

纳米科技与产业发展 信息动态

增刊 78(总第 271 期)

2017 年 9 月 25 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

新闻快讯

※※※※

国之利器 始于毫末

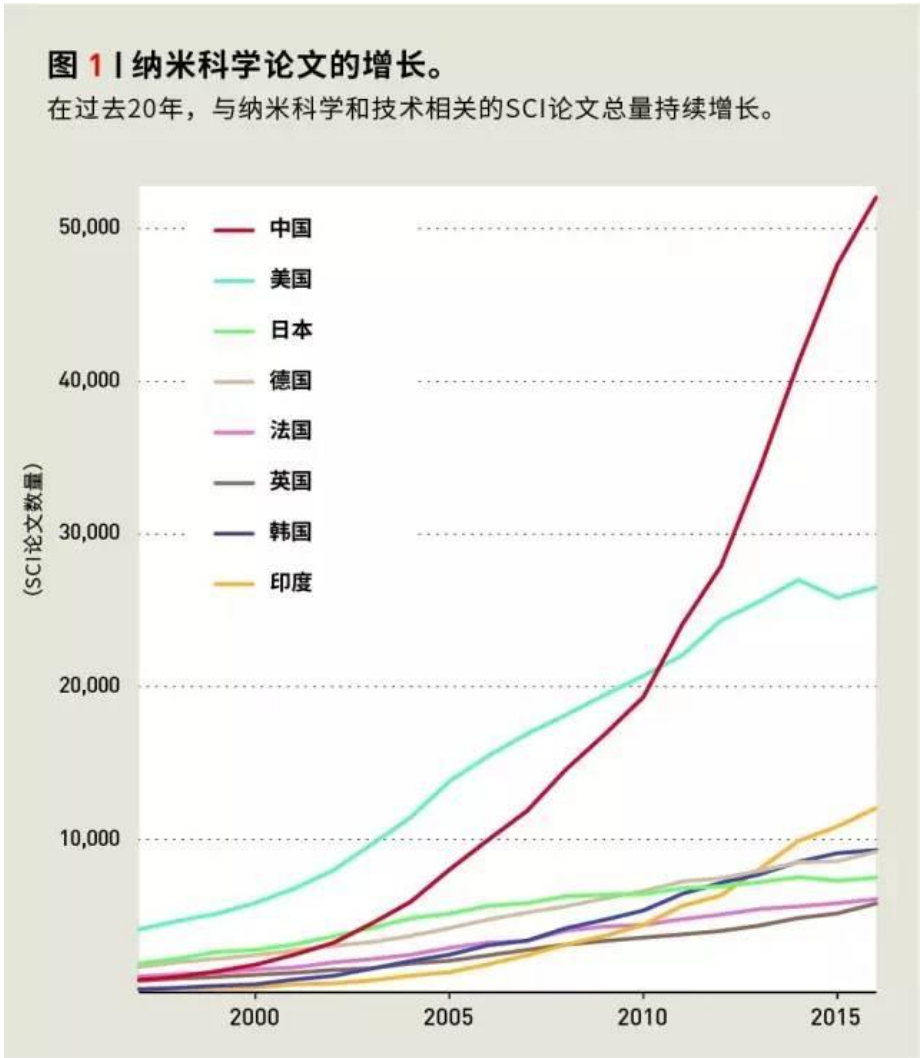
——之“不断崛起的中国纳米科研”

过去二十年，中国的科研产出实现了人类有史以来前所未有的增长速度，这已不是 什么秘密。1997 年，中国的科研人员参与撰写的科研论文约占科学引文索引（简称 SCI，现由科睿唯安编制）期刊全球所发表的论文数量的 2%。目前，中国几乎贡献了全球四分之一的原创论文。其中，最能突出展现这一发展趋势的研究领域几乎非纳米科学与技术莫属了。

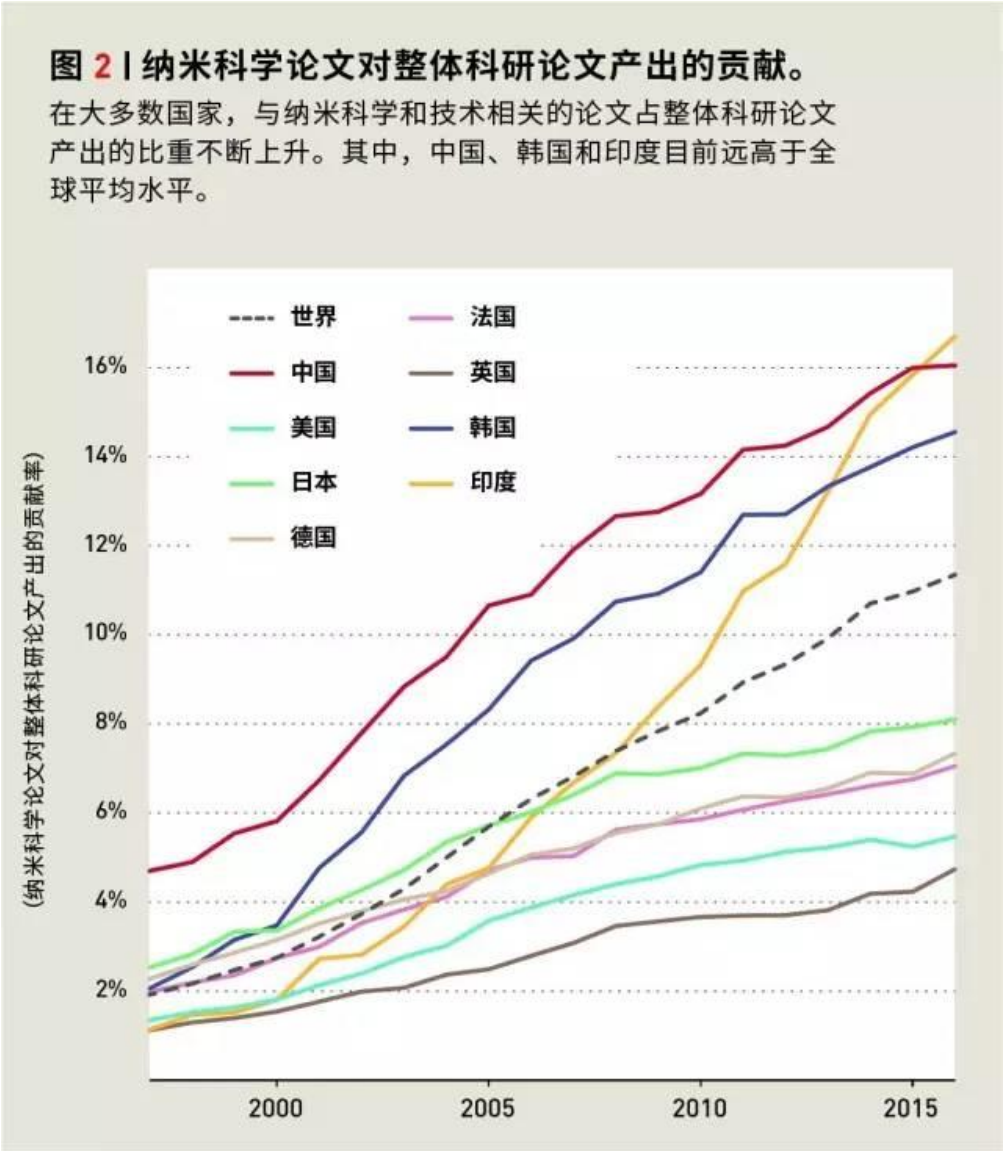
为了更好地理解中国纳米科研的兴起，我们将分别从原创科研论文数量、自然科研最新推出的 Nano 数据库收录的科研贡献，以及专利产出情况这几个方面，将中国与世界其他主要科研国家的科研产出进行对比。

1、过去二十年的论文产出

为了开启这个有关中国纳米研究状况的调查，我们根据 SCI 的扩展数据库，使用与‘纳米科学与技术’相关的关键词进行检索，由此获得全球主要科研强国逐年的论文发表数量。计入的这些论文主题涵盖了诸如‘纳米管’、‘量子点’、‘原子力显微镜’等专业词。



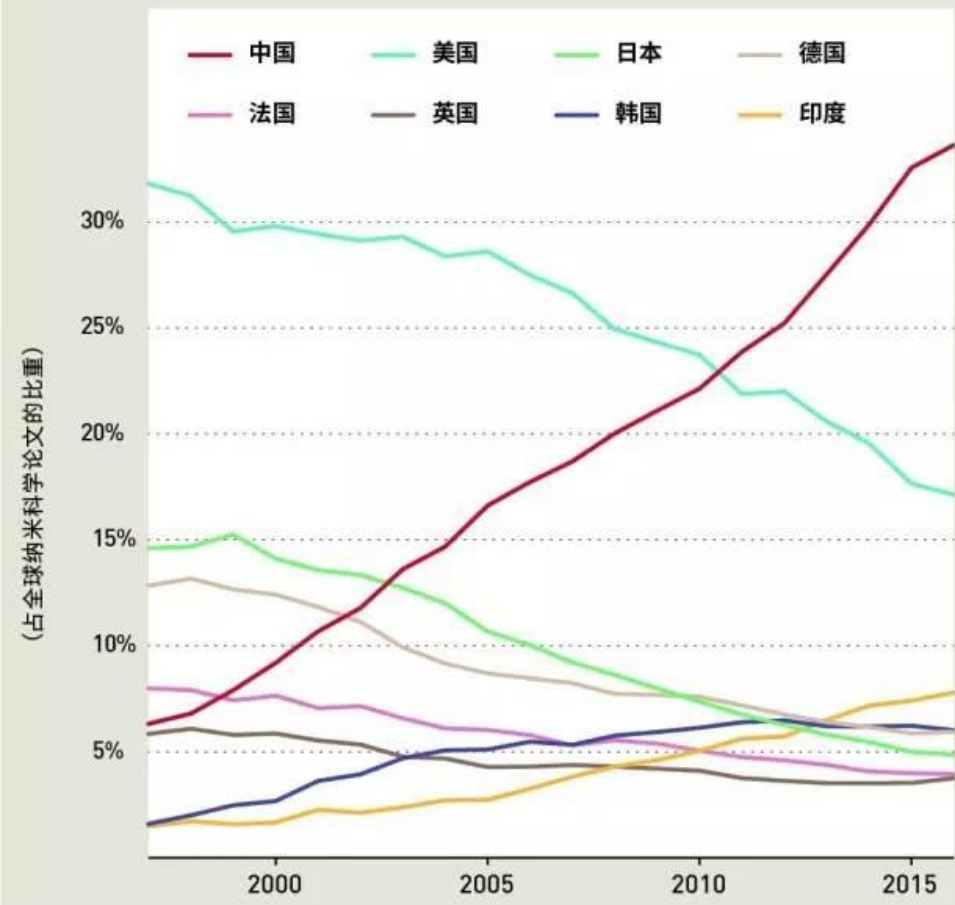
1997 年，全球共发表了约 1.3 万篇与纳米科学相关的论文。到 2016 年，已增至 15.4 万篇，复合年均增长率达 14%，高于所有领域平均 3.7% 的论文复合年均增长率，几乎是其四倍。同期，中国纳米方面的论文产出由 1997 年 的 820 篇增至 2016 年的 5.2 万余篇，复合年均增长率达 24%（图 1）。



毫不令人惊讶，纳米领域的科研产出占总体科研产出的比例也有大幅提升（图 2）。20 年前，全球发表的科研论文中，大约只有 2% 涉及纳米科学与技术。如今，这一比例已增至 10% 以上。在此期间，纳米领域的科研论文对整体科研产出的贡献率，只有中国和韩国超过了全球平均水平。现在，印度也加入了这一阵营。这三个国家的纳米研究占总体科研产出的比例，几乎是该领域其它所有领先国家的两倍左右。

图 3 | 中国纳米科学论文的增长。

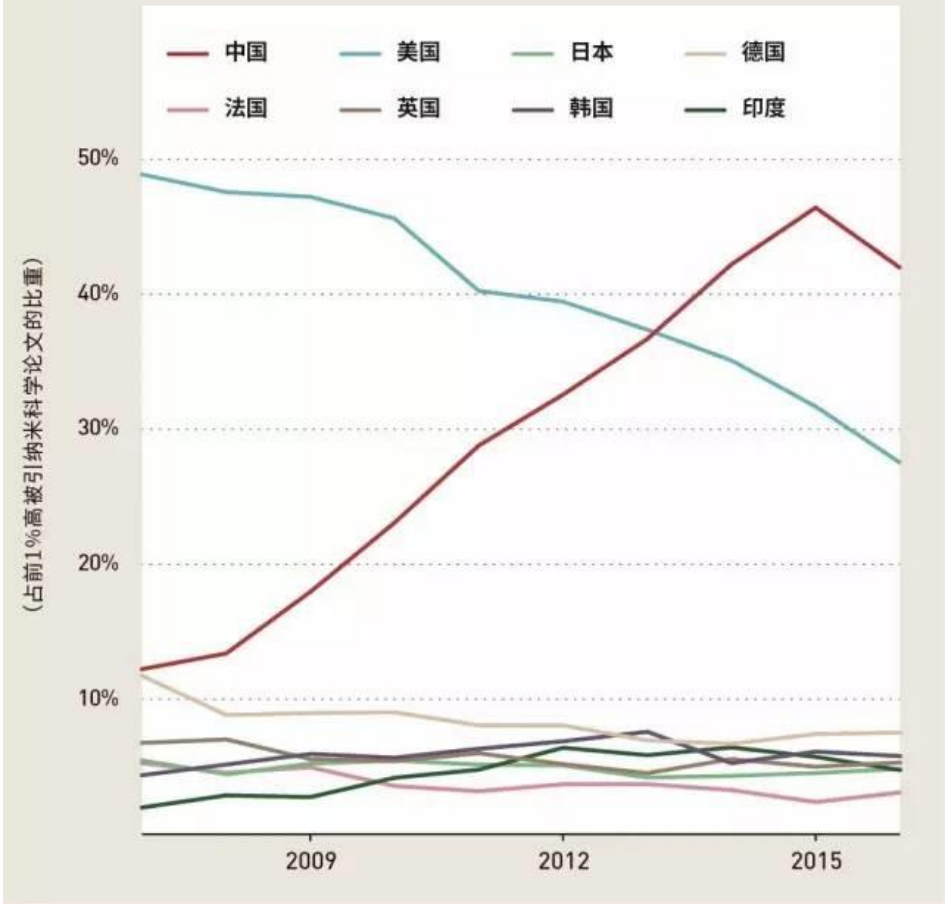
几十年以来，中国科研人员发表的SCI纳米科学论文的全球占比一直稳定增长。



与全球产出进行对比，中国纳米科研的增长就更加令人印象深刻了（图 3）。中国对全球纳米科研的贡献一直保持稳步增长。1997 年，与纳米相关的 SCI 论文中只有 6% 涉及中国作者，到 2010 年，中国已与美国旗鼓相当。目前，中国贡献了全球超过三分之一的纳米科研论文，几乎是美国的两倍。在中国飞速增长的背景下，只有韩国和印度也实现了增长，而其它多数国家的纳米科研论文产出的全球占比，不是增长平缓，就是缓慢下滑。不过，必须强调的是，虽然这些国家的相对贡献在下降，但多数国家纳米科研论文的总产出仍在继续增长（图 1）。

图 4 | 高影响力纳米科学论文的增长。

目前，在前 1% 高被引纳米科技论文中，中国占比最高。



2、中国高影响力纳米研究的增长

当衡量任何特定科研的影响力时，应该注意单纯的数量并不等同于质量。而且，虽然衡量一个国家或机构科研产出的数量相对直接，但确定产出的质量则更具有挑战性。目前尚无普遍接受的评估科研质量的统一标准。不过，通常用来衡量一项研究影响力的方法之一就是它的被引用次数。为此，我们分析了 SCI 中与纳米科学和技术相关的被引频次在前 1% 的论文（图 4）。

我们发现，与纳米科研在总体科研产出中的增长比率相似，中国对纳米科研领域高被引论文的贡献率也有大幅增长，甚至超越了前者。2007 年以来，中国在纳米领域的高被引论文占比更高，逐年增长率甚至超过了该领域总产出占比的增长，达到了 22% 的复合年均增长率，是全球增长率的三倍多。中国在 2014 年超过美国，其贡献已是除美国以外其它国家的数倍之多。

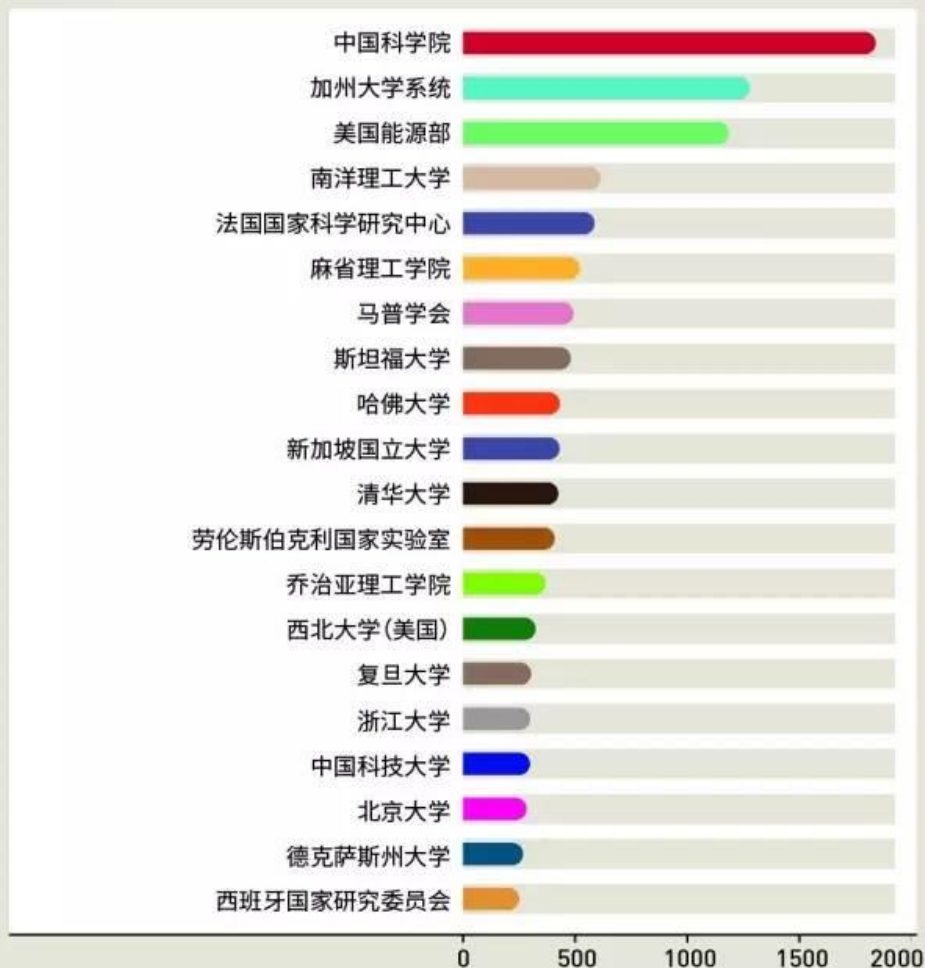
3、中国科研机构引领全球

在中国崛起为纳米科研强国的过程中，中国科学院发挥了重要的推动作用。十年前，中科院对该领域高被引论文的贡献已颇为可观，在全球机构中排名第三，仅次于加州大学系统和美国能源部。自那时起，其地位日益提升，目前已是全球纳米领域最主要的高影响力论文产出机构，并大幅领先其它机构。目前，中科院在前 1% 高被引纳米科研论文的产量上，已经是位居其后的竞争者的两倍以上。

除中科院之外，另有五家中国机构在前 1% 高被引纳米科研论文的总产出方面，位列全球前 20，即清华大学、复旦大学、浙江大学、中国科学技术大学和北京大学（图 5）。

图 5 | 发表高影响力纳米科学论文的主要机构。

过去十年对前1%高被引纳米科研论文贡献最大的机构。



中国纳米科研的飞速发展，与其对该研究领域持续和大力的资金支持密切相关。早在 1990 年，国家科学技术委员会，即中国科学技术部（简称科技部）的前身，便将纳米材料科学列入国家“攀登”项目。大约十年后，科技部又资助了国家级纳米材料与纳米结构基础研究项目，

并提供持续的资助，促进了中国纳米材料领域的科研产出。1990 年代，国家自然科学基金委员会也资助了近千项小型的纳米科研项目³。在 2006 年初中国国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006～2020 年）》中，纳米科学被列为四项重点发展的基础研究领域之一，并是其中获得资助最多的领域⁴。

政府有力的资金支持，吸引了越来越多的中国科学家投身于纳米材料的研究。此外，越来越多有海外留学背景的科学家在“海归潮”中回国，这也有助于中国纳米科研的迅速崛起——这一发展趋势有望在可预见的未来继续保持下去。

4、Nano 数据库中见趋势

为了更详细地了解中国纳米科学发展的特别优势和侧重点，我们将借助于 Nano 数据库。这是自然科研新近开发的一个综合平台，旨在帮助研究人员及时了解最新的纳米科学与技术发展。该数据库包括了几千种纳米材料和设备在性能、应用和制备方法上的详细信息，这些信息定期摘选自发表纳米研究的 30 本最顶级的期刊，如《科学》、《自然》、《先进材料》、《纳米通讯》等。

该数据库的建立得到 60 余名纳米科研专家的支持，他们将这些期刊发表的论文中所包含的信息进行筛选整理并加以归类。在人工筛选的同时，他们的这些知识被用来训练机器学习算法，以实现自动检索，使之能够从 167 本同行评议期刊所发表的论文中提取详细的纳米相关信息。为了编写这份白皮书，我们采用了建立 Nano 数据库所用的人工整理信息，这些信息是从 30 本纳米科研顶级期刊 2014 至 2016 年发表的论文中提取的。

5、纳米科学的重点研究方向

通过分析 Nano 数据库中发表于 2014-2016 年期间的涉及纳米材料的论文，我们发现中国科学家对多种纳米材料都有研究，其中最常见的是



纳米结构材料、纳米颗粒、纳米片、多孔纳米材料和纳米器件。这与其它纳米研究强国最热门的纳米材料类别大同小异（图 6）。值得注意的是，中国对纳米多孔材料的研究力度相对更大，有关纳米器件的论文在过去三年有快速的增长。

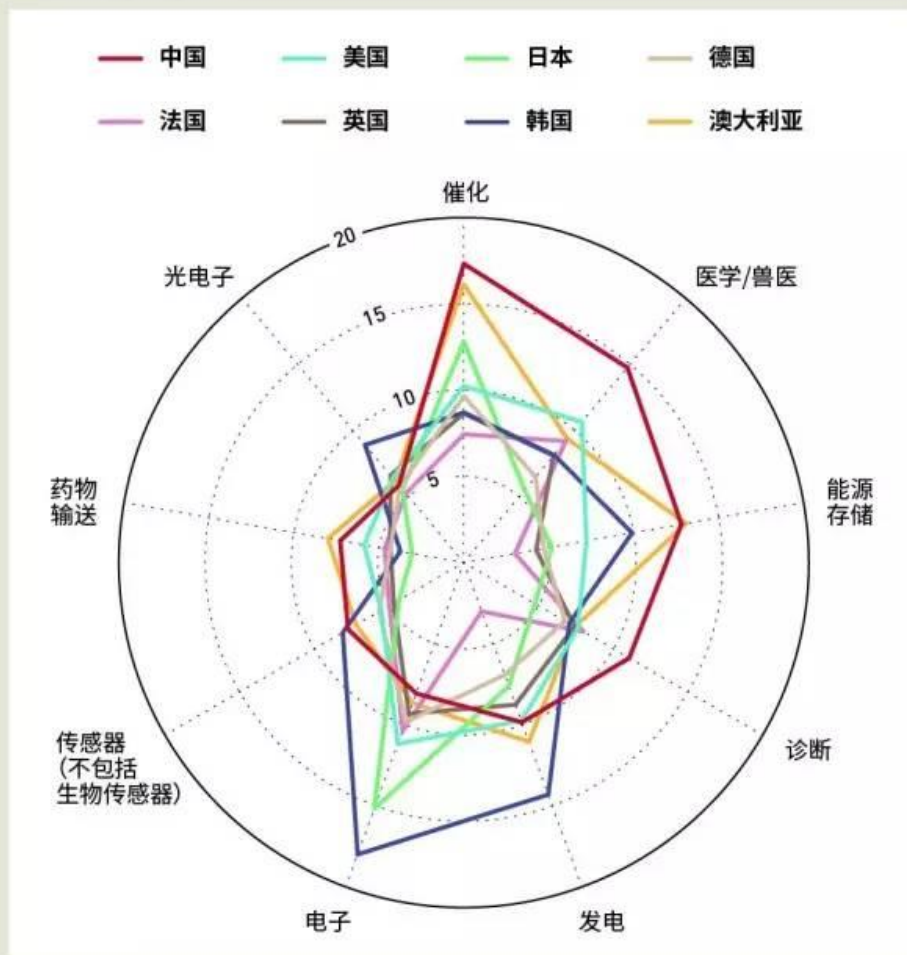
新兴的纳米结构是指十大重点研究类别之外的，但在 2014 至 2016 年期间有更显著科研产出增长的纳米结构。在我们分析研究的八个纳米科研强国中，超分子化学是最受关注的新兴纳米结构方向。除此之外，其他新兴纳米结构的研究，如富勒烯、DNA 折纸术和纳米凝胶等，在中国也有快速增长。而在其它国家，如美国、德国、韩国和日本，一个快速发展的研究领域是纳米囊。

6、研究的不同应用

纳米结构的研究通常有助于功能材料的开发。Nano 数据库中收录的论文在报告各种纳米材料的时候，也会讨论材料的应用前景。在我们调查的八个纳米科研强国中，与催化、电子产品、医药和能源相关的应用

图 7 | 热门应用。

在Nano数据库所收录的被引频率最高的应用领域中，中国的产出大多居于首位，但电子、光电子和发电除外——美国在这些领域处于领先地位。



是最普遍的应用研究领域，但国与国之间会有差别。例如，中国催化研究方面的论文最多，美国则以用于电子产品的纳米材料研究领先全球（图 7）。

中国的催化研究有明显的领先优势，大部分高质量的纳米科研论文都出自催化研究领域。一些受访的中国纳米科研专家指出，中国的催化研究有传统优势，中国以前发展化工工业或许对此有带动作用。中国很多

颇有建树的化学家都专注于催化材料研究，并为该领域培养出一批年轻科学家，推动了纳米催化研究的持续发展。

纳米医学是 Nano 数据库收录的中国科研论文所专注的第二大应用研究领域，尤其是医疗诊断方面的研究很突出。这或许令一些人感到意外，因为中国的生命科学研究，不论是产出还是影响力，通常都落后于美国和欧洲。这表明纳米医学或有助于中国发挥其化学和材料科学上的优势，在生命科学方面拓展一个重要的特色领域。

与能源相关的应用，尤其是储能和产能，是中国纳米科研常常关注的又一领域。这也是近三年来中国十大热门纳米材料应用中，增长最快的领域。由于面临着应对日益恶化的环境问题的压力，中国正在大力投入研发新能源，以及有助于节能和环境治理的新技术。纳米材料所展现的潜力，让能源纳米技术成为一个颇具前景的领域，并吸引中国众多科研人员投入其中，他们许多人在纳米材料电池和能源存储与转化的研究方面已处于世界领先地位。

与其它科研强国相比，中国在纳米材料的电子应用方面还相对较弱。但机器人和激光已成为中国新兴的纳米应用研究领域，即不在十大应用研究之列，却在近三年取得研究产出的快速增长。同时，中国涉及光子和数据存储等应用的纳米科研论文也有显著增长。

7、基础研究和应用研究的对比

纳米科学与技术，因其广泛的应用前景和社会影响力，从本质上来说具有很强的应用性。所以，与纳米技术相关的专利申请数量很庞大且稳步增长。但在全球范围，专利申请的增长速度却不及 SCI 论文。两相对比，我们会发现不同的国家各有优势。

中国专利申请数相较于 SCI 论文数的比率明显高于美国和欧洲多数的纳米科研强国，这与全球趋势相反，但与日本和韩国的情况相似。在这三个亚洲国家，纳米方面的专利申请量通常高于 SCI 论文发表量，而在大多数西方国家，情况刚好相反。

基于 Nano 数据库的分析也得到类似的结果。数据库所收录的论文中，中国有更多的论文明确提及论文所描述的纳米结构或材料的应用，其比例显著高于美国、德国、英国、日本和法国等多数科研强国（图 8）。只有韩国和澳大利亚与中国的情况相似。



一些受访的中国纳米科研专家指出，政府的资助政策和科研评估体系发挥了重要的导向作用。通常，世界各国都很重视科研的应用价值。在中国，由于政府对科研的资助力度很大，其导向作用容易被放大。

8、合作发挥的作用

合作可以吸引来不同的科研资源、专长和观点，因此日益成为科学研究的重要组成部分。纳米研究作为一个跨学科程度很高的领域，其合作范围也更为广泛。与 SCI 论文的整体产出相比，与纳米相关的科研产出通常有更高的国际合作程度。

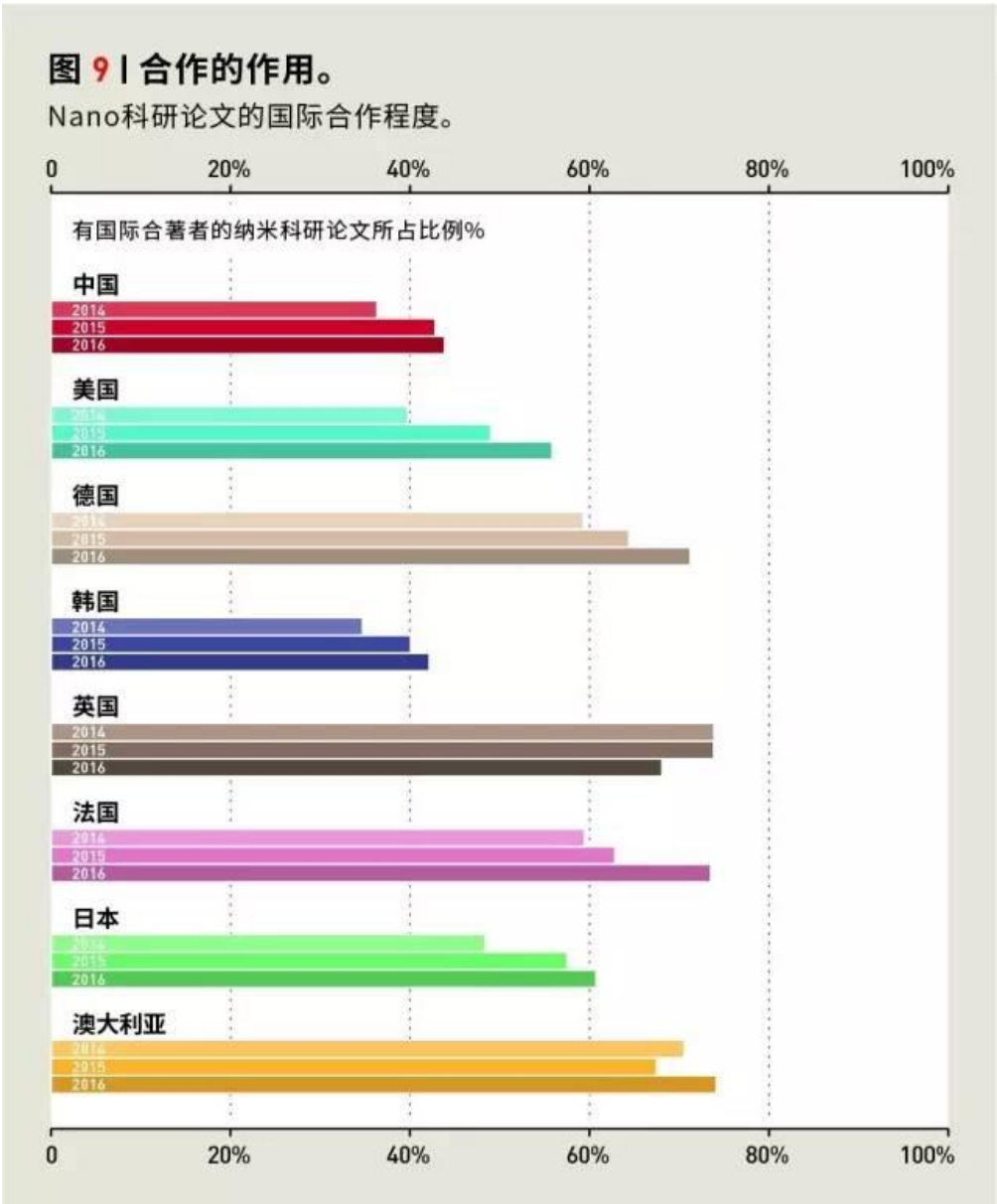
中国非常重视国际科研合作，因此中国涉及国际合著的论文比例也在逐年增高。根据 SCI 的数据，中国总体科研产出中涉及国际合作的比例自 2010 年一直在增长，2016 年已达 24%⁵。Nano 数据库收录的与纳米材料相关的高质量论文中，涉及中国与国际合作的论文比例也从 2014 年的 36% 增至 2016 年的 44%（图 9）。然而，中国在纳米领域的国际合作程度虽与韩国相近，但明显低于西方国家，而且合作增长的速度也不如美国、法国、德国等国。

美国是中国纳米科研领域最大的国际合作国。在 Nano 数据库收录的 30 本顶级期刊中，中国发表的纳米方面的国际合作论文有 55% 是与美国合作的。2014 至 2016 年，美国与中国合作发表了 2,123 篇纳米科研论文，占美国这三年来所发表的高质量纳米科研论文总数的 21%。接下来，与中国在纳米领域有高质量科研合作的国家依次为德国、澳大利亚和日本。尤其是，中国是澳大利亚重要的科研合作国，双方合作的论文约占该国在这 30 本顶级期刊所发表的纳米科研论文的三分之一。

9、中国的专利产出

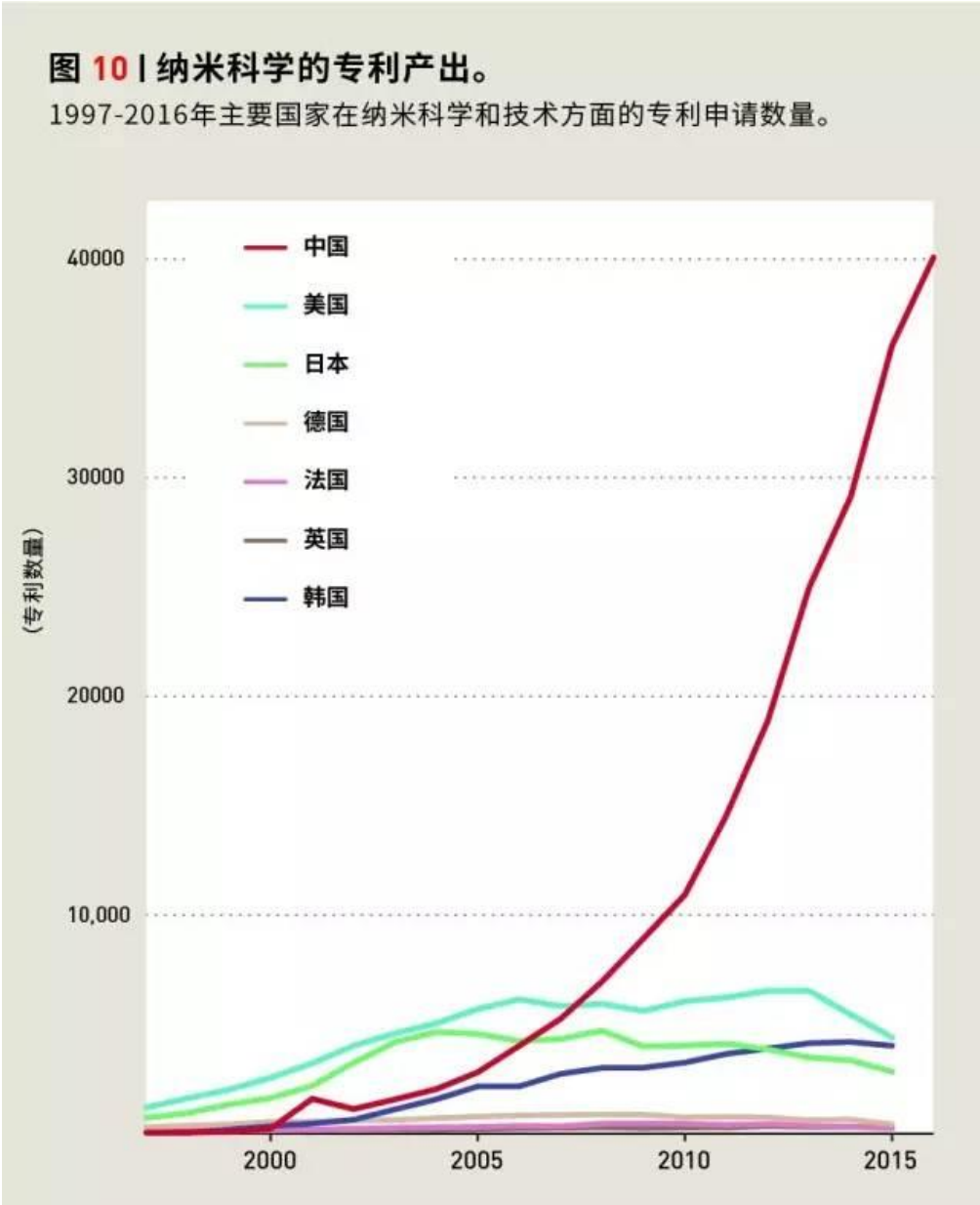
尽管专利只是基础知识转化为商用技术过程中的一小部分，但它通常是反映科研实际影响力的主要指标。科睿唯安的德温特专利数据库（Derwent Innovation Index）收集了近二十年来纳米科学与技术方面的专

利申请数据。我们利用这些专利数据，对中国纳米科研应用于纳米技术的趋势进行了分析。



以纳米科技相关的关键词和国际专利分类代码为检索策略，我们检索了 1997 至 2016 年之间（基于最早优先权年或基本专利申请时间）申请的与纳米科技相关的 466,884 个专利家族，结果发现纳米技术方面的专

利申请量在全球呈总体上升趋势。专利申请量从 1997 年的 2,826 件增至 2015 年的 51,389 件⁶。其中，中国专利申请数量的增长尤为迅速，现已领先世界。同时，中国纳米专利申请所涉领域非常广泛，尽管各领域的增长模式各有不同。



中国的纳米专利申请量位列世界第一，这与中国纳米科研强国的地位相一致。过去二十年，中国的纳米专利申请量累计达 209,344 件，占全球总量的 45%，是美国同期累计申请总量的两倍以上，美国是全球第二大纳米专利贡献国。自 2008 年起，中国的年度专利申请量即已超过美国，成为世界第一，其增长速度远高于世界平均水平（图 10）。

很多对自己的研究成果或技术充满信心的中国科研人员还会去申请国际专利，以求自己的专利技术能在其他国家也受到法律保护。中国的国际专利申请量近年来在稳步增长，从 2000 年的 10 件左右增至 2014 年的 748 件。但是，中国国际专利的增长远不及其纳米专利申请总量的飞速增长。与其它科技发达的国家相比，中国在国外申请的纳米专利数量仍较少，仅占过去 20 年累积专利申请总量的 2.61%，而在美国，这一比例高达近 50%。一些欧洲国家，如英国和法国，有超过 70% 的纳米专利都是非本国专利。

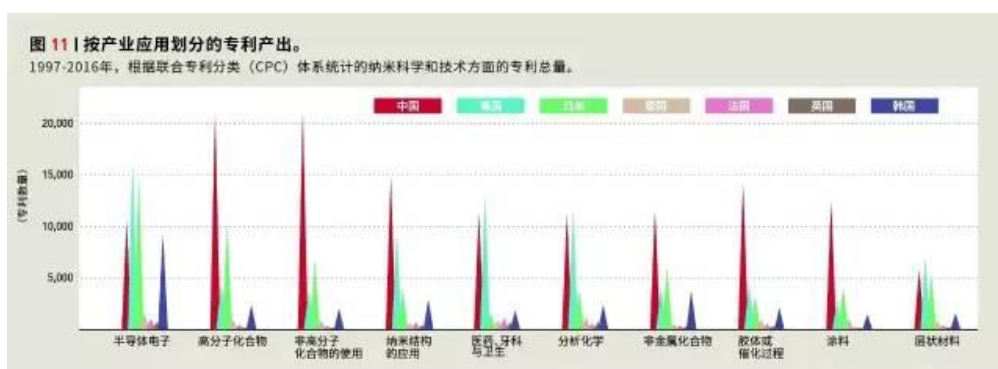
中国有五家机构，即中国科学院、浙江大学、清华大学、鸿海精密工业股份有限公司和天津大学，位列全球十大纳米专利的机构申请者。其中，中科院自 2008 年即位居全球首位，过去 20 年总共申请了 11,218 件纳米专利。有意思的是，位居前十的其他机构申请者，如韩国的三星集团、LG 集团、日本的富士胶片公司和美国的 IBM 都是商业公司。而中国在专利申请中居主导地位的往往是科研和学术机构。这也许反映出中国科研人员很重视研究成果的应用转化，以及中国科研机构在研发上的相对优势。但另一方面，这也凸显出中国企业在研发上的相对弱势。

10、中国纳米技术专利的覆盖范围

从全球范围来说，纳米专利申请主要集中在基本电气元件和电子产品、化学和冶金、医药卫生、超微技术和材料等领域。近二十年来，与医药卫生类的器件和技术、高分子材料，以及催化和胶体化学相关的专利申请呈持续增长趋势；而半导体器件相关的专利，虽然是最常见的纳

米技术专利类别，却在 2012 年之后不断下降。超微技术的专利曾在该段时间的前 15 年迅速增长，但在 2011 年达到顶峰后开始下降。

中国在多个热门纳米技术应用领域都有大量的专利申请，其中最多的是高分子合成和超分子化合物的专利。相比较而言，美国、日本、韩国主要申请的是半导体器件和电子产品的专利，其中美国半导体器件的专利申请总量位居全球第一（图 11）。这与 Nano 数据库中涉及应用的科研论文的情况基本一致。



从专利增长趋势上来看，高分子合成和超分子化合物是中国纳米专利申请量增长最快的领域。这包括了涂料、打印墨水、染料、粘合剂、纤维材料和纺织品加工处理技术等。此外，催化等促成物理或化学过程的技术或装置的专利申请，在中国的增速也很快。

（待续）