

纳米科技与产业发展 信息动态

第 7 期(总第 283 期)

2018 年 7 月 20 日

主办单位：上海市纳米科技与产业发展促进中心

协 办：上海科学技术情报研究所

上海华明高技术（集团）有限公司

上海大学纳米科学与技术研究中心

国内外石墨烯研究动向（下）

——竞争与趋势篇

二、市场及产业化

1 石墨烯十年市场分布

根据 IDTechEx 公司预测，石墨烯市场在 2027 年将达到 3 亿美元的市场，这一数据还不包括石墨烯衍生产品的市场。而连续下降的平均销售价格将伴随销售量的上涨，预计 2027 年将超过 3.8kt/年。同时，IDTechEx 还预测，2027 年 90% 的市场将为石墨烯片材。

石墨烯的兴趣受到强大关注。每年大量企业进入市场，学术投资不

断涌入。与此同时，一些石墨烯公司已经在公开市场表现出持续投资于石墨烯的兴趣。IDTechEx 公司估算，几年来，石墨烯公司获得私人投资约为 60 亿美元。

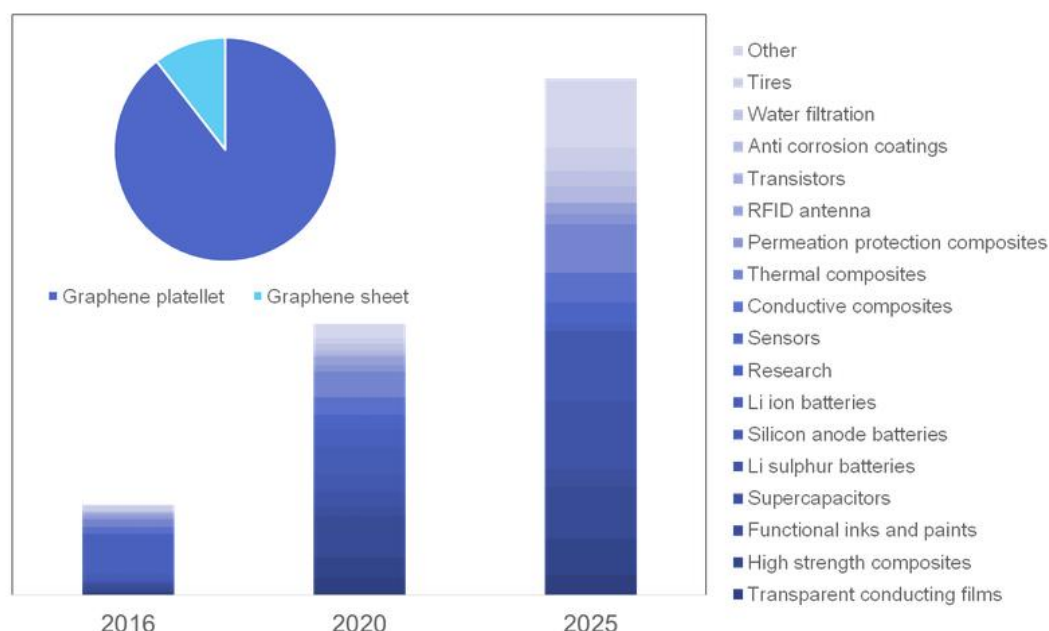


图 3 未来 10 年石墨烯应用分类市场

来源：IDTechEx 公司

石墨烯仍然在寻找它的杀手级应用，如果没有这样的应用，其商业化进程仍然是一个替代游戏。石墨烯可以应用于包括能量储存、复合材料、功能性油墨、电子和石墨竞争领域，但其技术要求和制造方法各不相同，因此，石墨烯市场实际上包括多个子集。

IDTechEx 预测功能性油墨和涂料将可能是最早进入市场的领域。功能性油墨具有低温加工性、与若干印刷工艺的兼容性和坚固性。然而，他们占据了导电性能比较尴尬，比金属油墨及膏（银，铜）低得多，

但略高于碳。因此，他们必须找准细分应用领域。目前石墨烯墨水主要目标应用是 RFID 和智能包装，而这些市场的特点是低材料消耗。与碳墨水潜在的区别应该在于透明度，这一点正在快速发展。到 2018 年，功能性油墨和涂料的市场份额可能达到 18%。

能源存储和复合材料可能未来会成为最大的应用领域市场，2027 年可能分别占有 25%和 40%的市场。储能是石墨烯的一个非常有吸引力的目标市场。超级电容器是一种高增长的行业。IDTechEx 公司预计，在未来的十年该市场的复合年增长率将高达 30%。虽然石墨烯可提供高的表面体积比，但由于低至 5 美元/公斤的价格，活性炭仍然占据目前的市场，预计石墨烯在储能领域的市场将于 2019 年后快速增长。已有一些锂离子产品进入市场。

透明导电膜市场不仅规模大，而且保持不断增长。目前 ITO 薄膜在市场上占主导地位，并加速产能。不过由于新进入者和如对超低薄膜电阻、机械强度和更低价格等不断增长的需求的驱动，市场正在改变。许多替代品不断涌现，包括银纳米线、金属网、PEDOT 和碳纳米管。石墨烯可以是透明导体，但需要与 ITO 薄膜结合才能呈现最佳性能，因此除非生产技术发生重大创新，否则很难拥有自己的位置。由于石墨烯没有带隙，成熟产品进入如晶体管等电子市场还遥不可及。

复合材料行业规模大，需求众多导致相对分散。此领域内，石墨烯可作为添加剂，也可使用石墨烯纳米薄片。石墨烯的优点是它可以实现多种功能。换句话说，它可以帮助提高导电性、导热性、抗渗性和机械强度等。石墨烯可达到相当于或优于使用石墨或碳黑的效果，而用量要少得多。

2 产业化阶段

中关村石墨烯产业联盟理事长、中科院院士刘忠范对目前石墨烯的发展阶段进行了解读。通过 Gartner 技术成熟度曲线，刘院士认为石墨烯现阶段处于图中关注度的峰值区域，也就是期望值非常高，同时他还指出，很多做基础研究的人现在已经退出石墨烯领域，因为成果高产期已经过了。

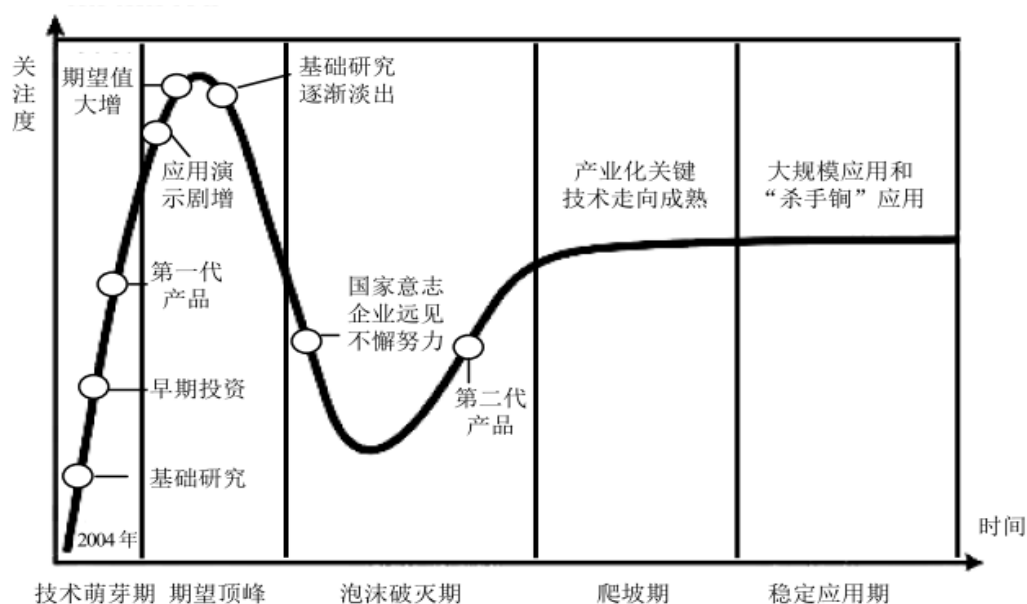


图 4 石墨烯产业的 Gartner 技术成熟度曲线

三、石墨烯竞争态势

2016 年 7 月 12 日在江苏常州发布的《新华（常州）全球石墨烯指数报告》显示，2015 年，中国已超越美国、韩国，在全球石墨烯产业综合发展实力榜上居首位。全球石墨烯指数评价结果显示，2015 年样本国家石墨烯产业综合发展水平前 3 的国家分别为：中国、美国和韩国。其中中国处在相对领先的位置，美国、韩国紧随其后；德国、日本、澳大

利亚和新加坡处在第 2 梯队；英国、印度、加拿大和法国位于第 3 梯队；俄罗斯、西班牙和意大利处于第 4 梯队。

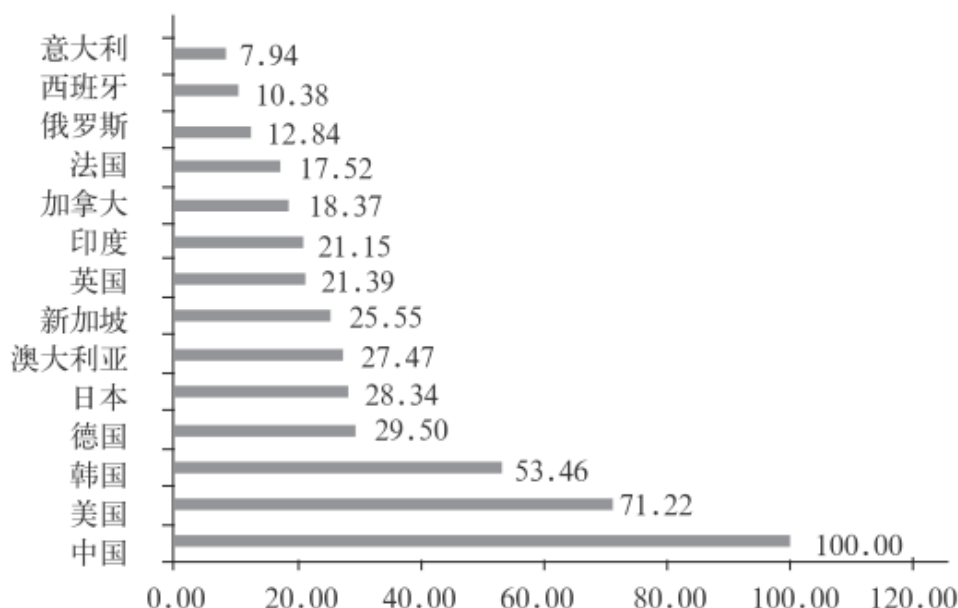


图 5 全球石墨烯指数评价结果

石墨烯生产和应用技术作为世界高技术发展的战略制高点，其产业化发展程度备受各国公司关注。截止目前约有 80 多个国家和地区开展石墨烯研究。韩国三星集团、美国 IBM 公司、芬兰的诺基亚公司、中国的华为、中兴等公司也都纷纷瞄准石墨烯未来商业市场，积极推进石墨烯材料在高端应用领域的开发。

总体上，前期世界各国的支持政策主要集中在石墨烯基础研究；当前大多集中在石墨烯产业链中游，以石墨烯功能器件研发为主；预计未来 5 到 10 年，各国对石墨烯行业的支持仍将集中在石墨烯中游产业链，以进一步加快石墨烯产业化。

同时少数领先国家已形成完整产业链，拥有规模化下游应用。例如美国已形成相对完整的产业链，覆盖从研究到生产制备、再到下游应用

环节，尤其是下游应用环节表现多元化，包括 IBM、英特尔、波音等众多大型企业，同时良好的创业环境催生了众多快速发展的中小型石墨烯企业。

表 3 各国石墨烯主要发展方向

国家	重点方向
美国	完整产业链：半导体、复合材料、超级电容、导电油墨、电子器件、传感器等
英国	导电油墨、柔性显示其、涂料、储能等
欧盟	研究：材料制备、光电显示、传感器、医疗器件、柔性显示、储能、集成电路等 企业：粉体、薄膜、复合材料制备
韩国	薄膜制备和设备生产 应用领域：半导体、触摸屏、柔性显示、可穿戴设备
日本	石墨烯薄膜连续化之辈，电子器件应用开发

我国在石墨烯的研究实力不断增强，也呈现出初步进入规模化应用的前期阶段。当前，国内某些公司已具备提供石墨烯的能力，但主要应用于试验和应用研究，真正实现高端应用的较少，且相关企业的年产能大多不超过百吨级。随着政策支持力度的加大、资本投入以及宏量制备技术的突破，未来 5-10 年，多数企业年产能将达到千吨级，少部分大型企业年产能有望达到万吨级。我国石墨烯产业中的部分企业注意力已经从材料制备转向下游应用。受制备技术和成本因素影响，目前市面上的石墨烯产品主要为粉体、涂料、散热膜和触控屏等。

近几年石墨烯技术研究和产业化发展持续升温，已经吸引越来越多的企业参与石墨烯下游应用产品的开发。从表 4 可以看出，目前全球涉

足石墨烯应用产品开发的相关企业主要集中在触控显示屏、电化学储能器件、涂料、导电油墨、运动器材、电子纸、LED 照明、理疗产品等领域。

表 4 国内外石墨烯生产企业

国家	企业
中国	宁波墨西、厦门凯纳、东莞鸿纳、常州第六元素、德阳烯碳、唐山建华、上海新池、七台河宝泰隆、青岛华高墨烯、济宁利特纳米、宣城亨旺新材料、中科炭美、碳谷上希、宁波柔碳、重庆墨希、香港正道等
美国	ACS Material、Advancedmicro Devices、Allotropica technologies、Angstrom Materials、Asburycarbons、BGT Materials Limited、Graftechinternational Ltd 、 Graphene Laboratories 、 CVD Equipment 、 Graphene Devices 、 American Graphite Technologies 、 CVD Materials Corporation 、 National NanoMaterials、Nanotek Instruments、Graphene 3D Lab、Graphene Technologies、Vorbeck Materials、Graphene Frontiers、Carbon Sciences、XG Sciences、Xolve、Solan、Garmor、SiNode Systems、Graphene ESD、Apex Graphene、Zyvex
加拿大	Sunvault Energy、Elcora Resources、Nano Integris、NanoXplore、Calevia、GrafoiIdInc、Graphene Leaders Canada、Graphene Sensors Inc.
英国	Grapheneindustries Ltd、Graphene Nanochem、Versarien、Applied Graphene Materials 、 Cambridge Nanosystems 、 Future Technologies、Graphene Industries、Graphene Laboratories、GrapheneNanochem、Haydale、Morgan Advanced Materials、Perpetuus Carbon、Cientifica、Graphenex、Moorfield、Perpetuus Carbon
西班牙	Graphenea、GRAnPH Nanotech、Graphenano、NanoInnova Technologies、Grafen Chemical Industries、Graphensic
瑞典	Grafen Chemical Industries、Graphensic

土耳其	NanoGrafen、Nanografi、Grafenchemical Industries
德国	Aixtrons.e.、Angewandtemikro- Und Optoelektronik GmbH、BASF
韩国	Graphene Square、Samsung、LG
日本	Incubation Alliance、Sony、GraphenePlatform Corp
印度	Anderlab Technologies

表 5 全球各区域不同石墨烯应用研究的相关企业

应用类型	企业
触控显示屏	二维碳素、格菲电子、重庆墨希科技、辉锐、Samsung、Sony、Toshiba
电化学储能器件	东旭光电、超威电池、海宝电池、正道集团、玉皇新能源、国轩高科、立方能源、中车集团、Grabat、Samsung、Vorbeck Materials、Skeleton Technologies、ZapGoCharger
涂料	中科院宁波材料技术与工程研究所、道森新材料、华高墨烯、Applied Graphene Materials、Graphenstone
电子纸	奥翼电子、德国 PlasticLogic
导电油墨	Vorbeck Materials、Hydale
轮胎	华高墨烯、第六元素、Vittoria
水处理	济宁利特、Lockheed Martin
LED 照明	山东晶泰星、Graphene Lighting、Exposure Lights
车辆工程	Briggs、Dassi
理疗产品	二维碳素、烯旺科技、圣泉集团、凌拓科技
纺织服装	圣泉集团、烯旺科技、意大利 Directa Plus、Oros Apparel
运动器材	胜利体育（Victor）、HEAD、Catlike、Century Composites、G-Rods
导热膏	Thermene
电子标签	Siren Technology、Graphene Security

国内对于石墨烯的重视，也使中国在石墨烯的专利申请量和论文发表量快速上升，中国在 2016 年时的石墨烯专利量已经占据全球的 60%，领先于韩国、美国和日本。中国还拥有全球最为庞大的石墨烯研发队伍，论文数量顺理成章排名第一，早在 2015 年 8 月底，中国在石墨烯领域发表论文就占到全球的 34%（超过美国的 19%）。

但是，与专利数量虚高所对应的，石墨烯低端产能也很高，据中科院成会明院士提供的数据，全国的产能差不多有 7000 吨，但实际的产量也就 100 吨左右。有生产没应用这是一个大问题，目前做的很多新材料解决不了应用的问题，或者说对于产业带不来很多社会价值。“十三五”重点将在材料的应用上发力，针对应用将制定一些新的政策，包括保险机制、财税机制，相应的配套政策工信部等相关部委正在研究。

四、石墨烯发展趋势

新技术行业研究公司壹行研（Innova Research）最新公布了 2018 全球石墨烯九大趋势。

趋势一：石墨烯制备技术不断突破

石墨烯制备技术不断突破。美国能源部旗下的阿贡国家实验室（Argonne National Laboratory）新开发了一个应用金刚石衬底材料通过超高速化学气相沉积（CVD）法制备单晶石墨烯的技术，这个技术可以大大降低石墨烯膜的成本。在中国，北京大学和香港理工大学合作通过改进化学气相沉积法来有效提高石墨烯单晶膜的生长速度。最近，更有日本研究者开发了低温 CVD 方法直接将石墨烯生长在塑料或者二氧化硅基底上，来避免单晶膜转移时可能受到的损伤。壹行研（Innova Research）预计 2018 年会有更新颖的石墨烯制备技术出现。石墨烯产品良率进一步提高、制备成本进一步下降是大趋势。

趋势二：石墨烯原料呈现多样化

石墨烯制备通常以石墨为原料。不过，壹行研（Innova Research）研究发现石墨烯原料开始呈现多样化的趋势。除了常规的石墨原料外，新开发的石墨烯微片的制备原料多种多样，其中甚至包括大豆油、废弃生物质等原料。石墨烯原料多样化有望提高原料的可获得性，降低原料成本，从而进一步降低石墨烯材料的价格。

趋势三：石墨烯产业标准化热潮兴起

2017 年 10 月，由英国国家物理实验室（NPL）领导制定的世界上第一个 ISO 石墨烯标准出版。该标准定义了用于描述不同形式的石墨烯和相关 2D 材料的术语，并为石墨烯的测试和验证提供了可执行的依据和标准。同期，领先的英国石墨烯公司 Directa Plus 和意大利的 University of Insubria 也主导制定了一个石墨烯生产标准流程。在中国，2017 年 2 月中国石墨烯国家标准提案立项研讨会在无锡石墨烯产业发展示范区召开，国内的石墨烯专家就石墨烯检测与表征、通用基础、安全、产品等 46 项标准立项提案进行了探讨。

作为一个新兴的材料，石墨烯还没有一个全球认可的产业标准，甚至连什么产品算是石墨烯都是众说纷纭。壹行研（Innova Research）认为，石墨烯产业的标准化是大势所趋。在全球范围内，2018 年我们会看到更多的石墨烯产业和技术标准落地，这将为石墨烯产业的健康发展打下良好的基础。

趋势四：各国在石墨烯领域的投资热情持续高涨

各国针对石墨烯研发和产业化的投资以及扶持政策不断升级。除了中国在十三五计划等国家级规划中一再确认石墨烯的战略新兴材料的地位，并对石墨烯引导基金等的持续投入外，很多国外政府、知名产业

公司和基金也对石墨烯技术关注有加。比较有影响力的机构和投资项目包括阿联酋的阿布扎比未来能源（Abu Dhabi Future Energy Company, Masdar），英国的高等教育研究合作基金（UKRPIF）以及创新英国（InnovateUK）耗资 6000 万英镑在曼彻斯特建设的石墨烯工程创新中心（Graphene Engineering Innovation Centre, GEIC）。这个石墨烯工程创新中心预计在 2018 年开始运营。壹行研（Innova Research）预计，随着石墨烯应用和产业化的不断拓展，各国政府、研究与投资机构在 2018 年对石墨烯领域支持政策以及相关的资金投入将会有增无减。

趋势五：石墨烯市场竞争激烈，价格持续走低

如壹行研（Innova Research）在 2017 年初出版的《2017 全球石墨烯趋势》一文中预测的，随着石墨烯产能的持续扩张，价格竞争趋于激烈，石墨烯价格（特别是石墨烯粉体的价格）呈现连续下降的趋势。

在中国，有些物理法制备的石墨烯微片产品的价格已经降至几元至几十元人民币一公斤。在全球市场，加拿大的 NanoXplore 也宣称要以 10 美元一公斤的价推广高品质寡层石墨烯粉体来抢占市场。壹行研预计石墨烯价格下降的趋势在 2018 年将得以延续。随着石墨烯制备技术的进一步完善、原料的多样化和原料价格的下降、以及制备成本的进一步降低，石墨烯材料降价的趋势可能会从目前的中低端石墨烯材料延伸至高端石墨烯材料。

趋势六：石墨烯在传感和其他电子领域的应用获得突破

电子是石墨烯最大的应用领域。2017 年，除了石墨烯射频标签（RFID）、石墨烯的电磁干扰屏蔽/静电保护（EMI/ESD）元器件等应用，市场上出现了更多的石墨烯电子产品。石墨烯在各个电子细分市场中的拓展进一步深入。

相关新应用的案例包括 Graphenea 成功地将石墨烯应用于逻辑设备（200mm CMOS-compatible graphene wafers）；Nanomedical Diagnostics 开始出货高灵敏度、小体积的石墨烯生物传感器；Emberion 开发的石墨烯传感器在近红外成像及医疗和工业 X 射线成像等领域得到应用等等。另外，还有多项集成石墨烯材料的气体 and 湿度传感器产品问世。

趋势七：石墨烯在储能领域的应用进一步拓展

储能是石墨烯应用的三大领域之一，除了石墨烯材料在导电液中的应用外，石墨烯材料的应用范围也扩大到锂离子电池电极保护和电极本身。目前，石墨烯在储能领域的典型应用案例包括华为研究院的石墨烯电池保护材料和加拿大的 Grafoid 推出的一款用于新一代锂离子电池电极保护的石墨烯复合材料惰性膜。2017 年，加拿大的 Saint Jean Carbon 还发布了高纯度石墨烯应用于阳极的锂离子电池，其测试电学性能优于传统的石墨阳极电池。壹行研（Innova Research）预测 2018 年石墨烯材料在储能领域的应用将进一步拓展。并可能在包括太阳能电池在内的其他储能产品上获得突破。

趋势八：石墨烯防腐涂料和石墨烯纺织品值得关注

2018 年，在石墨烯复合材料领域，值得持续关注的是石墨烯防腐涂料和石墨烯纺织品。目前，石墨烯材料在纺织物上的应用开始商业化。相关案例包括全球石墨烯行业龙头企业 Directa Plus 和 Colmar 合作推出的石墨烯增强纤维的滑雪夹克。在中国，南通强生凯瑞纳的防火纺织物、深圳烯旺科技的石墨烯发热智能服饰及家纺产品也受到关注。

壹行研（Innova Research）预计，随着石墨烯制备成本的进一步下降，除了业已实现商业出货的石墨烯涂料有可能从现在的海上风电、

高端船只等高端市场向中端的运动用品等大众消费品市场渗透外，石墨烯纺织品市场的进一步发展也可以预期。石墨烯防腐涂料和石墨烯纺织品应用值得关注。

趋势九：石墨烯在汽车上的应用开始落地

石墨烯在汽车上的应用开始落地。2017年，英国的石墨烯公司 Haydale 与定制超跑制造商 BAC 合作开发的 BAC Mono 石墨烯增强跑车在 2017 世界移动大会亮相。另外，Fisker 宣布在 Fisker Emotion 电动汽车上采用石墨烯电解液的固态电池以实现高速充电。正如壹行研（Innova Research）在之前出版的《石墨烯在汽车上的应用，哪些最具商业化潜力》一文预测那样，2018年，我们将会看到更多的石墨烯材料在轻量化车身结构复合材料、车用传感器、抗冲击和散热器件，以及动力电池等产品中得到应用。这些车用石墨烯产品的商业化潜力可能在未来几年慢慢显现。

主要参考文献：

[1]Scientific and Technological Roadmap for Graphene in ICT , ec.europa.eu/information_society/.../001_DeliverableD311.pdf.

[2]Graphene, 2D Materials and Carbon Nanotubes: Markets, Technologies and Opportunities 2017-2027. <http://www.businesswire.com/news/acullen/20170421005424/en/Graphene-2D-Materials-Carbon-Nanotubes-Markets-Technologies>.

[3]2016 年中国石墨烯市场规模及应用领域前景分析 . <http://www.chyxx.com/industry/201609/453720.html>.

（ISTIS 整理，完）

上海市纳米科技与产业发展促进中心 地址：上海市徐汇区嘉川路 245 号 邮编：200237 电话：021- 64101616
上海科学技术情报研究所 地址：上海市永福路 265 号 邮编：200031 电话：64455555-8427 传真：64377626
责任编辑：卞志昕 电子邮件：zxbian@libnet.sh.cn 陈晨 电子邮件：chenchen@snpc.org.cn