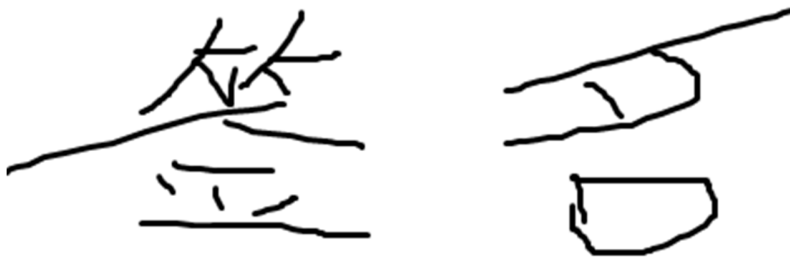


尊敬的编辑老师和评审专家：

您好，

感谢编辑老师的来信和评审专家对我们稿件（编号：___）的反馈。评审专家的意见和建议都非常中肯，十分有助于本文修正和完善，且对我们的研究具有重要的指导意义。我们现已仔细阅读所有意见和建议，并对相应部分进行了更正，同时，手稿中相应部分的更正且并不会对本文的整体内容和思维逻辑造成影响。我们再次衷心感谢编辑老师和评审专家们的辛勤工作，并希望更正获得评审专家的认可。手稿中修改部分已用红色标记。

导师___教授同意本次修改，其手写电子签名如下：

The image shows two handwritten signatures in black ink. The signature on the left is a stylized, somewhat abstract representation of the Chinese characters '高' (Gao) and '立' (Li). The signature on the right is a more recognizable representation of the Chinese characters '高' (Gao) and '立' (Li), with the '立' character being particularly distinct.

此致

敬礼！

投稿人：___

2019年11月15日

手稿主要更正部分及对评审专家老师意见和建议的答复如下：

问题 1:摘要，有必要进一步斟酌用词和语法。

修改说明：

非常感谢评审专家对手稿的认真审查。针对评审专家给出的建议，我们对文章，特别是摘要部分进行了认真检查，并对一些不恰当的用词和错误的语法进行了修改。

修改后（位置：摘要；第 1 页；第 7 行。手稿已经进行了相应的修改）：

二氧化碳重整制甲醇过程对碳源高效利用和环境保护具有重要意义，可作为替代传统高能耗、高排放水蒸气重整过程的途径。论文利用 Aspen Plus 模拟链式循环二氧化碳重整的甲烷制甲醇过程。结果表明，该过程的焓损失主要集中在化学过程，占到总焓损的 76.47%，其中燃烧反应与重整反应分别占 41.62%和 27.69%，而甲醇合成反应与水汽变换反应分别占 3.55%与 3.61%。与传统水蒸气重整制甲醇过程相比，在原料甲烷输入量一定情况下，二氧化碳重整制甲醇系统的重整过程比水蒸气重整过程焓损失减少 22%，水蒸气消耗量减少 77%，整体系统二氧化碳排放量降低了 10%，甲醇的产量提高了 12%。基于此，本文还对二氧化碳重整过程中影响系统效率的温度和压力进行了研究讨论，结果表明，随着重整反应温度的提高，焓效率和甲醇产量均出现先升高，后平稳的趋势，并在 980℃达到最大值。此外，较低的重整反应压力有利于甲醇产量的提高。

问题 2：与下文之间的过渡，关联性不够。

修改说明：

非常感谢评审专家的仔细审阅和提出段落之间过渡、关联性不够的问题。对手稿的书写结构的不严谨笔者及全体人员感到非常的抱歉。针对专家所提出的问题，我们经过对语句段落反复的审查和总结已做出修改和调整。

修改后（位置：1 前言；第 1 页；第 24 行。手稿已经进行了相应的修改）：

资源缺乏、能源短缺和环境污染等问题是当今世界面临的严峻挑战。 CH_4 和 CO_2 作为两种主要的温室气体，其大量排放将导致全球气候变暖，同时 CH_4 和 CO_2 也是重要的碳资源，对其进行利用是可持续发展和绿色化学发展的必然要求。甲醇

(CH₃OH)作为一种重要的基础化工产品，除可用作有机物的良好溶剂和燃料外，还可用于制造甲醛、醋酸、甲胺类、氯甲烷类、对苯二甲酸二甲酯、甲基丙烯酸甲酯等甲醇衍生物^[1]。

目前工业上生产甲醇主要采用甲烷水蒸气重整(SRM)^[2]，其工艺成熟度高，但存在能耗高，碳排放量大等缺点^[3]。针对水蒸气重整存在的不足，使得二氧化碳重整技术成为当下研究热门，但现阶段该研究仍停留在初期实验设计阶段，缺乏系统、全面的理论评估，贸然用于工业生产，将面临一系列未知的风险。相关的研究如下：黄开华^[4]等从实验中得出 CH₄-CO₂ 重整反应中适当调节 CH₄/CO₂ 比例能增加 CH₄、CO₂ 转化率，而当温度上升到一定条件时，可使 CH₄ 实现完全转化。许峥等^[5]根据 CH₄-CO₂ 转化可能包括的化学反应和相关热力学数据提出，CH₄-CO₂ 重整反应实质是独立的吸热反应，高温对反应有利，且只有温度高于 645℃时理论上才是热力学上可行的反应，然而过高的反应温度不仅能耗高，而且对重整反应器也要求很高。Tokanaga 等^[6]对重整反应的动力学研究表明重整反应速率方程式中有 CO₂ 分压的存在，说明 CO₂ 通过吸附解离参与反应，所以温度和压力对 CH₄-CO₂ 重整反应的影响仍有待进一步探究。却鲜有研究者基于焓的角度分析以 CH₄-CO₂ 重整反应制甲醇过程是否具有可行性。

参考文献：

1. Wada A, Mochizuki N, Hiraoka K. Methanol formation from electron-irradiated mixed H₂O/CH₄ ice at 10 K[J]. The Astrophysical Journal, 2006, 644(1): 300.
2. Miller C C, van Zee R D, Stephenson J C. Mechanism of the reaction, CH₄+ O (1D₂)→ CH₃+OH, studied by ultrafast and state-resolved photolysis/probe spectroscopy of the CH₄•O₃ van der Waals complex[J]. The Journal of Chemical Physics, 2001, 114(3): 1214-1232.
3. 张少华. 镍基催化剂上碳化钼 (钨) 参与催化的甲烷二氧化碳重整反应研究[D]. 大连理工大学, 2015.
Zhang S H. Study on catalytic roles of molybdenum (tungsten) carbide for CH₄/CO₂ reforming over Ni based catalysts [D]. Dalian University of Technology, 2015, 18-23.
4. 黄开华. 二氧化碳甲烷重整制合成气的经济性分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2017(22):38-39.
Huang K H. Economic analysis of carbon dioxide methane reforming to syngas [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2017(22):38-39.

5. 许峥, 张继炎. CH₄-CO₂转化的研究进展[J]. 石油化工, 1997(6).

Xu Z, Zhang J Y, Zhang L. Research Progress on Conversion of CH₄-CO₂ [J]. Petrochemical Technology. 1997, 26(06):56-61.

6. Tokunaga O, Ogasawara S. Reduction of carbon dioxide with methane over Ni-catalyst[J]. Reaction Kinetics and Catalysis Letters, 1989, 39(1):69-74.

问题 3: 下标

修改说明:

非常感谢评审专家的仔细审阅和提及方程式(1)下标的问题。对于二氧化碳重整反应方程式中反应物的问题, 反应物确实是 CO₂。在此我们非常抱歉, 由于我们的疏忽而造成重整反应方程的错误书写, 现已添加下标。此外, 并对全文进行了仔细检查, 避免其它的失误。

修改后(位置: 2 过程描述; 第 2 页; 第 9 行。手稿已经进行了相应的修改):



问题 4: 此处既然已经规定了反应条件, 为何下文还要分析反应温度对重整反应的影响? 建议说明模拟条件变化范围。

修改说明:

感谢专家老师的宝贵意见。本文在建立二氧化碳甲烷重整制备甲醇的模拟流程时, 所有反应温度, 压力, 进料条件都参考已有的实验数据, 工业数据。这些数据即模拟条件确实是一个范围值, 本文的模拟条件选择的最终值就在这些范围以内。通过优化参数和反应条件, 探寻系统能量损失原因及改进措施以及关键参数与热力学性能之间的内在关联, 从而获得最优反应路径。下文则主要对关键参数进行灵敏度分析。我们已经按照您的意见, 在文中加入了模拟条件的范围, 如下表所示。

修改后(位置: 3.2 过程模拟; 第 2 页; 31 行。手稿已经进行了相应的修改):

表 1 主要参数设定

Table 1 Parameters setting of variables value

Unit	Specification
Reformer	Temperature: 800°C~1100°C Pressure: 300kPa~1000kPa

WGS	Temperature:250℃ Pressure: 500kPa
Methanol synthesis	Temperature: 230℃ Pressure: 8MPa
Combustion	Temperature:1100℃ Pressure: 3MPa

问题 5: 上图所示工艺流程对流动阻力的考虑不足, 尤其是二氧化碳从 **PSA-Reformer-PSA-WGS** 这一循环流动过程, 应添加一台 **Compr**, 否则无法完成上述循环。

修改说明:

非常感谢评审专家专业的评审, 提出在过程模拟示意图(图 2)中工艺流程对流动阻力的考虑不足的问题。针对 **PSA-Reformer-PSA-WGS** 这一循环流动过程, **原始手稿图 3** (链式循环二氧化碳重整过程制甲醇模拟结果图) (位置: 3.2 过程模拟; 第 4 页; 第 1 行。)中已有 **Compr** 的存在, 但由于图 2 (链式循环二氧化碳重整过程制甲醇流程简图) (位置: 3.2 过程模拟; 第 3 页; 第 15 行。)为**流程简图**, **我们忽略了将 Compr 画入**, 从而引起专家老师评审困难和难以理解。针对此问题, 我们已经对流程简图(图 2)进行了修改。

手稿原始图 3:

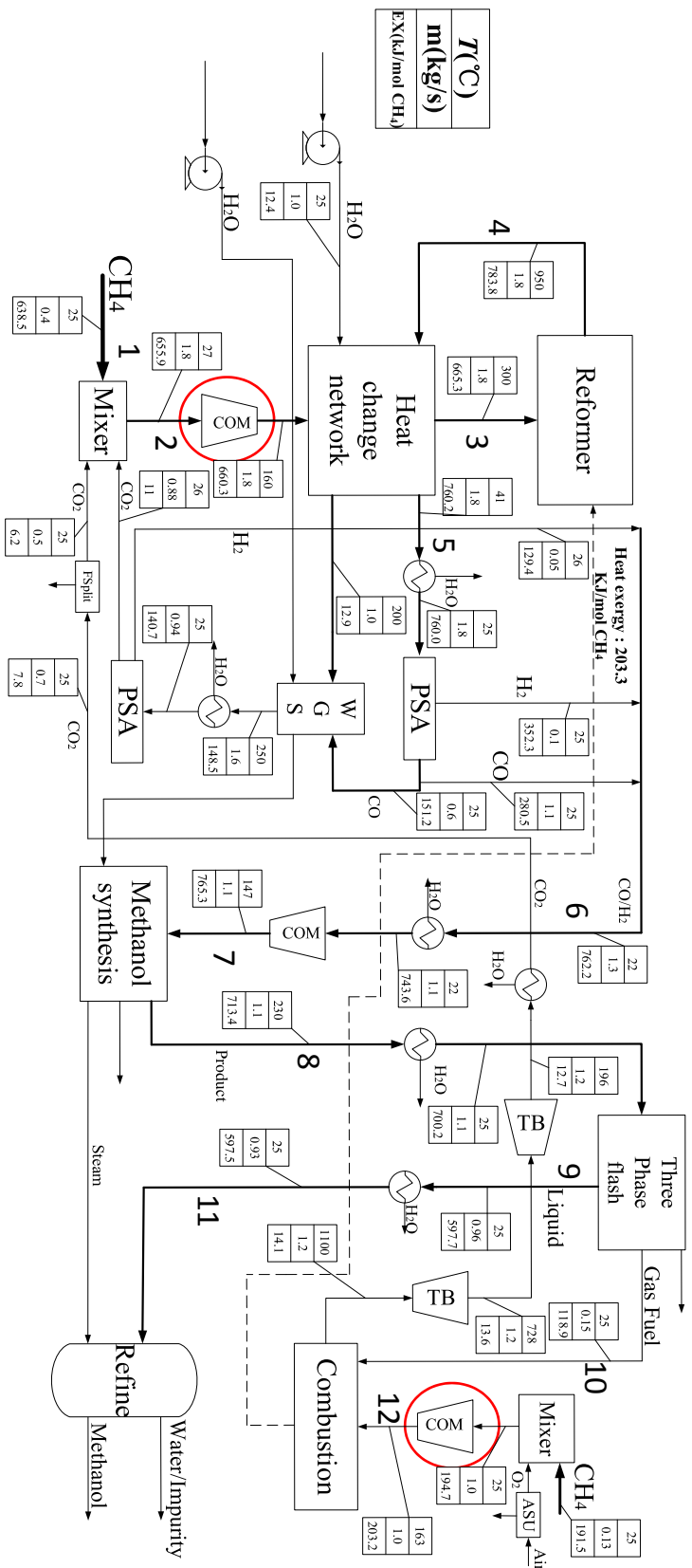


图 3 链式循环二氧化碳重整过程制甲醇模拟结果图

Fig.3 Simulation results graph of closed loop carbon dioxide reforming process for methanol

修改后 (位置: 3.2 过程模拟; 第 3 页; 第 15 行。手稿已经进行了相应的修改):

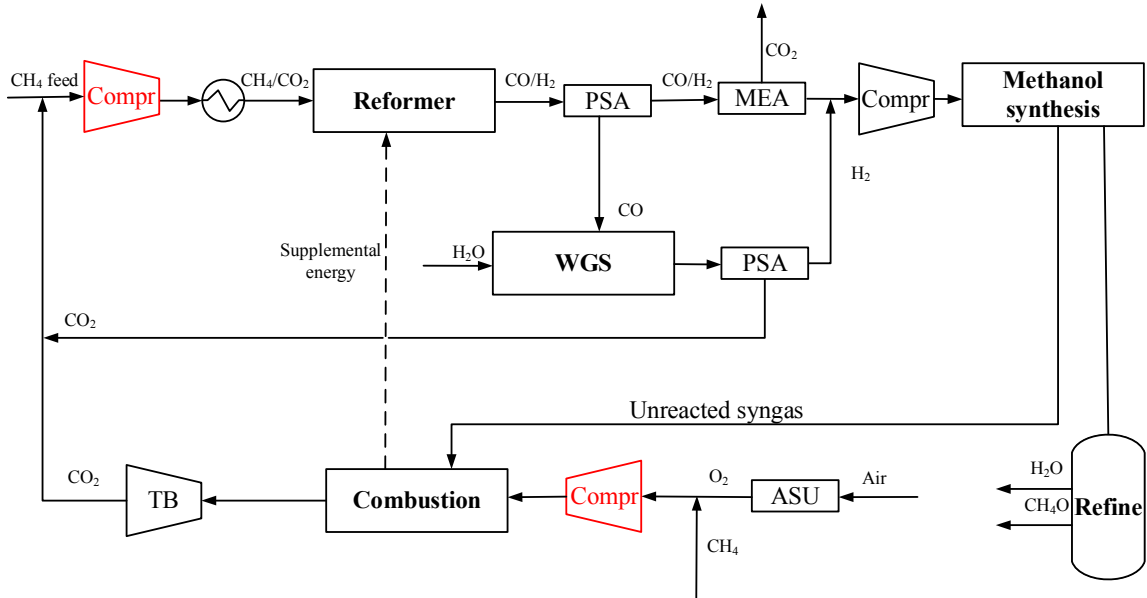


图 2 链式循环二氧化碳重整过程制甲醇流程简图

Fig.2 Flow diagram of closed loop carbon dioxide reforming process for methanol

问题 6: 图中 ASU 单元是空分设备? 在分析能量效率时, 是否考虑了该设备的能耗?

修改说明 (位置: 3.2 过程模拟; 第 3 页; 第 15 行。手稿已经进行了相应的修改):

非常感谢评审专家对手稿的仔细评审。在此模拟过程中, ASU 单元属于空分单元。对于空分单元的模拟本文采用常用分析方法之一的黑箱模型进行^[1-4]。黑箱模型分析 (黑箱分析) 是借助于输入、输出子系统的能流信息来研究子系统内部用能过程的宏观特性的一种方法^[5]。

对于专家提及的在分析能量效率时, 是否考虑了该设备的能耗问题, 在后文输入焓 Ex_{in} 中已计入消耗能量的焓 W 。依据工业值以及参考文献数值, 单位每千克氧气生产对应的能耗为 0.325kWh, 所以空分设备的能耗计算方式为: $W_{ASU}=0.325 \cdot M_{O_2}$ ^[6]。

参考文献:

1. Fan, Junming, Hong, Hui, Zhu, Lin, et al. Thermodynamic and environmental evaluation of biomass and coal co-fuelled gasification chemical looping combustion with CO₂, capture for combined cooling, heating and power production[J]. Applied Energy, 195:861-876.

2. Junming Fan, Hui Hong, Hongguang Jin. Biomass and coal co-feed power and SNG polygeneration with chemical looping combustion to reduce carbon footprint for sustainable energy development: Process simulation and thermodynamic assessment[J]. Renewable Energy, 2018, 125.
3. Zhu L, Zhang L, Fan J, et al. MSW to synthetic natural gas: System modeling and thermodynamics assessment[J]. Waste Management, 2015, 48(3):257-264.
4. Zhu L, He Y, Li L, et al. Thermodynamic assessment of SNG and power polygeneration with the goal of zero CO₂ emission[J]. Energy, 2018, 149.
5. 李雪峰. 稠油集输系统的热力学分析[D]. 大庆石油学院, 2007.
Li X F. the thermodynamics analysis for the heavy crude gathering and transferring system [D]. Northeast Petroleum University, 2007.
6. He Y, Zhu L, Li L, et al. Life-cycle assessment of SNG and power generation: the role of implement of chemical looping combustion for carbon capture[J]. Energy, 2019.

问题 7: 结合下文所述能量效率公式, 既然系统中有做功设备 TB, 那么系统能量效率计算应将其考虑在内!

修改说明:

非常感谢评审专家对文章专业的评审。众所周知, 系统能量效率等于输出能量除以输入能量。本文中, 输入能量主要为甲烷以及耗电设备(泵、压缩机、空分单元)所消耗的能量, 而输出能量主要为甲醇和透平机所产生的电量, 具体计算公式如方程 8 所示。在原文计算中, 如手稿原始表 4 (系统的焓损失图; 位置: 4.2 链式循环二氧化碳重整甲烷制甲醇过程焓分析; 第 7 页; 第 7 行。)所示, 计算系统能量效率时已将透平设备 (TB) 产生能量以及空分单元消耗的能量计算入内, 但在编辑能量效率公式时有所疏忽, 对此, 作者携同全体论文参与者对审稿人以及相关关心本论文的所有人员致以诚挚的歉意, 并认真核实、检查全文其他公式编辑是否存在类似问题。

手稿原始表 4:

表 4 系统的焓损失
Table 4 Exergy destruction in system

	Unit	$Ex_{in,i}$ kJ/molCH ₄	$Ex_{out,i}$ kJ/molCH ₄	$Ex_{dest,i}$ kJ/molCH ₄	% of total Ex_{dest} (%)
Physical process	Pump	-	-	0.01	0.02
	Heat network	97.25	75.59	21.66	8.99
	Condenser	-	-	13.48	5.60
	Compressor	-	-	9.02	3.75
	ASU	38.85	35.38	3.47	1.44
	Turbine	-	-	3.99	1.66
	Mixer	-	-	4.98	2.07

	Separator	-	-	0.01	0.0
Chemical process	Reforming	936.80	870.22	66.58	27.69
	Methanol synthesis	5531.52	5422.96	8.56	3.55
	Combustion	338.15	237.93	100.22	41.62
	WGS	251.13	242.43	8.70	3.61
Total exergy loss				240.68	100

修改后（位置：3.3 性能性价比指标；第 5 页；第 12 行。手稿已经进行了相应的修改）：

评价链式循环二氧化碳重整制甲醇系统的重要指标是能量效率与焓效率，其中能量分析建立在热力学第一定律上，其表达式如下：

$$\eta_{\text{Thermal}} = E_{\text{out}} / E_{\text{in}} \quad (8)$$

$$E_{\text{out}} = m_{\text{CH}_3\text{OH}} * \text{LHV}_{\text{CH}_3\text{OH}} + W_{\text{TB}} \quad (9)$$

$$E_{\text{in}} = m_{\text{CH}_4} * \text{LHV}_{\text{CH}_4} + W_{\text{Compressor}} + W_{\text{Pump}} + W_{\text{ASU}} \quad (10)$$

式中 E_{out} 代表系统输出能量； E_{in} 代表系统输入能量； $m_{\text{CH}_3\text{OH}}$ (kmol/h)代表产物甲醇的摩尔流； $\text{LHV}_{\text{CH}_3\text{OH}}$ (kJ/mol)代表甲醇的低位热值； m_{CH_4} (kmol/h)代表输入进料 CH_4 的摩尔流量； LHV_{CH_4} (kJ/mol)代表 CH_4 的低位热值； W_{TB} 代表透平机产生的能量； $W_{\text{Compressor}}$ 代表压缩机消耗的能量； W_{Pump} 代表泵消耗的能量； W_{ASU} 代表空分单元耗能，其中每千克氧气生产对应的能耗为 $0.325\text{kW h}^{[1]}$

参考文献：

1. He Y, Zhu L, Li L, et al. Life-cycle assessment of SNG and power generation: the role of implement of chemical looping combustion for carbon capture[J]. Energy, 2019.

问题 8：“能量”更为合适。

修改说明：

非常感谢评审专家提出的宝贵意见。针对评审专家提出术语严谨问题，我们已经对其进行修改。此外，我们仔细检查了全文，对相应的术语进行了用法审查，确保文章的准确性和可读性。

修改后（手稿均已经进行了相应的修改）：

第一处（位置：3.3 性能性价比指标；第 5 页；第 12 行）：

式中 $m_{\text{CH}_3\text{OH}}$ (kmol/h)代表产物甲醇的摩尔流； $\text{LHV}_{\text{CH}_3\text{OH}}$ (kJ/mol)代表甲醇的低位

热值； m_{CH_4} (kmol/h)代表输入进料 CH_4 的摩尔流量； LHV_{CH_4} (kJ/mol)代表 CH_4 的低位热值； W_{TB} 代表透平机产生的能量； $W_{\text{Compresso}}$ 代表压缩机消耗的能量； W_{Pump} 代表泵消耗的能量。

第二处（位置：3.3 性能性价比指标；第 6 页；第 1 行）：

输入焓 $E_{x_{\text{in}}}$ 为系统消耗能量的焓 W (包括所有的压缩机，泵，以及空分设备)，MEA 吸收 CO_2 的解吸热量焓 $E_{x_{\text{Q}}}$ ，以及进料的焓值 $E_{x_{\text{Min}}}$ 之和，如下所示：

第三处（位置：3.3 性能性价比指标；第 6 页；第 4 行）：

输出焓包括产物甲醇的物流焓 $E_{x_{\text{prou}}}$ ，尾气的焓 $E_{x_{\text{exhaust}}}$ 以及系统产生能量的焓 W 之和，其表达式如下：

问题 9：针对“甲醇的产量提高了 8.2kmol/h”，何以见得？

修改说明：

非常感谢评审专家对论文的仔细评审，关于甲醇的产量的提高，我们是基于对比二氧化碳重整过程和传统水蒸气重整过程，在两者输入甲烷量一致的情况下，二氧化碳重整过程进一步利用二氧化碳中的碳源，用于合成甲醇，因而甲醇产量提升。

修改后（位置：4.1焓损失对比；第 6 页；第 22 行。手稿已经进行了相应的修改）：

图 5 为链式循环二氧化碳重整制甲醇过程与传统水蒸气重整制甲醇过程的焓损失对比，由图可知，链式循环二氧化碳重整制甲醇过程与传统水蒸气重整制甲醇过程相比较^[1]，两者在甲烷输入量一致的前提下，链式循环二氧化碳重整过程的焓损失比后者减少了 22%，且二氧化碳作气化剂，使得水蒸气的消耗量较传统水蒸气重整过程低 67.54(kJ/mol CH_4)。此外， CO_2 还能提供额外的碳源，用于甲醇合成，有利于提高甲醇产量，使得前者较后者甲醇的产量提高了 12%。以上均证实了链式循环二氧化碳重整制甲醇过程比传统水蒸气重整制甲醇过程具有更高的焓效率与甲醇产量。

参考文献：

1. Simpson A P, Lutz A E. Exergy analysis of hydrogen production via steam methane reforming[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2007, 32(18): 4811-4820.

问题 10: 图 5 中数字缺少量纲。

修改说明:

非常感谢评审专家的严谨科研态度。针对此问题,在手稿原始图 5(二氧化碳重整过程与水蒸气重整过程焓损失对比图;位置:4.1 焓损失对比;第 6 页;第 23 行)的左上角处已标出该图量纲,但不够明显,对此我们感到非常的抱歉。为了更加突出,已将其加粗处理。

修改后(位置:4.1 焓损失对比;第 6 页;第 23 行。手稿已经进行了相应的修改):

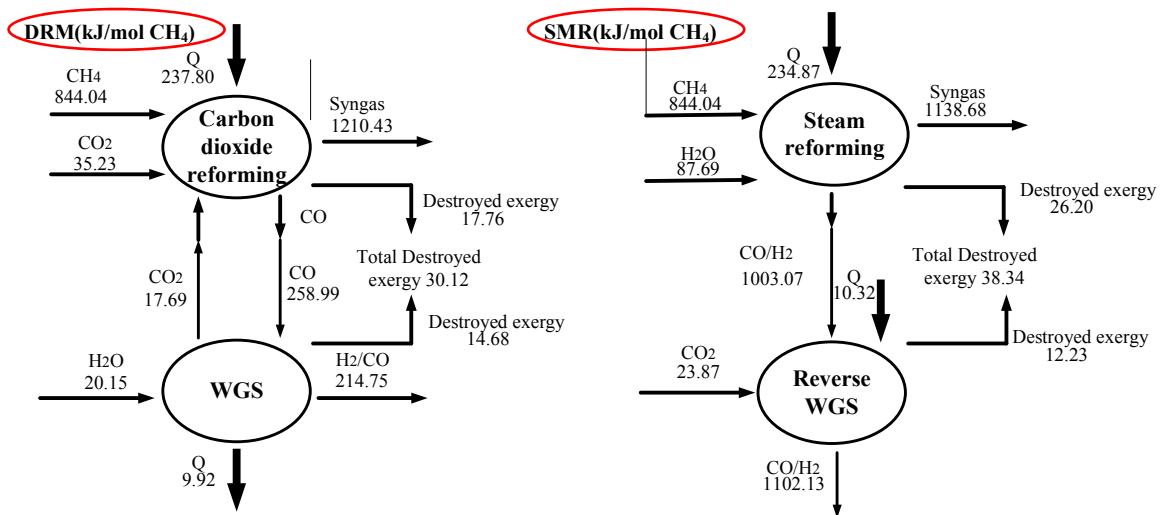


图 5 二氧化碳重整过程与水蒸气重整过程焓损失对比图
Fig.5 Comparison of exergy destruction between DMR process and conventional SMR

问题 11: 本文既然是模拟工作,则不应简单地提出改进措施,而应通过进一步模拟获得最优的工作参数!

修改说明(位置:4.2 链式循环二氧化碳重整甲烷制甲醇过程焓分析;第 8 页;第 13 行。):

非常感谢评审专家给出专业而宝贵的意见。由图 1(卡诺循环热效率)可知,随着温度的增高,燃烧反应效率越大,但增长趋势逐渐放缓。而结合实际工业,高温对设备材料要求较高,增加系统运行成本。因此,并非一直增大燃烧温度有利于系统运行。表 1 为典型的燃气轮机发电机组的性能参数表,由表可知造成燃烧反应温度被限制是由于设备材料、设备功率、设备初温、供电效率和实际运行成等因素

综合影响的结果。目前热门相关研究有：燃烧方式的改进（例如空气部分预混燃烧、稀氧部分预混和富氧补燃等）和燃烧效率的提升（例如当量比、预混气分级比、火焰形态结构和污染物生成特性等）等，所以提高燃烧反应温度以提高卡诺循环效率实属未来燃烧方面的发展趋势，但受现阶段工业发展水平和科学技术等原因限制而未能实现^[1, 2]。同理，减少换热器温差有助于减低其不可逆损失，但这种温差趋近于零目前未能实现，也不太符合生产常识，所以我们只能给出改进措施，而未能给出其具体优化值。

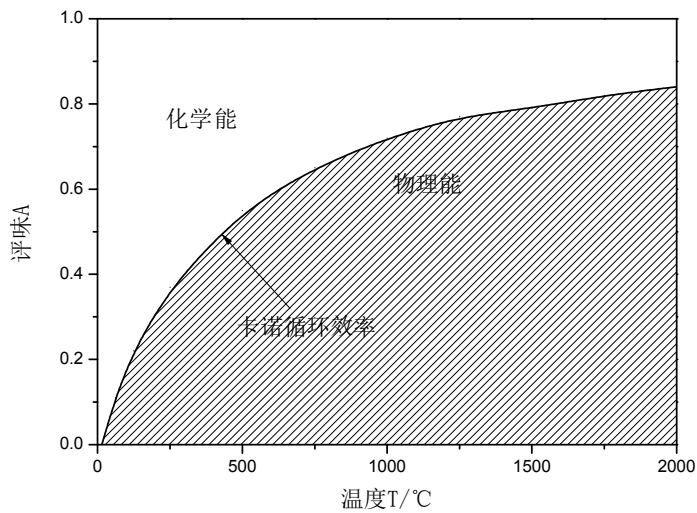


图 1 卡诺循环热效率
Fig1. Carnot cycle thermal efficiency

表 1 典型的燃气轮机发电机组的性能参数
Table1 Performance parameters of typical gas turbine generator sets

公司名称	机组型号	ISO 基本功率 MW	压比	燃气初温 (°C)	供电效率 (%)	单位售价美元/kw
GE 发电	PG9231 (EC)	169	14.2	1288	34.93	183
	PG9231 (FA)	226.5	15	1260	35.66	188
ABB	GT13E2	164.3	15		35.71	210
	GT26	240	30	1310	35.79	204
Siemens (KWU)	V643A	70	16.6	1310	36.81	319
	V843A	170	16.6	1310	38	
	V943A	240	16.6	1427	38	198
西屋	501G	235.2	19.2	1349	39	180
	701F	236.7	15.6	1160	36.77	187
GE 船用与工业	LM6000-PA	41.2	29.6		39.78	296

R-R 公司	Trent	51.19	35	1211	41.57	304
惠普	F18	25.42	20.3		38.13	362

修改后（位置：4.2 链式循环二氧化碳重整甲烷制甲醇过程焓分析；第 8 页；第 18 行。手稿已经进行了相应的修改）：

燃烧反应焓损失计算方法如式(18)和(19)所示，其值与卡诺效率 η 有关，卡诺效率越大，损失越小。在实际过程中，由于燃烧反应进行的温度不够高，使得卡诺循环效率低进而造成不可逆损失，所以开发能够更耐高温的材料，提高燃烧反应的温度 T ，可降低燃烧过程不可逆损失。更多关于不同燃烧方式改进以及燃烧效率提高可参考文献^[1-2]。

参考文献：

1. 刘联胜, 侯婕, 赵露阳, et al. ODPP/OESC 旋流火焰的试验与模拟研究[J]. 热科学与技术 (6):473-479,共 7 页.
Liu L S, Hou J, Zhao L Y, et al. Experimental and simulation study of ODPP/OESC swirl flame [J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2016(6):473-479.
2. 刘联胜, 李自臻, 田亮, et al. 基于波瓣旋流燃烧器的甲烷燃烧污染物排放特性[J]. 燃烧科学与技术, 2018(3).
Liu L S, Li Z Z, Tian L, et al. Emission characteristic research on methane combustion in petal-swirl combustor [J], Journal of Combustion Science and Technology, 2018, 24(3):208-213

问题 12：图 10 结果说明反应压力越低，效率越高；是否存在最佳工作压力？常压下会使什么样的结果？为什么图 11 横坐标压力值与图 10 的不一致？另外，在模拟分析工作压力影响的时候，系统其它单元的工作参数是否发生了变化？相互之间是否匹配？

修改说明：

非常感谢评审专家提出这一系列具有建设性的问题。针对专家在图 10、11 提出的问题，我们经过对文章的审查，对图和图文解释进行了一系列的修改，具体如下：

（1）图 10 结果说明反应压力越低，效率越高；是否存在最佳工作压力？常压下会使什么样的结果？

虽图 10 重整反应压力对焓效率以及热效率的影响（位置：4.3 重整过程影响因

素分析；第 10 页；第 10 行）结果说明反应压力越低，效率越高，但最终反应所选取的压力为 500kPa 作为系统运行值，出于以下三方面进行考虑：1.从 CH₄ 与 CO₂ 重整反应来看，反应是化学计量系数增大的反应，低压有助于反应正向移动，图 10 的结果也证实该观点的正确性。但从分子动力学角度出发，反应压力越小则分子之间的有效碰撞机率就会越小，不利于加快反应速率；2.虽然压力越低，焓效率和热效率越高，但就具体值而言，101kPa 和 250kPa 对系统热效率影响并不大，相差约 0.16%，因此，本文未将常压下反应结果列入图中。3.参考典型水蒸气甲烷重整反应，其运行压力 500kPa~2500kPa^[1,2]，以及结合目前实际生产工艺情况、反应釜材料，耐压和相关实验研究综合考虑^[3,4]，本文选用了 500kPa 作为目前阶段条件下的反应压力。

修改后（位置：4.3 重整过程影响因素分析；第 11 页；第 4 行。手稿已经进行了相应的修改）：

图 12 为重整反应压力与整体系统甲醇产量、二氧化碳排放量、甲烷消耗量的关系图。控制反应温度 980℃，随着重整反应压力的增大，甲醇产量出现下降趋势，原因在于重整反应为化学计量系数增大的反应，增大重整反应压力，反应逆向进行，使其转换率降低，进而导致甲醇产量减少。同时，燃烧反应需要为重整反应提供的热量降低，因而当甲烷的消耗量减小，整体系统的二氧化碳排放量也会降低。但与此同时随着压力的降低，分子之间的有效碰撞机率也会随之变小，不利于加快反应速率。再者，参考典型水蒸气甲烷重整反应，其运行压力 500kPa~2500kPa^[1,2]，以及结合目前实际生产工艺情况、反应釜材料，耐压和相关实验研究综合考虑^[3,4]，本文选用了 500kPa 作为目前阶段条件下的反应压力。

参考文献：

1. Fan J, Zhu L, Jiang P, et al. Comparative exergy analysis of chemical looping combustion thermally coupled and conventional steam methane reforming for hydrogen production[J]. Journal of cleaner production, 2016, 131: 247-258.
2. Harrison, Douglas P. Sorption-Enhanced Hydrogen Production: A Review [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(17):6486-6501.
3. 徐春明, 杨朝合. 石油炼制工程[M], 北京: 石油工业出版社, 2009. 9
Xu C M, Yang C H. Petroleum refining engineering [M], Beijing: Petroleum Industry Press, 2009. 9
4. 连晨帅, 代蓉, 田韧, et al. Ni-Cu 双金属催化剂上乙醇水蒸气重整制氢研究——制备方法对催

化性能的影响[J]. 分子催化, 2019(4).

Lian C S, Dai R, Tian R, et al. The Effect of preparation method on catalytic properties over Ni-Cu bimetallic catalysts for steam reforming of ethanol [J]. Journal of Molecular Catalysis (China), 2019, 33(4), 297-308

(2) 为什么图 11 横坐标压力值与图 10 的不一致?

对于图 10 和图 11 坐标不一致的问题, 实验模拟过程中图 10 和图 11 选取节点一致, 但是若将全部节点都展示在图 11 上, 会导致节点之间过于紧凑, 难以识别图中数据。因此, 作图 11 时, 仅选取图 10 中几个代表性节点。为了进一步凸显图 11 中压力对各个单元焓损失的差距, 我们选取了 100kPa 作为初始值。基于审稿人意见, 我们现已修改图 11 横坐标初始压力节点与图 10 一致为 250kPa。

修改后 (位置: 4.3 重整过程影响因素分析; 第 11 页; 第 9 行。手稿已经进行了相应的修改):

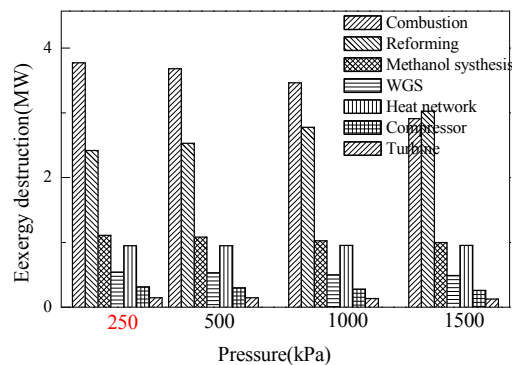


图 11 重整反应压力对各反应过程焓损失的影响

Fig.11 The effects of reforming pressure on exergy efficiency and thermal efficiency

(3) 在模拟分析工作压力影响的时候, 系统其它单元的工作参数是否发生了变化? 相互之间是否匹配?

图 11 为重整反应压力对各反应过程焓损失的影响。(位置: 4.3 重整过程影响因素分析; 第 11 页; 第 1 行)。为了使其更具有对比性, 排除其它参数对系统的影响, 当压力改变时, 系统其它参数保持不变。结果表明, 随着重整反应压力的增大, 燃烧过程与重整反应的焓损失变化明显, 而其他过程焓损失变化则并不显著, 但由于压力进一步增大, 对于重整反应而言抑制效应大于了促进效应, 所以其它单元工作

参数依然呈现略微减小趋势。

鸣谢

非常感谢评审专家对本文提出专业而又宝贵的意见，这些意见对文章写作的规范以及质量的提升具有很大的帮助。我们也深知审稿人这些意见并不是想让我们感到气馁和低落，而是真心希望我们所做的工作能对这个社会、这个学术圈有所贡献、有所启发。同广大科研人员一样，怀着一颗真心想做出一些有利于国家和科学的事，也明白这并不是轻松而又顺利的过程，而是需要持久、长远的努力，但心之所向兮，素履以往。

最后，我们再次感谢评审专家对本文改进工作的辛勤付出。