

doi:10.3969/j.issn.1673-5854.2021.01.001

林业特色资源加工利用产业发展战略研究

# 我国活性炭产业发展典型案例分析

——以福建元力活性炭股份有限公司为例

孙昊<sup>1</sup>, 孙云娟<sup>1</sup>, 缪存标<sup>2</sup>, 孙康<sup>1</sup>, 蒋剑春<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院 林产化学工业研究所; 生物质化学利用国家工程实验室; 国家林业和草原局  
林产化学工程重点实验室; 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042;  
2. 福建元力活性炭股份有限公司, 福建 南平 354200)

**摘要:** 活性炭产业是林业特色资源加工剩余物高效综合利用产业。2018 年我国木质活性炭产量超过 45 万吨, 总产值约 40 亿元, 广泛应用于食品、药品、新能源、环境保护、化工、军工等行业, 有力支撑国民经济各行业保持高质量可持续发展, 保障国家食品和药品安全, 切实提升林业产业节能减排和绿色发展水平。福建元力活性炭股份有限公司作为国内活性炭行业的龙头企业, 年产活性炭超过 10 万吨, 2019 年出口量达 2.9 万吨, 具有林业剩余物原料来源丰富, 规模化、连续化、清洁化生产能力强, 中高端产品质量好等优势。但国内木质活性炭产业仍存在生产过程自动化和智能化水平不高、高端产品缺乏、绿色高端制造新技术欠缺等问题, 建议创新产业发展模式, 将木质活性炭产业列入资源循环利用产业目录、从国家层面设立科研专项, 并在财政、金融、税收和政策等方面给予扶持。

**关键词:** 木质活性炭; 产业现状; 绿色高端制造; 智能化; 措施; 建议

**中图分类号:** TQ35

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-5854(2021)01-0001-09

**引文格式:** 孙昊, 孙云娟, 缪存标, 等. 我国活性炭产业发展典型案例分析——以福建元力活性炭股份有限公司为例[J]. 生物质化学工程, 2021, 55(1): 1-9.

## A Typical Case Analysis of Activated Carbon Industry Development in China: Fujian Yuanli Active Carbon Co., Ltd.

SUN Hao<sup>1</sup>, SUN Yunjuan<sup>1</sup>, MIAO Cunbiao<sup>2</sup>, SUN Kang<sup>1</sup>, JIANG Jianchun<sup>1</sup>

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF; National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization;  
Key Lab. of Chemical Engineering of Forest Products, National Forestry and Grassland Administration;  
Key Lab. of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Nanjing 210042, China;  
2. Fujian Yuanli Active Carbon Co., Ltd., Nanping 354200, China)

**Abstract:** Activated carbon industry is an efficient and comprehensive utilization for processing residues of forestry special resources. The yield of wooden activated carbon in China was more than 450 000 tons, and the total output value was about 4 billion yuan in 2018. The activated carbon is widely used in food, medicine, new energy resources, environmental protection, chemical engineering, military industry and other industries. The activated carbon industry strongly support high quality and sustainable development of all industries of national economy, ensure the safety of food and drug, improve the energy conservation, emission reduction and green development of forestry industry. As a leading enterprise in the activated carbon industry of China, Fujian Yuanli Active Carbon Co., Ltd. presents an activated carbon annual output of higher than 100 000 tons and an export volume of more than 29 000 tons in 2019. It has advantages of rich forest residual raw materials, large-scale, continuous and clean production capacity, good quality of medium and high-end products, etc. However, domestic wood activated carbon industry still exhibit weak process automation and intelligent level, has few high-end products, and lack of new technology for green and high-end manufacturing. Thus, several suggestions was proposed to promote the development of the

收稿日期: 2020-09-25

基金项目: 中国工程院咨询研究重点项目(2019-XZ-26); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20201127)

作者简介: 孙昊(1989—), 男, 江苏盐城人, 助理研究员, 博士, 主要从事炭基催化材料的研究工作

\* 通讯作者: 蒋剑春, 院士, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物质能源和炭材料的研究开发工作; E-mail: bio-energy@163.com。

activated carbon industry; innovation of industry development mode, addition of wood activated carbon industry into the resources recycling industry directory, increase of the scientific research projects from the national level, and support in fiscal, financial, tax and policy.

**Key word:** wooden activated carbon; industry status; green and high-end manufacturing; intelligent level; measures; suggestions

活性炭是指由木质(木料、果壳、果核)、煤质和石油焦等含碳的原料经热解、活化加工制备而成的多孔性炭材料<sup>[1]</sup>。活性炭是一种常用的吸附剂,与其它吸附剂(如漂白土、酸性白土、硅凝胶、活性氧化铝等)相比,具有比表面积大、孔隙结构发达、选择性吸附能力强<sup>[2]</sup>、表面化学基团丰富、物理化学性质稳定、耐酸碱、耐高温,且具有催化作用和可再生等特性,被广泛应用于国民经济各领域。英国科学家 Rapheal von Ostrejko 于 1900 年申请了英国专利 B. P. 14224 和 B. P. 18040,首先研究开发了 CO<sub>2</sub> 和水蒸气活化生产具有吸附能力的活性炭,并且成功应用于防毒面具中,由此奠定了近代活性炭工业的技术基础。1911 年,奥地利的 Fanto 公司和荷兰 Norit 公司首先生产糖液脱色用粉状活性炭。在食品工业上很多产品生产过程中都要用活性炭进行脱色精制,去除杂质和异味。在制药工业方面,为脱色、除臭、提高药物纯度、避免副作用等,原料药、针剂类产品都要经活性炭处理。在防止大气污染方面,国外很多大型电厂采用活性炭脱硫工艺,美、日、西欧早在 10 年前就用活性炭吸附的燃油蒸发装置控制汽车尾气污染。时至今日,活性炭已广泛应用于军工、食品、医药、化工、农业、环保和水处理等工业和生活的各个方面<sup>[3]</sup>。随着科学技术的发展和人们生活水平的提高,活性炭已经成为现代工业、生态环境和人们生活中不可或缺的炭质吸附材料。

## 1 国内外活性炭产业发展现状

### 1.1 国外发展现状

100 多年来,发达国家的活性炭工业经历了导入期(1900~1950 年)、成长期(1950~1990 年)、成熟期(1990~现在)的发展。2018 年,全球活性炭需求量约 165.0 万吨,同比增长 6.7%;2013~2017 年的年均复合增长率为 6.3%<sup>[4]</sup>;预计到 2025 年全球活性炭需求量接近 210.0 万吨。从活性炭的人均用量看,发达国家为 0.7~0.85 kg,而且 50% 以上用于水处理和环保领域。2018 年全球活性炭市场总额为 54 亿美元,其中水处理应用市场产值为 16 亿美元,空气净化应用市场产值 11 亿美元;中国继续主导亚太地区的活性炭市场,其次是日本和韩国。

在世界范围内,美国卡博特(Cabot)收购荷兰诺瑞特(Norit)后成为全球最大的活性炭生产商,日本大阪燃气化学有限公司收购瑞典雅可比以来跃升至第二位。目前国际上其他主要活性炭生产和销售企业有:日本可乐丽(Kuraray,2018 年收购了卡尔冈活性炭公司)、美国英杰维特(Ingerity)、日本吴羽化学(KUREHA)、德国 Donau Carbon GmbH、德国 Silcarbon Akilontonivkohle GmbH、美国 Oxbow Activated Carbon、德国莱茵集团(RWE Group)、法国阿科玛(Arkema SA)、美国雅宝公司(Albemarle Corporation)、懿华水处理技术公司(Evoqua Water Technologies)等。世界上约有 50 个国家生产活性炭,美国、日本和欧洲等发达国家和地区的活性炭产业已具备连续化、无公害化、自动化和大型化等特点。国外活性炭龙头企业主要产品及技术见表 1。

### 1.2 国内发展现状

活性炭是工业生产和人们生活中不可或缺的理想吸附材料,已被列入我国《战略性新兴产业分类(2018)》目录。与国外成熟市场相比,我国活性炭需求市场正处于导入期向成长期过渡的时期,在此阶段,我国下游领域对活性炭产品的需求迅速增加,未来消费发展空间十分广阔。

目前中国是世界活性炭第一生产和出口大国,2018 年中国活性炭产量约 89.7 万吨,其中煤质活性炭产量约 43.0 万吨,木质活性炭产量 46.7 万吨<sup>[5]</sup>,预计到 2025 年活性炭产量接近 100.0 万吨。同时,中国是世界第二大活性炭消费国,仅次于美国,2018 年中国活性炭需求量在 44 万吨左右,全球占比约 26.7%<sup>[6]</sup>。

表 1 国外活性炭龙头企业的现状

Table 1 Status quo of foreign leading enterprises for activated carbon

活性炭企业 activated carbon enterprise	主要产品 major products	先进技术 advanced technology	规模 scale
美国卡博特	汽车尾气排放控制用活性炭、空气净化用活性炭、防毒面具用活性炭、农业用活性炭、炭基催化剂、化学品精制用活性炭、药用口服活性炭	活性炭形状、孔隙结构、表面官能团定向控制技术;粒状活性炭再生技术(恢复 97% 以上的吸附能力);移动过滤吸附技术;活性炭喷射系统	在意大利、荷兰、英国、美国、加拿大、墨西哥、新加坡均有分公司
日本大阪燃气 化学有限公司	大气环境用活性炭、水处理活性炭、食品饮料用活性炭、医用活性炭、炭分子筛、炭基催化剂	活性炭形状、孔隙结构、表面官能团定向控制技术;小分子气体分离技术	活性炭产能为 12 万吨/年,再生规模为 7000 吨/年
日本可乐丽化 工有限公司	净水活性炭、食品饮料用活性炭、精制用活性炭、空气净化用活性炭、炭基催化剂、气体分离用活性炭、个人防护用活性炭、医用活性炭、吸附汽油用活性炭、除铅用活性炭、超级电容炭、活性炭纤维	活性炭形状、孔隙结构、表面官能团定向控制技术;颗粒活性炭再生技术;活性炭纤维制备技术	拥有超过 30 家全球办事处及分公司,且在全球有 17 家再生工厂

在木质活性炭方面,国内生产企业主要位于福建、江西、浙江、贵州等有丰富森林资源的省份,其中福建、江西和浙江三省的产量分别为 22.4、6.1 和 5.2 万吨,合计占全国木质活性炭总产量的 70% 以上。在煤质活性炭方面,国内生产企业主要位于山西、宁夏及新疆等煤炭资源丰富的省区,其中山西、宁夏、新疆三地的产量占全国煤质活性炭总产量的 80% 以上<sup>[7]</sup>。未来,受环保及煤炭行业供给侧改革的影响,煤质活性炭的产量将出现下滑<sup>[8]</sup>;而木质活性炭产品的产量将稳步提升<sup>[9]</sup>。2018 年,中国木质活性炭领域的龙头企业福建元力活性炭股份有限公司,其活性炭产量在木质活性炭市场占比 15% 以上<sup>[10]</sup>;虽然中国活性炭企业数量已由 20 世纪 80 年代初的几十家增加到目前的近 500 家,但年产量万吨规模以上的企业不足 10 家。

经过多年的发展,活性炭已经逐渐从工业用吸附剂转变为一种用途广泛的基础性材料。随着中国经济的快速增长和对环境保护、食品安全的日益重视,活性炭应用领域不断扩大,需求增长迅速。特别是中国关于环境保护的相关规则颁布后,水处理、机动车、溶剂和废气回收以及空气净化用的活性炭市场需求剧增,活性炭工业成为我国经济增长速度最快的工业之一。

食品饮料、水处理、化工和医药行业是我国活性炭的主要消费领域。2019 年我国活性炭需求量约为 65.85 万吨<sup>[11]</sup>,其中食品行业的活性炭需求量约为 18.68 万吨,占全年总需求量的 28.37%,在食品工业方面很多产品都要用活性炭进行脱色、精制、去除杂质和异味等,如糖、味精、调味品、果胶、酒类、饮料、食用油等;水处理市场是活性炭最大的消费市场,2019 年水处理用活性炭需求量约为 22 万吨,占全年活性炭总需求量的 33.40%;化工行业和医药行业领域活性炭需求占比分别为 13.62% 和 17.87%,制药工业领域活性炭可用于脱色、提纯、吸附热原等,广泛应用于原料药、针剂类产品的生产;其他领域的需求约为 6.74%。随着世界经济不断发展、人们生活水平进一步提高以及各国对食品医药安全标准、环境保护标准的日趋严格化,活性炭的传统应用市场将随之稳步扩大。此外,随着人们对活性炭研究的不断深入,活性炭在新能源储存、绿色催化剂、核辐射防护等新兴应用领域的应用开发也日益加快,其未来的应用领域和应用数量都将快速增加。预计 2025 年国内活性炭市场需求将达到 93 万吨左右<sup>[12]</sup>。

我国虽然是世界活性炭第一生产和出口大国,但活性炭工业依然处在成长期,目前存在生产过程有污染、产品质量不稳定、活性炭应用领域窄、高端产品部分依赖进口等问题。

### 1.3 国内外产业发展差距分析

与国外活性炭产业相比,目前国内活性炭产业还存在不少差距,主要体现在 3 个方面:1) 木质活性炭的原料主要为林特资源提取剩余物、采伐剩余树干、修剪枝叶、果壳(核)等,受原料资源的季节性和



分散性约束,原料的收集、贮存、运输难度大、成本高,供给不稳定,导致了国内活性炭生产企业数量多且分散、生产规模较小。2) 世界贸易中,近年国内木质活性炭的平均出口价格为1 100美元/吨,产品价格稳中有升,但进口价格保持在6 000美元/吨以上。因此,一方面,除已有活性炭产品外,在专用及精制活性炭制备及应用技术方面,需继续向包括电子行业、医药及生化行业、环境污染控制及石油化工高效催化剂载体等在内的应用领域延伸,扩大应用市场,提高国际竞争力;另一方面,国内公司应加大对高端产品的研发和市场推广力度,如电化学储能炭材料、碳气凝胶材料、炭基催化剂等创新领域,加大开拓发达国家市场的力度,提高对发达国家的销售份额,推动本土品牌向国际化发展。3) 活性炭绿色制造技术和产品性能控制手段有待提升。活化剂是化学法制备活性炭的关键,传统的技术不仅需要消耗大量的活化剂,且因为活化剂难以回收而危害环境。近年来,随着科技的发展和活化工艺的进步,活化剂低消耗制备工艺被越来越多的应用。如美国企业通过活化剂低消耗工艺,以磷酸法制备活性炭,每吨活性炭的磷酸消耗低于200 kg;日本企业采用回转炉两段法,在较低温度和较少氯化锌用量下制备高端活性炭<sup>[9]</sup>。活化剂的低消耗不仅会降低生产的成本,还能够实现清洁生产与保护环境。目前,国内仅有福建元力活性炭股份有限公司等几家大型企业可以将磷酸法活性炭生产的吨产品酸耗降至150 kg以下。

此外,国外企业通过对活性炭微孔结构和表面化学基团进行精准调控,实现了活性炭产品的多样化、专用化和高端化。而国内活性炭企业主要通过碘吸附值、甲苯吸附率等吸附标准指标来评价活性炭产品的优劣,缺乏对活性炭产品结构、性质与其在应用领域的关键性能之间的构效关系的研究,活性炭制造企业和活性炭应用企业之间缺乏集成开发,进而导致了部分高端活性炭产品依赖进口的现状。

## 2 福建元力活性炭股份有限公司案例分析

### 2.1 案例背景

福建元力活性炭股份有限公司(以下简称元力公司,图1)创立于1999年,注册资本24 480万元,于2011年2月在深圳创业板成功上市。目前主营业务为木质活性炭和硅酸钠的研发、生产与销售,是国内综合实力最强的木质活性炭生产企业,也是国内唯一的活性炭上市公司。目前拥有3个全资子公司和一个控股子公司。

元力公司一直致力于木质活性炭的研发、生产和销售,经过20多年的精耕细作、悉心打造,木质活性炭的产销量占国内市场的15%以上,主要产品为以木质、果壳等为原料的粉状活性炭、柱状活性炭、不定型颗粒活性炭等。元力公司在福建南平、福建莆田、江西玉山、内蒙古满洲里、上海设有6个活性炭生产基地,其中南平有2个生产基地。2020年活性炭生产能力达11万吨,利用当地樟树、松树、杉树等林业特色木材加工剩余物资源(木屑、竹粉、木片、果壳等)为主要生产原料进行生产。

元力公司在产量和销售方面长期稳居全国木质活性炭行业第一位,作为中国木质活性炭基地的领军企业,公司是首家通过ISO9001认证、ISO14000认证、OHSAS18001认证的活性炭企业。公司还取得了食品添加剂植物活性炭生产许可证,药品生产许可证药用辅料(药用炭)相关批件和NSF水处理炭认证。供应活性炭产品凭借其高性价比与服务,在国内建立起了体系完备、响应快速的营销网络,产品覆盖发酵行业、食品添加剂、医药行业、化工行业、水处理行业等。公司积极实施海外市场拓展,目前海外业务已布及法国、俄罗斯、意大利、土耳其、澳大利亚、日本、泰国、印度、阿根廷、巴西、南非等几十个国家和地区,2019年活性炭出口量达2.9万吨,名列行业第一。



图1 福建元力活性炭股份有限公司

Fig.1 Fujian Yuanli Active Carbon Co.,Ltd.

## 2.2 现有规模及主要生产工艺

福建元力活性炭股份有限公司从 1999 年起就着力研究开发以林区再生资源(如锯末、板坯、枝丫等)为原料生产木质活性炭,并取得突破性进展。同时企业不断提高生产技术,改进生产装备。2008 年起自主创新开发出年产 5 000~8 000 吨物理法、化学法活性炭连续一体化生产线,并开始在 6 个活性炭生产基地推广应用,并于 2010 年优化设计制造出年产 10 000 吨全球最大规模化学法活性炭自动化生产线。2020 年元力公司活性炭总产能达 11 万吨,2020 年预计活性炭产量达 10 万吨以上,年利用林木三剩物约 30 万吨(含生物质燃料)。

元力公司磷酸法活性炭生产工艺流程如图 2 所示。由图可知,生产过程主要包括以下几个方面:1) 捏合。原料木屑与磷酸在捏合机内进行充分捏合,捏合好的原料,由螺旋送料器送入炭化活化一体化转炉。2) 炭化、活化。捏合料与高温烟气在转炉内逆流接触进行炭化、活化,物料活化温度 420~480 ℃。3) 炭化、活化尾气处理。尾气经调质处理和高压电场除尘、除焦、除酸,回收磷酸,尾气达标排放。4) 酸回收、洗涤。将活性炭与回收水充分混合后进入除砂工序,除去炭中夹带的砂质类物质后送至分离洗涤工序,将炭与磷酸分离,达到标准后用皮带机送至压滤系统,经八级压滤洗涤后,进行成品烘干。5) 成品烘干。利用物理炭生产过程产生的尾气燃烧产生的热能进行干燥处理,并利用换热器回收余热。6) 研磨、包装。烘干后的物料经研磨、调质,通过无尘包装机包装为成品。

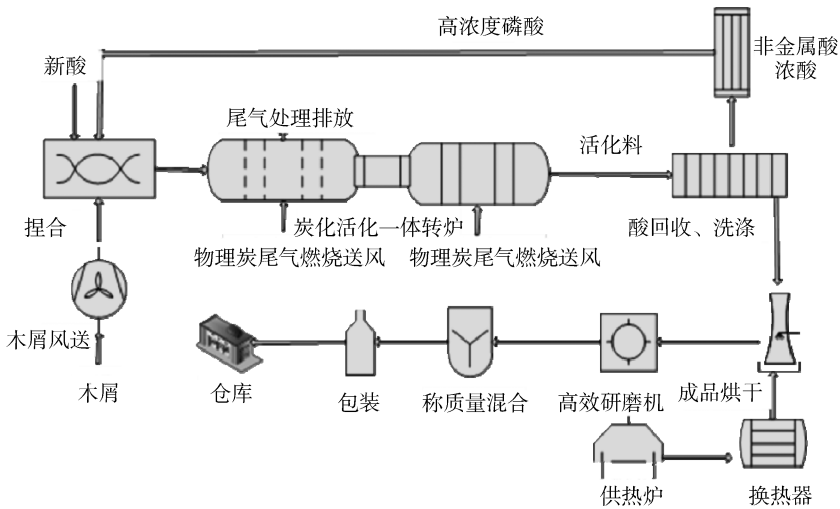


图 2 磷酸法活性炭生产工艺流程图

Fig.2 Process flow diagram of production

元力公司将物理炭生产线和化学炭生产线联合考虑,使系统热能实现充分循环回收利用,物理法工艺主要设备是沸腾炉和旋喷炉,将沸腾炉、旋喷炉的尾气燃烧作为化学炭炭化、活化、成品烘干的热能,利用不同温度烟气产生蒸汽,或加热水,或加热空气,逐级回收余热。而原料干燥工段所需的热量由热风干燥炉提供,热风干燥炉以木屑等剩余物为燃料。

## 2.3 可推广经验

福建元力活性炭股份有限公司经过 20 多年的努力,已经成为国内综合实力最强的木质活性炭生产企业,其发展过程中有不少可借鉴的经验,主要包括以下 3 方面。

### 2.3.1 建立生产基地,保障丰富的原料来源

元力公司在福建南平、福建莆田、江西玉山、内蒙古满洲里和上海均设有生产基地。元力公司的南平分公司位于福建省南平市,被称为“绿色宝库”,自然植被属中亚热带绿阔叶林地,典型的植被为湿性常绿阔叶林、带绿落叶阔叶林,主要人工植被以马尾松、杉木为主,还有部分油桐、茶树等经济林木,森林覆盖率 77% 以上,林场年采伐量 600 多万  $\text{m}^3$ ,采伐及加工剩余物如锯末、碎材、枝丫等约有 200 万吨/年。

荔元分公司位于福建省莆田市秀屿区,莆田秀屿国家级木材贸易加工示范区是国家林业和草原局、

商务部、海关总署批准的进口原木加工锯材出口试点基地,国家质检总局批准加拿大 BC 省 1 000 万  $\text{m}^3$  原木进口我国只能经过秀屿进口木材检疫除害处理区。该区已落地木材加工企业数十家,每年有几十万吨的废弃锯末、沙光粉、刨花、树皮产生。

怀玉山分公司位于江西省上饶市玉山县玉山工业园区内,玉山地处闽、浙、赣交界处,林业资源极为丰富。浙江贺村竹木工业专业区距公司 30 多公里,运输方便,专业区内有木材加工企业 1 080 家。其中,木材深加工企业 200 多家,年木材交易量达 150 万  $\text{m}^3$ ,年加工木材近 105 万  $\text{m}^3$ ,产生加工剩余物 35 万  $\text{m}^3$ 。

满洲里元力活性炭有限公司位于内蒙古满洲里市扎区重化工基地。满洲里地处中俄边境,满洲里口岸承担着一半的中俄木材贸易。2017 年满洲里口岸共进口木材 1 184.1 万  $\text{m}^3$ ,其中进口原木 393.3 万  $\text{m}^3$ ,生产木质活性炭所需的木屑资源极为丰富,为国内罕见,目前其年加工剩余物产生量达到 130 万  $\text{m}^3$ 。

**2.3.2 创新研发活性炭先进制造技术及装备,为活性炭的高效生产提供保障** 与中国林业科学研究院林产化学工业研究所联合开发 8 000 吨/年的物理法-化学法活性炭连续一体化生产技术(图 3),并在 4 个分公司建设投产。利用物理法的炭化尾气为化学法生产供热,替代燃煤供热,降低成本,提高活性炭品质,实现生产过程无燃煤消耗,同时得到物理法活性炭和化学法活性炭。优化设计制造出年产 10 000 吨全球最大规模化学法自动化生产线(图 4),并通过技术集成,吨产品磷酸消耗从传统的 200 kg 以上降低至 150 kg 以下,实现了磷酸法活性炭的低消耗清洁生产。创新回转炉九段供热技术,提升活性炭产品质量,显著降低尾气中颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等的排放量。创制颗粒废炭控氧热解技术,实现再生活性炭的低灰分和高得率,得率达 90% 以上。

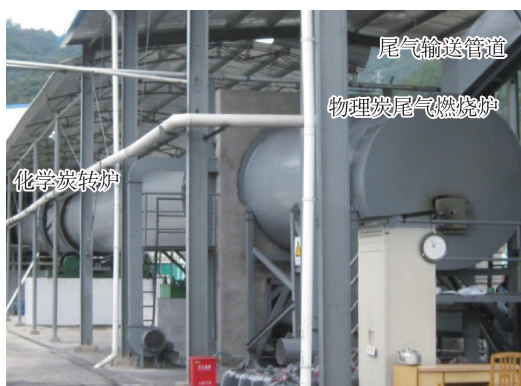


图 3 集成生物质燃气供热与木质活性炭生产一体化装备

Fig. 3 Integrated equipment for biomass gas heating and production of wooden activated carbon



图 4 10 000 吨/年磷酸法活性炭生产线

Fig. 4 10 000 tons/year equipment for phosphoric acid activated carbon

**2.3.3 重视产学研合作,开发高端活性炭产品** 元力公司通过不断学习和研究国内外活性炭先进技术,加强与高校及科研机构的合作,聘请行业资深专家教授作为企业技术顾问,公司在行业内确立了较强的自主创新优势和核心竞争能力,在活性炭生产技术和新型活性炭应用研究方面填补了很多国内技术空白,开发了高性能的药用炭、注射药剂精制用活性炭、食品添加剂专用活性炭、颗粒糖液吸附炭、催化剂载体炭等高端产品。公司实验室已于 2015 年被认定为“福建省重点实验室”,并与中国林业科学研究院林产化学工业研究所联合成立活性炭研发中心。公司现已获得 51 项国家发明和实用新型专利权的授权,并参与完成了多项省级以上课题的研究。

## 2.4 存在的问题

**2.4.1 活性炭生产技术智能化水平不高** 元力公司虽然是国内木质活性炭行业的领军企业,但依然在生产智能化水平、废炭再生和产品性能等方面亟需提升改进。近几年国内活性炭生产技术发展迅速,但与国外大公司相比,在生产线的自动化和智能化方面差距较大。国外企业通过远程信息化控制,



大量使用机器人等手段减少用工,提升生产稳定性。随着我国社会经济的发展人力成本越来越高,活性炭生产线的自动化和智能化改造升级势在必行。

**2.4.2 废炭再生技术仍需提升** 目前活性炭应用企业为减少活性炭废弃物量,提高活性炭资源利用率,降低成本,对活性炭再生技术需求迫切。国内粉状活性炭再生技术落后,难以满足批量生产和环保的要求;同时废炭烘干过程中挥发性气体的处理技术仍有待开发。

**2.4.3 木质颗粒活性炭性能有待提高** 与煤质活性炭相比,木质活性炭的性能仍有待提升,虽然木质活性炭比煤质活性炭具有更发达的孔道、丰富的表面基团和较强的吸附能力,但仍需提高木质活性炭的着火点,避免在许多有机溶剂吸附及再生过程中存在易着火的问题;木质活性炭的亲水性强,导致产品对应用场景的湿度要求较高,需提高木质活性炭的疏水性能;木质活性炭的磨失率高,导致连续吸附过程床层阻力逐渐增加,降低过滤速度和吸附效率;木质活性炭的特定吸附性仍需提升。

### 3 未来产业发展需求分析

#### 3.1 国家战略层面

**3.1.1 保障国家食品、药品和军事安全** 民以食为天,食以安为先。在我国国民经济中,食品工业占有重要的地位。活性炭在食品生产中具有脱色、脱臭、除去胶体和杂质、提高结晶、增强稳定性、调香以及有效物质精制、回收和分离等多种功能,广泛用于糖、味精、酿造、饮料、乳制品、食用油以及食品添加剂等领域<sup>[13]</sup>,如表2所示。因此,活性炭在现代食品工业中具有举足轻重的地位,可有效保障国家食品安全。

表2 木质活性炭在食品工业的应用

Table 2 Application of wood activated carbon in food industry

食品工业 food industry	用途 application
糖	除去类黑精、焦糖色、铁多酚类络合物、胶质和表面活性杂质等
味精	除去类黑精、焦糖色、酸化时产生的褐色素,脱除需氧发酵过程菌类生成的色素,并有利于结晶
酒	除去白酒及酒精的异味,加速白酒的陈化;去除苦味、沉淀物
果汁	除去苦味、杂质等
食用油和脂肪	除去叶绿素、类叶红素、多环芳香烃等杂质

活性炭具有良好的稳定性和选择性吸附能力,因此在制药行业常用来吸附热原、除杂(细菌内毒素、悬浮物等)精制、脱色、助滤等,无论是化学合成药、生物制剂、维生素、抗生素、激素还是针剂、大输液等均需要用到活性炭<sup>[14]</sup>,活性炭是制药生产中重要的吸附材料。在药物制备过程中去除热原是当今生物技术领域中的一大难题,生产中避免热原污染制品及清除热原的工作显得尤为重要。当注射液(针剂或大输液)中含有热原时,注射到人体内将会危害病人的健康<sup>[15]</sup>。因此,活性炭产业的健康与快速发展,将促进制药工业的安全发展,保障人民群众的身体健康和生命安全。

超级电容活性炭可用于军用坦克、装甲车的启动和转向动力系统,高导电炭材料具有吸收电磁波的功能,可以用于军事隐身材料,高吸附性活性炭对机油洗除效果优良,用于军用车辆可延长机油使用寿命3倍,提高部队持续作战能力。

**3.1.2 促进节能减排** 木质活性炭产业是利用林业加工剩余物为原料制备功能型多孔炭材料,既可降低木质剩余物对环境的危害,改善生态环境,同时活性炭对气液相污染物排放的治理效果显著。活性炭本身具有良好的吸附性能,在工业废水处理、有毒有害气体净化、挥发性有机溶剂吸附和回收、室内空气净化、脱硫脱硝脱汞及土壤修复等领域是不可或缺的,可以有效推动我国打赢“碧水蓝天”保卫战。随着国际社会对节能减排的要求越来越高,活性炭产业越来越受到人们的关注。林业生物质活性炭产业的显著特点在于资源和环境的双赢。

**3.1.3 推动社会主义新农村建设** 通过将可再生林业资源转化为活性炭后再利用,可拓展资源利用

途径,提高资源利用水平,推进资源节约和循环利用,改善农村的人居环境。同时,活性炭的原料收集可以为农民增收,为“三农”提供一个新的增收渠道。因此,大力发展活性炭产业,将给农村经济和农民带来巨大的经济效益,有利于建设资源节约型的新农村,进而建设文明和谐的新农村。

### 3.2 行业层面

**3.2.1 精准扶贫** 我国经济林和竹林种植面积大,生物产量高,且多在偏远山区。按照全国木质活性炭40万吨产量来计算,可每年利用林木剩余物150万吨以上,按照林木剩余物400元/吨计算,可实现农民增收6亿元,扶贫效果明显。木质活性炭产业是兼具经济效益、社会效益及生态效益的产业。

**3.2.2 延伸产业链** 活性炭不仅在液相吸附、气体净化、溶剂回收、土壤修复等产业中作为良好的吸附材料,有效保障我国食品、医药的安全,同时在其他一些创新领域也是不可或缺的多孔功能材料。在工业催化方面,活性炭作为催化剂或催化剂载体,能够广泛应用于石油化工、煤化工、生物质液体燃料提质、医药和农药中间体合成等领域<sup>[16-18]</sup>,推动化工产业的发展;在储能领域,活性炭可以用于物理/化学储氢、双电层储电、电极材料等<sup>[19]</sup>;在医用领域,活性炭可用于外伤治疗、口服药、癌症治疗、血液净化等;在防辐射领域,活性炭可以用于放射碘的补集、核反应堆排放废气治理、电磁屏蔽等产业<sup>[20]</sup>。由此可见,活性炭产业的发展必将促进众多传统和创新产业的快速发展。

## 4 措施与建议

### 4.1 产业发展模式创新

我国木质活性炭的开发利用技术及设备仍有待进一步改进,应当加大科技支撑力度,促进产、学、研、用相结合,从3方面入手,加快活性炭绿色高端制备及大规模智能化装置创新,创新活性炭产品的孔隙结构和表面基团的精准调控技术,开发活性炭产品的多样化、专用化和高端化应用技术,加强科技成果转化,进一步提高活性炭产业的综合经济效益,保障活性炭产业良性发展。

1) 生产设备大型化和现代化,企业规模大型化。推动活性炭生产设备的连续化、大型化、自动化、智能化,明显提高生产效率,扩大活性炭企业的生产规模至5万吨以上,提高与国外大型活性炭企业的竞争能力。随着活性炭生产的规模化发展,活性炭生产企业数量将逐步缩减,可有效地改善中国活性炭市场的无序竞争现状。

2) 产品多样化、专用化和高端化。除已有的食品、药品、环保等行业广泛使用的活性炭产品外,在专用及精制活性炭制备及应用技术方面继续向电子行业、军工、储气、医药及生化行业及石油化工高效催化剂等应用领域延伸,扩大应用市场,为活性炭产品提供新的生命力,也为活性炭的研制提出新的要求,进一步提高国际竞争力,有针对性地研制具有特殊性能的专用活性炭产品是今后重要的研究方向之一。阐明林业剩余物热化学转化形成多孔炭材料的机理,突破高端活性炭产品微观结构的定向调控核心技术,创制军工、电子行业、辐射防护、医药、催化领域用活性炭新产品,力争提升我国高端活性炭应用创新领域的市场份额,提高活性炭吨产品出口价格。

3) 节能减排常态化。活性炭生产过程通过余热锅炉、烟气循环等方式节约能源,并通过二次燃烧、洗涤除尘等方式降低有毒有害气体的排放,创新化学法活性炭的绿色制备技术,突破磷酸绿色活化关键技术,降低磷酸法活性炭生产过程的吨产品酸耗。鼓励活性炭定向再生产业的创新研发,尽可能实现吸附饱和和活性炭的循环利用。

### 4.2 将活性炭产业列入资源循环利用产业目录

由于活性炭在工业生产和民用生活中的重要作用,国内外市场对活性炭产品的需求逐年增加,已成为林业产业经济发展的新亮点。人工林种植区域主要在山区,劳动力为当地林农。目前木质活性炭产业被列入化工产业目录,阻碍了以农林剩余物为主要原料的活性炭产业的快速发展。建议将活性炭产业列入资源循环利用产业目录,同时建立保护农民增收的原料收、储、运制度和绿色证书交易机制,有利增加林农收入,助力山区扶贫,同时满足工业和民用市场对活性炭产品的迫切需求。



### 4.3 设立科研专项

建议从国家层面设立科研专项,从基础理论、关键技术和产业化利用等方面开展研究,形成活性炭高效综合利用科学技术和工程示范,建立产业化基地,加快活性炭产业发展。促进有关科研院所加大科技研发力度,解决活性炭技术方面的诸多难题,为中国在活性炭制造和应用服务方面早日超越世界先进水平而共同努力。

### 4.4 政策建议

建议地方财政和银行等金融机构对木质活性炭产业给予阶段性的低息和贴息贷款资金支持。建议林草局、发改委和税务部门继续给予木质活性炭产业减免和部分减免增值税的优惠政策。建议通过政策导向,鼓励和引导投资、融资机构加大对活性炭产业的资金注入。

### 参考文献:

- [1] 孙艳. 活性炭制备现状及其研究进展[J]. 中国资源综合利用,2014,32(1):44-46.
- [2] 李艳芳,孙仲超. 国内外活性炭产业现状及我国活性炭产业的发展趋势[J]. 新材料产业,2012(11):4-9.
- [3] 王程,曹强,汤海涌. 活性炭的应用研究进展[J]. 化学与生物工程,2019,36(1):11-14
- [4] 活性炭市场规模[EB/OL]. (2018-07-20)[2018-08-15]. <http://m.chinabgao.com/k/huoxingtang/37169.html>.
- [5] 国家林业和草原局. 中国林业和草原统计年鉴 2018[M]. 北京:中国林业出版社,2019.
- [6] 深圳立木信息咨询. 2018 年中国活性炭行业市场发展概况[EB/OL]. (2018-01-30)[2020-08-15]. [https://www.sohu.com/a/219807812\\_252291](https://www.sohu.com/a/219807812_252291).
- [7] 罗鹏,贾智刚,严明. 国内煤基活性炭生产现状和发展[J]. 当代化工,2014(7):1277-1279.
- [8] 王芳,赵忠亮. 供给侧结构性改革对我国煤炭的影响[J]. 煤炭技术,2018,37(6):338-340.
- [9] 邓荣伟,伍清亮. 中国木质活性炭产业发展情况报告[J]. 福建林业,2013(4):14-16.
- [10] 雪球财经. 行业不振,元力股份如何玩转活性炭产业[J]. 股市动态分析,2014(40):56-57.
- [11] 最新中国活性炭行业现状及发展前景分析[EB/OL]. (2020-07-19)[2020-08-15]. <https://wenku.baidu.com/view/7fc745fcc4da50e2524de518964bcf84b8d52d22.html>
- [12] 蒋剑春,孙康. 活性炭制备技术及应用研究综述[J]. 林产化学与工业,2017,37(1):1-13.
- [13] 福建元力活性炭股份有限公司. 浅谈活性炭生产与食品安全//2013 中国生物发酵产业年会论文集[C]. 上海:中国生物发酵产业协会,2013:585-590.
- [14] 蒋剑春. 活性炭制造与应用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2017.
- [15] 李娟,马珠凤,李元瑞. 活性炭的性能及在制药生产中的应用[J]. 中国现代应用药学,2009,26(13):1121-1124.
- [16] WANG F,ZHANG W J,JIANG J C,et al. Nitrogen-rich carbon-supported ultrafine MoC nanoparticles for the hydrotreatment of oleic acid into diesel-like hydrocarbons[J/OL]. Chemical Engineering Journal,2020,382:122464[2020-08-15]. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122464>.
- [17] WANG F,JIANG J C,WANG K,et al. Hydrotreatment of lipid model for diesel-like alkane using nitrogen-doped mesoporous carbon-supported molybdenum carbide[J]. Applied Catalysis B:Environmental,2019,242:150-160.
- [18] SUN H,SUN K,WANG F,et al. Catalytic self-activation of Ca-doped coconut shell for in-situ synthesis of hierarchical porous carbon supported CaO transesterification catalyst[J/OL]. Fuel,2021,285:119192[2020-08-15]. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119192>.
- [19] LI T F,HU Y J,PAN X C,et al. N-carbon supported hierarchical Ni/Ni<sub>0.2</sub>Mo<sub>0.8</sub>N nanosheets as high-efficiency oxygen evolution electrocatalysts[J/OL]. Chemical Engineering Journal,2020,392:124845[2020-08-15]. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.124845>.
- [20] ZHAO H Q,CHENG Y,LIU W,et al. Biomass-derived porous carbon-based nanostructures for microwave absorption[J/OL]. Nano-Micro Letters,2019,11:24[2020-08-15]. <https://doi.org/10.1007/s4-0820-019-0255-3>.