

捷克纳米产业概况

张云帆¹, 韩苍穹²

(1. 中国科学技术交流中心, 北京 100045;

2. 中国科学技术部, 北京 100862)

摘要: 捷克在传统优势产业基础上, 大力发展纳米产业, 凭借先进的研究基础设施和人才积累, 吸引了大量跨国企业来捷发展。捷克相关纳米企业组成产业集群抱团发展, 并以纳米纤维、纳米光学和先进制造为重点, 大力发展科研机构衍生企业, 形成良好的产业创新氛围。

关键词: 捷克; 纳米技术; 纳米产业; 产业特点

中图分类号: F416 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2020.12.004

捷克工业历史悠久, 是中东欧地区的制造业强国。近年来, 在机械、冶金、电子、环保、能源等传统优势产业基础上, 捷克凭借先进的研究基础设施和成熟的人才培养体系, 大力发展纳米产业, 涌现出许多优秀的成果和产品。目前, 捷克已成为全球纳米纤维生产设备、电子显微镜和单晶材料的重要供应商之一。

根据英国《金融时报》发布的《2018年外国直接投资报告》, 纳米产业最受外国投资者青睐的国家排名中, 捷克仅次于美国, 世界排名第二。捷克近10年纳米相关专业的在校学生数量保持在9万人, 每年有毕业生约2万人。一般研发人员工资仅为美国的35%, 中国的85%。在捷设立纳米研发中心的成本仅为美国或德国的40%。因此, 丹麦Fibertex公司(非织布生产商)、法国Saint-Gobain集团(主要从事高技术材料生产、加工、销售及服务)、美国Thermal Fisher Scientific集团(从事电子显微镜研发、生产)等世界著名纳米技术企业纷纷前来设立研发中心、生产基地^[1]。

1 捷克政府支持纳米产业发展

欧盟委员会将纳米技术、微(纳)米电子、半导体、光电、生物技术五大科技认定为“关键使能

技术”, 在“地平线2020”计划第二优先领域“产业领导力”中, 提出在纳米技术等重点领域, 加快技术和创新发展, 支持未来产业, 帮助欧洲创新型中小企业成长^[2]。

捷克政府根据自身产业发展特点和经济社会发展需求, 在《国家智能专业化研究与创新战略》(RIS3)中将纳米技术作为优先领域, 重点支持纳米技术在电子、生物技术、医疗和材料合成领域的应用研发活动。例如改进性能的纳米材料用于高效催化、光伏和燃料电池能量转化、空气净化和污染物处理、靶向药物输送和生物相容材料等^[3]。捷克《2016—2020国家研发创新政策》也将纳米技术列为研发创新的重点领域之一^[4], 并支持建立了13个国家行业研究平台, 以加强公立研究机构与企业合作, 推动科研机构创新。其中纳米技术平台主要研究以下内容。

(1) 纺织: 阻隔性纳米纤维纺织品(防止过敏原、细菌和病毒); 工业用纳米纤维材料(过滤); 功能性纳米纤维膜材料;

(2) 化工: 纳米表面保护等;

(3) 生态学: 应用锌、铁纳米粒子的水修复技术; 使用膜分离技术的过滤材料(聚合物纳米纤维膜), 不添加化学物质, 用于水和空气净化; 氧

第一作者简介: 张云帆(1987—), 男, 助理研究员, 主要研究方向为国际科技合作。

收稿日期: 2020-10-16

化铁纳米颗粒光催化涂层；

(4) 能源：石墨烯的研究及其应用（石墨烯超级电容器）；用于新型电池的纳米材料；

(5) 制药：纳米纤维结构（再生医学和组织工程学、纳米胶囊输送靶向药物）；改变食品补充剂或药物物理性质的微纳米技术（提高功效，降低毒性副作用）；

(6) 其他：纳米结构聚合物、电活性聚合物、热固性和热塑性复合材料、医用聚合物复合材料等。

此外，捷克地方政府也非常重视纳米产业发展，在捷克的 14 个州中有 9 个州将纳米产业作为未来发展重点。

捷克技术署作为捷克支持应用研发活动的主要机构，通过 TRIO 计划、TREND 计划和能力中心计划，对纳米技术等关键技术领域予以支持。其中 TRIO 计划支持关键技术领域的研发创新和工业合作研究，以企业为主导，研究机构参与，计划执行周期为 2016 至 2022 年，总预算 89.5 亿克朗（约 4.1 亿美元）。TREND 计划支持企业以工业 4.0 倡议为基础，在关键领域中引入现代化生产方式，加强企业的国际竞争力，推动研究成果应用于工业生产和社会发展。计划执行周期从 2020 至 2027 年，预算 149.23 亿克朗（约 6.8 亿美元）。能力中心计划主要在纳米技术等 11 个研究领域内，整合已有的研究设施平台，建立具有更高应用创新潜力的前瞻性研发创新中心，推动研究机构和企业建立长期合作关系，打造创新领导者。计划执行周期为 2018 至 2026 年，预算 89.79 亿克朗。其中涉及纳米技术领域的有 10 个能力中心项目，主要包括先进显微和光谱技术研究（布尔诺理工大学），使用环保纳米技术和生物技术进行水和土壤净化（帕拉茨基大学理学院），石墨烯基纳米复合材料的应用（捷克科学院无机化学研究所），材料表面处理研究（Synpo 公司）等。

2 捷克纳米产业研究机构概况

纳米技术是捷克产学研最活跃的领域之一，全国有超过 250 家机构从事纳米技术相关研发活动。研究机构主要包括 5 个大型研究基础设施和 8 个区域研发中心。

大型研究基础设施由捷克教育、青年与体育部

通过国家预算提供资金支持，拥有领先的科研设备和设施，被打造成为各领域内最先进的技术平台，向研究机构和创新企业等潜在用户开放使用。根据《2016—2022 大型研究基础设施路线图》，捷克涉及纳米技术的大型研究基础设施主要有 5 个，分别是捷克纳米实验室（Czech Nano Lab）、材料与纳米技术中心（CEMNAT）、材料生长与测量实验室（MGML）、低成本等离子与纳米技术表面改性研发中心（CEPLANT）以及用于环境保护与可持续发展的纳米材料和纳米技术平台（NanoenviCz）^[5]。

区域研发中心由欧盟和捷克政府共同出资支持建立，旨在建立以行业应用研究为导向的研发网络，以加速新科技知识向应用领域转移和传播，缩短企业创新周期。目前，捷克共有 32 个区域研发中心，涉及纳米技术的有 8 个，分别是：利贝雷茨理工大学纳米材料、先进技术与创新中心、帕拉茨基大学先进技术与材料区域中心、捷克科学院科学仪器研究所先进微技术与纳米技术的应用开发实验室、俄斯特拉发理工大学区域材料技术研究中心、西波西米亚大学新技术与材料中心、区域技术研究中心、MemBrain 公司膜创新中心。

3 捷克纳米发展特点

随着纳米技术在全球范围内快速发展，捷克纳米产业日趋发展成熟。主要以中小企业为主，抱团发展，从事纳米纤维生产、显微镜制造和先进制造等领域，形成良好的产业创新氛围。

3.1 组成产业集群，抱团发展

捷克纳米企业为加强产业影响力，彼此既竞争又协作，组成产业集群，加强研发合作，共同提升技术水平。其中以纳米进步联盟（Nanoprogress）和纳米协会（Nano Asociace）两个集群影响力最大。

纳米进步联盟是捷克纳米技术领域最主要的集群组织，其成员有 50 多个公司、研究机构等；主要致力于促进纳米技术领域应用研发，推动成果产业化，鼓励企业和学术界、研究机构开展合作，支持集群成员开展纳米技术相关商业活动和国际研究等。该集群重点是研发应用于工业和医疗用途的功能化纳米纤维结构，已开发出复杂的功能化纳米结构加工工艺，基于静电纺丝的新技术设备等。该集群累计为捷克纳米技术领域的研发活动提供经费

支持超过 2 000 万欧元, 共实施 20 多个研发项目。该集群还是机械工程(能源、冶金)、制药(生物技术、医疗器械、生命科学)和文化创意产业三个国家创新平台的成员^[6]。

纳米协会成立于 2014 年, 主要成员包括来自纺织、环保、光学、机械等各个行业的 22 家捷克公司, 均从事纳米技术工艺或材料产品的研发与生产活动。该协会重点推动会员企业在商业、研究和教育领域的发展。2015 年起该协会开始举办有关纳米技术的科普活动“纳米捷克”, 鼓励民众观摩纳米纤维生产, 并与捷克顶尖的纳米技术专家交流, 向公众展示捷克工业在纳米技术方面的成就, 宣传成功企业等^[7]。

3.2 以纺织工业为基础, 打造新型纳米纤维产业

2003 年利贝雷茨理工大学研究纳米纤维生产技术取得突破, 成功推出世界首个工业规模纳米纤维生产设备——“纳米蜘蛛”(Nanospider)。以此为基础, 捷克纳米纤维产业链飞速发展。

纳米蜘蛛, 又名纳米纤维纺丝机, 由利贝雷茨理工大学奥尔德里赫·伊尔萨克(Oldrich Jirsak)教授的团队与 Elmarco 公司合作发明。纳米蜘蛛通过强电场作用, 可将有机或无机聚合物水溶液制成纳米级的纤维, 制成的纳米纤维材料具有轻、薄、密度大的优点, 每平方米仅重数毫克, 且过滤和绝缘性能优异, 能够挡住病毒和细菌, 用途极为广泛。它解决了纳米纤维工业化生产的工艺难题, 使纳米纤维制品有可能走出实验室进入工业化生产, 开创了纳米纤维纺织行业的新时代。目前, Elmarco 公司生产的纳米蜘蛛占据全球 70% 市场。

基于纳米蜘蛛设备和相关技术, 捷克 Nafigate 公司研发的无针、高压、自由液面静电纺丝技术, 生产用于纱窗、口罩、空调过滤器、工业过滤用品等用途的纳米纤维网膜, 其产品具有过滤效果好、高透光性、透气性好、隔热等优点。Nafigate 公司生产的纳米防雾霾纱窗, 能够有效去除亚微米颗粒、病毒和细菌, 且抗紫外、可水洗、可反复使用, 在深圳第 19 届高新技术成果交易会上被评为“十大人气产品”之一。

Contipro 公司则研发出基于静电纺丝技术的新型纳米纤维生产设备——4SP1N, 可使用聚合物溶液生产直径 2 纳米到数微米的纳米纤维, 生产效率

提升 13 倍, 并可使用透明质酸、壳聚糖或纤维素等天然聚合物作为原料。该设备生产的聚合物纤维具有更好的生物相容性和低免疫原性, 可广泛应用于生物医学, 如伤口辅料、药物输送等。该公司主要从事化妆品和制药行业的活性物质研发和生产, 是全球最大的透明质酸及其衍生品生产商, 占有着欧洲 60%、全球 33% 的市场。

此外, 纳米纤维领域还有: Nanopharma 公司专门研发医用纳米纤维材料, 相关产品主要用于皮肤病学(使用纳米技术的皮肤再生医学敷料)、化妆品(添加了活性物质的纳米纤维)、药物递送(使用纳米颗粒固定并控制缓慢释放活性物质)、细胞组织工程等。Pardam 公司和帕尔杜比采大学合作研发的二氧化硅纳米纤维, 具有独特吸附性能, 可作为贵金属颗粒催化物的载体, 广泛应用于能源、电子、食品和化学等行业。

3.3 大力发展纳米显微行业, 助力科研进步

捷克纳米显微技术起源于捷克籍电子显微镜之父阿明·德龙(Armin Delong)教授。1949 年, 他发明了首台可量产的桌面电子显微镜——TELSA BS242, 具有小巧、便携、易操作等优点, 一经推出就获得市场的青睐。以此为基础, 捷克第二大城市布尔诺的电子显微镜产业逐步发展壮大。全球电子显微镜三大巨头 Thermo Fisher Scientific、Tescan Orsay 和德龙仪器(Delong Instruments)均在此设立研发中心或工厂。2014 年 Thermo Fisher Scientific 的子公司 FEI 在布尔诺设立全球最大的显微镜工厂^[8]。目前, 布尔诺已发展成为全球电子显微镜技术中心, 产量超过全球的 30%。

2013 年原捷克 Tescan 公司与法国 Orsay 集团合并成立 Tescan Orsay 集团。双方结合技术特长, 将聚焦离子束(FIB)与扫描电子显微镜(SEM)耦合成为 FIB-SEM 双束系统, 通过结合相应的气体沉积装置、纳米操纵仪、各种探测器及可控的样品台等附件, 开发出一个集微区成像、加工、分析、操作于一体的分析仪器。产品应用范围也已经从半导体行业拓展至材料科学、生命科学和地质学等众多领域, 产品销售至全球 80 多个国家和地区。

此外, 中欧技术研究所的衍生企业 Neno Vision 公司研发的 LiteScope 仪器, 作为附属设备配合电子显微镜, 可观测材料样品的 3D 表面。还可配合

原子力显微镜测量样品的磁、电性能，应用广泛。

电子显微镜的核心部件光学晶体是捷克 Crytur 公司的主要产品，其在合成晶体制造和加工领域全球领先。1953 年起，Crytur 公司专注于先进的晶体生长和精密加工技术研究，在晶体探测器和设备及新材料方面具有技术优势。产品线包括扫描电子显微镜探测器、激光器用单晶材料、高品质光学仪器介质表面等，与多家学术机构保持长期合作。其与捷克科学院合作，发明了用于发光二极管和激光二极管的合成晶体生产，具有更好的性能、更高的发光度、更少的热量和更长的寿命。

IQ Structures 公司主要研究纳米光学技术，主要研发：（1）3D 全息防伪技术，使用高分辨率的电子束雕刻纳米光学结构，用于个人证书、文件等的防伪，该技术目前已在 65 个国家参与数百个项目合作。（2）纳米微孔透镜技术，使用塑料微型光结构，可实现精确控制透过的光线，优化光线分布和整体效果，较传统的玻璃注塑、磨削工艺生产效率更高、更经济，易于量产，可用于纳米打印、电子束光刻、UV 光刻等。此外，IQ Structures 还与捷克科学院科学仪器研究所、挪威 ELTEK 公司合作开发了纳米 3D 打印机，可实现微型尺寸的打印，甚至是几百纳米到几百微米的高精度复杂结构，在某些场景中可实现传统光刻技术无法生成的结构。

3.4 研发纳米新材料，打造新型竞争力

捷克企业还结合纳米技术与材料科学，开发新型纳米材料，形成独特的技术优势，并使相关产品在建筑、医疗、能源等领域得到广泛应用。主要企业有研发纳米抗菌材料的 AM JTJ 公司、Nano4people 公司以及引发储能新型电池革命的 HE3DA 公司等。

AM JTJ 公司致力于开发抗菌纳米材料，主要产品是具有超强光催化功能的二氧化铁纳米涂层。涂层表面吸收阳光后，可产生高反应性自由基，杀死病毒、细菌和其他微生物，有效清除空气中的有机和无机污染物，并实现自清洁功能。而 Nano4people 公司的抗菌纳米涂层则使用铁和银纳米颗粒，主要用于医院等场所的墙壁，能改善医院环境的清洁度，保护患者和医护人员，降低感染风险。

AM JTJ 公司的子公司 HE3DA 与捷克科学院雅罗斯拉夫物理化学研究所、布尔诺理工大学合作开发了使用新型 3D 纳米结构材料的锂电池。这种新型锂电池的蓄积层显著增强，隔板数量减少，结构更加简化，充电响应快，充、放电电流大，单位体积容量更高，可安全地存储数百兆瓦的能量，有效解决了可再生能源的存储问题。使用寿命超过 5 000 个充电周期，每个周期的效率超过 95%，批量生产成本低至每千瓦时 100 美元以下，仅为当前电池成本的 1/3。

3.5 以科研机构为核心，大力发展衍生企业

随着捷克纳米产业的发展，技术实力不断提升，还催生了许多衍生企业。它们多以研发纳米材料为主，是技术转移的成功案例，示范和引领着捷纳米产业的发展方向。主要包括：

生物科技公司 LAM-X，由查理大学和捷克科学院合作，成立于 2020 年初，已获投资 1 200 万克朗。主要开发光催化纳米抗菌材料。抗菌敷料等相关医用材料在临床研究中表现出色，反应快速且具有非特异性，能有效降低手术感染率，加速伤口愈合、克服细菌抗药性等。

科研设备制造商 AtomTrace，是中欧技术研究所的衍生公司，成立于 2014 年。主要研发、生产渐进式激光诱导分解光谱分析仪，可用于二维或三维表面下材料薄层的多元素化学分析检测，具有速度快、分辨率高的优点，可用于实验室和工业用途。

环境修复公司 Nano Iron，是帕拉茨基大学先进技术和材料区域中心的衍生公司，成立于 2008 年。主要生产具有高还原性的零价纳米铁颗粒，并使用该材料进行环境修复，处理多类高浓度氯代烃类有机污染物及重金属污染等。零价纳米铁颗粒反应表面积大，是快速表面反应和环境污染降解的理想载体，转化的产物是无毒的氧化铁，且具有还原能力强、尺寸小、反应性高、处理周期短等优点，适用于地下和地表水体的修复，尤其对氯化烃、硝基化合物、六价铬、铀和其他重金属污染物的修复效果较好。目前该公司是世界最大的零价铁纳米颗粒生产商。

研究材料表面处理公司 Roplass，作为马萨里克大学低成本等离子和纳米技术表面处理区域研发中心的衍生企业，主要设计、开发和制造等离子体

表面处理材料和相关设备, 面向汽车、纺织、造纸等行业。而另一家同类型企业 Advamat, 则是捷克理工大学的衍生公司, 主要研究材料表面处理、测试和摩擦学, 研发具有特殊性能的薄膜和材料, 如超硬或低摩擦材料等。

4 小结

近年来, 捷克社会稳定发展, 经济增长居欧盟前列。在人力资源优势和高质量的研究机构的支持下, 纳米产业也快速发展, 产学研合作不断加强, 技术水平快速提升, 相关产品已具有一定竞争力。这主要得益于: (1) 捷克纳米产业应用研发实力强, 研究成果产业化经验较丰富, 中小企业积极开展研发活动, 不断涌现技术衍生公司, 形成了良好创新生态。(2) 捷克纳米相关产业人才培养体系成熟, 尤其是大学、研究机构与产业界深度合作, 培养了大量理论基础扎实、科研实力强、产业研发经验丰富的人才。(3) 捷克在工业纳米纤维纺织设备、电子显微镜、单晶材料等细分领域积累了世界领先的技术优势, 占据重要的市场地位。■

参考文献:

[1] 捷克投资局. 捷克纳米技术概况 [EB/OL]. (2018-05-10) [2020-04-16]. [https://www.czechinvest.org/en/Key-](https://www.czechinvest.org/en/Key-sectors/Nanotechnology)

[sectors/Nanotechnology](https://www.czechinvest.org/en/Key-sectors/Nanotechnology).

- [2] 欧盟委员会. 为我们的未来做准备: 发展欧洲关键使能技术总策略 [R/OL]. (2009-05-12) [2020-04-16]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52009DC0512>.
- [3] 捷克工业与贸易部. 国家智能与专业化研究与创新战略 [R/OL]. (2018-12-31) [2020-04-25]. <http://www.czech-research.com/rd-system/key-documents/ris3-strategy/>.
- [4] 捷克政府. 2016—2020 年国家研发创新政策 [R/OL]. (2016-02-20) [2020-04-20]. http://www.czech-research.com/wp-content/uploads/2016/09/NRDIP_2016-2020_eng.pdf.
- [5] 捷克教育、青年与体育部. 2016—2022 年捷克大型研究基础设施路线图 [EB/OL]. (2019-11-01) [2020-04-30]. <https://www.vyzkumne-infrastruktury.cz/en/roadmap-of-large-research-infrastructure-of-the-czech-republic/>.
- [6] 纳米进步联盟. 捷克纳米进步联盟概况 [EB/OL]. [2020-05-10]. <https://www.nanoprogess.eu>.
- [7] 捷克纳米协会. 捷克纳米协会概况 [EB/OL]. [2020-05-10]. <http://www.nanoasociace.cz/>.
- [8] 捷克贸易局. 捷克共和国代名词就是纳米 [EB/OL]. (2018-11-01) [2020-05-15]. <https://www.czechtradeoffices.com/zh/about-us/traditional-czech-export/sectors>.

A Survy of the Czech Nano-Industry

ZHANG Yun-fan¹, HAN Cang-qiong²

(1.China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045;

2. Ministry of Science and Technology of China, Beijing 100862)

Abstract: The Czech Republic has been developing its nano-industry on the basis of its traditional advantageous industries. With an advanced research infrastructure and human resources, it has attracted a large number of multinational companies to Czech Republic. Czech nano-enterprises are developing in the form of clusters, and focusing on nano-fibers, nano-optics and advanced manufacturing, vigorously develop spin-offs, creating a prosperous industrial innovative environment.

Key words: the Czech Republic; nanotechnology; nano-industry; industrial characteristics