

欧盟工业先进制造系统的研发现状及趋势分析

张志勤

(中国科学技术部, 北京 100862)

摘要: 欧盟是现代工业制造业的发源地, 长期保持着世界工业的领先水平。欧委会根据全球高新技术发展态势和欧盟的发展需求及相对竞争优势, 确定了欧盟工业可持续发展的六大关键势能技术 (KETs) 领域。工业先进制造系统是其六大关键势能技术之一, 为此, 欧盟为之制定了具体的优惠政策和行动举措给予重点扶持, 旨在提升欧盟先进制造业的世界竞争力, 促进经济增长和扩大就业。通过对欧盟工业先进制造系统的产业发展现状、研发创新、面临的挑战和未来发展趋势进行综合研究分析, 意在为我国战略性新兴产业产业的可持续发展提供有益的线索和经验借鉴。

关键词: 欧盟; 先进制造系统; 关键势能技术; 先进制造工业

中图分类号: F416.4 (196.2) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.08.008

欧委会对先进制造系统 (AMS, Advanced Manufacturing Systems, AMS) 的定义为: 先进制造系统分别由生产系统及相关的服务、生产工艺、生产设备和生产车间组成, 包括基于信息通讯技术 (ICT) 的自动操作、机器人、检测系统、认知信息加工、信号处理和生产控制。

先进制造系统可应用于工业生产制造业的各行各业, 是提高生产力和产品质量的关键基础, 其主要应用行业包括: 航空航天、汽车制造、微-纳米生产、消费类产品、电子工程、机械工程、化学工程、资源与能源有效利用、食品和农产品加工, 以及光学工业等。

先进制造系统涵盖生产制造高技术产品和生产加工的全过程, 需要对先进制造技术和创新型的生产加工工艺, 进行生产结构的最佳化设计和生产设备的优化组合。先进制造系统的研发活动包括: 高技术产品的生产制造、生产工艺的研制开发、未来生产制造的有效解决方案以及相关的各种辅助技术与服务的开发。先进制造系统同传统制造技术的最大区别在于以下几方面: 提高规模生产速度和生产率, 有效降低生产成本或材料消耗, 环境友好

性生产加工工艺, 有效降低生产制造过程中的废弃物与污染。先进制造系统使用的物质材料与技术包括: 传统方法组成的不同材料; 新物质同化合物组成的不同复合材料; 包括信息通讯技术在内的先进制造技术与先进生产加工工艺; 改进产品质量概念创意与设计; 生产线测试监控与操作简化; 产品/中间品的配送与循环再利用等。

2009年9月, 欧委会正式推出欧盟工业关键势能技术共同发展战略, 确定微-纳米电子技术、先进材料技术、纳米技术、工业生物技术和光子学技术, 作为欧盟五大关键势能技术 (KETs), 对其可持续发展给予重点的政策和资金扶持^[1]。紧随其后, 同五大关键势能技术 (KETs) 密不可分的、具有巨大基础性潜力的先进制造系统 (AMS), 被正式确定为欧盟的第六大关键势能技术。

1 先进制造系统与欧盟经济社会可持续发展

1.1 提升欧盟工业企业竞争力

欧盟作为工业革命的发源地, 长期建立起来的工程传统、研发能力、高教水平和产业实力, 使其

作者简介: 张志勤 (1956—), 男, 国际合作司副司长, 主要研究方向为科技管理以及自动控制。

收稿日期: 2014-02-14

拥有适应技术进步、向全球消费者提供高质量产品及服务、相对比较完整的生产制造工业体系。欧盟是绝大多数现代生产制造工业的原创地,包括:工程、能源、化学、交通、通讯、矿产、冶炼、电子、制药、塑料、食品和饮料加工等。欧盟消费者在充分享受其恩惠的同时,始终在欧盟及成员国本土保持着现代生产制造工业较强的世界竞争力,是创造欧盟社会物质财富的最主要基础。据欧盟统计局最新官方数据,2007年,欧盟工业制造业的增加值占到欧盟总产值(GDP)的17.1%,工业制造业就业人数达2 200万^[2]。

过去的数10年,伴随着信息通讯技术和现代交通技术的快速发展,现代工业制造业正在向世界各国迅速扩展,全球工业制造业的竞争日趋激烈,欧盟及成员国面临着愈来愈大的压力。世界新兴国家利用现代工业制造业技术,正在加速本国的工业化进程。一方面,欧盟保持部分工业制造业的代价愈来愈高昂;另一方面,新兴国家凭借规模化的工业基础和愈来愈提高的研发创新能力,大力发展新兴产业。自然资源的相对匮乏、工业制造的雄厚基础和研发创新的卓越实力,迫使欧盟及成员国工业制造业必须依托最小化原材料消耗、高研发投入强度和高知识密度的高端产品与服务,正如欧盟确定的六大关键势能技术(KETs)及其产业化。

工业技术的研发创新,将引领工业制造业的未来可持续发展,先进制造系统将加速工业先进技术转化为经济社会价值的进程,实现工业技术的经济社会效益。竞争优势不仅仅只体现在技术创新的领先水平,还必须高度完美地同当代最先进的生产制造技术与设备紧密结合。换句话说,先进制造系统在全球化激烈竞争的环境下,决定着工业制造业竞争力的关键作用日益凸显。一定意义上,谁掌握了先进制造系统技术,谁就掌握了满足未来社会需求的主动权,包括产品的生产成本、产品服务质量和产品的循环周期。

1.2 促进欧盟经济增长和扩大就业

2007年,欧盟27个成员国工业制造业的增加值占欧盟总增加值的30%,创造的就业岗位占欧盟总工作岗位的25.8%,资本投入占全社会资本投入的22%。部分成员国,如,匈牙利、斯洛文尼亚和芬兰,工业增加值的占比最高,达到40%

以上。

欧盟先进制造系统在关键势能技术的推广应用中,始终扮演着关键的重要角色。先进制造系统以符合市场需求的方式,将关键势能技术的创新成果转化为新产品与新服务,使其创造出真正的增加值和经济社会效益。例如,多功能先进复合材料在生产制造过程中一般需要消耗更多的能源与原材料,产生大量不可循环的废弃物,但先进制造系统在规模化生产制造的同时,可有效地降低能耗和节约资源。又例如,太阳能光伏薄膜及其涂层和隔离薄膜材料,需要消耗大量的稀土材料,生产制造工业已遭遇现实的“供应难”问题;光伏电池薄膜含有如砷和镉毒性元素,先进的有机光伏电池制造技术,以相对较低的毒性及循环再利用材料对其进行替代,包括采用适合规模化生产制造的卷对卷(Roll to Roll)生产工艺,生产出更高效和更廉价的有机光伏(OPV)新产品。

先进制造系统是微-纳米电子技术工业零缺陷生产制造的先决条件,可有效保证生产制造产品的质量和降低生产过程中的废弃物。根据所生产产品和生产线的不同,通常可有效降低电、水和废弃物的2%~10%不等。正如生产制造工业在生产过程中使用替代材料,如,生物质、低介金属、循环材料和二氧化碳等,用以替代相对昂贵或稀缺的原材料,先进制造系统具有促进生产加工制造业可持续改进能效和资源利用率的巨大潜力。

先进制造系统的一项准则是提高“生产力”,最大化关键势能技术的赢利。德意志银行的一份研究报告显示,生产设备成本已占到有机光伏产品成本价格的2/3,其中原材料的生产成本已降到次要地位。因此,降低生产设备(或机器)的原材料使用,采用更高效和更简化的生产工艺,将显著降低终端产品的总体成本价格,从而更有效扩大市场、促进经济增长和扩大就业。

总之,先进制造系统是促进关键势能技术(KETs),最大化满足经济社会发展需求和实现经济社会效益的关键技术支撑。迄今为止,欧盟先进制造系统在关键势能技术工业价值链中始终处于核心位置,持续提供着提高生产率、节省能源与资源、减少废弃物与环境污染、促进经济增长和扩大就业的责任与义务。

1.3 积极应对全球经济社会挑战

欧盟 2020 战略明确了欧洲面临的主要经济社会挑战^[3]：全球化竞争、能源安全、资源压力、气候变化和老龄化社会，以及尽快走出全球经济危机和欧债危机的阴影，促进经济增长和扩大就业。欧盟 2020 战略强调，“技术创新”的关键作用，将成为应对诸多经济社会挑战的“终极”（Ultimate）解决手段。

欧委会认为，加速关键势能技术的推广应用，能够为欧盟应对主要经济社会挑战提供有力支撑。欧盟微-纳米电子技术工业生产的发动机监控感应器和轮胎气压感应装置，有助于节省燃料和降低排放。半导体工业提供的自动血压检测仪和植入体内的疼痛控制装置，用于改善公共医疗健康；提供的预防网络犯罪安全技术和银行商用智能卡，用于保障经济社会的安全与稳定。光子学技术工业生产的物美价廉发光二极管（LED）灯光源，比白炽灯泡具有更长的寿命和更节能；太阳能光伏产品用于可再生的电力生产，有助于解决能源短缺挑战。纳米技术产业的应用领域更加广泛，如，应用于环保行业的水资源纯化系统等，应用于能源行业的提高可再生能源转换效率等，应用于卫生行业的癌症治疗和纳米药物传递等，应用于食品加工工业的增加生产与产品包装的安全可靠性等。先进材料技术工业可生产出比现有材料更环保、更廉价和更高效的先进材料，用于更轻质、高强度、多功能和更便宜产品的生产，并显著改善生态环境，如，显著降低交通车辆的重量，有效节省能源和降低排放，提高制造工业的获利。工业生物技术产业生产的创新型诊断仪，可快速地分析蛋白质，甚至病患不用去医院，就可帮助病患早期诊断疾病和降低医疗成本；利用农林残留物生产第二代生物质燃料、复合化合物、有机塑料、包装材料和食品药品添加剂等，显著降低经济增长对自然资源形成的压力。

欧盟先进制造系统在微-纳米电子技术、光子学技术和纳米技术工业的生产制造过程中扮演着关键的重要角色，而在先进材料技术和工业生物技术产品的生产过程中，对资源有效利用的关键作用更加突出。实际上，先进制造系统同欧盟确定的关键势能技术密不可分，先进制造系统协助关键势能技术有效的规模化生产，而关键势能技术往往构成先

进制造技术的基础。例如，微-纳米电子技术工业提供的感应器和致动器（Actuators）或光子学技术工业提供的激光处理设备、计量仪器和信息数据处理装置，均为先进制造系统的必备组件。

欧盟先进制造系统在有效降低关键势能技术产品成本价格方面的作用日趋凸显，进一步拓展了关键势能技术产品的市场空间。例如，欧盟市场上流行的微型血压监控装置，就是利用半导体工业要求精度高的生产制造技术，采用微机械制造方法生产的创新型产品。又例如，先进制造系统及设备通过持续改进产品生产线的自动化水平，在不断提升产品质量的同时，有效降低了太阳能生产电力的成本价格。先进制造系统，通过生产制造流水线的优化设计、制造、检测、控制、操作、包装、储存、配送和再循环的整个生产制造过程，持续改进关键势能技术产品整个价值链的成本、质量、资源利用和安全可靠性。欧盟关键势能技术应对全球经济社会挑战的关键积极作用毋庸置疑，先进制造系统在推进关键势能技术实现经济社会效益的同时，在生产制造技术的研发与规模化生产加工过程中，积极面对各类经济社会挑战。

2 欧盟先进制造系统发展现状与关键势能技术

如前所述，先进制造系统作为欧盟确定的六大关键势能技术之一，某种意义上可以说，同其他五大关键势能技术之间的紧密关系，犹如孪生姊妹相生相伴。2010 年 11 月，在欧委会组织举办欧盟先进制造系统开放日上^[4]，所有的参与方代表普遍接受先进制造系统贯穿从原材料（化石燃料、生物质材料、金属材料、循环再利用材料和关键原材料等）的初加工处理到最终产品生产制造的整个价值链。目前，欧盟采用先进制造系统的主要生产制造工业包括：医药生产、汽车制造、航空航天、石油化工、钢铁生产、微-纳米电子技术工业生物技术、信息通讯技术和食品加工工业。各主要生产制造工业生产加工过程中采用的先进制造系统，从原材料的转化处理到材料转化成终端产品或配送包装不等。

欧委会强调，先进制造系统拥有巨大的跨行业应用潜力，要求成员国重视先进制造系统在各行各

业的推广应用。先进制造系统对提升欧盟工业企业的世界竞争力、提高工业制造业的生产效率、节能增效、资源有效利用和减缓气候变化，具有重要的关键作用。欧盟先进制造系统工业属于知识密集型和资本密集型产业，需要高水平的智慧型投资资本，建立在高技能人才和跨行业多学科交叉，以及长期知识经验积累的基础之上，主要交叉学科包括：新材料技术、信息通讯技术机电一体化、纳米技术和物理化学技术等。

伴随着高新技术在全球范围内的快速发展，一方面高新技术为先进制造系统的可持续发展奠定了技术基础，另一方面高技术产品日益增长的市场需求，也不断拉动着先进制造系统研发创新的进程。

2.1 先进制造系统与先进材料技术 (Advanced Materials)

先进材料技术作为欧盟六大关键势能技之一，主要的研发应用领域和应对的经济社会挑战^[5]见表1所示。欧盟先进材料可分为五大类型：I类，先进金属材料，如先进的不锈钢、超级合金和金属间化合物 (Intermetallics)；II类，先进高分子材料，如，合成非传导聚合物、工程塑料、导电聚合物、有机电子、先进涂层和先进/纳米纤维材料等；III类，先进陶瓷与超导体材料，如纳米陶瓷、压电陶瓷和纳米晶体材料等；IV类，新型复合材料，如，高分子复合材料、连续纤维陶瓷复合材料、金属基复合材料、纳米复合材料、纳米粉体材料、金属富勒烯材料和碳纳米管材料等；V类，先进生物材料，如，生物工程材料、生物合成材料、纳米纤维材料和生物催化剂材料等。

欧盟先进制造系统自始至终介入到先进材料的工程化和规模化的生产制造过程，已成为先进材料

表1 欧盟先进材料技术主要应用领域
与应对经济社会挑战

主要领域	经济社会挑战
光伏发电	能源安全与气候变化
先进蓄电池	气候变化与生态环境
团体灯光源	能源安全与气候变化
航空航天燃气涡轮机	气候变化与提高能效
医疗保健	积极与健康的老龄化

数据来源：欧委会。

生产制造价值链的重要组成部分。一般情况下，欧盟先进材料加工工业在先进材料的生产制造过程中承担着主导作用。但正如先进材料的生产制造必须满足“绿色制造”的目标，欧盟先进制造技术主要责任是，解决产品从概念设计和生产制造到最终加工处理的整个生命周期，遵循最小化使用自然资源和最小化的环境足迹影响。

确切地说，欧盟先进制造系统驱动着先进材料技术工业的持续发展，先进制造系统利用最先进的技术与工艺，对产品加工、生产、衔接等生产加工环节进行优化和简化组合，形成更高效、更合理、更完善的生产制造流水线。例如，先进制造系统主导的，通过超净成形热等静压技术 (Near-Net Shape Hot Isostatically Pressed) 和粉末沉积技术，实现先进粉末状材料的高效生产制造。新型粉末材料被用于铸模或锻造生产出的产品，具有特殊的微结构特性，可广泛应用于各行各业。

欧委会倡议设立的欧盟“未来工厂”研发创新公私伙伴关系 (PPPs)，持续致力于先进制造系统的研发创新与推广应用，其旗下的各主要应用领域技术研发创新网络平台 (ETPs)，继续不断扩大先进制造系统在欧盟关键势能技术工业中的应用范围。

2.2 先进制造系统与微-纳米电子技术 (Micro/Nano-Electronics)

欧盟先进制造系统几乎同微-纳米电子技术同步并行发展。先进制造系统采用了大量的微纳米电子技术，而微纳米电子技术工业必须依托先进制造系统，进行规模化产品的生产制造。两者的研发创新活动经常拥有共同的目标，在技术的推广应用中相互合作，相辅相成。

欧盟微-纳米电子技术工业生产的产品主要分为两大类型：摩尔定律 (More Moore) 产品和超摩尔定律 (more than Moore) 产品。

摩尔定律产品主要针对信息通讯技术产业，生产制造计算机、通讯设备和消费类产品，最主要的产品代表是微处理器和记忆芯片。摩尔定律产品以其小步快节奏持续创新与功能持续改进的变化方式，促使生产制造企业及设备必须适应相同节奏的小批量产品生产。摩尔定律市场上的任何企业，必须遵循五大基本原则：产品微缩化、晶圆尺寸扩大、生产规模适度、高投资和强专利保护。

超摩尔定律产品主要包括信息通讯技术产品和多功能芯片元器件两大类，而元器件主要应用于汽车制造、工业生产、安全国防、医疗卫生和公共交通等行业。超摩尔定律产品往往需要依靠混合信号或模拟设计，对芯片的紧凑不作必然要求，采用更小芯片通常是以更便宜为出发点。超摩尔定律产品通常将不同的功能组合在一个芯片上，因此，很有可能同一芯片使用多种不同材料，往往根据行业用户的需求定制，非直接消费商品。超摩尔定律产品也必须遵循五大基本原则：更大尺寸晶圆、更大用户、特殊市场定位、专家系统服务和高质量产品。

先进制造系统是欧盟微纳米电子技术产品研发创新和降低生产成本的关键，也是半导体工业可持续发展的前提条件，主要涉及：40~300 nm 的结构尺寸；零缺陷生产制造；40 年连续以 20% 的年幅度降低生产成本（收缩紧凑和制造学习曲线）；持续提高等级的清洁室和生产制造设备等。

欧盟先进制造系统及设备培育的技术创新与先进生产加工工艺包括：更小型化的超紫外线光刻机（EUV Lithography）；大尺寸 300 mm 晶圆的生产制造系统和正在研究开发的 450 mm 生产制造系统；先进基底焊接技术或三维一体化技术；超薄晶圆技术；零缺陷计量检测监控生产制造技术等。

事实上，欧盟微-纳米电子技术先进制造系统的研发创新活动，一直聚焦于生产线的节时、节料、节能、降低生产成本和优化生产加工工艺，包括积极参与微纳米电子技术科技成果的商业化应用和从实验室到工厂的优化设计与实现路径。在持续改进生态环境和工作环境的基础上，协助微-纳米电子技术工业降低了对健康的不利影响，降低了生产制造过程中的废弃物，在保证零缺陷生产制造的同时，节约用电、水资源和各种材料，千方百计降低环境足迹。世界半导体理事会（WSC）2008 年的统计调查显示，先进制造系统持续改进半导体工业的技术更新，在 2001 年的数据基础上分别降低电力消耗 37%、水资源消耗 46% 和材料消耗 46%。

从经济学的角度，先进制造系统同微-纳米电子技术工业的相互关系可概括如下：新的生产制造中心需要大量投资，每一代新技术产品的投资成本水涨船高，目前，世界级摩尔定律产品生产工厂的投资规模已超过 40 亿美元。一般情况下投资 1 欧

元每年可产出 1 欧元的营业额，这一投资回报率可保证 5 年，随后投资逐年贬值。大量投资需要尽快收回，因此，必须采用最新一代技术，并对生产制造技术与设备进行持续更新，以保证新生产制造中心的世界竞争力。

2.3 先进制造系统与纳米技术（Nanotechnologies）

纳米材料与纳米技术的持续突破，开启了纳米技术在各行各业广泛应用的新时代。纳米技术涉及多学科、跨行业和跨领域，包括新兴会聚技术（Converging technologies），如生物纳米和纳米电子技术等。创新型的纳米技术，拥有创造和改进一系列物质材料与仪器设备、广泛应用于服务经济社会可持续发展各领域的巨大潜力，包括医疗卫生、电子电力、能源生产、先进材料、智能交通和节能减排，等等。也只有极其微小的纳米技术系统与组件，可实现对现有产品或物质材料新功能和特性的改进性研究开发，以及对新产品和新物质材料的突破性开发利用^[6]。

目前，欧盟的绝大多数纳米材料成熟技术，仍处于半人工操作的实验室生产制造阶段，因其复杂的生产制造工艺限制了规模化的大批量生产。欧委会要求，纳米材料和纳米技术工业界、科技界、终端用户工业加强合作，增加研发创新（R&D&I）投入，加速整个纳米技术生产制造价值链的研发创新。努力克服欧盟新兴技术可持续发展的最大悖论：最先进的技术科技成果和相对不大的经济社会效益同时并存的局面。

迄今为止，欧盟纳米材料的规模化生产制造技术尚处于浅开发阶段，大多数生产制造技术研发活动克服的主要问题是适应纳米材料的生产制造，还谈不上规模化生产或生产工艺的研发。完整的先进制造系统一般由多个制造单元构成，欧盟纳米材料的生产制造技术研发创新活动，已证明实现纳米材料或含纳米材料/中间品制造单元的可行性，从而开启了整合或优化组合单个生产环节和多个生产环节，实现多功能先进制造系统的可能路径。此外，纳米材料工业化生产研发创新活动还面临挑战：来自生产线及产品的检测与监控技术和新制造单元与现有先进制造系统的有机结合工艺。

欧盟先进制造系统一定程度上，已成为纳米材料与纳米技术在各行各业推广应用及产业化的关

键。欧盟纳米技术先进制造系统可利用的现有先进制造技术主要包括：合成生产工艺——新型气相流程（Gas Phase Processes）（如，等离子或等离子微波辅助加工工艺）和新型湿法流程（如，溶胶-凝胶加工工艺）；新型的分散和稳定技术；原位（In-Situ）功能化与规范化技术；集成设计与最终系统优化组合技术。需要研究开发的先进制造技术主要包括：自组装技术；自组织技术，应用于远距离控制；纳米结构材料原位生产技术；从实验室的小批量生产流程转化为规模化工业的生产制造流程。

欧委会指出，伴随着世界纳米技术的持续进步，纳米材料在部分行业的商业化应用已显示出其巨大潜力。实验室由复杂精密仪器设备生产制造的小批量纳米材料，只能将昂贵的纳米材料应用于高附加值产品，一定程度上成为限制纳米技术在各行各业广泛商业化推广应用的最主要瓶颈。因此，加速纳米技术生产制造系统的研发创新进程，已成为欧盟纳米技术产业化可持续发展的关键。欧委会进一步指出，欧盟拥有开发先进生产制造技术和整合其为先进制造系统的传统理念与优势，而且纳米技术先进制造系统的研发创新及其产业化，也是欧盟的重大机遇，必将进一步强化和扩大欧盟在世界范围内的优势，促进经济增长和扩大就业。

2.4 先进制造系统与光子学技术（Photonics）

光子学技术产品可区分为主要的三大类：光输出产品，如，平板显示器、固体灯光源等；光输入产品，如，太阳能光伏电池板等；光操作产品，如，光纤通讯、光子芯片、数字通讯激光器和光感应装置及组件等。

光子学技术产品的生产制造，根据生产制造的不同方式可区分为两大类：大面积产品的生产制造，如，太阳能光伏电池板、有机发光二极管（OLED）和平板显示器等，适合板材到板材（S2S）或卷到卷（R2R）的生产制造；芯片尺寸产品的生产制造，如，发光二极管（LED）和光子学技术装置等的生产制造，包括前端产品（如晶圆）和后端产品（如，包装的生产制造）。

目前，欧盟光子学技术产品主要包括：平板显示器；发光二极管（LED）和有机发光二极管（OLED）；太阳能光伏产品；光子集成电路（PIC）或装置（如，光纤通讯、感应器和微激光器等）；

光子学技术元器件，包括激光源、光纤和光透镜等；光学仪器设备，如，应用于工业、医学和科研领域的光学仪器；未来新型光子学技术装置，新兴“量子点”（Quantum Dots）光子学技术产品，如，光子晶体、等离子激光技术、碳纳米管技术和纳米石墨烯技术等。

迄今为止，欧盟应用于光子学技术产品的先进制造系统主要由三大类技术与产品组成。

（1）光子学技术产品

微-纳米电子技术工业使用的半导体前端和终端生产制造技术，可直接应用于光子学微电子技术产品的生产制造，包括：前端生产从基底产品和输送衔接工艺到势垒层（Barrier Layers），后端生产从单片（Singulation）制造到产品的分流包装。例如，硅晶圆生产线经过一定的调整改造，已被广泛应用于发光二极管（LED）产品的生产制造。

（2）光子学技术装置

光子学技术装置相比较微-纳米电子技术工业电子芯片的生产制造，大大提升了终端制造过程中的生产加工成本，主要有两大问题需要解决：生产加工过程中的过热和激光器同光纤的相互衔接。而前端生产可利用微-纳米电子技术产品的生产工艺，如，CMOS 和 GaX（X 表示不同的元素，如，砷、氮和钢等）。

（3）太阳能光伏产品

太阳能光伏产品前端和后端产品的生产制造方式很少与微-纳米电子技术产品的生产制造方式相同，正如太阳能光伏板材的生产尺寸愈来愈大，未来可采用 CMOS 晶圆工厂的卷到卷（R2R）生产制造技术与加工工艺。

应用于光子学技术产品生产的先进制造系统（AMS），前端产品和后端产品的生产制造工艺完全不同。前端产品生产制造需要在纳米尺度上对材料进行控制，而后端生产往往在毫米或厘米范围内进行控制；前端生产的激光技术，如，沉积、光刻、涂层、打印和蚀刻等，相关的材料知识积累与技术突破是关键，而后端生产的着重点是解决高精度的快速加工处理和机电一体化设备技术的开发。

2.5 先进制造系统与工业生物技术（Industrial Biotechnologies）

工业生物技术又称白色生物技术，主要是利用

酶类（Enzymes）和微生物在各类工业行业中生产和制造生物基产品及其服务，这些工业行业包括：化工、食品与饲料、卫生保健、洗涤用品、造纸与纸浆、纺织工业和生物能源。工业生物技术的生产加工过程，是将生物质原材料，如，农副产品、有机废弃物和水藻等，转化成生物燃料或生物基化工产品，其生产方式如同将原油转化成成品油或化工产品。通过工业生物技术生产加工方式，可显著节省工业对能源的消耗和降低温室气体排放，与此同时有利于改进生产工艺、提升工业可持续和生产高附加值产品及服务。

目前，欧盟广泛应用、成功商业化运作的生物基产品包括：建筑用生物高聚合物纤维材料、生物可降解塑料、生物燃料、生物纺织纤维和生物润滑剂，以及应用于洗涤剂、食品加工、化妆品和造纸与纸浆工业的各种酶类产品。工业生物技术及生产工艺，同样在部分抗生素、维生素、氨基酸和精细化工产品的生产加工过程中，成为关键的重要制造环节。

欧委会高度重视工业生物技术的研发创新及产业化，将其确定为欧盟的六大关键势能技术（KETs）之一，旨在加速发展这一充满希望的创新型高新技术。欧委会认为，工业生物技术不仅可以避免已经枯竭的化石能源和自然资源继续作为工业原材料，而且可以通过第二代工业生物技术积极应对能源安全、粮食安全和生态环境等需要全社会迫切解决的世界难题，并通过广泛的各種中间品（Intermediates）生产，满足各种复杂工业生物技术价值链的各种不同需求。随着欧盟工业生物技术的快速发展及其在各行各业广泛的推广应用，工业生物技术也随之日益演变成涉及多学科和跨行业、具有产品导向性完整价值链的工业生物基经济^[7]。

数 10 年以来，伴随着创新型生物技术的持续进步，欧盟工业生物技术产业进入快速发展的轨道，其中先进生产制造系统的推广应用功不可没。欧盟工业生物技术产品的先进制造系统（AMS），多采用传统的石油化工产品生产制造技术与先进材料制造技术的混合生产工艺，迅速在欧盟各行各业的工业生物技术产品的生产制造过程中获得推广应用。截至目前，欧盟资源更有效利用的生产加工工业，是采用先进制造系统最多的工业行业。

欧盟先进制造系统在工业生物技术产品生产制造技术的研发创新活动，主要涉及以下 4 个方面：相比传统生产工艺更优化高效的生产制造方法；传统生产制造方式无法生产的新产品制造工艺的开发，如，更精细或纳米尺度产品的生产制造；资源更有效利用的产品技术与生产工艺的开发；保障工业生物技术产业实现经济和环境效益双重目标的生产制造技术与工艺开发。

3 欧盟先进制造系统的研发趋势

3.1 市场需求

如上所述，欧盟先进制造系统同欧盟确定的关键势能技术（KETs）密切相关、相互促进和相辅相成，始终贯穿关键势能技术从原材料（化石燃料、生物质材料、金属材料、循环材料先进复合材料）的初加工处理到最终产品生产制造的整个价值链。目前，欧盟应用先进制造系统的主要工业行业包括：医药生产、汽车制造、石油化工、钢铁生产、生物技术工业、先进材料工业、信息通讯技术产业、微-纳米电子技术工业和食品加工工业。欧盟各主要工业行业生产加工过程中采用的先进制造系统，从原材料的转化处理再到材料转化成终端产品不等。

欧委会指出^[8]，资源相对匮乏和知识相对丰富的欧洲，工业先进制造业必须坚持开发生产高知识密集型和低资源/低能源消耗的新技术、新产品和新服务。欧委会要求：利用最先进的生产制造技术和信息通讯技术，积极改造欧盟主要的传统工业产业；利用最先进的关键势能技术和前沿技术突破，积极开发新产品并加速商业化推广应用，尽早形成新兴产业；努力提升欧盟工业企业的世界竞争力，促进经济增长和扩大就业。

欧盟制定的共同研发创新战略指出^[9]，欧盟必须优先集中发展工业先进制造业，特别是资源节约型和知识密集型先进制造业，继续保持新产品制造的世界领先水平。研发创新科技成果的真正价值与经济社会效益，只有通过环境友好性先进制造系统有效的生产加工转化才能得以实现。正如欧盟确定的关键势能技术（KETs），拥有巨大的经济社会效益和广泛应用空间的潜力，先进制造技术的持续进步才能使其潜力最佳化释放出来。

欧委会认为,未来数10年将成为欧盟关键势能技术产业快速发展的重要时期,将快速形成各行各业独立的关键势能技术新产品市场,欧盟必须保持“未来工厂”先进生产制造设备与系统优化设计和工业生产制造的全球领先水平,在激烈竞争的全球市场上争夺先机。

欧盟确定的关键势能技术(KETs)领导着生产制造可持续新产品的世界潮流,欧盟先进制造系统必须保证生产制造这些新产品的工厂设计与设备制造的全球竞争力。

3.2 优劣势分析

欧委会专门成立的先进制造系统高层专家组,根据优劣势分析方法(SWOT),相比较欧盟先进制造系统的全球主要竞争对手美国、日本和中国,进行深入的优劣势分析,向欧委会提交了研究分析总结报告^[10]。

3.2.1 优势

欧盟先进制造系统可持续发展具有以下优势:世界一流的工程设计、专家系统、生产制造和经验积累,以及文化传统与世界竞争力;广泛的工业基础与生产制造能力;健全的生产制造结构可利用性;广泛分布的大、中、小工业生产制造企业,和技术研发与生产制造的创新集群网络;欧盟先进设计和生产制造的文化多样性等。

3.2.2 劣势

欧盟先进制造系统可持续发展存在以下弱项:研发创新成本高昂;公共财政研发创新(R&D&I)投入机制复杂及官僚化;工业私人企业研发投入风险过高;高素质、高技能科技人员/工程师缺失;公共研发创新政策过度聚焦于创新价值链的末端;新技术、新产品和新服务商业化应用存在市场障碍;高风险投资机制不健全;欧盟统一市场碎片化等。

3.2.3 机遇

欧盟先进制造系统可持续发展的机遇为:强化和扩大欧盟先进制造技术的世界领先水平;充分挖掘欧盟绿色经济或低碳经济的巨大潜力,促进增长和扩大就业;保持欧盟先进制造技术研发创新与知识积累的卓越;有利于欧盟所有工业先进制造业的现代化转型。

3.2.4 威胁与挑战

欧盟先进制造系统可持续发展面临的主要威胁

与挑战:全球化不平等竞争;面对新兴技术,预防措施的滥用;新兴产业可持续发展的公共扶持政策与行动举措缺失;世界贸易组织(WTO)框架下的非对称贸易条件;老龄化社会,高技能劳动力的缺乏;政策法规的死板,不利用新兴技术的开发;研发资金的跨成员国自由流动局限。

为此,欧委会已承诺,将在积极协商成员国及相关利益方咨询意见的基础上,尽快推出促进欧盟关键势能技术(KETs)共同可持续发展战略框架。例如,欧委会已于2013年5月推出欧盟微-纳米电子技术工业的共同发展战略,其它关键势能技术(KETs)工业发展战略随后也将陆续推出。旨在充分发挥欧盟的优势,抓住机遇,克服障碍,积极采取扶持政策与行动举措,最大化释放关键势能技术在欧盟主要工业行业应用的潜力,重振欧盟国民经济的工业基础,促进增长和扩大就业。

3.3 总体研发趋势分析

迄今为止,欧盟先进制造系统研发创新投入和研发创新活动主要由欧盟工业制造业主导,但由欧委会倡导围绕特定目标成立的官产学研用参与的研发创新网络平台(ETPs)具体负责执行落实。欧盟统一的研究区域(ERAs)为研发创新网络平台提供各种知识科技支撑,而遍布成员国的先进制造系统创新集群成为研发创新网络平台的主要研发基地。欧盟层面,欧盟第七研发框架计划(FP7)和欧盟竞争力与创新框架计划(CIP),是资助先进制造系统研发创新项目的最主要公共财政来源。

欧盟设立于英国的欧盟先进制造研究中心(AMRC),主要从事先进制造系统在关键势能技术产业的推广应用,是由欧盟机构、工业界、科技界和学术界紧密合作组成的创新型公私伙伴关系新模式。每年平均6500万英镑财政预算的欧盟先进制造研究中心(AMRC),根据先进制造的不同环节,如,生产制造、铸模成形和传送衔接等,分别下设同工业界与科技界长期合作的研发创新网络平台,其研发创新活动主要包括:共同开发新的生产制造技术;从概念设计到中试示范流水线;新制造技术应用领域的拓展;开展国际合作和具有国际竞争力产品的开发。AMRC基本上可独立完成某一制造行业整个价值链——先进制造系统的设计与实施,因而,已成为欧盟先进制造系统研发创新的重要基地。

FP7 和欧盟未来的研发框架计划 2020 地平线 (Horizon 2020)，均将先进制造系统的研发创新列入重点资助领域，给予优先支持。目前，FP7 资助的先进制造系统研发创新项目主要集中于：关键势能技术 (KETs) 更高效更廉价生产制造技术的开发；板材到板材 (S2S) 和卷到卷 (R2R) 规模化生产制造技术与加工工艺的开发；纳米材料规模化生产制造单元及系统工艺的开发；在原子水平上控制薄膜材料及涂层的生产制造技术及工艺；极端超紫外线平版印刷 (EUV) 生产制造技术与工艺开发；利用最先进的信息通讯技术，提升和改进先进制造技术及工艺；先进制造系统全流程自动控制技术及生产工艺；等等。

欧盟先进制造系统研发创新项目的一系列生产制造技术及工艺还包括：材料工程技术，用于切割、编结、弯曲、成形、压榨、破碎等；微-纳米电子技术与信息通讯技术相互结合，应用于先进生产制造技术及工艺的开发；检测监控技术，包括光子学和化学感应技术等；传送技术及相关的数理逻辑技术；纳/微升滴技术 (Nano/Micro-liter Droplets)；微型化精密配送技术；微流量技术；生产制造过程的集约优化技术；等等。

欧盟先进制造系统研发创新一贯遵循的主要原则：高效率、安全保险、环境友好、量身定制和资源有效利用。为此，欧盟先进制造系统的研发创新活动还必须持续跟踪世界最先进的技术突破及应用，包括：持续改进生产制造过程的小型化便利技术；最大化材料循环再利用技术；机器设备的模块化多功能衔接技术；保证各种工艺与模块衔接的灵活调整技术；降低生产制造成本的技术；等等。欧盟先进制造系统研发创新的最高目标：保证工厂安装的生产加工设备及生产线从物理学、化学和生物化学转化方面，获得最优化的自动控制。

4 结语

目前，我国已是世界第二大经济体和制造业大国，但自主创新能力薄弱、先进装备贸易逆差严重、高端制造装备严重依赖进口，严重制约我国制造产业健康发展。先进制造系统是世界制造业未来发展的重要方向之一，我国可研究借鉴欧盟相关研

发趋势和实践经验，结合我国经济结构调整和新兴产业发展的需求，加快相关智能化高端装备、制造过程智能化技术与系统和关键支撑技术及基础核心部件的研发，攻克瓶颈技术，实现重大突破，打破国外垄断，建立标准体系，为我国制造业的低碳、高效、安全运行和可持续发展，提供成套的解决方案。应通过发展先进制造系统推动产业升级，促进高端装备制造业的发展，增强我国制造业的全球竞争力。■

参考文献：

- [1] European Commission. Preparing Our Future: Developing a Common Strategy for Key Enabling Technologies in EU [COM (2009) 512][R]. Brussels: European Commission, 2009-09.
- [2] Eurostat. Chiffres Cles de l'Europe[R]. Brussels: Eurostat, 2011.
- [3] European Commission. Europe 2020: A Strategy for Smart and Sustainable Growth[COM (2010)][R]. Brussels: European Commission, 2010-03.
- [4] European Commission. KET Open Day on Advanced Manufacturing Systems Conclusion[R]. Brussels: European Commission, 2010-10.
- [5] 张志勤. 欧盟先进材料技术的研发现状及发展趋势[J]. 全球科技经济瞭望, 2013, 28 (10): 24-30.
- [6] 张志勤. 欧盟纳米技术的研发现状及趋势分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29 (6): 23-32.
- [7] 张志勤. 欧盟工业生物技术研发现状与发展趋势分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29 (1): 42-49.
- [8] European Commission. An Integrated Industrial Policy for the Globalisation ERA-Putting Competitiveness and Sustainability at Front Stage[COM (2010) 614][R]. Brussels: European Commission, 2010.
- [9] European Commission. The Innovation Union Flagship Initiative[COM (2010) 546][R]. Brussels: European Commission, 2010.
- [10] European Commission. High Level Group on Key Enabling Technologies-Advanced Manufacturing System[R]. Brussels: European Commission, 2010-12.

(下转第 71 页)

[14] Wright M, Clarysse B, Lockett A, et al. Mid-range Universities' Linkages with Industry: Knowledge Types

and the Role of Intermediaries[J]. Research Policy, 2008, 37(8): 1205–1223.

Measures Taken by Many Countries to Commercialize the Public Research and Its Implications

CHENG Ru-yan

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Public research is one of sources to accelerate the technology innovation and the commercialization of public research is an effective tool to improve the level of national economic competitiveness. Nowadays, many countries have taken a series of measures to commercialize their public researches. These measures include granting the property of research results funded by the government to public research institutes, improving the examination and evaluation mechanism for the public research, funding the cooperation between public research institutes and companies, maximizing the use of public researches through collaborative IP tools, facilitating access to public research results, strengthening the entrepreneurship education and training, which are worthwhile to be shared by Chinese counterparts in the commercialization of public researches.

Key words: public research; commercialization; technology transfer; patent funds

(上接第58页)

On the Status and Trends of Research and Development of Advanced Manufacturing Systems in the EU

ZHANG Zhi-qin

(Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

Abstract: As the cradle of the modern industry, EU plays a leading role in the global industry development for long. Based on the status of the global high-tech development and the industry demand and comparative advantage in the EU, the European Commission identified six key enabling technologies (KETs) for the sustainable development of the industries in the EU. As one of the KETs, advanced manufacturing systems (AMS) have been highlighted and fully supported by the EU with policy incentives and action plans, aiming at enhancing the competitiveness of the advanced manufacture industry and improving economic property and employment. This paper analyzed comprehensively the status of AMS industries, the progress of research & development & innovation (RDI), the challenges and trends of EU's AMS in the future, which could be a reference for the development of the strategic emerging industries in China.

Key words: European Union; advanced manufacturing systems; key enabling technologies; advanced manufacture industry