

欧盟纳米技术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。纳米技术作为其六大关键势能技术之一, 欧盟已为之制定了具体的优惠政策和行动举措给予重点扶持, 以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。通过研究分析欧盟纳米技术工业的发展现状、研发创新、面临的挑战和未来发展趋势, 旨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; 欧委会; 纳米技术; 关键势能技术; 先进制造工业

中图分类号: TB383-119.62 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.06.005

纳米技术的箴言——“愈来愈小、愈来愈快”, 用以开发替代传统技术的座右铭——“愈来愈高、愈来愈广”。

纳米技术作为新兴技术, 至今在世界上尚未给出严格意义上的定义。尽管仍然存在很大分歧, 但目前, 欧盟大部分文件倾向于使用以下的纳米技术定义: “纳米技术是控制纳米尺度物质的研究, 包括在纳米尺度上对纳米材料、纳米结构和纳米装置的研究开发, 纳米技术处理的物质结构尺寸在纳米物质三维空间中至少包含一维在 1~100 nm 之间。”

鉴于物质材料在纳米尺度上其物理与化学特性会发生重大改变, 因而, 随着纳米技术的持续进步, 纳米技术的应用领域和范围也随之不断扩展。纳米技术多种多样以及固有的跨学科、跨领域、跨行业特征, 正在促使研究人员连续不断地开发出一系列创新型纳米技术与工艺及其应用, 包括, 从量身打造具有独特性能的物质材料和直接在原子尺度上形成生物物质新材料与新结构的研究开发, 到纳米半导体制造技术和新兴的分子自组装技术 (Molecular-Self Assembly), 以及其他相关技术的

研究开发。可以说, 纳米技术正在改变着或将改变我们现有的物质世界。

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并广泛应用于服务经济社会可持续发展各领域的巨大潜力, 如, 应用于医疗卫生、电子电力、能源生产、先进材料、智能交通和节能减排等领域。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。

纳米技术作为欧盟确定的六大关键势能技术 (KETs) 之一^[1], 同其他的五大关键势能技术——微-纳米电子技术、先进材料技术、光子学技术、工业生物技术和先进制造系统, 有着密不可分的相互联系、相互重叠和相辅相成。纳米技术前景广阔, 将作为一个关键的基础性要素, 积极参与实现更小、更快、更强大、更智能产品/系统/中间品的生产制造, 显著改进甚至创造出全新的新技术、新产品和新服务。本文将重点介绍欧盟纳米技术的研发现状及发展趋势。

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及自动控制。

收稿日期: 2014-02-11

1 纳米技术在欧盟经济社会发展中的积极作用

1.1 积极应对经济社会挑战

欧盟及其成员国面临着一系列的经济社会挑战，诸如，老龄社会、就业困难、公共安全、气候变化、能源供应、资源匮乏和市场分割等。纳米技术作为跨领域、跨行业的关键势能技术，必然成为应对经济社会挑战的首选技术之一，其基础性的地位作用不可或缺。除此之外，纳米技术还在改善生活质量、保护生态环境、有效利用资源、建设信息社会和保障卫生健康等方面发挥积极的重要作用。

1.1.1 纳米技术应用于新能源技术开发

目前，欧盟纳米技术为可再生能源的可持续发展及消费提供了强有力的技术支撑，包括：水力发电、风能、太阳能、海洋能、地热能和生物质能等。

(1) 热电联产——充分利用被废弃的热量，大大提高能源的转化效率；

(2) 基于纳米技术透明、易弯曲的光电薄膜，生产纳米结构太阳能电池；

(3) 将创新型纳米结构蓄电池的先进材料应用于高效电能储存；

(4) 基于有效提升电化学反应转化率的电能生产技术，生产燃料电池；

(5) 基于纳米技术的太阳光或光合作用，直接生产氢能；

(6) 基于纳米结构材料的转子叶片，生产高效风电涡轮机。

1.1.2 纳米技术应用于生态环保行业

(1) 利用零价铁（Zero Valent Iron）纳米粒子技术，修复土壤和地下水的生态功能；

(2) 利用纳米过滤、纳米吸附或纳米催化剂，进行水纯化处理；

(3) 利用光催化（Photocatalytic）纳米材料，进行空气净化；

(4) 利用创新型、价廉物美和高灵敏度的纳米感应器，进行污染检测与控制；

(5) 提供对传统材料及生产工艺的替代，更有效地利用资源或能源，如，将纳米泡沫（Nan of oams）材料应用于建筑物的隔热，将纳米轻质材料应用于交通工具等。

1.1.3 纳米技术应用于医疗卫生行业

(1) 优化药物的传递方式，如，通过靶向药物传送和释放控制的纳米技术智能药物传递系统；

(2) 改进型、高分辨率和多功能的体内成像技术，如，借助纳米生物感应器与实验室芯片系统对疾病生物标记进行早期诊断；

(3) 应用于再生医学，包括，组织修复的生物再吸收支架技术，利用干细胞、胚胎细胞和/或间充质细胞相关的进行再生医学疗法。

1.2 刺激经济社会可持续发展

同欧盟确定的其他五大关键势能技术一样，知识密集型的纳米技术具有更大范围和更广泛利用与应用的巨大潜力。欧委会举办的欧盟关键势能技术高层专家开放日有关纳米技术的总结报告^[2]指出：尽管欧盟纳米技术研发创新链仍然处于早期建设阶段，但目前，欧盟许多纳米技术在实验室已成为成熟技术，关键是纳米技术的商业化推广应用、纳米材料的规模化生产制造和早日形成真正意义上的欧盟纳米技术工业。因此，总结报告建议，加强欧盟政策行动和公共财政的扶持力度，吸引全社会资金加速纳米技术在更广泛领域的推广应用，形成真正的市场需求拉动，促进纳米技术与经济社会的可持续发展。欧盟纳米技术在光学、机械、电力、化工等众多工业领域得到新兴应用。

1.2.1 光学工业

欧盟充分利用纳米材料的色彩效果以及纳米材料的选择性光传导、抗反射、红外发射/吸收、光伏转化、光热转化和光反应变色等功能特性，将其应用与光学工业的各个领域。

(1) 基于 ZnO 或 TiO₂ 纳米粒子的透明高效紫外保护成分涂料，可应用于防晒、织物或木质表面；

(2) 基于纳米多孔二氧化硅（SiO₂）薄膜材料的抗反射薄膜，可应用于太阳能电池和建筑玻璃；

(3) 基于纳米 SiO₂ 涂层不同视角改变色彩效果技术，可应用于染料漆和化妆品行业；

(4) 透明纳米尺度红外吸收剂，可应用于有机玻璃屋面和冬季花园；

(5) 透明纳米尺度银粒子红外反射涂层，应用于热吸收玻璃；

(6) 基于三氧化钨纳米粒子的光至变色技术，可应用于变色玻璃；

(7) 选择性光传导光子晶体, 可应用于互联网基于常规设置纳米团簇的光数据传输;

(8) 通过优化光透射和纳米结构材料的光转化效率以及降低材料与生产工艺成本, 可应用于更高效的光伏发电;

(9) 纳米结构涂层, 可应用于太阳热能的最大化利用。

1.2.2 机械工业

欧盟充分利用纳米结构材料的抗拉、抗撕裂、耐划痕、耐冲击性和气密性等功能特性, 已在机械工业开发或正在开发各种应用。

(1) 通过类金刚石或陶瓷纳米涂层, 提升高应力组件或工具的耐磨能力;

(2) 通过向透明漆或塑料光纤的透明等离子涂层混合一定比例的有机纳米粒子, 提高产品的耐划痕能力;

(3) 基于纳米粒子/纤维增强性复合材料、有机-无机混合材料或超高功能混凝土技术, 应用于轻质建筑材料;

(4) 通过整合碳纳米管 (CNT) 的复合基质材料提高抗拉强度和抗断裂强度, 强化运动设备器材, 如, 网球、高尔夫球、棒球、冰球、球杆和自行车车架等的加固强化;

(5) 将通过分层纳米硅酸盐聚合物复合材料制造的气密性薄膜, 应用于食品包装。

1.2.3 电子、电力工业

欧盟充分利用纳米结构材料的导电性、电介质层、超导性、热电转换和电化学能储存等功能特性, 已在电子、电力工业开发或正在开发各种应用。

(1) 通过整合碳纳米管和聚合物复合材料生产的导电聚合物产品, 提高抗静电和电磁屏蔽;

(2) 将纳米尺度结构材料应用于提高改进型高温超导体的电流强度, 以及降低溶剂凝胶材料薄膜产品的生产成本;

(3) 通过纳米结构半导体材料的界面衔接提高热能的功率转化率, 使热电转换更加有效;

(4) 将纳米多孔低介层应用于降低 CMOS 集成电路的传导延时时间。

1.2.4 化工工业

欧盟充分利用纳米结构材料的超级亲合性、超级疏水性、腐蚀保护、催化剂、消防保护、吸附能

力、粘合能力和溶解能力等功能特性, 已在化工工业开发或正在开发各种应用。

(1) 通过二氧化钛纳米涂层的超级疏水性, 提高汽车挡风玻璃和外后视镜的性能;

(2) 通过氟硅氧烷/氟硅烷纳米粒子成分构成的防污涂层, 提高织物、家具、设备和外墙面防污处理的能力;

(3) 利用透明纳米防火凝胶和涂层基于在热量作用下形成超细气泡的增强性隔热效应, 增强防火窗的效能;

(4) 通过聚合物复合材料的纳米催化整合加速形成阻燃碳化残留物, 提高塑料外壳和电缆的火焰抑制能力;

(5) 利用天然气储存的高效纳米吸附材料并通过调节纳米材料气孔尺寸或纳米粒子活性表面, 提高清污能力。

1.2.5 热力供应工业

欧盟充分利用纳米结构材料的热能保护、热能绝缘、热能传输和热能储存等功能特性, 已在热力供应工业开发或正在开发各种应用。

(1) 将纳米结构耐热薄膜或合金应用于涡轮机材料, 以显著提高工作温度和提高能源的转化效率;

(2) 将超级纳米泡沫隔热材料应用于建筑物和工业生产加工的隔热;

(3) 通过基于碳纳米管的纳米流体和纳米复合材料, 使工业生产加工或太阳能热转化过程中热量传输更高效;

(4) 利用微/纳米变相材料构成的表面组件或涂料, 使热能储存更加有效。

1.2.6 磁性材料工业

欧盟充分利用纳米结构材料的磁性软材料、磁电子、磁热感应和磁流变等功能特性, 已在磁性材料工业开发或正在开发各种应用。

(1) 纳米结晶、磁性软铁合金具有非凡的磁增强特性, 可应用于电网高磁组件, 如环状磁芯、变压器、抗流线圈等;

(2) 磁性层堆 (Magnetic Layer Stacks) 具有强烈的抗磁特性, 可应用于磁电感应器和数据记忆装置;

(3) 表面稳定的纳米尺度铁粒子的扩散 (磁

流体)具有控制磁强度的特性,可应用于控制粘度、密封和减震器等领域;

(4) 氧化铁纳米粒子的热能生产,意味着替代了中间电磁环节,可应用于可切换粘合剂(Switchable Adhesives)或过热癌症疗法。

1.2.7 生物技术工业

欧盟充分利用纳米结构材料的抗微生物特性、生物可利用性、生物催化剂、分子识别、生物相容性和细胞渗透性等功能特性,已在生物技术工业开发或正在开发各种应用。

(1) 将银纳米粒子技术应用于医学工程的抗微生物仪器设备、织物,或各种物体表面的防菌、杀菌;

(2) 通过脂质包装和纳米乳的传递方式,提高药物成分的更高效利用;

(3) 在基因疗法中,利用纳米粒子载体向细胞传递基因材料(基因载体);

(4) 通过表面功能化的药物传递系统(DDS),有效地向分子识别病体细胞传送药物成分;

(5) 利用纳米结构植入表面和纳米粒子支架材料,在再生医学领域提高生物相容性;

(6) 通过纳米结构模块或载体物质,使生物催化更加有效。

1.3 提升传统工业企业竞争力

纳米技术通过创造更小组件和更好功能产品的方式,成为改进传统工业制造产品与生产工艺的主要驱动力。欧盟已意识到,利用纳米技术可有效地提升其工业企业的世界竞争力。欧委会认为,纳米技术在传统工业更多领域更广泛地推广应用,将加速欧盟纳米技术的产业化步伐,尽早形成欧盟纳米技术工业。近年来,伴随着世界和欧盟纳米技术市场的成长,欧盟纳米技术创新型中小企业也随之加速创建,并形成持续壮大之势。欧盟主要的传统工业也积极参与纳米技术的研发创新活动,形成了欧盟大、中、小工业企业互利共存和共同发展的良好局面。

围绕着纳米技术潜在的研发创新与工业“增加值”价值链,欧盟大、中、小工业企业之间的密切互动,加大了纳米技术研发创新的投入力度,特别是加快了纳米技术商业化推广应用的步伐。纳米技术的多学科跨行业可利用特征,要求欧盟建立纵

向性的产学研用创新联盟和横向性的跨行业研发创新网络平台,以及保持紧密联系的创新公私伙伴关系(PPPs)。例如,在欧委会的倡议与支持下,欧盟半导体工业与医疗器械工业联合组成创新网络平台,利用半导体工业的纳米生产制造技术联合生产多种微型医疗装备器械,并已上市。这种联合方式是扩大纳米技术应用范围与价值链的良好实践,提升了欧盟两个传统制造工业的世界竞争力。

欧委会认为,欧盟及成员国拥有处理如类似纳米技术等复杂技术的历史文化传统,但需要更加关注纳米技术的商业化推广应用。欧盟在理解纳米技术的高端需求与纳米材料的优质生产方面处于世界领先水平,欧盟工业企业擅长将难以置信的复杂结构与生产工艺整合为行之有效的工厂化生产系统,即先进的生产制造系统。欧盟高等教育的多元化体系相对比较适应类似纳米复杂技术的“特殊”技能培育,但在欧盟机构、成员国、区域层面和行业之间,存在着市场分割、单打独斗、相互竞争、相互不协调和重复浪费研发资源的风险,欧委会要求必须高度重视这些不利因素。

纳米技术固有的复杂性,尤其适合多学科跨行业的密切合作与相互协同,联合实施具有共同基本价值目标的研发创新活动,形成“水涨船高”的共赢局面。欧盟成立的AND创新联盟正在开展纳米技术先进制造系统的联合攻关,一旦技术突破,将形成欧盟纳米技术的产业化和传统制造工业的全面升级改造,从而保持和扩大欧盟工业企业的竞争力优势。欧盟多个成员国航空航天工业围绕空中客车先进纳米材料组成了CNT联合研发创新联盟^[3],其参与的欧盟工业企业会员已超过80个。该创新联盟以德国为主要研发基地,研究开发的碳纳米管材料,已在欧盟多个工业行业获得商业化开发应用。欧委会希望在现有纳米技术研发创新的基础上,增加纳米技术商业化应用的研发投入,提升欧盟工业企业竞争力和促进经济增长与扩大就业,务实欧盟国民经济的工业基础地位。

欧委会指出,欧盟整合纳米复杂技术和推进纳米复杂技术产品进入市场的能力,将加速全社会对纳米技术研发创新与产业化的投入,持续推动欧盟传统工业整体转向技术密集型的先进制造工业。近年来,欧盟工业企业逐年增加纳米技术研发创新

投入，使欧盟纳米技术在世界范围内始终保持着欧盟、美国和亚太“三足鼎立”的格局。

1.4 加速科学技术持续创新

欧委会认为，欧盟需要制定统一的指导成员国和各行各业促进纳米技术研发创新整个价值链的可持续发展战略。旨在创造有利于纳米技术研发创新的政策环境，有利于纳米技术的知识转化转移与商业化推广应用，刺激纳米技术的研发、规范、治理和标准化，努力克服各种主要障碍，强化跨行业、跨领域产学研用紧密结合。此外，欧委会要求纳米技术科技界和工业界务必肩负起促进纳米技术研发创新和有关健康、安全与环境 HSE 风险研究的责任，积极开展纳米技术效益与风险的开放式公共对话常规机制，消除社会公众对纳米技术的误解。

作为纳米技术可持续发展基础的先进纳米材料规模化生产制造技术，一定意义上在纳米技术推广应用的倒逼下成为欧盟纳米技术价值链的关键环节。无数的创新型先进纳米材料已在全球的实验室完成合成，成为成熟的纳米技术，开启了纳米技术商业化广泛推广应用的巨大潜力。然而，绝大部分纳米技术仍然停留在实验室阶段或进行小批量产品生产的开发利用，表现为先进纳米材料生产的高成本和高价格，其主要原因是从纳米技术科技成果到终端产品规模化生产制造之间制造工艺的极其复杂性。欧委会认为，必须加大欧盟纳米技术规模化生产制造技术研发创新的投入力度，这对欧盟先进制造系统工业，既是严峻挑战，更是重大机遇。加速推进欧盟纳米技术先进制造系统的研发创新，将促进欧盟科学技术的知识积累与卓越，强化欧盟的先进制造系统工业优势，不仅有利于复兴欧盟传统工业的先进制造技术、工艺与产品，甚至创造出全新的欧盟先进制造工业。

持续增长的社会需求，伴随着自然资源不断萎缩、能源价格高昂、淡水资源日益匮乏，以及气候变化的负面效应，这就要求未来的制造工业必须更有效地利用有限的资源。通过对产品及生产工艺持续地研发创新，努力提高生产制造工艺的节能减排和降低资源原材料的消耗损耗，将成为未来先进制造工业成功的关键。优化制造设备与生产工艺的结构设计，以及研究开发出相互之间优化衔接的规模

化制造生产线，将成为未来先进制造系统最主要的研发创新目标。最佳化先进制造系统的优化组合，涉及所有的输入材料使用，包括原料、可再生原材料、能源、水、润滑剂、催化剂和包装材料等；所有生产加工工艺和所有输出材料，包括产品、副产品、材料损耗和废弃物等；还必须尽量满足环境友好性生产和终端产品的循环再利用。标准化的、多功能的、模块化设计的、安全可靠的、运行维护维修简便的、可根据市场需求变化随时进行生产结构调整的规模化先进制造系统，将构成“未来工厂”的设计概念与理念。为了实现规模化制造高附加值的纳米基新产品，欧委会要求欧盟科技界同先进材料供应商、先进制造系统生产商和终端产品制造商，围绕纳米技术价值链进行跨行业的密切合作与共同开发。尤其注重纳米技术规模化生产制造技术的研发创新突破，将新创造的先进制造单元同现有的先进制造生产工艺进行有机的结合，尽快创造出纳米技术的规模化先进制造系统。

2 欧盟纳米技术的研发与发展现状

总体上，全球纳米技术产业仍处于自下而上的产业化初期开发阶段，纳米尺度的功能装置和整体制造系统尚处于建设过程中，因此，还不可能提供准确的实际统计数据。一份研究报告^[4]显示，2009 年，纳米技术直接影响着全球 2 540 亿美元的 GDP 产值，到 2015 年，这一数据将增加 10 倍，达到 25 000 亿美元。另一份研究报告^[5]也显示，2009 年，全球纳米技术产品的直接销售收入为 117 亿美元，到 2015 年，这一数据将增加到 260 亿美元，年复合增长率为 11.1%。

美国科学基金会 (NSF) 的研究预期，2015 年，纳米技术潜在的全球市场规模保守估计为 5 000 亿美元，乐观评估可达到 20 000 亿美元。其中，纳米材料所占的份额最大，为 31%，其次分别为：纳米电子，占 28%；纳米医药，占 17%；纳米化工制造，占 9%；航空航天，占 6%；其他，占 9%。造成全球纳米技术产品市场分析报告之间的巨大差异性，主要原因来自目前世界上尚没有建立统一的纳米技术标准与规范。

经合组织 (OECD) 的研究报告^[6]显示，到 2015 年，全球需要纳米技术劳动力约 200 万人，

其中，美国 80 万~90 万人，欧盟 30 万~40 万人，包括日本在内的亚太地区 90 万~100 万人。

在全球纳米技术产业发展的背景下，欧盟不断加大纳米技术的研发力度，促进其纳米产业的快速发展。

2.1 研发与发展现状及特色

2.1.1 不断完善现有产品和生产工艺

欧盟利用纳米技术持续地创造更小的组件和更好的功能产品，不断对现有产品和生产工艺进行完善。欧委会预计，未来数 10 年内，欧盟纳米技术企业将呈现出爆炸式地快速发展趋势，将形成欧盟包括大、中、小工业企业在内的纳米技术工业体系。欧盟利用纳米技术，将在持续提升欧盟现有强势工业（如先进材料、汽车制造、消费类产品生产和信息通讯技术产业等）企业产品世界竞争力的同时，持续促进其经济增长和扩大就业。欧盟工业纳米技术还在持续的研发创新中，欧盟将不断提高其现有的主要工业行业的产品附加值，将在各行各业价值链的推广应用中体现纳米技术的重要价值。

目前，欧盟工业制造业围绕纳米技术的研发创新活动，主要集中于四大优先领域：高纯度纳米尺度颗粒物的规模化生产制造；纳米尺度基质材料加工组件的研发；纳米材料表面涂层技术的研发；纳米材料规模化生产及生产线加工工艺的研究开发。欧委会纳米技术专家组撰写的研究报告^[7]指出，欧盟纳米技术市场总体上处于世界领先水平，因此，欧盟必须进一步强化对纳米技术研发创新与商业化推广应用的政策资金扶持力度，扩大欧盟的纳米技术优势和创造更多的新兴纳米技术行业，以促进经济增长和扩大就业。

欧委会认为，纳米技术在美国和德国之所以得到成功的推广应用，主要得益于其有利的政策环境和政府、公共科研机构 and 私人工业企业之间的密切合作与协同。美国 and 德国工业纳米技术持续获得的增加值，反过来又强烈刺激全社会对纳米技术研发创新活动的投入与支持，形成良性循环。

2.1.2 充分认识纳米技术的潜在风险

欧委会关于纳米技术在线公共咨询活动采集的数据^[8]显示，绝大部分专业人士和社会公众承认纳米技术潜在的巨大经济社会效益，但同时也认为纳米技术存在潜在风险。其中：84% 的咨询答复对

负责任的纳米技术研发创新活动，给予很高或合理的期望；12% 的答复不关心；接近 4% 表示无看法；只有不到 0.3% 的答复表示明确反对。欧委会的公共咨询活动再次证实，纳米技术的赢利与风险在不同行业的推广应用有所不同。纳米技术在能源、航空航天、信息通讯技术和建筑行业的应用，被认为利益大于风险；而在食品、药品和农业方面的应用，被认为风险大于获利。

欧委会认为，积极普及纳米技术的赢利与风险评估知识，有利于消除社会公众乃至公共政策决策者对纳米技术的误解，有利于纳米技术的社会投资、规范管理和可持续发展。欧委会强调，应该承认这样一条原则：任何技术在没有形成市场的情况下，就没有规范的必要（No Market - no Regulation Needed），而且实际上也不可能规范。欧委会建议，包括其他的所有新兴技术，也应该设立专门的纳米技术论坛——技术-社会-经济创新生态系统（Techno-Socio-Econornic Innovation Ecosystem）论坛，积极在社会公众中，开展开放的、透明的和深入广泛的纳米技术赢利-风险讨论。

欧委会纳米技术专家组指出，过去的 10 年，纳米技术在一定程度上成为自我炒作的牺牲品。然而，世界上没有任何一项新兴技术愿意处在无休止的索赔之中，为此，欧盟开展了无数次纳米技术风险大讨论，并设立了欧盟高层纳米技术安全论坛。专家组认为，不恰当的误解纳米技术，已严重迟滞了欧盟纳米技术研发创新与推广应用的进程。欧盟已耗费大量公共财政经费进行的纳米技术安全可靠基础研究，正促使欧盟及成员国相互之间与欧委会之间开展一场新的大讨论。科研活动永远符合一条研发的铁规律：新发现的问题永远多于需要解决的问题。随着新知识边界的扩展，新问题将随之出现。此次讨论的焦点是，进一步的科学知识积累和无休止持续扩大的风险评估研究，孰重孰轻？但欧盟工业界纳米技术的研发创新投入与研发创新活动，仍然主要集中于纳米技术知识的获取、提升工业产业的竞争力和提供消费者满意的产品。

2.1.3 注重纳米技术的标准化建设

纳米技术发展的规范化和标准制定，将加速科技成果转化成为工业产品和尽快形成市场，是新兴技术可持续发展的关键要素和重要工具，其关键

作用还在于同先进制造系统和其他关键势能技术（KETs）之间的相互衔接，例如，分析纳米结构的仪器设备超级精密，因此，在工业生产制造中只能用于小批量、高附加值产品的生产，因为没有规范标准，很难进行规模化生产线的开发（投资风险过高）。这种高风险存在于纳米技术各产业价值链及各领域，目前情况下，欧盟鼓励建立各主要行业次一级的纳米技术规范标准。

纳米技术科技成果的成功商业化开发与推广应用，需要纳米技术整个价值链内部各环节的紧密合作和外部各行各业参与的合理利益分配。欧盟第七研发框架计划（FP7）资助的欧盟纳米技术研发团队 Nano2Market，其最主要的目标就是探索实现纳米技术创新价值链的长效合作机制。研发团队积极组织和倡议成立的由各不同行业参与的纳米技术跨行业协会或联合体，开展的主要活动包括：共同课题的联合攻关，良好实践经验的相互交流，技术的跨成员国合作与推广应用，研发资源与信息数据的共享，以及知识产权的共同设立与保护等。

目前，由于部分欧盟及成员国环境标准和贸易条款的限制，明显提升了社会公众投资纳米技术与纳米材料的高风险。欧委会认为，尽快制定出符合纳米技术可持续发展的基本规范标准，一定意义上已成为继续发展的先决条件。欧委会希望并要求各成员国，积极开展纳米技术研发创新的国际科技合作，在合作中注重纳米技术的标准化建设，积极参与国际标准化组织（ISO）和经合组织的有关标准化制定工作。

2.2 研发与发展的主要障碍

2.2.1 在经济上的障碍

欧委会认为，欧盟纳米技术可持续发展在经济上的最大障碍，来自没有形成真正意义上的欧盟纳米技术工业。因此，纳米技术科技成果的商业化推广应用和工业化生产制造，成为欧盟工业纳米技术可持续发展的关键。欧盟必须尽快形成纳米技术市场，促进其经济增长和扩大就业，通过实实在在的经济社会效益吸引全社会对纳米技术产业化的投资，促进纳米技术的可持续发展。

2.2.2 在研发创新价值链的障碍

欧盟纳米技术可持续发展在研发创新价值链的最大障碍，来自纳米技术科技成果同商业化应

用之间的关键环节缝隙，又称“死亡谷”（Death Valley）。为促进纳米技术尽快发挥经济社会效益，欧委会要求，必须开展跨学科、跨行业和从研发创新到工业生产广泛系列的紧密合作与协同。由各行各业参与和协同一致的研发创新联盟、研发创新网络平台或研发创新公私伙伴关系（PPPs），有利于提高欧盟纳米技术研发创新链的持续完善，有利于加速纳米技术的重大突破，有利于纳米技术在更大范围内的推广应用，有利于纳米技术在各行各业同时“开花结果”。

2.2.3 在公共政策上的障碍

欧盟纳米技术可持续发展在公共政策上的最大障碍，来自市场分割和成员国的各自为政。不仅存在研发创新领域的资源分散和重复研究，而且存在跨境产品与资金流动的种种限制和政策行动的不统一与不协调。欧盟正在推进的欧洲研究区域（ERAs）建设和跨境研发资金自由流动的相关指令，有利于强化欧盟纳米技术研发资源的统筹与优化配置，加速欧盟纳米技术产业尽快达到临界规模（Critical Mass）。欧委会要求，FP7 未来的研发框架计划“2020 地平线”（Horizon 2020），必须加强清除成员国研发创新边界的功能作用。

2.2.4 在工业生产上的障碍

欧盟纳米技术可持续发展在工业生产上的最大障碍，来自纳米技术规模化生产的先进制造系统技术突破。为此，欧委会建议，建立专门的欧盟跨行业跨领域纳米技术先进制造系统研发中心，重点关注纳米技术规模化制造技术的突破，兼顾纳米技术商业化推广应用的中试示范项目开发，以尽快创造纳米技术经济社会效益为最高目标。

3 欧盟纳米技术的未来发展趋势

3.1 研发创新的主要投入来源

2008 年，全球纳米技术来自公共财政、工业界、科技界和各种风险基金的研发创新投入资金达 182 亿美元，其中，来自公共财政的投入占 50% 左右，主要用于解决新兴技术早期阶段的基础知识瓶颈。欧盟纳米技术的研发创新投入仍然以欧盟公共财政为主，2010 年，约占 60%，意味着欧盟工业企业的纳米技术研发投入更需要加强。欧盟纳米技术研发创新投入的公共财政资金主要由

3 个大层面构成：欧盟层面——主要来自欧盟第七研发框架计划（FP7）、欧盟竞争力与创新框架计划（CIP）和欧盟科研理事会（ERC）基础科学研究基金，包括少量的研发资金来自欧盟结构基金和欧盟区域可持续发展基金；成员国层面——主要来自成员国的国家科技发展计划和部分成员国的高新技术研发创新税收优惠政策减免；区域层面——主要来自区域创新集群基金和临时性的研发补贴资金。

欧盟工业企业纳米技术研发创新的资金分别来自欧盟纳米技术研发创新联盟、欧盟纳米技术研发创新网络平台和欧盟纳米技术研发创新公私伙伴关系（PPPs）。近年来，欧盟风险基金逐年增加对纳米技术研发创新的投入力度，主要投入欧盟的两大行业：能源工业和环保行业。金融机构，如，欧洲投资银行携手风险基金，也逐年增加了对纳米技术研发创新的投资。然而，欧盟风险投资基金通常集中于短期风险投资，因此，需要欧盟公共财政利用其杠杆效应，吸引和扩大私人工业与风险基金参与对中长期纳米技术研发创新活动的资助。

总体上，纳米技术作为欧盟确定的六大关键势能技术（KETs）技术之一，欧盟一直保持着对纳米技术研发创新活动的高投入，从而一直保持着欧盟纳米技术研发创新的世界领先地位。欧委会认为，欧盟纳米技术今后的研发创新投入，必须更多地侧重纳米技术的商业化开发应用，特别是纳米技术的产业化。

3.2 主要研发动向

目前，FP7 是欧盟层面资助纳米技术研发创新活动的最主要公共财政资金来源，纳米技术早已被列入其重点主题给予优先资助支持。FP7 一定意义上代表着欧盟最高研发创新水平，近期内，资助的纳米技术研发创新活动主要包括：小型高效的纳米光伏电池材料、处理污水的纳米高效过滤技术、显著降低材料损耗与环境影响的高效节能生产工艺、新一代计算机纳米记忆装置、显著提高储存能力的纳米蓄电池技术等。

提高资源和能源利用效率是欧盟纳米技术与纳米材料研发及推广应用的最主要领域，其次是欧盟卫生健康领域。欧委会纳米技术高层专家组评估报告认为，欧盟纳米技术有望近期内在能源行业取

得重大突破的技术包括：高效太阳能电池材料及薄膜、先进高效的燃料电池、高密度电能储存及高效转化和高寿命的蓄电池、应用于储能超级电容器等，以及相对荧光灯至少节能 30% 以上的有机发光二极管（OLED）技术和降低生产成本至少 20% 以上、厚度只相当硅基光伏电池 0.1% 的有机光伏（OPV）技术等^[9]。

目前，欧盟围绕纳米技术应用于卫生医疗行业价值链，即纳米医学（Nanomedicine）的主要研发创新活动包括：早期诊断，更有效的靶向药物传递系统，微创疗法，植入与嵌入、携带、体内外转移（Ex-Vivo）纳米感应装置，改进型医疗监控操作工具等。纳米尺度上的技术同生物分子技术之间具有很高的相容性，纳米技术同生物分子技术相互结合将产生全新的和创新型的生物纳米医学技术。欧盟在生物纳米医学技术的主要研发活动包括：在生物分子水平上感应、作用、清除、监控和跟踪，生物分子的病理机制研究与医疗。

3.3 促进纳米技术发展拟采取的行动计划和举措

目前，欧委会正在积极制定欧盟共同的工业纳米技术未来可持续发展战略。纳米技术涉及面广，纳米技术必须通过在各行各业成功实践来体现自身的巨大潜在价值。为此，欧盟跨成员国跨工业行业的密切合作与协调行动显得尤为重要。

3.3.1 在政策协调方面

（1）促进纳米技术在更大范围内的推广应用，重新审视欧盟研发创新战略同工业发展政策之间的相互有机衔接，尤其需要加大对科技创新成果转化商业化产品的扶持力度。

（2）促进纳米技术的可持续发展，各成员国必须坚持有所为有所不为，充分利用本国主导产业的优势，积极推进纳米技术的推广应用。

（3）加速欧盟现有纳米成熟技术商业化应用的步伐。欧盟创新网络技术平台（ETP）是强化欧盟机构、成员国、工业界和科技界密切合作与互动的研发创新链长效机制，必须充分利用该机制，强化纳米技术跨学科跨行业的商业化推广应用。

（4）欧盟需要建立基于纳米技术赢利-风险科学知识的、一致性和连贯性的、适应全球化激烈竞争的 and 统一的欧盟纳米技术共同发展战略。新战略有利于促使欧盟及成员国、区域、工业界、科技界

和利益相关方对纳米技术作出切实可行符合实际的准确判断,促进和刺激全社会对纳米技术商业化推广应用的投资。

(5) 新的欧盟纳米技术发展战略必须积极应对经济社会挑战,通过落实技术-社会-经济创新生态系统的实施,消除社会公众对纳米技术的疑惑,提高公众对纳米技术实现欧盟 2020 战略智能型、可持续和包容性增长目标重要作用的意识,以及纳米技术能改善公众生活与积极应对经济社会挑战的突出作用。

(6) 为保持和扩大欧盟纳米技术的重点领域的优势与竞争力,在欧盟范围内对成员国行动计划进行统一协调或协同一致不可或缺,尤其在强化研发创新公私伙伴关系 (PPPs) 方面。

3.3.2 在工业政策方面

(1) 纳米材料,包括所有的先进材料,对下游工业的制造技术和生产加工工艺构成重要影响。规模化生产制造技术与加工工艺的优化整合已成为纳米技术规模化生产制造的关键,关系到纳米技术在更大范围内的商业化推广应用。这一过程需要大量的资金投入和耗费大量的时间,欧盟及成员国必须给予必要的政策与资金扶持。

(2) 任何纳米材料规模化生产工艺的开发,一定程度上决定着纳米材料未来的可利用价值,欧盟及成员国必须采取行动措施扶持纳米技术先进制造系统的多功能优化设计,支持纳米技术商业化应用的中试示范项目。

(3) 新技术、新产品和新服务进入市场往往需要一个相对漫长的过程,而进入市场的快慢很有可能决定着创新产品的命运,欧盟及成员国应主动采取相应的行动举措。

3.3.3 在研发创新政策方面

(1) 纳米技术作为欧盟确定的关键势能技术 (KETs) 之一,必须成为欧盟及成员国研发创新政策重点支持的优先领域,增加公共财政研发创新的投入。

(2) 纳米技术在更大范围内的推广应用,需要跨越欧盟所有的传统边界,包括跨境研发资金的自由流动。尤其对较小的成员国而言,更需要新技术尽快达到临界生产规模。欧盟研发框架计划应在其中发挥积极引导作用。

(3) 欧盟的研发创新政策必须同工业发展政策相互配合,积极鼓励和扶持跨成员国和跨工业行业的研发创新联盟或公私伙伴关系建设,包括资助围绕共同目标的联合研发创新活动,鼓励工业企业之间合作开发新兴领域。

(4) 成员国公共财政研发资金的跨境自由流动,有利于统筹研发创新资源配置进行联合攻关,有利于跨成员国跨行业共享研发创新成果,有利于在更大范围内获得更大的经济社会效益。欧盟研发框架计划应优先支持由不同合作伙伴参与的联合研发创新项目。

(5) 纳米技术研发创新的高风险,需要各成员国政府制定出具体的基础性的促进发展计划,主要行动举措应涵盖从创意概念、技术成熟和商业化中试示范,到新技术、新产品、新服务进入市场的整个研发创新价值链。欧盟研发框架计划和未来“2020 地平线”在欧盟研发创新的基础性地位必须逐年持续加强,包括实现欧盟研发创新的四大目标:科研水平的卓越、工业企业的竞争力、积极应对经济社会挑战和促进经济增长与扩大就业。

(6) 欧盟及成员国,必须强化研发创新价值链关键环节的扶持力度,譬如,设立专门的创新链“死亡谷”或创新鸿沟 (Innovation Gap) 研发计划或基金,专门支持中试示范项目的研发基金,成立高风险技术投资基金。同时,应充分利用其他基金,如,欧洲投资银行 (EIB) 基金和欧盟结构基金等。

(7) “有什么样的科研评估标准,就有什么样的科研实际行为”。设立合理的切合实际的研发创新活动评估规范标准,有利于产学研用的紧密结合。评估标准应包括专利的数量、孵化的创新型中小企业、产生的经济社会效益及潜力、培养的博士或高技能科技人员/工程师数量及发表的科研论文数量等,当然,还应包括科研水平的质量和技术突破的重大意义。

4 结语

纳米科学和技术具有重要的发展潜力和产业带动力,有望广泛应用于信息、能源、环保、生物医学、制造、国防等领域,促进传统产业改造和升级,并形成基于纳米技术的新兴产业。包括欧盟在

内的许多发达经济体均对纳米科学技术发展进行了战略部署，并着力推动相关技术的产业化，以抢占未来发展先机。

我国的纳米科技发展已具备相当基础，在纳米基础研究方面做出了一系列原创性的重要成果，相关领域 SCI 论文总数排名世界第一，被引频次位居世界第二，纳米技术专利授权数量也已位居世界第二。着眼未来，我国应围绕经济与社会发展重大战略需求和重大前沿基础科学问题，以深化基础研究和促进产业化为主线，促进纳米科技与经济相结合，鼓励相关仪器装备研制创新，发挥我国在纳米领域的高水平基础研究优势，突出原始创新，抢占未来科技发展的制高点；推动基础研究-应用研究-技术转移的一体化进程，加快创新性成果的转化速度，促进我国纳米科学技术产业化的进程。■

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.
- [2] European Commission. KET Open Day on Nanotechnologies Conclusio[R]. Brussels: European Commission, 2010-10.
- [3] Directorate-General for Research and Innovation of European Commission. Successful European Nanotechnology Research: Outstanding Science and Technology to Match the Needs of Future Society[R]. Brussels: European Commission, 2011.
- [4] Lux Research and Forfás. Ireland's Nanotechnology Commercialisation Framework 2010-2014[R/OL]. (2010-08) [2013-12-22]. http://www.forfas.ie/media/forfas310810-nanotech-commercialisation-framework_2010-2014.pdf.
- [5] BCC Research. 2010 Nanotechnology: A Realistic Market Assessment[EB/OL]. [2013-12-22]. <http://www.bccresearch.com/report/NAN031D.html>.
- [6] OECD. Nanotechnology: An Overview Based on Indicators and Statistics[R]. Paris: OECD, 2009-06.
- [7] European Commission. Nanotechnology: A Sustainable Basis for Competitiveness and Growth in Europe[R]. Brussels: European Commission, 2010-12.
- [8] European Commission. Report on the Public Online Consultation: Towards a Strategic Nanotechnology Action Plan (SNAP) 2010-2015 [R/OL]. [2013-12-25]. http://ec.europa.eu/research/consultations/snap/report_en.pdf.

On the Status and Trends of Research and Development of Nanotechnology 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, nanotechnology has been highlighted and fully supported by the EU with policy incentives and action plans, aiming at enhancing the competitiveness of the EU's advanced manufacture industry and improving its economic property and employment. This paper analyzed comprehensively the status of the nanotechnology industries, the progress of Research & Development & Innovation (RDI), as well as challenges and trends of nanotechnology in the future, which could be a reference for the development of the strategic emerging industries in China.

Key words: EU; European Commission; nanotechnology; Key Enabling Technologies; advanced manufacture industry