

# 基于煤炭焦化技术产品升级的 中国现代煤化工工业体系

丁明洁<sup>1\*</sup>, 陈思顺<sup>2</sup>, 陈新华<sup>2</sup>, 赵静康<sup>1</sup>

(1. 河南城建学院化学与材料工程学院, 河南, 平顶山 467000;  
2. 漯河职业技术学院轻工系, 河南, 漯河 462000)

**摘要:**中国庞大的煤炭焦化工业每年产生大量的焦炉煤气和煤焦油,可供碳一化工、煤制油化工的需要,而碳一化工和煤制油化工是“十一五”以来重点建设的新型煤化工。本文从焦化工业的技术与产品升级出发,综合能源、煤炭焦化、液化、气化、碳一化工和石油化工等多个领域的技术成果,勾勒了中国现代煤化工的技术与产品结构网络,旨在从能量流和物质流的链条上充分利用煤炭,用较少的资源、能源、环境和资金投入,来获得较大的经济、环境和社会效益。

**关键词:**煤炭;焦化技术;现代煤化工;产业升级

**中图分类号:**TQ52

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2016)01-0001-07

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.01.001

## The system of modern coal chemical industry of China based on upgrading of technology and products of coking industry

DING Ming-jie<sup>1\*</sup>, CHEN Si-shun<sup>2</sup>, CHEN Xin-hua<sup>2</sup>, ZHAO Jing-kang<sup>1</sup>

(1. School of Chemical and Material Engineering, Henna University of Urban Construction, Pingdingshan 467044, China; 2. Department of Light Industry, Luohe Vocational and Technical College, Luohe 462000, China)

**Abstract:** A huge coking industry in China generates a great deal of oven gas and coal tar each year. These by-products are available as the raw material for C1 chemical industry and coal liquefaction, which have been constructing as the new coal chemical industry since the China's "11th five-year plan". Starting from the upgrading of technology and products of coking industry, an outline of the modern coal chemical industry of China has drawn by integration of the technological achievements of energy, coal coking, liquefaction, gasification and C1 industry. It helps to make full use of coal from both the flows of energy and mass, achieving more economic, environmental and social benefits by using less energy, resource, environmental and capital invest.

**Key words:** coal coking; modern coal chemical industry; upgrading of technology and products

煤炭焦化、煤制电石、煤炭气化生产合成氨等,在我国生产历史悠久,技术成熟度高,被称作传统煤化工。相对地,近年来新投入建设的煤气化及碳一化工、煤炭直接及间接液化制油等被称为新型煤化工。

中国有着世界规模最大的焦化工业<sup>[1]</sup>,焦炭产量约占世界总产量的70%<sup>[2]</sup>。2014年中国煤炭消费量38.7亿t<sup>[3]</sup>,当年度焦炭产量4.77亿t<sup>[4]</sup>,焦化用煤折算为洗精煤约4.5亿t,折算为原煤约9.5亿t,占煤炭消费总量的20%左右。可见,煤炭焦化是当前中国煤化工的主体。

长期以来中国焦化工业以冶金焦炭为主导产品,由于产品结构不健全、发展模式简单粗放、技术

与装备更新缓慢等原因,存在着焦炭产能过剩、能源与资源利用率低、废热废气废水废渣排放量大等问题,受到能源、资源、环境、社会及上下游产业形势等多重因素的制约<sup>[5]</sup>;而另一方面,煤炭焦化是钢铁生产的源头,在短期内无可替代,通过产品与技术升级解决存在的问题,别无选择。

与此同时,鉴于世界石油资源的日益枯竭和我国富煤贫油的资源特点,出于寻找石油替代产品的初衷,从“十一五”开始到“十二五”期间,我国多地掀起了大上新型煤化工的热潮,主要是从煤液化出发的煤制油和从煤炭气化出发经碳一化工路线的煤制甲醇、煤制烯烃、煤制天然气、煤制乙二醇等,建设的规模和水平迅速跨入世界领先的行列。但是,我

们必须认识到,新型煤化工与传统煤化工一样,都是大规模、高投入、高消耗、高产出、高技术含量,而生命周期长、技术及装备更新缓慢、转型成本高的资源型工业,都要受到资源、能源、环境和社会等多重因素的制约,技术成熟度和投资回报的不确定性是新型煤化工建设无法回避的风险<sup>[6-7]</sup>。相对而言,煤炭焦化在我国已有数十年的生产历史,大规模的基础建设已完成,长期的生产运营积累了较多的经验,其本身存在的问题也得以为我们所认识,通过创新技术与完善产品结构来解决这些问题,必能使传统煤化工工业面貌一新,使已有的建设基础发挥出更大的生产力效应。

煤的焦化、液化与气化有着共同的基础,就是煤的热解。狭义地说,煤的焦化是以获得焦炭为主要目的、在隔绝空气条件下的高温热解,煤的直接液化是以获得液体产品为主要目的、在加氢条件下的中低温热解,煤的气化是以获得各类原料气为主要目的、在小分子气化剂存在下的高温热解。我国规模庞大的焦化工业每年产生大量的焦炉煤气和煤焦油,以焦炉煤气作为碳一化工的原料可以获得煤炭气化的各种产品,从煤焦油出发也可以得到煤炭液化的各类产品。因此,煤炭液化、气化及碳一化工领域的新技术成果改进并援引到焦化工业的焦炉煤气及焦油加工中,必将提升焦化工业的资源与能源利用水平。石油化工重油与渣油的加工技术对焦化工业的技术升级也有很好的借鉴作用。

综上分析,中国新型煤化工的建设必须与煤炭焦化工业的技术升级相耦合,共同构建中国现代煤化工工业。本文以环境与生态保护为出发点,从焦化工业技术升级出发,综合能源、煤炭焦化、液化、气化和碳一化工等多个领域的技术成果,勾勒了“能源—炼焦—液化—气化—碳一化工”一体化的中国现代煤化工的产品与技术结构网络,愿能为现代煤化工工业的建设与发展提供参考。

## 1 中国现代煤化工的时代特征

煤是能量与质量的统一体,煤炭的转化是煤的能量流与质量流的综合过程,本文暂且把煤的能量流属性称作能源,而把其质量流属性称为资源。煤炭焦化的兴起最初是始于生产冶金焦炭,关注的仅是从煤炭到焦炭的质量流,而焦化过程的能量流利用和焦炉煤气及煤焦油等副产品中的质量流利用一开始就没有受到重视,必然的结果就是能源效率低

下、资源利用粗放和环境污染严重,直至今天成为行业、社会和国家宏观政策关注的焦点。

区别于传统的中国煤化工,现代中国煤化工必须能够充分体现“能源与资源高效转化与综合利用、清洁生产和资源循环利用”的时代特征,用较少的能源、资源、环境和资金投入,来获得较大的经济、环境和社会效益。任何的新型煤化工,如果不具备这一特征,就只能是新型煤化工,而不是现代煤化工。

### 1.1 现代煤化工的能源转化利用

现代煤化工建设必须把煤的能量流即能量的转化利用提升到与质量流同等重要的位置。近年来,在《煤炭焦化行业准入条件》等一系列国家宏观政策的诱导下,我国在炼焦节能技术方面有较大突破,焦化工序能耗总体上有明显的下降,但依然在 150 kgce/t 左右。2013 年上半年,我国重点钢铁企业的焦化工序平均能耗约为 100.37 kgce/t,同比下降 5.97 kgce/t<sup>[8]</sup>。目前我国焦化工序能耗的先进值达到 55 kgce/t 以下,但落后值仍在 273 kgce/t 左右,差距达 5 倍,这意味着我国焦化工业在能源效率的提升上还有极大潜力。若能通过技术升级使焦化工序能耗普遍达到目前的先进值,每年节约的能量相当于 4 亿 t 标准煤以上。

焦化工序能耗的 80% 左右集中在焦炉单元上,煤炭储运、备配煤环节的能耗约占 5% ~ 8%,其余的消耗在焦炉后的煤气及化产回收等单元<sup>[9]</sup>;在焦炉单元的能耗中,红焦显热约占 38%、高温荒煤气约占 34%、烟道气带出热量约占 18%、焦炉热损失约占 10%<sup>[10]</sup>。采用干熄焦技术约可回收红焦显热的 80%,副产高品质蒸汽用于发电或用于焦油加工等化产单元的工艺蒸汽<sup>[11]</sup>。高温荒煤气的显热回收也取得了一定的研究成果,采用导热油间接冷却技术来回收其中的热能<sup>[12]</sup>,采用汽化冷却、加热锅炉给水、热管换热、导热油夹套、锅炉和半导体温差发电等可望回收焦炉上升管中荒煤气带出显热的 30% 左右<sup>[10]</sup>。利用焦炉烟道气余热进行入炉煤调湿、或利用废热锅炉使这部分余热转化为蒸汽,可望回收焦炉烟道气余热的 50% 左右<sup>[13-14]</sup>。焦炉热工优化技术如焦炉火落温度自动控制、焦炉操作与管理的智能化等,可以节约回炉煤气用量的 3% ~ 5%<sup>[15-17]</sup>。由于技术成熟度、专利问题和投资巨大等原因,这些技术还没能在整个焦化行业普遍推广,但它们的综合优化、有序集成和推广应用将带来煤

炭焦化工业能源转化效率的飞跃,推动传统煤化工向现代煤化工的转变。

今后建设任何煤化工项目,都必须从设计阶段做好煤炭能量流向的转化、回收和利用。

## 1.2 现代煤化工的资源转化利用

至今为止,不管是传统煤化工、还是近年来新建的煤化工,资源的利用极为粗放:如中国冶金焦炭的产量约占世界总量的70%,而焦炉煤气、煤焦油及沥青的利用却远远落后于世界水平,很多煤焦油基的精细化学品及高性能沥青基材料要依赖进口;“十一五”以来建设的大型煤液化示范项目,从煤制油的角度上可以说是世界领先水平,但其中精细化学品的生产及液化残渣的利用却很少受到关注;投资巨大进行煤炭气化来获得碳一化工的原料气,进而制油、制烯烃、制芳烃、制天然气等的重大项目,副产品的利用都鲜有同步。这种质量流向上产品的单一性本身就是对煤炭资源的极大浪费。

另外,关于煤化工的规模问题,普遍的观点是“大”,以占地规模宏大、投资巨大、产量极大为“大”。这种宏观的“大”与煤化工单位能耗、煤耗、水耗等的脱离,必将引起资源与能源的浪费及各种环境问题。对于煤化工这样一个资源消耗性工业,单位资金投入的回报率、单位原料煤消耗的附加值和环境生态的投入问题等,也必须是衡量现代煤化工建设水平的重要标准。

因此,中国现代煤化工建设,不能仅仅关注宏观的规模效益,资源利用粗放的问题必须得到解决,必须向资源的综合利用、精细化和精深化的方向发展。

当前,煤气化获得含CO、CH<sub>4</sub>和H<sub>2</sub>等的混合气体,进而作为碳一化工的原料,生产液体或气体燃料、合成各种化学品,被普遍视为“新型煤化工”,煤加氢液化制取燃料油也被认为是寻找石油替代产品的“新型煤化工”<sup>[6-7]</sup>。众所周知,煤的气化和加氢液化都是规模巨大的高能耗、高煤耗和高排放的过程,与任何传统煤化工一样要受到能源、资源和环境的制约。

另一方面,煤炭焦化所产生的焦炉煤气也是碳一化工的优质原料<sup>[18-19]</sup>、所产生的煤焦油也是制取液体燃料油和芳香族精细化学品的基础原料<sup>[20-23]</sup>。按2014年我国生产焦炭4.77亿t计<sup>[4]</sup>,相应的焦炉煤气产量近2000亿m<sup>3</sup>,除焦炉自用外,年富余量也有1000亿m<sup>3</sup>左右;而煤焦油的产量按焦炭产量的4%约算,也有1900万t左右。这还不包括生产

兰炭产生的中低温煤焦油和焦炉煤气。如果需要,通过改变和优化配煤组成和焦炉操作条件,还可以增加焦炉煤气及煤焦油的产量。在目前我国焦炭产能过剩、焦炭与原料煤价格几近倒挂的大背景下,只有通过焦炉煤气及煤焦油的加工利用来分担焦炭的生产成本,以化养焦。如能把新型煤化工的建设与煤炭焦化工业的技术升级相耦合,利用碳一化工与煤液化等的新技术成果,以焦炉煤气来替代煤炭气化生产的碳一化工的原料气、以煤焦油替代煤直接液化的初级粗油,不仅能使中国焦化工业焕发出新的生命力,还能节约新建煤气化和加氢液化的巨额资金、减少煤炭资源与能源的消耗、减轻现代煤化工建设所面临的环境与生态的压力,从中国焦化工业的技术升级出发构建一个资源综合高效利用的现代中国煤化工工业。

因此,依托中国规模庞大的煤炭焦化工业已有的建设基础,把煤炭液化及碳一化工的技术成果援引进来<sup>[24-25]</sup>,从焦炉煤气出发进行碳一化工的规划建设,由煤焦油出发生产煤基精细化学品和液体燃料油,从质量流的角度把煤炭中的资源尽可能多地转移到产品中去,这不仅是可行的,更是煤化工可持续发展的必然。

## 1.3 现代煤化工的清洁生产与废水废气废固废热的资源化利用

进入21世纪,中国化工必须走上绿色化和可持续发展的道路<sup>[26]</sup>,煤化工以煤有机质的高温热解为核心过程,是废水、废气、废固及废热等的排放大户,清洁生产任务艰巨。另一方面,煤化工排放物中也蕴含着大量的能源和化工资源,其资源化利用既是煤焦化工清洁生产的需要,也是煤炭资源高效利用的需要,还将产生一定的经济效益。

在煤化工的四废资源化利用方面,工业界及学术界已做了大量的工作,废热利用在前面已述及,在质量流方面,废水废气废固的利用也取得了较大的进展。利用焦化废水和炼焦煤洗选过程产生的煤泥等制备水煤浆<sup>[27-28]</sup>,用于锅炉燃烧、发电或造气等,既使焦化废水和煤泥得到了有效治理,又节约了水和煤资源。焦化过程中,从备煤、配煤、炼焦、熄焦、推焦、输送及烟道排放等环节,排放了大量的粉尘,其中含有大量煤粒、焦粒、无机矿粒、多环芳烃等,对环境及人身健康危害极大,同时这些污染物也是有用的碳源,通过工艺及装备优化设计使这些粉尘汇聚后可以资源化利用<sup>[29-31]</sup>。煤化工因为是

CO<sub>2</sub> 的排放大户而备受关注<sup>[32-34]</sup>,其实 CO<sub>2</sub> 也是可以资源化利用的。谢和平等提出的全球 CO<sub>2</sub> 减排的 CCU 理念 (Carbon Dioxide Capture and Utilization),利用 CO<sub>2</sub> 矿化转化天然矿物等,将 CO<sub>2</sub> 作为一种碳资源进行有效利用,如氯化镁矿化 CO<sub>2</sub> 联产盐酸和碳酸镁、固废磷石膏矿化 CO<sub>2</sub> 联产硫基复合肥等<sup>[32]</sup>。CO<sub>2</sub> 是碳元素的最终氧化物,具有一定的化学惰性,它在常压下、温度为 -78.3℃ 的条件下,不经液体阶段直接变为固体,临界温度适宜,在化工、食品及生物加工中用作惰性气体、冷却剂和超临界溶剂<sup>[35]</sup>;其分子结构中的羰基,可用于多种含羰基化合物及聚合物的制备,通过加氢还原等还可合成低碳醇、烃类等<sup>[36-37]</sup>。煤化工产生的煤渣、粉煤灰等,已普遍用于建筑材料,生产氧化铝、二氧化硅及复合材料等精细化利用研究也取得了一定进展<sup>[38-41]</sup>。

由于我国科技发展中生产领域与研发领域功能的分离,许多技术成果重研究而不重推广,且这些成果之间缺少匹配和集成。中国现代煤化工的建设中,必须把以上这些技术成果进行继续优化、有效集成和推广应用。

## 2 中国现代煤化工的产业与技术体系的构建

如前所述,中国现代煤化工的建设目标是要实现煤的能源与资源高效转化与综合利用、清洁生产和资源循环利用,完善的产业、产品与技术结构是实现这一目标的前提,煤炭焦化的技术升级与液化、气化、碳一化工、芳烃生产、石油化工等方面先进技术的耦合集成,是实现这一目标的有效途径。本文从中国焦化工业的技术及产业升级出发,勾勒了“能源—焦化—液化—气化—碳一化工—精细化学品”一体化的现代煤化工产品与技术结构网络,如图 1 所示。

### 2.1 焦炉煤气到碳一化工的产业链延伸

按干煤计,我国煤炭焦化工业每年生产约 1 000 亿 m<sup>3</sup> 的富余焦炉煤气,过去用于廉价的城市煤气。随着国家西气东输工程的实施,其作为城市煤气的功能已被取代,急需寻找新的利用途径。同时,目前国内碳一化工发展迅猛,要靠煤炭的气化来提供原料气。焦炉煤气作为碳一化工的原料气进行综合利用,是传统的煤炭焦化与新型煤化工的联接点,由此把煤炭焦化的产业链延伸到碳一化工领域,使得煤炭的焦化与气化殊途而同归。

焦炉煤气与煤气化生产的合成气相比,有较高

的氢气含量,是制氢、制乙炔、制合成氨、制甲醇等碳一化学产品的优良原料。焦炉煤气可用于发电,可变压吸附分离制氢,可变换制合成气、经费托合成制天然气和液化石油气、制液体煤料油,可以制乙炔和烯烃,可用于混合低碳醇、氨、二甲醚、乙二醇等。重要的是,碳一化工从原料气的净化、变换、转换与调制,以及各种碳一化学品和它们的下游产品生产的工艺与设备等,在国内外有较多成熟的技术和丰富的经验可供借鉴。这些技术经过改进和优化,并有序地援引和集成到焦炉煤气的加工中,必将展现出惊人的生产力效应。相对于煤炭气化高额的资金投入和环境投入,焦炉煤气综合高效利用的优势是显而易见的。

### 2.2 煤焦油精深加工方向的产品链延伸

煤焦油是世界上多环芳香族化合物的基本来源,发达国家如德国等,能够从煤焦油加工中获得近 200 种产品,我国煤焦油的加工水平远远落后于世界先进水平,目前能够进行工业化生产的产品也就十余种,焦油组分的利用率极低;蒸馏的残渣即煤沥青,约占煤焦油重量的 50%,多为劣质沥青,目前的主要用途是生产普通炭素材料和粘结剂<sup>[42-43]</sup>,经过精制获得生产高性能炭素材料的优质沥青的技术也已趋于成熟<sup>[44-45]</sup>。中国新型煤化工的煤焦油加工,必须引入新的技术元素,如加氢制油、加氢降解、氧化降解等,改变煤焦油加工利用中以蒸馏为主导技术的现状,使其技术路线和产品结构多元化、精细精深化。

煤焦油加工首先要考虑的是尽可能多地利用其中的芳香族组分。例如,煤焦油中富含的各种芳香族化合物,经过氧化可以得到芳香族的醛、酮、酸、醌、环氧化物和过氧化物等;其中的沥青质大分子,经过氧化解聚,也能生成较小分子的芳香族含氧化合物。现在我国的加工路线是先分离到纯化合物、后氧化转化,能直接从煤焦油中分离出的组分太有限,而且氧化后还需要经过艰难的分选过程。如能先进行氧化再进行分离,虽然其氧化产物的组成也相当复杂,但比起煤焦油简单一些,可望得到较多的产品及焦油组分较高的利用率。这一路线需要较多的基础研究,如能实施,必将带来焦油加工技术的巨大进步。

援引煤直接液化粗油的加氢提质技术,对煤焦油提取精细化学品以后的剩余部分进行加氢提质,可把煤炭焦化的生产链延伸到煤炭液化领域。我国在大规模煤直接液化制油示范工程的建设中,对煤



直接液化粗油加氢提质进行了大量的基础研究,并实现了大规模工业化。煤焦油和煤直接液化粗油都是芳香族化合物的混合物,替代煤直接液化的粗油加氢提质来制液体燃料油,技术上是可行的,资源优势 and 成本优势也是显而易见的。近年来我国褐煤低温热解提质工业快速发展,中低温煤焦油的产率更高,提取酚类等化学品后<sup>[42]</sup>,加气制燃料油是最好的选择。煤炭直接液化的油收率基本上在 50% 左右,神华煤直接液化总建设规模是年产油品 500 万 t、折算为中间粗油约为每年 750 万 t、用煤规模约每年 1 500 万 t。我国焦化工业每年焦油产量约 1 900 万 t,加上中低温煤焦油就更多,用其中的一半来进行加氢液化制油,就能达到神华煤直接液化的生产规模。

### 2.3 能量流与资源循环利用的产品链延展

在能量流的产品链上,除了前面已经述及的干熄焦回收高温红焦显热、导热油间冷回收高温荒煤气显热、焦炉烟道气余热回收、副产蒸汽发电、焦炉热工优化及智能化等新技术元素的综合优化、有序集成和推广应用外,还要考虑把煤炭焦化与发电相耦合。过剩的焦炭产量和褐煤低温干馏生产的兰炭需要寻找出路,以焦炭和兰炭为原料,通过 IGCC 发电与化工多联产的耦合<sup>[46-47]</sup>,进行发电和碳一化工生产,从这里把煤炭焦化的产品链延伸到电力领域,这一耦合在提高能源和资源转化效率的同时,还有利于有效回收和利用 CO<sub>2</sub>。煤化工生产中的焦化废水、煤泥、粉煤灰、煤渣、粉尘等的利用,前已述及,总之是要从质量流的链条上把煤中的元素尽可能多地转化为产品,减少排放。

### 3 结束语

建设中国现代煤化工必须要充分体现“能源与资源的高效转化与综合利用、清洁生产和资源的循环利用”的时代特征,完整的技术及产业与产品链是实现这一目标的前提。煤炭焦化是当前中国煤化工的主体,存在的主要问题是焦炭产能过剩、资源利用粗放、四废排放量大、加工模式及产品结构较为单一,亟待进行技术与产品的全面升级。我国煤炭焦化工业庞大的基础建设已经存在,每年产生大量的焦炉煤气和煤焦油,可供碳一化工、煤制油的需要,从焦化工业的技术与产品升级出发建设碳一化工和煤制油等新型煤化工,共同构建成具有时代特征的中国现代煤化工,无论是从技术上、能源与资源的利用上,还是从环境与生态安全上,都有重要的意义。

本文综合能源、化工、煤炭焦化、液化、气化、碳一化工和石油化工等多个领域的技术成果,勾勒了中国现代煤化工的轮廓,从煤炭焦化的技术升级出发,从焦炉煤气的加工利用把煤炭焦化的产业链延伸到碳一化工领域,从焦油的加工利用把煤炭焦化的产业链延伸到煤液化和精细化学品生产领域,利用过剩的焦炭产量和低阶煤低温焦化生产的兰炭,通过 IGCC 发电和碳一化工多联产的耦合,把煤炭焦化的产品链延伸到发电及碳一化工领域,从能量流利用与四废资源化利用上进一步提升煤化工生产的清洁度,旨在从能量流和物质流的链条上充分利用煤炭,用较少的资源、能源、环境和资金投入,来获得较大的经济、环境和社会效益。

### 参考文献

- [1] 郑文华,刘洪春,周科. 中国焦化工业现状及发展[J]. 钢铁, 2004,39(3):67-73.
- [2] 中国煤炭经济研究院. 转方式调结构 激发产业活力. 中国煤炭报,2014-02-17,第006版.
- [3] 2014年全国原煤产量38.7亿吨[EB/OL]. 煤炭研究网. <http://www.coalstudy.com>,2015-02-27/2015-06-24.
- [4] 2014年中国焦炭产量4.77亿吨[EB/OL]. 中国煤炭市场网. <http://www.cctd.com.cn>,2015-02-12/2015-06-24.
- [5] 丁明洁,陈思顺,陈新华,等. 中国焦化工业问题分析及对策研究[J]. 现代化工,2013,33(8):13-17.
- [6] 李雪梅,李长峰,赵军. 我国新型煤化工项目选择风险分析[J]. 化工进展,2011,30(S):393-396.
- [7] 李红星. 国内新型煤化工发展现状和前景分析[J]. 现代化工, 2014,34(8):3-5,7.
- [8] 钢联咨询. 2013年上半年重点钢铁企业高炉炼铁技术进展评述. <http://info.glinfo.com>,2013-09-04/2014-05-09.
- [9] 杜长林. 焦化工序能耗分析[J]. 冶金能源,1983,2(1):9-10,16.
- [10] 张欣欣,张安强,冯妍卉,等. 焦炉能耗分析与余热利用技术[J]. 2012,47(8):1-4,12.
- [11] 张秋强,谭豫章,董兴宏. 我国干熄焦技术的回顾与现状分析[J]. 燃料与化工,2012,41(5):4.
- [12] 韩培. 焦炉荒煤气显热的余热利用[J]. 中国高新技术企业, 2015,(19):103-105.
- [13] 于春令,杨国华. 利用焦炉烟道气废热对煤进行气力分级与调湿一体化机组及应用[J]. 环境工程,2009,27(1):97-99.
- [14] 熊江君,唐春,廖在明,等. 焦炉烟道气余热利用的不足与改进[J]. 燃料与化工,2013,44(4):36-37.
- [15] 武荣成,许光文. 焦化过程调湿技术发展与应用[J]. 化工进展,2012,31(51):149-153.
- [16] 金珂,冯妍卉,张欣欣,等. 耦合燃烧室的焦炉炭化室内热过程的数值分析[J]. 化工学报,2012,63(3):788-795.

- [17] 王伟,吴敏,雷琪,等. 炼焦生产过程质量产量能耗的集成优化控制[J]. 化工学报,2008,59(7):1449-1454.
- [18] 张春桃,刘帮禹,王海蓉,等. 焦化甲醇下游衍生品研发进展[J]. 现代化工,2014,34(2):54-58.
- [19] 易群,吴彦丽,范洋,等. 焦炉煤气-甲醇产业链延伸技术方案的经济分析[J]. 化工学报,2014,65(3):1003-1010.
- [20] 张晓静. 中低温煤焦油加氢技术[J]. 煤炭学报,2011,36(5):840-844.
- [21] 姚春雷,全辉,张忠清. 中、低温煤焦油加氢生产清洁燃料油技术[J]. 化工进展,2013,32(3):501-507.
- [22] Kan Tao, Sun Xiaoyan, Wang Hongyan, *et al.* Production of gasoline and diesel from coal tar via its catalytic hydrogenation in serial fixed beds[J]. Energy Fuels, 2012, 26(6):3604-3611.
- [23] Kusy J, Andel L, Safarova M, *et al.* Hydrogenation process of the tar obtained from the pyrolysis of brown coal[J]. Fuel, 2012, 101(1):38-44.
- [24] 许建文,王继元,堵文斌,等. 煤直接液化技术进展[J]. 化工进展,2012,31(S):119-123.
- [25] 李涛. 碳一化工的技术、产品现状及其发展方向[J]. 化工进展,2012,31(S):124-128.
- [26] 王静康,龚俊波,鲍颖. 21世纪中国绿色化学与化工发展的思考[J]. 化工学报,2004,55(12):1944-1949.
- [27] 徐志强,涂亚楠,孙南翔,等. 利用焦化废水制备水煤浆的试验研究[J]. 中国煤炭,2013,39(6):105-109,121.
- [28] 王彦彪,郭晓静,周国江. 利用焦化废水制备煤泥水煤浆[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2011,30(4):80-85.
- [29] 唐锐. 焦化粉尘中多环芳烃赋存规律的研究[D]. 唐山:河北理工大学,2009.
- [30] 尤文茹. 焦化厂粉尘和烟尘治理实践[J]. 河北冶金,2013,(4):74-75.
- [31] 吴宗旺. 重钢集团焦化生产系统改进研究及应用[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [32] 谢和平,谢凌志,王昱飞,等. 全球二氧化碳减排不应是CCS,应是CCU[J]. 四川大学学报(工程科学版),2012,44(4):1-4.
- [33] 杨文书,吕建宁,叶鑫,等. 煤化工二氧化碳减排与化学利用研究进展[J]. 化工进展,2009,28(10):1728-1733.
- [34] 毛玉如,张晓晓,沈鹏,等. 焦化行业CDM节能减排实证研究[C]. 第十届中国科协年会第18分会二氧化碳减排和绿色化利用与发展研讨会论文集,2008.
- [35] 郑岚,陈开勋. 超临界CO<sub>2</sub>技术的应用和发展新动向[J]. 石油化工,2012,41(5):501-508.
- [36] 杨烽,王睿. 温室气体CO<sub>2</sub>资源化催化转化研究进展[J]. 煤炭学报,2013,38(6):1060-1071.
- [37] 秦玉升,顾林,王献红. 二氧化碳基脂肪族聚碳酸酯的功能化研究进展[J]. 高分子学报,2013,(5):600-608.
- [38] 易龙生,王浩,王鑫,等. 粉煤灰建材资源化的研究进展[J]. 硅酸盐通报,2012,31(1):88-91.
- [39] 马壮,陶莹,羊娟,等. 粉煤灰复合材料研究进展[J]. 硅酸盐通报,2014,33(4):826-830.
- [40] 胡勤海,张辉,白光辉,等. 高铝粉煤灰精细化利用的研究进展[J]. 化工进展,2011,30(7):1613-1617.
- [41] 李来时,翟玉春,秦晋国,等. 以粉煤灰为原料制备高纯氧化铝[J]. 化工学报,2006,57(9):2189-2193.
- [42] 李艳红,赵文波,夏举佩,等. 煤焦油分离与精制的研究进展[J]. 石油化工,2014,43(7):848-854.
- [43] 水恒福,张德祥,张超群. 煤焦油分离与精制[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [44] 周建石,魏贤勇,李鹏,等. 煤焦油的分离和优质煤沥青的制备[J]. 河北师范大学学报:自然科学版,2011,35(5):493-497,514.
- [45] 许斌,李铁虎. 高性能炭材料生产用煤沥青的研究[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版,2005,28(2):15-161.
- [46] 金红光,王宝群,刘泽龙,等. 化工与动力广义总能系统的前景[J]. 化工学报,2001,52(7):565-570.
- [47] 李召召,代正华,林慧丽,等. IGCC-甲醇多联产系统节能分析[J]. 中国机电工程学报,2012,32(20):1-7. ■

## 中国海油与壳牌将扩建南海石化工厂

2015年12月15日,中国海油与荷兰皇家壳牌公司在广州签署了1份重大条款协议,扩建双方位于广东省惠州市已有股比为50:50的合资企业。按照该协议,政府批准后,壳牌将参与正在建设中的中国海油项目,在现有南海石化联合装置旁参资兴建另1套石化联合装置。

该协议包括正在建设中的1套乙烯裂解装置和多套下游化工装置,以及1个苯乙烯和环氧丙烷/聚醚多元醇(SMPO/POD)装置。新建裂解装置将南海工厂的乙烯产能提高100万t/a,使现有产能增加1倍左右。

作为协议的一部分,壳牌将其生产环氧乙烷和乙二醇的OMEGA专有技术,以及SMPO/POD技术应用于合资企业。扩建项目将增加南海石化工厂高质量产品的产量和种类,并提高合资企业的总能量效率。

中国海油已经开始建设该石化联合装置,预计2年后投入商业运行。扩建项目将使南海石化工厂的乙烯产能提高到大约200万t/a。该工厂将多种液体原料转化为乙烯及其衍生物,广泛应用于消费品,包括电脑、塑料瓶、洗涤液等。(化)