

煤炭清洁利用发展模式与科技需求

陈贵锋^{1 2 3}, 罗 腾^{1 2 3}

(1. 煤炭科学研究总院 煤化工研究分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

摘 要: 中国煤炭利用方式还比较粗放, 煤炭清洁利用的产业规模小, 空间布局不合理, 产生的能效环境问题突出, 迫切需要转型升级。提出未来煤炭生产利用模式由煤炭生产转变为清洁能源生产, 即大型煤炭基地生产—就地转化成油品、燃气、电力、化工品等清洁燃料和原料的发展模式, 分析了支撑未来煤炭清洁利用方式模式的基础条件, 提出了煤炭清洁利用的科技需求, 对实现煤炭清洁高效利用和促进转型升级具有重要参考价值。

关键词: 煤炭; 清洁利用; 发展模式; 技术; 装备

中图分类号: TQ536; TD849 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2014)02-0099-05

Development patterns and technology requirements of clean coal utilization

CHEN Guifeng^{1 2 3}, LUO Teng^{1 2 3}

(1. Beijing Research Institute of Coal Chemistry, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;
2. National Energy Technology & Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China;
3. State Key Laboratory of High Efficient Mining and Clean Utilization of Coal Resources, Beijing 100013, China)

Abstract: The utilization pattern of coal in China is still relatively extensive, the industry scale of clean coal utilization is small, the space layout is unreasonable, and the induced efficiency and environmental problems are obvious, so there is urgent need for transformation and upgrading. Put forward the development pattern of converting from coal production to clean energy production for future coal production and utilization mode, namely the coal production by large base. The coal can be converted into oil, gas, power, chemicals and other clean fuels and raw materials on site. Analyse the basic conditions and technology requirements supporting the future clean coal utilization mode. It has important reference value for realizing clean and efficient utilization of coal and promoting Coal industry transformation and upgrading.

Key words: coal; clean utilization; development pattern; technology; equipment

0 引 言

“十八大”报告提出推动能源生产和消费革命, 彻底改变能源利用效率低、污染排放大的模式, 在经济较快增长前提下, 控制能源消费总量增长。要实现煤炭生产和消费革命, 就必须实现煤炭利用方式的根本变革, 煤炭实现大型基地化生产, 由目前单纯提供煤炭向提供清洁燃料和原料转变^[1]。在大型煤炭生产基地, 采用先进技术, 实现煤炭清洁转化与深加工, 将煤炭转化成清洁油品、合成天然气、化工

原料、电力、建材等多产品, 能源梯级利用, 综合能效高, 同时实现 SO₂、NO_x、CO₂ 等多种污染物减排。

1 未来煤炭清洁利用的发展模式

中国大多城市能源消费以煤炭为主, 一些大城市如北京市尽管采取了严格的限煤措施, 直接煤炭消费比例仍然较高, 2012 年北京煤炭消费占能源消费总量的 25%^[2], 煤烟型污染是造成 2013 年中东部地区特别是京津冀及周边地区出现较大面积、较长时间、较高污染雾霾天气的因素之一。中国正在

收稿日期: 2014-01-26; 责任编辑: 孙淑君 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.02.026

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05040-001)

作者简介: 陈贵锋(1966—), 男, 湖南常德人, 研究员, 煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院副院长, 中国煤炭学会资深会员, 主要从事现代煤转化技术研发和洁净煤技术经济等研究工作。E-mail: chen@cct.org.cn

引用格式: 陈贵锋, 罗 腾. 煤炭清洁利用发展模式与科技需求[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(2): 99-103.

CHEN Guifeng, LUO Teng. Development patterns and technology requirements of clean coal utilization[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(2): 99-103.

快速推进新型城镇化建设,若沿用传统的煤炭利用方式,必将加剧城市环境压力,降低城镇化质量。未来煤炭清洁利用需打破现有空间布局,建设大型煤炭生产基地,实现煤、化、电、建材等一体化生产,形成煤基清洁能源基地,由输送煤炭到城市转变为输送清洁油品、燃气、电力等煤基清洁能源产品,实现利用方式的根本变革。煤基清洁能源基地以煤炭清洁转化为核心,以煤炭清洁利用技术为载体,利用管道、高等级电网、铁路等输送优质清洁能源产品,输送到能源负荷中心如城市群,减轻城市群由于人口密度大、环境容量小造成的环境压力。建立煤基清洁能源基地,形成大型煤炭生产(千万吨级或更大)一化工转化一电力一建材、材料闭合循环经济产业链,可实现能源梯级利用,污染物近零排放。未来煤炭清洁利用方式如图1所示。

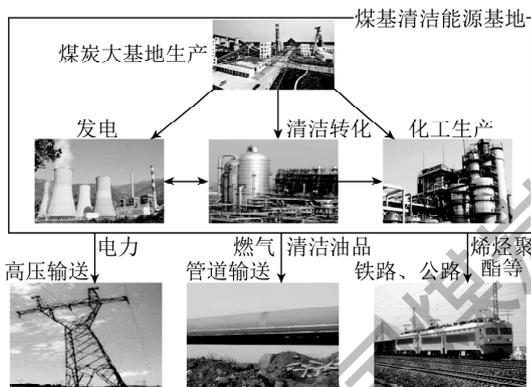


图1 未来煤炭清洁利用方式

大型化、基地化和集约化将是煤炭清洁利用的发展方向,建立煤基清洁能源基地,形成规模化生产,如天然气产能达300亿 m^3/a 、油品产能500万 t/a 等,便于集中管道输送,是未来煤炭清洁利用的主要模式。

2 煤炭清洁利用发展模式的基础条件

2.1 煤炭生产的西移和大型煤炭基地建设

1) 煤炭开发重点明显西移。2000—2012年,西部地区煤炭产量占比从2000年的28.5%增长至2012年的53.6%,年均增速达15.26%;中部地区煤炭产量占比从2000年的53.8%降至2012年的38.0%;东部地区煤炭产量占比从2000年的17.7%降至2012年的8.4%,产量逐步萎缩。各地区煤炭产量变化如图2所示。煤炭开发逐步转向以西部为主,中部为辅,东部为补充的格局。

2) 西部地区煤炭质量总体优良。西部地区煤

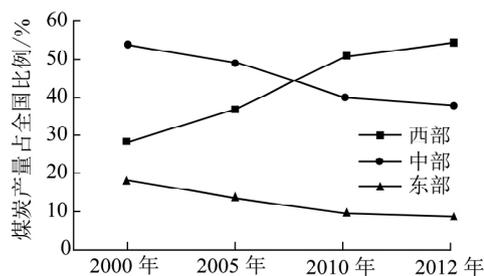


图2 各地区煤炭产量变化

炭灰分以低灰(灰分在5%~10%)、低中灰分(灰分在10%~20%)煤为主,硫分多在0.9%以下,其中西北地区煤炭硫分最低,内蒙古煤炭平均硫分0.89%,新疆煤炭平均硫分0.79%^[3]。相对东部和中部地区,西部地区煤炭质量较好。

3) 煤炭开发形成基地化、集约化和大型化。2012年14个大型煤炭基地生产煤炭33亿 t ,占全国的90.4%,12个煤炭基地超亿吨,神东基地超过7亿 t ,蒙东基地超过4亿 t 。2012年,全国建成年产120万 t 以上大型现代化煤矿743处,产量23.6亿 t ;其中千万吨级煤矿47处,产量6亿 t ^[1]。

4) 西部地区水资源成最大制约因素,局部地区较为丰富。中国水资源分布严重不均,西北、华北缺水尤其严重。煤炭基地和煤炭清洁利用项目大都分布在缺水地区,一个大型煤炭清洁利用基地耗水达上亿吨,水资源成为清洁利用产业发展的最大阻力。相对而言,新疆伊犁河谷、黄河沿岸、云贵部分地区等水资源较为丰沛,是未来中国煤炭清洁利用布局的重点。

2.2 煤炭清洁利用的技术突破和重大成果

煤炭清洁利用技术及产业示范是建设煤基清洁能源基地的关键。目前,中国在煤气化、煤液化、煤制烯烃、煤制乙二醇等碳一化工领域取得重大进展,突破了一批关键技术,形成了一批拥有自主知识产权的科技成果,建设和运行了一批示范工程^[4]。

1) 大型煤炭气化技术取得突破性成果。中国气化技术快速发展,相继研发和示范了多喷嘴水煤浆炉、航天炉、清华炉、五环炉、东方炉、两段式干煤粉炉等。具有自主知识产权的2000 t 级干煤粉气流床气化技术、2000 t 级水煤浆气流床气化技术已实现工业化运行,打破了国外大型煤气化技术的垄断,投资较进口技术大幅降低。多喷嘴水煤浆气化技术工业化推广取得较大成功,实现从交专利费到技术出口,建成和在装置近100台。航天炉等干煤粉气化炉也取得快速发展。

中国煤气化技术的发展方向是大型化、煤种适应性宽、材料设备能立足于国内等。针对高水分、高灰、高灰熔融性的煤质特点,开发新型煤炭气化工工艺,并采用新技术、新工艺、新材料^[5],使单台气化炉日处理煤量达3000 t级。

2) 煤炭直接液化实现商业化运行。煤炭科学研究总院从20世纪80年代初开始研发,开发了直接液化工艺、催化剂,为产业化奠定了坚实技术基础。神华鄂尔多斯百万吨级煤炭直接液化示范项目第一条生产线(108万t/a)于2008年12月投料运行,2011年以来进入商业化运行阶段。2012年装置累计运行7248 h,油品产量86.5万t,吨油品煤耗2~3 t,水耗7 t,系统能效50%左右^[6]。第二、三条各100万t/a生产线已经开工建设。百万吨直接液化项目的成功示范,标志着中国煤炭直接液化技术处于国际领先水平,包括催化剂制备关键技术、煤制油关键技术和工艺、大型煤炭直接液化工程技术。煤炭直接液化的发展方向是开发可以显著提高产品产出效率以及适应不同煤种的加氢液化新工艺;开发新型高效的产品加工技术和工艺;实现关键材料和重要装备的国产化^[5]。

3) 煤炭间接液化稳步推进。煤炭间接液化技术分为高温费托合成和低温费托合成,南非Sasol两种技术均已实现产业化。中国3套16万~18万t/a的示范项目采用自主知识产权的低温费托合成技术,兖矿高温费托合成技术完成中试。2012年伊泰煤制油项目生产各类油品和化工品171987 t,全年运行349 d,吨油品消耗煤炭3.64 tce,新鲜水耗13.45 t,电820 kWh,系统能源转化效率40.53%,完全成本6153.59元^[7]。近期,兖矿榆林100万t/a、神华宁煤集团400万t/a、潞安集团180万t/a 3个煤炭间接液化项目获得国家发改委“路条”,神华宁煤、兖矿2个项目已开工建设。中国百万吨级煤炭间接液化技术还处于工业示范前期,需要在高温F-T合成技术、新型高效催化剂、F-T合成产品加工精制技术、节能节水及优化技术、关键装备国产化技术等方面进一步研发。

4) 煤制烯烃发展迅速。煤制烯烃技术是煤制甲醇和甲醇制低碳烯烃(MTO、MTP)技术的结合,共有3套装置建成投产,近40个项目在建或开展前期工作。预计到2015年煤基聚烯烃产能将达1500万t,成为聚烯烃市场的重要力量。神华包头60万t/a烯烃项目采用大连化物所DMTO技术,吨烯烃水耗

32 t,系统能效35.2%,实现或超过满负荷运行。神华宁煤50万t/a、大唐多伦46万t/a烯烃项目引进德国Lurgi MTP技术,气化技术分别采用GSP煤气化技术和Shell煤气化技术。煤制烯烃示范项目关键技术稳定性好,技术装备国产化率高,在煤化工示范项目中争议较小,得到专家一致认可。煤制烯烃项目存在的问题是产品同质化严重,聚烯烃市场有过剩风险,投资风险加大,建议差异化发展煤制烯烃下游产品。

5) 煤制天然气项目试运行。煤制天然气技术由煤气化技术和合成气甲烷化技术构成。目前还没有掌握甲烷化技术,在建项目均采用引进技术。截至目前,国家发改委已核准10个煤制天然气项目,总产能935亿m³/a,其中大唐克旗和庆华伊犁一期13.5亿m³/a已打通工艺流程,系统能效在55%左右。中国发展煤制天然气的问题是缺乏自主知识产权的核心技术——高温、高压完全甲烷化催化剂及工艺,急需加快成套技术和核心工艺的研发和商业化应用。

6) 煤制乙二醇加速推进。煤制乙二醇技术是煤气化技术、一氧化碳脱氢净化、一氧化碳羰基化、草酸酯加氢等技术的集成,正在进行工业化示范。通辽金煤20万t/a乙二醇项目经过3年的试运行,生产负荷稳定在85%以上,乙二醇优等品产出率稳定在90%以上。河南煤化安阳20万t/a煤制乙二醇项目产出浓度99.827%的合格优等品。截至2013年底,煤制乙二醇合计产能将达175万t/a^[8],占2012年进口量的22%。

煤制乙二醇工艺流程短、整体能耗优于石油路线,前景最为广阔。目前关键是提高产品质量。

2.3 煤炭清洁利用模式的实践

宁东能源化工基地是煤基清洁能源基地的典型代表之一,是国家重点开发建设的大型煤炭基地、煤化工产业基地和西电东送火电基地。2012年煤炭产量6140万t,就地转化原煤约2000万t,电力装机813万kW,外送电力400万kW,煤化工产能688万t,构建了煤炭-发电-化工转化-碳材料-综合利用循环经济产业链。正在开工建设400万t煤制油、50万t烯烃(二期)煤转化项目,规划到2020年转化煤炭6000多万t,煤化工产能1000多万t。

兖矿鲁南煤化工基地依托兖矿集团建立,形成了以煤气化及多联产为主线的鲁南化工园区、以煤焦化及下游产品为主线的兖州化工园区、以坑口高

硫煤洁净利用为主线的邹城化工园区,基地总产能225万t,其中醋酸80万t,尿素55万t,甲醇50万t,醋酸乙酯20万t^[9]。高硫煤的清洁高效利用成为鲁南煤化工基地的一大特色,采用先进的煤化工转化技术生产清洁化工产品、电力,年消耗高硫煤550多万t,经济效益和社会效益显著。

3 煤炭清洁利用技术科技需求

中国煤炭清洁利用技术在示范过程中还存在一些工程科技难题,如核心技术依赖进口,关键技术装备国产化率不高,废水处理成本偏高等,制约煤炭清洁利用技术的规模化发展。

3.1 煤炭清洁利用技术需求

1) 小粒径低阶煤规模化清洁高效利用技术。褐煤、长焰煤等低变质煤资源丰富,占中国煤炭资源储量和产量的50%以上,因水分高、热值低、易燃易爆碎等特征,不宜长途运输。部分低阶煤含油率较高,通过热解提取高附加值的油、气组分,剩余组分继续利用,是实现低阶煤清洁高效利用的有效途径。

制约该技术的瓶颈是小粒径($<6\text{ mm}$)低阶煤热解技术,其无法解决粉尘堵塞管路及荒煤气油尘分离困难等技术瓶颈问题,造成占低阶煤产量约60%的小粒径煤无法清洁高效利用。加快和推动小粒径低阶煤热解技术的研发和示范,是实现低阶煤规模化高效利用的关键。

2) 高灰、高灰熔融性、黏结性煤气化技术。高灰、高灰熔性煤(灰熔融性温度大于 $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$)在中国煤炭资源储量中比例较大(约占50%),目前没有合适的气化技术。以山西晋城矿区为例,优质无烟煤几近枯竭,高灰、高硫、高灰熔融性煤约占剩余可采资源的40%,迫切需要开发适应这类煤炭的煤气化技术。

3) 中(低)温煤焦油制清洁燃料油技术。中(低)温煤焦油是低阶煤提质(包括兰炭)、煤制天然气等煤化工项目的副产品,随着低阶煤提质、煤制天然气等煤化工项目的快速发展,中低温煤焦油产量增加较快,预计到2020年将达1500万t。对煤焦油全馏分进行分质分级加工利用,使重质组分和轻质组分尽可能转化,轻质油产率提高到90%以上。煤炭科学研究总院开发了非均相悬浮床加氢裂化技术,轻质油产率达87%~94%,目前正在示范阶段。

4) 煤化工节水与废水处理技术。大型煤化工项目耗水量较大,其中循环冷却水蒸发损失超过

50%,是最大的耗水环节。水资源对煤化工产业的发展是最大制约,节水成为缺水地区发展煤化工的头等大事。水资源优化利用和工艺过程优化是化工装置节水的主要途径,主要技术有夹点技术和空冷技术。夹点技术在国外化工行业已得到大量应用,可降低公用工程消耗量,节水效果明显。空冷技术可显著降低循环冷却水用量,节水率在60%以上,但投资有所增加,制约其大量应用。煤化工污水排放也是制约煤化工发展的关键问题。煤化工污水包括化工污水和高盐污水。煤化工污水具有COD浓度高、难降解、可生化性差等特点,处理成本高,利用单一处理技术难以达标。煤化工废水处理技术关键是提高污水的可生化性,降低污水处理难度和经济成本。

5) 煤炭深加工系统集成技术。煤炭深加工技术向一体化、大型化和多联产方向发展,涉及到煤气化技术、合成气净化技术、化工合成技术、油品精制技术、燃气轮机技术等多项技术的耦合。研究多个化工系统与联合循环发电系统的集成与优化问题,实践煤化电热一体化发展模式,实现全系统能量的梯级利用。

3.2 煤炭清洁利用装备需求

中国煤炭清洁利用装备水平处于材料部分进口与国内成套制造的阶段,重大关键技术装备对外依存度较高,制约着煤炭清洁利用产业发展。需要精密控制的特大型动设备、关键部位的阀门等还依赖进口,如 $8\text{万 m}^3/\text{h}$ 及以上等级空分设备的空压机、增压机、膨胀机、液氧泵等,压力等级在900 LB及以上的高参数阀门,水煤浆气化装置配套的高压煤浆泵、磨煤设备,煤液化反应器循环泵、高压煤浆进料泵等。为适应未来中国煤炭清洁利用发展要求,需要加强技术攻关,实现重大技术装备国产化。

1) 煤气化大型气化炉。研制投煤量 3000 t/d 的气流床气化炉,有效气组分($\text{CO} + \text{H}_2$)达90%以上,碳转化率99%以上;炉径 5 m 以上,气化压力 $4.0\sim 6.0\text{ MPa}$ 大炉径碎煤加压气化炉;烧嘴负荷范围70%~112%,烧嘴使用寿命8000 h以上粉煤气化炉;烧嘴负荷范围50%~120%,烧嘴使用寿命8000 h以上水煤浆气化炉。掌握气化炉的结构设计制造,气化反应温度控制以及激冷优化设计,持续打火时间和稳定燃烧的可靠性等关键技术。

2) $10\text{万 m}^3/\text{h}$ 等级空分装置。研制氧气 $100500\text{ m}^3/\text{h}$ (5.5 MPa)、纯度 $\geq 99.6\%$ 氧气,液氧

1000 m³/h、纯度≥99.6% 氧气,液氮 2500 m³/h、纯度≤99.6% 氧气的空分精馏塔等;空压机轴功率 43500 kW,进口流量 526000 m³/h,增压机轴功率 24000 kW。掌握煤化工型内压缩流程,特大型空分设备成套系统设计;高压板翅式换热器冷箱、新型组合式原料空气压缩机设计制造;特大型规整填料空分上、下塔设计制造、空心轴法兰盘连结及超大叶轮的优化设计等关键技术。

3) 超大直径大壁厚加氢反应器。研制模拟环直径 6500 mm,内径≥5400 mm,壁厚≥450 mm,454 °C 高温屈服抗拉强度≥460 MPa 的加氢反应器。掌握大型筒体、过渡段、封头锻件成型;大壁厚 21/4Cr-1Mo-1/4V 钢锻件的淬透性;现场整体组焊、组装工艺等关键技术。

4) 水煤浆高压隔膜进料泵组。研制额定流量 650 m³/h,额定压力 9.5 MPa 橡胶隔膜寿命 8000~10000 h 的高压隔膜进料泵组。掌握高压大活塞推力往复泵的设计制造;高压隔膜、阀件的可靠性;大型泵组的系统控制等关键技术。

4 结 语

煤炭利用应从技术进步、空间布局、产业规模、生态环境等方面寻求革新,在煤炭基地实现煤化电建一体化生产,为城市提供优质清洁燃料和化工品,减轻城市环境压力,促进煤炭清洁高效利用。煤炭

清洁利用已具备较好的基础条件,一些关键技术和装备代表世界先进水平。但中国煤炭清洁利用总体上还处于商业化初期,示范过程中还存在难以攻克的技术难题,尤其是一些核心技术及重大装备还依赖进口,未来仍需加大技术和装备攻关,为煤炭利用方式变革提供可靠的技术支撑。

参考文献:

- [1] 王显政. 中国煤炭工业发展现状与展望[EB/OL]. <http://www.coalchina.org.cn/detail/13/10/22/00000041/content.html> 2013-10-22.
- [2] 北京市统计局,国家统计局北京调查总队. 2013 北京统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [3] 孙翠枝,叶大武. 中国原煤及商品煤硫分分布概况[J]. 煤质技术, 2012(2): 5-8.
- [4] 陈贵锋. 洁净煤技术发展机遇与挑战[J]. 中国能源, 2010, 32(4): 5-8.
- [5] 国家高技术研究发展计划(863 计划) 先进能源技术领域专家组. 中国先进能源技术发展概论[M]. 北京: 中国石化出版社, 2010: 70-77.
- [6] 吴秀章,舒歌平,李克健. 煤直接液化技术现状及发展前景[J]. 中国化工信息, 2013(27): 6-7.
- [7] 唐宏青. 费托合成煤制油稳步前进[J]. 中国化工信息, 2013(28): 6-7.
- [8] 米多. 煤制乙二醇产业应适度发展 安全发展[J]. 中国化工信息, 2013(34): 8-9.
- [9] Intumescent Flame Retardant Rigid Polyurethane Foams[J]. Polymer Engineering & Science, 2013, 53(11): 2478-2485.
- [10] Chen M J, Shao Z B, Wang X L, Li Chen, et al. Halogen-Free Flame-Retardant Flexible Polyurethane Foam with a Novel Nitrogen-Phosphorus Flame Retardant[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012, 51(29): 9769-9776.
- [11] Patel R H, Shah M D, Patel H. B. Synthesis and Characterization of Structurally Modified Polyurethanes Based on Castor Oil and Phosphorus-Containing Polyol for Flame-Retardant Coatings[J]. International Journal of Polymer Analysis Characterization, 2011, 16(2): 107-117.
- [12] 朱玉璘,王淑荣. 聚氨酯用季铵盐累抗静电剂[J]. 聚氨酯工业, 1994(4): 11-15.
- [13] 赵择卿,陈小立. 高分子材料导电和抗静电技术及应用[M]. 北京: 纺织工业出版社, 2006.
- [14] 白森,郭文杰,胡相明. 矿用高分子泡沫材料抗静电研究[J]. 广州化工, 2013, 41(1): 48-50.
- [15] 田春蓉,赵秀丽,邱应明,等. 半硬质聚氨酯整皮泡沫塑料抗静电性能研究[J]. 四川兵工学报, 2001, 22(4): 13-19.
- [16] 梁书恩,田春蓉,王建华,等. 抗静电半硬质聚氨酯泡沫塑料的制备与性能研究[J]. 塑料工业, 2009, 37(5): 67-70.
- [17] Witte A, Krieger W. Halogen Free Pentane Blown Flame Retardant Rigid Polyurethane Foam and A Process for its Production: 美国 6593395 [P]. 2003-07-15.
- [18] Modesti M, Lorenzetti A, Simioni F, et al. Influence of different flame retardants on fire behaviour of modified PIR/PUR polymers[J]. Polymer Degradation and Stability, 2001, 74(3): 475-479.
- [19] 李心强,于楠,信延垒. 双组分聚氨酯树脂在煤矿注浆中的应用[J]. 聚氨酯工业, 2012, 27(4): 31-34.
- [20] Sheng-Wu Zhu, Wen-Fang Shi. Flame retardant mechanism of hyperbranched polyurethane acrylates used for UV curable flame retardant coatings[J]. Polymer Degradation and Stability, 2002, 75(3): 543-547.
- [21] 买买提江·依米提,阿布力米提·阿布来提. 硬质聚氨酯泡沫塑料的阻燃性能研究[J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2002, 19(4): 455-457.
- [22] 董金路,曹宏斌,张鲲. 阻燃型聚氨酯硬质泡沫塑料的制备[J]. 中国塑料, 2007, 21(12): 50-54.
- [23] 陈业中,管会彬,彭华乔,等. 新型含磷氮硫阻燃剂的合成及其在聚氨酯中的应用[J]. 塑料工业, 2013, 41(5): 116-119.
- [24] Wu D H, Zhao P H, Liu Y Q. Flame Retardant Property of Novel

(上接第 98 页)