[Article]

doi: 10.3866/PKU.WHXB201301315

www.whxb.pku.edu.cn

预处理方法对Ni-Co双金属催化剂性能与结构的影响

赵 健^{1,2} 周 伟^{2,3,*} 徐军科^{2,4} 马建新^{1,2,3}(¹华东理工大学资源与环境工程学院, 上海 200237; ²同济大学新能源汽车工程中心, 上海 201804;³同济大学汽车学院, 上海 201804; ⁴上海市宝山区环境监测站, 上海 201901)

摘要: 浸渍法制备了Ni-Co/La₂O₃-γ-Al₂O₃双金属催化剂, 经氢气还原预处理后, 再分别由一氧化碳、甲烷和二氧化碳进行再次预处理, 考察了预处理方法对该催化剂上沼气重整制氢性能的影响, 并运用X射线衍射(XRD)、热重-差示扫描量热(TG-DSC)、透射电子显微镜(TEM)等手段对催化剂进行了表征。结果表明, 与传统氢气还原预处理相比, 经氢气与一氧化碳预处理后, 催化剂性能无明显变化; 经氢气与甲烷预处理后, 催化剂性能明显变差; 而经氢气和二氧化碳预处理后, 催化剂性能明显变优, 且能基本消除该催化剂上沼气重整反应的诱导期。分析结果表明, 经氢气和二氧化碳预处理后, 催化剂中金属颗粒较小, 分布较均匀, 粒径分布范围较窄, 从而减少了催化剂表面碳的沉积, 增强了催化剂的抗积炭性能, 可延长催化剂的使用寿命。

关键词: 预处理; Ni-Co; 双金属催化剂; 沼气重整; 制氢; 诱导期

中图分类号: O643.3; X701.7

Effect of Pretreatment Routes on the Performance and Structure of Ni-Co Bimetallic Catalysts

ZHAO Jian^{1,2} ZHOU Wei^{2,3,*} XU Jun-Ke^{2,4} MA Jian-Xin^{1,2,3}

(¹School of Resource and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, P. R. China; ²Clean Energy Automotive Engineering Center, Tongji University, Shanghai 201804, P. R. China; ³School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, P. R. China; ⁴Shanghai Baoshan Environmental Monitoring Station, Shanghai 201901, P. R. China)

Abstract: Ni-Co/La₂O₃-γ-Al₂O₃ catalysts for biogas reforming were prepared by conventional incipient wetness impregnation and pretreated first by hydrogen reduction and then by pure carbon monoxide, methane and carbon dioxide, respectively. The effect of pretreatment route on the biogas reforming performance of the catalysts was investigated. The catalysts were characterized with X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric and differential scanning calorimetry (TG-DSC), and transmission electron microscopy (TEM), and the relationship between the performance and the structural properties of the catalysts was investigated. The results indicated that, compared with the performance of catalysts pretreated by the traditional hydrogen reduction, the performance of catalysts pretreated by hydrogen and carbon monoxide did not change significantly, while the performance of catalysts pretreated by hydrogen and methane deteriorated obviously. Nevertheless, the performance of catalysts pretreated by hydrogen and carbon dioxide was dramatically enhanced and the long adjustment period of the biogas reforming catalysts was basically eliminated. The characterization results showed that the active metal particle size of the catalysts pretreated by hydrogen and carbon dioxide was smaller on average and distributed more evenly and much more narrowly, which notably enhanced the catalysts' carbon resistance and prolonged the catalysts' longevity.

Received: December 4, 2012; Revised: January 25, 2013; Published on Web: January 31, 2013.

* Corresponding author. Email: wzhou@tongji.edu.cn; Tel: +86-21-69589355.

The project was supported by the Ministry of Science and Technology International Cooperation Program for Research, Development and System Demonstration of Advanced Hydrogen Storage Technology, China (2010DFA64080).

科技部国际合作项目先进储氢技术研发及系统示范(2010DFA64080)资助

© Editorial office of *Acta Physico-Chimica Sinica*

Key Words: Pretreatment; Ni-Co; Bimetallic catalyst; Biogas reforming; Hydrogen production; Adjustment period

1 引言

甲烷(CH_4)重整是目前大规模制氢采用的主要技术路线,重整方法主要有湿重整、干重整、部分氧化重整和自热重整等.甲烷湿重整工艺生产技术较为成熟,转化率高,是目前唯一工业化应用的甲烷重整制氢方法,但其主要原料来自于不可再生的化石燃料天然气,具有不可持续性.生物质经厌氧消化产生的沼气富含甲烷与二氧化碳(CO_2),经过适当净化处理后能通过重整制氢,¹这种制氢工艺的实质是甲烷干重整.该工艺因具有如下优点而备受关注:(1)原料沼气来源广泛,可再生,开发潜力大:中国2010年沼气年产量大约为 $1.55 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (相当于 $5.55 \times 10^{11} \text{ MJ}$ 的热量),但目前只有19%的沼气资源得到了有效利用,所以,沼气可以被认为是最具发展前景的可再生能源之一;²(2)变废为宝.同时利用温室气体 CH_4 和 CO_2 制取 H_2 ,减缓两者引起的温室效应,减轻大气环境污染;³⁻⁵(3)相比于湿重整和部分氧化重整,它可节省一半左右的甲烷;⁶(4)生成的合成气富含一氧化碳(CO),且 $\text{H}_2:\text{CO}$ 体积比 <2 ,可为羰基、费托合成等 C_1 化学过程提供廉价原料;⁷⁻⁹(5)甲烷干重整反应是具有较大反应热的可逆反应,可以作为能量存储和传输介质.

目前,负载型镍基催化剂在 CH_4 干重整技术应用中具有很好的应用前景,¹⁰⁻¹³但主要限制因素是催化剂活性位上易积炭,影响了催化剂使用寿命.本实验室前期研究开发出了活性、稳定性和抗积炭性能都较好的Ni-Co/ $\text{La}_2\text{O}_3\text{-}\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 球形催化剂.^{1,10}然而,当加大催化剂的一次性制备量时,催化剂的重整活性有所下降,表面积炭与金属颗粒均有所增大.所以,在大量制备催化剂时,如何提高催化剂的整体性能是该催化剂能否工业化应用的关键因素之一.

预处理是改善催化剂活性或再生的一种常用方法,金属催化剂一般用氢气(H_2)预处理.然而,在一定条件下,使用原料气、产物气或这些气体的混合气作为处理气对催化剂进行预处理时,能获得比用 H_2 预处理更好的催化剂性能.Husserl等¹⁴发明了一种使用含烃(如原料气 CH_4)气体在一定条件下预处理钴基催化剂的方法.与用 H_2 处理的方法相比,经该方法预处理后催化剂的重整活性更高,使用寿

命更长.Green和Xiao¹⁵发明了一种利用原料气 CO 或 H_2 与 CO 的混合气体在一定条件下处理铁基催化剂的方法,也获得了比传统 H_2 处理更高的催化活性和更长的使用寿命.

为了探索预处理方法对Ni-Co双金属催化剂催化性能的影响,以 H_2 预处理为基础,再经原料气(CH_4 、 CO_2)或产物气(CO)预处理,考察了不同预处理方法对催化剂的沼气重整制氢性能的影响,并分别利用X射线衍射(XRD)、热重-差示扫描量热(TG-DSC)、透射电子显微镜(TEM)等手段对催化剂的晶相结构、表面积炭、微观结构与形貌进行了表征.

2 实验部分

2.1 催化剂的制备

将适量分析纯 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶于一定量的去离子水中配制成溶液,然后过量浸渍2.5–3.5 mm的球形 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$,室温静置6 h,120 °C下干燥12 h,850 °C下焙烧2 h,即得所需催化剂.

2.2 催化剂的预处理和活性评价

催化剂的沼气重整活性测试在固定床石英管反应器中进行.反应器内径为25 mm,催化剂用量为4.0 g,反应前催化剂经流量为 $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 的 H_2 ,700 °C下原位还原2 h(用氢处理,简称为H),然后分别在流量为 $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 的 CO 、 CH_4 和 CO_2 气氛下,850 °C下原位处理1 h(分别用氢和一氧化碳、氢和甲烷、氢和二氧化碳处理,分别记为HCM、HM和HCD).预处理后直接切换入模拟沼气进行活性评价.反应在常压、850 °C下进行,沼气由甲烷与二氧化碳按体积比1:1模拟而成,空间气速(GHSV)为 $6000 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.各种气体均经质量流量计(Alicat Scientific)计量后进入反应器,产物气经冷阱(冰水)除水后去色谱分析,并用皂膜流量计(SENSIDYNE, Gilian Gilibrator 2)测定流量.反应后的气体用GC7890 II型气相色谱仪(上海天美科学仪器有限公司)进行分析,热导检测器,Ar为载体气,色谱柱为 $\Phi 3 \text{ mm} \times 3 \text{ m}$ 不锈钢柱,TDX-01作担体,柱室温度为150 °C.反应物的转化率及产物的选择性由以下公式计算:

$$X_{\text{CH}_4} = \frac{F_{\text{CH}_4, \text{in}} - F_{\text{CH}_4, \text{out}}}{F_{\text{CH}_4, \text{in}}} \times 100\%$$

$$X_{\text{CO}_2} = \frac{F_{\text{CO}_2, \text{in}} - F_{\text{CO}_2, \text{out}}}{F_{\text{CO}_2, \text{in}}} \times 100\%$$

$$S_{\text{H}_2} = \frac{F_{\text{H}_2}}{2(F_{\text{CH}_4, \text{in}} - F_{\text{CH}_4, \text{out}})} \times 100\%$$

$$S_{\text{CO}} = \frac{F_{\text{CO}}}{(F_{\text{CH}_4, \text{in}} - F_{\text{CH}_4, \text{out}}) + (F_{\text{CO}_2, \text{in}} - F_{\text{CO}_2, \text{out}})} \times 100\%$$

$$F_i = F_{\text{total}} \cdot c_i$$

式中 X 、 F 、 S 分别表示反应物转化率、物料体积流量及产物的选择性, 其中 F_{total} 为产物的总体积流量, c_i 为产物中组分 i 的体积浓度.

2.3 催化剂的表征

催化剂的晶相结构由D/max 2550型X射线衍射仪(XRD, 日本理学公司)测定, Cu $K\alpha$ 射线, 管电压40 kV, 管电流100 mA, 测量步长 0.02° , 扫描范围为 10° – 100° .

催化剂的表面积采用STA449C型热分析仪(德国NETZSCH公司)对样品进行TG-DSC分析. 约10 mg样品置于样品 Al_2O_3 坩埚中, 在5% (体积分数) O_2/N_2 气氛中以 $10^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的升温速率升温至 1000°C , 以氮气作为保护气, 空 Al_2O_3 坩埚作参比.

催化剂的微观结构与形貌用JEM-2010型透射电子显微镜(TEM, 日本电子公司)测试, 加速电压为200 kV.

3 结果与讨论

3.1 催化剂的活性评价

不同预处理方法对催化剂上沼气重整过程中

CH_4 及 CO_2 转化率的影响如图1所示. 由图1(a)可知, 经H、HCM、HM处理的催化剂活性都具有明显诱导期, 在实验时间内活性始终保持缓慢上升. 这可能是由于反应起始阶段, 碳的沉积使催化剂活性较低, 但随着反应的进行, 催化剂中的部分 NiAl_2O_4 尖晶石在高温下被逐渐还原出来, 从而使催化剂活性位逐渐增多所致.¹⁶ 与经H处理的催化剂相比, 经HCM处理后催化剂的活性无明显变化, 经HM处理后的催化剂的活性大幅降低, 而经HCD处理后的催化剂的活性明显提高, 且没有明显的诱导期, 在整个实验时间内活性始终保持稳定. 反应9 h后, 经H、HCM、HM和HCD处理的 CH_4 转化率分别为87.69%、86.55%、58.05%和94.90%. 由图1(b)可知, CO_2 转化率的变化趋势与 CH_4 转化率的变化趋势基本相同.

3.2 催化剂的XRD表征

不同方法处理后的催化剂反应前后的XRD谱如图2所示. 由图2(a)可见, 经H处理后催化剂反应前有明显的 Ni/Co^0 衍射峰和 Ni/Co^{2+} (Ni/Co 的氧化物)衍射峰, 说明活性金属以 Ni/Co^0 和 Ni/Co^{2+} 两种形式存在. 经HM处理后的催化剂反应前有明显的石墨碳衍射峰(PDF-26-1079), 表明 CH_4 处理过程中 CH_4 在 Ni/Co^0 上发生了裂解反应产生了沉积碳, 其中的非活性碳覆盖了催化剂的部分活性位, 这可能是导致催化剂活性严重下降的主要原因(见图1). 此外, Ni/Co^{2+} 衍射峰明显降低, 而 Ni/Co^0 衍射峰明显增强, 表明有部分 Ni/Co^{2+} 被还原. 经HCM处理后, 催化剂反应前的XRD谱与H处理后的无明显差异, 这

图1 不同方法预处理后催化剂的反应活性

Fig.1 Reactivity of catalysts pretreated by various routes

reaction conditions: $V_{\text{CH}_4}:V_{\text{CO}_2}=1$, gas hourly space velocity (GHSV)= $6000 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, $p=101.3 \text{ kPa}$, $T=850^\circ\text{C}$. H: reducing the catalyst *in situ* for 2 h in pure hydrogen at a flow rate of $30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ at 700°C ; HCM: after H was conducted, continue to treat the catalyst *in situ* for 2 h in pure carbon monoxide at a flow rate of $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ at reaction temperature, 850°C ; HM: after H was conducted, continue to treat the catalyst *in situ* for 2 h in pure methane at a flow rate of $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ at reaction temperature, 850°C ; HCD: after H was conducted, continue to treat the catalyst *in situ* for 2 h in pure carbon dioxide at a flow rate of $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ at reaction temperature, 850°C ; X: conversion rate

图2 经不同方法预处理后催化剂的XRD谱
Fig.2 XRD patterns of catalysts pretreated by various routes
(a) before reaction, (b) after reaction

是由于该处理过程中,实际上是催化剂先后经H₂与CO还原,在还原温度较低时,由于催化剂已经被H₂还原,因而很难再将未还原的金属氧化物还原成金属,进而对催化剂反应活性也无明显影响(见图1).经HCD处理后的催化剂没有明显的Ni/Co⁰衍射峰,而且Ni/Co²⁺衍射峰明显增强,表明经该方法预处理后绝大部分被还原出来的Ni/Co⁰又被氧化成金属氧化物,这是因为CO₂在催化剂上分解后,产生的O部分将Ni/Co⁰氧化.由于CO₂会吸附在金属表面,可以为后续的重整反应提供吸附态O,使CH₄裂解产生的C能及时被反应生成CO,减少了碳的沉积,加快了催化反应速率,从而显著提高了催化剂的初始活性,基本消除了诱导期.^{1,17}

由图2(b)可见,催化剂经HCD处理反应9 h后,出现了较弱的活性金属峰,这表明随着反应的进行,部分金属氧化物被还原成Ni/Co⁰.对比图2(a)与图2(b)可知,反应后Ni/Co⁰衍射峰增强,表明Ni/Co⁰晶粒有所增大.利用Scherrer公式计算出处理并反应后的催化剂中Ni/Co⁰晶粒大小见表1.催化剂经HCD处理反应后的活性金属晶粒最小(15.0 nm).较小的晶粒有利于提高晶粒的分散度,增加催化剂的

表1 经不同方法预处理后催化剂反应后的金属晶粒平均大小

Table 1 Average size of metal crystallites of reacted catalysts pretreated by various routes				
Treat route	H	HCM	HM	HCD
Average size of nickel crystallites/nm	17.1	16.8	18.0	15.0

反应活性位,从而提高催化活性.此外,经H、HCM和HM处理反应后,XRD谱中均有明显的石墨碳衍射峰,说明催化剂表面有石墨碳沉积,而石墨碳是非活性碳,沉积的石墨碳会覆盖部分活性位,降低催化活性,经HCD处理反应后却没有明显的石墨碳衍射峰,说明经HCD处理能改善催化剂的抗积炭性能,从而可提高催化活性,与图1的结果一致.

3.3 催化剂的TG-DSC表征

常压条件下,理论上温度要高于950℃才能避免催化剂的积炭,⁴所以本实验反应后的催化剂都有不同程度的积炭.不同方法处理后催化剂的积炭和表面平均积炭速率情况用TG-DSC表征,结果如图3及表2所示.图3中400–750℃的失重是由沉积炭的氧化造成的.³在此温度范围内,经HCM和HM处理并反应9 h后催化剂的DSC曲线(图3(b, c, e))中有两个不同的放热峰(550和650℃),分别对应C₈(丝状碳)与C_v(石墨碳),而且碳种类以最能导致催化剂失活的石墨碳为主.¹⁸经H和HCD处理的催化剂的DSC曲线(图3(a, d))有三个不同放热峰(500、550和650℃),分别对应C_a(无定形碳)、C₈(丝状碳)或C_v(石墨碳),而且碳种类以对反应活性有一定促进作用的C_a物种为主,¹⁸石墨碳的含量相对较少,从而在一定程度上导致催化剂具有较好的活性与稳定性.从积炭速率来看,经HM处理后的催化剂反应过程中的积炭速率最低,但这可能是由于其处理过程中的积炭速率极高(56.475 mg·g⁻¹·h⁻¹),产生大量积炭覆盖了催化剂的反应活性位,导致反应速率大幅下降.反应9 h后经HCD处理后的积炭速率较低,仅为2.835 mg·g⁻¹·h⁻¹,说明经HCD处理能显著提高催化剂的抗积炭性能,从而可提高催化剂的使用寿命,这与XRD结果一致.

3.4 催化剂的TEM表征

不同方法处理后催化剂反应前的TEM表征结果和金属颗粒的粒径分布如图4、图5所示.由图可知,经H、HCM和HM处理后的催化剂中金属Ni/Co颗粒粒径相差不大,平均粒径分别为6.0、6.8和6.2 nm.从图4还可看出,经HM处理的催化剂反应后有明显的丝状碳,这些丝状碳会覆盖部分活性位,从

图3 不同方法预处理后催化剂反应后的TG-DSC曲线

Fig.3 TG-DSC curves of the reacted catalysts pretreated by various routes

(a) treated by H, (b) treated by HCM, (c) treated by HM, (d) treated by HCD, (e) HM-B: treated by HM before reaction

图4 不同方法预处理后催化剂反应前的TEM图

Fig.4 TEM images of catalysts pretreated by various routes before reaction

而影响重整反应活性, 并会加剧活性金属的团聚,¹⁹ 经HCD处理的催化剂反应后没有明显的金属颗粒存在, 说明金属颗粒可能极其微小, 且分散度较高, 或者没有金属单质, 这与XRD分析结果一致。

不同方法预处理后催化剂反应9 h后的TEM结果和金属颗粒粒径分布分别如图6、图7所示。经H、HCM、HM和HCD处理后, 催化剂反应后的平均金属颗粒粒径分别为12.0、9.6、10.1和8.9 nm。与反应前相比, 反应后的催化剂中金属颗粒都明显增大。经HM处理后的催化剂反应前便有明显的丝状碳(图4(HM)), 当催化剂表面积炭足够多时, 将覆盖催

化剂的活性位阻止甲烷的进一步分解,²⁰⁻²² 从而使活性明显下降, 并加剧反应后的积炭。经H、HCM、HCD处理后, 催化剂反应后没有明显的丝状碳。经

图5 不同方法预处理后催化剂反应前金属Ni颗粒的粒径分布

Fig.5 Ni particle size distribution of the catalysts pretreated by various routes before reaction

表2 不同方法预处理后催化剂反应后的平均积炭速率(v_c)Table 2 Average coking rate (v_c) of reacted catalysts pretreated by various routes

Treat route	H	HCM	HM	HCD	HM-B
$v_c/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$	3.040	6.428	0.230 ^a	2.835	56.475

^aCarbon deposition of HM-B was subtracted.

图6 不同方法预处理后催化剂反应后的TEM图

Fig.6 TEM images of the reacted catalysts pretreated by various routes

图7 不同方法预处理后催化剂反应后中金属Ni颗粒的粒径分布

Fig.7 Ni particle size distribution of the reacted catalysts pretreated by various routes

HCD处理后, 催化剂反应后金属颗粒较小, 粒径分布范围较窄且分散度较高, 表明经处理后能延缓金属Ni/Co在反应过程中发生团聚、烧结, 有利于提高催化剂的抗积炭性及稳定性。

4 结 论

Ni-Co 双金属催化剂经 H_2 预处理后, 再分别经 CO 、 CH_4 与 CO_2 处理, 活性测试结果表明, 与传统的 H_2 预处理相比, H_2 与 CO 预处理对催化剂的反应活性和抗积炭性能影响不大; H_2 与 CH_4 预处理显著降低了催化剂的反应活性和抗积炭性能; H_2 与 CO_2 预处理则能显著提高催化剂的反应活性, 基本消除催化反应诱导期。分析结果表明, 经 H_2 与 CO_2 预处理的催化剂反应后金属颗粒较小、分布较均匀, 粒径分布范围较窄, 从而减少了催化剂表面碳的沉积, 增强了催化剂的抗积炭性能与抗烧结性能, 可以延长催化剂的使用寿命。

References

- (1) Xu, J. K.; Shen, L. H.; Zhou, W.; Ma, J. X. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2011**, 27 (3), 697. [徐军科, 沈利红, 周 伟, 马建新. 物理化学学报, **2011**, 27 (3), 697.] doi: 10.3866/PKU.WHXB20110309
- (2) Feng, Y. Z.; Gou, Y.; Yang, G. H.; Qin, X. W.; Song, Z. L. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **2012**, 16 (8), 5617.
- (3) Li, C. L.; Fu, Y. L.; Bian, G. Z. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2003**, 19 (10), 902. [李春林, 伏义路, 卞国柱. 物理化学学报, **2003**, 19 (10), 902.] doi: 10.3866/PKU.WHXB20031004
- (4) Meshkani, F.; Rezaei, M. *J. Nat. Gas. Chem.* **2011**, 20, 198. doi: 10.1016/S1003-9953(10)60169-7
- (5) Corthals, S.; Nederkassel, J. V.; Winne, H. D.; Geboers, J.; Jacobs, P.; Sels, B. *Appl. Catal. B-Environ.* **2011**, 105, 263. doi: 10.1016/j.apcatb.2011.04.008
- (6) Tao, X. M.; Bai, M. G.; Li, X.; Long, H. L.; Shang, S. Y.; Yin, Y. X.; Dai, X. Y. *Prog. Energ. Combust. Sci.* **2011**, 37, 113. doi: 10.1016/j.peccs.2010.05.001
- (7) Yu, C. C.; Ding, X. J. *Chin. J. Mol. Catal.* **1993**, 7, 151. [余长春, 丁雪加. 分子催化, **1993**, 7, 151.]
- (8) Sun, X. X.; Li, X. M.; Li, J. H.; Fan, Y. M.; Xu, H. Y.; Su, Y.; Shi, K. Y.; Xu, G. L. *Chem. J. Chin. Univ.* **1992**, 10, 1302. [孙希贤, 李新民, 李建华, 范业梅, 徐恒泳, 苏 玉, 史克英, 徐国林. 高等学校化学学报, **1992**, 10, 1302.]
- (9) Ni, J.; Chenb, L. W.; Lin, J. Y.; Kawi, S. *Nano Energ.* **2012**, 1 (5), 674. doi: 10.1016/j.nanoen.2012.07.011
- (10) Xu, J. K.; Li, Z. J.; Wang, J. H.; Zhou, W.; Ma, J. X. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2009**, 25 (2), 253. [徐军科, 李兆静, 汪吉辉, 周 伟, 马建新. 物理化学学报, **2009**, 25 (2), 253.] doi: 10.3866/PKU.WHXB20090210
- (11) Yu, X. P.; Wang, N.; Chu, W.; Liu, M. *Chem. Eng. J.* **2012**, 209, 623.
- (12) Lv, X. Y.; Chen, J. F.; Tan, Y. S.; Zhang, Y. *Catal. Commun.* **2012**, 20, 6. doi: 10.1016/j.catcom.2012.01.002
- (13) Chen, J. X.; Qiu, Y. J.; Zhang, J. Y.; Su, W. H. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2004**, 20 (1), 76. [陈吉祥, 邱业君, 张继炎, 苏万华. 物理化学学报, **2004**, 20 (1), 76.] doi: 10.3866/PKU.WHXB20040116

- (14) Husserl, J. J.; Velen, J. P. V. M. J.; Koser, R. Activation Route of Catalysts for Fischer Tropsch Synthesis. CN Patent 10 179 6166A, 2010-08-04. [胡塞尔·J·J, 扬塞梵维伦·M·J, 科泽·R. 费-托催化剂的活化方法: 中国, CN101796166A[P]. 2010-08-04.]
- (15) Green, M. L. H.; Xiao, T. C. Activation Route for Cobalt Compound Based and Carried Catalysts. CN Patent 1541139A, 2004-01-27. [马尔科姆·莱斯利·候德·格林, 肖天存. 含有钴化合物和载体的催化剂的活化方法: 中国, CN1541139A [P]. 2004-01-27.]
- (16) Xu, J. K.; Ren, K. W.; Wang, X. L.; Zhou, W.; Pan, X. M.; Ma, J. X. *Acta Phys. -Chim. Sin.* **2008**, *24* (9), 1568. [徐军科, 任克威, 王晓蕾, 周 伟, 潘相敏, 马建新. 物理化学学报, **2008**, *24* (9), 1568.] doi: 10.3866/PKU.WHXB20080907
- (17) Benito, M.; García, S.; Ferreira-Aparicio, P.; Serrano, L. G.; Daza, L. J. *Power Sources* **2007**, *169* (1), 177. doi: 10.1016/j.jpowsour.2007.01.046
- (18) Xu, J. K.; Li, Z. J.; Wang, J. H.; Zhou, W.; Ma, J. X. *Int. J. Hydrog. Energy* **2010**, *35* (23), 13013.
- (19) Tomishige, K.; Chen, Y. G.; Fujimoto, K. *J. Catal.* **1999**, *181*, 91. doi: 10.1006/jcat.1998.2286
- (20) Solymosi, F. *J. Mol. Catal.* **1991**, *65* (3), 337. doi: 10.1016/0304-5102(91)85070-I
- (21) Damyanova, S.; Bueno, J. M. C. *Appl. Catal. A* **2003**, *253* (1), 135. doi: 10.1016/S0926-860X(03)00500-3
- (22) Nagaoka, K.; Seshan, K.; Aika, K.; Lercher, J. A. *J. Catal.* **2001**, *197*, 34. doi: 10.1006/jcat.2000.3062

第十七次全国电化学大会第一轮通知

由中国化学会电化学委员会主办、苏州大学承办的第十七次全国电化学大会将于2013年11月7-11日在江苏省苏州市举行。本次会议的主题是“新能源与低碳经济中的电化学”。

中国化学会电化学委员会和本次大会组委会热诚邀请从事电化学基础研究、应用研究、仪器开发以及产业界的海内外同仁聚会苏州,交流和展示最新研究成果,进一步推动电化学科学和技术的发展及其在国民经济中的应用。

一、会议安排

1、大会报告

6-8人,每人40分钟。

2、分会报告(含主题报告)

分设9个分会会场,各分会会场安排邀请报告和口头报告,邀请报告每人25分钟,口头报告每人15分钟。

基础电化学(包括谱学电化学和电催化);锂离子电池(正极材料及相关研究,包括锂硫电池核锂空气电池);锂离子电池(负极、电解液和系统等);燃料电池;其他电池及超级电容器;有机、环境与工业电化学(有机电合成,电解、电镀、金属腐蚀与防护、电沉积和表面处理技术等);纳米与材料电化学(纳米电化学、功能材料电化学等);电分析化学和生物电化学(包括电化学传感器等);光电化学(包括无机、有机光电材料与器件等)。

3、墙报

每篇论文限一个展板,在展出期间至少有一位作者现场讲解和回答问题。

4、电化学前沿和应用专题讨论

5、产品及仪器展示和电化学仪器新技术讨论

二、投稿方式、起始和截止日期

投稿起始和截止日期2013年5月1日-8月1日,论文用在线投稿方式投稿,论文格式要求及其他有关会议详情请登陆会议官方网站:<http://17cse.suda.edu.cn>。

三、电化学技术与应用专题讲座

面向电化学领域的青年科技工作者和学生,聘请4位国内知名电化学专家于11月7日分别开展专题讲座,讲座内容包括:基础电化学测试技术与解析方法;交流阻抗技术与应用;电化学中的原位光谱学技术;电化学论文写作与投稿。

四、联系方式

地 址:江苏省苏州市十梓街1号苏州大学能源学院;邮 编:215006

联系人:张力(+86-13451541592),Email: zhangli81@suda.edu.cn; 杨瑞枝(+86-512-65221519),Email: yangrz@suda.edu.cn;

赵亮(+86-13812762203),Email: cse2013@126.com

电话/传真: +86-512-67875503

第十七次全国电化学大会组委会
苏州大学能源学院
2012年12月12日