogen blending ratio on power generation system at different voltages

3.7 不同阳极燃料利用率下掺氢比对发电系统的影响

不同阳极燃料利用率下,掺氢比对发电系统的影响如图 8 所示。

从图 8(a),(b)可以看出:当掺氢比相同时,随着阳极燃料利用率的增加,发电系统的发电量和净功率均逐渐增加;当阳极燃料利用率相同时,随着掺氢比的增加,发电系统的发电量和净功率均逐渐增加。由此可见,增加阳极燃料利用

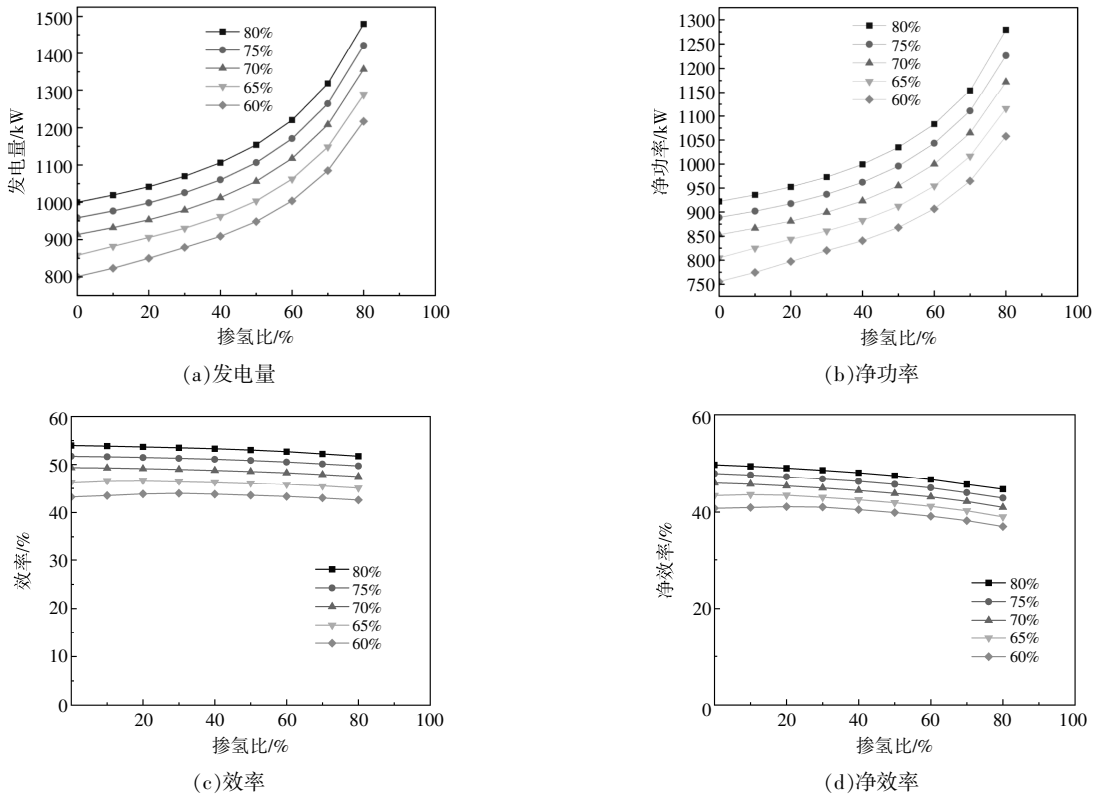


图 8　不同阳极燃料利用率下掺氢比对发电系统的影响

Fig.8 Influence of hydrogen blending ratio on power generation system under different anode fuel utilization rates

率和增加掺氢比均能提高发电系统的发电量和净功率。

从图 8(c),(d)可以看出:当掺氢比相同时,阳极燃料利用率越高,发电系统的效率和净效率也越高;当阳极燃料利用率相同时,掺氢比的变化对发电系统的效率和净效率没有明显影响。

4　结论

本文通过对以掺氢天然气为燃料的 SOFC 发电系统进行模拟,探究了掺氢比、燃料电池进口温度、阳极燃料利用率、单电池电压等参数对 SOFC 发电系统的影响,得出如下结论。

①提高燃料电池进口温度、阳极燃料利用率和单电池电压均能增加发电系统的发电量、净功率、发电效率和净效率,尾气中的 CO 含量也能够有效降低;当燃料电池进口温度高于 750 ℃时,发电系统的发电量、净功率、发电效率和净效率几乎不再增加。

②提高天然气掺氢比,发电系统的发电量和净功率均增加,而效率和净效率变化不大;掺氢比越高,发电量和净功率增加越明显,温室气体含量降低越显著。

③不同燃料电池进口温度下,随着掺氢比的增加,发电系统的发电量和净功率均逐渐升高;当掺氢比超过 60%时,发电系统在不同燃料电池进口温度下的发电量和净功率非常接近。当掺氢比低于 60%时,燃料电池进口温度越高,发电系统的效率和净效率也越高。当掺氢比低于 60%时,可以通过提高燃料电池进口温度来同时提高发电系统的发电量、净功率、效率和净效率。

④不同燃料电池单电池电压或不同燃料利用率下,提高天然气掺氢比,有助于发电系统发电量和净功率的提高。

总之,对于以掺氢天然气为燃料的 SOFC 发电系统,当掺氢比低于 60%时,可通过提高燃料电池进口温度、单电池电压和阳极燃料利用率来提高发电系统的发电量、净功率、效率和净效率;当掺氢比高于 60%时,可通过提高单电池电压和阳极燃料利用率来提高发电量、净功率、效率和净效率。天然气掺氢比越高,越可以显著降低温室气体的排放。

参考文献:

[1] 李春华,朱新坚.基于 PEMWE 的光伏氢能生产系统的性能分析[J].可再生能源,2012,30(9):6-10.

[2] 张振扬,解辉.液氢的制、储、运技术现状及分析[J].可再生能源,2023,41(3):298-305.

[3] 王敏,于吉,赵爽,等.基于镧锶锰氧化物基阴极的中温固体氧化物燃料电池的性能优化研究[J].可再生能源,2020,38(3):292-296.

[4] 严晓红,薛滔,李泽华,等.住宅用固体氧化物燃料电池热电联供系统的设计与分析[J].可再生能源,2018,36(1):151-158.

[5] Ni M. Modeling and parametric simulations of solid oxide fuel cells with methane carbon dioxide reforming [J].Energy Convers Manage,2013,70:116-129.

[6] Ni M. Electrolytic effect in solid oxide fuel cells running on steam/methane mixture [J].Journal of Power Sources,2011,196:2027-2036.

[7] Zhang X,Wang L,Espinoza M,et al. Numerical simulation of solid oxide fuel cells comparing different electrochemical kinetics [J].International Journal of Energy Research,2021,45:12980-12995.

[8] Xie Y,Ding H,Xue X. Direct methane fueled solid oxide fuel cell model with detailed reforming reactions [J].Chemical Engineering Journal,2013,228:917-924.

[9] 吴晓燕.以污泥高温热解生物质气为燃料的 SOFCs 产电与抗积碳研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.

[10] Xu H,Chen B,Zhang H,et al. The thermal effect in direct carbon solid oxide fuel cells [J].Applied Thermal Engineering,2017,118:652-662.

[11] Xu H,Chen B,Liu J,et al. Modeling of direct carbon solid oxide fuel cell for CO and electricity cogeneration [J].Applied Energy,2016,178:353-362.

[12] 刘汉宇,季炫宇,周雄,等.燃料气参数对固体氧化物燃料电池放电特性影响研究 [J]. 湖南电力,2023,43(6):31-36.

[13] 刘洋,韩吉田,游怀亮.基于 SOFC/GT/TCO_2 复合动力循环和溴化锂制冷机的冷热电联供系统性能[J].化工学报,2018,66:341-349.

[14] Ferguson J R,Fiard J M,Herbin R. Three-dimensional numerical simulation for various geometries of solid oxide fuel cells [J].Journal of Power Sources,1996,58:109-122.

[15] Ni M, Leung M K H, Leung D Y C. Parametric study of solid oxide fuel cell performance [J].Energy Convers Manage,2007,48:1525-1535.

[16] 王寒冰,刘晓辉,田民丽,等.基于 SOFC 的功冷联供系统热力学特性分析[J].山东大学学报(工学版),2019,49(5):64-71.

Research on performance optimization of hydrogen-doped natural gas SOFC power generation system

Yan Hongli[1,2,3], Yan Guohua[4], Fan Chen[1,2,3]

(1.School of Intelligent Manufacturing and New Energy, Xi´an Jiaotong University City College, Xi´an 710018, China; 2.Engineering Research Center of Robot and Intelligent Manufacturing, Universities of Shaanxi Province, Xi´an 710018, China; 3.The Tongue Muscle Rehabilitation Intelligent Robot System Youth Innovation Team of Shaanxi Universities, Xi´an 710018, China; 4.Shandong Tiexiong Xinsha Energy Co.,Ltd., Heze 274000, China)

Abstract: This study establishes a model of a solid oxide fuel cell (SOFC) power generation system fueled by hydrogen-enriched natural gas using Cycle-Tempo software. It provides a detailed analysis of the impacts of key operating conditions—such as single-cell voltage and operating temperature—and critical parameters—including hydrogen blending ratio and anode fuel utilization—on the performance of the SOFC system. The results indicate that increasing the hydrogen blending ratio, inlet temperature, single-cell voltage, and anode fuel utilization can enhance power generation. Notably, a higher hydrogen blending ratio significantly reduces greenhouse gas emissions, particularly CO_2. Under the conditions of a gas flow rate of 0.043 7 kg/s, single-cell voltage of 0.75 V, fuel utilization rate of 80%, fuel cell inlet temperature of 700 ℃, and hydrogen blending ratio of 60%, the system achieves a power output of 1 220.33 kW with an efficiency of 52.67%, while reducing carbon emissions by 27.86%.

Keywords: hydrogen-enriched natural gas; solid oxide fuel cell; power generation; performance optimization