

## 知识介绍

# 二氧化碳催化转化在化学合成中的应用

孙鲲鹏 丘凤炎 徐贤伦

(中国科学院兰州化学物理研究所羧基合成与选择氧化国家重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:** 二氧化碳的转化利用是 C<sub>1</sub> 化学研究的前沿课题之一。综述了近年来 CO<sub>2</sub> 催化转化在开发绿色合成工艺以及制备高附加值化工原料等方面的最新进展。

**关键词:** 二氧化碳; 催化; 氢化; 转化

中图分类号: O623.66

文献标识码: A

## Catalytic conversion of carbon dioxide in chemical synthesis

SUN Kun-peng, QIU Feng-yan, XU Xian-lun

(State Key Laboratory for Oxo Synthesis and Selective Oxidation, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 73000, China)

**Abstract:** The utilization of carbon dioxide as a C1 building block in chemical synthesis is one of frontier research areas. The present situation of catalytic conversion of carbon dioxide used to develop green synthesis processes and produce chemicals which are highly value-added is reviewed.

**Key words:** carbon dioxide; catalysis; hydrogenation; conversion

随着全球经济的发展,控制二氧化碳排放已成为全球性的战略目标,CO<sub>2</sub> 的回收转化利用是重要途径之一,研究开发二氧化碳的有效活化和固定化技术也成为 C<sub>1</sub> 化学的前沿课题之一。它的实际意义在于利用自然界中廉价而丰富的碳资源合成重要的化工产品,“催生”一系列绿色合成工艺,在环境保护、变革化工原料结构等方面形成良性循环。

## 1 合成甲醇

二氧化碳加氢合成甲醇催化剂大部分是由 CO 加氢制甲醇催化剂改进而得到的,主要有铜基催化剂、以贵金属为主要活性组分的负载型催化剂以及其他类型催化剂。除金属本身性质外,其催化活性还与分散度、助剂以及载体类型有很大关系,在各种催化剂中 Cu 基催化剂的研究最多,综合性能最好。

通过研究各种金属氧化物载体对 Cu 催化活性的影响发现,Cu-Zn 系催化剂是合成甲醇的高效催化剂,不同载体上甲醇收率大小有以下关系: Cu-

ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = Cu-ZnO/SiO<sub>2</sub> = Cu-ZnO/TiO<sub>2</sub> > Cu-ZnO/ZrO<sub>2</sub> = Cu-ZnO/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Cu-ZnO/CeO<sub>2</sub><sup>[1]</sup>。近来研究发现, Ca<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub> 能有效改善 Cu 的催化活性,少量 Pd 和 Rh 等贵金属的加入也能促进甲醇在 Cu-ZnO 催化剂上的形成<sup>[2,3]</sup>。开发甲醇合成催化剂的关键问题在于提高甲醇选择性的同时降低 CO 的选择性。迄今为止,人们已经开发了几种 Cu-ZnO 系高效催化剂,其反应性能如表 1 所示<sup>[1]</sup>。

表 1 几种二氧化碳加氢合成甲醇催化剂性能

催化剂	压力/温度/空速/			CH <sub>3</sub> OH 收率/ g·(L·h) <sup>-1</sup>
	MPa	°C	h <sup>-1</sup>	
<i>n</i> (H <sub>2</sub> ): <i>n</i> (CO <sub>2</sub> ) = 3:1				
CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	240	20000	411
CuO-ZnO-TiO <sub>2</sub>	5	240	20000	504
La/Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	250	4700	502
Cu-ZnO-Ca <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	250	18000	738
<i>n</i> (H <sub>2</sub> ): <i>n</i> (CO <sub>2</sub> ): <i>n</i> (CO) = 75:22:3				
Cu-ZnO-ZrO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	250	18000	785 <sup>①</sup>
Cu-ZnO-ZrO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5	250	10000	> 600
Pd/Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	270	18800	1300

注:①收率为每小时每公斤催化剂合成 CH<sub>3</sub>OH 的克数。

收稿日期:2002-07-17

作者简介:孙鲲鹏,男,1975年生,博士生;徐贤伦,男,1943年生,大学,研究员,博导,通讯联系人,主要从事多相催化、金属催化、选择性加氢等领域的研究。

## 2 合成乙醇

工业上乙醇的生产主要采用固体酸催化乙烯水合,该过程平衡转化率低,乙醇收率一般为 70~200 g/(L·h)。开发有效的替代路线正成为国内外研究的热点,特别是石油危机后,C<sub>1</sub> 化学的发展为之开辟了新的领域,但由于 S-F 碳数分布的限制,乙醇的选择性不够理想,同时催化剂以贵金属作为主要成分,工业化生产也不现实。尽管如此,这些研究使得 CO<sub>2</sub> 加氢合成乙醇成为可能。

### 2.1 Rh/SiO<sub>2</sub> 催化剂

在 CO 加氢合成乙醇催化剂的基础上,对各种助剂的促进作用进行了研究<sup>[4]</sup>,结果发现, Sr, Li 和 Fe 都能有效促进 CO<sub>2</sub> 加氢反应中乙醇的生成。在质量分数为 5% Rh-Fe-Li(1-1-1)/SiO<sub>2</sub> 催化剂上,反应条件为 5 MPa, 260℃, 空速 6 000 h<sup>-1</sup>,  $n(\text{H}_2)$ :

$n(\text{CO}) = 3:1$  时, CO<sub>2</sub> 转化率为 14%, 乙醇选择性达到 23%<sup>[1]</sup>。

### 2.2 多功能催化剂

如前所述,以贵金属为主要成分的催化剂成本太高,为此,必须寻找廉价的替代金属。对于多功能复合催化剂,它应当具有以下 4 种功能<sup>[5]</sup>:①CO<sub>2</sub> 部分还原生成 CO;②碳链的形成,③—OH 基团的形成,④保持催化剂表面的稳定结构。

Inui 等人<sup>[5,6]</sup>制备了 3 种单元反应催化剂,其组成和催化的单元反应分别为: Rh/非金属碳酸盐(CO<sub>2</sub> 部分还原生成 CO)、Fe/Cu/Al/K(碳链增长)、Cu/Zn/Al/K(—OH 基团插入),依次标记为 Cat. 1~3。表 2 给出了不同单元催化剂组合的实验结果。少量 Pd-Ga 的加入能有效维持氢的溢流平衡,保持反应过程中催化剂表面最佳氧化-还原状态。

表 2 单元反应催化剂不同组合时的反应性能

催化剂	温度/℃	空速/10 <sup>4</sup> h <sup>-1</sup>	CO <sub>2</sub> 转化率/%	产物选择性/% <sup>④</sup>				产物收率/g·(L·h) <sup>-1</sup>	
				MeOH	EtOH	HC <sup>⑤</sup>	CO	MeOH	EtOH
Cat. 1	350	3.9	16.1	0.00	0.00	0.6	99.4	0	0
Cat. 2	350	3.2	43.3	5.53	8.17	64.9	17.3	274	291
Cat. 3	350	2.0	30.0	22.5	0.00	0.3	77.2	495	0
(Cat. 1 + Cat. 2) <sup>①</sup>	350	2.0	41.9	8.51	11.0	58.4	19.2	418	378
Cats. (1 + 2) <sup>②</sup>	350	2.0	40.8	4.31	8.04	67.4	14.1	220	276
Cats. (2 + 3) <sup>②</sup>	330	2.0	39.5	6.22	15.8	60.6	14.9	175	321
Pd(Cat. 2 + Ga/Cat. 3) <sup>③</sup>	330	2.0	47.0	5.84	17.4	62.8	12.3	196	420
Pd(Ga/Cat. 2 + Cat. 3) <sup>③</sup>	330	2.0	54.5	5.18	17.0	64.5	9.72	202	476

注:①串联填充,  $m(\text{Cat. 1}):m(\text{Cat. 2}) = 2:1$ ; ②物理混合,  $m(\text{Cat. 1}):m(\text{Cat. 2}) = 2:1$ ,  $m(\text{Cat. 2}):m(\text{Cat. 3}) = 0.53$ ; ③  $m(\text{Pd}):m(\text{Fe 或 Cu})$ 、 $m(\text{Ga}):m(\text{Fe 或 Cu})$  分别为 0.03 和 0.32; ④产物选择性以碳物质的量计; ⑤甲烷为主要成分。

## 3 合成二甲醚

目前关于 CO<sub>2</sub> 加氢直接制取二甲醚(DME)的文献报道比较少<sup>[7]</sup>,主要是在高效甲醇合成催化剂的基础上选择合适的脱水组分。

Rao 等人<sup>[8]</sup>使用甲醇合成催化剂 Cu/ZnO/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合各种脱水组分,得到表 3 所示的实验结果。所用的脱水组分经 NH<sub>3</sub> TPD 分析,其酸位数量的关系是: CuNaY > HY > NaHY > SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > NaY > Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。HY 分子筛具有最宽的酸强度分布, NaY 的酸强度分布最窄,部分交换的 NaHY 和 CuNaY 分子筛酸强度居中。从结果看在该实验条件下,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的酸度不足以实现甲醇的脱水反应, SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 较  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 酸

度高,有较高的催化活性;而用碱性阳离子 Cu<sup>2+</sup> 部分交换得到的 CuNaY 分子筛催化活性明显提高。HY 分子筛活性最高,少量烃类物质的生成可能与其强酸中心有关,通过 Na<sup>+</sup> 对 HY 分子筛改性(如 NaHY)可消除烃类物质的产生。Tao 制备的 Cu-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + ZSM-5(80) 催化剂也表现出较高的催化活性和良好的稳定性<sup>[9]</sup>。

近年来,国内学者也对 CO<sub>2</sub> 加氢合成二甲醚催化剂进行了研究。葛庆杰<sup>[10]</sup>对 Cu-Zn-ZrO<sub>2</sub>/HZSM-5 催化剂进行了评价,在 240℃, 2.0 MPa, 空速为 1 500 h<sup>-1</sup> 的反应条件下, CO<sub>2</sub> 转化率达到 35%, 二甲醚选择性达到 60%。同样以 HZSM-5 分子筛为脱水组分, Fei J H 等人<sup>[11]</sup>采用传统的浸渍方法制备了不同



化为合成气,然后由合成气通过费-托法制备其他含氧化合物或烃类物质。上述过程中,甲烷中的氢首先从分子中分离,然后在第二步重新引入,从整个反应循环来看做了太多的无用功;此外反应本身需要很大的能量消耗。因此最理想的过程是直接催化转化,而不经合成气。

### 5.1 一步反应催化转化

部分稀土金属氧化物(如  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$  等)在高温下( $> 1\ 000\ \text{K}$ )具有一定的  $\text{C}_2$  烃选择性,但反应物转化率和  $\text{C}_2$  烃收率均不如人意。Ye Wang 等人<sup>[25]</sup>将碱土金属氧化物  $\text{CaO}$  负载在  $\text{CeO}$  上,在  $1\ 173\ \text{K}$  时得到  $\text{C}_2$  烃的选择性达  $60\% \sim 70\%$ ,收率大于  $5\%$ 。为进一步提高产物收率,国内外学者尝试了不同负载型金属氧化物催化剂,结果如表 4 所示<sup>[26]</sup>。

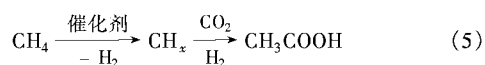
由此可见, $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  共催化转化一步反应的研究虽有一定进展,但依然存在 2 个需要解决的关键问题:一是反应物转化率低( $< 5\%$ );二是反应温度过高( $> 1\ 000\ \text{K}$ )。

表 4 部分负载型金属氧化物的催化活性

金属氧化物	载体	$X_{\text{CH}_4}/\%$	$X_{\text{CO}_2}/\%$	$S_{\text{C}_2}/\%$	反应温度/ $\text{K}$
$\text{Na}_2\text{WO}_4\text{-Mn}$	$\text{SiO}_2$	4.73	2.32	94.5	1093
$\text{La}_2\text{O}_3$	$\text{ZnO}$	3.1	3.7	97.0	1123
$\text{PbO}$	$\text{MgO}$	$< 4$	$< 4$	$\approx 100$	1023
$\text{CaO}$	$\text{CeO}_2$	$< 6$	—	$60 \sim 70$	1173

### 5.2 两步反应低温转化

$\text{CH}_4\text{-CO}_2$  低温直接转化的研究很少。通过对  $\text{CH}_4$  低温活化与  $\text{CO}_2$  加氢研究成果的分析,W Huang<sup>[27]</sup>提出了在  $\text{CO}_2$  加氢催化剂上  $\text{CH}_4$  表面吸附物种( $\text{CH}_x$ )与  $\text{CO}_2$  低温转化直接合成含氧化合物的可行性,并进行了热力学分析和实验验证,总反应的热力学限制( $\Delta G_{298}^\circ = 63.454\ \text{kJ/mol}$ )可通过 2 个分步反应(反应式 5)加以克服。借鉴甲烷非氧化偶联方法,两步反应可以在等温或非等温条件下进行。实验采用  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  交替进料的周期性进料方式,在  $\text{Cu-Co}$  催化剂上得到了醇、醛、酸、酮以及环戊烷衍生物等物质,产物分布随进料方式有很大变化。



## 6 合成甲胺

甲胺在药物的合成、用作表面活性剂以及离子交换树脂等方面有广泛应用。工业上甲胺的生产多采用  $\text{CH}_3\text{OH}/\text{NH}_3$  的脱水反应,产物以三甲胺(TMA)

为主。从  $\text{H}_2/\text{CO}_2/\text{NH}_3$  出发直接制备甲胺是近年来发展起来的一种新的合成路线,产物以一甲胺(MMA)和二甲胺(DMA)为主<sup>[28]</sup>。在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  负载的各种金属催化剂中,Cu 和 Ag 表现出很高的 MMA 选择性,副产物主要是逆水气反应产生的一氧化碳。载体的酸碱性和 Cu 基催化剂活性影响显著<sup>[29]</sup>,在以下载体上甲胺收率递增: $\text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{ZrO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{ZnO} > \text{MgO}$ 。载体  $\text{ZnO}$ 、 $\text{MgO}$  表面以碱性为主,其负载的 Cu 基催化剂对氨的吸附力弱,导致  $\text{NH}_3$  的表面覆盖度较低;相反,在酸性较强的  $\text{SiO}_2$  载体上,生成的甲胺较氨更利于吸附在活性中心。

## 7 二氧化碳的共聚

二氧化碳共聚是指二氧化碳和其他化合物如环氧化物共聚以合成高分子材料。能与  $\text{CO}_2$  发生共聚的单体较多,有环氧化物、烯类单体、羰基化合物、二胺、碱金属的二羟基盐或二酚盐等。 $\text{CO}_2$  与环氧化物共聚合成高分子质量的聚碳酸酯的反应是化学固定  $\text{CO}_2$  的重要成果,可代替传统的光气法,具有原料价格便宜、来源广泛的优势。催化体系主要有二乙基锌、稀土配位催化剂、双金属、戊二酸锌等。用  $\text{ZnEt}_2\text{-H}_2\text{O}$  催化时,在  $30^\circ\text{C}$  下实现共聚,相对分子量达数百万。戊二酸锌催化的反应在  $85^\circ\text{C}$  下进行,催化效率高达  $5\ 082\ \text{g/mol}$  催化剂,已经具备一定的实用性,并在国外形成了小批量商品。 $\text{CO}_2$  和环氧化物可以与第三种单体聚合得到三元共聚物。有效的第三单体除赋予共聚物以不同的性质外,还可以帮助反应进行。这些单体包括环氧化物、环状酸酐、己内酯、(甲基)丙烯酸酯、苯乙烯、异氰酸苯酯(PI)等<sup>[30]</sup>。

由于能源的日益枯竭和全球温室效应不断加剧,作为世界上最丰富的碳资源之一,二氧化碳的催化转化在化学合成应用中已引起广泛关注,阻碍二氧化碳的大规模利用的关键问题是其有效的活化。近年来等离子体、光电以及酶等催化方法的研究也在进行,设计合理的催化体系和反应途径,结合二氧化碳结构探索催化活化机理将成为一项极具挑战性的工作。

### 参考文献

- [1] Arakawa H. Research and development on new synthetic routes for basic chemicals by catalytic hydrogenation of  $\text{CO}_2$  [J]. Stud Surf Sci Catal, 1998(114): 19 ~ 30
- [2] Cabrera I M, Granados M I, Terreros P, et al.  $\text{CO}_2$  hydrogenation over

- Pd-modified methanol synthesis catalysts[J]. *Catal Today*, 1998(45): 251 ~ 256
- [3] Lee J S, Moon K I, Lee S H, et al. Modified Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for methanol synthesis from CO/H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>[J]. *Catal Lett*, 1995, 34(1/2): 93 ~ 99
- [4] Kusama H, Okabe K, Arakawa H. CO<sub>2</sub> hydrogenation to ethanol over promoted Rh/SiO<sub>2</sub> catalyst[J]. *Catal Today*, 1996(28): 261 ~ 266
- [5] Inui T, Yamamoto T. Effective synthesis of ethanol from CO<sub>2</sub> on poly-functional composite catalysts[J]. *Catal Today*, 1998, 45(1—4): 209 ~ 214
- [6] Inui T, Yamamoto T, Takeguchi T. Highly effective synthesis of ethanol by CO<sub>2</sub>-hydrogenation on well balanced multi-functional FT-type composite catalysts[J]. *Appl Catal, A*, 1999, 186(1/2): 395 ~ 406
- [7] Dubois J L, Sayama, Arakawa K. Conversion of CO<sub>2</sub> to dimethylether and methanol over hybrid catalysts[J]. *Chem Lett*, 1992(7): 1115
- [8] Jun K W, Jung M H, Lee K W. Effective conversion of CO<sub>2</sub> to methanol and dimethyl ether over hybrid catalysts[J]. *Stud Surf Sci Catal*, 1998, 114: 447 ~ 450
- [9] 卢振举, 林培滋, 冯喜云. CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> 制含氧化合物的研究[J]. *分子催化*, 1993, 7(2): 156 ~ 159
- [10] 葛庆杰, 黄友梅, 丘风炎. CO<sub>2</sub> 加氢直接制取二甲醚的研究[J]. *分子催化*, 1997, 11(14): 297
- [11] Qi G X, Fei J H, Hou Zh Y. DME synthesis from carbon dioxide and hydrogen over Cu-Mo/HZSM-5[J]. *Catal Lett*, 2001, 72(1/2): 121 ~ 124
- [12] Jessop P G, Ikariya T, Noyori R. Homogeneous catalytic hydrogenation of supercritical carbon dioxide[J]. *Nature (London)*, 1994, 368(6468): 231 ~ 233
- [13] Schmid I, Rohrer M, Baiker A. A mesoporous ruthenium silica hybrid aerogel with outstanding catalytic properties in the synthesis of N,N-diethylformamide from CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, and diethylamine[J]. *Chem Commun*, 1999(22): 2302
- [14] Ikehara N, Hara K, Murakami Y. Unique temperature dependence of acetic acid formation in CO<sub>2</sub> hydrogenation on Ag-promoted Rh/SiO<sub>2</sub> catalyst[J]. *Chem Lett*, 1994(2): 263
- [15] Fukuoka A, Gotoh N, Komiya S. Homogeneous bimetallic catalysts for production of carboxylic acids from carbon dioxide, hydrogen, and organic iodides[J]. *Chem Lett*, 1995(7): 567 ~ 568
- [16] Arasta M, Dibenedetto A, Tommasi I. Developing innovative synthesis technologies of industrial relevance based on carbon dioxide as raw material[J]. *Energy Fuels*, 2001, 15: 269 ~ 273
- [17] Aresta M, Tommasi I. Mechanism of formation of peroxocarbonates RhOOC(O)O(Cl)(P)<sub>3</sub> and their reactivity as oxygen transfer agents mimicking monooxygenases[J]. *Inorg Chem*, 1996, 35(14): 4254 ~ 4257
- [18] Kizlink J. Preparation of DMC from methanol and carbon dioxide in the presence of organotin compounds[J]. *Collect Czech Chem Commun*, 1993, 58(6): 1399 ~ 1401
- [19] Kizlink J, Pastucha I. Preparation of DMC from methanol and carbon dioxide in the presence of Sn(IV) and Ti(IV)[J]. *Collect Czech Chem Commun*, 1995, 60(4): 687 ~ 692
- [20] Tomishige K, Sakaihorii T, Fujimoto K. A novel method of direct synthesis of dimethyl carbonate from methanol and carbon dioxide catalyzed by Zirconia[J]. *Catal Lett*, 1999, 58(4): 225 ~ 229
- [21] Ikeda Y, Sakaihorii T, Fujimoto K. Promoting effects of phosphoric acid on zirconia catalysts in selective synthesis of dimethyl carbonate from methanol and carbon dioxide[J]. *Catal Lett*, 2000, 66(1/2): 59
- [22] Tomishige K, Furusawa Y, Fujimoto K. CeO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> solid solution catalyst for selective synthesis of dimethyl carbonate from methanol and carbon dioxide[J]. *Catal Lett*, 2001, 76(1/2): 71 ~ 74
- [23] Jung K T, Bell A T. An in situ infrared study of dimethyl carbonate synthesis from carbon dioxide and methanol over Zirconia[J]. *J Catal*, 2001, 204(2): 339 ~ 347
- [24] 曹发海, 刘殿华, 柯思明. 超临界 CO<sub>2</sub> 与甲醇直接合成碳酸二甲酯[J]. *华东理工大学学报*, 2000, 20(3): 248 ~ 250
- [25] Wang Y, Takahashi Y, Ohtsuka Y. Carbon dioxide-induced selective conversion of methane to C<sub>2</sub> hydrocarbons on CeO<sub>2</sub> modified with CaO[J]. *Appl Catal*, 1998, 172(1): 203 ~ 206
- [26] 张秀玲, 宫为民, 代斌, 等. CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> 一步合成 C<sub>2</sub> 烃研究进展[J]. *天然气化工*, 2001, 26(5): 58 ~ 61
- [27] Huang W, Xie K C, Wang J P. Possibility of direct conversion of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> to high-value products[J]. *J Catal*, 2001, 201(1): 100 ~ 104
- [28] Gredig S V, Köppel R A, Baiker A. Comparative study of synthesis of methylamines from carbon dioxide and ammonia over Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[J]. *Catal Today*, 1996, 29(1-4): 339 ~ 342
- [29] Gredig S V, Köppel R A, Baiker A. Synthesis of methylamines from CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, and NH<sub>3</sub>. Catalytic behavior of various metal-alumina catalysts[J]. *Appl Catal, A*, 1997, 162(1/2): 249 ~ 260
- [30] 陈立班. 二氧化碳共聚物的合成、性质和应用[J]. *高分子通报*, 1999, 3: 128 ~ 133

《上海化工》杂志创刊于 1972 年, 大 16 开, 是目前中国石油化工行业中颇具知名度的大型综合性科技月刊。2003 年改为月刊, 全年订价 120 元。

#### 三大特色版块:

论文园地: 分为“环境保护、技术进步、综述、情报调研、译海撷英、技术经济、热点项目评析”等栏目, 特邀专家学者撰写文章, 展示新世纪化工行业海内外最新科研成果。

信息精粹: “要闻与动态”(下设“半月要闻”、“科研动态”、“投产鉴定”等栏目)、“海外化工”(下设“科技之窗”、“国际市场”等栏目)等特色

专栏, 关注化工行业之动态, 传递信息之精粹。

化工市场: “市场动态”、“市场焦点”、“进出口信息”、“会员供求”等栏目, 汇总上海化工市场 84 种商品价格行情, 聚焦市场热点, 发布企业商品信息, 分析行情, 前瞻走势。

#### 订阅方法:

1. 邮发代号为 4-501, 订户可前往当地邮局办理订阅手续。
2. 银行帐号为(上海市化工科学技术情报研究所, 1001251109008961061, 工行卢支行海分处), 订户可汇寄订费并附函详告地址、邮编以及联系人。
3. 发行地址为(200020 上海市思南路 30 号《上海化工》发行部收)。