

未来10年中国可能发生的 19个重大科技突破

量子通信将可能率先取得重大突破

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆总馆交叉与重大前沿团队

李泽霞(E-mail:lizexia@mail.las.ac.cn)、边文越

审稿专家:中科大陆朝阳教授



中国科学院

量子通信,即量子密钥分发,是利用量子态对信息进行编码并传递的一种新型的通讯方式。基于量子力学的基本原理,量子密钥具有不可复制性和无条件安全性:一旦有人窃取密钥,就必然会被使用者发现,从而保证密钥的安全;而一旦密钥建立,加密的信息就无法被破解。

1984年,IBM的C. H. Bennett和蒙特利尔(Montreal)大学的G. Brassard共同提出第一个量子密码分配协议——BB84协议,自此叩开了量子保密通信的大门。此外还有1991年由牛津大学A. K. Ekert提出E91协议、1992年由Bennett提出B92协议等,这些协议本质上和BB84协议是一致的。如今,量子通信已经成为国际量子物理和信息科学与技术的研究热点,极有可能引发信息产业的一次重大革命。

1 量子通信的成果不断涌现

在短短的30年中,量子通信的研究和

应用不断取得世界瞩目的重大突破。

量子通信的第一个演示性试验是由Bennett、Brassard及其研究团队在1989年完成的,传输距离只有30cm。瑞士日内瓦大学1993年基于BB84协议在1.1km长的光纤中传输 $1.3\mu\text{m}$ 电信波长的量子光信号。1999年,瑞典和日本合作在光纤中成功地进行了40km的量子密码通信实验。美国Los Alamos实验室成功实现了48km量子密钥系统运行两年,2000年他们在自由空间中用量子密钥分发系统,传输距离为1.6km。

2000年以来,量子通信的距离和速率有了进一步的提升,一些小规模的量子通信试验网已经建成,验证了量子通信技术网络化的可行性。而利用光纤实现城市范围的量子通信网络、利用中继连接城域网形成城际网、利用自由空间实现远距离量子通信,这一实现广域量子通信网络的路线图,已得到国际公认。

2003年,美国国家标准与技术研究院和波士顿大学的科研人员研制出一种能探测

* 修改稿收到日期:2013年9月9日

到单脉冲光的探测器,它为开发安全量子通信和密码系统提供了关键技术。2004年,日本NEC公司宣布创下了光纤量子密码传输距离的新记录:150km。同年,在美国国防部先进研究项目局(DARPA)支持下,由美国雷神(BBN)技术公司和波士顿大学建立的世界上第一个量子密码通信网络在美国马萨诸塞州剑桥城正式投入运行。

然而,由于量子密钥分发方案要求单光子源,而现实条件下不存在理想的单光子源,一般采用弱相干光源代替。理论表明,弱相干光源会导致巨大的安全性漏洞,在信道损耗达到一定程度时,攻击者可以利用“分离光子数(Photon Number Splitting)”攻击,完全掌握密钥而不被使用者发现。因此,2005年以前所有的实验都是原理性演示,真正的安全距离只有10km量级,且成码率极低。2005年,中国学者王向斌、陈凯等人提出的诱骗态(Decoy State)方案,克服了光源不完美带来的安全漏洞,使得利用弱相干光源同样可以实现安全距离超过百公里的量子通信。2007年,超过100公里的诱骗态光纤量子密钥分发被中科大潘建伟团队,以及美国洛斯阿拉莫斯国家实验室-美国国家标准与技术研究院(NIST)联合实验组同时实现,就此打开了量子通信走向实用化的大门。

此后,一些实用化的小规模光纤量子通信网络先后在国际上建成。2008年,基于诱骗态方案,潘建伟团队实现了国际上首个全通型量子通信网络。同年,欧洲联合实验组在奥地利维也纳也演示了一个多节点的量子通信网络(SECOQC Network);2010年起,洛斯阿拉莫斯国家实验室秘密构建了城域量子通信网络,直到2013年才公布;同年,通过洲际合作,日本国家情报通信研究机构(NICT)等在东京构建了东京QKD网络(Tokyo QKD Network)。

在量子中继研究方面,国际上整体处于基础研究阶段。量子中继包括3个要素:通过量子纠缠交换克服光子损耗、通过量子纠缠纯化克服消耗带来的量子纠缠品质下降、通过量子存储克

服概率性事件带来的资源指数消耗。量子纠缠交换的概念在1993年由波兰科学家Zukowski等人提出,1998年由潘建伟等人首次实现;量子纠缠纯化方案于1996年由Bennett等人首次提出,但以现有的技术水平难以实现。2001年,潘建伟等人提出了现有手段可以实现的量子纯化理论方案,并于2003年首次实现,在实验上无可辩驳地证明了量子信息处理中任意未知的退相干效应是可以被克服的。2008年,结合量子存储,潘建伟团队在国际上首次演示了量子中继器的原型。对于量子存储,有两项核心指标:长存储寿命和高读出效率。根据这两个指标,最适合量子存储的物理体系是冷原子系综。2007年,美国麻省理工学院Vuletić小组实现读出效率达80%,此为目前最高的读出效率,但存储寿命很短,只有200纳秒;2010年,美国佐治亚理工学院Kuzmich小组实现存储寿命达到100毫秒,此为目前最长的读存储寿命,但读出效率很低,只有20%;2012年,潘建伟小组实现存储寿命达到3毫秒,读出效率达到70%,此为目前综合性能最优的量子存储。

自由空间量子通信方面,2002年,德国慕尼黑大学和英国军方下属的研究机构合作,在德国和奥地利边境相距23.4km的楚格峰和卡尔文德尔峰之间用激光成功传输了光子密钥;2005年,潘建伟团队在合肥市大蜀山实现了13km自由空间量子纠缠分发和量子密钥分发;2010年,潘建伟团队与清华大学联合小组在北京八达岭与河北怀来之间架设长达16km的自由空间量子信道。这些实验验证了光子突破大气,进而通过近地卫星安全传送密钥并建立全球密码发送网络的可能性。2007年,奥地利维也纳大学Zeilinger小组在相距144km的两个小岛间实现了量子密钥分发。2012年,潘建伟团队在青海湖实现了百公里级自由空间双向量子纠缠分发,验证了在高损耗星地量子通道中实现自由空间量子通信的可行性^[1,2]。

2 量子通信成为各国战略部署重点

在欧盟发布的《量子信息处理和通信:欧洲研

究现状、愿景与目标战略报告》中给出了欧洲未来5—10年量子信息的发展目标,如将重点发展量子中继和卫星量子通信,实现1000km量级的量子密钥分配。2008年9月发布了关于量子密码的商业白皮书,启动量子通信技术标准化研究。来自包括英国、法国、德国、意大利、奥地利和西班牙等12个欧洲国家的41个最优秀的研究组联合成立了“基于量子密码的安全通信(Secure Communication based On Quantum Cryptography, SECOQC)”工程,这是继欧洲核子中心和航天技术国际合作之后,又一针对科技重大问题的规模国际合作。欧洲空间局提出了以国际空间站为平台的远距离量子通信实验计划(Quantum Entanglement for Space Experiments, Space-QUEST)^[3]。

20世纪末,美国政府和科技界已将量子信息列为“保持国家竞争力”计划的重点支持课题。2002年,美国国家科学基金会投入5000万美元对量子通信进行研究,2012年,又投入400万美元设立“量子信息科学跨学科教师计划”,对量子信息相关的交叉科学问题进行研究,同时开始培训和储备相应的跨学科教育人才。2009年信息科学白皮书中要求各科研机构协调开展量子信息技术研究。美国国防部支持的“高级研究与发展活动”计划到2014年将量子通信应用拓展到卫星通信、城域以及长距离光纤网络。

日本提出以新一代量子信息通信技术为对象的长期研究战略,计划在5—10年内建成绝对安全保密的高速量子信息通信网,以实现通信技术质的飞跃。日本邮政省把量子通信作为21世纪的战略项目,以10年的中长期目标进行研究。日本国家情报通信研究机构(NICT)也启动了一个长期支持计划,该计划在2020年实现量子中继,到

2040年建成极限容量、无条件安全的广域光纤与自由空间量子通信网络。

3 量子通信的产业前景非常广阔

随着电子信息技术的飞速发展,以微电子技术为基础的信息技术即将达到物理极限,而以量子效应为基础的量子通信,则日益显示出将成为引领未来科技发展的重要领域。全球信息产业界国际巨头IBM、Philips、AT&T、Bell实验室、HP、西门子NEC、日立、三菱、NTT DoCoMo等对量子通信技术投入大量研发资本,开展量子通信技术的研发和产业化。

瑞士IdQuantique、美国MagiQ Technologies以及澳大利亚QuintessenceLabs等公司已有量子密码相关产品。其中,瑞士IdQuantique的量子密码产品已在多个领域得以应用,如为瑞士两家私人银行(Hypowiss、NotenStein)分别构建了量子保密通信专线。

量子通信不仅可用于国防等领域的国家级保密通信,还可用于涉及秘密数据、票据的金融行业和政府部门的复杂业务。

在国防领域,量子通信能够应用于通信密钥生成与分发系统,构成作战区域内机动的安全通信网络;能够用于改进光网信息传输保密性,由此提高信息保护和信息对抗能力;还能够应用于深海安全通信,为远洋深海安全通信开辟崭新途径和目标,为国防赢得先机。

此外,量子通信在各行各业都将发挥巨大作用,还可用于金融机构的隐匿通信,用于对电网、煤气管网和自来水管网等重要能源供给基础设施的监控和通信保障等^[4]。

4 中国实用化量子通信研究方面居世界前列

在中国,科技部、国家自然科学基金委、



中国科学院

中科院等部门高度重视和大力支持量子通信的基础和应用研究。近年来,中国科学家一直在实用化量子通信领域实现突破,已有部分方面居世界领先地位。

2004年,中科大郭光灿研究组在北京与天津之间成功实现了125km光纤的点对点的量子密钥分配线路。2009年,该小组在安徽省芜湖市构建了包括6个节点的“量子政务网”。需要指出的是,当时的这些量子密钥分发线路不能克服光子数分离攻击。

利用安全距离超过百公里的诱骗态量子通信技术,潘建伟研究组在前期量子通信原型设备与组网技术取得突破的基础上,2012年,建设完成了国际上首个规模化的城域量子通信网络——合肥城域量子通信试验示范网。该网络包含46个节点,规模远超国际上的同类型网络,在合肥市区多个政府部门、金融机构和科研院校得以应用。基于已成熟的规模化城域量子通信组网技术,同年该小组与新华社合作,建设了“金融信息量子通信验证网”,在国际上首次将量子通信网络技术应用金融信息的安全传送。2013年,由该小组牵头的千公里级大尺度光纤量子通信骨干网工程“京沪干线”正式立项,将建设连接北京、上海,贯穿济南、合肥等地的高可信、可扩展、军民融合的广域光纤量子通信网络,建成国际上首个大尺度量子通信技术验证、应用研究和应用示范平台。

星地自由空间量子通信方面,由于潘建伟研究组前期取得的一系列技术突破,中科院于2011年底启动了“量子科学实验卫星”战略性先导科技专项。该专项预计在2016年左右发射卫星,在国际上率先实现高速星地量子通信,连接地面光纤网络,初步构建我国广域量子通信网络^[1,5]。值得一提的是,国际量子通信研究的劲旅维也纳大学Anton Zeilinger研究组主动提出合作进行星地自由空间量子通信研究的请求,目前中科院与奥地利科学院已签订合作协议,计划在该专项的框架下实现北京与维也纳之间的洲际量子密钥分发。

2012年,潘建伟教授因其“在量子通信和多光子纠缠操纵方面的先驱性贡献”,获得量子信息领域的国际最高奖——国际量子通信奖(Quantum Communication Award),成为首位获此奖项的中国物理学家。

中国已在量子科学研究领域逐渐崛起,在量子通信研究方面已经具有很好的研究和应用基础,可能率先取得重大突破。正如2012年底英国*Nature*杂志将潘建伟小组实现百公里自由空间量子通信评选为“年度十大科技亮点(Features of the Year)”时所评论的,“这标志着中国在量子通信领域的崛起,从10年前不起眼的国家发展为现在的世界劲旅……”。

5 未来10年中国可能取得的重大科技突破

未来10年,沿着广域量子通信的路线图,我国可能取得的重大科技突破包括:

(1)光纤量子通信方面,量子通信的关键设备——单光子探测器的性能将大幅提升,这些性能指标包括:高工作频率、低暗计数率、高探测效率。同时,相关核心量子器件,如半导体单光子探测器的雪崩光电二极管(APD)将完全国产化。另一方面,大规模组网技术将进一步成熟,网络容量达到千用户以上量级;

(2)冷原子量子中继方面,在数年内量子存储的寿命将达到100毫秒,同时读出效率将达到80%以上,满足千公里距离量子通信的要求;

(3)星地自由空间量子通信方面,星间量子通信、全天候自由空间量子通信、星载量子存储等面向下一代的自由空间量子通信技术将得以突破。通过这些技术的进步,将有望通过多颗卫星直接实现全球化量子通信、克服目前无法在白天进行自由空间量子通信的缺点、通过星间量子中继实现高效的全球化量子纠缠分发等。同时,基于更大尺度的星地光量子传输平台,还有望在量子力学非定域性、相对论效应、量子引力等物理学基本问题的实验检验上取得更多进展。

参考文献

- 1 宋海刚,谢崇波.量子通信实用化现状分析与探讨.中国基础科学,2011(3):21-25.
- 2 周正威,陈巍,孙方稳等.量子信息技术纵览.科学通报,2012(57):1498-1525.
- 3 冯骥,冯江源.欧美国家量子通信技术前沿争夺及其优势.国际研究参考,2013(3):1-5.
- 4 古丽萍.安全高效的量子通信及其发展.通信世界,2011(32):21-32.
- 5 中欧科学家开始建造全球第一个量子互联网.中国教育网络,2013(1):6.

自主可控的基础软硬件平台将产生重大突破

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆成都分馆信息科技团队

徐婧(E-mail: jingxu@clas.ac.cn)、姜禾、张勤

审稿专家:中科院计算所洪学海研究员



中国科学院

1 基础软硬件平台的自主可控对我国意义重大

2006年2月,国务院发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》,“核心电子器件、高端通用芯片及基础软件”(即基础软硬件平台)被确立为16个重大专项之一^[1]。随后,科技部制定了配套的《国家“十二五”科学和技术发展规划》,指出要研发自主可控的国产中央处理器(CPU)、操作系统和软件平台、新型移动智能终端、高效能嵌入式中央处理器、系统芯片(SOC)和网络化软件,实现产业化和批量应用,初步形成自主核心电子器件产品保障体系^[2]。该重大专项将持续至2020年,中央财政预算约328亿元,预计总投入(含配套地方财政及其他资金)将超过1 000亿元。

基础软硬件平台所涵盖的3个方向:核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产

品,是21世纪电子信息产业国际竞争的制高点,是体现强国地位的重要标志,对提升我国电子信息产业核心竞争力至关重要^[3]。与此同时,基础软硬件平台与国家信息安全、人民生活水平保障与提高等有着密切的关联,对信息技术行业和其他行业如能源、交通等发展起着重大的支撑、融合作用。这些关键技术和产品的突破,不仅将产生新的产业发展机遇,也将创造更多的社会财富。

2 基础软硬件平台的研发形势严峻

基础软硬件平台是信息产业的重要基础,然而该领域我国起步较晚,虽然近年来的信息技术产业产值逐年上升,但利润率却比较低,2009年利润率仅为3.0%,已形成了国外垄断的既有市场。2011年我国自主设计集成电路企业的总销售收入为100亿美元,仅仅是英特尔公司2010—2011年销售收入的增量^[4]。

以高端通用芯片为例,电子制造领域市场研究机构 iSuppli 于 2012 年 12 月发布的数据显示:2012 年在全球芯片市场,英特尔占有率稳居世界第一为 15.7%,销售总额为 472.2 亿美元。其后分别是三星(10.1%)、高通(4.3%)、德州仪器(4%)和日本东芝(3.6%)^[5]。2012 年 5 月,英特尔发布“未来 10 年芯片研制路线”。据路线图显示,继 22nm 工艺之后,英特尔将在 2013 年进入 14nm 时代,2015 年实现 10nm,并有可能分别在 2017 年、2019 年实现 7nm、5nm^[6]。同时,全球 IC 领域面临后摩尔时代的到来,IC 领域的发展路线图不再清晰可见,产品更新换代时间拉长;体硅平面工艺基本走到尽头;三维器件走向前台,其他类型器件也加入竞争;工艺复杂度大幅提升,生产线建设需要高额投资,代工厂对芯片设计的支持能力不断下降;研发成本持续攀升,制造资源越来越少;等比例缩小将不再带来芯片成本的降低;芯片设计与工艺再次紧密结合。而我国国家和业界还未做好足够的准备来迎接后摩尔时代的到来,有可能再次失去 10 年的战略机遇。

另以桌面操作系统为例,根据权威市场调研机构 Net Applications 于 2013 年 8 月发布的最新统计数据,2013 年 7 月桌面操作系统 Windows 占据 91.56%,稳居第一,MacOS 和 Linux 市场份额分别为 7.19%和 1.25%^[7]。

此外,其他国家也在积极发展自主可控的基础软硬件平台。例如,俄罗斯已于 2012 年生产出基于俄罗斯国产厄尔布鲁士处理器的个人电脑和用于航空航天领域的计算机和通讯系统芯片^[8]。

3 构建自主可控的基础软硬件平台产业体系

基础软硬件平台研发的目标是在芯片、软件和电子器件领域,通过持续创新,攻克一批关键技术、研发一批战略核心产品。到 2020 年,我国在高端通用芯片、基础软件和核心电子器件领域基本形成具有国际竞争力的高新技术研发与创新体

系,拥有一支国际化的、高层次人才队伍,为我国进入创新型国家行列做出重大贡献。到 2035 年,我国基于自主可控技术的信息产品和信息服务占到国内市场的 50%以上^[9]。当前我国已在以 CPU 和操作系统为代表的自主软硬件上获得了单项技术上的突破,但总体仍以跟踪为主,与国际先进水平的差距主要体现在没有形成自主可控的基础信息产业体系。要改变目前我国信息技术产业受制于国外企业的局面,必须要建立自主可控的信息产业体系^[10],并基于该技术体系持续改进,不断发展^[4]。

4 自主可控的基础软硬件平台研发成效显著

在国家重大专项的推动下,我国在自主可控的基础软硬件产品的研发方面取得了一定的进展,同时也基本形成了若干小型的基础平台自主可控产业链。

在高端通用芯片方面,2011 年我国自主研发的 8 核 CPU 龙芯 3B 流片成功,为我国高性能计算机的发展提供了具有竞争力的核心器件^[11]。

在基础软件方面,我国已基于开源软件成功开发出多款操作系统、办公软件、数据库和中间件,如中标麒麟操作系统、金山 WPS 办公软件、神州通用数据库、人大金仓数据库、东方通中间件、中软政务处理系统等,并已开始得到应用。

在核心电子器件方面也不乏突破性成果,2013 年 8 月,复旦大学在晶体管研究上取得突破,研发出半浮栅晶体管的新型基础微电子器件,标志着我国在全球尖端集成电路技术创新链中获得了重大突破^[12]。2013 年 7 月,中科院电子所研发的“慧芯二号”可编程芯片成功完成“实践九号”卫星的在轨数据处理任务,成为国内自主研发的首次作为有效载荷搭载上星的最高等级规模可编程芯片,对航天装备核心元器件国产化和自主可控保障有着重要的意义^[13]。

此外,国内以曙光公司服务器等产品为基础

平台的自主可控产业链也已基本形成,与龙芯、麒麟操作系统、金蝶中间件、东方通中间件、达梦数据库、永中 Office、金山 WPS 等全自主软件企业也形成了有效的合作机制。

未来 10 年,中国有望在信息技术领域以重大信息化应用与系统整机为牵引,以重大产品为目标,攻克并掌握航天和新一代装备的核心器件、高端通用芯片和操作系统软件的关键技术,全面形成核心电子器件、高端通用芯片和基础软件产品的自主发展能力,基本满足国家战略和产业发展需求,扭转基础信息产品在安全可控自主保障方面的被动局面,主要产品进入国际先进行列。

参考文献

- 1 国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年). 2006. http://www.gov.cn/jrzq/2006-02/09/content_183787.htm.
- 2 科技部. 国家“十二五”科学和技术发展规划. 2006. <http://www.most.gov.cn/kjgh/>.
- 3 国家科技重大专项. 核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品专项. 2009. http://www.nmp.gov.cn/zxjs/200901/t20090113_2120.htm.
- 4 胡伟武. 为建立自主可控的信息产业体系而努力奋斗!——在中科院计算所 2013 年春季战略规划会上的报告. 2013. http://www.loongson.cn/about_two.php?id=35&sub=%CE%AA%BD%A8%C1%A2%D7%D4%D6%F7%BF%C9%BF%D8%B5%C4%D0%C5%CF%A2%B2%FA%D2%B5%CC%E5%CF%B5%B6%F8%C5%AC%C1%A6%B7%DC%B6%B7%A3%A1.
- 5 iSuppli. Qualcomm Rides Wireless Wave to Take Third Place in Global Semiconductor Market in 2012. 2012. <http://www.isuppli.com/Semiconductor-Value-Chain/News/Pages/Qualcomm-Rides-Wireless-Wave-to-Take-Third-Place-in-Global-Semiconductor-Market-in-2012.aspx>.
- 6 Jose Vilches. Intel R&D envisions 10nm chips by 2015, already developing 14nm process. 2012. <http://www.techspot.com/news/48577-intel-rd-envisions-10nm-chips-by-2015-already-developing-14nm-process.html>.
- 7 Net Applications. 2013. http://www.netmarketshare.com/operating-system-market-share.aspx?qprid=8&qpcus_tomd=0&qptimeframe=M&qpsp=174.
- 8 工业和信息化部国际经济技术合作中心. 俄罗斯 2012 年度 ICT 领域大事件盘点. 2012. <http://www.ccpitecc.com/article.asp?id=4435>.
- 9 中国科学院信息领域战略研究组. 中国至 2050 年信息科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.
- 10 中国科学院. 科技发展新常态与面向 2020 年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013.
- 11 李国杰. 为建立自主可控的计算机技术体系而奋斗. 2010. <http://www.ict.cas.cn/liguojiewenxuan/wzlj/lgjxsbg/201201/P020120106406752134662.pdf>.
- 12 Peng-Fei Wang, Xi Lin, Lei Liu et al. A Semi-Floating Gate Transistor for Low-Voltage Ultrafast Memory and Sensing Operation. Science, 2013, 341 (6146) : 640-643.
- 13 宗华. 实践九号卫星用上国产可编程芯片. 中国科学报, 2013-7-31.



中国科学院

普惠计算将取得重大进展

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆成都分馆信息科技团队

王立娜(E-mail:wangln@clas.ac.cn)、田倩飞、张娟、房俊民

审稿专家:中科院计算所洪学海研究员

计算机科学及其产业领域目前面临很多挑战,其中最本质的挑战是传统计算机产业正在失去发展活力。为逆转该趋势,研究人员提出了一个新的学术观点:普惠计算,即以高增值的全民普及(惠及85%以上的人口)为目标的计算机科学研究和应用^[1,2]。普惠计算具备高价值、低成本、可持续3个特征,旨在突破计算机产业的传统思维,充分挖掘并满足广大民众对计算技术的消费需求,针对性地增加变革性创新的科技供给。

普惠计算需要让计算进入广大民众生产生活的业务价值层面,这意味着计算将从网络空间(cyberspace)逐步进入人-机-物三元世界,不再局限于使用计算机与网络硬件、软件和服务,而是综合利用人类社会(人)-网络空间(机)-物理世界(物)的资源,通过云计算、物联网、移动通信、光子信息等技术支撑,协作进行个性化大数据计算。这是普惠计算实现过程中计算机科学及产业所必须发生的基本性范式变革。普惠计算还需要突破通用技术账户、高效海网云平台、信息生态系统和国民信息核算等科学问题。此外,从计算产业角度看,要实现普惠计算与三元计算,需要突破的最关键产业问题是“昆虫纲悖论”。昆虫纲悖论现象是:一方面,海量用户和终端应该带来巨大的市场;另一方面,用户的需求是个性化的,缺乏可拷贝的大批量应用,而且人们也想象不出能拷贝上十亿份的批量应用。没有批量就没有低成本,没有低成本产品就不会有巨大市场,这是一个悖论。东京大学的坂村健教授对此现象提出了一种比喻性的解释:传统信息系统好像哺乳动物纲(5 000物种),而物联网领域更像昆虫纲(500万物种)。如何破解昆虫纲悖论是未来人-机-物融合的三元计算系

统的巨大挑战,可能的发展方向是可重构、易配置的专业化与个性化产品和服务^[2]。

普惠计算是今后30年计算机科学与产业应该选择的发展方向,有望使中国计算机市场价值在2040—2050年间达到每年10万亿元^[2]。人-机-物融合将令信息科技渗透到实体经济和社会服务活动中,提升生产生活的智能化水平,使民众在医疗卫生、地理信息、电子商务、科研教育、影视娱乐等方面享受更高质量服务。同时,传统计算机科学将演变为人-机-物三元计算信息科学,传统信息技术将升级为海-网-云信息网络技术,新型的硬件、软件、应用模式、协议和标准也将应运而生^[3]。

人-机-物融合与普惠计算已经出现一些科研、技术和应用实例。2011年,美国国家科学基金会资助“人-机-物系统自动化实施的整体设计方法”研究,该项目将开发信息物理系统的自动化设计框架,通过脑机接口等技术增强人与由计算实体和物理实体组成的复杂系统间的交互协作^[4-6]。美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的研究人员利用人-机-物融合系统进行了安全应用研究^[7]。英国帝国理工学院的研究人员们利用人-机-物融合系统将传感、通信和控制相结合,以解决应急管理研究中的难题^[8,9]。

2009年,中国提出了“感知中国”的信息技术发展战略^[10],旨在通过构建普惠泛在的信息传感系统来掌控物理世界,促进“互联、互通、信息共享”物联网的发展,使信息技术的应用特征逐步从人机或物机融合向人-机-物融合演进。同年,中科院发表了《中国至2050年信息科技发展路线图》报告,指出发展普惠泛在的信息网络是我国经济社会发展 and 科学研究的重要需求,并提出了人-机-物

三元世界和信息技术普惠大众的思想^[11]。2012年,中科院启动了“面向感知中国的新一代信息技术研究”战略性先导科技专项,将通过变革性理论研究与技术创新,针对当前信息系统面临的终端规模可扩展性、海量数据处理、能耗和安全四大根本性挑战,创建满足“人-机-物”三元融合需求的新一代信息技术体系^[12]。作为该专项的重要部分,海云计算技术将研究具备与人交互、云端协作和物理世界感知功能的信息系统。针对化解昆虫纲悖论,中科院计算技术所提出了可重塑处理器构想^[13]。中国“863”计划开展的“智慧城市”、“智能物联网关”和“智能家居监控与管理系统”研究等也体现了人-机-物三元融合及普惠计算的研发趋势和应用前景。鉴于此,中国有可能在未来10年在普惠计算发展模式上走在世界前列,改变长期以来信息产业受制于人的局面。

参考文献

- 1 Xu Z and G Li. Computing for the masses. Commun. ACM, 2011, 54(10): 129-137.
- 2 徐志伟,李国杰.普惠计算之十二要点.集成技术, 2012, 1(1): 20-25.
- 3 中国科学院. 科技发展新态势与面向2020年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013.
- 4 Schirner G, Erdogmus D, Chowdhury K et al. The Future of Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems. Computer, 2013, 46(1): 36-45.
- 5 Holistic Design Methodology for Automated Implementation of Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems. http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1136027&HistoricalAwards=false, 2011.
- 6 Holistic Design Methodology for Automated Implementation of Human-in-the-Loop Cyber-Physical Systems. http://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1135854&HistoricalAwards=false, 2011.
- 7 Cyber-Physical-Human Systems. <http://naira.mechse.illinois.edu/network-control/>.
- 8 Desmet A, Gelenbe E. Graph and Analytical Models for Emergency Evacuation. Future Internet, 2013, 5(1): 46-55.
- 9 Gelenbe E, Gorbil G, Fang-Jing W. Emergency Cyber-Physical-Human Systems. in Computer Communications and Networks (ICCCN), 2012 21st International Conference on, 2012.
- 10 许金叶,袁树民.基于人机物三元世界成本信息系统的数字鸿沟.会计之友, 2012, (2): 25-27.
- 11 中国科学院信息领域战略研究组.中国至2050年信息科技发展路线图.北京:科学出版社, 2009.
- 12 中国科学院将研发“人机物”融合的新一代信息技术体系. <http://finance.china.com.cn/roll/20120815/948434.shtml>. 2012.
- 13 Qi Guo, Tianshi Chen, Yunji Chen et al. Effective and efficient microprocessor design space exploration using unlabeled design configurations. Proceedings of the Twenty-Second international joint conference on Artificial Intelligence. AAAI Press: Barcelona, Catalonia, Spain. 2011: 1671-1677.



中国科学院

模块育种和全基因组关联分析等技术 将成为未来育种的重要手段

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆总馆现代农业科技情报研究团队

袁建霞(E-mail: yuanjx@mail.las.ac.cn)、杨艳萍、董瑜

审稿专家:中科院遗传与发育生物学所薛勇彪研究员

近年来,随着分子生物学、组学和系统生物学等交叉学科的迅猛发展以及基因组测序等技术的不断突破,分子标记辅助选择和转基因技术逐渐成为当前动植物育种的重要技术途径之一,并取得了突破性进展,但其同时也显现出一些迫切需要解决的难题。由于动植物重要农艺(经济)性状都是由多基因控制的复杂性状,单一或少数基因的改良不足以引起目标性状的整体优化。因此,具有高效、定向、高通量特点的模块育种与全基因组关联分析等技术将成为未来育种的重要手段。

1 主要科技内涵

模块育种是基于农业生物复杂性状改良提出的一种新型育种理念,主要包括:(1)发掘和解析分子模块,即分析控制农业生物复杂性状的重要基因及其等位变异,解析功能基因及其调控网络的可遗传操作的功能单元;(2)阐明分子模块耦合机理,利用计算生物学和合成生物学等手段将分子模块有机耦合,分析模块互作对复杂性状的综合调控潜力,并开展理论模拟和功能预测,实现模块群与遗传背景及区域环境三者的协调统一;(3)在全基因组水平上进行多模块的优化组装,设计有效育种方案,实现复杂性状的定向改良^[1]。

全基因组关联分析(genome wide association study, GWAS)是一种高通量分析分子标记与表型间关联关系的方法,主要利用遍布于整个基因组的分子标记(目前主要是SNP)与统计学工具对影响复杂性状的遗传变异进行鉴定和分析^[2,3]。该技术能够降低大样本全基因组水平分析的成本,加快动植物分子育种的研究进程。

模块育种技术的突破将会解析和阐明动植物重要复杂性状的遗传网络及其分子模块控制理论,获得具有重要育种价值的分子模块,并建立多模块耦合的遗传操作技术,解决现有育种技术瓶颈,实现动植物复杂性状的分子设计育种。全基因组关联分析技术的发展将有助于开发出大样本、低丰度的基因组测序和基因分型方法,高效鉴定大量复杂性状的相关基因及发掘动植物遗传变异,从而达到在整个农业物种范围内选择和利用种质资源,实现品种优良遗传性状的最佳组合。

2 对科技进步和经济社会发展的影响

模块育种是生命科学前沿问题与育种实践的有机结合,将引领育种技术革命的新方向,提高动植物育种技术水平,增加农产品产量,并改善农产品品质。全基因组关联分析不仅会丰富动植物标记辅助选择中可利用的分子标记,而且还会为这些性状分子机理的探索研究提供重要线索。这两项技术将共同推动我国生物育种战略性新兴产业的发展,对保障国家粮食安全、提高农业综合生产力及农产品国际竞争力起到重要作用^[4]。

3 国内外研究进展

模块育种目前尚处于起步阶段,大量研究主要集中在重要基因或QTL及其等位变异挖掘等前期工作上。虽然现阶段尚未真正实现模块化设计育种,但一些重要成果表现出了模块化功能的特征,如在小麦中导入黑麦1BL/1RS染色体置换片段,该天然育种模块的应用已培育出了大量高产、抗病新品种;利用银鲫雌核生殖和两性生殖双重

生殖方式培育出的异育银鲫“中科3号”，就是一个新的核质杂种克隆品种，其平均增产超过20%^[1]。此外，一些育种模拟工具也日益成熟。

全基因组关联分析技术在动植物育种中的应用主要集中在对影响复杂性状的标记及主效基因的挖掘上，目前已在动植物上发现了多个具有较强统计显著性的分子标记及区域^[5,6]。在植物方面，已利用SSR、AFLP等标记对玉米、小麦、大麦、大豆、水稻等作物的重要农艺性状进行了全基因组关联分析^[7]。在动物方面，已开发出牛、猪、马和鸡的大量SNP标记，推出高密度芯片，并对重要经济性状及复杂疾病抗性等开展了全基因组关联分析^[2]。

4 中国的优势

“分子模块设计育种”是中科院科学家在2008年率先提出的新型育种理念，现已形成了“分子模块设计育种创新体系”的实施方案。我国在模块育种和全基因组关联分析的基础性工作上已取得显著进展：基因组学研究处于国际领先行列，先后完成了水稻、小麦、棉花、鲤鱼、草鱼、山羊等多种动植物品种的全基因组测序；基因组研究新技术的开发与应用取得显著进展，开发了基于高通量基因组测序的基因型鉴定方法，成功开展了水稻、奶牛、猪、鸡等重要性状的基因组关联分析；完成了一大批有重要应用前景的动植物基因的克隆与功能解析，已建成包括水稻大型突变体库、全长cDNA文库、全基因组表达谱芯片等大型功能基因组研究平台；蛋白质组、代谢组、表型组等系列“组学”平台建设也日趋完善。

5 未来10年中国可能取得的重大科技突破

未来5—10年，我国在模块育种领域将

有可能实现以下3个重大科技突破：

(1)“分子模块辞海”。水稻复杂性状全基因组编码规律。“分子模块育种体系”通过基因组测序、全基因组关联分析等多种组学手段，发掘和鉴定水稻高产、稳产、优质、高效等的分子调控网络，揭示复杂性状形成的分子模块基础，系统解析和获得水稻复杂性状的分子模块，并在相同遗传背景下检测其生物学效应，阐明基因型-表型的对应关系，并最终编纂成对水稻乃至其他禾谷类等育种改良具指导意义的基于网络开放式的、最权威的数据库集成。

(2)多模块非线性耦合理论。利用模型，根据各分子模块元件在自然群体中的单倍体型组合及分子模块信息，模拟计算不同分子模块在单个复杂性状形成以及不同复杂性状相互影响中的耦合效应：①明确控制单一复杂性状的主效模块、微效模块；②解析单一复杂性状主效模块与主效模块、主效模块与微效模块、微效模块与微效模块间的复杂互作关系（如显性、叠加、上位、拮抗等效应），及其在该性状形成中的决定性作用；③模块及模块间相互作用对于系统特定性状的鲁棒性的影响；④解析不同复杂性状形成中主效模块与微效模块的互作关系，阐明各模块在不同复杂性状形成的动态效应及控制不同复杂性状各主效模块对其他性状形成的效应等，从而揭示“一因多效”及“多因一效”的分子机制，进而为在作物多性状系统水平的优化提供理论基础。然后，通过杂交组合群体（如重组自交系、近等基因系、单片段替换系等），找出遗传背景一致、只有特定分子模块元件及其组合进行替代的多个个体，对上述的分子模块元件在单个复杂性状形成以及不同复杂性状相互影响中的耦合效应进行验证，在此基础上进一步调整多模块耦合效应模型建立中的各个参数和



中国科学院

函数,经过循环调整,最终建立“多模块非线性耦合理论”。

(3)“全基因组导航”分子模块设计育种技术。“全基因组导航”育种技术,是专门为解决常规育种技术瓶颈而设计产生的。通过“全基因组导航”,可让育种家从一个庞大育种群体中,高效而又针对性地选择最理想基因型个体,并最终塑造成理想的推广品种。“全基因组导航”将第一次系统地描述和建立分子模块设计育种理论体系,通过对已有基因组进行扫描检测,从而获得基因组的海量信息。利用这些信息并结合云计算技术,构建一门新的育种理论和技术。通过它可以快速、准确地预测杂交群体中哪一个体是聚合众多优良基因型的个体。同时也可根据育种家的需要,高效预测现有推广品种中所遗缺或者需要改良的基因型组合,为育种家培育理想品种提供最佳育种策略和方案。

参考文献

- 1 薛勇彪,段子渊,种康等. 面向未来的新一代生物育种技术——分子模块设计育种. 中国科学院院刊. 2013,28(3):308-314.
- 2 王继英,王海霞,迟瑞宾等. 全基因组关联分析在畜禽中的研究进展. 中国农业科学. 2013,46(4):819-829.
- 3 Aranzana M J, Kim S, Zhao K et al. Genome-wide association mapping in Arabidopsis identifies previously known flowering time and pathogen resistance genes. Plos Genetics, 2005, 1(5): e60.
- 4 中国科学院. 科技发展新常态与面向2020年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013.
- 5 Hansen M, Kraft T, Ganestam S et al. Linkage disequilibrium mapping of the bolting gene in sea beet using AFLP markers. Genetical Research, 2001, 77(1): 61-66.
- 6 李聪, 孙东晓, 姜力等. 奶牛重要经济性状全基因组关联分析研究进展. 遗传, 2012, 34(5): 545-550.
- 7 张雁明, 邢国芳, 刘美桃等. 全基因组关联分析: 基因组学研究的机遇与挑战. 生物技术通报, 2013, 1-6.

干细胞整体研究水平将进入国际第一阵营

整理撰稿人: 中科院上海生命科学信息中心人口健康与生物医药团队

徐萍(E-mail:xuping@sibs.ac.cn)、王玥、许丽

审稿专家: 中科院动物所周琪研究员

干细胞是一类具有自我更新和分化能力的细胞,这一特性使其在人类疾病研究和治疗、组织器官构建、生殖等领域具有巨大的应用潜力。

1 国际研究现状与趋势

干细胞的巨大应用前景激发了全球科研人员的研究热情,截至2013年8月,SCI收录的干细胞领域论文总量已达24万篇^①,研究内容主要围绕干细胞的获取与构建、干细胞调控机理研究以及

干细胞应用等领域。

1.1 干细胞的获取技术

寻找稳定的干细胞来源,并建立干细胞系是开展干细胞相关研究的基础。除了发现并纯化不同组织中存在的成体干细胞外,胚胎干细胞(ESC)的获取技术一直是科研人员希望突破的领域,但由于伦理问题,无法获取大量的ESC供科研和临床应用。2011年^[1]和2013年^[2]的两项研究,均通过克隆技术,利用卵母细胞将成人细胞重编

^① 论文统计包括期刊论文和会议论文

程,克隆出ESC。这两项研究尽管仅为初步探索,但为ESC的研究提供了发展方向。

1.2 干细胞相关调控机理研究

干细胞自我更新、多能性维持、休眠与激活以及分化的调控机制仍是目前干细胞研究的主要内容。科研人员已经从基因、蛋白和表观遗传等多个角度对相关调控机制进行了探索,同时也利用高通量技术对干细胞相关的调控网络和功能特性进行了“批量”研究。2011年,国际干细胞计划(International Stem Cell Initiative)构建了全球最大规模人类ESC遗传变异图谱^[3];同年奥地利与美国科学家共同从全基因组水平上绘制了神经干细胞维持自我更新与分化之间平衡的基因调控网络图谱^[4];2012年11月,美国科学家又利用转录组学技术,绘制出首张干细胞(造血干细胞)发育基因表达谱^[5]。

1.3 诱导多能干细胞(iPSC)技术

诱导多能干细胞(iPSC)技术自2006年诞生伊始便掀起了研究热潮,日本山中伸弥教授也因发明该项技术而于2012年获得诺贝尔奖。经过7年的发展,SCI收录iPSC论文总量已近3 000篇,其中2012年发表论文数量近900篇^②。近几年的研究揭示了iPSC诱导效率低等问题的机制,针对iPSC存在的基因缺陷,探索了不同诱导因子组合(包括非基因小分子物质)对iPSC重编程的影响,进而对iPSC诱导技术进行了优化,并改善了iPSC技术的安全性。2009年,中国科研人员首次证实iPSC具有和ESC相同的发育能力。2012年,美国科研人员绘制了iPSC重编程分子路线图^[6],为iPSC技术的未来发展奠定了基础。2013年,中国科研人员成功实现了仅利用小分子化合物诱导iPSC,并获得了正常的小鼠,这一成果避免了

iPSC技术应用中的安全问题。

1.4 转分化技术

iPSC技术的兴起也催生了转分化技术的发展。近年来,科研人员对转分化机制进行了不断深入的探索,并对转分化技术进行了优化,逐步实现了谱系内、谱系间、体外和体内成体细胞间的转分化。2012年,德国科研人员实现了从成体细胞向成体干细胞的转分化^[7],是转分化技术的一项突破;美国 and 西班牙科学家还合作开发出一种称为“间接谱系转换”的转分化新技术^[8],将成体细胞诱导至一种可塑性的中间状态,随后再进行分化,该技术缩短或绕过iPSC技术中重编程至多能性的完整过程,从而减少了iPSC技术的一些弊端,同时也提供了一种相比直接转分化技术更加通用的技术。

1.5 干细胞应用研究

随着干细胞相关基础研究的深入,其应用进程不断向前推进。科研人员已在实验室验证了多种干细胞来源的体细胞在修复机体损伤中能够发挥正常功能。此外,大量临床试验开展,据不完全统计,全球开展的干细胞临床试验已近5 000例^③。一系列临床试验展现了良好的治疗效果,例如,全球唯一获得批准的胚胎干细胞临床试验在2013年再次证实对恢复患者视力有效^[9]。

在iPSC领域中,已经建立起针对多种疾病的干细胞模型;世界首例iPSC疗法临床试验获得日本批准,用于治疗老年黄斑变性,同时日本也开始着手建立iPSC库,旨在为iPSC疗法提供细胞供应。

在利用干细胞构建组织、器官方面,国际上获得了大量的组织工程器官。2013年7月,日本科学家开发了一种培养器官的新方法,利用iPSC构建出能够发挥功能的立

② 论文统计包括期刊论文和会议论文

③ 数据来源:美国ClinicalTrials.gov数据库,统计的临床试验包括正在开展的和已经完成的



体结构肝脏,为再生医学提供一条全新的道路^[10]。

2 国内研究现状及优势

SCI收录我国最早的干细胞论文发表于1981年,相比国际起步较晚,但发展迅速,至2012年,我国年度论文数量已经超过3 000篇,仅次于美国,位居国际第2位。我国在干细胞调控机制、iPSC技术和转分化技术及干细胞应用研究等领域均获得了一系列国际领先的成果。尤其iPSC技术和转分化技术已跻身国际干细胞领域的领先行列。

在干细胞相关调控机制研究领域,我国拥有了良好的基础。我国科学家解释了ESC中5-甲基胞嘧啶去甲基化的机制^[11];对小鼠ESC早期谱系特化的机理进行了探索^[12];发现了多能干细胞向神经细胞分化的谱系特异性调控通路^[13]。

iPSC是我国干细胞研究的优势领域之一。2007年,我国成为继日本和美国后第三个掌握iPSC技术的国家^[14]。此后,又陆续建立了猕猴^[15]和大鼠^[16]的iPSC系;利用四倍体囊胚注射的方法获得了世界上第一只iPSC小鼠,证实了iPSC的全能性^[17];发现了间质上皮转化过程是体细胞重编程的主要分子机制^[18];发现维生素C能够显著提高重编程效率^[19];实现了将尿液细胞重编程为iPSC,为iPSC提供了“无尽”的来源^[20];探明了iPSC重编程过程中的“路障”^[21];利用小分子化合物替代经典的重编程基因,实现了小鼠体细胞的重编程,率先实现了各国科研人员一直探索的技术突破^[22]。一系列突破性成果为我国在世界干细胞领域占据有利地位奠定了基础。

我国在转分化技术领域也处于国际领先水平,获得了一系列突破性科研成果。2011年5月,中科院的科研人员将小鼠成纤维细胞直接重编程为成熟的肝细胞样细胞,成为肝脏再生研究的里程碑^[23];2012年,中科院一个研究团队还将尿液细胞直接重编程为神经祖细胞^[24]。2013年,中科院研究人员再次通过三维培养技术,将体细胞直接

转分化为具有增殖和分化能力的神经干细胞^[25]。

此外,我国在大动物模型构建方面具有独特的优势,国家重大科学研究计划和“973”计划对该领域进行布局,这也将推动我国在该领域的快速发展和产业化的实现。

在干细胞应用方面,我国已经开展的干细胞相关临床试验有165项^④,主要用于糖尿病、肝脏疾病等的治疗。国内首个组织工程三类医疗新技术,组织工程软骨移植也于2010年实现了临床转化,至今已为多位患者解除了病痛。

与此同时,近期出台的一系列干细胞临床应用相关监管法规,将使干细胞领域发展更加有序。在国家各项政策支持下,随着研究的进一步加强,我国干细胞整体研究水平有望进入国际第一阵营。

参考文献

- 1 Scott Noggle, Ho-Lim Fung, Athurva Gore et al. Human oocytes reprogram somatic cells to a pluripotent state. *Nature*, 2011, 478: 70-75.
- 2 Masahito Tachibana, Paula Amato, Michelle Sparman et al. Human Embryonic Stem Cells Derived by Somatic Cell Nuclear Transfer. *Cell*, 2013, 153(6): 1228-1238.
- 3 The International Stem Cell Initiative. Screening ethnically diverse human embryonic stem cells identifies a chromosome 20 minimal amplicon conferring growth advantage. *Nature Biotechnology*, 2011, 29: 1132-1144.
- 4 Neumüller RA, Richter C, Fischer A et al. Genome-wide analysis of self-renewal in Drosophila neural stem cells by transgenic RNAi. *Cell Stem Cell*, 2011, 8(5): 580-593.
- 5 Shannon McKinney-Freeman, Patrick Cahan, Hu Li et al. The Transcriptional Landscape of Hematopoietic Stem Cell Ontogeny. *Cell Stem Cell*, 2012, 11(5): 701-714.
- 6 James O'Malley, Stavroula Skylaki, Kumiko A Iwabuchi et al. High-resolution analysis with novel cell-surface markers identifies routes to iPS cells. *Nature*, 2012, 499: 88-91.
- 7 Dong Wook Hansend email, Natalia Tapia, Andreas Hermann et

④ 数据来源: 美国ClinicalTrials.gov数据库,统计的临床试验包括正在开展的和已经完成的

- al. Direct Reprogramming of Fibroblasts into Neural Stem Cells by Defined Factors. *Cell Stem Cell*, 2012, 10 (4) : 465-472.
- 8 Leo Kurian, Ignacio Sancho-Martinez, Emmanuel Nivet et al. Conversion of human fibroblasts to angioblast-like progenitor cells. *Nature Methods*, 2013, 10: 77-83.
- 9 ACT Confirms Clinical Trial Participant Showed Improvement in Vision from 20/400 to 20/40 Following Treatment. ACT Press Releases. 2013-5-16.
- 10 Takanori Takebe, Keisuke Sekine, Masahiro Enomura et al. Vascularized and functional human liver from an iPSC-derived organ bud transplant. *Nature*, 2013-07-03 (online)
- 11 Yu-Fei He, Bin-Zhong Li, Zheng Li et al. Tet-Mediated Formation of 5-Carboxylcytosine and Its Excision by TDG in Mammalian DNA. *Science*, 2011, 333 (6047) : 1303-1307.
- 12 Xiang Li, Lili Zhu, Acong Yang et al. Calcineurin-NFAT Signaling Critically Regulates Early Lineage Specification in Mouse Embryonic Stem Cells and Embryos. *Cell Stem Cell*, 2011, 8 (1) : 46-58.
- 13 Yunbo Qiao, Yue Zhu, Nengyin Sheng et al. AP2 gamma regulates neural and epidermal development downstream of the BMP pathway at early stages of ectodermal patterning. *Cell Research*, 2012, 22 (11) : 1546-1561.
- 14 Dajiang Qin, Wen Li, Jin Zhang et al. Direct generation of ES-like cells from unmodified mouse embryonic fibroblasts by Oct4/Sox2/Myc/Klf4. *Cell Research*, 2007, 17: 959-962.
- 15 Haisong Liu, Fangfang Zhu, Jun Yong et al. Generation of Induced Pluripotent Stem Cells from Adult Rhesus Monkey Fibroblasts. *Cell Stem Cell*, 2008, 3 (6) : 587-590.
- 16 Jing Liao, Chun Cui, Siye Chen et al. Generation of Induced Pluripotent Stem Cell Lines from Adult Rat Cells. *Cell Stem Cell*, 2009, 4 (1) : 11-15.
- 17 Xiao-yang Zhao, Wei Li, ZhuoLv et al. iPS cells produce viable mice through tetraploid complementation. *Nature*, 2009, 461: 86-90.
- 18 Ronghui Li, Jialiang Liang, Su Ni et al. A Mesenchymal-to-Epithelial Transition Initiates and Is Required for the Nuclear Reprogramming of Mouse Fibroblasts. *Cell Stem Cell*, 2010, 7 (1) : 51-63.
- 19 Miguel Angel Esteban, Tao Wang, Baoming Qin et al. Vitamin C Enhances the Generation of Mouse and Human Induced Pluripotent Stem Cells. *Cell Stem Cell*, 2009, 6 (1) : 71-79.
- 20 Ting Zhou, Christina Benda, Sarah Dunzinger et al. Generation of human induced pluripotent stem cells from urine samples. *Nature Protocols*, 2012, 7: 2080-2089.
- 21 Jiekai Chen, He Liu, Jing Liu et al. H3K9 methylation is a barrier during somatic cell reprogramming into iPSCs. *Nature Genetics*, 2012, 45: 34-42.
- 22 Pingping Hou, Yanqin Li, Xu Zhang et al. Pluripotent Stem Cells Induced from Mouse Somatic Cells by Small-Molecule Compounds. *Science*, 2013, 341 (6146): 651-654.
- 23 Pengyu Huang, Zhiying He, Shuyi Ji et al. Induction of functional hepatocyte-like cells from mouse fibroblasts by defined factors. *Nature* 475, 386-389.
- 24 Lihui Wang, Linli Wang, Wenhao Huang et al. Generation of integration-free neural progenitor cells from cells in human urine. *Nature Methods*, 2012, 10: 84-89.
- 25 Guannan Sua, Yunnan Zhao, Jianshu Wei et al. Direct conversion of fibroblasts into neural progenitor-like cells by forced growth into 3D spheres on low attachment surfaces. *Biomaterials*, 2013, 34 (24) : 5897-5906.



中国科学院

生物医药实现局部跨越式发展

整理撰稿人:中科院上海生命科学信息中心人口健康与生物医药团队

徐萍(E-mail: xuping@sibs.ac.cn)、李楨祺、于建荣

审稿专家:中国工程院院士、中科院上海药物所丁健研究员,高柳滨研究员

1 全球医药市场进入新一轮调整期

全球医药市场继续保持增长,但面临研发投入与新药产出比下降,专利药到期等问题,医药市场向新兴国家转移,生物技术药物所占比重加大,全球医药市场进入新一轮调整期。

多年来,医药产业一直以高速、持续的增长态势发展,成为发展最快的高技术产业。但整体产业面临研发投入与新药产出比下降问题,阿斯利康、葛兰素、赛诺菲、罗氏以及辉瑞制药等公司的研发费用在过去的15年里持续攀升,而最终获批产品数量却不多,投入与产出不成正比,甚至相距甚远。与此同时,专利药大量到期,从而为仿制药市场带来重大机遇,到2013年,全球销售排名前20的制药企业有35%的专利到期,包括跨国公司的“重磅炸弹”药物^①。2013—2018年间,有2300亿销售额的药品面临专利到期的风险^①。而生物技术药作为后起之秀,越来越受到大型制药企业的青睐,2012年世界前20位畅销药中有8个生物技术药物,预计到2018年,生物技术药物占药品销售总收入比重将超过1/4^②。

由于新兴国家市场的快速增长,全球医药市场格局出现新的变化,尽管发达国家依然主导医药市场,但新兴国家和地区市场增速将会超过欧美等发达国家。根据IMS Health的报告,2016年发达国家将占全球药品消费市场的57%,相比2006年的73%显著降低。其中美国市场份额将由2006年的41%降至2016年的31%。同一时期,欧

洲5国(英国、法国、德国、西班牙和意大利)的市场份额将由19%下降至13%,而日本在这段时间里一直保持全球10%左右的市场份额。新兴医药国家的市场份额将由2006年的14%急剧增长至2016年的30%。2012—2016年这些国家医药市场规模年均增长率将达到12%—15%,其市场将扩容1500亿—1650亿美元,同期,世界市场的年均增长率为3%—6%,而美国市场只有1%—4%^③。

2 新兴生物技术的应用为生物医药产业提供新的发展机遇

生命科学和生物技术领域取得的重大突破正推动生物医药研究和产业进入革命性变化的新时期。转化医学将弥补基础研究和临床应用的鸿沟,加快成果转化,缩短研发时间和成本;个性化诊疗成为新的疾病诊疗模式,美国食品药品监督管理局(FDA)已列出100多种个性化药物^④;基因组测序已经进入临床应用,2013年首例接受全基因组筛查试管婴儿诞生,2012年全球基因组测序技术市场市值约为20亿美元,而2017年将增加至42.7亿美元,2012—2017年的年均复合增长率为16%^⑤。近10年,合成生物学得到突飞猛进的发展,并取得一系列重大突破,有望在药物开发和疾病治疗展现诱人前景,吸引了全球的广泛关注;以干细胞为代表的细胞治疗技术已日臻成熟,目前,全球有5000多例干细胞临床试验开展^⑥,有5个干细胞药物被批准上市;基因治疗重新受到重视,2012

① 数据来源:IMS Market Prognosis 报告

② 数据来源:美国ClinicalTrials.gov数据库,统计的临床试验包括正在开展的和已经完成的

年第一个基因治疗药物得到欧盟批准上市；单克隆抗体已被成功用于治疗肿瘤、自身免疫性疾病、感染性疾病和移植排斥反应等多种疾病，成为生物制药的最大产品类别，迄今美国FDA已经授权了30多个单克隆抗体用于免疫学疾病和各类癌症的治疗；治疗性癌症疫苗是近年来取得重要突破的又一领域，从2010年第一个治疗性癌症疫苗 sipuleucel-T 被美国FDA批准上市，已有20多种治疗型癌症疫苗正在研发。反义RNA干扰(RNAi)治疗是通过对特定基因沉默控制其在细胞中表达，进而实现对疾病的治疗，该技术从提出到临床应用仅仅用了20年的时间，目前，已有2个RNAi靶向治疗获得美国FDA批准上市，还有127项临床试验使用了RNAi技术。

新兴技术的发展与应用，为生物医药产业提供了新的发展机遇，成为医药产业新的增长点。

3 中国在生物医药领域迎来良好发展机遇

专利药到期，新药研发产出比下降，新兴国家市场快速增长，国际医药产业格局进入新一轮调整。在此局面下，我国生物医药迎来良好发展机遇，在新医改和老龄化社会等多重因素作用下，市场需求快速增长，政府扶持力度加大，社会资本比较充裕，这些因素有利于我国生物医药产业平稳较快发展。

3.1 利好政策推动我国生物医药领域快速发展

我国对生物医药在内的生物产业支持力度持续加大。2006年，“重大新药创制”和“艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防

治”被列入国家重大专项予以支持。“十二五”期间，“重大新药创制专项”战略重点包括创新药物研究开发、药物大品种技术改造、创新药物研究开发技术平台建设、企业创新药物孵化基地、新药技术开发关键技术研究 and 国际合作项目，扶持资金将超过60亿^③。疫苗新型佐剂、治疗性疫苗、重组凝血因子产品等生物药被点名提为2014年重点扶持的研发药物。2009年6月，为加快生物产业发展，国务院颁发了《促进生物产业加快发展的若干政策》。2010年，《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》中，包括生物医药在内的生物产业被列入7大新兴战略产业。2012年7月9日，国务院正式印发《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》指出，要着力提升生物医药研发能力，开发医药新产品，加快发展生物医学工程技术和产品。2012年12月29日，国务院发布《生物产业发展规划》，提出要突出高品质发展，提升生物医药产业竞争力。此外，国家相关部门也出台了《医药工业“十二五”发展规划》、《医疗器械科技产业“十二五”专项规划》等，以进一步明确各领域的具体目标和任务，这些政策规划为生物医药产业发展营造了有利的政策环境。

3.2 中国生物医药领域已经具备了一定的发展基础

在一系列的政策支持下，我国生物医药发展水平得到了快速提升，生物产业规模保持较快增长。2012年，生物医药产值达到了1852.7亿元；生物医药新产品大量涌现，已经有数十种基因工程药物和疫苗上市、数百种生物技术药物和疫苗处于临床研究阶段。成功实现了青蒿素高效人工合成，全球首支重组戊型肝炎疫苗上市，大肠癌治疗性

③ 数据来源：2013年7月17日，科技部中国生物技术发展中心副主任马宏建在2013年医药百强发布会上的讲话



疫苗“抗原致敏的人树突状细胞”获得Ⅲ期临床研究批文。中科院上海药物所的靶向Aβ抗老年痴呆寡糖药物971已完成Ⅱ期临床试验(252病例),初步结果显示安全性好,疗效趋势显著;抗肿瘤一类新药多靶点酪氨酸激酶抑制剂德立替尼2012年9月获临床批件,进入Ⅰ期临床试验。2011年,首个拥有自主知识产权的小分子抗肿瘤药凯美纳(盐酸埃克替尼片)成功上市,实现了中国新药创制零突破。中科院成都地奥制药集团有限公司研制生产的地奥心血康胶囊2012年4月18日获准欧盟注册上市,实现了中国具有自主知识产权治疗性药品进入发达国家主流市场零的突破。2011年3月,中国疫苗监管体系通过了世界卫生组织(WHO)的评估,标志着中国产疫苗有望供应国际市场。2012年11月,中国食品药品检定研究院生物制品检定所正式获得WHO批准,成为WHO生物制品标准化和评价合作中心,为中国企业生产药品加入WHO全球采购行列提供了强有力的技术支持。

在国家的大力支持下,随着我国在生物医药领域的快速发展,以及在新兴技术领域的强劲发

展,我国在国际医药发展的新一轮调整期中,有望实现跨越式发展。

参考文献

- 1 Evaluatepharma World Preview 2013, Outlook to 2018-Returning to Growth. <http://www.evaluategroup.com/Public/Reports/Evaluate-World-Preview-2013-Outlook-to-2018.aspx>.
- 2 IMS Health. Top 20 Global Products 2012. http://www.imshealth.com/deployedfiles/ims/Global/Content/Corporate/Press%20Room/Top-Line%20Market%20Data%20&%20Trends/Top_20_Global_Products_2012_2.pdf.
- 3 IMS Institute for Healthcare Informatics. The Global Use of Medicines: Outlook Through 2016. http://www.imshealth.com/deployedfiles/ims/Global/Content/Insights/IMS%20Institute%20for%20Healthcare%20Informatics/Global%20Use%20of%20Meds%202011/Medicines_Outlook_Through_2016_Report.pdf.
- 4 Innovation in the Biopharmaceutical Pipeline: A Multidimensional View. <http://phrma.org/sites/default/files/pdf/2013innovationinthe-biopharmaceuticalpipeline-analysisgroupfinal.pdf>.
- 5 Commercial prospects for genomic sequencing technologies. <http://www.nature.com/nrd/journal/v12/n5/full/nrd4006.html>.

工业生物制造技术进入世界先进行列

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆成都分馆生物资源与生物技术团队

陈方(E-mail:chenf@clas.ac.cn)、邓勇

审稿专家:中科院天津工生所马延和研究员

1 工业生物制造是生物经济发展的重要组成部分

生物制造是指以生物体机能进行大规模物质

加工与物质转化、为社会发展提供工业商品的新行业,是以微生物细胞或以酶蛋白为催化剂进行化学品合成、或以生物质为原料转化合成能源化学品与材料,促使能源与化学品脱离石油化学工

业路线的新模式^[1]。它以生命科学的最新发展为基础,以设计和改造生物体为核心,通过生物技术与制造技术的结合,以先进、高效、环境友好的方式规模化生产人类所需的能源与化学品。

目前,利用先进生物制造过程,已经能够生产多种基础化学品、医药中间体、氨基酸、维生素、高分子材料和染料等产品,可以革新化学中间体和高值化学品等生产的化学工艺;同时,利用先进生物制造过程获取的工业酶制剂可以用于生物印染、生物漂白、生物制革、生物脱胶等,能够有效促进纺织、造纸、制革、化工等工艺的绿色升级改造。因此,工业生物制造的发展对于应对资源紧张、能源短缺、环境恶化等严峻挑战,从而建设低碳循环、绿色清洁的可持续经济体系具有重要战略意义。

当前,现代生物技术发展逐渐进入大规模产业化阶段,全球生物经济处于起步向快速发展的转折期,生物制造产业快速发展,已成为现代生物经济和生物产业发展的重点。

世界主要国家与地区都将生物制造作为生物经济战略中的规划重点。欧盟于2012年2月发布《创新可持续发展:欧洲生物经济》战略^[2],提出增加研发投入和开发生物基产品市场等内容。美国奥巴马政府于2012年4月发布《国家生物经济蓝图》^[3],提出采取切实行动促进生物技术研究创新,以应对健康、食品、能源和环境挑战。我国科技部在2011年11月发布《“十二五”现代生物制造科技发展专项规划》^[4],提出到“十二五”末期初步建成现代生物制造创新体系的总体目标;2013年2月,国务院印发了《生物产业发展规划》^[5],提出提高产品经济性、推动生物制造产业规模化发展的主要任务。

2 现代生物技术正推动生物制造创新体系的形成与发展

基础生物学研究的快速发展使得技术方面的障碍已不再像过去那样难以逾越。DNA测序的进步、蛋白组学的跨越式进展以及合成生物学领域的突破引领了生物学的空前进步,进一步推动了工业生物制造体系的形成与发展。

随着基因组学、系统生物学、合成生物学研究的发展,功能性人工合成生物体系的构建将使得多种化合物的绿色和高效生物制造成为可能;随着生物炼制、生物催化、生物加工与现代发酵等生物过程工程技术的进步,工业生物制造的产业支撑能力将进一步得到增强。

石油化工原料替代性路线、化学工艺的生物学替代性路线是国际工业生物技术的发展的重点方向。近年来对微生物的基因重组与合成生物学组装、系统生物技术优化,构建了石油化工产品的生化合成通道,是生物技术领域的新热点,1,3-丙二醇、3-羟基丙酸、丁二酸、类异戊二烯、1,4-丁二醇、异戊醇、丙烯酸等传统石油化工产品的生物制造,已经或即将取得对石油路线的竞争优势,全球生物基材料技术不断创新,生物塑料、生化纤维已经进入产业化应用,生物橡胶概念轮胎已被推出。基于生物催化剂的绿色生物催化技术不断进步,在原料药及其中间体、农药及其中间体、化妆品及其中间体,以及其他精细化学品的合成中逐渐应用,不断创造节能减排典型案例。

经济合作与发展组织(OECD)预测,生物基化学品和其他工业产品(不包括生物医药产品)在全部化学品产量中的比重有可能从2005年的1.8%提升至2015年的12%—20%,到2030年进一步提升到35%^[6]。世界



中国科学院

经济论坛(WEF)报告预测到2020年,生物质转化为燃料、能源与化学品的技术将为全球带来2 300亿美元的经济效益^[7]。

3 中国面临工业生物制造快速发展的良好机遇

我国是传统发酵产业大国,近年已经形成一定的生物制造产业格局,正在逐渐形成以市场为导向、企业为主体、产学研结合、上下游链式的工业生物制造体系。经过近年发展,我国科研人员在人工细胞工厂构建等方面不断取得原始创新突破;一批大宗发酵产品的国际竞争力实现了大幅提升,创造了巨大的经济与环境效益;针对一批化学原料药与中间体生产开发了清洁高效的生物工艺,在提高产品品质的同时,节能、节水、减少有毒物质与废水排放效果也较为显著。

我国在氨基酸、维生素等传统发酵产品和大宗发酵产品方面具有量产优势,具备生物法生产精细化学品的技术能力。在生物能源方面,正在积极开发由非粮作物转化的生物燃料,并将微藻原料利用作为生物柴油发展的主要方向。在生物基材料方面,已实现年产5 000吨聚乳酸(PLA)的生产能力(世界第二)、年产1万吨聚丁二酸丁二醇酯(PBS)的能力、年产1万吨二氧化碳共聚物(PPC)的能力(世界第一)、年产2万吨以上淀粉基材料的能力,成为目前唯一应用微生物发酵技术大规模工业化生产多种长碳链二元酸的国家;聚羟基脂肪酸(PHA)年总产能超过1.8万吨,产业化种类和产量都处于国际领先地位;并于2012年建成全球首条生物质制取聚乙烯醇(PVA)生产线。

当前,工业生物制造的发展正在为世界经济增长注入新的活力,加速现代化产业的可持续发展进程,我国在工业生物技术领域也将面临新的发展机遇。一方面,生命科学与生物技术领域与其他学科研究的交叉与融合将带来新的科学突破,加强合成生物学等具有重要影响和有可能发生重大变革的新兴学科研究与相关技术创新,将

有力提高我国在先进工业生物制造领域的核心竞争力;另一方面,全链条的产业技术创新体系的建立与完善将推动技术重大变革,发展基于高效生物催化剂的现代生物制造科技及其产业化应用,将有效促进我国高新技术产业升级和经济发展方式的转变。

4 未来10年中国可能取得的突破

未来10年,围绕工业可持续发展的重大需求,我国在酶蛋白与生物催化剂的结构与功能、微生物代谢与合成生物学、复杂生物过程的原理与规律等方面的科学研究将会取得新的突破。预期我国将在基因组功能解析、计算设计、化学合成和系统优化等取得突破的基础上,构建全新的、具有国际影响的“合成生物体”,实现糖、非粮生物质、有机废物等可再生生物质资源,甚至工业废气(一氧化碳、二氧化碳)等的高效转化利用,改变功能材料、工业化学品与药品合成的现有生产模式,大幅提高生物产品的生产水平,制造出一系列经济可行并能与石油基产品竞争的能源与化工产品,建立国际领先的工业生物制造技术体系^[8]。

参考文献

- 1 科技部.“十二五”现代生物制造科技发展专项规划.2011. <http://most.gov.cn/fggw/zfwj/zfwj2011/201112/W020111202596694213952.doc>.
- 2 EU. Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe.2012. http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth.pdf.
- 3 The White House.National Bioeconomy Blueprint Released.2012. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf.
- 4 科技部.“十二五”现代生物制造科技发展专项规划.2011. <http://most.gov.cn/fggw/zfwj/zfwj2011/201112/W020111202596694213952.doc>.
- 5 国务院.国务院关于印发生物产业规划的通知.2012. <http://www.zdt.com.cn/flgz/fg/201302/P020130227359851717264.doc>.
- 6 OECD.The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda.2009. http://www.oecd.org/document/48/0,3746,en_2649_36831301_

42864368_1_1_1_1,00.html.
7 World Economic Forum.The Future of Industrial
Biorefineries. 2010.http://www3.weforum.org/docs/

WEF_FutureIndustrialBiorefineries_Report_2010.pdf
8 中国科学院.科技发展新态势与面向2020的战略选择.
北京:科学出版社,2012,18.

泛在制造信息感知与网络技术可能 取得重大突破

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆武汉分馆新材料与先进制造团队

姜山(E-mail: jiangs@mail.whlib.ac.cn)、万勇

审稿专家:中国工程院院士、中科院沈阳自动化所王天然研究员



中国科学院

1 主要科技内涵及意义

泛在信息制造技术是以泛在网络为基础、以泛在感知为核心、以泛在服务为目的、以泛在智能拓展和提升为目标的综合性一体化信息处理技术。面向制造的泛在网络是工业现场级的传感器网络、面向物流管理的射频识别(RFID)网络、工厂控制网络和企业信息 Internet 的集成融合。泛在感知是指以微型系统与电子器件为泛在信息技术的硬件基础,借助嵌入各种应用环境的系统来实现对多种模式信息的捕获、分析和传递,为人类深层次理解物理世界提供前所未有的技术手段,极大地拓展人们对物理世界的了解和检测能力,促进各领域工业生产活动的进一步合理化和精细化控制^[1]。

泛在信息技术将在相当长时间内对制造技术和制造业产生深刻的影响,特别是在对精度要求极高的超精密加工制造,需要在极端环境条件下的制造加工等领域产生不可估量的影响。基于泛在感知的信息化制造系统技术的发展,将大大提升装备的宜人

化水平,并具有自标定、自诊断、自修复等功能,制造系统将呈现出以人为决策主体的人际协同工作的局面;利用丰富的信息支持,形成更有效的生产组织与调度,增加设备的利用率,提升制造业的生产效率。装备智能化水平将得到本质的提升,制造模式和制造手段不再被动地满足用户需求,而是主动感知用户场景的变化并进行信息交互,通过分析人的个性化需求主动提供服务^[1]。

2 世界主要进展

目前,在超大规模微传感器组网方面,单跳星形网络仍是目前工厂中使用最可靠的网络拓扑形式,同时多跳的 Mesh 结构开始成为工厂无线传感器网络拓扑结构的研究热点。

在工厂无线传感器网络与 RFID 集成方面,二者之间的融合交叉才刚刚起步。目前,主要有三种融合方式:RFID 阅读器与无线传感器网络节点的融合;RFID 标签和无线传感器网络节点的融合;RFID 与无线传感器网络在系统层次上的融合^[2]。

在工厂控制网络无线化方面,以IEEE802.15.4为代表的低功耗短程无线技术和以IEEE802.11为代表的无线局域网技术开始进入现场设备级和车间级网络,WiMax技术正在被应用于构建企业级远程数据交换网络。思科和英特尔已发布了相关产品。

在低成本无线定位和跟踪技术方面,除GPS系统之外,Wifi、Zigbee、蓝牙、超宽带和RFID实时定位及跟踪技术逐渐在工厂得到应用,目前主要研究问题集中在降低精确测距技术成本以及提高精度和实时性方面。

在工厂无线测控网络与Internet融合方面,目前工厂测控网络仍停留在与工厂ERP系统内部互联。嵌入式IPv6网络技术正成为研究热点,互联网工程任务组正在着手制定相关标准用于解决工厂设备信息及传感信息的远程访问问题^[1]。

正是基于这些技术的出现和发展,德国和美国政府及公司近期推出了多项基于设备互联和制造服务的制造业创新战略和计划。

3 中国的优势

我国政府高度重视包括泛在感知网络技术在内的物联网技术发展。国家级科研基金如“973”、“863”均面向传感器网和物联网设立了重大项目,科研投入不断提高^[3]。国家级战略规划如《国家中长期科技发展规划纲要》^[4]、《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》^[5]将物联网以及相关感知与网络技术列为战略产业和重点发展方向,并在资金层面予以大力支持,2013年度工信部物联网专项资助资金达5亿元^[6],国家批准在无锡成立传感网创新示范区^[7],众多城市相继展开物联网产业布局 and 科研支撑计划。在政府大力扶持下,我国在物联网相关领域取得多项重要突破并建成数个大型成熟的应用示范系统。此外,我国在世界传感网领域是标准主导国之一,拥有大量专利,我国无线智能传感器网络产业链条完整,无线通信网络和宽带覆盖率高,为泛在制造业感知网络的发展提供了坚实的基础设施支持^[8]。

中科院是我国最早展开无线传感网络的研究机构之一,早在1999年就在“知识创新工程重点领域方向研究”中将其列为重点项目。“十五”、“十一五”期间,上海微系统所、沈阳自动化所、微电子所等几十家相关单位,先后投入数亿元,在传感器网络领域攻克了大量关键技术,并研制了多种样机。2010年,中科院成立物联网研究发展中心,作为中科院在物联网领域的总体单位,开展物联网与智能传感器创新产品研发和应用。中科院还领导建立了多项具有中国特色的传感网创新体系架构,被国家和国际标准采纳^[9]。中科院沈阳自动化所、信息工程所、上海微系统所、浙江大学等单位在工业领域的设备互联、网络互联、信息安全等领域,都进行了前期的部署。

4 未来标志性目标或成果

围绕着制造过程中的信息获取与交互,重点解决无处不在的超大规模传感器节点的互联与信息传输、企业范围内的信息流集成与远程访问两个核心科学问题。

在超大规模传感器节点的互联与信息传输方面,将在技术上突破拓扑结构的限制,实现使用同一通信介质的微传感器的快速动态组网、网络的动态维护以及按需加入不同网络。突破无线传感器网络与RFID网络的集成中间件技术,实现无线传感器网络与RFID网络的互操作。发展集成RFID阅读功能和无线传感与组网功能的核心设备。

在企业范围内的信息流集成与远程访问方面,将突破面向工厂自动化的高可靠、高实时的无线网络技术和企业级远程无线网络技术,实现无线网络与有线控制网络的互联与互操作。突破精确无线测距技术,提高测距传感器精度,降低成本。通过全面获取过程数据和产品质量信息,为控制策略的优化提供基础;通过随时获取设备的健康状态与运行效率信息以及面向工厂资产跟踪的位置信息,实现企业精细化管理^[1]。

由此将引发制造业的管理模式由目前的集中

管控向分布式控制模式转变,由局部或本地的优化控制向跨域的全局优化决策方向发展。

参考文献

- 1 中国科学院先进制造领域战略研究组. 中国至 2050 年先进制造科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.
- 2 聂涛, 陆阳, 张鹏. RFID 与 WSN 在物联网下协同机制的分析. 计算机应用研究, 2011, 28(6): 2006-2010.
- 3 余向阳. 无线传感器网络研究综述. 单片机与嵌入式系统应用, 2008, 8: 8-11.
- 4 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年). 中国政府网. 2013-08-16. http://www.gov.cn/jrzg/2006-02/09/content_183787.htm.
- 5 国务院关于印发“十二五”国家战略性新兴产业发展规划的通知. 中国政府网. 2013-08-16. http://www.gov.cn/zwzk/2012-07/20/content_2187770.htm
- 6 工信部拟明年设 5 亿物联网专项资金. 中国政务信息化网. 2013-08-16. <http://www.chinaeg.gov.cn/show-2680.html>.
- 7 中国首个“国家传感网创新示范区”在无锡开建. 新华网. 2013-08-16. http://www.gov.cn/jrzg/2009-12/02/content_1478558.htm
- 8 靠什么“抢滩”物联网? 求是理论网. 2013-08-16. http://www.qstheory.cn/kj/kj/201009/t20100927_50576.htm
- 9 中国科学院工程管理与信息技术学院. 关于我们. 2013-08-16. <http://ceit.ucas.ac.cn/index.php?id=451>.



中国科学院

先进材料可能实现原创突破和全面提升

整理撰稿人: 中科院国家科学图书馆武汉分馆先进制造与新材料团队

万勇(E-mail: wany@mail.whlib.ac.cn)、王桂芳

审稿专家: 中科院金属所谭若兵研究员

1 主要科技内涵及意义

先进材料是影响现代社会经济发展的重要科技之一,其发展将使得产品科技含量高密化、生产周期大为缩短,并推动高科技产业崛起和发展,产业结构将发生重大的变化,为人类创造个性化生活方式和生活理念,甚至影响国际政治格局等。

以轻量化材料为例。现代交通工具的轻量化离不开铝/镁/钛合金及碳纤维复合材料。据估计,若汽车改用轻量化材料,能减重约 20%。数据显示,车身减重 10%可降低油耗 6%—8%,提高效率 5.5%,降低噪声 2 dB^[1]。轻量化材料可成为解决石油资源紧

缺和全球变暖的重要措施之一,为全世界的可持续发展做出巨大贡献。

2 当前世界进展

进入 21 世纪后,为抢占未来经济发展制高点,世界各国特别是一些发达国家都把发展先进材料作为产业进步、国民经济发展和保障国防安全的重要推动力,呈现出基础研究受重视、研发投入加大、研发经费集中于战略性重点领域、政策扶持力度增强、企业在创新中作用突出等发展趋势。

美国把生物材料、信息材料、纳米材料、极端环境材料及材料计算科学等列为主要

前沿研究方向,支持相关科技发展,以满足国防、能源、电子等重要部门和领域的需求。

日本在21世纪先进材料发展规划中把研究开发资源与环境相协调的材料以及减轻环境污染且有利于再利用的材料作为主要考核指标,制定了一系列的发展计划。

欧盟第七框架计划(FP7)有10项优先发展主题,其中多项与先进材料有关。在石墨烯、航空航天材料、超材料、超导材料等方向保持领先优势。各成员国也都有各自的先进材料相关发展规划^[2]。

3 中国的优势

3.1 高性能钢铁

钢铁产量是衡量一个国家工业化水平和国防实力的标志之一。我国是钢铁生产和消费大国,粗钢产量连续16年位居世界第一。通过一系列项目的实施,我国钢铁基础研究取得了显著进展。如我国研制的超级钢,在不改变成分的条件下,调整工艺改变组织,使低碳钢、低合金钢、合金结构钢的强度成倍提高,已投入批量生产,领先世界。

3.2 重大工程关键材料

随着国家科技支撑计划“高速列车关键材料及部件可靠性”等专项的实施,我国高速铁路材料发展很快,从专用材生产到配套材料提供大力开展国产化研究,进展显著。

核电产业的发展为核电相关材料技术的国产化提供了机遇,核电关键材料的国产化是我国实现核电自主化的前提和基础。此方面研究吸引了很多科研生产单位的关注和参与。

近年来,我国通过材料研究结合工艺模拟,发展出可视化铸锻技术,完成了大型铸钢支承辊、船用曲轴、三峡水轮机转轮铸件、核电大型锻件等国产化任务,保障了大型铸锻件的自主供应,还改进了大型钢锭的质量。

自主研发开发出新型高强韧低淬火敏感性铝合金,其主要成分发明专利通过了国际知识产权组织审核并获得正式公布。

3.3 超导及纳米孪晶强化金属

我国在超导研究方面有很好的基础,尤其是中科院物理所400余篇铁基超导论文、总引用14 000次以上,使我国牢牢占据了铁基超导研究的制高点^[3]。中科院电工所2012年通过优化制备工艺,大幅提高超导电流,其载流性能在10 T强磁场下达到17 000 A/cm²的国际最高纪录,进一步证明了在强电应用方面的巨大潜力^[4]。

中科院金属所2004年发现纳米孪晶金属铜,2009年又发现其中的极值强度和超高加工硬化效应。纳米孪晶强化及材料已成为国际材料领域中的研究热点,该项工作引领了国际纳米材料的研究并带动了相关先进材料与技术的研发^[5]。

4 未来标志性目标或成果

以钢铁为代表的基础原材料是现代高新技术产业的基础、先导和重要组成部分。预计“十二五”末期,我国进口量较大的高强高韧汽车用钢、硅钢片等品种将实现规模化生产,国内市场占有率逾90%;船用耐蚀钢、低温压力容器板、高速铁路车轮及车轴钢、高压锅炉管等自给率达80%。400 MPa及以上高强度螺纹钢比例超过80%^[6]。

国家重大工程关键材料将逐步实现自给并形成自主标准。如高速铁路关键材料采供将从现行的欧日标准逐步过渡到中国标准,开发出一批具有自主知识产权的关键部件材料产品并实现产业化^[7]。在核电关键材料方面,第四台AP1000核电机组建成之后,我国第三代核电设备和关键材料的国产化水平将超过80%^[8]。在大飞机关键材料方面,大型客机高性能轻合金、复合材料等也将越来越多地使用国产材料,大幅提高性能指标的同时使成本降得更低。

参考文献

- 钱占伟,耿富荣,雷发常等.汽车轻量化之白车身减重.机电工程技术,2012,41(6):133-136.
- 苏波.中国新材料产业年度发展报告(2012).北京:电子工业出版社,2013.

- 3 杨卫. 为创新驱动发展强本固基. 求是理论网, 2013-07-16. http://www.qsttheory.cn/kj/yjsk/201307/t20130716_249545.htm.
- 4 Chao Yao, Yanwei Ma, Xianping Zhang et al. Fabrication and transport properties of $\text{Sr}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$ multifilamentary superconducting wires. Appl. Phys. Lett., 2013, 102: 082602.
- 5 毕伟, 刘言. 科学家在纳米孪晶金属研究中获重要进展. 科学时报, 2010-05-06.
- 6 国家工信部. 钢铁工业“十二五”发展规划. 2011.
- 7 国家发改委高技术产业司, 中国材料研究学会. 中国新材料产业发展报告(2010). 北京: 化学工业出版社, 2011.
- 8 中国第三代核电设备和关键材料国产化水平将超80%. 新华网, 2012-03-10. http://news.xinhuanet.com/politics/2012lh/2012-03/10/c_111634000.htm.

煤炭资源清洁高效综合利用将形成新兴产业

整理撰稿人: 中科院国家科学图书馆武汉分馆先进能源团队

张军(E-mail: zhangjun@mail.whlib.ac.cn)、李桂菊、陈伟

审稿专家: 中科院广州能源所陈勇研究员



中国科学院

1 煤炭利用的未来

在传统化石能源中,煤炭占全世界能源需求总量的30%和发电量的40%。我国唯一具有储量优势的品种是煤炭,在一次能源结构中占70%左右。从目前到可预见的未来,煤炭仍然是世界和中国的主要能源。然而一方面煤炭直接燃烧技术能效较低,只有40%左右,资源利用率低下,而且煤炭的开采、燃烧过程产生了严重的污染和 CO_2 排放,对人类健康、生态环境和地球气候带来了严重危害;另一方面挥发分含量高、含水高、含氧多、易自燃、热值低的低阶煤在我国煤炭储量及产量中占了很高比例,为46%,其中褐煤为13%,低变质烟煤为33%^[1]。因此,煤炭的高效洁净转化利用是我国以煤为主的能源生产和消费结构下解决资源和环境问题的必然选择。

我国需要推进包括煤炭开采、洗选、气化、合成与精制、净化与分离、燃烧与发电、

排放物控制等清洁煤技术的研发,通过煤炭热解制油气高值化利用配套技术、低阶煤分级液化化学品核心技术以及大规模先进煤气化工业技术,实现煤炭资源的梯级利用,逐步形成煤联产电力、液体燃料、化学品、供热、合成气等规模产业。大幅提高能源利用效率和环境质量,大幅降低煤耗、水耗和 CO_2 排放,推动能源结构及经济产业结构优化调整,保障国家能源安全。

2 全球煤炭清洁高效利用进展

20世纪末开始,世界上许多国家都提出了洁净煤技术发展计划,推动了煤燃烧技术的研究开发和商业示范应用。美国从1985年开始先后部署了5轮“洁净煤发展计划(CCT)”^[2],2001年启动了700℃超超临界机组研究项目,2003年提出“未来发电”项目(FutureGen),2005年以后加强了创新性洁净煤技术的研发与示范,包括加快燃煤电

厂碳捕集与封存技术的应用以及发展 IGFC-CC 等新技术^[3]。

欧洲 20 世纪 80 年代开始开发采用奥氏体钢的超超临界机组,并在 AD700 计划(1998—2014 年)支持下建成 700℃超超临界示范电厂。2004 年,欧盟在其“第六框架计划(FP6)”中启动“氢电联产”计划(Hypogen),目标是开发以煤气化为基础的发电、制氢以及 CO₂捕集与封存的 400MW 级 IGCC 示范电厂^[4,5]。

日本洁净燃煤发电技术发展重点是超超临界、IGCC、IGFC 以及 CO₂捕集与封存技术,推出了 700℃超超临界发电技术和装备的 9 年发展计划“先进超超临界压力发电(A-USC)项目”(2008—2016 年),明确在 2015 年达到 35MPa/700℃/720℃以及 2020 年实现 750℃/700℃超超临界产品的开发目标^[6,7]。

澳大利亚 2004 年启动“COAL21”计划,将基于煤气化的发电、制氢、合成气生产及 CO₂分离和处理系统作为未来近零排放的发展方向^[8]。

加拿大制定的《2020 年洁净煤技术路线图》确定了上游选煤、燃烧、富氧燃烧、气化和化学合成 4 个研发重点和实施目标,并通过“ZECA”计划开发先进的煤制氢和 CO₂捕集分离和封存技术^[9]。

目前,在世界范围内,超超临界机组向更高参数(35MPa, 700℃)方向发展,燃气轮机向更高初温(1 500℃)发展;以煤气化为基础的 IGCC 和多联产以及煤气化-燃料电池-燃气-蒸汽联合循环等高效、清洁的发电技术得到快速发展。在加工与转化方面,煤气化技术朝着大型化、高适应性、低污染、易净化方向发展。在环保和减排方面,除尘、脱硫、脱硝和 CO₂捕集、利用与封存技术向多元化、集成化方向发展。

3 中国煤炭清洁高效利用进展

我国把洁净煤技术作为调整煤炭产业结构,提高煤炭及其加工产品价值,改善环境,实现能源工业可持续发展的战略对策。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》将煤炭的清

洁高效综合利用确定为能源重点领域的优先发展主题,提出“煤的清洁高效开发利用、液化及多联产”、“重点研究开发高参数超超临界机组,超临界大型循环流化床等高效发电技术与装备,……,燃煤污染物综合控制和利用的技术与装备等”。《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中也明确指出“推进能源多元清洁发展,发展清洁高效、大容量燃煤机组”、“控制温室气体排放,推进火电等行业二氧化硫和氮氧化物治理”。

我国能源科技“十二五”规划提出:研发适用于我国煤种的大型先进气化技术,突破 8.7MPa 高压大型水煤浆气化技术、4.0MPa 大型干粉煤气化技术(废锅或激冷式)、高压干粉煤气化技术(6.5MPa)、4.0MPa 以上固定床加压气化技术、固定床熔渣气化技术及加压流化床气化等关键技术;研发大型高效合成与精制技术,掌握高温费托合成、低温费托合成、煤直接液化、甲烷化、大型甲醇合成、大型氨合成、甲醇制乙烯和丙烯、合成气制乙二醇技术等关键技术装备;突破高效气体净化 and 分离技术,掌握年产醇(氨)百万吨以上的大型低温甲醇洗技术。

目前,我国 600℃超超临界机组数已居世界首位,机组发电效率超过 45%。具有自主知识产权的 1 000MW 级直接空冷机组已投入运行;300MW 级亚临界参数循环流化床锅炉(CFB)已大批投入商业运行,600MW 级超临界 CFB 正在开发建设。用于分布式热电冷联产的 100kW 和 MW 级燃气轮机关键技术已取得重大研究成果;具有自主知识产权气化的 250MW 级 IGCC 机组开始建设示范项目;燃煤烟气捕集 12 万吨/年 CO₂示范装置已投入运行。

中科院是我国煤炭利用及转化技术的领军机构。中科院过程工程所开展了煤炭热解拔头联产煤焦油、热解气与热电的研究,在河北建立了 10 吨/小时的工业中试平台,在新疆建立了万吨级褐煤提质技术示范;山西煤炭化学所在流化床灰熔聚工业应用、FT 合成、混合醇合成等方面形成了

技术示范能力;工程热物理所是我国循环流化床锅炉技术的主要提供单位,同时是我国研发燃气轮机、发展IGCC的重点研究单位;大连化学物理所在催化剂开发与催化工艺的研究方面形成了世界领先的许多成果。多个研究所在CO₂捕集、封存及利用方面形成大量积累。

4 未来发展目标

根据《中国至2050年能源科技发展路线图》,预计到2020年,我国大多数洁净煤利用技术将进入规模化商业应用阶段,基于先进燃烧技术的高效发电技术趋于成熟,CO₂捕集和封存技术成熟并逐步走向规模化商业应用。

至2035年,我国所有煤炭的洁净和高附加值利用技术进入规模化商业应用,大型气化剂绿色转化技术贡献率占到煤炭资源应用技术的50%以上,新型煤燃烧和发电技术的贡献率占煤炭发电应用技术的80%以上。煤的使用增速不断降低直至向不增长或负增长转变。

参考文献

- 1 Survey of Energy Resources 2010. <http://www.worldenergy.org/publications/3040.asp>.
- 2 美国洁净煤电技术发展现状. <http://www.istis.sh.cn/list/list.aspx?id=6703>.
- 3 李桂菊. 美国未来零排放燃煤发电项目最新进展. 中外能源, 2009, 14(5): 96-99.
- 4 国家能源局能源节约和科技装备司. 700℃超超临界燃煤发电机组发展情况概述(二). 2010-11-01. http://www.chinaequip.gov.cn/2010-11/01/c_13585438.htm.
- 5 国家能源局能源节约和科技装备司. 700℃超超临界燃煤发电机组发展情况概述(三). 2010-11-03. http://www.chinaequip.gov.cn/2010-11/03/c_13589053.htm.
- 6 Japan Coal Energy Center. Clean Coal Technologies in Japan. 2007-01. http://www.brain-c-jcoal.info/cctin-japan-files/english/cct_english.pdf.
- 7 Hiroyuki Kondo. IGCC, IGFC and CCS in Japan. 2008-03-31. http://www.asiapacificpartnership.org/pdf/CFE/meeting_melbourne/IGCCIGFC&CCSinJapan-Kondo.pdf.
- 8 www.australiancoal.com.au/coal21.html.
- 9 <http://canmetenergy.nrcan.gc.ca/clean-fossils-fuels/clean-coal/810>.

地球深部勘探关键技术与核心装备实现自主研发

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆兰州分馆资源与海洋团队

安培浚(E-mail:anpj@llas.ac.cn)、赵纪东

审稿专家:中科院地质与地球物理所李晓研究员

1 地球深部勘探技术与装备的科技内涵及意义

地球深部勘探作为当前大陆岩石圈探

测与流变学研究的系统工程技术,充分应用最先进的科学技术手段、提取深部基础信息、逐步揭开地球深部奥秘,为解决能源、矿产资源可持续供应、提升灾害预警能力奠定



中国科学院

了深部信息基础。深部勘探已经成为地球科学发展的前沿之一^[1]。

地球深部勘探技术与装备就是将多种高新方法技术组合集成起来,形成核心方法技术体系,建立能够穿透不同深度,精确萃取地球内部结构与物理性质的关键探测方法技术与设备组合,以及探测数据的处理、成像、解释等技术平台^[2]。通过对典型地区地球深部的探测,切开地壳上地幔,揭露内部结构,解决关键的疑难地球科学问题和资源、环境效应相关问题。

我国地球深部探测与国际先进水平相比差距巨大,深部探测的反射地震剖面仅是美国的1/13,英国的1/5,俄罗斯的1/5。中国已有矿床的勘探开采深度偏浅,实际上某些矿业打过一些矿床的勘探开采深度已达2 500—4 000m,但绝大多数都小于500m,已知矿床深部和覆盖区的矿产资源预测是中国未来找矿预测的新方向^[3]。急需新理论和新方法去探测更深部的矿产资源。

(1)深部勘探关键技术与核心装备是能源、矿产资源成藏成矿理论创新的源泉,将为资源深层突破和矿产资源开发提供坚实的技术支撑。探测地球内部结构、组成,揭示整个地球系统演变的地球动力学过程与资源、环境的联系是带动经济持续发展的重要战略。深部勘探技术与装备能够揭示地下精细结构、组成与成藏成矿控制因素,突破深层找矿瓶颈,开辟找矿“新空间”,提高对深部地层、沉积、烃源岩、温度、压力场的认识,有利于更全面、客观地探索地球深层的油气^[4],为地质勘查、地下水资源评价、矿产资源、能源等更广泛的综合研究领域提供难得的、宝贵的研究资源,为开辟深层能源与重要矿产资源远景提供科学依据与技术支撑。

(2)深部勘探关键技术与核心装备能够揭示地质灾害成灾机理和过程,为地质灾害高精度的预警预报提供依据。深部勘探技术与装备能够揭露地球深部层圈结构与动力学过程,直接为减轻和评估灾害提供有力数据。这些数据将揭示地质

灾害成灾机理和过程、重大地质灾害发生区域与深部背景,为地质灾害高精度的预警预报提供理论依据,减小地质灾害链危害的能力。

(3)深部勘探关键技术与核心装备为地球深部圈层科学理论研究提供基础的数据支撑。使用高精度的地球物理和地球化学探测技术对地球深部层圈进行更精细探测与理论模拟,揭露其内部结构、成分与物理化学性质,阐明岩石圈和深部地幔间复杂的物理-化学作用,揭示岩石圈形成与改变的物理-化学过程,恢复演变过程完整图象^[2]。当今地球科学的发展和进步对地球深部数据及认识程度的依赖越来越高,可以说没有对地球深部的探测就没有地球科学理论的进步^[5]。

2 国际地球深部勘探关键技术与核心装备研究进展

20世纪70—80年代,美国实施大陆反射地震探测计划开辟深反射地震深部探测的新方法,使探测深度和精度达到前所未有程度。此后,德国大陆反射地震计划、加拿大岩石圈探测计划、澳大利亚玻璃地球计划、美国地球透镜计划等相继展开,它们均将基于地震波原理的技术作为勘探部署的重点手段。目前,全球广泛应用深地震反射剖面技术,同时配套宽角反射与折射地震剖面 and 宽频带数字地震移动台站技术,而其他非震勘探技术,如大地电磁测深、大面积和高精度重力与磁力测量、大地热流等通常是重要辅助手段^[1,6]。前苏联和德国凭借钻探技术与机电设备研发方面的技术优势,至今仍保持着世界领先的科学钻探超深孔作业纪录——前苏联的科拉(井深12 261m)和德国的KTB(井深9 101m)。

3 中国地球深部勘探关键技术与核心装备研究的优势

中国地球深部物性探测技术渐趋成熟,建立了阵列式、大陆电磁参数标准网高精度观测方法和精细、规范化的数据处理及反演技术,达到世界

先进水平;地震勘探系统和电磁探测系统关键技术的性能已与国外相当;研制出亚洲最深的万米大陆科学钻探钻机,数字化控制等处于国际先进水平;地球三维结构和动力学模拟技术能力得到提升,建立了深部探测数值模拟平台,这也是世界上少有的岩石圈动力学模拟平台^[5]。

2008—2012年,中国实施了地球深部探测计划即深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)。我国的科学钻探机研制能力有限,远远不能满足科学钻探与固体矿产资源勘查的需求^[7]。需提升自主研发深部探测仪器装备的能力,扭转深部探测仪器长期以来依赖进口的局面,打破国外的垄断,研发具有自主知识产权的分布式自定位宽频地震勘探系统等,引领深部探测重大科研装备的突破,使我国深部探测仪器装备部分占据国际领先地位,推动地球资源探测领域科技进步。

4 未来取得突破的标志性成果与目标

研制深部勘探关键仪器装备,解决关键探测技术难点与核心技术集成,形成对固体地球深部层圈多时空尺度全面长期连续监测与数据积累,逐步形成对地球系统的立体、动态监测分析能力。研发具有大功率和大深度探测能力的深部地球物理探测仪器,大面积和高效率航空无人机探测系统,航空超导全张量磁梯度测量系统,多通道瞬变电磁勘探系统,地震勘探系统,高集成工艺和超大深度钻探装备,以及针对海量多类型数

据的移动平台综合地球物理资料处理和解释软件系统等^[6,8],是中国深部勘探研究领域急需的技术与装备。

中国地球深部勘探的“攻深找盲”关键技术与装备有望在磁传感器、海底探测系统和地磁卫星载荷3方面取得突破。在此基础上,通过与软件研发、成矿规律研究和勘探实践的紧密结合,可为中国“地下4 000m透明计划”的实施提供核心理论和探测技术装备支撑^[3]。

参考文献

- 董树文,李廷栋,高锐等.我国深部探测技术与实验研究与国际同步.地球学报,2013,34(1):7-23.
- 高锐,王海燕,张忠杰等.切开地壳上地幔,揭露大陆深部结构与资源环境效应——深部探测技术实验与集成(SinoProbe-02)项目简介与关键科学问题.地球学报增刊,2011,32(1):34-48.
- 中国科学院.科技发展新常态与面向2020年的战略选择.北京:科学出版社,2013,62.
- 董树文,李廷栋.SinoProbe——中国深部探测实验.地质学报,2009,83(7):895-909.
- 董树文,李廷栋.深部探测技术与实验研究(SinoProbe).地球学报增刊,2011,32(1):3-23.
- 黄大年,于平,底青云等.地球深部探测关键技术装备研发现状及趋势.吉林大学学报(地球科学版),2012,(42)5:1485-1496.
- 董树文,李廷栋,陈宣华等.我国深部探测技术与实验研究进展综述.地球物理学报,2012,55(12):3884-3901.
- 底青云,杨长春,朱日祥等.深部资源探测核心技术研发与应用.中国科学院院刊,2012,27(3):389-393.



中国科学院

规模化可再生能源发电及分布式电网 有望实现商业应用

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆武汉分馆先进能源团队

陈伟(E-mail: chenw@mail.whlib.ac.cn)、张军、李桂菊

审稿专家:中科院电工所齐智平研究员

1 主要科技内涵及意义

受化石能源日渐耗竭和环境保护要求的双重约束,现代社会必将面临能源的再次转型和革命,即由主要依赖化石能源逐步向可再生能源和新能源系统转变,这个转型将是一个长期的过程,可再生能源利用的主要形式是发电,而可再生能源发电的应用方式包括集中式发电如大型风电场、光伏电站、太阳能热发电电站等,以及分布式发电如屋顶光伏、分散风力发电、生物质能发电等。随着太阳能光伏发电实现平价上网、海上风电成为风能开发利用的重要方向、深层地热能将成为主要可再生能源之一等技术上实现重大突破和成本的快速下降,可再生能源规模化发展进程将加快。

要实现可再生能源规模化发展的目标,电网应具备接纳大规模可再生能源电力的能力,建立新型电网结构,发展交直流混合、集中式发电与分布式发电相结合的智能电网是实现可再生能源电力规模化发展的关键,直流电网、分布式电网、先进储能等方面的科技突破将为可再生能源电力规模化并网提供重要支撑。其中的主要科技突破包括:(1)系统性的建立未来含大规模可再生能源电力的电力系统模型,揭示其系统运行特性及规律,为系统规划设计、运行控制、能量管理、故障保护等奠定基础;(2)新型电力装备,如直流电网中电力变换与控制装备、直流保护装备等;(3)结合需求响应的电网能量管理技术,基于分布式电网、先进信息通信与智能控制技术,实现未来电网中

高效的能量管理。

2 当前世界进展

近年来,可再生能源产业在很多国家和地区强有力的政策支持下取得了巨大成就。据联合国环境规划署发布的《2012年全球可再生能源投资趋势报告》^[1]和21世纪可再生能源政策网络发布的《2012年全球可再生能源现状报告》^[2],全球已有至少138个国家制定了可再生能源发展目标,2012年可再生能源占到全球新增发电装机的一半以上,占到了全球累计发电装机容量的26%,并且供应了全球21.7%的电力。国际能源署预计,到2016年全球来自水电、风电、太阳能发电等可再生能源的发电量即将超过天然气发电,甚至是核电量的2倍^[3],而到2050年可再生能源占世界发电量的份额将达57%,成为主导能源^[4]。已有超过60个国家应用风力发电,太阳能光伏发电也快速扩展到新兴国家和地区。2012年全球可再生能源投资达到2440亿美元,比2004年增长5倍。可再生能源已在一些国家和地区发挥重要作用,在许多国家能源和电力消费中的比重不断扩大,2011年欧盟可再生能源占到终端能源消费量的13.4%,发电量占到20.6%;2012年欧盟可再生能源占到了新增电力装机的70%,而美国这一比例为50%;2012年德国可再生能源发电量满足了22.9%的用电需求;丹麦可再生能源占到能源消费总量的24%,有超过40%的电力来自于可再生能源;西班牙32%的电力来自于可再生能源。

随着可再生能源技术突破、规模化应用和成本下降,可再生能源将在未来能源领域发挥越来越重要的作用。国际社会日益重视发展可再生能源,各国政府纷纷出台低碳能源转型政策和发展战略,以应对能源环境问题和气候变化带来的各种挑战。美国奥巴马政府提出,到2035年包括可再生能源在内的清洁能源电力满足全美电力需求80%的目标^[5],并通过太阳能Sunshot计划、海上风电联合发展战略和电网现代化计划推进可再生能源和电网基础设施规模化发展。欧盟提出,到2020年可再生能源达到欧盟全部能源消费量20%的发展目标^[6],到2030年要上升至30%,并注重通过智能电网建设促进可再生能源和分布式电源的接入,带动整个行业发展模式的转变^[7]。日本在福岛核事故后,提出实施绿色能源革命,旨在将可再生能源确立为未来社会的基础能源,到2030年前可再生能源发电量要达到2010年的3倍,并通过关键技术研发和电力系统改革推进向分布式能源网络系统的变革,不断扩大使用绿色能源,实现低廉且稳定的电力供应^[8],日本已于2012年7月开始实行可再生能源固定价格收购制度,以推进在国内的大范围应用^[9]。德国实施2022年后不再使用核电的能源转型战略^[10],通过大规模开发海上风电和加快建设分布式太阳能发电解决核电退出后的电力供应问题,提出可再生能源发电量到2020年占到总用电量的35%,到2030年上升到50%,而到2050年超过80%,并大力投资电网扩张、智能电网建设和储能领域研发来保障能源转型。丹麦提出到2050年完全摆脱对化石能源依赖的宏伟战略,100%使用可再生能源^[11]。

3 中国可再生能源规模化发展目标

为适应经济发展方式转变和能源结构

调整需要,我国已将开发利用可再生能源作为国家能源发展战略的重要组成部分,提出到2015年和2020年非化石能源分别占一次能源消费比重11.4%和15%的目标。国家《能源发展“十二五”规划》提出,坚持集中与分散开发利用并举,以风能、太阳能、生物质能利用为重点,大力发展可再生能源。到2015年,风能发电装机规模达到1亿千瓦;太阳能发电装机规模达到2100万千瓦;生物质能发电装机规模达到1300万千瓦,其中城市生活垃圾发电装机容量达到300万千瓦。还要大力发展分布式可再生能源。根据资源特性和用能需求,加快风能、太阳能、小水电、生物质能、海洋能、地热能等可再生能源的分布式开发利用,到2015年,分布式太阳能发电达到1000万千瓦,建成100个以分布式可再生能源应用为主的新能源示范城市^[12],并出台了《可再生能源发展“十二五”规划》,对未来5—10年可再生能源和新能源发展做出战略性安排,还制定了《太阳能光伏产业“十二五”发展规划》、《风力发电科技发展“十二五”专项规划》、《太阳能发电科技发展“十二五”专项规划》等对光伏、风力发电重点行业进行引导。

目前,我国在风能、太阳能规模化发电、分布式可再生能源利用、分布式电网方面取得较好的研究和应用进展。我国已成为可再生能源产业发展的领先国家,可再生能源总装机量、水电、风电装机容量稳居世界第一,太阳能热水器安装量遥遥领先其他国家,光伏发电装机容量增长迅猛。2012年可再生能源占一次能源消费量比例已达10.3%,电力装机占到28.1%,发电量占比超过20%,其中风力发电量首次超过核电^[13],可再生能源已步入全面、快速、规模化发展的重要阶段。国家电网公司、南方电网公



中国科学院

司、中科院、部分高校都已在智能微电网和分布式电网方面取得了较好的研究进展,建成了一批多能互补的智能微电网和分布式电网示范系统,实现了优先就地利用可再生能源分布式电力、智能用电及智能楼宇和智能家庭,并总体提高了电网的可靠性和供电质量以及配用电效率。在此基础上,进一步在直流电网、分布式电网、先进储能等方面实现相关科技突破,将能够为我国《能源发展“十二五”规划》提出的可再生能源规模化发展目标提供有效的科学技术保障,实现大规模可再生能源安全高效利用。

参考文献

- 1 Frankfurt School, UNEP, BNEF. Global Trends in Renewable Energy Investment 2013. 2013. <http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2013>.
- 2 REN21. Renewables Global Status Report 2013. 2013. http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_highres.pdf.
- 3 IEA. Medium-Term Renewable Energy Market Report 2012 -- Market Trends and Projections to 2017. 2013.
- 4 IEA. Energy Technology Perspectives 2012. 2012.
- 5 Whitehouse. Blueprint for a Secure Energy Future. 2011. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/blueprint_secure_energy_future.pdf.
- 6 European Commission. An Energy Policy for Europe. 2007. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:EN:PDF>.

- 7 European Commission. Energy Roadmap 2050. 2011-12-15. http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/com_2011_8852_en.pdf.
- 8 The Energy and Environment Council Government of Japan. Innovative Strategy for Energy and the Environment. 2012. http://www.npu.go.jp/en/policy/policy06/pdf/20121004/121004_en2.pdf.
- 9 The Ministry of Economy, Trade and Industry. Feed-in Tariff Scheme in Japan. 2012. http://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/renewable/pdf/summary201207.pdf.
- 10 Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Transforming our energy system - The foundations of a new energy age. 2012. https://secure.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_energiewende_en_bf.pdf.
- 11 Danish government. Independent from Fossil Fuels by 2050. 2011. <http://denmark.dk/en/green-living/strategies-and-policies/independent-from-fossil-fuels-by-2050/>.
- 12 国务院. 国务院关于印发能源发展“十二五”规划的通知. 2013-01-01. http://www.gov.cn/jwzq/2013-01/23/content_2318554.htm.
- 13 国家可再生能源中心. 2012年我国可再生能源利用量. 2013-03-02. <http://www.cnrec.org.cn/cbw/zh/2013-03-02-370.html>.

废物能高效清洁利用将催生“城镇矿山”新兴产业

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆武汉分馆先进能源科技团队

李桂菊(E-mail: ligj@mail.whlib.ac.cn)、张军、陈伟

审稿专家:中科院广州能源所陈勇研究员

1 主要科技内涵及意义

大量的废物是巨大的能源库和资源库,既可直接获得新的能源,又可通过废物的循环再生利用节约资源和能源。

废物能高效清洁利用通常是指将退出生产环节或消费领域的固体物质,通过技术、经济手段与管理措施,在实现无害化处置和减少污染物排放的同时,回收大量有价值物质,提高废物综合利用率,具有公益性和经济性双重特性^[1]。目前废物能高效清洁利用主要体现在可再生资源利用、工业固废资源化利用以及垃圾与污泥资源化利用等方面。中国每年产生的生活垃圾、市政污泥、畜禽粪便、工业废渣、农林剩余物、建筑垃圾、电子垃圾等城镇固体废物超过100亿吨,如果加以有效利用,则可产生大量的热量、沼气、有机肥、生态建材等能源资源化产品,尤其其中的有机废物作为能源化利用具有巨大的潜力,同时还可回收大量纸、塑料、稀有金属和钢铁等。基于上述现状及多年的科研积累,未来废物高效清洁利用相关技术将取得群发性突破,基于物质流、能量流和经济流的循环经济模型的建立以及废物逆生产技术体系的形成,将为“城镇矿山”产业的发展奠定理论和技术基础^[2]。

2 当前世界进展

2.1 再生资源利用技术

再生资源利用主要包括:废旧金属再生利用技术、废旧电子电器拆解利用技术、废

旧机电产品再制造技术和废旧高分子材料高值利用技术等^[1]。这些技术在发达国家普遍应用。意大利开发的COS-MELT倾动炉火法技术,可直接利用废杂铜精炼生产高品质的低氧光亮铜杆,显著提高再生铜的利用水平和质量;废旧电子电器智能分选与清洁提取技术已在欧美国家和日本的再生资源企业中大规模应用;欧美国家正在积极推动将淘汰或达到使用寿命的零部件使用到新产品上去,高温喷射清洗、堆焊、热喷涂、激光等技术已广泛用于汽车、工程机械等废旧机电产品主要零部件再制造;实现废旧高分子材料全生命周期利用是国内外废物资源化技术的研究热点。

2.2 工业固废资源化技术

工业固废资源化利用主要包括:粉煤灰和煤矸石资源化利用技术、金属废渣综合处置技术、工业副产石膏综合利用技术、工业生物质废物资源化利用技术等^[1]。国外主要矿产资源品位较高,清洁选冶工艺得到普遍应用,所产生的选冶废渣有害成分含量较低,其资源化方式主要是瞄准有价值成分的高值利用;发达国家工业副产石膏产生量较小,且天然石膏价格较高,资源化方式主要是替代天然石膏生产建材,基本已经形成成熟、稳定的综合利用技术体系。

2.3 垃圾与污泥资源化技术

垃圾与污泥资源化利用包括:城市生活垃圾资源化利用技术、建筑垃圾资源化利用技术、污泥处置与资源化利用技术等^[1]。发



中国科学院

达国家在垃圾与污泥资源化处理方面进展很快。如,德国已建有55个城市生活垃圾处理与生物质燃气利用工程,不仅满足工程自身能源供给,而且正逐步形成对交通车辆和居民小区燃气利用的供给能力;欧盟国家每年的建筑垃圾资源化利用率达50%,韩国、日本已达97%左右;欧美国家污泥厌氧消化制生物质燃气技术及成套设备已相当成熟,并大规模应用。

3 中国的优势

与世界主要发达国家相比,我国废物能的高效清洁利用仍处于国际资源大循环产业链的低端,且再利用产品附加值低,利用规模与水平仍有很大的提升空间,迫切需要通过技术创新大幅度提升废物综合利用率与资源产出水平,保障国家战略资源供给安全^[3]。目前,我国已经加紧了在废物能高效清洁利用领域的研究,并启动了国家重点基础研究发展计划研究项目,如“可燃固体废物的能源化高效清洁利用机理研究”项目。

中科院在废物能的高效清洁利用研究方面具有优势,开展相关研究的单位主要有过程工程所、广州能源所、生态环境中心以及青岛生物能源与过程所等。如,过程工程所在钼铬高效清洁转化分离与过程污染控制的原创性技术研发基础上,建成世界上首套钼铬废渣全组分高值化利用1.5万吨/年生产线,实现了利用含钼废料直接生产高纯五氧化二钼产品,回收率达90%^[4];广州能源所在废弃物无害化处理及资源化利用方面已进行20多年的研究,在垃圾组分的物化特性、无害化处置及高效能源化资源化利用基础研究和示范方面取得了丰富的研究成果;生态环境中心环境化学与生态毒理学国家重点实验室是我国持久性有机污染物研究的重要基地。在二恶类的检测分析方面,仪器设备和能力都达到国际先进水平;青岛生物能源与过程所热化学转化团队近几年来一直围绕生物质、固体废物、煤等可再生资源的处置、热

化学能源化利用以及催化材料等方面开展研究工作。

4 未来标志性目标或成果

根据《废物资源化科技工程“十二五”专项规划》,预测到2015年,我国主要金属再生产量将突破1200万吨,相当于进一步降低对外依存度10%—15%。近年来,我国废物资源化产值以每年10%—20%的速度增长,2010年实现产值超过1万亿元,约占节能环保产业总产值的60%以上,通过废物的能源化与资源化利用关键技术、城市及农业固体废物的厌氧发酵联产氢和甲烷关键技术、城市污泥微生物发电技术与装备研制、混合可燃固体废物的富氧热解气化技术与气体净化调质技术、城市家居可燃固体废物的先进热解燃烧锅炉技术、地沟油制备生物柴油技术以及工业废物制生物丁醇技术等的突破,预计到2015年我国废物资源化产值将达到2万亿元。

未来30年内,世界80%的地下矿产资源将转移到地上,废物能源化资源化利用为全球提供的原料将由目前占原料总量的30%提高至80%^[5]。

参考文献

- 1 科技部等. 废物资源化科技工程“十二五”专项规划. 2012. <http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gwy/201206/W020120619583569108709.pdf>.
- 2 中国科学院. 科技发展新态势与面向2020年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013.
- 3 七部门合力推动“十二五”废物资源化产值达2万亿. 再生资源与循环经济, 2012, (09): 31.
- 4 院士解读《废物资源化科技工程十二五专项规划》. 资源再生, 2012, (06): 22-24.
- 5 钱易, 温宗国. 加强废物资源化 促进循环经济发展. 中国科学报, 2012-06-13. http://news.tsinghua.edu.cn/publish/news/4215/2012/20120613142140602622308/20120613142140602622308_.html.

区域高压直流电网将建成

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆武汉分馆先进能源团队

张军(E-mail:zhangjun@mail.whlib.ac.cn)、陈伟、李桂菊

审稿专家:中科院电工所肖立业研究员

1 高压直流电网技术是适应规模化可再生能源发电的关键

中国可再生能源发电具有大规模发展的资源基础,将在未来发挥主流甚至主导能源的作用。据统计,每年全国陆地接收的太阳辐射总量相当于24 000亿吨标煤。离地10米高的风能资源总储量约为32.26亿千瓦,可开发利用风能储量约10亿千瓦。水能资源理论蕴藏量近7亿千瓦,占中国常规能源资源量的40%。

截至2011年底,全国并网可再生能源发电装机容量达到5 159万千瓦,占总装机容量的4.89%,其中并网风电4 505.11万千瓦,约占并网可再生能源发电装机的87.33%;并网太阳能光伏装机214.30万千瓦,约占4.15%。2011年我国并网可再生能源发电量933.55亿千瓦时,约占总发电量的2%。其中并网风电发电量为731.74亿千瓦时,约占并网可再生能源发电量的78.38%;并网太阳能发电量9.14亿千瓦时,约占0.98%^[1]。

但受限于电力系统消纳能力,大部分可再生能源未得到有效利用,甚至出现“弃风”、“弃光”现象;另一方面风电、太阳能等可再生能源发电具有间歇性、波动性、分散性的特点,其发电模式完全不同于常规能源发电模式。随着我国可再生能源基地建设步伐的日益加快和规模的迅速扩大,现有的交流电网越来越难以消纳,传统的电力装备、电网结构和运行技术等在接纳超大规模

可再生能源方面也越来力不从心,对电网动态安全稳定带来革命性挑战。为此必须采用新技术、新装备和新电网结构来满足未来能源格局的深刻变化。

基于常规直流及柔性直流的多端直流输电系统和直流电网技术是解决这一问题的有效技术手段之一。近年来,直流输电网技术研究得到了越来越多的关注,欧洲和美国等发达国家和地区已经启动了直流电网的建设和相关技术研发。实现电网从交流运行模式向交直流组合运行或完全直流运行模式的转变,将提高电网的安全性、稳定性,并对能源生产、输配和利用方式、电气行业的产业结构产生重大影响,孕育一批高新技术产业。

2 中国高压直流电网发展与技术需求

中国高压直流电网技术发展起步较早。1990年8月,葛洲坝—上海南桥±500千伏直流输电工程建成,这是我国第一项大型直流输电工程。工程输送距离1 054公里,额定输送容量120万千瓦。之后又陆续建设了三峡—常州、三峡—上海、三峡—广东±500千伏直流输电工程,直流线路全长2 900余公里。

近年来以建设强交强直的交直流互联电网架构为指导思想,我国开始推动特高压直流输电工程建设。2010年7月8日向家坝—上海特高压直流输电示范工程成功投运,并正在推进锦屏—苏南、哈密—郑州、溪



中国科学院

洛渡—金华等特高压直流输电工程建设。根据国家电网规划,拟构建华北—华东—华中1 000kV交流主网架,与西北和东北送端电网通过直流异步相联,所需的区外来电分别通过特高压直流和特高压交流输入。山西、蒙西、陕北、宁夏、锡盟等大型煤电、风电和四川水电以及沿海核电通过特高压交流接入,西北、东北等地大型煤电、风电和西南大型水电通过特高压直流输电通道送入^[2]。

中国现有电网以交流为运行模式,已经形成一个庞大与之相适应的电工与电气装备制造产业链。在以直流为主导运行模式的电网研究上,中科院电工所对我国未来直流电网建设的合理性、网络架构和广域可再生能源资源互补利用模式及超导直流输电技术等开展了研究,并启动了基于多种能源互补(含多种储能系统)的直流电网示范系统的建设,建成了360米、万安培级的超导直流输电示范工程。

从未来发展来看,我国要在直流电网的理论体系和关键技术等方面实现系统性整体突破,还需要解决一批关键科技问题:在信息层面,包括新型高性能传感器及其网络、功率预测与预报技术、广域海量数据快速传输、直流电网的建模与仿真技术、直流电网云计算和海计算技术、广域直流网通用信息平台的构造及信息安全技术等;在物理层面,包括电网的演化及未来直流电网的构造、直流电网的安全稳定性理论、新型电力电子器件、高压大功率电力电子装备、直流断路器及限流技术、广域直流网协调调度与优化运行控制、故障定位与网络重构、分布式电网及其接入、储能技术、超

导电力技术、新型电工材料等。

3 未来发展目标及可突破的技术点

发展直流电网来解决中国未来可再生能源规模接入电网的问题是紧迫的任务。预计中国将在直流电网基础理论和多端直流输电技术方面取得突破,并在西北部可再生能源资源丰富地区建成区域直流电网,实现区域可再生能源的规模化应用,提高可再生能源的比例。

根据《国家能源科技十二五发展规划》,“十二五”期间,主要的柔性交流输电FACTS装置实现国产化;研制成短路故障限流器、直流断路器、电力电子变压器、超导储能系统、超导直流输电等示范系统;VSC-HVDC直流换流器在100kV系统得到应用。

我国直流电网发展的预期目标是:在2020年前,建立与中国国情相适应的直流电网理论体系和技术体系以及标准体系,全面突破直流电网的关键技术,为今后中国新一代电网发展奠定坚实基础。

未来电网向直流运行模式的革命性转变,将催生大量的科技创新机遇和一大批战略性新兴产业,直流电网科技的系统性突破,将为中国未来清洁能源体系的整体建立提供技术保障。

参考文献

- 1 中国电力企业联合会统计信息部.2011年电力工业统计快报,2012.
- 2 刘振亚,张启平.国家电网发展模式研究.中国电机工程学报,2013,33(7):1-10.

载人航天、嫦娥工程及其他空间 重大工程将产生重大突破

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆总馆空间科技团队

王海名(E-mail: wanghaiming@mail.las.ac.cn)、王海霞、杨帆

审稿专家:中科院空间中心吴季研究员

最近 20 年,我国相继实施了若干项空间重大工程并取得了丰硕成果,引起了国际空间界的高度关注。2007—2012 年,我国载人航天工程航天员出舱活动和交会对接任务获得圆满成功,“嫦娥一号”、“嫦娥二号”卫星成功发射,以“北斗”导航系统和高分辨率对地观测系统为代表的各类应用卫星成功在轨实施。我国正稳健地从空间大国向空间强国迈进。

1 载人航天工程

国际空间站(ISS)在 2011 年主体建造完成后进入了全面应用阶段。截至 2013 年 9 月,ISS 各主要参与国和国际组织已经利用 ISS 开展了生物学与生物技术、地球和空间观测、人的研究、物理学、技术试验和教育等 6 大领域、近 1 800 项研究项目。作为迄今为止世界上功能最为完善的空间科学研究与实验平台,ISS 将继续支持大规模、多学科的研究和探索活动,成为科学研究和探索的前沿阵地。

中国载人航天工程于 1992 年由中国政府批准实施,是我国航天史上规模最大、系统最复杂、技术难度和安全可靠性要求最高的跨世纪大型系统工程^[1]。

中国载人航天实行“三步走”的发展战略。工程第一步是发射载人飞船,建成初步配套的试验性载人飞船工程,开展空间应用实验。第二步是突破航天员出舱活动技术、

空间飞行器的交会对接技术,发射空间实验室,解决有一定规模的、短期有人照料的空间应用问题。“神舟十号”任务完成后,工程第二步第一阶段目标圆满完成,转入以发射空间实验室为主要内容的第二步第二阶段。第三步是建造空间站,解决有较大规模的、长期有人照料的空间应用问题^[2]。

中国空间站将在 2020 年前后建成,预计在轨运营持续 10 年。未来,中国空间站的应用有效载荷将由数量众多的空间科学实验平台、数项具有国际竞争力的重大研究设施以及用于特定空间科学研究领域的独立载荷组成。空间站的应用方向则囊括了航天医学、空间生命科学与生物技术、微重力流体物理与燃烧科学、空间材料科学、微重力基础物理、空间天文与天体物理学、空间环境与空间物理、地球系统科学、空间应用新技术、航天器技术等领域。中国自主建设的这一规模较大、长期有人参与的国家级空间实验室,将成为继国际空间站之后世界载人航天空间科学研究与应用的又一重要平台。

借助于中国空间站,未来我国在空间科学前沿探索的重点领域有望获得若干具有国际影响的重大发现,进入世界先进行列,提升我国空间科学整体水平。随着中国空间站工程的不断实施,越来越多的国家和组织已经表达了参与合作的意向,中国空间站



中国科学院

有望成为空间探索活动国际合作的下一个成功典范^[3]。

2 嫦娥工程

人类要迈向更遥远的深空探索整个宇宙,探索月球是必需经历的过程。我国首个月球探测计划“嫦娥工程”于2003年启动,按照“绕、落、回”三步走的方案实施。首先发射环绕月球的卫星,深入了解月球;接着发射月球探测器,在月球表面进行实地探测;最后送机器人上月球,建立观测站,实地实验采样并返回地球,为载人登月及月球基地选址做准备。整个计划需要20年的时间^[4,5]。

“嫦娥一号”和“嫦娥二号”任务的圆满完成标志着“嫦娥工程”第一阶段战略目标已经实现。“嫦娥三号”探测器将于2013年底发射,实施“嫦娥工程”第二期。届时,探测器将携带月球软着陆器,在月球上实现软着陆并进行首次自动巡视勘测。“嫦娥工程”二期的总体科学目标包括:月球形貌与地质构造调查,月表物质成分和可利用资源调查,月球内部的结构研究和日-地-月空间环境探测与月基天文观测。二期工程将产生大量的技术创新成果,不仅可以应用于其他航天工程,还可以应用在天文观测、人工智能、微电子等民用领域,为建设创新型国家提供技术支持。

后续“嫦娥工程”三期主要科学目标包括对着陆区的现场调查和分析及月球样品返回地球以后的分析与研究,研究月球和地月系统的起源和演化,深化对地月系统起源与演化的认识。完成嫦娥工程三步走规划,中国将成为世界上第三个,继美国和前苏联之后,将月球土壤样品带回地球的国家。

3 北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统是我国自行研制的全球卫星定位与通信系统。我国按照“三步走”的发展规划部署“北斗”卫星导航系统。第一步,在1994年启动北斗卫星导航试验系统(第一代系统),2000年形成区域有源服务能力。第二步,在2004年启

动北斗卫星导航系统(第二代系统)建设,2012年形成区域无源服务能力。第三步,在2020年北斗卫星导航系统实现全球无源服务能力。

未来10年,北斗卫星导航系统将全面建成,导航定位和授时服务实现自主的全球覆盖能力,建成维护中国主权利益与安全的自主卫星定位系统,成为与美国全球定位系统(GPS)、欧洲伽利略系统、俄罗斯格罗纳斯(GLONASS)系统并立的4大全球导航定位系统之一。目前北斗二代的芯片已经相继推出,已经向亚太大部分地区正式提供连续无源定位、导航、授时等服务,其巨大的商业价值正逐步显现。随着2020年北斗卫星导航系统的建成,该系统在我国测绘、交通、应急救援和国家安全等诸多领域将逐步发挥重要作用^[6,7]。

4 高分辨率对地观测系统

对地观测系统即从空间对地球进行观测的系统,是20世纪地球科学进步的一个突出标志。目前世界各国都在努力发展本国的空间对地观测技术,其中以美国、法国、德国、俄罗斯等国家的技术最为先进,日本、印度、欧空局等国家和地区也发射了对地观测卫星^[8]。

中国高分辨率对地观测系统重大专项是《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》部署的16个重大科技专项之一。该专项工程由天基观测系统、临近空间观测系统、航空观测系统、地面系统、应用系统等组成,目标是到2020年建成基于卫星、平流层飞艇和飞机的高分辨率先进观测系统。高分辨率对地观测系统于2010年5月正式获准实施,2012年进入全面建设阶段,计划在“十二五”期间发射5—6颗观测卫星。高分专项的第一颗卫星“高分一号”已于2013年4月26日成功发射^[9]。

未来中国将建成高分辨率对地观测系统,形成新的高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率的自主对地观测能力,为中国现代农业、防灾减灾、资源环境、公共安全等重要领域提供信息服务和决策支持,满足国家经济建设和社会发展需求,

并促进我国空间基础设施建设,培育卫星应用企业集群和产业链,推动卫星应用和战略性新兴产业发展,以满足国家安全需要^[10]。

参考文献

- 1 戚发轫. 中国载人航天发展回顾及未来设想——2010 年空间环境与材料科学论坛大会讲话. 航天器环境工程,2011,01:1-4.
- 2 张柏楠,戚发轫. 中国载人航天技术的历史性跨越. 航天器工程,2008,05:1-6.
- 3 张庆伟. 中国载人航天工程成就述评及未来展望. 中国航天,2003,11:4-8.
- 4 欧阳自远. 中国嫦娥工程进展(上). 图书馆杂志,2008,11:81-88.
- 5 欧阳自远. 中国嫦娥工程进展(下). 图书馆杂志,2008,12:81-86.
- 6 谭述森. 北斗卫星导航系统的发展与思考. 宇航学报,2008,02:391-396.
- 7 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战. 测绘学报,2010,01:1-6.
- 8 王毅. 国际新一代对地观测系统的发展. 地球科学进展,2005,09:980-989.
- 9 童庆禧. 关于我国空间对地观测系统发展战略的若干思考. 中国测绘,2005,04:46-49.
- 10 李海峰,郭科. 对地观测技术的发展历史、现状及应用. 测绘科学,2010,06:262-264.



中国科学院

空间科学卫星形成系列,可望在空间科学前沿 取得原创性重要发现

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆总馆空间科技团队

王海霞(E-mail: wanghx@mail.las.ac.cn)、杨帆、王海名

审稿专家:中科院空间中心吴季研究员

自发射第一颗人造卫星以来,我国航天技术已有很大发展,加速发展空间科学的基本技术条件已经具备。同时,我国科学家长期使用国外科学卫星探测数据,已经建立了初步的空间科学研究队伍^[1]。但除了在返回式卫星系列、实践系列、神舟系列、嫦娥系列中的少数几颗卫星及双星计划中开展了部分空间科学实验外,明显缺少自主科学卫星计划和第一手的探测数据,原创性的科学发现极少,原创性的科学思想不能快速、直接

地得到验证。空间科学卫星计划对空间技术发展的独特的牵动和引领作用尚未充分发挥出来。

为保证我国空间科学的可持续发展,缩小并尽快弥补我国在前沿基础科学发现和具有潜在应用意义的空间知识创新方面与国外的差距,为我国空间技术的发展注入新的活力,中科院于 2011 年 1 月启动了空间科学战略性先导科技专项,并已部署了一系列科学卫星任务的研制工作。

1 硬X射线调制望远镜

1.1 科学目标

研究黑洞的性质及极端条件下的物理规律,开展宽波段X射线(1—250 keV)巡天观测,探测大批被尘埃遮挡的超大质量黑洞和未知高能天体,研究宇宙硬X射线背景辐射的性质;对重要天体进行宽波段、高灵敏度的定点观测,测量其时变和能谱特性,研究致密天体和黑洞强引力场中动力学和高能辐射过程。

1.2 国际发展现状

目前在轨运行的具有硬X射线观测能力的望远镜包括欧空局(ESA)于2002年发射的“国际 γ 射线天体物理实验室”(INTEGRAL),美国国家航空航天局(NASA)分别于2004年和2012年发射的“雨燕”(Swift)和“核光谱望远镜阵列”(NuSTAR),此外日本和印度也计划在2013—2014年间发射“新X射线天文望远镜”(Astro-H)和ASTROSAT卫星。

1.3 中国已有基础和工程进展

硬X射线调制望远镜(HXMT)建立在我国学者对硬X射线成像技术的原始性创新和成熟可靠的探测器技术基础之上,一旦发射将取得原创性重要成果。现已完成有效载荷系统地面样机研制,成功进行了气球飞行检验。此外,我国已发展成熟的“资源二号”卫星平台的主要性能完全满足HXMT卫星的要求^[2]。作为我国第一颗天文学卫星,HXMT于2011年3月正式工程立项,现处于初样阶段后期,将于2013年底转入正样阶段。

2 量子科学实验卫星

2.1 科学目标

进行星地高速量子密钥分发实验,并在此基础上进行广域量子密钥网络实验,以期在空间量子通信实用化方面取得重大突破;在空间尺度进行量子纠缠分发和量子隐形传态实验,开展空间尺度量子力学完备性检验的实验研究。为实现上述科学目标,卫星将在轨开展星地高速量子密钥分

发、广域量子密钥网络、星地量子纠缠分发和地星量子隐形传态4项实验。

2.2 国际发展现状

欧洲在该研究领域表现卓越。ESA从2002年开始资助了一系列量子通信领域的研究,在2007年创下单光子纠缠传输距离达144公里的最新纪录^[3],并向欧洲生命与物质科学空间计划(ELIPS)提出利用国际空间站作为量子通信中继站的Space-QUEST项目建议^[4]。2008年,另一欧洲团队首次识别出从地球上空1500公里处的人造卫星上反弹回地球的单批光子,实现了空间绝密传输量子信息的重大突破。2012年,德国科学家成功构建世界首个初级量子网络,并使远程纠缠保持了约100微秒^[6]。

2.3 中国已有基础和工程进展

我国科学家在该领域的成就非常突出,有望率先实现广域量子通信。2005年至今,中科院研究团队在国际上首次实现了距离大于垂直大气层等效厚度的自由空间双向纠缠分发^[7]、16公里自由空间量子态隐形传输、百公里量级的自由空间量子态隐形传输和双向纠缠分发。2013年初,又在国际上首次成功完成了全方位的星地量子密钥分发地基验证试验,为未来实现基于星地量子通信的全球化量子网络奠定了坚实的技术基础^[8]。目前,量子科学实验卫星工程已进入初样研制阶段。

3 暗物质粒子探测卫星

3.1 科学目标

寻找暗物质湮灭的证据,通过高分辨测量高能电子和 γ 射线的能量和方向,确认暗物质粒子存在的证据并研究其物理特性,包括暗物质的质量及其在空间的分布;通过测量TeV以上的高能电子能谱,研究宇宙线起源;通过测量宇宙线重离子能谱,研究宇宙线传播和加速机制。

3.2 国际发展现状

2006年“钱德拉X射线望远镜”(Chandra)对两个星系团合并现象的观测结果被认为是暗物质

存在的直接证据。“费米伽马射线空间望远镜”(Fermi)、“反物质探测和轻核天体物理学载荷”(PAMELA)和南极长周期气球项目“先进薄电离量能器”(ATIC)都进行了暗物质粒子空间探测实验,但由于观测结果的精度有限,均未证实暗物质粒子的存在^[9]。2013年4月,“阿尔法磁谱仪”(AMS-02)项目宣布发现在宇宙射线流中正电子的比率与理论预期有所超出,预示着可能存在新的科学发现^[10]。

3.3 中国已有基础和工程进展

近年来,我国在暗物质方面的研究相当活跃,在理论研究和数值模拟以及基于国际合作的实验研究方面都已取得了一些显著的成果。如,曾利用ATIC与外国同行合作发现宇宙电子在3 000亿—8 000亿电子伏能量区间存在“超”^[11]。中科院已经完成了暗物质粒子探测卫星项目的前期科学目标研究和关键技术攻关预研究,2013年4月,卫星工程正式转入初样研制阶段。

4 “实践十号”

4.1 科学目标

利用我国成熟的返回式卫星技术,紧密围绕国家科技战略目标,结合国家重大需求,促进地面生物工程、新材料等高技术发展和基础物理、生命科学等基础研究取得突破,推动我国空间微重力科学和空间生命科学的发展。

4.2 国际发展现状

近30年来,载人和无人飞船、空间站和航天飞机上进行了大量微重力科学实验。20世纪90年代后期,随着国际空间站的建设,美国、欧洲、日本等国际空间站的主要成员纷纷制定了在轨研究战略计划,研究领域主要集中在微重力流体物理及相关的燃烧学、材料科学、生物技术等前沿领域,研究计

划将至少持续到2020年左右^[12]。迄今已取得大量成果,例如国际空间站上的材料实验结果已用于了解和测定聚合物以及太阳能电池阵列材料在太空环境下如何退化,航天飞机上曾设计出具有重要商业影响的玻璃成型金属合金和金属玻璃等。

4.3 中国已有基础和工程进展

1987年起,我国科学家利用返回式卫星和实践系列卫星开展了相关微重力科学实验,如双层不混溶液体的马兰哥尼(Marangoni)对流和热毛细对流、沸腾传热、多孔可燃材料闷烧特性研究等实验,成为具备自主空间科学实验能力的少数几个国家之一,极大地提升了我国在相关领域的国际影响力和地位。近年来在微重力流体物理、空间材料科学、空间生物力学等方面取得的一批创新性研究成果也受到国际同行的重视,有些技术已步入国际先进行列^[13]。2013年9月,“实践十号”卫星工程进入工程初样研制阶段。

5 “夸父计划”

5.1 科学目标

太阳作为太阳系的主导天体,对各大行星和行星际空间起着举足轻重的作用。太阳在不同时间尺度上的变化,影响着人类的生存环境和日益依赖的技术系统。“空间天气”的研究,是在探索理解太阳变化,能量爆发和传播的基础上,有效地掌握太阳影响地球空间环境的物理规律。

“夸父计划”将对空间天气现象进行整体性、连续性的探索。处在地球前端的“夸父A”星,将对太阳风起源和日冕物质抛射进行多层次的成像观测,并追踪等离子体物质进入行星际后的传播和加速加热过程,以期给出太阳对地球空间环境的驱动。通过国际合作实现的“夸父B”由绕地球极轨运



中国科学院

行的双星组成,着重观测地球磁层和大气对太阳风驱动响应及产生的空间天气效应。通过对日地空间系统物质和能量的传输与耦合过程的探索,“夸父计划”将极大地提高人们对“空间天气”现象的认知。

5.2 国际发展现状

20世纪90年代开始,人们逐渐认识到把日地系统整体作为一个有机因果链进行研究的重要性。目前人类在日地空间部署了10余颗卫星,其重点是对空间天气因果链的某一段物理过程进行研究。以SOHO、Cluster/Double Star为代表的实验卫星在这类研究取得了突破性进展。以“夸父”为代表的对空间天气的整体同时开展监控的卫星项目尚属首次。整体研究对澄清因果关系,强化定量性和可预报性有着极为重要的意义,是空间天气成为系统实验科学的关键一步。

5.3 中国已有基础及展望

SOHO计划和IMAGE计划的实施给人类在“夸父A”和“夸父B”星轨道运行科学卫星奠定了坚实的技术基础,勾勒出了较为清晰的科学前沿。

“夸父计划”有待突破的科学技术问题如:(1)对日冕过渡区的多光谱、高精度成像;(2)利用“能量中性原子”成像技术对太阳和太阳风扰动成像;(3)利用紫外波段在极高轨分辨极光弧,并对之连续成像。虽然尚未系统地在空间实现过,但与之相关的关键技术已经比较成熟,大部分已被我国所掌握。

“十二五”末至“十三五”期间,我国将相继发射上述空间科学卫星,在黑洞、量子科学完备性检验、暗物质粒子性质与空间分布、微重力条件下物质运动规律和生命活动规律以及太阳爆发对地球空间环境的影响等方面将取得重要研究成果,使这些研究领域的水平跻身世界前列。

参考文献

- 1 潘锋,孙丽琳. 先导专项推动空间科学跨越发展. <http://news.sciencenet.cn/sbhtmlnews/2011/5/243924.html>. 2013-05-02.
- 2 硬X射线调制望远镜项目介绍. <http://www.hxmt.cn/chinese/engineering/intro.php>.
- 3 R. URSIN, F. TIEFENBACHER, T. SCHMITT-MANDERBACH et al. Entanglement-based quantum communication over 144km. *Nature Physics*, 2007, 3:481-486.
- 4 Thomas Scheidl, Rupert Ursin. Space-QUEST: Quantum Communication Using Satellites. *Proc. International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS) 2012*, <http://icsos2012.nict.go.jp/pdf/1569587957.pdf>.
- 5 P. Villoresi, T. Jennewein, F. Tamburini et al. Experimental verification of the feasibility of a quantum channel between Space and Earth. *New J. Phys.*, 2008, 10:033038.
- 6 Quantum internet: Physicists build first elementary quantum network. <http://phys.org/news/2012-04-quantum-internet-physicists-elementary-network.html>, 2012-4-11.
- 7 印娟, 陈宇翱, 彭承志等. 中国科学家实现百千米量级自由空间量子隐形传态与纠缠分发. 2013 科学发展报告. 北京: 科学出版社, 2013, 111-115.
- 8 吴长锋. 我成功验证星地之间安全量子信道可行性. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2013-05/03/content_201651.htm?div=-1. 2013-05-03.
- 9 常进. 暗物质粒子探测: 意义、方法、进展及展望. *工程研究——跨学科事业中的工程*, 2010, 02(2): 95-99.
- 10 CERN. AMS experiment measures antimatter excess in space. <http://press.web.cern.ch/press-releases/2013/04/ams-experiment-measures-antimatter-excess-space>. 2013-04-03.
- 11 J. Chang, J. H. Adams, H. S. Ahn et al. An excess of cosmic ray electrons at energies of 300-800 GeV. *Nature*, 2008, 456, 362-365.
- 12 国家自然科学基金委, 中国科学院. 未来10年中国学科发展战略: 空间科学. 北京: 科学出版社, 2012, 27.
- 13 胡文瑞, 龙勉, 康琦. 中国微重力流体科学的空间实验研究. *科学通报*, 2009, 54(18): 2615-2626.

新原理航空发动机样机有望研制成功

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆总馆空间科技团队

郭世杰(E-mail: guoshj@mail.las.ac.cn)、王海名

审稿专家:中科院院士、中科院工程热物理所徐建中研究员

航空发动机是抗高温高压、高转速、重量轻、可靠性高、寿命长、可重复使用、经济性好的高科技产品,其研制耗资多、周期长、技术难度大,具有非常高的行业准入条件。作为飞航导弹、无人机、战斗机等飞行器性能的决定因素之一,航空发动机在现代战争中是决定能否夺取制空权、可左右战争胜负的重要因素。此外,民用航空发动机是民用航空发展的重要基础,是民航运输高效安全的重要保障。掌握航空发动机关键核心技术关系国防安全、民生环境和航空强国地位,是一个国家科技水平、军事实力和综合国力的重要标志之一。研制高推重比的新原理航空发动机,尽快缩小我国与世界先进水平航空发动机的差距,成为我国航空发动机研制面临的紧迫任务^[1]。

1 推重比:航空发动机最重要的技术性能指标

推重比是指发动机的推力与自身重量之比,它直接影响到军用飞机的最大飞行速度、升限、任务载荷和机动性。高推重比是航空发动机研制人员不懈追求的目标,是航空发动机最重要的综合性指标。

国际上将具备超音速巡航能力、隐形、超机动能力及超级信息优势的战斗机划为第四代战斗机(美国标准,相当于俄罗斯标准的第五代),其配装的发动机的推重比要求达到10一级。目前公认的推重比为10一级的航空发动机有:欧洲联合研制的EJ200

涡扇发动机、法国M88系列涡扇发动机、俄罗斯AL-41F涡扇发动机以及美国的F119、F120、F135和F136发动机^[2]。然而,只有美国的推重比10系列发动机真正服役于第四代战斗机。

美国于1988年开始实施“综合高性能涡轮发动机技术计划”(IHPTET),2005年开始全面实施其后续的“经济可承受多用途先进涡轮发动机计划”(VAATE)。IHPTET计划的目标是使发动机的推重比提高1倍,实际至2005年计划结束仅提高70%。VAATE计划提出的目标为:至2017年计划结束,使大型涡扇/涡喷发动机的推重比较2000年水平提高200%,达到20一级,耗油率降低25%,费用降低60%,经济可承受性较F119发动机提高10倍。从目前的研制情况看,VAATE计划并未实现其2010年推重比达到16的目标。为了同美国竞争,英国、意大利、德国共同参与实施了“先进核心军用发动机计划”的第二阶段(ACME-II),英、法联合实施了“先进军用发动机技术计划”(AM-ET),北大西洋公约组织、俄罗斯也都制定了类似计划,提出了发展高推重比航空发动机的目标^[3]。然而,从目前各类计划实施的具体情况来看,各国在计划目标的实现上都面临着巨大的困难,而在推重比指标方面则更为显著,亟需探索新原理、新方法、新技术,突破技术瓶颈,大幅提高航空发动机综合性能。



中国科学院

2 中国正在研制第三代和第四代发动机

我国航空发动机研制经历了仿制、改进,已逐步进入自主研发的阶段。2002年我国第一个按国家军事标准自主研发的“昆仑”涡喷发动机设计定型;2003年“秦岭”涡扇发动机完成国产化并通过技术鉴定;2004年改进研制的涡喷发动机定型投产。目前我国正在研制的“太行”发动机(WS-10)和第四代军用涡扇发动机(WS-15)的推重比分别为8和10左右,属国际上第三代和第四代发动机。其中WS-10是我国第一台自行研制的具有自主知识产权的大推力加力式涡轮风扇发动机,2006年设计定型;WS-15的研究也取得了突出进展^[4]。

3 新原理航空发动机研究进展

除了传统的涡轮喷气发动机和涡轮风扇发动机外,国际上还出现了多种非常规型航空发动机,主要包括:适用于超声速(0—5马赫)巡航导弹、无人机的脉冲爆震发动机(PDE);适用于高超声速(6—25马赫)巡航导弹、空天飞机的超燃冲压发动机以及包括涡轮/冲压组合(TBCC)和火箭/冲压组合(RBCC)在内的组合发动机等。追求速度是人类飞行持之以恒的目标,高超音速推进系统也被认为是继螺旋桨、喷气推进后世界航空推进史上的“第三次革命”。美、俄、英、法、日、印等国在这方面的研究已持续多年,涉及的计划或项目主要有X51A、HyFly、HTV、Needle、VLL-expert、Skylon和HAHV等。以美国为例,X51A采用的动力装置为超燃冲压发动机,共进行了4次飞行试验,最高飞行速度达到5.1倍音速,没有达到6倍音速的设计飞行速度;HyFly项目主要涉及亚燃/超燃双模冲压发动机技术,但其3次飞行试验均未取得成功,未能对双模冲压发动机技术进行验证;HTV项目中的Blackswift技术验证机的推进系统为2台使用JP-7碳氢燃料的TBCC,但随着2009年Blackswift项目的取消,该推进系统的研制工作也限于停滞状态。迄今为止,上述的非常规型发动

机均未研制成功。

我国多个高校和科研院所也对这些非常规型航空发动机技术开展了研究,有的已进入原理样机或工程样机阶段。

此外,与上述发动机不同,基于自主创新的新型增压原理,通过系统发展压缩系统气动、结构设计方法,构建新的高推重比航空发动机技术体系,中国将很有可能研制出新原理航空发动机,在国际上首次实现推重比15以上样机的演示实验。

4 未来可突破的科学技术问题及展望

我国航空发动机技术发展正迎来历史性发展机遇。经过60年的建设,中国航空动力研究已具备一定的技术和物质基础,形成了较强的试验能力和制造加工能力,培养锻炼了一支高素质科技队伍;我国的工业基础有了很大增强,使得航空动力行业能够得到更多的研发经费和基础技术支持。此外,加快航空动力发展,根治飞机“心脏病”,已经引起决策层的高度重视,航空动力已经列入国家高科技重点工程,并有望被列为国家重大专项。

但我们也必须清醒地认识到,航空发动机技术是一个多学科的科学技术体系,具有较大难度,与发达国家相比,我国的航空发动机仍处于相当落后的状态,在工业基础、管理模式、航空动力研制规律认识等方面还存在很大差距,在赶超世界航空发动机先进水平方面仍然面临着严峻挑战。

基于对国内外航空发动机技术发展的分析,有必要加强这方面的基础研究,走一条与国外不同的技术路线。经过深入的分析,从气体动力学角度发现在航空发动机最重要也是质量最大的叶轮机械上有很大的改进余地。也就是说,可以采用不同于以往的增压方式,大幅度提高压缩系统单级增压比,从而大大减少压缩系统的级数与长度,在相同热力参数条件下大幅提高发动机的推重比。要实现新原理发动机的研制目标,需进一步深入开展基础研究,完善压缩系统增压与流动

控制理论,重点解决压缩系统增压机理、叶轮机机械级间非定常干涉机制等,逐步形成发动机基础研究体系;需大力加强关键技术攻关,发展压缩系统气动、结构设计方法,突破发动机部件匹配工作机制、热端部件流热固耦合设计技术、发动机多变量控制技术,开发高性能计算方法和高效试验技术,形成技术储备,构建新的高推重比航空发动机技术体系。

展望未来,一旦高推重比航空发动机的研制获得成功,将为我国高速巡航导弹、高机动性能战斗机、临近空间飞行器等提供高性能动力保障,从而改变中国航空发动机技术落后、新型飞行器的研制受制于人的状况。长期来看,航空发动机技术的突破,还将有效满足我国战斗机更新换代的需求,带动我国战斗机性能的巨大飞跃,提升我国作

为航空大国的地位。同时,随着持续的经济增长、日益增多的贸易活动、不断增长的个人财富以及市场自由化进程,我国民用航空运输业即将进入繁荣期,具有自主知识产权的高性能航空发动机技术的突破,也对我国民用航空运输业具有巨大的经济意义。

参考文献

- 1 程礼.中国航空发动机弱在哪儿.中国青年报,2011-07-29日, http://zqb.cyol.com/html/2011-07/29/nw.D110000zgqnb_20110729_1-09.htm.
- 2 刘大响,彭友梅.航空动力技术新进展.2007高技术发展报告.北京:科学出版社,2007.
- 3 陈懋章.风扇/压气机技术发展和对今后工作的建议.航空动力学报,2002,17(1):1-15.
- 4 曲婉,穆荣平等.中国航空航天器制造业国际竞争力评价.2007高技术发展报告.北京:科学出版社,2007.



中国科学院

以载人深潜器为标志的深海探测勘察技术 将实现跨越发展

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆兰州分馆资源与海洋团队

王金平(E-mail:wangjp@llas.ac.cn)、鲁景亮

审稿专家:中科院声学所李风华研究员

20世纪以来,人类在探索外太空方面的技术突飞猛进,相对而言对于近在咫尺的深海却知之甚少。中科院院士汪品先指出,人类对深海的了解,甚至比月球和火星还要少。这基本上反映了人类对深海的研究尚处于较低水平的现状,同时从一个侧面反映出深海研究蕴藏着巨大的机遇。

1 载人深潜器引领深海探测

深海探测勘察技术是为深海科学调查与深海资源开发提供手段和装备的海洋高技术,涉及到众多科学技术领域,是一项复杂的综合高技术系统,是各种通用技术和设备在深海大洋这个特殊环境中的应用和发

展。该技术是勘探开发海洋资源的必要手段,是海洋科学研究深入发展的关键基础,同时对其他领域科学和技术的发展具有极强的推动作用。

一般来讲,深海探测装备包括:钻探船、各类深海探测仪器、海底监测网、无人深潜器(ROV和AUV)和载人深潜器(HOV)等。其中载人深潜器凭借其“人机联动”的特点,在深海探测勘查活动中扮演着不可替代的角色,代表着国际深海探测的最高水平。在某种意义上,HOV是可以与载人飞船相媲美的最高科技探测仪器的典范。

20世纪70年代开始,HOV已成为海洋考察的标准工具,并得到广泛运用。HOV在深海考察、海洋石油开采、海洋土木工程建设、海底电缆铺设与维护、海难救护及军事侦察等领域中发挥着重要作用^[1]。其基本组件主要包括:具有生命维持系统的承压壳体、进行升降及姿态控制的平衡系统、推进系统、提供动力的蓄电池、通信导航系统、操纵杆、照明装置、观察孔及流线型的框架^[2]。HOV可集成多种科学仪器,以完成海底观测、资源勘探、样品采集和原位试验等任务。相比于ROV和AUV,HOV具有独特优势:充分利用人类大脑现场观察和分析能力,准确理解观察到的图像和视野景色,并同步给予相应的处理回应。

2 全球载人深潜器发展状况

目前,全球范围内能够掌握载人深潜器技术的国家有:美国、日本、俄罗斯、法国和正在崛起的中国。

美国是世界上深潜器技术最为先进的国家之一,其1964年设计制造的“阿尔文”(Alvin)号深潜器处于世界领先地位。据悉,美国近期正在对其进行升级改造,第一阶段升级后的“新阿尔文”号下潜深度4 500米,第二阶段将升级到6 500米,勘察范围将覆盖全球99%的海域。此外美国还拥有“双鱼座”4号(Pisces IV)和“双鱼座”5号(Pisces V),作业深度为2 000米。

日本1989年建造的“深海6500”号(Shinkai

6500)深潜器最大潜水深度达到6 500米,在“蛟龙”号完成7 000米海试之前,是全球下潜深度大的载人深潜器。“深海6500”船长9.5米,宽2.7米,最大作业潜水深度为6 500米,持续下潜时间可达8小时(JAMSTEC),累计下潜次数超过1 000次。

俄罗斯的载人深潜器技术较为成熟,比较著名的有1987年建成的“和平I”号(MIR-1)和“和平II”号(MIR-2)两艘6 000米级的潜水器。装备有多种监测深海参数和海底地貌的设备,可在水下停留20小时。2011年俄罗斯又建成两艘6 000米级的载人潜水深潜器,为其深海探测提供持续支撑。

法国于1984年研制成的“鹦鹉螺”号(Nautile)潜水器最大下潜深度可达6 000米,累计下潜1 500多次,完成过考古研究、多金属结核勘察和深海生态研究等多项调查任务(IFREMER)。

中国“蛟龙”号载人深潜器,最大下潜深度超过7 000米,目前处于试验性应用阶段,各项指标状况良好。“蛟龙”号在下潜深度等多项指标上均处于世界领先地位,一旦正式投入使用,将成为全球可探测海洋范围最大的载人深潜器,具有深远的战略意义。

3 未来可能突破的技术点

当今科技日新月异,随着新技术和新材料的不断发展,可以预期,人类的载人深潜能力将不断提高,一些关键技术难题必将不断被突破。未来的技术突破可能主要在以下几个方面:

(1)高强度耐压壳体材料。深潜器耐压壳体的选择对控制潜水器的重量非常重要,传统的材料为钢材和钛合金,前者密度大,影响深潜器升降的控制^[3]。后者价格昂贵不利于大规模推广,研制或发现性能优越且成本较低的替代材料将对载人深潜器的应用和推广具有关键作用;

(2)大容量蓄电池技术。深潜器一般自带能源(一般为蓄电池),蓄电池容量和放电能力成为了制约深潜器航行作业的瓶颈。因此,研制蓄电

量大且成本适中的蓄电池也是发展深潜器的关键技术之一；

(3) 高清观测仪器的应用。观察设备是载人深潜器的“眼睛”，随着高清摄像技术的不断升级，深潜器观察系统高清化成为可能。将最先进的摄像仪器集成到深潜器上将大大提高深潜器的作业能力；

(4) 先进作业工具的集成。深潜器的实际“工作”能力不仅仅取决于下潜深度，还取决于其所具备的作业能力。深潜器要具备一定的水下作业能力，必须能够安装多种适用于深海极端环境的科学仪器。扩展深潜器设备接口功能（即一个接口可以根据任务的不同安装不同的作业工具）是提高深潜器作业能力的一个途径。此外，研制新型深海探测仪器以及实现浅海仪器甚至陆地设备的深海化，也是提高深潜器作业能力的途径。

4 载人深潜器可能带来的影响

载人深潜器技术以其独特的“人机联动”特性，将对全球海洋资源勘查产生深远的影响。作为一项综合性极强的技术，还可以带动其他相关技术的进步。

当今世界，资源问题已成为一个全球焦点问题^[4]。而在陆地资源日渐枯竭的情况下，地球上却有一片广阔的未开发之地近在咫尺，那就是占海洋面积90%以上的深海区域^[5]。深海蕴藏着丰富的多金属结核、富钴结壳、可燃冰等资源，许多资源储量相当于陆地储量的几十甚至上千倍^[6]。利用载人深潜器对海底资源进行详细探测勘察，是向国际海底管理局申请优先开发权的重要的前期准备，可以说载人深潜器代表了争取国际海底资源的核心竞争力。近年来，以日本和美国为代表的海洋强国长期致力于利用载人深潜器进行深海资源勘探，并不断取得一

些重要发现。可以肯定的是，相关技术一旦取得突破，将可能彻底改变全球资源格局。此外，载人深潜器对研究地球早期历史、板块构造和生命起源演化等的研究也具有不可替代的作用。

深海所蕴含的巨大机遇对于正在崛起的中国是至关重要而不容错过的，而以“蛟龙”号载人深潜器为标志的深海探测技术将帮助我们守住这片蓝色的希望。载人深潜器作为深海研究的最先进技术代表，是打开深海资源大门的最有力钥匙。载人深潜器对维护海洋权益、开发深海生物资源具有重要意义，通过带动相关技术的发展可以大大提升我国海洋科技综合实力。因此，中国应以“蛟龙”号为新的起点，在人才和资金等多方面继续加大对深海探测技术特别是载人深潜技术投入，以避免错过重大战略机遇。通过这一高技术的带动，可以打破发达国家在海洋科技领域尤其是深海技术方面的垄断地位，提高我国海洋科技核心竞争力^[7]。

5 中国现有优势

2002年6月，中国批准启动7000米级载人潜水器重大专项，历经10年艰辛研发，首台载人深潜器“蛟龙”号成功突破了7000米深度，达到国际同类作业型载人深潜器的最大记录，标志着我国成为世界上第5个掌握大深度载人深潜技术的国家。“蛟龙”号自主研发，集成创新的研制路线，在3个方面拥有国际领先技术：一是稳定的贴近海底自动巡航能力和精确地悬停定位能力；二是高速数字化水声通道，可向母船传输文字、语言、图像；三是我国自主研制的充油银锌蓄电池。“蛟龙”号标志着我国载人深潜器技术已达到国际先进水平，将带动我国海洋研究走向深海大洋，同时也将对无人潜水器和深海综合观测网络等技术起到重要的带动作用



中国科学院

用。

中科院在“蛟龙”号的研制过程中发挥了技术核心作用。“蛟龙”号国际领先的 3 项技术中有 2 项分别由沈阳自动化所和声学所完成。沈阳自动化所的科研团队采用先进的控制策略,有效克服潜水器本体、海洋环境等不确定性干扰,实现潜水器长距离航行时全自动航行控制功能;由声学所负责研制的声学系统为“蛟龙”号的深海潜航提供通信、测速、障碍物探测和地形地貌探测等功能^[8,9]。

参考文献

- 1 廖又明.载人深潜器在海洋开发中的作用与现状.国外舰船工程, 2002,(3):44-45.
- 2 刘淮.国外深海技术发展研究.船艇,2006,258:6-18.
- 3 刘涛,王璇,王帅等.深海载人潜水器发展现状及技术进展.中国造

船,2012,53(3):233-243.

- 4 宋瑞祥.21 世纪资源环境科学面临的挑战.中国人口·资源与环境,2001,11(1):3-7.
- 5 金翔龙.深海矿产资源与海洋环境.世界科技研究与发展.1998,20(4):29-31.
- 6 方银霞,包更生,金翔龙.21 世纪深海资源开发利用的展望.海洋通报,2000,19(5):73-77.
- 7 崔维成,徐芑南,刘涛等.“和谐”号载人深潜器的研制.舰船科学技术,2008,30(1):17-25.
- 8 国家海洋局.“蛟龙”专题报道.<http://www.soa.gov.cn/xw/ztbd/2013/jlsh/>.
- 9 中国科学院.中科院助力蛟龙号.<http://www.cas.cn/zt/kjzt/jlh7000m/zkyljlh/>.

海洋新技术的重大突破将促进蓝色海洋经济快速发展

整理撰稿人:中科院国家科学图书馆兰州分馆资源与海洋团队

高峰(E-mail: gaofeng@llas.ac.cn)、王宝

审稿专家:中科院海洋所相建海研究员

随着社会经济的高速发展以及陆域资源、能源和空间的压力与日俱增,海洋必将成为社会经济活动的主战场之一。沿海国家和地区都高度重视海洋经济发展,将海洋科技支撑海洋经济发展作为海洋强国的重要战略。在新的历史阶段,中国政府审时度势,做出了建设海洋强国的战略决策。我们必须乘借未来海洋新技术的突破之势,推进我国海洋产业的快速发展,实现海洋强国的梦想。

1 海洋新技术助推传统海洋产业,催生海洋新兴产业

20 世纪 60 年代以来,大规模的、综合性的海洋新技术带动的海洋产业结构的丰富和升级标志着现代海洋经济的兴起^[1]。海洋生物技术、海洋资源勘察开发技术、海洋环境检测与修复技术等核心关键技术的突破,将带动新品种、新制品、新器件、新设备、新商品的不断涌现^[2]。世界沿海各国都认识到海洋生物技术在开发和利用海洋生物资

源中的重要作用,纷纷加大投资开发海洋生物技术^[3-7]。转基因动物(特别是转基因水生动物)技术早已成熟,但其安全性一直受到质疑。在美国比天然同种鱼类生长快2倍的新品种,17年前就进入准入市场的法律程序,在反复争议中,终于通过了食物安全

和环境安全的论证,很可能成为全球第一个准入市场的可食用的转外源基因动物。欧洲科学基金委员会2010年的报告估计,“欧洲在10年内将成为全球海洋生物技术的领先者,海洋生物技术当前全球市场价值为280亿欧元,并以每年12%的增速发展”^[8]。全基因组测序与结构基因的分析及生物技术应用、DNA提取纯化和分子分析的自动化等大大提高和扩展了海洋生物技术研究水平

和应用范围。海洋生物技术的突破将从根本上改变传统海洋产业结构,带动若干新兴产业的发展,使人类更有效地持续开发利用海洋生物资源。以海洋深潜技术为标志的新一轮海洋技术正在带动深海资源勘察和开发。多功能水下缆控机器人、高精度水下自航器、深海海底观测系统、深海空间站等综合技术体系及相关核心技术的研发应用,将为深海海洋资源的综合开发利用提供核心支撑。目前,从深海海底获得可燃冰(天然气水合物)样品的有美、日、韩和中国4个国家,而日本声称他们掌握了规模开采可燃冰的技术。随着我国海洋科学从近岸向远洋、从浅水向深海拓展战略的实施,深海勘探技术将实现历史性的突破。在传统化石能源不断枯竭和碳减排迫切要求的今天,以潮汐能、波浪能、风能、盐差能、海洋生物质能等为代表的海洋可再生能源正在发挥着越来越重要的替代作用。世界主要国家和组织纷纷制定相关开发计划和技术发展路线图,加强海洋可再生能源的研究开发。新一轮国际海洋可再

生能源研究开发的潮流已经促使一批海洋能发电技术得到了突破,其中,英国、丹麦、瑞典等国已进入商业化运作期。英国《经济学家》杂志网站报道,5大创新能源技术的突破将有助于改变目前人类以化石能源为主

2 海洋新兴产业发展迅猛,成为新的经济增长点

过去的30年里,世界海洋经济产值已经由1980年的不足2500亿美元迅速上升到2009年的4.5万亿美元。海洋新兴产业是近10年海洋经济中增长速度最快的产业,整体年增长速度超过28%,其中海洋生物医药产业增速达39%,海水利用业33%,海洋电力业24%^[9]。

2003—2012年,我国海洋生产总值已从10077.71亿元增加为50087亿元,年均增长19.88%。2007—2012年,我国战略性新兴产业年均增速在20%以上,其中,产业化程度较高的是海洋生物医药业、海水利用业以及运用海洋可再生能源发电的海洋电力业,与2011年相比,分别增长73.7%、10%和42.9%,明显高于传统海洋产业,显示出战略性新兴产业强劲的发展后劲。“十二五”期间,海洋科技对海洋经济的贡献率将由“十一五”末的54.5%上升至60%。

当前,中国海洋产业仍以传统海洋产业的海洋渔业、海洋交通运输业和滨海旅游业占主导,而海洋油气业、海洋矿业、海洋生物医药业、海水利用业、海洋电力业等高技术



中国科学院

密集型行业产值所占比重还非常小。这在某种程度上反映出中国依赖高技术的新兴海洋产业发展还比较落后。借助于世界海洋高新技术的快速发展和重大突破,我国海洋新兴产业正迎来重大发展机遇期。

3 中国海洋技术发展的基础和优势

新中国建立60年以来的科学发展,在生物海洋学、海洋生态学、海洋化学、海洋环境科学等学科都取得了显著进展,为海洋渔业、海洋油气资源开发、海洋环境保护和海洋防灾减灾等方面的发展提供了科学指导,初步形成了具有区域特征、多学科综合交叉的中国海洋科学研究体系。据《中国海洋统计年鉴2011》显示,2010年中国海洋科研机构数为181个,科技活动人员为29 676人。这支队伍在国际海洋科学技术研究中正在发挥积极作用。

近10年,中国和其他国家与地区在海洋科学的国际合作发表论文逐年增加,共计与55个国家与地区开展合作,发表的SCI论文近千篇。其中与美国是合作发文排名第一的国家与地区,共计544篇,日本排名第二,计136篇,澳大利亚和加拿大并列第三,各94篇。从机构层面来看,与美国合作发文最多的机构为中科院135篇,接下来是中国海洋大学100篇、厦门大学68篇、国家海洋局57篇、上海海洋大学40篇、香港科技大学38篇。

我国在海洋技术领域的发展突飞猛进。“蛟龙”号载人潜水器创造了7 062m的深潜记录,实现了深海技术发展的新突破和重大跨越,标志着我国海底载人科学研究和资源勘探能力达到国际领先水平。成为拥有该项技术的第5个国家,将在我国深海和远洋科学考察和探测、深海资源调查和开发方面发挥重要作用。我国自80年代起,实施了28次南极考察和5次北极科学考察任务,形成了“一船四站一基地”的战略格局^[9]。随着北极海冰融化和夏季航道的打通,我国在北极丰富油气资源开发利用方面前景光明。“科学”号海洋科学综合考察船的投入使用,使我国具有国际先

进水平的深远海科学研究移动实验室和实验平台。在技术装备建设上,近年来,中国在深水半潜式钻井平台、自升式钻井平台等海洋工程设备的研究和制造方面取得了一大批重大自主创新成果,2012年5月9日,中国首座代表世界先进水平的第六代半潜式深水钻井平台“海洋石油”在南海成功开钻;上海开埠以来建造的第一座自升式钻井平台,于2013年8月28日在上海外高桥造船有限公司2号船坞顺利下水,进入设备调试阶段。此次下水的自升式钻井平台为JU-2000E型,主要用于海上石油、天然气勘探和开采工程作业,又一标志性的高技术、高附加值海洋工程产品进入关键的总装搭载阶段^[10]。在海洋新能源技术和开发方面^[9],我国潮汐能、潮流能开发技术处于国际领先地位,波浪能技术基本成熟,尚有差距,而温差能方面还存在明显差距。我国海洋风能开发虽然较晚,但发展速度很快,已形成一定的产业规模。

海洋新技术的重大突破必将催生蓝色海洋经济快速发展。海洋生物技术、海洋资源勘察开发技术、海洋环境检测与修复技术等核心关键技术取得突破,新品种、新制品、新器件、新设备、新商品不断涌现,新型海洋产业群开始在我国沿海省市显现。现代海洋生物渔业、海洋生物材料与生物炼制业、海洋生物药业、海洋先进制造业、深海油气矿藏勘探采集重大装备业、海洋环境监测器件、仪器与设备业等渐次发展,有望在5—10年形成我国自主创新、知识引领的经济新增长极,形成基于生态系统的近海管理体系和发展模式。

4 亟待突破的瓶颈问题

从世界范围来看,海洋经济发达国家的发展优势很大程度上取决于其政策法规的健全和投入的力度。尽管国家海洋局已启动了战略性海洋新兴产业规划研究工作,但尚未形成全社会积极参与和支持战略性海洋新兴产业的良好环境。要实现战略性新兴产业的快速发展离不开国家的优惠政策引导和资金的大量投入。应积极探索和推进市场经济条件下的政府投入、企业投资、国外

合作等多元化投入机制,加大科技创新、平台建设和人才培养支持力度。与其他产业相比,海洋药物、海水综合利用和深海采矿等海洋产业对海洋高新技术的依赖性很大^[11]。举例说,海洋生物技术开发的一个重要目标是把基因转化为产品,把代谢产物转化为制剂、药物,把生物基质转化为生物材料、器件,把生物质转化为生物能源^[12]。从海洋科学到海洋技术,再到海洋产业的发展,这条主线必须贯穿到未来发展中。海洋科学与海洋技术的融合、海洋技术与海洋经济的融合是未来发展必须要解决的难题。总体上,我国海洋技术的自主研发能力仍然较弱,突出表现在海洋装备技术与制造基础薄弱,关键元器件与材料国产化率低。因此,未来的发展空间依然巨大,存在实现技术突破的潜力。

据 Constanza (1997) 估计,全球海洋生态价值为 20.949 万亿美元/年,其中近海生态价值为 12.568 万亿美元/年^[13]。2007 年发布的《美国未来 10 年海洋科学优先研究计划和实施战略》,明确将海洋生态作为研究重点,将其上升到人类福祉的高度予以认识。2010 年 6 月发布的《NOAA 未来十年战略规划》将“健康的海洋:在健康、富有生产力的生态系统中维持海洋渔业、生境以及生物多样性”作为重要战略目标。中国政府也已将海洋生态文明建设列为重点发展目标,然而我国海洋生态系统服务功能修复与提升的战略重点与优先领域,还亟待明晰与破题。

随着海洋经济的快速发展,培养与造就一批具有国际水平的学科带头人和管理人才极为重要。从事海洋科技开发人员逐年增加,但在海洋生物医药、海洋电力和海水利用的高端人才,尤其是将科学技术转化为

产业发展的人才明显不足。因此,加大人才引进和培养力度,不断储备开展海洋技术开发的人才资源,是推进海洋新技术实现突破,促进海洋新兴产业快速发展、跨越发展的必由之路。

参考文献

- 1 丁娟,葛雪倩. 国内外关于海洋新兴产业的理论研究:回顾与述评. 产业经济评论, 2012,02: 85-100.
- 2 中国科学院. 科技发展新常态与面向 2020 年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013.
- 3 National Sciences and Technology Council (U.S.), Bio technology Research Subcommittee. Biotechnology for the 21st century: New horizons-marine biotechnology. Washington, D.C.: The Subcommittee, 1995: 40.
- 4 曾呈奎, 相建海. 海洋生物技术. 济南: 山东省科学技术出版社, 1998, 661.
- 5 管华诗. 海洋知识经济. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1999, 301.
- 6 相建海. 海洋生物技术催生蓝色生物经济. 生命科学, 2012, 24(9): 967-979.
- 7 Boissconas J, Connolly N, Martoura F et al. Integrating marine science in Europe. 2002, 148.
- 8 Querellou J, Børresen T, Boyen C et al. Marine biotechnology: A new vision and strategy for Europe. Belgium: Drukkerij De Windroos NV, 2010, 91.
- 9 高之国主编. 中国海洋发展报告(2013). 北京: 海洋出版社, 2013.
- 10 于俊, 何宝新. 上海建造的第一座自升式钻井平台下水. <http://finance.inewsweek.cn/20130828,70041.html>.
- 11 陈可文. 中国海洋经济学. 北京: 海洋出版社, 2003.
- 12 相建海. 海洋生物技术研究新进展. 高技术发展报告 2013. 北京: 科学出版社, 2013, 123-134.
- 13 Constanza R, d'Arge R, de Groot R et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(May 15): 253-260.



中国科学院