

# 煤粉漂移对神华煤直接液化工工艺影响及预防

王喜武, 刘东明, 安亮, 杨东

(中国神华煤制油化工有限公司 鄂尔多斯煤制油分公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017209)

**摘要:** 为了降低煤粉漂移对煤直接液化生产过程的影响, 通过降低热高压分离器、常压塔顶气相流速, 提高煤液化生成油过滤器的过滤精度, 来减少煤粉漂移; 同时, 通过对相关部位沉积煤粉量前后计算来验证改造效果。结果表明: 通过降低气相流速, 热高压分离器气相夹带煤粉量由  $5.07 \text{ mg/m}^3$  降低到  $0.304 \text{ mg/m}^3$  以下, 常压塔顶气相夹带煤粉量由  $26.89 \text{ mg/m}^3$  降低到  $5.38 \text{ mg/m}^3$  以下; 通过增设过滤器及提高过滤精度, 煤液化生成油夹带煤粉量降低约 0.08%。煤粉漂移问题的产生主要是热高压分离器、常压塔顶气相以及煤液化生成油过滤精度低夹带共同作用的结果。

**关键词:** 煤粉; 漂移; 煤直接液化; 流速; 过滤

中图分类号: TQ529

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2015)06-0063-04

## Research and preventive effects of pulverized coal drift of Shenhua direct coal liquefaction process

WANG Xiwu, LIU Dongming, AN Liang, YANG Dong

(Erdos Coal Oil Inner Mongolia Branch, China Shenhua CTL Chemical Co., Ltd., Erdos 017209, China)

**Abstract:** In order to reduce the influence of coal drift on coal direct liquefaction process, the filtration accuracy of generated oil filter was improved by reducing the gas velocity of high pressure hot separator and atmospheric tower, improving precision of filter. The results showed that by reducing the gas flow velocity, the gas phase entrainment of the gas phase was reduced to  $0.304 \text{ mg/m}^3$  from  $5.07 \text{ mg/m}^3$ , and the entrained pulverized coal quantity was reduced to  $5.38 \text{ mg/m}^3$  from  $26.89 \text{ mg/m}^3$ , and the coal liquefaction decreased by 0.08%. The generation of the coal dust drift was mainly caused by the high pressure separator, the top gas phase of atmospheric pressure and the low precision of coal liquefaction.

**Key words:** coal fines; drift; direct coal liquefaction; flow rate; filtration

## 0 引 言

我国富煤、缺油、少气的资源特点决定了我国今后在相当长的时期以煤炭为主要能源的格局不会改变<sup>[1]</sup>。利用我国丰富的煤炭资源进行直接液化制取油品是缓解我国石油短缺的重要途径之一<sup>[2]</sup>, 同时煤制油已成为我国能源战略的重要趋势<sup>[3]</sup>。1913年, 德国柏吉乌斯(Bergius)进行煤或煤焦油高温高压加氢生产液体燃料研究, 开始了煤加氢液化的历史<sup>[4]</sup>。1974年日本、德国、英国、澳大利亚、加拿大、前苏联等国都进行了煤直接液化技术的开发研

究<sup>[5]</sup>。以美国、德国和日本为代表的工业发达国家相继开发了新一代煤直接液化技术<sup>[6]</sup>。我国从 20 世纪 70 年代末开始煤直接液化技术研究, 建立了具有国际先进水平的煤直接液化技术基础研究试验基地。神华集团从 20 世纪末开始进行煤直接液化产业化技术开发工作<sup>[7]</sup>, 在 HTI 煤液化工艺的基础上, 结合最新的煤液化设计工艺<sup>[8]</sup>, 开发出了“神华煤直接液化工艺”技术<sup>[9]</sup>, 该技术的应用和工业化是我国实施能源安全战略的一项重要工程<sup>[10]</sup>。截至 2015 年 1 月, 神华煤直接液化一期工程第一条生产线已累计稳定运行 1500 d, 积累了宝贵的运行经

收稿日期: 2015-03-23; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.016

作者简介: 王喜武(1980—), 男, 辽宁沈阳人, 工程师, 本科, 从事煤直接液化生产技术管理工作。E-mail: wangxiwu@cscl.com

引用格式: 王喜武, 刘东明, 安亮, 等. 煤粉漂移对神华煤直接液化工工艺影响及预防[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(6): 63-66, 71.

WANG Xiwu, LIU Dongming, AN Liang, et al. Research and preventive effects of pulverized coal drift of Shenhua direct coal liquefaction process [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6): 63-66, 71.

验。煤炭的直接液化是将粉碎为一定粒度的煤粉颗粒与溶剂、催化剂在一定压力、温度条件下,通过加氢裂化将煤炭转化为分子质量较小的液态油的过程<sup>[11]</sup>。由于煤直接液化工序复杂,处于高温、高压、临氢及含固等苛刻的操作工况下,生产运行中暴露出较多问题,其中煤粉漂移问题尤为突出,给装置安全带来隐患。通过分析煤粉漂移部位及规律发现,主要是热高压分离器、常压塔顶气相及煤液化生成油过滤精度低夹带共同作用的结果。根据煤粉漂移产生的主要原因制定了相应的解决措施,一是降低热高压分离器、常压塔气相流速,二是提高煤液化生成油的过滤精度。

## 1 煤直接液化工艺流程

神华煤直接液化项目是我国也是世界上第一个煤炭直接液化商业性建设项目。该项目分一期

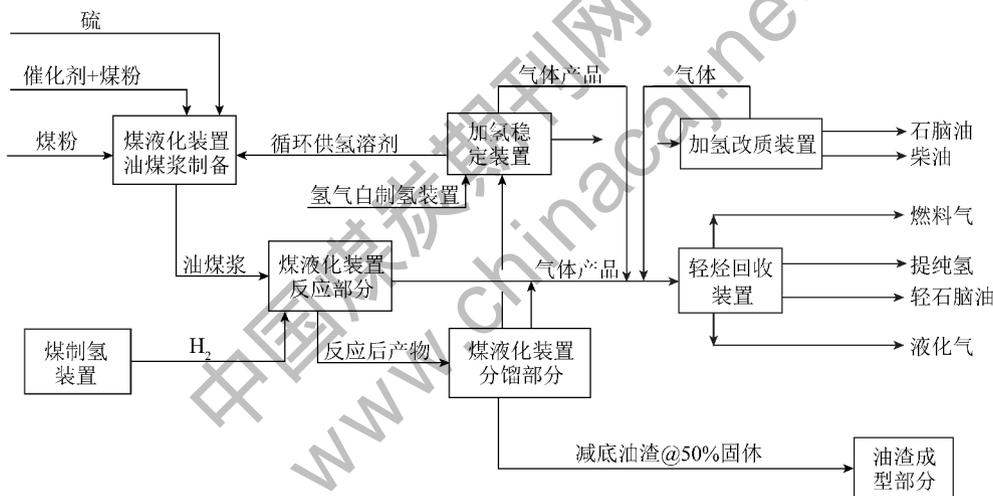


图1 煤直接液化工艺流程示意

剂和固体进行分离;分离后的液化油去加氢稳定装置进行加氢稳定,一部分作为供氢溶剂返回煤直接液化装置配制油煤浆、一部分作为加氢改质原料送入加氢改质装置再加氢后生产出合格的石脑油、航空煤油及柴油;含50%左右固体的减压塔底油渣送出界区送去油渣成型装置处理后送入电厂进行燃烧发电;含硫尾气经脱硫装置脱硫后送入轻烃回收装置进一步回收分离出液化气、燃料气和氢气。

## 2 煤粉漂移对煤直接液化工艺的影响

煤直接液化装置经过1500 d以上的运行和停工检修,检查发现多处设备内出现了煤粉漂移,这些部位的煤粉漂移在煤液化生产过程中产生了一系列

和二期建设。一期的设计能力为采用上湾煤18800 t/d,年生产油品250万t。一期工程建设的3套工业化规模的煤直接液化生产线。一期工程中作为国家示范工程的第一条生产线主要包括:煤粉制备、煤液化、煤制氢、加氢稳定、加氢改质、轻烃回收、催化剂制备、油渣成型等14套生产装置,主要生产过程如图1所示。以上装置中最为核心的是煤直接液化装置,其设计能力为每天处理无水煤6000 t,年生产油品100万t。煤直接液化装置主要由煤浆制备部分、反应部分、常减压分馏部分、公用工程部分组成。

煤直接液化装置首先将原料煤、补充硫、催化剂和加氢稳定装置来的供氢溶剂混合制备成油煤浆;在反应部分油煤浆和氢气在高温、高压以及催化剂作用下进行煤的热解及加氢反应生成液化油;在分馏部分将该液化油和未反应的煤、灰分和催化

影响。

热高压分离器气相煤粉漂移至冷高、中压分离器,使冷高、中压分离器内煤粉沉积,油水分离空间减小,沉降时间缩短,堵塞下部酸性水抽出口,并将煤粉夹带至气相,污染膜分离组件使膜分离效率降低、寿命缩短,甚至带至循环氢压缩机使其入口过滤器堵塞、气阀损坏,也会使急冷油泵低流量线高压差返回角阀阀芯套筒堵塞、阀芯磨损。常压塔顶、洗涤塔气相煤粉漂移至常压塔顶罐及洗涤塔顶罐,使其其中水相中夹带煤粉至污水处理装置,造成汽提塔塔盘堵塞。高中温冲洗油罐内的冲洗油夹带煤粉,使高温高压冲洗油泵返回线高压差角阀磨损,同时磨损阀前后管线,严重时管线磨穿发生泄漏着火事

故,冲洗油中夹带煤粉也会造成较细的冲洗油管线堵塞,注入点阀门磨损导致内漏严重无法控制,转动设备机械密封损坏,测量仪表失灵对装置生产带来严重波动。煤液化生成油中尤其是常三线、减二线油中夹带煤粉使加氢稳定装置从原料油缓冲罐到反应器,再到分馏塔底贯通整个流程,其中加氢稳定装置又将夹带煤粉的高、中温溶剂返送回煤直接液化装置,如此循环给装置运行带来隐患,同时加剧了管线、阀门等设备的磨损,其中部分煤粉穿过加氢稳定装置造成加氢改质、轻烃回收装置产品石脑油、柴油、液化气受到污染,使煤液化终端产品的质量下降。加氢改质装置出现煤粉,最重要的影响是将使煤粉沉积在固定床反应器床层中,使床层压降迅速上升,缩短装置运行周期,甚至覆盖在催化剂空隙内,降低催化剂的比表面积及活性。煤粉带入轻烃回收装置后,颗粒较小的煤粉随着最终产品轻石脑油、液化气等直接带到罐区和脱硫装置(检修时分别在加氢改质装置分馏塔顶回流罐和轻烃回收装置稳定塔顶回流罐中发现较多煤粉),增加了产品再处理的成本。

### 3 煤粉漂移产生的原因

1)热高压分离器液位波动及气相流速大。热高分底液控阀  $C_v$  值( $C_v$  值表示元件对介质的流通能力,即流量系数。)为 68.5,开度只有 20% 左右,液位不宜控制且加快了阀芯的磨损;热高分进料分布器设置较低,当物料液位上升到一定高度后,易将进料分布器淹没,引起液位的大幅波动,降低气液固三相的分离空间,使煤粉易于被气液相夹带,严重时会造成热高分的溢流,即含固油煤浆溢流到高压换热器内堵塞换热器,最终将导致装置的停工;液位采用全开、全关两位式脉冲控制,使液位在 20% ~ 80%,同时易造成高压串低压、溢流等安全事故;热高分气相抽出无气液固分离设施,分离器内上升的气体直接输送到温高压分离器,热高分顶气相流速达 5.48 m/s,流速过大。

2)常压分馏塔顶气相煤粉漂移。常压分馏塔停留时间短,由于塔径只有 1.525 m,且原设计塔底停留时间只有 2 min,导致煤浆物料没有足够的分离空间和时间,使一部分煤粉被上升的气液相夹带至分馏塔顶气相中;常压分馏塔顶气相流速较大,最高达 14.76 m/s,进而使煤粉被气体夹带到轻烃回收装置。

3)煤液化生成油煤粉漂移。加氢稳定装置原料油缓冲罐、反应器、分馏塔,加氢改质、轻烃回收装置均发现了煤粉漂移,说明煤液化生成油中煤粉漂移量较大且贯穿渗透性很强。这是由于煤粉粒度很细,同时煤液化生成油过滤精度低没有有效过滤煤粉。来自加氢稳定装置分馏塔塔底的高、中温冲洗油夹带着部分煤粉又返回煤液化装置,以此循环对装置设备运行带来堵塞、磨损等安全隐患。

4)煤直接液化装置外排酸性水煤粉漂移。主要是洗涤塔、常压塔顶罐、冷中分中酸性水夹带的煤粉造成。外排酸性水中漂移的煤粉是由洗涤塔、热高压分离器、常压塔顶气相的煤粉漂移携带到煤浆洗涤塔顶罐、冷中压分离器及常压塔顶罐内而产生的,最终使外排酸性水漂移携带煤粉。煤直接液化项目自运行以来,污水汽提装置经常性出现污水进料换热器堵塞、汽提塔塔盘堵塞情况,每次堵塞都是煤粉造成的。

5)煤粉粒径分布。煤粉粒径分布设计为  $\leq 200 \mu\text{m}$ (100%)、 $\leq 90 \mu\text{m}$ (86%)、 $\leq 45 \mu\text{m}$ (45%)、 $\leq 5 \mu\text{m}$ (0)。可见煤粉粒径并非越细越好。粒径越小,煤粉的穿透力越强,重力也越小,更容易被漂移。

通过分析煤粉漂移部位及规律发现,煤粉漂移问题的产生主要是热高压分离器、常压塔气相及煤液化生成油的过滤精度低夹带共同作用的结果。

### 4 煤粉漂移的预防措施及效果评价

根据煤粉漂移产生的主要原因制定了相应的解决措施,一是降低热高压分离器、常压塔气相流速,二是增设煤液化生成油过滤器同时提高过滤精度。

1)热高压分离器液位波动及气相流速大。其一,重新核算液控阀  $C_v$  值,优化选用  $C_v$  值为 50 的阀芯及阀座,使阀门开度达到 80% 以上降低了阀芯的磨损速度,同时增强了液位的控制精度。其二,热高分原进料分布器设置较低,当物料液位上升到一定高度后,易将进料分布器淹没,引起液位的大幅波动,经过核算后将热高分进料分布器提高 1 m,增加了液相物料在热高分的分离空间和停留时间,避免了进料带来的液位波动。其三,重新论证优化液控阀控制方式,即由全开、全关形式改为线性控制,消除了由此带来的液位波动,同时也避免了溢流或串压事故的发生。其四,热高分气相抽出增设气液固

分离设施,此设施主要包括挡板和喷淋洗涤分布器,挡板固定在顶部出口的下方,喷淋洗涤分布器固定在挡板与顶部出口之间,分离器内上升的气体会遇到挡板阻挡而产生折流,气体中夹带的液体和煤粉由于惯性作用,而继续向前附着在挡板的表面,使得折流后的气体含固量大大降低,液体和煤粉在挡板的表面积聚到一定量后,会在重力的作用下脱落汇集到分离器出口排出,而喷淋洗涤分布器喷出的冲洗油会对折流后的气体进行冲洗,以进一步减少气体中夹带的煤粉,同时使气相流速从 5.48 m/s 降低到 2.56 m/s。通过以上措施,热高分气相出口夹带的煤粉含量由 5.07 mg/m<sup>3</sup> 下降到 0.304 mg/m<sup>3</sup> 以下。经查热高压分离器内气相流速需控制在 0.1 m/s 以下,才能保证后续温高压分离器液相的悬浮固体物浓度控制在 20×10<sup>-6</sup> 以下。但因神华第一条生产线设计时无可借鉴的经验,为此需在以后的改造及新建项目上综合考虑热高压分离器的停留时间、气液固分离空间、气相喷淋洗涤、气体流速、气液固分离的内构件形式等因素的设计优化。

2) 常压分馏塔顶气相煤粉漂移。常压分馏塔停留时间短:经过 2 次改造已将常压塔底部扩径为 4 m,并将 4 m 塔径高度增加至 11.822 m,延长停留时间至 10 min,分离空间扩大 51 m<sup>3</sup>,通过运行摸索常压塔内煤浆的停留时间要求不应小于 8 min;常顶气增设喷淋洗涤分离流程,即常压塔顶气经减压后进入前脱烃器进行一级气、液固分离,再进油洗塔利用中温溶剂油对常压塔顶气进行喷淋洗涤来脱除夹带的煤粉,后再进入后脱烃器以进行气液分离,相对较干净的常压塔顶气送出装置,一是降低了常顶气相流速从原 14.76 m/s 降低到 1.025 m/s,二是提高了气液固分离效果,使常压塔顶气相夹带煤粉量由 26.89 mg/m<sup>3</sup> 降低到 5.38 mg/m<sup>3</sup> 以下。

3) 煤液化生成油煤粉漂移。将现有分馏塔各侧线泵出口过滤器滤芯孔径由 150 μm 缩小到 75 μm,同时在煤直接液化装置生成油出装置集合管处增设高精度的过滤器,用过滤分离的方法降低加氢稳定装置原料油中的煤粉量;加大加氢稳定装置原料缓冲罐的缓冲能力,提高其原料缓冲罐底部沉淀时间,同时提高排污频次,将煤粉夹带量降低。在加氢改质上游的煤直接液化装置及加氢稳定装置加强分离和缓冲沉降,减少煤粉进入加氢改质及轻烃回收装置,同时在进入两装置前增加过滤设施。经增设高精度过滤器后的实践运行

表明,煤液化生成油夹带煤粉含量大幅降低,平均降低约 0.08%,见表 1。

表 1 煤液化生成油固含量 %

煤液化生成油	改进前固含量	改进后固含量
常顶油	0.09	0.03
常一线油	0.09	0.02
常二线油	0.12	0.01
常三线油	0.12	0.03
减一线油	0.13	0.03
减二线油	0.15	0.03

4) 煤直接液化装置外排酸性水煤粉漂移。主要是洗涤塔、常压塔顶罐、冷中分中酸性水夹带的煤粉造成。对于洗涤塔顶罐而言,严格按设计要求配比煤浆浓度,防止出现浓度过高造成煤粉飞扬;控稳煤浆制备部分负压系统在 -2 kPa,防止出现吸入洗涤塔煤粉过多;保证各列洗涤塔洗涤油油量稳定足够;在洗涤塔内加装拉西环等填料层,强化气液相交换洗涤,改善洗涤效果;改进塔内洗涤油喷嘴结构形式,使洗涤油均匀喷在填料层上。对于冷中分、常压塔顶罐而言,其酸性水中的煤粉来源于热高压分离器及常压塔顶气相漂移。在污水汽提装置原料进装置前,增设高精度过滤器,采用延长沉降时间、加强排污、定期清洗原料换热器等手段来消减原料酸性水中夹带煤粉对装置稳定运行的影响。

5) 煤粉粒径分布。粉煤制剂装置严格按设计粒径要求磨制煤粉。

## 5 结 语

通过分析煤粉漂移部位及规律,发现煤粉漂移的产生主要是热高压分离器、常压塔气相的夹带及煤液化生成油过滤精度低共同作用的结果。根据煤粉漂移产生的原因制定了相应的措施,一是降低热高压分离器、常压塔气相流速,二是增设煤液化生成油过滤器同时提高过滤精度。结果表明:通过降低气相流速,热高压分离器气相夹带煤粉量由 5.07 mg/m<sup>3</sup> 降低到 0.304 mg/m<sup>3</sup> 以下,常压塔顶气相夹带煤粉量由 26.89 mg/m<sup>3</sup> 降低到 5.38 mg/m<sup>3</sup> 以下;增设过滤器及提高过滤精度,煤液化生成油夹带煤粉量降低约 0.08%,煤粉漂移得到了缓解。但还需进一步研究摸索出适宜的气相流速、高效的气

(下转第 71 页)

力-100 Pa,可有效防止粉尘及有毒有机蒸汽的泄漏。

2)采用N<sub>2</sub>作为载气的密闭循环系统,系统内部氧含量低,不仅可提高系统的稳定性、安全性,同时可降低N<sub>2</sub>消耗量,节约成本。

3)干燥后的残渣经薄膜冷却机冷却和增湿机增湿后排放,避免了扬尘,有效防止高温下残渣粉尘自燃和粉尘爆炸的危险,改善现场环境。

4)干燥机尾气排出管道设计为倾斜管道(倾斜角度≥5°),并设计喷淋结构,可有效防止因干燥尾气中细小粉尘黏度大,导致积灰、管道堵塞等风险。

5)干燥尾气中粉尘含有重质油,黏度大,因此采用湿法除尘,除尘后的尾气送入吸收塔回收萃取剂,可有效防止吸收塔填料以及冷却器堵塞。

### 3 结 论

1)提出了采用薄膜干燥机回收煤液化残渣中萃取剂的方法,通过试验验证了该方法对于萃取剂回收的可行性。结果表明,蒸汽压力0.5 MPa,进料量120 kg/h时,萃取剂的回收率>92%,干燥传热系数平均值约为71.62 W/(m<sup>2</sup>·℃)。

2)根据试验研究及相关数据开发了适用于工业装置的惰气氛下的密闭循环工艺。该工艺采用N<sub>2</sub>作为载气,通过薄膜干燥机将残渣萃取物中的萃取剂蒸发汽化,并通过文丘里除尘以及冷却吸收的方法回收萃取剂。干燥后的残渣经间接冷却和喷水增湿后达到抑尘的目的。所采用的设备均为成熟、可靠的设备,且工艺流程简单、安全稳定,可操作性强。

3)该技术可推广应用于类似易燃易爆物料的处理或需要回收物料中挥发分的工艺中。

#### 参考文献:

- [1] 周俊虎,方磊,程军.煤液化残渣硫析出动态特性的研究[J].动力工程,2005,25(3):412-415.
- [2] 周俊虎,方磊,程军.煤液化残渣与褐煤混合燃烧硫污染物排放规律[J].浙江大学学报(工学版),2006,40(1):131-138.
- [3] 楚希杰,李文,白宗庆,等.神华煤直接液化残渣热解特性研究[J].燃料化学学报,2009,37(4):393-397.
- [4] Cui H Y J, Liu Z, Bi J. Effects of remained catalysts and enriched coal minerals on devolatilization of residual chars from coal liquefaction[J]. Fuel, 2002, 81(11/12):1525-1531.
- [5] Benito A M, Fernandez J, Miranda J L. Visbreaking of an asphaltic coal residue[J]. Fuel, 1995, 74(6):922-927.
- [6] 周俊虎,方磊,程军,等.神华煤液化残渣的热解特性研究

[J].煤炭学报,2005,30(3):349-352.

- [7] 崔洪,杨建丽,刘振宇.煤液化残焦基本性质及气化活性的考察研究[J].燃料化学学报,1999,27(S1):15-19.
- [8] 楚希杰,李文,白宗庆.神华煤直接液化残渣水蒸气和CO<sub>2</sub>气化反应性研究[J].燃料化学学报,2010,38(1):1-5.
- [9] Ralf Kopsel H Z. Catalytic effects of ash components in low rank coal gasification 1: gasification with carbon dioxide[J]. Fuel, 1990, 69(3):275-281.
- [10] 崔洪,杨建丽,刘振宇.煤直接液化残渣的性质与气化制氢[J].煤炭转化,2001,24(1):15-19.
- [11] 王晓亮.离子液体提取液化残渣及其回收的研究[D].北京:北京化工大学,2012:13-21.
- [12] 赖世耀,陈学连,盛英,等.一种用于从煤液化残渣中分离沥青烯、前沥青烯/或重质油的离子液复合萃取剂:中国,201010614927[P].2011-05-04.
- [13] 周颖,张艳,李振涛,等.以煤炭直接液化残渣为原料制备炭纳米管[J].煤炭转化,2007,30(3):14-44.
- [14] 赵旭,张万尧,王瑞.一种过滤、洗涤、干燥一体化的连续式压力过滤器:中国,200920144208[P].2009-10-17.
- [15] 赵旭,张万尧,杨喜龙,等.薄膜干燥机:中国,201420010597[P].2014-01-08.

(上接第66页)

液固分离设备等以彻底消除煤粉漂移,为煤直接液化项目的“安、稳、长、满、优”运行奠定基础。

#### 参考文献:

- [1] 相宏伟,唐宏青.煤化工工艺技术评述与展望:煤间接液化技术[J].燃料化学学报,2001,29(4):289-298.
- [2] 张玉卓.神华集团大型煤炭直接液化项目的进展[J].中国煤炭,2002(5):8-9.
- [3] 丰洋.煤制油的现状和进展[J].中国石油和化工,2005(4):73.
- [4] 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,2003.28.
- [5] 高晋生,张德祥.煤液化技术[M].北京:化学工业出版社,2005:125-130.
- [6] 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.
- [7] 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(2):32-35.
- [8] 舒歌平.神华煤直接液化工艺开发历程及其意义[J].神华科技,2009,27(1):78-82.
- [9] 张玉卓,舒歌平,金嘉璐,等.一种煤炭直接液化的方法:中国,200410070249.6[P].2005-03-02.
- [10] 张继明,舒歌平.神华煤直接液化示范工程最新进展[J].中国煤炭,2010,36(8):11.
- [11] 李好管.煤直接液化技术进展及前景分析[J].煤化工,2002(3):8-12.