

## 技术进展

# 节约型化学工业发展探讨

周 丽, 胡山鹰, 李有润, 金 涌

(清华大学化学工程系生态工业研究中心, 北京, 100084)

**摘要:** 化学工业是我国重要产业之一, 尽管近年来取得了一定进步与发展, 但仍存在能源利用效率低、精细化率低、技术相对落后以及环境污染严重等问题。探讨了如何建立节约型化学工业, 提出了以实施多种节约型策略与技术为基础, 政策保障措施为辅的节约型发展思路。

**关键词:** 化学工业; 资源节约; 环境友好; 发展策略

**中图分类号:** TQ-9

**文献标识码:** C

**文章编号:** 0253-4320(2006)S1-0001-05

## A discussion on development of resources-saving chemical industry

ZHOU Li, HU Shan-ying, LI You-run, JIN Yong

(Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The chemical industry is one of the important industries in China. Although some progresses has been made recently, there are also some problems such as low efficiency, low fine chemical ratio, backward technology and serious environmental pollution, etc. The way to build resources-saving chemical industry is analyzed in this paper. The development strategy of resource-saving is put forward based on multiple strategies and technologies of resource-saving, and with policy guarantees as secondary measures taken.

**Key words:** chemical industry; resources-saving; environment-friendly; development strategy

化学工业(注:本文化工行业不包括以石油为原料生产下游产品的石油化工产业)以煤、石油、天然气、天然矿物、生物质等为原料生产农用化学品、有机和无机基本原料、合成材料、精细与专用化学品,与农业、国防以及国民经济各部门有着极为密切的关系,同时也是多品种、多层次、配套性强、服务面广的重要基础产业和原材料工业。随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,化学工业的发达程度已经成为衡量国家工业化和现代化水平的一个重要标志。面临着严峻的资源、能源和环境危机的挑战,我们必须重新认识我国化学工业,认真分析国情,为实现节约型化学工业做好准备。

## 1 我国化学工业现状与分析

### 1.1 我国化学工业发展现状<sup>[1-5]</sup>

化学工业在国民经济中占有重要地位。2001—2003 年我国化学工业的平均增长速度为 24%。2004 年统计数据表明,我国从事化工行业人数高达 400 万人。化学工业实现现价工业总产值约 12 910

亿元,占全国工业总产值的 7%;实现利润 700 多亿元。硫酸、烧碱、纯碱、合成氨、磷肥、农药、电石、染料、涂料、合成橡胶等几十种化工产品产量都高居世界第一位。

化工行业是国民经济的重要基础产业和原材料工业,也是能耗高、污染大的行业之一。化学工业每年能源消费量占全国消费总量的 10%~12%。在化工产品成本中,能源所占比重很大,一般产品占 20%~30%,能耗高的产品可达 60%~70%。典型的高能耗产品的能源利用率比发达国家低 15%左右,具有相当大的节能潜力。2004 年我国化学工业约消耗 4 000 万 t 磷矿,4 000 万 t 硫铁矿,500 万 t 钾盐,1.2 亿 t 标煤,总用水量高达 60 亿 t。在国内能源、资源日益紧张的形势下,综合考虑化学工业产业链较长的特点,必须从整个行业出发建设化工节约型产业,以提高能源、资源的利用率。

### 1.2 目前我国化学工业存在的问题

随着我国经济的进一步加快,环境污染的加剧、能源的匮乏和社会公众对环境保护及人类可持续发

收稿日期:2006-02-28

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(No. 20436040)

作者简介:周丽(1983-),女,博士生;胡山鹰(1965-),男,教授,博士生导师,研究领域为生态工业,通讯联系人,010-62794513,

hxr-dce@tsinghua.edu.cn.

展的日益关注,我国要在中远期实现全面建设小康社会的目标,现有的发展模式不能达到未来更快、更高的社会发展要求。尽管我国化学工业已经取得瞩目成绩,但现有发展模式仍存在较多问题。

#### (1) 资源能源利用率低<sup>[4,6-7]</sup>

我国虽然总资源丰富,然而由于人口众多,人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半,仅为发达国家的 1/5 ~ 1/10。人均石油、天然气和煤炭可采储量仅为世界平均值的 10%、5% 和 57%。水资源人均占有量不足世界人均占有量的 1/4。目前共有 45 种矿产资源人均占有量低于世界人均量的 50%。我国化学工业一些产品的单位能耗比发达国家高 20% ~ 30%,甚至高出 40% ~ 50%,总体能源利用率比发达国家低 15%,与发达国家相差 20 年。化工行业单位产值耗水量为 1 000 m<sup>3</sup>/万美元,而发达国家仅为 300 多 m<sup>3</sup>/万美元,具有很大的节水、节能潜力。

#### (2) 精细化率不高

精细化工的发展程度是一个国家综合国力和技术水平的重要标志之一。2000 年发达国家精细化率增至 60% ~ 65%。而我国化学工业长期以来是以支农化工和传统基础产业为主,高新技术和新领域精细化工起步较晚,目前的精细化率为 40% 左右,总体上要比发达国家落后 15 ~ 20 年<sup>[8]</sup>。出口的化工产品中附加值高、技术和资金密集型的比较少,国际市场竞争能力低。究其根源,除工业基础及结构跟不上发展之外,科学研究成果的产业化开发力量薄弱是其重要原因之一。

#### (3) 技术水平相对落后

尽管目前部分行业的技术、装备水平有所提高,但整体水平仍较低,与国际水平相差 15 年。目前全行业只有 1/4 行业的技术、装备水平达到国际水平,相当一部分企业,特别是老化工基地仍停留在六七十年代的水平。国产新品种农药仅占农药总量的 20%,新品种染料仅占 35%,子午线轮胎仅占 32% (世界平均已达 80% 以上),节能低污染涂料所占比例为 15% ~ 20% (发达国家已达 60% 以上),高浓度氮肥只占氮肥总产量的 60%、高浓度磷肥仅为磷肥总产量的 35.5%,离子膜烧碱占 26%,重质纯碱占 20% (发达国家已达 80% 以上)<sup>[9]</sup>。

#### (4) 环境污染严重<sup>[4-5]</sup>

我国在“九五”期间环境污染有所控制,但从总体上看,环境污染仍十分严重。同时,发达国家正不断将其污染严重的化工产品的生产转向发展中国

家,这进一步加重了我国的环保负担。根据近年环境统计年报统计,化工行业废水排放量始终在全国工业行业废水排放总量中居首位,在排放的化工废水中列入国家总量控制的污染物,如石油类、氰化物、砷化物、硫化物和砷的排放量也位居前列;废气排放量占全国工业废气排放量的 6.5%;固体废物排放量占全国工业固体排放量的 5%。

## 2 世界化学工业发展趋势<sup>[3,10]</sup>

20 世纪 90 年代以来,经济全球化进程加快,技术、经济、环境压力逐年增大,国际竞争日趋激烈,化学工业的环境发生了巨大的变化,促使世界化工行业纷纷进行产品、产业结构和经营战略性的调整。主要表现在以下几个方面:

### (1) 重化工业的生产转向发展中国家

当今世界各地区间科学技术的差距造成了化工产业按技术层次区分的发展结构。由于环保压力、运输和劳动力价格等因素,技术密集型产业向发达国家转移,劳动密集型产业向发展中国家转移,初级化工产品、大宗石化产品及传统化工产品正在向拥有市场广阔、原料丰富和劳动力廉价的发展中国家转移。

### (2) 向高新技术和高附加值产业转移

所有工业发达国家均把发展精细化工作为调整化学工业产品结构战略重点之一,其中新材料已经成为推动科技进步、培植新的经济增长点的重要发展方向,使得世界化工技术革新速度进一步加快,预计 21 世纪化工产品的精细化率将进一步上升。而我国精细化工基础比较薄弱,多数产品在质量和价格上缺乏竞争力,随着全球经济一体化进程加快和我国的进一步对外开放,我国新领域精细化工将面临严峻的挑战。

### (3) 发展规模经营,集约化效应

近些年国际上知名大型化工公司的资产重组活动愈演愈烈,通过出让、收购、联合、兼并等形式,将技术、销售、管理等不同优势合并,实现行业控制并占领市场,大幅提高市场竞争力,提高效率,降低成本。其并购趋势是从多元化发展转向专业化发展,收缩经营范围,放弃弱项,加强核心产业,使其在某一领域的垄断地位进一步加强,并开始逐步退出低附加值、污染严重的传统化工领域。

### (4) 加强技术创新

化学工业既是技术密集型产业,也是资金密集型产业,技术创新已经成为 21 世纪化学工业国际竞

争力的一个决定性因素。国外发达国家在化学合成、生物技术、材料技术、过程控制、信息集成技术等化工最新领域投入大量资金,进行科研开发,并与企业密切合作,推动高新技术产业化进程。国外大型化工公司一般在研究与开发方面的投入都占到全年销售额的8%左右,而且逐年增加。

#### (5) 可持续发展

化学工业不仅能源消耗大、废弃物量大,同时也是需求旺盛、发展潜力巨大的行业。随着可持续发展概念的提出和深化研究,经济、社会、资源和环境协调一致的可持续发展已成为化学工业发展的重要主题。很多发达国家已经在清洁生产、绿色化学、污染防治等方面开展工作,力争从“末端处理”转向“生产全过程控制”,从根本上减少化工过程对资源的消耗和对环境的污染。

### 3 节约型化学工业发展策略

21世纪,我国的工业化,城市化将继续发展,人口还要增加,对化学工业的需求也将增多,化学工业一方面要创造出更多性能优异的物质与材料,以适应人类社会发展的需要,另一方面要节约资源,既要改善本身对环境造成的污染,又要为解决环境污染的各种问题做出贡献。结合我国国情,我国要在2020年以前实现GDP翻两番的目标,坚决不能继续靠拼资源和能源,以牺牲环境为代价获取经济利益的发展方式。要实现化学工业的可持续发展,必须认真分析现状,结合实际情况,借鉴国外先进经验,按照科学发展观,转变经济增长方式,走节约型化工制造道路。

#### 3.1 重要化工元素全生命周期节约

重要元素从矿山开采到产品使用整个过程中,不同环节都存在着不同程度的浪费与污染。造成了化学元素的自然代谢和工业代谢之间的不和谐、失衡。而且每个环节之间紧密关联,要彻底解决该元素节约使用,就必须从全生命周期整个过程进行节约。

以磷元素<sup>[11-12]</sup>为例,磷元素全生命周期节约工程,包括中低品位磷矿开采利用,高新技术生产磷产品,节约型消费和高效回收几个环节。在磷矿开采部分,推行均衡开采,重视中、低品位磷矿资源综合利用,减少采富弃贫,优矿劣用和优质矿出口等资源不合理利用状况;在磷化工生产过程中推广尾气磷石膏等废物回收利用资源化工程;在消费领域发展智能化肥,实行科学施肥,提高农作物的吸收效率;从生活污水、禽畜粪便中回收磷元素实现资源的

循环利用。通过一系列措施实行,不仅可以节约磷矿,延长磷矿开采寿命,提高系统循环率与元素利用率,也能够大大减少水体富营养化导致的环境污染,从而实现元素的可持续代谢,工业生态化以及循环经济发展模式。

#### 3.2 醇醚能源体系<sup>[13]</sup>

中国是以煤为主的能源结构,而且在未来几十年这种情况将继续存在。随着我国经济的快速发展,能源安全与否已经成为能否可持续发展的关键问题之一。采用先进的煤气化技术,后续生产甲醇、二甲醚及低碳烯烃,并可综合利用煤层气、焦炉气、黄磷尾气等副产物联产,实现以煤代油,开辟现代煤化工醇醚体系是我国化工产业的一个重要发展方向。这样不仅可以缓解我国能源危机现状,提高资源利用效率,同时能够减少环境污染,对我国能源结构调整与可持续发展有重要意义。

一是要大力开发先进技术,同时积极扶持国内自主开发技术,特别是煤气化技术、甲醇二甲醚合成技术以及先进的多联产耦合技术。降低关键技术投资,实现技术国产化。二是发展多联产园区以及大型煤化工基地建设。在煤和天然气资源丰富的地区,发展以煤为原料的甲醇、二甲醚、合成油及发电联合生产的多联产型生态工业园区建设。通过多联产技术大大提高能源利用效率,降低资源消耗、投资成本和大气污染。三是进一步完善醇醚消费系统。主要是汽车燃料结构的改革以及相关技术配套开发。通过消费结构改革,促进醇醚市场,从而推进醇醚成为中国未来的主要燃料,以解决未来可能存在的能源危机。

#### 3.3 大型多资源集成化工基地

我国资源丰富,拥有很多化工资源基地。例如贵阳、柴达木盐湖、攀枝花等地区都拥有多种化工资源。这些资源都是我国宝贵的财富,对我国经济发展具有重要意义。然而,目前大多数化工资源基地对多种资源利用不够完善或者开发不足,不同程度地存在着原料初级生产、粗放式管理、结构布局分散、效率低、环境污染等问题,严重制约了这些化工基地的进一步扩大与发展。

攀枝花具有钛、钒、铁共生资源,原有生产体系除了“三废”的常见问题,大量含钛高炉渣的丢弃是对资源的最大浪费,因此关键是钛的回收以及相关废渣、废水和废气的回收与资源化。通过钛的大幅度回收,既可以利用钛白粉厂的废酸,又解决了高炉渣的环境与资源化问题。同时考虑多种路线回收,

可以以较少的排放与消耗为代价,获得最优的经济效益<sup>[14]</sup>。

柴达木是我国最大的钾、锂、镁和溴资源基地。钾肥利用较好,其他利用不足。锂是重要电池原材料,镁盐是生产金属镁、氢氧化镁、高纯氧化镁的原料,有待技术开发的突破,以形成大型产业化基地。盐湖资源利用中产生大量氯气以及氯化氢副产物。通过天然气制高碳氢比的合成气生产甲醇、二甲醚,醇醚制备乙烯、丙烯。这样不但可以使天然气高附加值化,而且可以把得到的乙烯、丙烯通过氯化生产氯化烯、聚氯乙烯、聚丙烯等重要化工原料,使柴达木盐湖资源与天然气资源得到高效利用。

大型多资源化工基地通过物质回收利用或梯级串联利用、能量供应梯级利用、水梯级用水、一水多用、废水集中处理和中水回用以及信息有序地组织、研究和管理等多种关联耦合实现多产业的横向耦合、纵向延伸的产业链和完善的废物资源化和循环利用体系,实现多种资源共生耦合集成利用,提高资源利用率以及废物、副产物利用率,取得理想的经济、环境和社会效益,将基地从资源密集型向技术密集型转变。

### 3.4 重要大宗化学品节约型改造

由于目前我国主要大宗化学品生产技术水平较低,生产规模小,生产方式以大量物质能源消耗为代价,对环境造成了极大的污染和破坏。随着我国经济的快速发展,大宗化学品的市场需求将会继续扩大。

(1)推动大型化合氨生产,提高效率,降低原料及能量消耗

大型合成氨装置采用先进节能工艺、新型催化剂和高效节能设备,提高转化率,加强余热的回收利用。以天然气为原料的合成氨生产应推广一段炉烟气余热回收技术,并改造蒸汽系统;以石油为原料的合成氨生产要加快以洁净煤或天然气替代原料油的改造;中小型合成氨生产采用节能设备和变压吸附回收技术,降低能源消耗。煤造气采用水煤浆或先进的粉煤气化技术替代传统固定床造气技术<sup>[15-16]</sup>。

(2)离子膜法烧碱是烧碱生产的发展趋势

离子膜法烧碱的含盐量低,与隔膜法相比有明显的优势。应逐步淘汰石墨阳极隔膜法烧碱技术,提高烧碱离子膜法比重。离子交换膜法制烧碱与隔膜法制碱和汞法制碱相比具有直流电耗低、电流效率高、蒸汽消耗量小的特点。离子膜法采用的离子交换膜具有稳定的化学性能,几乎无污染和毒害,避免了其他方法有铅、汞、石棉的污染。阳极盐水系统

循环使用,整个系统的废气、废水量很少,且很易达到排放标准。同时离子交换膜的特点,可以保证产品质量的纯度,该产品适用于精细化工和对产品质量要求高的行业。

(3)电石生产的问题是“高耗能、污染严重、技术陈旧”

推广密闭式电石炉、空心电极、炉气干法净化,回收利用电石炉气烧石灰窑技术。在节能技术上采用利用电石炉中全密闭电石炉所回收的副产 CO 气、煅烧石灰(每吨电石回收炉气总热量平衡每吨电石所需的生石灰煅烧热量,折合每吨电石约 0.15 t 标煤)<sup>[17]</sup>。

(4)纯碱行业应淘汰高耗能设备,采用设备大型化、自动化

纯碱厂耗能设备主要消耗蒸汽和电能。电的节约可采用新型节能电动机,在泵和风机选型时注意选用效率较高的型号,比较重要的电机应选用质量较好的大型制造厂家生产。另外优化整个热力系统的结构,其中最主要的部分是热电锅炉和汽轮机的设计。通过设备改造,提高效率,降低能耗和生产成本<sup>[18]</sup>。

(5)轮胎工业要加强轮胎翻新和加工再利用

目前最先进的翻新工艺包括环状胎面预硫化法,全钢载重子午线轮胎翻新,双包封套预硫化翻新工艺技术等。每次翻新可重新获得相当于新轮胎 60%~90% 的使用寿命,可为用户节省 45%~50% 的成本。经过一次刻沟和翻新,一条轮胎的使用寿命是原寿命的 215%,而用户付出的成本只有一条新胎的 150%<sup>[19-20]</sup>。

### 3.5 精细化工与新材料

化工产品高附加值化是未来化工发展的重要方向,而提高产品附加值的重要手段之一就是提高精细化率。在传统化工行业之外,新领域精细化工和化工新材料领域作为新型化工重要组成部分极具发展价值,应成为我国化工行业未来发展的重要领域。

化学工业属于资本型工业,资本密集度高。而精细化工投资少,效率高。目前我国新领域精细化工<sup>[8,21]</sup>主要包括:食品添加剂、饲料添加剂、工业表面活性等 10 余个门类。精细化工产业品种众多,牵涉面广,受到产业政策影响很大,从结构调整和技术进步的角度看,集约化经营是未来我国精细化工发展的方向。精细化工产业又属于高附加值行业,在很多绩效指标上比相关行业高,所以市场开发也是精细化工产业必须认真研究和面对的问题,要注重

有发展优势、对国民经济有重要支撑作用、量大面广的短缺产品。我国新领域精细化工科研和生产基础比较薄弱,国家应从税收、投资等方面给予支持,促进我国新领域精细化工的发展。

化工新材料是新材料的一个大类,目前我国化工新材料产业虽然已经初具规模,但是仍存在生产能力不足、产品质量差、产品规格少、没有实现系列化等缺点,许多重要产品和高性能产品仍需依赖进口。目前我国化工新材料<sup>[22]</sup>的范畴包括有机氟材料、有机硅材料、工程塑料、纳米化工材料、功能膜材料等领域,并正在向着智能化、多功能化、复合化、低成本化、环保、长寿命方向发展。创新已经成为新材料发展的灵魂。因此,要实现节约型化工新材料领域的产业化,应加强深加工与应用的研究,使之既能满足支柱产业的需求,又能带动传统化工向高技术、高附加值方向发展。首先要加强基础性、战略性的材料研究,促进成果快速转化。其次,要重点发展高性能、多功能的复合材料与组装材料。并且要注重材料智能化及结构-功能一体化以及与环境、资源的“协调与融合”,追求经济可承受性(即低成本技术)和可持续发展。

#### 4 政策和保障措施

坚持节约优先,从国情出发,树立落实以人为本、全面协调可持续发展的科学发展观。充分认识节约型化工制造对缓解能源约束矛盾、提高经济增长质量和效益、保护环境具有重要意义。化工行业各个领域都要把节约资源放在突出位置,努力降低消耗,减少损失浪费,提高资源利用效率。

(1)制定和实施促进节约型化工的能源和环境政策

为确保经济增长、能源安全和可持续发展,促进能源高效利用,需要建立基于我国资源特点,统筹规划,协调一致的能源和环境政策。

(2)制定和实施促进结构调整的产业政策和激励政策

加快调整产业结构、产品结构和能源消费结构并建立激励政策是建立节约型化工产业的重要途径。

(3)加大依法实施节约型化工管理的力度

加快建立和完善配套法律、法规体系,实现依法强化监督管理。形成以技术标准、法规、规范等技术经济手段为主的市场管理体系,并以此构建有效、规范的市场准入和退出机制。

(4)加快节约型化工技术开发的示范和推广

加强重大资源节约和综合利用技术科研开发,进一步增强自我开发和科研创新能力。

(5)加快节约型化工企业示范试点建设和推广

通过试点,进一步推广节约型技术,积累经验,完善已有政策措施,树立一批先进典型,为今后发展节约型化工提供示范,以促进推广建设。

(6)加强重点化工部门的企业管理

要对国家重点化工部门相关重点单位的企业加强管理,改善企业机制,按照市场取向和规模经济的原则,发挥优势企业的龙头作用,加强集约化经营,淘汰落后工艺和设备,提高经营效率,并给予一定政策支持,加快企业内部改进。

(7)强化节约型化工的宣传、教育和培训

广泛、深入、持久地开展节约型化工宣传工作,组织开展经常性的节能宣传、技术和典型交流,组织管理和技术人员的培训,通过形式多样的宣传教育活动,不断提高整个行业人员的节约型化工认识并保证政策顺利有效实施。

(8)建立完善化工行业信息系统

企业内部加强协调沟通;行业内部建立化工行业节约型利用能源资源系统以及节约型新技术信息共享系统,保证信息共享和顺畅流通;加强行业间信息畅通,政策信息快速准确。

(9)加强组织领导进一步推动规划实施

节约型化工建设是一项系统工程,需要整个行业内部协调管理,也需要相关部门的协调配合、共同推动。

#### 参考文献

- [1] 冯世良.石油和化工行业回顾与展望[J].中国石油石化,2005(3):20-21.
- [2] 潘德润.中国石油和化学工业年度报告[R].北京:中国石油和化学工业协会,2005.
- [3] 胡迁林,张贵兴.当前我国化学工业产业技术发展重点[J].现代化工,2004,24(1):2-9.
- [4] 李勇武.中国化学工业年鉴(Vol.21)[Z].北京:中国化工信息中心,2005.
- [5] 沈海虹.2004年石油和化工行业回顾与2005年展望[J].中国石油和化工经济分析,2005(2):7-13.
- [6] 王庆一.中国能源现状与前景[J].中国煤炭,2005,31(2):24-28.
- [7] 匡跃平.我国化学工业可持续发展现状与对策[J].高技术纵览,2004(5):45-49.
- [8] 曹珍元.我国新领域精细化工的发展方向 and 重点[J].精细与专用化学品,1999(20):3-6.

(下转第10页)

品,但是所有方法所得超细产品的亮度和余辉时间都大大缩短。综上所述,开发一种制备亮度和余辉时间都可以与传统方法相媲美的超细碱土铝酸盐发光材料的方法具有重大的意义。

### 参考文献

- [1] Blasse G, Grabmaier B C. *Luminescent Materials*[M]. Berlin: Springer, 1994.
- [2] Sony Corp. Timing signal generator: JP, 2003295798 A2[P]. 2003 - 10 - 15.
- [3] Matsuzawa T, Aoki Y, Takeuchi N, *et al.* A new long phosphorescent phosphor with high brightness  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$ , D[J]. *Rare Earths*, 1996, 29(3):79 - 82.
- [4] Jorma H, Högne J, Mika L, *et al.* Persistent luminescence of  $\text{Eu}^{2+}$  doped alkaline earth aluminates,  $\text{MAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2001, 323/324:326 - 330.
- [5] Palilla F C, Levine A K, Tomkus M R. Fluorescent properties of alkaline earth aluminates of the type  $\text{MAl}_2\text{O}_4$  activated by divalent europium[J]. *J Electrochem Soc*, 1968, 115(6):642 - 644.
- [6] Abbruscato V. Optical and electrical properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  [J]. *J Electrochem Soc*, 1971, 118 (6):930 - 932.
- [7] Matsuzawa T, Aoki Y, Takeuchi N, *et al.* A new long phosphorescent phosphor with high brightness  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ [J]. *J Electrochem Soc*, 1996, 143 (8):2670 - 2673.
- [8] Nakazawa E, Mochida T. Traps in  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$  phosphor with rare-earth ion doping[J]. *J Lumin*, 1997, 72/73/74 (6):236 - 237.
- [9] Nakagawa H, Ebisu K, Zhang M, *et al.* Luminescence properties and afterglow in spinel crystals doped with trivalent Tb ions[J]. *J Lumin*, 2003, 102/103(5):590 - 596.
- [10] Nemoto & Co Ltd (Tokyo Japan). Phosphorescent Phosphor: US, 5424006[P]. 1995 - 06 - 13.
- [11] 张中太, 张枫, 唐子龙, 等. 长余辉蓄光陶瓷  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$  的性能及发光机理[J]. *功能材料*, 1998, 30(3):295 - 296.
- [12] 王惠琴, 张磊, 马林, 等. 燃烧法快速合成铝酸铈: 铈及其发光性能[J]. *复旦学报: 自然科学版*, 1997, 36(1):65 - 71.
- [13] Peng Tianyou, Yang Huanping, Pu Xuli, *et al.* Combustion synthesis and photoluminescence of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$  phosphor nanoparticles[J]. *Materials Letters*, 2004, 58 (3/4):352 - 356.
- [14] Yu Xibin, Zhou Chunlei, He Xianghong, *et al.* The influence of some processing conditions on luminescence of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  nanoparticles produced by combustion method[J]. *Materials Letters*, 2004, 58 (6):1087 - 1091.
- [15] 周传仓, 卢忠远, 戴亚堂, 等. 燃烧法合成长余辉发光材料  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  的研究[J]. *化工技术与开发*, 2004, 33(5):4 - 7.
- [16] 袁曦明, 许永胜, 于江波, 等. 溶胶-凝胶法制备长余辉发光材料  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  的研究[J]. *稀土*, 2002, 23(4):34 - 38.
- [17] 张希燕, 卢利平, 王晓春. 溶胶-凝胶法制备  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  纳米发光材料[J]. *硅酸盐学报*, 2003, 31(3):268 - 271.
- [18] Sánchez-Benítez J, de Andrés A, Marchal M, *et al.* Optical study of  $\text{SrAl}_{1.7}\text{B}_{0.3}\text{O}_4:\text{Eu}, \text{R}$  (R = Nd, Dy) pigments with long-lasting phosphorescence for industrial uses[J]. *Journal of Solid State Chemistry*, 2003, 171(1/2):273 - 277.
- [19] Kurihara L K, Suib S L. Sol-gel synthesis of ternary metal oxides: I. synthesis and characterization of  $\text{MAl}_2\text{O}_4$  (M = Mg, Ni, Co, Cu, Fe, Zn, Mn, Cd, Ca, Hg, Sr, and Ba) and  $\text{Pb}_2\text{Al}_2\text{O}_5$  [J]. *Chem Mater*, 1993, 5 (5):609 - 613.
- [20] Liu Yun, Xu Chaonan. Influence of calcining temperature on photoluminescence and triboluminescence of europium-doped strontium aluminate particles prepared by sol-gel process[J]. *J Phy Chem B*, 2003, 107 (17):3991 - 3995.
- [21] Lu Yiqing, Li Yongxiang, Xiong Yuhong, *et al.*  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  phosphors derived from a new sol-gel route[J]. *Microelectronics Journal*, 2004, 35 (4):379 - 382.
- [22] Tang Zilong, Zhang Feng, Zhang Zhongtai, *et al.* Luminescent properties of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  material prepared by the gel method[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2000, 20(12):2129 - 2132.
- [23] 熊煜虹, 王东, 陆毅青, 等. 无机盐溶胶-凝胶工艺制备长余辉发光粉体的研究[J]. *无机材料学报*, 2003, 18(2):451 - 456.
- [24] Peng Tianyou, Liu Huajun, Yang Huanping, *et al.* Synthesis of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$  phosphor nanometer powders by sol-gel processes and its optical properties[J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 85 (1):68 - 72.
- [25] Ravichandran D, Johnson S T, Erdei S, *et al.* Crystal chemistry and luminescence of the  $\text{Eu}^{2+}$ -activated alkaline earth aluminate phosphors, [J]. *Displays*, 1999, 19(4):197 - 203. ■
- [9] 渤海证券研究所. 化工行业研究报告[M]. 天津:渤海证券研究所, 2003.
- [10] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 化学工业“十五”规划[M]. 北京:国家经贸委行业规划司, 2001.
- [11] 刘征, 等. 我国磷资源产业物质流分析[J]. *现代化工*, 2005, 25 (6):1 - 7.
- [12] 胡山鹰, 等. 磷化工行业资源效率和物质循环研究[R]. 北京:清华大学, 国家环境保护总局, 2003.
- [13] 蒋一子, 傅茂林. 利用高硫煤制甲醇、二甲醚和氢气也谈汽车代用燃料[EB/OL]. [2006 - 05 - 25]http://www.chemnews.com.cn/bin/othernews/detail.asp?id=24.
- [14] 刘代俊. 攀枝花生态工业园区初探[M]. 成都:四川大学化工学院, 2003.
- [15] 国家发展改革委员会. 节能中长期专项规划[R]. 北京:国家发展和改革委员会, 2004.
- [16] 中国化肥信息网. 合成氨工业节能技术(上)[EB/OL]. (2003 - 11 - 28)http://www.natesc.gov.cn/sfb/zyymmx.asp?ID=10104.
- [17] 向自强. 近期电石行业的形势[EB/OL]. (2004 - 05 - 11)http://www.engspw.com/V30DataBank/News/ViewNews.asp?NewsID=newsY2004M05D11H13m52s23.
- [18] 人民网. 纯碱能耗研究[EB/OL]. (2005 - 10 - 30)http://www.qglt.com/bbs/ReadFile?whichfile=30481&typeid=41.
- [19] 邓海燕. 废旧轮胎资源综合利用技术[EB/OL]. [2006 - 05 - 25]http://www.ctrrr.com/ft-luntan-3.html.
- [20] 中国轮胎翻新利用协会. 轮胎翻新行业“十五”科技发展规划[EB/OL]. [2006 - 05 - 25]http://www.ctrrr.com/fg-17.html.
- [21] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 新领域精细化工行业“十五”规划[EB/OL]. [2006 - 05 - 25]http://zhgzce.jahee.com/bbsxp/print.asp?id=2309.
- [22] 潘春辉. 化工新材料行业研究[J]. *新材料产业*, 2002, 103(6):82 - 84. ■

(上接第 5 页)