

分析测试

煤直接液化过程中酚类的转化规律及检测方法

李伟, 申峻, 侯丽红, 凌开成

(太原理工大学化学化工学院, 山西太原 030024)

摘要: 主要论述了低阶煤中各种酚羟基种类对煤液化过程的影响, 以及煤液化产物中酚类产品的生成原因, 并系统性地对煤液化油馏分中酚类产品的分布、分析检测方法及提取方法等进行了总结。

关键词: 煤直接液化; 酚; 产品分布; 分析方法; 提取方法

中图分类号: O657.7

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2011)07-0092-04

Conversion rules and measuring methods of phenols during direct coal liquefaction process

LI Wei, SHEN Jun, HOU Li-hong, LING Kai-cheng

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The influence of phenol and formation reasons during the direct coal liquefaction process are mainly discussed in this paper. The phenol distribution in the coal liquefaction products, and the analysis method of phenol and the extraction method in the coal liquefaction oil fraction were systematically summarized.

Key words: direct coal liquefaction; phenols; distribution of product; analysis; extraction

煤炭直接液化(下简称“煤液化”)涉及的煤为低阶煤, 主要包括褐煤、烟煤中的长焰煤、不黏煤、弱黏煤及气煤。低阶煤中氧原子质量分数大约为10%~20%^[1], 存在形态主要是酚羟基、羰基、咪唑和醚键等。有学者认为煤液化时不希望发生的逆反应(缩聚反应)是和煤中酚羟基的含量相关, 特别是在羟基含量比较高的低阶煤中^[2]。研究煤液化中的酚类化合物的转化规律有助于煤液化基础研究, 同时如何高效提取和合理利用煤液化中产生的高附加值酚类化合物将进一步提升煤液化技术的经济性, 拓宽煤液化产品的综合利用途径, 增强煤液化自身的竞争优势^[3]。

本文详细总结了目前国内外研究者所涉及的煤液化中产生的酚类化合物对煤液化的影响、分析方法和提取方法等, 希望对今后的研究工作有借鉴作用。

1 酚类对煤液化的影响

1.1 酚类对煤液化过程的影响

酚类化合物是煤低温热解液体中含量最高的组

分之一, 质量分数高达20%~30%, 煤中固有的酚类化合物被认为影响煤的降解和反应性, 在煤液化过程中产生的酚类化合物被认为影响煤液体提质为燃料油的工艺及煤液体的稳定性^[4]。Pauls等^[5]认为, 由于易与煤液体中的诸多化合物发生反应生成大分子, 大多数酚类化合物对煤液化起负面作用。研究者认识到只有部分高级酚类对煤液化反应有积极作用, 而多数低级酚不仅不能促进煤液化反应, 甚至有些低级酚类化合物因在高温下发生缩聚而阻碍煤液化进程。

1.2 煤液化中油馏分中酚类的影响因素

毛学锋等^[6-7]的研究结果表明, 反应温度、催化剂种类和添加高分油方式(高温分离器分离出的油)等工艺条件都会对煤液化油中酚类含量产生影响, 但对不同类型酚类化合物的影响不尽相同。升高反应温度, 催化剂种类对煤液化中油馏分中总粗酚产率增加有正相关作用, 而添加高分油方式则不太明显。另外, 升高反应温度和添加高分油两种方式可以促进高级酚类中间体发生裂解、脱烷基及脱羟基等二次反应向生成分子质量更小、结构更简单

收稿日期: 2011-04-15; 修回日期: 2011-5-19

基金项目: 国家自然科学基金(21076137)和山西省自然科学基金(2009011010-2)资助项目

作者简介: 李伟(1984-), 男, 硕士研究生; 申峻(1971-), 男, 博士研究生, 教授, 研究方向为煤直接液化、煤焦化, 通讯联系人, shenjuna1971@ sina.com。

的低级酚类进行转化,而通过催化剂的加入可以抑制部分高级酚类向低级酚类的转化。

葛宜掌^[8]的研究表明,煤种、液化温度、煤化程度、加热速度等均影响酚类化合物的生成。其中在煤热解过程中 550℃ 前,含氧基团裂解产生的酸性物随温度的提高而增加,在 550℃ 左右,酚类等挥发物产率出现最大值,超过 550℃,由于热解反应随温度升高而增加,酸性物减少。发生二次裂解的温度在 550~650℃,且以 600~650℃ 为主要反应温度区间,减少的酸产物主要为低级酚。加热速度对酚类化合物的影响表现在慢速升温的过程中。其中,加热速率的变化对酚类的产率没有明显影响,在快速升温过程中加热速率越快酚类产率越高。进一步研究表明,慢速热解焦油中杂酚较多;快速热解焦油中简单酚含量较高,杂酚减少。

2 煤液化油馏分中酚类产品的分布

高振楠等^[9]的研究表明,煤液化油馏分中酚类化合物包含苯酚、茛满酚、萘满酚和萘酚 4 种类型。煤液化油馏分中酚类化合物数量众多,在已鉴别出的 134 种化合物中,苯酚类化合物接近总数的 2/3,茛满酚类化合物占总数的 1/5。多数酚类化合物带有烷基侧链,其中苯酚类化合物烷基侧链组最高碳总数为 C₆,构成最为复杂。苯酚类化合物为煤液化油馏分中的主要酚类物质,其在混合酚组分中的相对质量分数超过 80%,之后由高到低顺序为:茛满酚(约 15%)、萘满酚(接近 3%)和萘酚。各类型酚类化合物中,烷基侧链组碳总数相对较小的烷基酚含量居前,且甲基取代物相对含量最高。

毛学锋等^[10]的研究表明,酚类组分主要由苯酚、茛酚和萘酚和联苯酚等 4 类化合物组成,且绝大多数化合物带有烷基侧链。经保留时间指认结合质谱检索,有效鉴定出酚类组分中 36 种包含 1~3 环的化合物,并由外标法准确定量出 23 种化合物的含量。其中苯酚质量分数为 6.24%,甲基苯酚的 3 个同分异构体质量分数均超过 7.50%。定量结果还显示,烷基苯酚质量分数最高(57.82%),其次为萘酚(3.29%),再次为茛酚(2.89%),与高振楠等^[11]的研究结果相似。

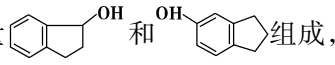
3 煤液化油馏分中酚类的分析方法

3.1 色谱/质谱联用

现代色谱/质谱,具有操作简单、灵敏度高、可分析组成复杂的混合物的特点。

毛学锋等^[10]用 GC/MS,定性鉴别出煤液化油中 36 种 1~3 环单体酚类化合物,得出其中酚类化合物主要是由烷基苯酚,茛酚和萘酚和联苯酚 4 部分组成,同时还鉴定出少量的三环酚类化合物。且相对质量分数为烷基苯酚最高,高达 57.82%,萘酚次之,茛酚质量分数为 2.89%。

Richard 等^[11]通过 GC/MS 连用方法,分析了美国伊利诺斯州 6 号煤和怀俄明州煤液化馏分得出其主要由苯酚,茛酚和萘酚和联苯酚组成,与毛学锋等研究结果相似。

黄钰等^[12]采用 GC/MS 分析分析了云南先锋液化轻质油酸性组分得出,酸性组分是由大量的苯酚及其烷基衍生物和少量  组成,并指出其与褐煤液化轻质油中氧原子含量较高相一致,主要由液化过程中使用煤的种类所致。进一步得出酸性组分中,苯酚、甲酚和二甲酚的质量分数分别为 16.11%、33.55%、14.44%,这 3 种低级酚的总质量分数可达 64.10%,在褐煤液化轻质油中低级酚的总质量分数达 15.04%。

高振楠^[13]得出煤液化油中酚类物质基本由苯酚、茛满酚、萘酚和萘满酚 4 种类型构成,化合物总数超过 140 种。4 种类型酚化合物含量从高到低依次为苯酚、茛满酚、萘满酚和萘酚。此外,William^[14]和 Pauls^[15]采用 GC/MS 定性出 60 种酚类化合物,其中 William H. McClellenn, Henk 共定性出 34 种。

3.2 液相色谱/紫外(荧光)光谱联用

张铭金等^[16]采用武钢和首钢等样品,使用 SY-201 高压液相色谱仪,UV 254 nm 检测;色谱柱:250 mm × 4.6 mm,以高压匀浆法装柱,理论板数 16430 块/m(以 2,4-二甲酚计算)。实验证明,混合标样、粗酚和粘接剂试样均获得满意的分离,粗酚分出 21 个色谱峰,粘接剂分出 7 个峰。各组分的鉴定主要采用容量因子(K')的值定性和标准物添加法定性,共鉴定 10 个组分。

张昌鸣等^[17]应用高效液相色谱(HPLC)采用正相(NP)-HPLC 配以反冲(BF)技术,测定了煤焦油中极性化合物的总量。利用硅胶/氧化铝柱法富集制备了极性物段份,反相(RF)-HPLC 辅以液体色谱对极性物段份中极性化合物进行了分析。通过高效液相色谱(HPLC)分析并测定了所选样品中的 2,4-二甲酚和对苯基苯酚。

Ajay 等^[18]采用 HPLC 和 GC-MS 测定了 Wyodak 的煤液化油正己烷可溶物部分。HPLC 表明,

使用催化剂得到的液化油产物中比没有使用催化剂得到的液化油产物中有更多的酚类化合物和重质油。采用 HPLC 分析了液化油中的几种极性化合物,证明此化合物中包含的酚类主要为苯酚、1-萘酚、1,2,3,4-四氢-1-萘酚和 1-茛酚。

3.3 核磁共振 (NMR)

在 NMR 中,发展最早、研究最多、使用最广泛、积累数据最为丰富的是核磁共振氢谱($^1\text{H-NMR}$)。这是由于 ^1H 磁旋比较大,且天然丰度接近 100%,在 NMR 中具有最高灵敏度,而且是构成有机化合物的主要元素,可为有机结构分析提供重要信息。

$^{13}\text{C-NMR}$ 能提供大分子骨架信息,很好地区分与酚羟基相连的主体结构。对于酚类化合物的鉴定,通常是 $^1\text{H-NMR}$ 和 $^{13}\text{C-NMR}$ 联合使用^[19]。

Sylvla 等^[20]曾使用 200 MHz $^1\text{H-NMR}$ 和 50 MHz $^{13}\text{C-NMR}$ 分析了年轻褐煤在 4.55 L 小型煤液化连续反应装置上所得轻质油中的酚类化合物。采用碱液洗涤和溶剂萃取富集了所得轻质油中的酚类化合物,并对其进行了分析和鉴定。证明,轻质油主要由苯酚、邻/间/对甲基苯酚、二甲基苯酚和茛酚 6 种化合物组成。

Schweighardt 等^[21]使用 250 MHz $^1\text{H-NMR}$ 分析了煤液化油和液化残渣与六甲基二硅氮烷(HMD-SA)反应后所生成的硅醚化衍生物中酚羟基总含量。使用该方法能使所测定的酚羟基误差减小到 5% 以内。

此外,由于 ^1H 和 $^{13}\text{C-NMR}$ 法在定性定量个体酚化合物方面存在较多缺陷。研究人员将标签原子衍生化 NMR 法引入煤液化油中酚类物质定性定量分析。如 $^{19}\text{F-NMR}$ 法、 $^{29}\text{Si-NMR}$ 法、 $^{31}\text{P-NMR}$ 法和 $^{119}\text{Sn-NMR}$ 法等。高振楠等^[22]核磁共振法应用于煤液化油中酚类化合物分析对上述的方法有较系统的总结。

4 煤液化油中酚类的提取方法

4.1 碱液洗涤

碱液洗涤是最常见的酚类提取方法之一。碱液洗涤主要是利用酚类化合物的弱酸性,使其与 NaOH 水溶液发生中和反应生成盐,生成的钠盐溶于水,从而使酚类从油中分离出来。

王西奎等^[23]对鲁奇煤气化低温轻质油中酚类和有机酸的分离,采用了一系列不同浓度 NaOH 溶液,结果,酸和酚类化合物分离效果良好。

高振楠等^[24]在碱法提酚过程中确定了过程的

最小碱/油质量比和适宜水/油质量比,并得出,碱液浓度、碱洗时间和碱洗温度等主要因素在酚提取过程中影响甚微。影响顺序依次为温度、碱浓度和碱洗时间,通过综合分析确立了最佳碱洗条件:40℃, 10%, 5 min。

Winschel 等^[25]的结果表明,碱法对煤液化油中酚类物质有很好的选择性。

Richard 等^[11]用碱液洗涤提取了美国 Illinois No. 6 and Wyodak coals 中的酚类化合物,并分析了其 175 ~ 315℃ 的馏分,得出其馏分中主要由 4 种酚组成,分别是苯酚、茛酚、萘酚和联苯酚。

4.2 溶剂萃取法

Takashi^[26]的萃取表明,固定水/油比时,酚萃取率与甲醇用量成正比例关系;固定甲醇/油质量比时,酚萃取率与水量的变化没有必然联系;且在试验范围内,甲醇/水比例的变化对酚萃出物中单个酚的分布影响甚微。

Tian 等^[27]采用神华 150 ~ 180℃ 的煤液化油馏分洗脱表明,苯酚主要在正己烷/乙醇洗脱溶液中收集到,甲酚主要在正相柱和正己烷溶剂中。指出 $V(\text{正己烷})/V(\text{乙醇}) = 1:4$ 时更适合苯酚和甲酚的富集。进一步证明极性和溶解度参数在解析过程中起重要作用,溶解度参数比极性在氨基键合硅胶解析过程中更起作用,因为溶解性参数涉及到极性和氢键。

4.3 固相萃取法

固相萃取常用的吸附剂有环糊精、 C_{18} 烷基、 NH_2 基键合硅胶,聚合物和活性炭等。

叶翠平等^[28]选用大同煤,用乙腈、四氢呋喃(THF)、吡啶作溶剂连续抽提后,对其中的吡啶抽提物进行固相萃取,考察了 NH_2 基、聚合物(HLB)和 C_{18} 3 种固相萃取柱对酚类化合物的富集效果。证明 C_{18} 柱对酚类化合物的富集效果最好, NH_2 基柱的富集效果最差。采用 C_{18} 柱,分别用体积分数为 20%, 50% 和 80% 的 THF 水溶液为淋洗剂,二氯甲烷为洗脱剂,可实现煤抽提物中以 2,6-二叔丁基对甲酚为主的酚类化合物的高选择性分离。

4.4 其他方法

4.4.1 沉淀法回收酚类化合物

葛宜掌等^[29]首次利用该方法对金属离子对酚类化合物的回收做了系统性研究,确立了工艺参数及最佳工艺流程。得出, Ba^{2+} 可作为沉淀剂,2 ~ 4 mol/L 的 NaOH 或 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 可作为 pH 调节剂,6 mol/L 的 H_2SO_4 或 HCl 可作为沉淀转溶剂。此外

盐酸作转溶剂时, Ba^{2+} 沉淀剂可循环使用。

4.4.2 超临界气体萃取

超临界萃取是从煤中获取液态燃料的一种很好方法。其中 Ayhan^[30] 以超临界甲苯为萃取剂对土耳其褐煤在 633 K, 11.8, 15.1, 20.0, 27.5 MPa 下进行萃取, 将超临界萃取提出物分为石油醚可溶物、石油醚不可溶物、苯可溶物和石油醚和苯不溶物, 且酚类化合物主要在苯可溶物中。

4.4.3 压力晶析法

压力晶析法是根据加压情况下晶体熔点升高的原理加以开发利用的一种技术, 采用加压的方法使晶体形成、长大从而达到分离的目的。该工艺解决了部分低凝固点焦油产品的晶体分离问题, 但对设备的要求较高, 应用范围有限。

其中在煤焦油分离中应用比较广泛, 从煤焦油制成萘饼的过程中, 首先通过蒸馏法分离出萘油, 然后采用冷却晶析法析出萘饼, 主要成分是沸点接近的萘、菲、喹啉。然后根据这 3 种物质的溶解度不同, 选择适当的溶剂进行分离。

对酚类的分离, 高振楠^[31] 曾系统地研究了甲酚的晶析、邻/对乙酚的高压晶析、含氮类杂环化合物的晶析和吡啶-喹啉混和系的晶析情况。

5 结语

煤液化过程产生的酚类或低阶煤中所固有的酚类对煤液化有重要的影响。煤化程度、反应温度、加热速度、催化剂种类和添加高分油方式等工艺条件都会对煤液化中酚类含量产生影响, 但对不同类型酚类化合物的影响不尽相同。煤液化油中苯酚含量最高, 其次为茛满酚、萘满酚和萘酚。GC/MS 和 NMR 是分析煤液化中产生的酚类的主要手段。煤液化中产生的酚类提取方法常见的有: 碱液抽提法、溶剂萃取法。其他如压力晶析法目前只停留在实验室研究阶段。

参考文献

- [1] 郭崇涛. 煤化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.
- [2] 魏贤勇. 煤液化化学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 张兰英. 现代环境生物技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] Renaud M, Chantal P D, Kaliaguine S. Anisole production by alkylation of phenol over HSM-5[M]//煤液化化学. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] Pauls R E, Bambacht M E, Bradley C, Scheppele S E, Cronauer D C. Identification and analysis of C0 ~ C3 phenols in some Australian crude oils[M]//煤液化化学. 北京: 科学出版社, 2002.
- [6] 毛学锋, 张晓静, 高振楠, 等. 煤液化中油馏分中酚类的影响因素研究[J]. 煤炭转化, 2010, 33(2): 14 - 18.
- [7] 毛学锋, 李文博, 高振楠, 等. 工艺条件对煤液化油中酚类化合物的影响研究[J]. 煤炭转化, 2010, 33(1): 27 - 30.
- [8] 葛宜掌. 煤低温热解液体产物中的分类化合物(I)[J]. 生成机理煤炭转化, 1997, 20(1): 15 - 18.
- [9] 高振楠, 李文华. 煤液化油中酚类化合物分布特征研究[J]. 煤炭转化, 2010, 33(2): 28 - 42.
- [10] 毛学锋, 高振楠, 李文博, 等. 煤炭直接液化油中酚类化合物的 GC/MS 研究[J]. 煤炭学报, 2009, 34(9): 1249 - 1253.
- [11] Richard E Pauls, Mark E Bambacht, Cheryl Lavaghn Bradley, Stuart E Scheppele, Donald C. Cronauer. Distribution and characterization of phenolics in distillates derived from two-stage coal liquefaction[J]. Energy & Fuels, 1990, 4, 236 - 242.
- [12] 黄珏, 张德祥, 蔺华林, 等. 云南先锋褐煤液化轻质油的分析[J]. 石油化工, 2008, 37(11): 1206 - 1208.
- [13] 高振楠. 煤液化油中酚类物质分布特征及提取过程研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2009.
- [14] William H McClellan, Henk L C, et al. Characterization of phenols and indanols in coal-derived liquids using curie-point vaporization gas chromatography/mass spectrometry[J]. Fuel, 1983, 62(11): 1422 - 1429.
- [15] Richard E Pauls, Mark E Bambacht, et al. Distribution and characterization of phenolics in distillates derived from two-stage coal liquefaction[J]. Energy & Fuels, 1990, 4(3): 236 - 242.
- [16] 张铭金, 鲁玉珍. 煤焦油酚的高效液相色谱分析[J]. 色谱, 1989, 7(5): 306 - 307.
- [17] 张昌鸣, 李爱英, 李英, 等. HPLC 测定煤焦油中性化合物的研究[J]. 分析测试技术与仪器, 1999, 5(1): 27 - 32.
- [18] Ajay K Saini, Chunshan Song. Two-dimensional HPLC and GC-MS of oils from catalytic coal liquefaction[J]. Energy & Fuels, 1993, 7(4): 795 - 800.
- [19] 宁永成. 有机化合物结构鉴定与有机波谱学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] Sylvia A Farnum, Bruce W. Farnum. Determination of low-rank coal liquefaction light oils by chromatography and nuclear magnetic resonance spectrometry[J]. Anal Chem, 1982, 54, 979 - 985.
- [21] Schweighardt F K, Retcofsky H L, et al. Trimethylsilylation of their formation to quantitative hydroxyls by nuclear magnetic resonance spectrometry[J]. Anal Chem, 1978, 50, 368 - 371.
- [22] 高振楠, 刘立麟, 朱晓曼. 核磁共振法应用于煤液化油中酚类化合物分析[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(6): 35 - 39.
- [23] 王西奎, 金祖亮. 鲁奇煤气化工艺低温煤焦油中酚类化合物的 GC/MS 研究[J]. 环境化学, 1989, 8(4): 16 - 22.
- [24] 高振楠, 杜淑凤, 李文博等. 煤炭直接液化产品油碱洗提酚过程研究[J]. 煤炭学报, 2009, (10): 1188 - 1192.
- [25] Winschel R A, Peizheng Zhou, Francis P Burke, et al. Caustic washing for refining of direct coal liquefaction products[C]. Prepr Pap-Am Chem Soc, Div Fuel Chem, 1995, 40(3): 608 - 612.
- [26] Takashi Katoh, Koji Ouchi. Analysis of coal-derived liquid obtained by mild hydrogenation 2: Neutral oil distilling at 343 - 464°C[J]. Fuel, 1987, 66(1): 58 - 69.

综合信息

安捷伦推出食品原物料与成品中 13种增塑剂快速检测方法

邻苯二甲酸酯类是塑胶工业中最为常见的增塑剂(Phthalate)。根据研究,邻苯二甲酸酯类物质属于干扰生物体内分泌的环境荷尔蒙类化合物,进入体内后会造成内分泌失调,阻害生物体生殖机能,引发恶性肿瘤,容易造成畸形儿。目前已证明,长期处在具邻苯二甲酸酯类的环境中,可能引发气喘现象、罹患毒性多角神经炎;对身体具相当的危害性。当前,我国国家质检总局已经部署了全国范围内相关食品和食品添加剂生产企业的全面排查,凡发现食品或食品添加剂中含有邻苯二甲酸酯类物质的将立即查封处理,查清问题原因和原料采购来源、产品销售去向,发现非法添加的立即移交司法机关予以严惩。

由于人类对于邻苯二甲酸酯类的大量需求,使得各国在大量生产,对整个生态环境造成不小的污染。除此之外,邻苯二甲酸酯也广泛使用于指甲油及其他化妆品、染料、PVC地板、人工皮革及黏接剂等。塑胶中最常添加的邻苯二甲酸酯类有下列6种:

1. Diisononyl Phthalate(DINP) 邻苯二甲酸二异壬酯;
2. Di-n-octyl Phthalate(DNOP) 邻苯二甲酸二辛酯;
3. Diisodecyl Phthalate(DIDP) 邻苯二甲酸二异癸酯;
4. Bis-(2-ethylhexyl) Phthalate(DEHP) 邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯
5. Dibutyl Phthalate(DBP) 邻苯二甲酸二丁酯;
6. Benzylbutyl Phthalate(BBP) 邻苯二甲酸苯基丁酯。

安捷伦利用高灵敏的分析工具—快速液相串联质谱仪进行微量分析。快速液相色谱串联质谱仪可以减少系统背景干扰与溶剂使用量,同时搭配简单萃取与稀释的样品前处理方法,可以同时分析13种邻苯二甲酸酯类。本方法快捷、准确。(张力)

拜耳材料科技与重庆市政府签署了 针对下游市场设施的投资协议

2011年5月20日,拜耳材料科技与重庆市政府签署了在

长寿经济开发区有关建立拜耳针对下游市场设施的投资协议,其中包括公司在中国西部地区的第一个聚碳酸酯色彩效果和设计中心以及聚氨酯系统料工厂项目。这一举措是拜耳材料科技投资中国西部的又一个里程碑。

位于重庆的聚氨酯系统料工厂和聚碳酸酯色彩效果和设计中心将以拜耳位于世界各地的研发和技术中心为依托,为汽车、建筑、IT、电子和电气、家具以及制鞋等不同行业领域的客户提供服务。(王丽华)

陶氏水处理及过程解决方案携 新技术产品亮相2011荷兰水展

陶氏化学公司水处理及过程解决方案事业部,采用创新性的产品,通过过滤、净化和分离技术以确保水资源更加的安全、清洁和易于获取。2011年6月1日至3日,该业务部于2011荷兰国际水展中国站(Aquatech China 2011)展出其在水处理及过程解决方案方面的领先技术,并推出其一下新的商用反渗透产品:

- FILMTEC™ LC HR4040 采用陶氏最先进的高脱盐率RO膜材料,脱盐率高达99.7%,居业界领先地位,适用于制药、工业和洗车等应用领域。
- FILMTEC™ LC LE4040 采用陶氏为低能耗应用开发的创新专有技术,致力于以最低的系统总成本生产出最高纯度的水,是酒店、饭店、自动售水机等低能耗商业应用的理想选择。

《现代化工》期刊社将组织召开2个 技术交流大会

为促进化工领域科技成果转化,提高我国化学工业生产水平,《现代化工》期刊将2011年下半年组织召开以下2个产学研结合的技术交流大会:

第二届反应工程大会(<http://www.xdhg.com.cn/crec/index.html>)

时间:2011年7月20—22日

地点:上海书香世家会所酒店

2011化工分离技术交流与设备展示大会

时间:2011年11月

地点:苏州(张力)

(上接第95页)

- [27] Tian M, Feng J. Selective enrichment of phenols from coal liquefaction oil by solid phase extraction method[J]. Energy Sources, 2009 (Part A), 31:1646-1653.
- [28] 叶翠平, 冯杰, 李文英, 等. 固相萃取法富集煤抽提物中的酚类化合物[J]. 太原理工大学学报, 2010, 41(5): 661-665.
- [29] 葛宜掌, 金红. 沉淀法回收煤焦油和含酚废水中酚类的研究

[J]. 煤炭学报, 1995, 20(5): 545.

- [30] Demirbas, Ayhan (Selcuk University, Konya, Turkey). Characterization of products from two lignite samples by supercritical fluid extraction[J]. Energy Sources, 2004 (part A): 26(10): 933-939.
- [31] 高振楠. 煤液化油中酚类化合物的提取利用研究[M]//煤炭学报. 北京: 中国煤炭学会北京中国工业出版社, 2010: 1188-1192. ■