

文章编号: 1007-8827(2011)04-0241-05

# 面向应用发展炭材料 ——记世界碳科学年度大会 (Carbon2011)

李峰<sup>1</sup>, 龙东辉<sup>2</sup>

(1. 沈阳材料科学国家(联合)实验室,中国科学院金属研究所,辽宁 沈阳 110016;  
2. 化学工程国家联合重点实验室,华东理工大学,上海 200237)

中图分类号: G 219.16

文献标识码: A

世界碳科学年度大会(Carbon2011)于2011年7月24日-29日在华东理工大学校园内举行。这是我国继2002年之后第二次承办世界碳科学年度大会。本次会议由华东理工大学、上海理工大学和中国科学院山西煤炭化学研究所共同主办,并得到了教育部、中国科学院、国家自然科学基金委的大力支持。华东理工大学凌立成教授,中国科学院金属研究所成会明研究员和清华大学康飞宇教授共同担任大会主席;上海理工大学杨俊和教授和中国科学院山西煤炭化学研究所吕春祥研究员担任大会学术委员会主席;华东理工大学乔文明教授担任大会秘书长。清华大学、中国科学院金属研究所、国内外相关知名企业(如宝钢化工、SGL、Morgan、Thermo Scientific、Toyo Tanso、士达炭素、GrafTech、Quanta-chrome、Agilent Technologies等)为Carbon2011的成功举办提供了积极协助。此外,华东理工大学组织了一支由80多人组成的志愿者大军,也成为此次大会的一道亮丽的风景线。

Carbon2011是继Carbon2002在北京清华大学成功举办后,世界碳科学年度大会再次落户我国。来自42个国家和地区近800位学者和学生参加了本次会议,其中来自海外及港澳台学者总数超过350人。除了中国大陆,与会代表人数排名前十位的国家和地区分别是:日本、韩国、美国、法国、德国、中国台湾、英国、西班牙和澳大利亚,占总人数的78%(图1)。本次会议共收到投稿960篇,通过同行专家审阅录用论文797篇。围绕碳科学的研究现状和热点共设置了10个主题,分别以42个主题报告、280个口头报告和470个墙报展示进行了交流。同往届会议相比,本次大会从学术规模、参会

人数、参加国家与地区分布等各方面,均创造了世界碳科学年度大会的历史之最,完全算得上是碳科学界史无前例的一次盛会。作为本届大会的东道主,中国大陆超过400名代表参加此次大会,其中大量的青年科研人员崭露头角,踊跃担当起分会主席和作主题报告的重任,充分体现了我国炭材料研究的人才队伍建设的巨大进步。此次大会,中国大陆学者投稿论文共354篇,其中大会邀请报告(Plenary Lecture)1篇、分会邀请报告(Keynote Talk)7篇、口头报告87篇、墙报259篇。与2002年大会相比,我国学者在此次大会上发表的论文无论是质量还是数量都有质的突破,表明近年来我国在炭材料科学研究与工程等方面取得了可喜发展。

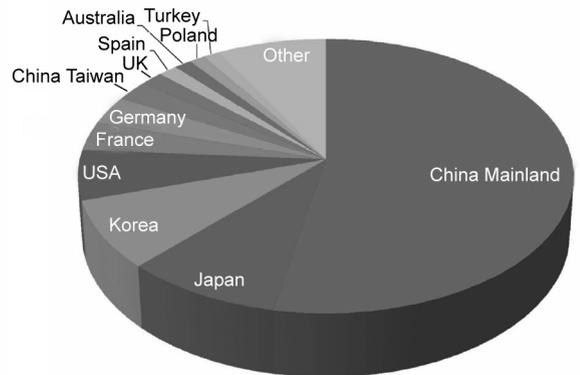


图1 Carbon 2011 世界各国/地区与会人数统计

Fig. 1 Statistics of attendees from different countries/region in Carbon 2011

本次大会的主题是“优质碳素,美好生活”(Nice Carbon, Nice Life),表明了炭材料以实际应用为牵引、同时大力发展相关基础和应用研究的发

展趋势和目标。本次大会围绕这一主题邀请了 5 位国际知名学者就炭材料发展中的热点问题和未来基础理论和工业应用作大会特邀报告。第一位特邀报告人来自德国 Max Planck Institute for Polymer Research 的 Klaus Müllen 教授,他报告的题目是:炭材料和石墨烯的聚合物化学(The polymer of carbon materials and graphene)。报告重点介绍了通过多苯环化合物脱氢制备石墨烯的方法,该方法具有可控制石墨烯的尺寸和层数、结构相对完整等特点;随后展示了石墨烯在储能以及太阳能等领域的潜在应用。第二位特邀报告人是来自日本九州大学的 Isao Mochida 教授,报告题目为:工业用碳及其突破途径的思考(Nanosopic views of industrial carbon to find their breakthrough approaches)。报告重点介绍和论述了冶金用焦炭、炼钢用电极的针状焦、活性炭和炭黑、聚丙烯腈基和沥青基碳纤维、半导体工业用各向同性石墨、中间相沥青、碳纤维复合材料等当前主要工业用炭材料的使用及发展趋势,指出通过借鉴纳米炭材料的研究方法,从纳米尺度认识和分析传统工业用炭,发现其结构与性质之间的深层次关系,从而指导更高性能的工业炭的制备。第三位特邀报告人来自美国宾夕法尼亚州立大学的 Ljubisa R Radovic 教授,作了题为“石墨烯表面:从计算量子化学角度的新认识”(The graphene surface: New insights from computational quantum chemistry)的报告。该报告从理论计算角度阐释了  $sp^2$  杂化炭材料

在气化/燃烧、吸附/催化等过程中的行为和机制以及如何通过这些基础理论的理解来深化对炭材料在电学、磁学和光学方面应用的认识。第四位特邀报告人来自清华大学的范守善院士,报告题目是:碳纳米管:走向应用之路(Carbon nanotube: a road to applications)。报告首先介绍了高度定向、高密度碳纳米管垂直阵列的制备方法,已实现在 8 英寸硅片上大量生长垂直阵列;进而利用该阵列制备出连续的碳纳米管薄膜和丝,并将其应用于透射电子显微镜载样品碳膜、共振拉曼基体、热界面材料、扬声器、触摸屏等。范院士还展示了基于碳纳米管的触摸屏手机实物以及与富士康公司合作建设的触摸屏生产线,使与会者对碳纳米管的产业化应用充满了鼓舞和期待。第五位特邀报告人来自炭素工业界的德国 SGL 集团技术与创新负责人 Hubert Jäger 博士,作了题为“炭材料的未来—从工业角度的预测(The future of carbon-The industrial perspective)”的报告。Jäger 博士主要从产业界的角度分析了当前主要的炭材料,如炼钢用电解石墨、铝工业使用的石墨材料、高炉内衬石墨、碳纤维等的市场现状和前景。Jäger 博士还指出学术和工业的密切合作是未来炭材料取得成功的先决条件。在过去的几十年中,学术性炭材料科学机构为人们理解碳的各种新形态做出了巨大的贡献。传统炭材料的市场依然在增长,它们创造的利润为新型炭材料的发展提供了经济后盾,新型炭材料工业将展现出更强的竞争力。

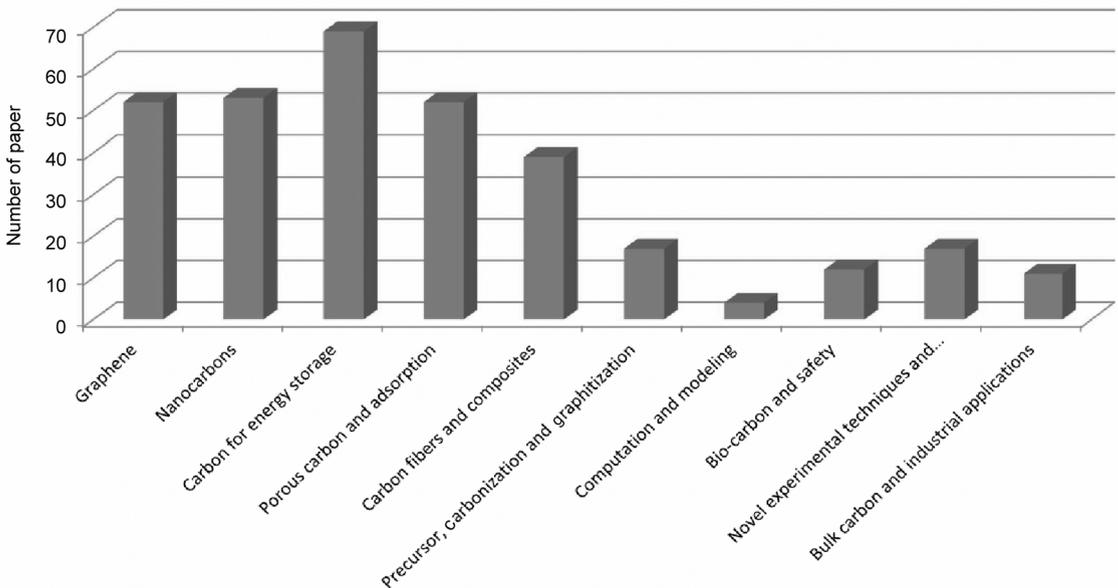


图 2 Carbon2011 报告按研究主题统计分类

Fig. 2 Statistics of keynote/oral presented in Carbon2011 sorted by subjects

为使与会者有更充分的交流机会,本次会议安排了六个分会场同时进行口头报告,墙报展示则分3场进行。其中主题报告和口头报告主要分布如图2所示,设置的10个主题为石墨烯、纳米炭、储能及能源转换用炭材料、多孔炭及吸附、碳纤维及复合材料、前驱体-炭化-石墨化、理论计算和模拟、生物炭及安全性、新颖实验和表征技术、块体炭材料及工业应用。以上主题设置充分体现了炭材料发展的多样性、突出了热点和面向应用发展的特色。本次会议的热点可用石墨烯和纳米炭(包括多孔炭)在储能和吸附等方面的功能性应用大致概括,这些方面的论文涵盖了本次会议论文的80%左右。其中最为突出的是石墨烯,已经完全从纳米炭材料中分离出来,形成了一个独立的、备受关注的主题。作为炭材料的主要实际应用领域,碳纤维及复合材料、前驱体-炭化-石墨化、生物炭及安全性、块体炭材料及工业应用等也受到广泛关注。特别值得一提的是,本次会议设置的新颖实验和表征技术、理论计算和模拟等主题完全从基础研究的角度来阐释炭材料的基本结构、性能及潜在应用。以下对本次会议的主要热点专题分别进行概要介绍。

## 1 迅猛发展的石墨烯

石墨烯是本届会议中最为闪亮的新星,不仅设置了石墨烯的专题会场,且在储能、吸附、计算等专题中也出现大量石墨烯相关的应用和基础研究内容。石墨烯不仅是一种结构独特、性能优异新型纳米炭材料,而且还赋予了科研工作者对炭材料更深的认识。尽管石墨烯的概念并非全新,自上个世纪膨胀石墨研究开始已有相关报道。但将石墨烯作为二维纳米材料,从其二维特性的物理化学角度探索其物性和发展其应用却是始于2004年,并于最近几年受到极大关注。从本次会议来看,石墨烯的制备、物性和应用研究都取得了很大进展。制备方面,除了膨胀还原和插层剥离等方法改进和深入研究的报道外,也出现了一些非常有特色的制备方法和石墨烯构成的特殊结构。比如天津大学的杨全红教授介绍了由高比表面积自组装石墨烯片层得到的多孔炭材料、中国科学院金属研究所的任文才研究员报道了石墨烯三维网络泡沫结构、美国布朗大学的Hurt教授提出了由液相法制备垂直石墨烯片层阵列、日本东京工业大学Enoki教授介绍了石墨烯纳米带边缘电子结构及其物性、清华大学宋宏伟教授报道了石墨烯的表面生长机制及其光伏应用等,都

显示了石墨烯结构本身的多样性以及制备方法的新进展。石墨烯具有优异的性能,可望在储能材料、纳米器件等方面获得应用。同时氧化石墨烯,无论是制备难易程度还是应用方面,都有独特之处,也获得了较大关注。如英国伯明翰大学的Whitby博士报道了单层氧化石墨烯的化学性能、构象分析以及相关应用等。石墨烯研究使炭材料获得了高度关注,并可望促进炭材料基础和应用研究的整体发展。

## 2 精确调控和应用推进的纳米炭材料

尽管石墨烯受到了极大关注,但以富勒烯、碳纳米管为代表的其他纳米炭材料仍是本次会议的重要议题之一。纳米炭材料主题集中了本次会议约20%的提交论文,在其他专题还包括关于纳米炭材料在复合材料、储能、吸附、生物应用与安全性等应用方面的报道。碳纳米管仍然是纳米炭材料研究的主流之一。从会议报告可看出,目前的碳纳米管研究正处于攻坚阶段。各国科学家从多个角度,采用理论与实验并重的方法研究碳纳米管的可控生长、结构调变以及应用探索。日本信州大学的Endo教授介绍了双壁碳纳米管的可控生长、Raman表征、掺杂以及在能源转化与复合材料领域的应用;北京大学的张锦教授报道了采用紫外光、水、官能化的胶带等选择性制备单一导电属性的单壁纳米碳管;清华大学魏飞教授介绍了超长和大量碳纳米管的CVD方法制备及其在储能等方面的应用;英国University of Surrey的SRP Silva教授报道了在低于250℃下制备碳纳米管,该工艺与现有半导体工业兼容,可望获得相关工业应用;日本AIST的徐明博士则报道了碳纳米管的黏弹性及其随温度的变化;等等。碳纳米管的限域效应、化学修饰及和其他生物大分子、纳米颗粒形成杂化材料等也得到了高度关注。可以看出,碳纳米管的研究日趋深化,通过近年来的积累,其在结构可控以及批量生长方面已经取得了实质性进展,从而提供了充足的材料进行其各种应用探索。

## 3 备受关注的储能炭材料

能源是人类社会可持续发展的重要基础,因而储能材料备受关注。炭材料具有良好导电性、化学稳定性、机械加工性和结构多样性,决定了炭材料在储能领域具有非常重要的地位。几乎所有的储能器件都或多或少使用到炭材料,如超级电容器的电极

材料、锂离子电池导电添加剂和负极材料、燃料电池的基板和催化剂载体、锂硫电池的复合电极、太阳能电池的透明导电电极以及对电极等。因此发展炭材料在能源转化与存储方面的应用是本次会议的热点和亮点之一。来自锂离子电池隔膜生产厂家 Celgard 公司的 Zhengming Zhang 博士介绍了炭材料在锂离子电池中的应用及下一代锂离子电池对于炭材料的要求和发展预测;美国 Drexel 大学的 Yury Gogotsi 教授报道了由电纺碳化硅纤维制备柔性多孔炭及其在超级电容器中应用;法国 François Béguin 教授报道了如何通过电化学过程调节多孔炭的孔径分布和结构,以获得最佳性能的超级电容器;美国 Argonne 国家实验的 Junbin Yang 博士介绍了通过炭材料与硅基材料复合获得特定结构的高容量锂离子电池负极材料。关于炭材料在功能性储能器件中的应用也很多,比如美国 Delaware 大学的 Bingqing Wei 教授报道采用碳纳米管制备柔性碳纳米管阵列,可以获得柔性的超级电容器储能器件。可见,以炭材料为原料制备超级电容器、锂离子电池和燃料电池等储能器件的电极、以及利用炭材料实现高效清洁能源转换已成为研究的热点,且进展迅速。今后在一段时期内发展可用于各种能量转化与存储器件的高性能炭材料仍将是炭材料的重要研究方向之一。

#### 4 如火如荼的功能性炭材料

炭材料结构的多样性使其具有多种功能,因而相关应用也多种多样。炭材料在一些传统领域中的应用已经很成熟,但由于应用需求的更新和提升,仍然存在很多亟待解决的问题,这也为炭材料的研究提供了新的视角。在本届会议中这方面研究仍然保持较高的关注度,会议设置了多孔炭及吸附、炭纤维及复合材料、前驱体-炭化-石墨化、生物炭及安全性、块体炭材料及工业应用等六个有关主题。环境是当前全球关注的主题,本次会议有相当数量的论文与环境相关,主要体现在将炭材料用于水中重金属离子的吸附回收、空气及水中污染物脱除等。炭/炭复合材料在炭材料应用中具有非常重要的地位,如何提高其力学性能是进一步拓展其应用的关键之一。本次会议还报道了通过原位生长纳米炭材料、发挥协同作用等来提高其性能。如何更加绿色地获得具有优良性能的炭材料和新型纳米炭材料的安全性、生物相容性等也受到了较大关注。

#### 5 夯实炭材料发展的基础

炭材料的基础和应用研究范围广泛,但如何通过理论计算、全新实验手段来深入理解炭材料的本质值得关注和思考。基于这方面的考虑,本次会议设置了理论计算和模拟、新颖实验和表征技术两个主题。炭材料呈现出结构的多样性,如不断形成研究前沿的富勒烯、碳纳米管、石墨烯等。以上纳米材料表现出优异的物理化学性能,但要实现其应用,往往需要研发宏观尺度的复合材料、能量存储与转换材料与器件、环境保护材料、电子器件、生物医学材料等。从应用需求出发,对材料结构和功能提出要求,通过理论计算可从原子、分子、纳米尺度进行材料设计。同时炭材料的应用研究也对理论计算和表征手段等提出了新的要求,如在储能材料中,炭材料表面电荷的形成转移、表面官能团对于石墨烯在催化反应中作用、吸附分子与炭材料表面相互作用机制等。如何准确表征炭材料中  $sp^2/sp^3$  比例、表面官能团的种类和分布、碳纳米管手性等,需要发展新的表征理论和方法。同时,这对于进一步定义、发现和理解碳科学的基础问题也具有积极的促进作用。

与发展日新月异的纳米炭材料相比,传统工业炭材料在此次大会中显得略微沉寂。虽然我国的碳科学研究特别是纳米炭科学等领域达到或接近国际先进水平,但工业用高炉焦炭、炼钢用针状焦、高性能炭黑、聚丙烯腈基炭纤维和沥青基炭纤维、各向同性石墨、炭复合材料等的研发滞后明显。笔者希望我国科技工作者既能够把握国际前沿,又要立足于我国炭素工业的现实需求,开展炭科学及工程相关的工作,努力提高我国炭素工业的生产和研发水平。

在本次大会上还颁发了一系列奖项。由美国炭素学会、欧洲炭素学会和亚洲炭素联合会(AACG)发起、以 Carbon 杂志主编 Thrower 教授命名的 Peter A. Thrower 奖被授予日本爱知工业大学的稻垣道夫教授,以表彰他对炭材料科学研究的重要影响及促进本领域科研人员国际合作而进行的不懈努力;由 SGL Group 设立的 Utz-Hellmuth Felcht 奖被授予美国 Georgia Institute of Technology 的 Walter de Heer 教授,以表彰他在石墨烯研究方面做出的杰出贡献,Walter de Heer 教授做了题目为 The science and technology of epitaxial graphene: new directions in graphene nanoelectronics 的获奖主题报告。日本九州大学 Mochida 教授获得了第三届中国炭素杰出

国际贡献奖;清华大学的沈万慈教授获得了第八届中国炭素杰出成就奖。澳大利亚悉尼大学的 Monica Hanus 获得了 The Brian Kelly 奖,获奖题目为 Fixed- and fluidised-bed synthesis of coiled carbon fibres on in situ generated  $H_2S$ - modified  $Ni/Al_2O_3$  catalysts; 美国 The City College of New York 的 Camille Petit 获得 The GFEC 奖,获奖题目为 Exploring the formation of MOF/graphite oxide composites and their applications as adsorbents。值得一提的是,为了吸引和鼓励更多青年学者从事碳科学及技术,Carbon2011 设立了最佳墙报奖,有 12 人获得该奖项,其中 5 人来自我国。会议还宣布并颁发了 2009 年和 2010 年的《新型炭材料》青年优秀论文奖,共 11 篇论文获奖。大会期间,编辑部向与会代表赠送了《新型炭材料》2011 年“石墨烯”和“储能”两个专辑,可望进一步提高《新型炭材料》在炭材料研究领域的知名度和影响力。会议还宣布了 Carbon 2012、Carbon 2013 和 Carbon2014 将分别在波兰、巴西和韩国召开,并向 Carbon2012 主办方移交了世界碳科学年度系列大会火炬。

本次会议开幕前由 Carbon 杂志主办,为期 1 天

的“炭材料在能源产生和存储中的应用”讲习班于 7 月 24 日在华东理工大学举行。内容包括炭材料在锂离子电池、电化学电容器、燃料电池、氢和甲烷存储、太阳能电池等中应用的科学和技术问题和挑战。会议由 Carbon 杂志主编 Peter Throter 教授作为主席和主持人。来自美国 Drexel 大学的 Yury Gogosti 教授报告了炭材料的概述和最新进展(Carbon general, progress and advancements); 法国 Orléans 大学的 François Béguin 介绍了超级电容器用炭材料(Carbon for supercapacitors); 日本信州大学的 Katsumi Kaneko 教授作了题为“炭材料的孔结构与气体吸附(Carbon pore structure and gas adsorption ( $H_2$  and  $CH_4$ ))”的报告; 中国科学院金属研究所的成会明研究员介绍了锂离子电池用炭材料(Carbon for LIBs); 澳大利亚昆士兰大学逯高清教授的报告题目是:太阳能电池和燃料电池用炭材料(Carbon for solar cells and fuel cells)。报告不仅介绍了相关领域的一些基本知识,还特别突出了最新的研究进展; 同时研讨会主持人 Throter 教授幽默的语言使会场不时响起笑声,与会人员在轻松的气氛中学习、交流、研讨,收获颇丰。

## Developing carbon materials targeted for applications

### —A summary on the annual world conference on carbon, Carbon2011

LI Feng<sup>1</sup>, LONG Dong-hui<sup>2</sup>

(1. Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

**Abstract:** The 2011 Annual World Conference on Carbon (Carbon 2011) was held in Shanghai, China, during 24-29 July, 2011. This conference was hosted jointly by East China University of Science and Technology, University of Shanghai for Science and Technology, and Institute of Coal Chemistry Chinese Academy of Sciences. About 800 attendees from 42 countries/regions participated in this conference, and 797 papers were accepted for presentation, including 5 plenary lectures, 42 keynote lectures, 280 oral presentations, and 470 posters, involving 10 topics: graphene; nanocarbon, carbon for energy storage and conversion, porous carbon and adsorption, carbon fiber and composites, precursor/carbonization and graphitization, computation and modeling, bio-carbon and safety, novel experimental techniques and characterization, bulk carbon and industrial applications. Research and development of nanocarbons are quite active and in particular, graphene received tremendous interest. Rapid progress has also been made on the electrochemical properties, energy conversion and energy storage applications of carbon materials.

**Author introduction:** LI Feng (1971- ), male, Ph. D., Professor, engaged in the study of nanomaterials for energy storage and conversion.  
E-mail: fli@imr.ac.cn