

煤炭转化

# 神华煤直接液化技术研发进展

李克健<sup>1,2</sup>,程时富<sup>1,2</sup>,蔺华林<sup>1,2</sup>,章序文<sup>1,2</sup>,常鸿雁<sup>1,2</sup>,舒成<sup>1,2</sup>,白雪梅<sup>1,2</sup>,王国栋<sup>1,2</sup>

(1.中国神华煤制油化工有限公司上海研究院,上海 201108;2.煤炭直接液化国家工程实验室,上海 201108)

**摘要:**我国自主建设的世界首座煤直接液化示范工程神华 100 万 t/a 煤直接液化装置于 2008 年底成功试运行。经过几年的优化和完善,2011—2013 年间,神华煤直接示范装置持续稳定运行、连续 3 a 盈利。列举了神华煤直接液化示范装置运行和研发情况,介绍了煤直接液化基础理论研究,煤液化残渣溶剂萃取分离与应用研究。在煤液化沥青应用研究中,重点介绍了在针状焦、防水卷材、配煤捣固炼焦和 COPNA 树脂制备技术开发方面取得的应用效果。神华煤直接液化示范工程建设、装置稳定运行并取得较好经济效益的实践表明,我国在煤直接液化领域已取得世界领先地位并日趋成熟。

**关键词:**煤直接液化;技术研发;产业化

中图分类号:TQ529;TD849

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2015)01-0050-06

## Study and development of Shenhua direct coal liquefaction technology

LI Kejian<sup>1,2</sup>, CHENG Shifu<sup>1,2</sup>, LIN Hualin<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuwen<sup>1,2</sup>, CHANG Hongyan<sup>1,2</sup>,  
SHU Cheng<sup>1,2</sup>, BAI Xuemei<sup>1,2</sup>, WANG Guodong<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Research Institute, China Shenhua Coal to Liquids and Chemical Co., Ltd., Shanghai 201108, China;

2. National Engineering Laboratory for Direct Coal Liquefaction, Shanghai 201108, China)

**Abstract:** As the first demonstration plant of direct coal liquefaction in the world, Shenhua demonstration plant 10<sup>6</sup>t/a products was successfully trial operated at the end of 2008, the plant has gone through improvement stages to normal production status. Between 2011 and 2013, the plant operated well and generated profits. The research and operation of the demonstration plant was introduced. The basic theoretical study, liquefaction residue solvent extraction and subsequent utilization were investigated. In the aspects of coal liquefaction asphalt applied studies, the needle coke, waterproof roll, COPNA preparation and coal blending for tamping coke oven were introduced. The successful construction and operation of Shenhua direct coal liquefaction plant showed that, the coal liquefaction technology became more mature in China.

**Key words:** direct coal liquefaction; technology research and development; industrialization

## 0 引 言

自 1913 年,德国柏吉乌斯(Bergius)发明煤高温高压加氢生产液体燃料研究开始至 20 世纪 70 年代因石油危机而重新开始新一轮煤液化技术开发高潮,煤加氢液化技术几经起伏,最终未能实现大规模工业化<sup>[1-10]</sup>。我国从 20 世纪 70 年代末开始跟踪世界煤直接液化技术研究发展。在国家“六五”、“七

五”期间,开展了以资源普查和液化性能评价为主要内容的煤直接液化技术基础研究,煤炭科学研究总院先后引进日本 0.1 t/d 和德国 0.12 t/d 煤直接液化连续试验装置开展了我国煤液化煤炭资源与煤液化性能评价以及工艺开发试验研究<sup>[11-12]</sup>。

神华集团根据国家战略和集团创新发展的需要出发,从 20 世纪末开始进行煤直接液化产业化工作,鉴于当时没有成熟的煤直接液化工业化技术可

收稿日期:2014-09-23;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.012

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174274)

作者简介:李克健(1956—),男,湖北宜昌人,研究员,院长,从事煤液化工艺、煤液化原料适应性评价、煤液化动力学与过程模拟、煤大分子模型、煤液化催化剂、煤液化油品和煤液化残渣利用等领域的研究。E-mail:likejian@cscl.com

引用格式:李克健,程时富,蔺华林,等.神华煤直接液化技术研发进展[J].洁净煤技术,2015,21(1):50-55.

LI Kejian, CHENG Shifu, LIN Hualin, et al. Study and development of Shenhua direct coal liquefaction technology [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 50-55.

借鉴,神华集团联合国内外科研、工程和设备制造等企业,自主进行了百万吨级煤直接液化示范项目的建设,成为煤直接液化产业化领跑者<sup>[13-14]</sup>。煤制油产业化刚刚起步,在我国仍有较大发展空间。神华为迎接煤直接液化大规模产业化的到来,技术研发先行。笔者介绍了煤炭直接液化国家工程实验室暨神华煤制油上海研究院在煤直接液化研发领域的研发进展和部分阶段性成果。

## 1 神华煤直接液化示范装置运行

自2008年12月神华煤直接液化示范装置成功试车以来,经历了2009年的技术改造和试运行;2010年技术完善和商业化试运行;2011、2012和2013年进入了商业化运行阶段,神华煤直接液化示范装置成功运行业绩见表1。神华煤直接液化示范项目的成功运行标志着我国煤直接液化产业化发展取得了巨大的成功。

表1 神华煤直接液化示范装置运行结果

年份	年投煤运行时间/h	油品产量/t
2009	1466	65000
2010	5172	443000
2011	6744	790000
2012	7248	865000
2013	7536	866000

## 2 神华煤直接液化技术研发

神华煤直接液化示范装置5 a 多的运行结果表明,装置能够在较短时间达到长周期稳定运行并实现盈利,标志着神华煤直接液化技术达到了目前世界技术领先水平。神华集团荣获的“煤炭直接液化国家工程实验室”建在神华煤制油化工有限公司上海研究院。包括煤直接液化工艺技术开发平台在内的7个研发平台已于2011年投入使用,奠定了我国继续在煤直接液化技术领域领先地位的基础。

煤炭直接液化国家工程实验室(神华煤制油化工有限公司上海研究院)在煤直接液化技术基础研究、煤液化油品新产品开发和煤液化残渣利用领域开展了研究并取得阶段性成果。

### 2.1 煤直接液化基础理论研究

针对神东煤惰质组含量偏高的特点,重点研究了煤中不同显微组分的结构特点和与煤直接液化性能之间的关系<sup>[15-16]</sup>。采用分析表征与模拟软件相

结合,建立构建煤大分子结构模型的方法;采用软件对结构中的键能、活化位等进行计算,预测可能发生的反应;同时通过原料煤高压釜试验,探讨煤的组成结构与直接液化的关系。对原料煤进行岩相分离得到镜质组体积分数高达82.2%的镜质组富集组分和惰质组体积分数高达80.1%的惰质组富集组分。采用<sup>13</sup>C-NMR、FTIR、XRD、XPS和TG-MS对镜质组富集组分和惰质组富集组分进行分析表征,获取结构参数信息。采用ACD/CNMR软件对大分子结构进行预测,计算得到的<sup>13</sup>C-NMR谱图和试验谱图较好的煤结构模型。图1—图3分别是神华液化原煤、镜质组富集组分和惰质组富集组分结构模型。

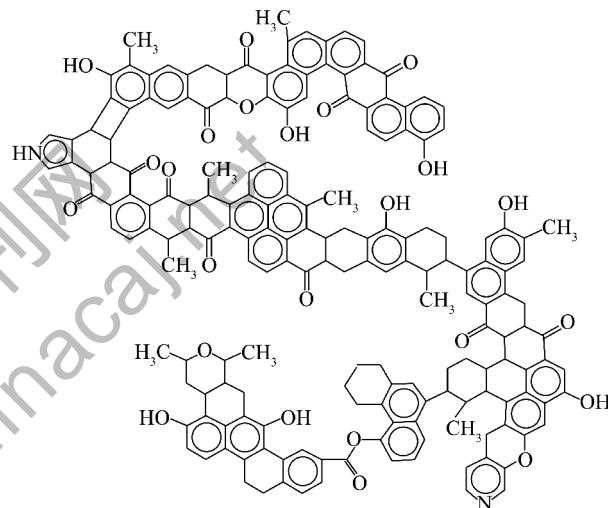


图1 神华液化原料煤结构模型

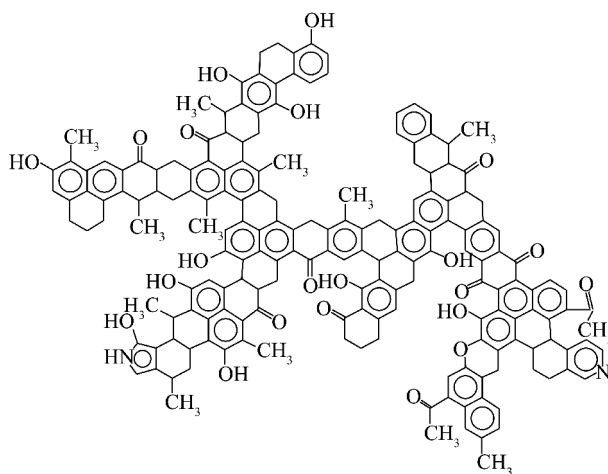


图2 神华液化原料煤镜质组富集组分结构模型

对液化原料煤、镜质组和惰质组富集组分进行分子动力学、分子力学和量子化学优化计算得到其结构的键长、键级和电子布局电荷数。根据键长、键级和电荷分布数确定煤热解过程中煤分子结构中可

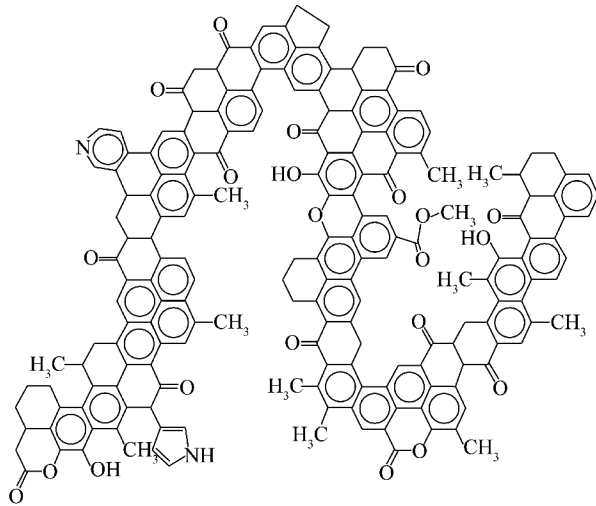


图3 神华液化原料煤惰质组富集组分结构模型

能发生均裂的活性位。结果表明,与惰质组富集组分相比,镜质组富集组分中含有较多的弱化学桥键、醚键、脂肪侧链、氢化芳环、羰基官能团,芳香层片扭曲处更容易发生断裂,产生  $\text{CO}_2/\text{CO}/\text{CH}_4$ 、单环芳烃、脂肪烃以及分子量仍较大的一级碎片;经过二次加氢基本完成液化过程。而惰质组富集组分不易发生热解,热解碎片经过3次加氢后基本完成液化过程,液化产物中含有更多的三环芳烃,且有较多的苯并蒽、苯并菲和芘等大分子结构。

表2列出了上湾煤镜质组富集组分和惰质组富集组分的煤液化高压釜试验结果,镜质组富集组分在较短反应时间内液化油收率增速较快,但是随着时间的延长,油收率增速放缓;而惰质组富集物油收率基本随时间延长平稳增加。惰质组和镜质组组分高压釜液化试验结果与模型揭示的规律相符,对根据神华液化原料煤特点来优化煤液化工艺具有指导作用。

表3 煤液化残渣组成及性质分析

工业分析/%			元素分析/%				软化点/℃	正己烷可溶物 HS/%	四氢呋喃可溶物 THFS/%
$M_{\text{ad}}$	$A_{\text{ad}}$	$V_{\text{ad}}$	$w(\text{C}_{\text{ad}})$	$w(\text{H}_{\text{ad}})$	$w(\text{N}_{\text{ad}})$	$w(\text{S}_{\text{ad}})$			
0.20	21.03	32.86	73.58	3.96	0.77	2.79	198.8	20.62	51.70

煤液化残渣萃取工艺的基本原理是根据残渣的溶解特性,将其中的重质油和沥青类物质溶解出来并进行固液分离,得到煤液化沥青(萃取物)和固渣(萃余物)。

图4是神华煤制油化工有限公司上海研究院开发的液化残渣萃取工艺流程。通过对萃取工艺进行大量的优化试验,选取一种煤液化馏分油作为萃取

表2 上湾煤显微组分高压釜加氢液化试验结果

反应时间/min	惰质组(SDI)*		镜质组(SDV)*	
	油收率/%	气产率/%	油收率/%	气产率/%
0	43.03	7.45	53.75	6.51
20	50.21	9.14	68.05	7.18
40	57.43	9.76	73.61	9.31
60	58.95	10.23	74.05	12.95

注:\*为daf基

神华煤制油化工有限公司上海研究院还开展了煤液化动力学和过程模拟研究、新型煤液化催化剂开发及催化机理等煤液化技术基础理论方面的研究工作。

## 2.2 煤液化残渣溶剂萃取分离与应用研究

煤液化固液分离得到的煤液化残渣是煤液化过程重要的非目标产物,具有高硫、高灰和高热值的特点,直接利用对环境有不良影响。神华煤制油化工有限公司上海研究院在残渣萃取分离和高效利用方面开展了基础和工程放大研究,以煤液化残渣为原料经过溶剂萃取得到煤液化沥青,再以煤液化沥青为原料开发各种碳材料制品的原料,延长煤液化产业链和产品链,提升煤直接液化整体过程经济效益。

煤液化残渣基本性质见表3。神华煤制油化工有限公司上海研究院根据煤液化残渣中有50%以上的重质油和沥青类物质的特点,开发出一种煤液化残渣溶剂萃取工艺并在500 kg/d中试装置上进行了验证。萃取得到的主要产品为低硫、低灰、低喹啉不溶物和高软化点的煤液化沥青。神华煤制油化工有限公司上海研究院还在开发煤液化沥青应用方面开展了研究,已取得了阶段性研究成果。

溶剂,在常压和低于200℃条件下进行煤液化残渣萃取,得到的煤液化沥青结果见表4。

表4 煤液化沥青分析结果

软化点/℃	HS/%	HI-THFS/%	$A_{\text{d}}/\%$	元素分析/%			
				$w(\text{C}_{\text{daf}})$	$w(\text{H}_{\text{daf}})$	$w(\text{N}_{\text{daf}})$	$w(\text{S}_{\text{daf}})$
130.5	38.55	58.83	0.17	91.62	6.53	1.01	0.03

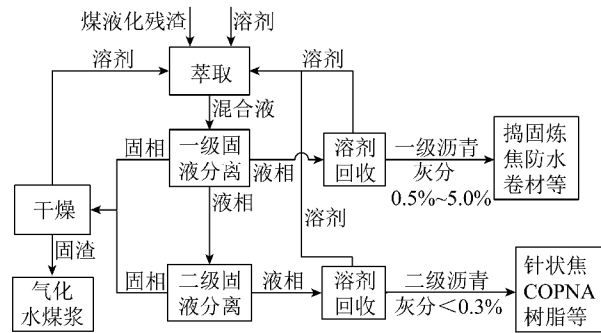


图4 神华煤直接液化残渣萃取分离工艺流程

同时,神华煤制油化工有限公司上海研究院开展了煤液化沥青应用研究,重点在针状焦、防水卷材、配煤捣固炼焦和 COPNA 树脂制备技术开发并取得较好的应用效果。在以固渣为原料用作水煤浆气化炉进料进行的水煤浆研究方面也取得好于预期的结果。

### 2.2.1 针状焦

针状焦的制备包括生焦生成和生焦煅烧。生焦生成以液相炭化机理为基础,原料中必须含有一定数量的芳烃保证缩合反应进行。在较高的温度下,多组分液相体系中的分子发生热分解和热缩聚反应,生成中间相小球体。中间相小球体吸收母液中的分子长大,当2个球体相遇碰撞后彼此插入,融并成为一个大的球体。同样大球体之间也会再碰撞,融并后将会形成更大的球体,直到球体的形状不能维持,形成非球中间相——广域流线型,纤维状或镶嵌型中间相。以煤液化沥青为原料,考察了温度及升温速率、炭化时间、压力等因素对中间相沥青生成的影响,在温度400~460℃、炭化时间4~12h、常压条件下制备出流线型较好的中间沥青,如图5所示。

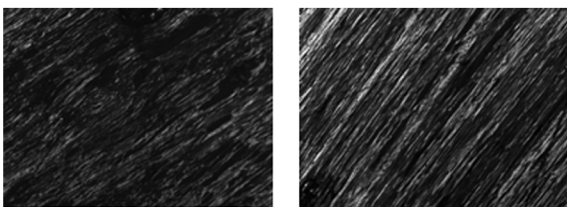


图5 偏光显微镜下纤维状中间相沥青

生焦煅烧过程是热解和缩聚反应过程,期间挥发分逸出和分子结构变化,煅烧温度高,时间长,煅后焦导电性能和真密度提高,针状焦质量好。因此可以通过测定真密度与电阻率分析煅烧条件对针状焦性能的影响。

生焦在1250℃煅烧2h后得到煅后焦,表5给出了用煤液化沥青制备的针状焦煅后焦的部分质量

指标。煅后焦整体指标表明,用煤液化沥青制备的针状焦达到了国内一级焦的指标,以煤液化沥青制备针状焦的主要性能指标具有较强的市场竞争性。

表5 煤液化沥青制备的针状焦质量指标

煅后焦	灰分/ %	挥发 分/%	水分/ %	硫分/ %	真密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	粉末电阻率/ ( $\mu\Omega \cdot \text{m}$ )
1	0.10	0.33	0.10	0.10	2.12	481
2	0.04	0.20	0.10	0.14	2.11	501

### 2.2.2 防水卷材

以煤液化沥青部分替代石油沥青,调配成防水卷材用的改性沥青半成品,用接近25%的煤液化沥青替代部分石油沥青进行防水卷材的制备,得到的沥青半成品各项指标能满足GB/T 18242—2008《弹性体改性沥青防水卷材》的要求,见表6。

表6 防水卷材半成品的指标测试结果

项目	国标要求	实测技术指标
软化点/℃	$\geq 105$	115.6
低温柔度/℃	-25	-30℃无裂纹
弹性回复率/%	$\geq 85$	92
闪点	$\geq 230$	287

### 2.2.3 配煤捣固炼焦

以煤液化沥青为黏结剂,在40kg/批次焦炉中进行捣固炼焦试验,并测定焦炭的机械强度、焦炭反应性(CRI)和反应后强度(CSR)等性能。按照煤液化沥青掺加量的不同,进行4种配煤方案试验,各配方见表7。对各配方得到焦炭的主要指标进行测定,并与以焦油沥青为黏结剂捣固炼焦试验结果进行了对比,见表8。

表7 煤液化沥青配煤炼焦配比

煤液化沥青	A煤	B煤	C煤	D煤
1	16	46	25	12
2	15	50	25	8
3	14	51	24	8
4	13	52	23	8

从表8可以看出,随着煤液化沥青配量的增加,焦炭的抗碎强度逐渐增大,其中2%、3%和4%添加煤液化沥青得到的冶金焦性能基本上达到了相似煤焦油沥青配煤炼焦的文献报道值,若进一步优化有望在大焦炉上制备出达到国家标准的一级冶金焦。

表8 焦炭性能测试结果

配煤方案	$A_{ad}/\%$	$V_{daf}/\%$	$w(S_{t,d})/\%$	抗碎强度/ $\%$				CRI/ $\%$	CSR/ $\%$
				>40 mm	>25 mm	>10 mm	<10 mm		
1%液化沥青	10.83	1.15	0.67	68.39	80.97	81.35	18.65	33.0	49.3
2%煤液化沥青	11.32	1.20	0.71	52.38	83.15	92.31	7.69	30.5	51.8
3%煤液化沥青	11.0	1.32	0.68	57.50	86.25	93.75	6.25	31.0	50.4
4%煤液化沥青	12.25	1.04	0.74	68.46	87.69	92.31	7.69	29.0	55.6
一级	<12.00		<0.60	80.00	92.00	—	7.50	30.0	55.0

### 2.2.4 COPNA 树脂

COPNA 树脂是一种三维网状的热固性树脂。COPNA 树脂主要由缩合芳烃及其衍生物为原料,在质子酸催化剂作用下与交联剂加热缩聚而成。具有优异的耐高温性能,良好的可成型性,与炭材料良好的亲和力以及特殊的电磁学性质,可作为制备多种炭材料的前驱体及炭/炭复合材料成型、刹车制动耐磨材料、高耐热纤维等领域。

神华煤制油化工有限公司上海研究院与大连理工大学合作,以煤液化沥青为原料,用化学交联的方法合成得到性能优异的 COPNA 树脂。以煤液化沥青为原料制备得到的 COPNA 树脂,各指标如下: $\beta$ 树脂含量高达 58%,软化点大于 240  $^{\circ}\text{C}$ ,甲苯不溶物

达 60%,喹啉不溶物在 2% 以下。将制备得到 COPNA 树脂经固化处理后得到的样品性质如下:5% 失重温度和 10% 失重温度分别为 465 和 525  $^{\circ}\text{C}$ ,800  $^{\circ}\text{C}$  残炭率为 75%。经固化后,COPNA 树脂分解温度较高,高达 465  $^{\circ}\text{C}$ ,75% 的残炭率说明经过固化后,树脂结构基本稳定。

### 2.2.5 残渣萃取物制备水煤浆

干燥后的煤液化残渣萃取物经干燥后基本组成和性质见表 9。神华煤制油化工有限公司上海研究院以该萃取物为原料制备水煤浆,结果见表 10。高灰高硫含量的煤液化残渣萃取物与气化原料煤混合制浆,满足气化和水煤浆的要求,煤液化残渣萃取物气化后其中的硫回收利用。

表9 干燥后煤液化残渣萃取物组成性质

工业分析/ $\%$				元素分析/ $\%$					发热量/( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		灰熔融性/ $^{\circ}\text{C}$				HGI
$M_{ad}$	$A_d$	$V_{daf}$	$FC_d$	$w(C_{ad})$	$w(H_{ad})$	$w(N_{ad})$	$w(O_{ad})$	$w(S_{t,d})$	$Q_{gr,ad}$	$Q_{net,ar}$	DT	ST	HT	FT	
0.39	37.70	33.05	41.71	54.18	2.23	0.33	0.07	5.39	20.91	20.44	1150	1160	1170	1180	132

注:DT、ST、HT、FT、HGI 分别为变形温度、软化温度、半球温度、流动温度、哈氏可磨性指数

表10 煤液化固渣与原煤混合后制浆效果

水煤浆原料	浓度/ $\%$	表观黏度/ ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )	流动性	稳定性	粒度组成(累积含量)/ $\%$			
					<1.5 mm	<0.45 mm	<0.075 mm	<0.045 mm
煤液化固渣	79.55	1265	B	A	95.69	86.55	47.43	38.49
原料煤、固渣质量比为 4:1	65.51	1245	B	A	98.12	90.22	48.02	40.33

### 2.3 油品新产品开发

神华煤直接液化工艺技术采用加氢稳定和加氢改质对煤直接液化初始油进行提质加工。煤直接液化加氢改质油性质如下:硫含量 2.39  $\text{mg}/\text{kg}$ ,氮含量 1.53  $\text{mg}/\text{kg}$ ,凝点小于 -50  $^{\circ}\text{C}$ ,环烷烃含量 87.5%,多环芳烃含量 0.2%。经过提质加工后的油品具有低凝点、低硫氮含量、低芳烃含量,同时富含环烷烃的特点,开展了一系列煤液化油品新产品的

开发研究,并取得了阶段性研究成果。

#### 2.3.1 制备满足国 V 车用柴油标准的超净煤液化调和柴油

研究表明煤直接液化加氢改质柴油和 FT 柴油两者的密度、馏程、凝点、冷滤点及十六烷值等性质存在良好的互补关系,神华煤制油化工有限公司上海研究院采用调和方法制得符合车用柴油 GB 19147—2013《车用柴油(V)》。

煤基调和柴油性质见表 11。结果表明,煤基调和柴油的硫含量、芳烃含量、酸度、氧化安定性等性质远超出国标要求,是典型的环境友好型超洁净柴油产品。

表 11 煤基调和柴油性质

项 目	煤基调和柴油	车用柴油国 V 标准
硫含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	≤0.2	≤10
氮含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	0.2	—
酸度/(mg · 100mL <sup>-1</sup> )	0.4	≤7
10%蒸余物残炭/%	<0.01	≤0.3
氧化安定性/(mg · 100mL <sup>-1</sup> )	<0.1	≤2.5
十六烷值	54	≥47~51
多环芳烃含量/%	0.2	≤11

### 2.3.2 煤基大比重喷气燃料

煤直接液化馏分油中环烷烃含量较高。富含环烷烃和氢化芳烃的组成特点使煤基燃料具有制备高密度、高热值、高热安定性等喷气燃料的优势。

煤炭直接液化国家工程实验室根据煤直接液化馏分油在烃族组成和碳数分布与现用石油基喷气燃料的差异性,开发了煤直接液化油生产大密度喷气燃料的初步工艺技术。同时对煤基大密度的喷气燃料理化性能、使用性能进行了研究,完成了煤基喷气燃料理化性能全评价、综合鉴定法试验及台架试验,结果表明:用煤直接液化原料油制备的喷气燃料其理化性能均满足 GB 6537—2006《3 号喷气燃料》要求。

此外,煤炭直接液化国家工程实验室还在以煤直接液化油为原料制备低凝点军用柴油和火箭用煤油方面进行了探索性试验研究并取得初步成果。

## 3 结 语

神华煤直接液化示范工程成功运行结果表明,我国在煤直接液化领域已处于世界领先地位,煤炭直接液化国家工程实验室暨神华煤制油上海研究院在煤液化基础理论研究、工艺优化、煤液化残渣萃取分离等新技术开发、产品链延伸方面开展了卓有成效的工作,持续的煤液化技术研发将使我国煤液化技术不断进步,为产业化健康发展提供强有力的技术支撑。

### 参考文献:

[1] Bergius F, Billiviller J. Germany Patent [M]. 1919.

- [2] 李 刚,凌开成.煤直接液化研究评述[J].洁净煤技术,2008,14(2):18-21.
- [3] 舒歌平,史士东,李克健,等.煤炭液化技术[M].北京:煤炭工业出版社,2003.
- [4] 高晋生,张德祥.煤液化技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [5] Elliot M A. Chemistry of Coal Utilization (Second Supplementary Volume) [M]. New York: John Wiley and Sons, 1981.
- [6] Technological Innovation in the Coal Industry [R]. Japan: Clean Coal Technologies in Japan, 2006.
- [7] Lytle J M, Hsieh B C, Anderson L L, et al. A survey of methods of coal hydrogenation for the production of liquids [J]. Fuel Processing Technology, 1979, 2(3): 235-251.
- [8] Zhenyu L, Shidong S, Yongwang L. Coal liquefaction technologies—development in China and challenges in chemical reaction engineering [J]. Chemical Engineering Science, 2010, 65(1): 12-17.
- [9] 李克健,史士东,李文博.德国 IGOR 煤液化工艺及云南先锋褐煤液化[J].煤炭转化,2001,24(2):13-16.
- [10] Bituminous Coal Liquefaction Technology (NEDOL) [R]. Japan: Clean Coal Technologies in Japan, 2006: 59-60.
- [11] 杜淑凤,舒歌平,陈绍毅.依兰煤液化过程中天然矿物催化剂影响的研究[J].洁净煤技术,2000,6(2):32-34.
- [12] 舒歌平.中德煤液化研究合作情况简述[J].煤炭加工与综合利用,1991(2):25-30.
- [13] 张玉卓.中国神华煤直接液化技术新进展[J].中国科技能源,2006:32-35.
- [14] 张玉卓.煤洁净转化工程:神华煤制燃料和合成材料技术探索与工程实践[M].北京:煤炭工业出版社,2011.
- [15] 蔺华林,李克健,章序文,等.上湾煤及其惰质组富集物的结构表征与模型构建[J].燃料化学学报,2013,41(6):541-648.
- [16] 蔺华林,李克健,章序文,等.吡啶抽提对不同显微组分煤结构特性的影响[J].煤炭转化,2014,37(2):1-5.

## 征 订 启 事

2015年《煤炭科学技术》杂志定价:25元/册,全年12期共300元(含邮费)。本刊可邮局订阅,邮发代号:80-337,也可直接向本编辑部索取订单并办理订购业务,欢迎随时订阅。

汇款地址:北京市和平里青年沟路东口5号煤炭科学研究总院《煤炭科学技术》编辑部(100013)

联系电话:(010)84262926-8002

传 真:(010)84262114

电子信箱:cst410@china.com

网 址:www.mtkxjs.com.cn