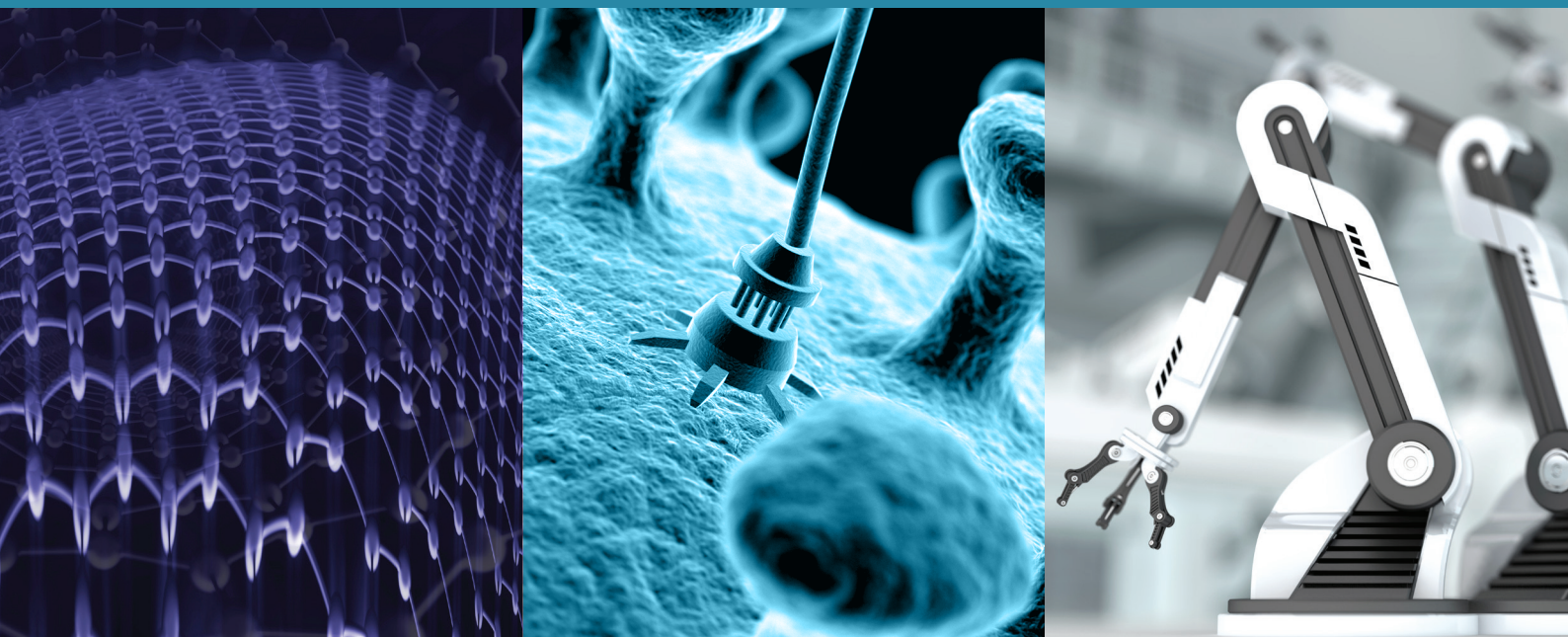


世界知识产权报告

经济与统计丛书

突破性创新与经济增长



2015年

世界知识产权报告

经济与统计丛书

突破性创新与经济增长

2015年





前言

制定能够推动经济增长的政策对于各国政府势在必行。持续增长能够改善生活水平,创造新的就业机会,并帮助消除贫困。虽然经济增长并非万灵药,但如果加以正确引导,就能够为稳定、安全、卫生和环境的可持续性作出贡献。

但是否应认为持续增长是理所应当的现象?越来越多的专家正在提出这个问题,并且他们的担忧不无道理。全球在第二次世界大战后的一段时期经历了有史以来最快的增长。但从2008年全球金融危机爆发开始,经济增长情况年复一年令人失望。我们是否可以放心地假设更快速的增长终将回归,还是低速增长将成为新常态?

这个问题的答案部分取决于创新继续驱动增长的程度。纵观历史,重大技术创新突破一直是经济产出持续扩大的根本因素。这些突破改变了生产的面貌。各国从之前的农业社会演变为如今以工业和服务业为基础的经济体,驱动其发展的是在三个世纪以前不可想象的技术。在很多方面,二十一世纪的创新正以前所未有的速度蓬勃发展。但今天的突破将在多大程度上推动未来的增长还未可知。

知识产权是创新增长关系的核心。知识产权保护促进经济增长重要性的文献已有很多。但知识产权影响增长结果的具体途径复杂多样,并且在不同的技术和知识产权形式之间存在差别。为了进一步了解这些途径,我们将2015年世界知识产权报告的主题定为突破性创新与经济增长。

与我们之前的报告相同,2015年世界知识产权报告旨在解释并阐明知识产权制度在市场经济中的作用。报告首先回顾了历史上所出现的经济增长模式,探讨了创新影响增长的不同方式。报告由此对不同的知识产权形式如何对创新和技术传播结果产生影响进行了论述。

一个与众不同之处是,今年的报告在六个突破性创新领域通过一系列案例研究来对创新、知识产权和增长之间的实际关联进行研究。三个案例研究是历史上的创新:飞机、抗生素和半导体。其他三个案例研究是目前看起来具有突破性潜力的创新:3D打印、纳米技术和机器人技术。六个案例研究都采用同样的方法,即首先阐述创新的由来及其对增长的贡献;然后对产生创新的生态系统进行探讨;以及最后论述知识产权制度在该生态系统中的作用。

本报告还考虑了未来创新驱动型增长的发展前景。报告无意预见未来,而是对不同观点进行了讨论,其中既包括对前景的乐观态度,也包括悲观态度。报告强调,无论目前的增长前景如何,政府和企业继续对创新进行投资仍然至关重要。成功的创新,无论在公司层面还是对于整体经济,都需要坚持不懈的精神,特别是在用于创新的预算面临压力的低增长时期。

突破性创新与经济增长是一个综合性议题,本报告无法回答与之相关的每个问题。例如,它没有详细讨论创新驱动型增长如何改变就业需求并影响收入分配。此外,报告虽然对不同的创新如何向发展中经济体传播进行了阐述,但只讨论了为什么会出现这些传播模式的可能原因;的确,要了解为什么一些发展中经济体成功攀爬了技术阶梯,另一些却未能做到,这在经济研究中仍是一个悬而未决的问题。

我们希望本报告对于政策制定者目前所面临的最大挑战之一及时提供了观点,并为成员国的讨论提供依据,以确定知识产权制度如何在最大程度上为各国的创新驱动型增长作出贡献。

弗朗西斯·高锐
总干事



鸣 谢

本报告的编写工作得到了弗朗西斯·高锐（总干事）的总体指导。报告编拟和协调工作由Carsten Fink（首席经济学家）所领导的小组完成，小组成员包括Intan Hamdan-Livramento（经济学家）、Julio Raffo（高级经济学家）和Sacha Wunsch-Vincent（高级经济学家），他们都来自WIPO经济学与统计司（ESD）。

在ESD工作期间，Antanina Garanasvili帮助进行了研究工作，Guadagno参与了第二章和第三章的撰写工作。

第二章和第三章中的案例研究依据的是WIPO委托他人为本报告所作的背景研究。特别地，关于飞机的案例研究依据了David Mowery（加州大学伯克利分校）和Lutz Budrass（波鸿大学）编拟的背景报告。书面评论意见由Jochen Streb提供；附加评论意见由Peter Meyer提供。

Bhaven Sampat（哥伦比亚大学）对抗生素案例研究的背景报告有所贡献。该报告的书面评论意见由Luigi Orsenigo编拟。

半导体案例研究依据了Thomas Hoeren（明斯特大学）编拟的背景报告。书面评论意见由Richard Burt编拟，数据由世界半导体贸易统计组织提供。

3D打印案例研究依据了Stefan Bechtold（苏黎世联邦理工学院）编拟的背景报告。书面评论意见由Deven Desai撰写；附加评论意见由Nicola Searle提供。

Lisa Ouellette（斯坦福大学）撰写了纳米技术案例研究的背景报告。Stéphane Lhuillery提供了该报告的书面评论意见。

机器人技术案例研究依据了C. Andrew Keisner（戴维斯和吉尔伯特律师事务所）编拟的背景报告。书面评论意见由Roland Siegwart提供，附加评论意见来自Mirko Boehm和Remy Glaisner，数据由国际机器人技术联合会以及《机器人报告》的作者Frank Tobe提供。

英国知识产权局的Richard Corken、Christopher Harrison和Marian Lilington对为案例研究所编制的专利地图提供了意见建议。Gabriel Berlicki、Gabriele Pellegrino、Antoine Schoen和Bureau van Dijk对地图的编制亦有贡献。

报告编写小组从Tony Clayton和Ugo Panizza对章节拟稿的外部评议中获益匪浅。Gabriel Clerc、Diego Comin、Paul David、Marcus Höpferger、Paolo Lanteri、Moshe Leimberg、Lutz Mailänder、Maxim Pinkovskiy、Julien Penin、Edward Steinmueller、Victor Vazquez和Jayashree Watal提供了附加的意见、建议和数据。

Samiah Do Carmo Figueiredo和Caterina Valles Galmès提供了宝贵的行政支持。

最后，感谢传播司的同事牵头进行了本报告的制作工作，特别是Toby Boyd的编辑工作，以及Stephen Mettler为本报告所作出的设计。WIPO图书馆在报告编写过程中提供了有用的研究支持，印刷厂提供了高质量的印刷服务。全体人员辛勤工作，以在紧迫的截止日期前完成任务。

免责声明

本报告及其中所反映的任何观点由WIPO秘书处全权负责。它们不反映WIPO成员国的观点或意见。本报告的主要撰写者提出，如有任何错误或遗漏，责任不由参与撰写和提出建议的人员承担。

欢迎读者使用本报告提供的信息，但请注明资料来源为WIPO。

内容提要

经济增长一直是减轻贫困、创造就业和改善总体生活水平的有力驱动力。但这不应被看作是理所应当的现象。世界经济在十八世纪以前增长非常缓慢。贫困问题非常普遍，特权阶层以外民众的生活水平得到显著改善是不可想象的天方夜谭。从那时开始，世界经济以前所未有的速度增长——极大地改善了生活质量，实现了普遍的物质繁荣。即便如此，一些国家的经济增速更快，持续时间更长，造成现如今各国之间贫富差距悬殊。

从学术研究中得出的一个关键结论是，持续的经济增长要依靠不断的技术进步。的确，过去三个世纪以来，在不同技术领域涌现出了一系列创新突破，它们极大地改变了生产活动，刺激了新行业的发展。这些突破性创新如何产生，以及它们如何提高了经济产出？找到这些问题的答案至关重要，因为政策制定者一直在力图完善能够实现未来增长的环境。的确，世界经济在全球金融危机爆发七年后仍然举步维艰，各方就创新能否继续带来与危机发生前相同的增速这一问题展开了激烈辩论。

本报告希望通过分析研究来为上述辩论添砖加瓦。它探讨了创新通过哪些途径促进增长，以及什么样的生态系统有助于创新的快速发展。在此过程中，报告特别关注了核心在于支持创新活动的知识产权制度的作用。

除了对增长的历史模式进行回顾，并将创新和增长之间的关联概念化，本报告的主要分析由六个突破性创新的案例研究构成。特别地，它重点讨论了三个历史创新以及三个目前具有突破潜力的创新（见表1）。通过案例研究，可以了解到创新性突破的不同特性，以及不断演变的创新发生的背景。此外，虽然很多结论是从六个案例研究中得出的并非普遍适用的结论，但各案例之间反映出的相同点和不同点引人思考，即在替代性情况下，什么是最有效的政策方法？

表1：本报告所研究的突破性创新

历史创新	当前创新
飞机 — 从19世纪业余爱好者进行滑翔到20世纪上半叶的一种可靠交通运输方式	3D打印 — 通过材料连续分层，辅以数字技术，创造出3D物体
抗生素 — 从20世纪30年代磺胺类药物的发现到现代制药业的诞生	纳米技术 — 以十亿分之一米为单位的技术，可应用在电子、卫生、材料和其他领域
半导体 — 从20世纪初期扩大无线电波以改善通讯到日益先进的计算机芯片带来信息通信技术革命	机器人技术 — 从推动工业自动化发展的第一个机器人到今天的自动化人工智能机械

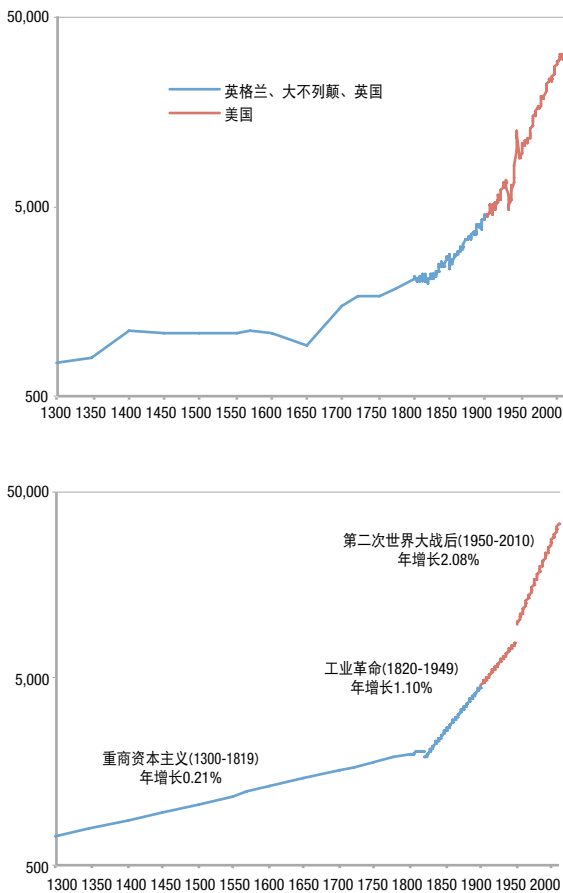
历史上的经济增长

前沿增长从19世纪早期开始腾飞，在第二次世界大战后加速发展

依据现有最为全面的一系列历史估算数据，图1显示了1300年以来前沿人均GDP的发展情况。前沿在此指的是在某个时间点人均经济产出水平最高的经济体。图1中的前沿经济体是1900年之前的英格兰、大不列颠和联合王国（UK），以及之后的美国（US）。

图1: 七个世纪以来的前沿增长

1300-2000年实际人均GDP (单位: 对数尺度)



见图1.1

上图的下半部分将七个世纪分为三个增长期。第一个时期结束于19世纪早期,此时的经济只是非常缓慢的零星增长,增速为年均0.2%。之后随着工业革命的出现,年增速迅速上升至1.1%。最后,在第二次世界大战后的时期,增速进一步提高至每年2.1%——即每34年收入就翻一番。对比过去数个世纪的历史增长情况,1950年以来的增长表现可谓令人惊叹,非同一般。

不同的发展路径加大了最贫困和最富裕国家之间的差距……

前沿经济体以外经济体的增长表现不尽相同。虽然一些曾经的穷国——特别是东亚国家——追赶上了前沿经济体,但人均收入仍然参差不齐。因此从19世纪至今,各国之间的贫富差距越来越悬殊。

……即使中国和印度的快速增长推动了全球收入分配的平等化,并帮助降低了绝对贫困水平

经济体之间收入水平差距加大并不意味着世界变得更加不平等。全球人口收入分配反映了较为乐观的发展情况,在对收入分配进行研究时兼顾了不同国家的人口规模以及各国内部的收入不平等问题。对过去数十年的研究显示,人口众多、最初比较贫困的亚洲经济体,特别是中国和印度的快速发展推动了世界收入分配的平等化。此外,这些采用不同贫困门槛的研究全都显示绝对贫困水平的显著下降。

创新如何驱动经济增长

数十年的经济学术研究已明确了创新在驱动长期增长方面所发挥的关键作用。但是对创新的贡献进行量化分析是一项具有挑战性的工作:哪些创新在哪些时期对于增长的贡献占比是多少。本报告结尾处的信息图表对照图1中的前沿经济体增长轨迹,显示了过去200年来一些最为重要的创新突破。该图仅为说明之用,并且对于技术的选择为主观选择。

尽管难以量化,但从理论上对创新促进发展的途径进行了充分研究。

创新推动资本深化……

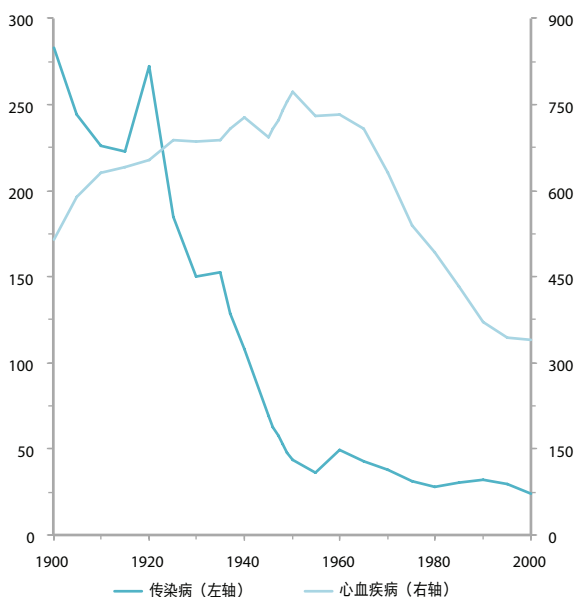
公司对新资本设备进行投资依据的是公司对于这些投资可能产生未来收入的预期。使用新技术可以提高投资回报，并引导公司进行新一轮投资。从历史上看，重大突破性技术的应用常常会引发投资热潮，扩大经济产出。例如，在有关半导体的案例研究中所讨论的证据显示，随着信息通信技术在二十世纪90年代开始腾飞，不同行业的美国公司快速加大了它们的信息通信技术资本存量，特别是与其他固定资本资产相比。此外，无形资产投资——开发新业务流程、数据库和其他以知识为基础的活动——成为了总体投资的重要组成部分，同时还与新技术的出现产生关联。

……支撑起日益壮大、更健康、受教育水平更高的劳动力人口……

创新一直是就业人口增长的重要驱动力。卫生技术的进步使平均寿命大幅提高。在1800年，所有发达国家的出生平均预期寿命均低于40岁；到了2011年，平均寿命超过了75岁，其中日本最高，达到83岁。来自抗生素案例研究的图2显示，自二十世纪30年代出现抗生素药物以来，死亡率显著下降。

图2: 抗生素对于人类健康的深远影响

1900-2000年每10万个居民中传染病和心血管疾病造成的死亡率



见图2.4

创新也便利了更多成年人参与就业。例如，快速公共交通减少了劳动力市场的地理限制，还增加了受教育机会。而教育技术的进步又拓宽并深化了教育成果，提高了劳动力的受教育水平。

……提高了公司生产率……

创新通过不同方式对公司生产率产生影响。方法和组织创新可以提高投入——特别是劳动力投入——转化为产出的效率。所带来的生产力提升有助于将释放出的资源用于在同一家公司、同一个部门或是在经济体中的其他领域扩大产出。

产品创新也能够对公司生产率产生重要影响，特别是如果创新形式体现为强有力的改进后中间投入或新中间投入。本报告的案例研究提供了很多这样的例子，即颠覆性的新产品和服务改变了生产活动的面貌，包括航空运输、计算机、工业机器人和3D打印。

……并转变经济结构

创新通常是重大结构转型的根本驱动力。从中长期来看，这样的结构转型以不同的方式对经济体的生产率产生影响：

- 创新能够改变行业的面貌，使一些公司淘汰出局，而另一些公司脱颖而出。在很多情况中，这样的改变会加大效率增益进而促进增长，并有利于生产要素的调配。
- 突破性创新一般来说会带来供应链的重组，随之涌现出具有独特专长并为同一行业或跨行业的不同公司专营产品和服务的公司。技术创新还推动了供应链的全球化发展——增加了更大程度专门化所带来的收益。
- 技术创新在引发新经济活动的同时，也导致旧有活动的衰退。从中短期看，这种技术颠覆由于使得某些工作岗位变得冗余而可能给供职于这些岗位的工人带来困境。但从长期看，工人在增长型经济部门中的调配是创新带来产出增长最为重要方式之一。事实上，技术进步引发了从工农业到服务业的巨变。这在很大程度上反映了农业和工业的生产率历史增长速度相比劳动密集型的服务业要快得多。

创新的传播至关重要……

技术创新只有在经济中得到广泛传播才能促进经济增长。公司要学习如何应用新技术，进行资本投资，重新组织业务运行并对工人进行培训。的确，新技术的出现通常会激励互补性组织和商业模式创新发展，而后者能够显著提高生产力。竞争力态势、融资渠道、标准制定和技术规范及其他决定因素对于技术传播路径的形成起着关键作用。

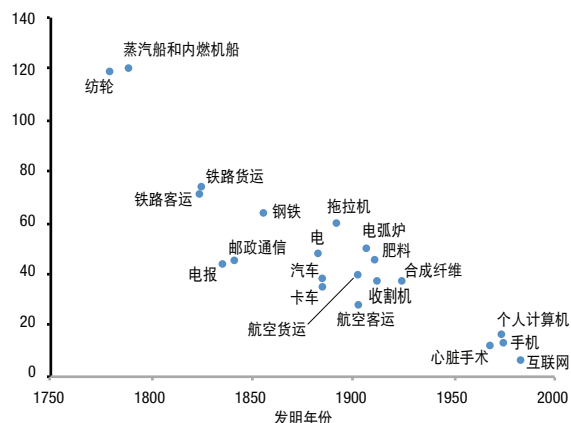
……并且由于技术和接收国的不同，技术传播存在很大差异

技术能否在不同经济体之间顺畅传播，特别是在欠发达国家？这是一个重要的问题。考虑到创新在驱动长期增长方面的重要性，技术传播不够充分可能是各国之间出现贫富差距的原因之一。

近期有关技术传播模式的证据表明情况喜忧参半。一方面，它显示了较新的技术创新向中低收入国家传播的速度比以往更快（见图3左图）。另一方面，它也表明较新创新技术的应用程度和水平在不同经济体之间的差距增大（见图3右图）。

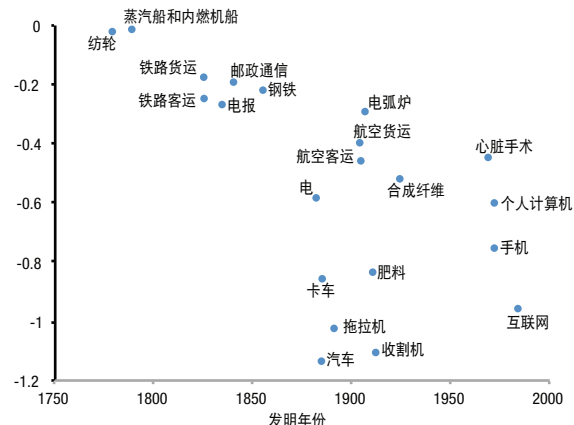
图3: 技术传播速度更快, 但普及率降低

距首次发明的利用滞后年数



见图1.7

普及率的差异 (单位: 对数尺度)



经济体想要成功地应用在国外开发出来的技术, 就要具备充分的吸收能力——包括能够理解和应用技术的人力资本、组织和管理专门知识以及为技术应用协调和调动资源的机构。在很多情况中, 吸收能力还包括为了让技术适应本地需求而进一步进行技术和组织创新的能力。

- 不同创新参与方之间的关联十分重要。它们包括从非正式知识交流、专业人士网络和工人运动到正式产学研许可框架和研发合作。它们有助于研究人员相互分享知识, 并将上下游的活动联系在一起, 帮助具有发展潜力的想法转化为商业技术。

产生突破性创新的生态环境

什么样的生态系统能够为活跃创新和应用新技术提供最佳支撑? 本报告所包含的六个案例研究指向了一系列众所周知的成功要素:

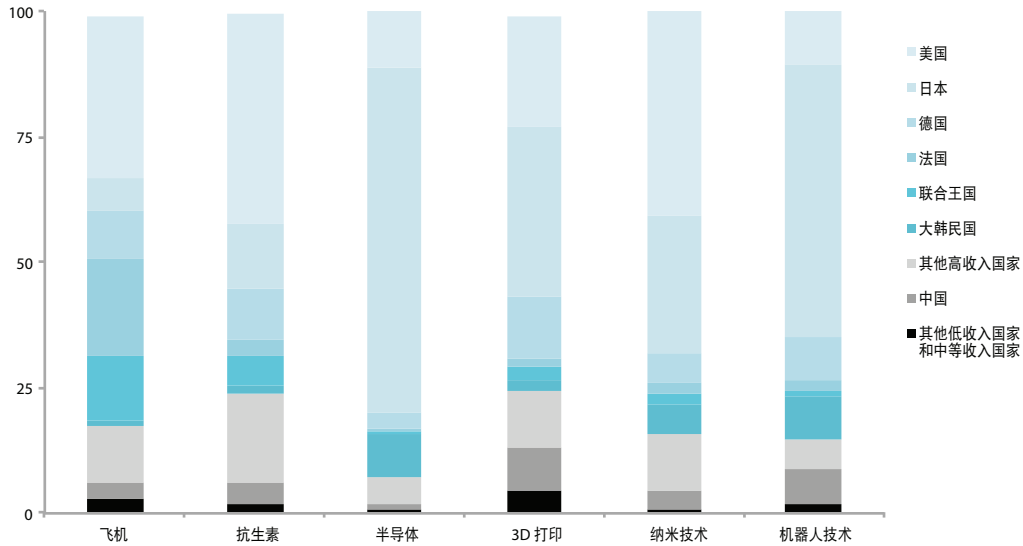
- 政府一直是科学研究的主要供资方, 而科学研究通常有助于实现发明突破。在很多情况中, 政府在将具有发展潜力的技术在初始阶段从实验室推向生产方面也发挥着关键作用——通常是受到国防和行业政策利益的驱使。
- 具有竞争力的市场力量以及公司自身的努力同样至关重要, 特别是在对具有发展潜力的想法进行商业化以及参与后续创新以推动规模化生产、降低成本和促进新技术广泛应用方面。

与六项突破性创新有关的专利活动在地理分布上比较集中……

案例研究收集了在世界范围内提交的与这六项突破性创新有关的专利。虽然并非是对创新态势的准确反映, 但所得到的专利地图提供了有关发明地理分布和申请机构的丰富信息——特别是那些具有商业潜力的发明。研究表明, 在所有六个案例研究中, 专利活动在地理分布上比较集中 (见图4和5以及表2)。高收入国家占有所有六个案例中专利申请的80%以上。即便在高收入国家中, 专利申请也集中在美国、日本、德国、法国、英国和大韩民国, 这些国家的申请量占全球首次申请量的75%以上。

图4: 专利活动在地理分布上比较集中

首次专利申请量的全球占比

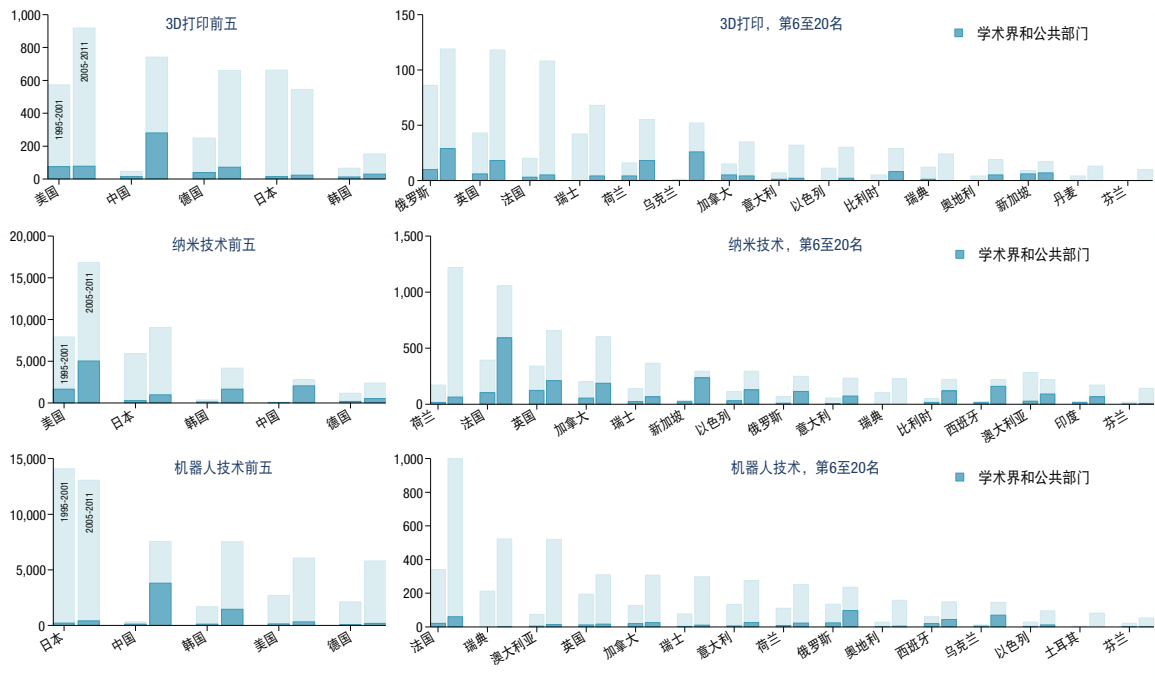


说明: 该图是对图2.3、2.5、2.8、3.2、3.7和3.12的归纳, 它所反映的时间段与上述图表相同。请注意条形图所代表的百分比之和并非100%, 这反映出有不到1%的首次专利申请的来源国不明。

资料来源: WIPO (依据PATSTAT数据库) (见技术注释)。

图5: 哪些国家提交了最多的3D打印、纳米技术和机器人技术专利?

1995-2001年和2005-2011年提交首次专利申请最多的前20个国家



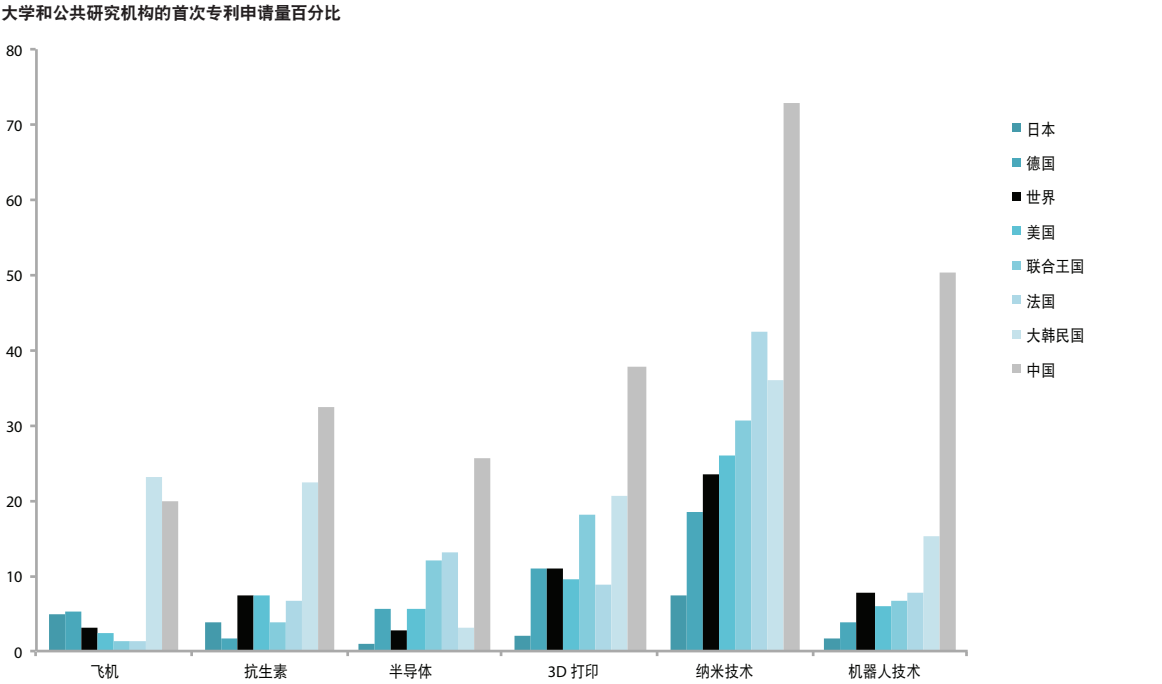
资料来源: WIPO (依据PATSTAT数据库) (见技术注释)。

表2: 申请量最多的前10名专利申请人来自5个国家

1995年以来在3D打印、纳米技术和机器人技术领域申请量最多的前10名专利申请人								
3D打印			纳米技术			机器人技术		
申请人	国家	首次申请量	申请人	国家	首次申请量	申请人	国家	首次申请量
3D系统公司	美国	200	三星电子	大韩民国	2,578	丰田	日本	4,189
斯川塔斯	美国	164	新日铁	日本	1,490	三星	大韩民国	3,085
西门子	德国	145	IBM	美国	1,360	本田	日本	2,231
通用电气	美国	131	东芝	日本	1,298	日产	日本	1,910
三菱	日本	127	佳能	日本	1,162	博世	德国	1,710
日立	日本	117	日立	日本	1,100	日本电装	日本	1,646
MTU航空发动机公司	德国	104	加州大学	美国	1,055	日立	日本	1,546
东芝	日本	103	松下	日本	1,047	松下	日本	1,315
EOS	德国	102	惠普	美国	880	安川电机	日本	1,124
联合技术公司	美国	101	TDK	日本	839	索尼	日本	1,057

见表3.3、3.7和3.10

图6: 当今创新的学术专利占比更高



说明: 本图所反映的时间段与图2.3、2.5、2.8、3.2、3.7和3.12中的相同。

资料来源: WIPO (依据PATSTAT数据库) (见技术注释)。

……虽然在最近一个时期中国已成为重要的专利活动来源国

中国在最近一个时期成为了3D打印、纳米技术和机器人技术专利的重要来源国。特别地, 如果看一看2005年以来提交的首次专利申请情况, 就会发现中国申请人在3D打印和机器人技术领域提交的首次申请量超过世界总量的25%, 为最高的国家占比。对于2005年以来提交的纳米技术专利, 中国申请人提交的申请占全球总数的近15%, 为第三大专利申请国。

当今的创新与科学之间的联系似乎比以往更加紧密……

专利地图另一个值得注意的研究结论是, 科学体系以及科学机构和公司之间的正式联系与以往相比更为重要。图6是关于在本报告研究的六个创新领域中申请人来自大学和公共研究机构 (PRO) 的占比。它表明了与三个历史案例相比, 来自学术机构的3D打印、纳米技术和机器人技术专利占比更高。纳米技术尤为突出, 学术申请人提交的申请占全球总量的25%左右。有意思的是, 自纳米技术在20世

纪80年代开始快速发展以来,大多数国家的学术专利活动占比都出现增长,表明纳米技术创新的科学基础在最近一个时期变得越发重要。

大学和公共研究机构在专利态势中更为重要的地位可能在一定程度上反映了旨在更好地将科学研究成果用于商业开发的政策导向。但这些政策举措可能认识到了上游研究对于下游技术进步所发挥的重要作用。

……但学术专利占比在不同国家之间存在显著差异

虽然学术专利在多数专利申请大国变得日益重要,但国与国之间仍存在显著差异。日本大学和公共研究机构的首次申请量从未超过总数的10%。相比之下,中国的学术通常占比最高,在纳米技术领域超过70%,在机器人技术领域超过50%。这一方面可能说明中国公司在相关技术领域的研发能力较为有限,这可能意味着更低的技术商业化率。另一方面,如历史案例研究所显示,当出现技术突破时,坚实的科学基础从长期来看可能会催生新公司和行业的出现。

知识产权不断演化的作用

知识产权激励创新……

如专利地图所示,所有六个案例中的创新者都通过专利制度保护他们的创新活动成果。在一些案例中,特别是半导体案例中,这一策略被广泛地使用。他们这么做的出发点各不相同,但现有证据表明,知识产权保护至少是研发拨款的部分原因,由此说明知识产权为激励创新发挥了重要作用。

……并完善技术市场的发展

同样重要的是,这六个案例研究记录了创新如何通过间接或直接的知识共享安排实现迅猛发展。例如,十九世纪的第一批业余飞机发明家俱乐部与在今天为3D打印和机器人技术研究做出贡献的开放源代码社群有着相似的运行方式。在半导体案例中,交叉许可协议对于新技术的商业化和后续创新至关重要。在当今,很多开展3D打印、纳米技术和机器人技术研究的公司都支持开放式创新。它们认识到,通过相互合作,它们可以成为更好的创新者,即使这意味着需要分享专有知识。

在很多情况中,通过鼓励知识公开以及为创新者提供一个灵活的工具,以帮助他们决定与谁在什么条件下分享哪些技术,知识产权制度为知识分享提供了便利。但案例研究还显示,社会规范在支持知识分享方面,以及政府干预在有利于公共利益的情况下鼓励知识分享方面均发挥着举足轻重的作用。

虽然技术市场在二十世纪早期对于飞机的发展已至关重要,但其重要性在今天更为凸显。推动技术前沿发展需要克服日益复杂的技术挑战。使上游科学研究发挥更大的作用是应对这一挑战的方法之一(见上文)。此外,案例研究显示,各公司的专门化程度越来越高,这表明侧重于选定研究、开发、制造或营销活动的公司可能更具创新性,更为高效。通过为许可提供灵活的基础,知识产权促进了专门化的发展,并成为现代技术市场的核心。

对于当今创新生态系统可能出现的一个关切是巨大的专利申请量，这可能造成阻挠而不是推动技术市场发展的专利流氓的出现。此外还有这样的关切，即广泛的专利活动可能会扼制知识共享。但3D打印、纳米技术和机器人技术案例研究中提出的证据显示，到目前为止，关于专利流氓的担忧并未实际发生，知识产权制度似乎兼顾了不同的知识共享机制。但重要的是，需要注意这些案例研究所讨论的很多技术仍处于相对初期的发展阶段，一些技术还未实现商业化。在未来围绕知识产权可能会出现更多冲突。

专利申请人主要在高收入市场寻求保护

为六个案例研究所制定的专利地图全部显示，创新者主要在高收入国家以及中国寻求对于其发明的专利保护（当前三个创新领域见表3）。这可能反映出这些国家的市场规模较大，以及掌握前沿技术能力的竞争对手的影响力。

表3：专利申请人主要在高收入市场寻求保护

申请人在各国寻求保护的全球同族专利占比			
	3D打印	纳米技术	机器人技术
美国	46.6	84.6	36.5
日本	33.6	52.1	38.7
德国	37.7	39.8	28.6
法国	32.4	36.9	21.9
英国	32.9	37.6	21.3
大韩民国	11.8	25.2	19.2
其他高收入国家	16.4	20.5	9.5
中国	38.3	31.8	36.6
其他中低收入国家	2.8	2.7	1.4

说明：该表是对图3.5、3.10和3.14的归纳，包含于1995年或之后首次提交并获得至少一个专利局授权的专利。“其他高收入国家”和“其他中低收入国家”的数值是GDP加权后的平均值（未加权的平均值处于相似水平）。

资料来源：WIPO（依据PATSTAT数据库）（见技术注释）。

只有小部分相关技术领域的首次专利申请在中国以外的中低收入国家有对应专利。这说明专利对于这些国家的技术传播既没起到帮助作用，也没起到阻碍作用。它只是表明一个国家是否具有关系到技术传播程度的吸收能力这一主要决定因素。但要注意的是该结论依据的是专利申请总体模式；考虑到专利价值的分布非常不均匀，个别专利可能在若干技术领域具有不成比例的影响力。此外，该结论是从本报告所讨论的六项技术中得出的。

技术本身正在影响知识产权制度的发展路径

纵观历史，新兴技术给知识产权政策制定者带来了难题。专利局和法院有时在基础性发明的可专利性问题上会遇到困难。此外，历史案例研究记录了法院判决、新法律和针对性的政府干预是如何促使知识产权政策不断得到修改和调整。这一演化进程必定会继续下去。关于当今突破性创新的案例研究引发了若干新思考，这无疑将在未来对知识产权政策产生影响：

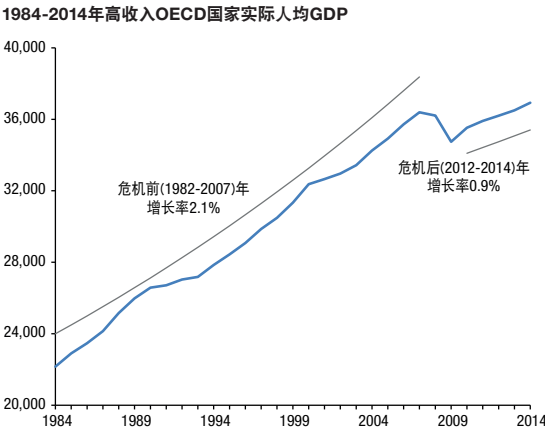
- 著作权与技术创新之间的相关性越来越显著。第一次出现这种相关性是软件被纳入著作权客体范围。随着软件成为包括3D打印机和机器人技术在内的很多新技术不可或缺的要素，著作权的作用也得到扩展。此外，著作权能够保护包括3D产品设计和计算机芯片设计在内的任何数字表达形式。这种发展趋势仅仅意味着对于不同知识产权形式的运用发生了转变，还是从根本上带来了新政策挑战，这一点尚不清楚。
- 低成本3D打印的出现可能会使对受到工业品外观设计或其他知识产权保护的产品进行复制变得容易。一个显而易见的问题是这是否会加大知识产权执法的难度——类似于数字技术给受著作权保护的图书、音乐、电影和其他创意表达形式所带来的挑战。这种情况在较长的一段时间内可能还不会发生，并且3D打印和数字内容复制之间存在着显著区别。但数字内容产业可以就如何以最佳方式管理这种情况提供宝贵的经验教训。

- 商业秘密一直是一种重要的知识产权保护形式，虽然受重视程度可能较低。尽管三个案例研究只提供了间接证据，但有理由相信商业秘密政策正在变得越发重要。主要原因是知识工人的流动性越来越高。虽然显性知识很容易获得，但人仍是将知识付诸有效利用的关键因素。商业秘密法对知识如何随着人员的流动而进行转移作出了规定，由此对创新和技术传播成果产生影响。

创新驱动型增长的未来发展前景

如上所述，前沿经济体人均GDP的历史数据显示，世界在第二次世界大战后经历了前所未有的迅猛增长。但自2008年全球金融危机爆发以来，增长一直呈低迷态势。图7显示了20世纪80年代中期以来高收入国家人均GDP的变化情况。在危机发生前，年均增长率为2.1%。这场危机不仅使经济产出急剧下滑，还使2010年以来的年均增长率跌至0.9%。

图7：第二次世界大战后的迅猛增长已告一段落？



见图1.8

乐观主义者认为更快的增速将会回归……

金融危机是否标志着低速增长的新时代已经开启？创新驱动型增长的引擎是否失去了动力？乐观主义者认为世界经济仍受到金融危机后债务积压的影响。市场力量最终应引导经济增长回归到由各经济体基本生产能力所决定的长期发展路径。此外，考虑到创新持续支撑未来增长的潜力，人们有理由保持乐观态度：

- 全球为了将知识前沿向前推进投入了前所未有的海量资源。虽然金融危机使一些国家受创，但研发支出受到的影响却小于经济产出受到的影响。此外，中国作为创新者的崛起——以及大韩民国研发支出的快速增长——使得全球创新态势更为多样化。
- 创新仍具有提高生产率、实现经济结构转型的重要潜力。信息通信技术已为增长作出了重要贡献。但参考历史，未来还会掀起创新促进增长的热潮。从重要技术突破的出现到其为增长作出贡献之间只间隔数十年时间。以人工智能为核心的下一代信息通信技术创新蕴藏着巨大潜力。
- 还有很多其他领域具有刺激未来增长的潜力。它们包括本报告所讨论的三个领域。例如，对3D打印机和智能机器人越来越多的应用很可能会推动供应链在很多行业的重组，从而形成规模较大的增长效应。其他具有重要潜力的创新领域包括基因工程、新材料和不同形式的可再生能源。新技术也大大改进了驱动科学发现进程的研究工具。特别地，受信息通信技术驱动的技术，如大数据分析和复杂模拟，为很多技术领域研究进步提供了新机会。对于乐观主义者来说，科学与技术之间的相互作用产生了一种能够自我强化并蕴藏着无穷潜力的动态关系。

……但仍然存在疑虑

与上述乐观态度相反，一些经济学家对于前沿经济体未来数十年的增长能否达到第二次世界大战后的水平表示怀疑。他们提出了若干理由：

- 人口结构变化和其他因素促使发达经济体进入了“长期性经济停滞”，即经济体的实际增长率总是低于潜在增长率。虽然创新仍然为未来增长作出贡献，但持续低迷的增长表现可能会自行实现：公司可能不愿抓住新技术所带来的投资机会，长期失业意味着工人丧失技能或根本无法获得技能，以及越来越少的创业公司和“规模扩大”可能造成经济结构转型放缓。
- 对于经济体生产率增长情况的预测显示，在金融危机爆发前就已出现增速放缓。美国经济从1995年到2003年出现过短暂的生产率增长显著加快，主要是由于信息通信技术的发展；但此后的生产率增长明显放慢。更广泛地说，研究显示发达经济体的增长潜力从21世纪初期开始减弱，主要因为生产率增长的下滑。
- 悲观主义者认为，信息通信技术对于增长的贡献已大部分实现，而重要性可与其相提并论的其他创新还未出现。想要新的创新达到以往创新在旅行速度、平均寿命和远程通信方面取得的成就颇具挑战性。此外，在加大劳动力参与度方面留给创新的空间已不多；恰恰相反，发达经济体的人口结构变化将导致参与水平降低。另一个疑问可能是关于未来创新活动的生产力。向前推进知识前沿正变得日趋困难，因为“枝头低的水果”已被摘走。

最后，一些经济学家想知道目前的GDP衡量框架是否遗漏了新技术的真正影响。该观点有两种形式。一是统计学家的工具越来越难以捕捉质量改进和新经济产出形式。二是GDP的概念本身就不适合用于捕捉与当今创新有关的社会福利增长。特别地，很多新技术的开发成本高昂，但一旦开发成功，生产成本却相对较低，甚至可以免费复制。但其他经济学家认为，GDP被低估不是一个新现象，没有明确证据表明该问题现在比以前更严重。

结语

未来的前沿增长与第二次世界大战后的增长相比将呈现怎样的态势，这个问题只能留给时间回答。但对创新的持续投入对于政策制定者和公司来说仍然至关重要。本报告的案例研究记录了从具有发展潜力的想法转化为可行技术所需的漫长时间，在这期间技术要得到完善，并让公司和消费者接受新技术。成功的创新，无论在公司层面还是对于整体经济，都需要坚持不懈的精神，特别是在用于创新的预算面临压力的低增长时期。

政策制定者还要确保知识产权制度为建立有利于创新突破的生态系统作出贡献。从工业革命开始，知识产权制度不断经历变化以适应新兴技术的需求和挑战。这种趋势必将继续下去，并且要通过对于现有证据的认真思考和对于技术变革方向的开放态度加以正确引导。

目 录

第一章	21	第三章	95
经济增长引擎一窥		具有未来突破性潜力的创新	
1.1 历史上的经济增长	21	3.1 3D 打印	96
1.2 创新如何驱动经济增长	26	3.1.1 3D打印的发展及其经济重要性	96
1.3 前沿创新和传播	30	3.1.2 3D打印创新生态系统	99
1.4 创新与知识产权	36	3.1.3 3D打印与知识产权制度	104
1.5 创新驱动型增长的未来发展前景	39	3.2 纳米技术	108
		3.2.1 纳米技术的发展及其经济重要性	108
第二章	49	3.2.2 纳米技术创新生态系统	111
具有历史意义的突破性创新		3.2.3 纳米技术与知识产权制度	116
2.1 飞机	50	3.3 机器人技术	120
2.1.1 商用飞机的发展及其对经济的贡献	50	3.3.1 机器人技术的发展及其经济重要性	120
2.1.2 飞机创新生态系统	55	3.3.2 机器人技术创新生态系统	123
2.1.3 飞机与知识产权制度	60	3.3.3 机器人技术与知识产权制度	127
2.2 抗生素	63	3.4 汲取的经验教训	133
2.2.1 抗生素的发现和发展及其对经济的贡献	63		
2.2.2 抗生素创新生态系统	67	缩略语	141
2.2.3 抗生素与知识产权制度	69	技术注释	142
2.3 半导体	74		
2.3.1 半导体的发展及其对经济的贡献	74		
2.3.2 半导体创新生态系统	77		
2.3.3 半导体与知识产权制度	83		
2.4 汲取的经验教训	88		

第一章：经济增长引擎一窥

经济增长一直是减轻贫困、创造就业和改善总体生活水平的有力驱动力。但这不应被看作是理所当然的现象。世界经济在十八世纪以前增长非常缓慢。贫困问题非常普遍，特权阶层以外民众的生活水平得到显著改善是不可想象的天方夜谭。从那时开始，世界经济开始以前所未有的速度增长——极大地改善了生活质量，实现了普遍的物质繁荣。即便如此，一些国家的经济增速更快，持续时间更长，造成现如今各国之间贫富差距悬殊。

纵观历史，增长为什么会出现差异呢？学者们长期以来一直对此感到困惑。增长从18世纪后半叶开始逐步加快，首次催生了一系列经济增长理论——例如亚当·斯密、大卫·李嘉图、托马斯·罗伯特·马尔萨斯和约翰·斯图尔特·密尔等人提出的理论。¹从那时起开始出现重要的观点和见解。其中一个核心观点是，持续的经济增长要依靠不断的技术进步来推动。的确，过去三个世纪以来，在不同技术领域涌现出了一系列创新突破，它们极大地改变了生产活动，刺激了新产业的增长。

在这一背景下，本报告提出了这样的问题：知识产权制度在增长过程中所发挥的作用是什么？本报告分为两部分。首先，它回顾了历史上经济增长的特点，探讨了不同的知识产权通过怎样的途径对增长产生影响——这是本开篇章节要解决的问题。第二，它以历史上的三项突破性创新（飞机、抗生素和半导体）和看起来具有突破潜力的三项当代创新（3D打印、纳米技术和机器人技术）为例，更为具体地研究了知识产权的作用。这些案例研究分别是第二章和第三章的主要内容。

本开篇章节对经济增长引擎进行了深入的探究。首先，它确定了历史上经济增长的关键典型事实（1.1节）。然后探讨了创新驱动长期增长的途径（1.2节）。在这一背景下，本章对创新过程进行了较为细致的研究，阐述了前沿创新的产生及其在经济体内部和之间的传播（1.3节）。以此为基础，文章接下来论述了不同知识产权影响创新和知识扩散成果的各种方式（1.4节）。最后一节结合最近爆发的金融危机，讨论了未来的增长前景（1.5节）。

1.1 历史上的经济增长

人类历史的大部分时期都没有经济增长可言。按照今天的标准，当时的居住条件非常恶劣，并且各代之间没有太大区别。随着蒸汽机、棉纺技术和铁路推动了第一次工业革命的到来，上述情况从大约200年前开始逐渐改变。²从那时起，持续的经济增长成为了新常态，虽然这种增长在时间和空间上的分布并非始终如一。

通过梳理过去两个世纪以来的增长表现，本节为报告在后面的讨论做好了准备。特别地，通过对现有数据和历史研究进行仔细分析，发现了四个典型事实：

1. 前沿增长从19世纪早期开始，并在第二次世界大战后加快速度。
2. 经济增长使得服务业取代农业成为主要的经济活动，并推动城镇化进一步发展。
3. 差异化的经济表现使得穷富经济体之间的差距加大。
4. 经济增长在过去数十年中一直伴随着各国国内日益严重的的不平等现象，但中国和印度的快速增长推动了全球收入分配的平等化，并使绝对贫困水平下降。

1. 综述见Samuelson (1978年)。

2. 见Gordon (2012年)。

以下讨论对这四个典型事实逐一进行了阐述。

典型事实1:

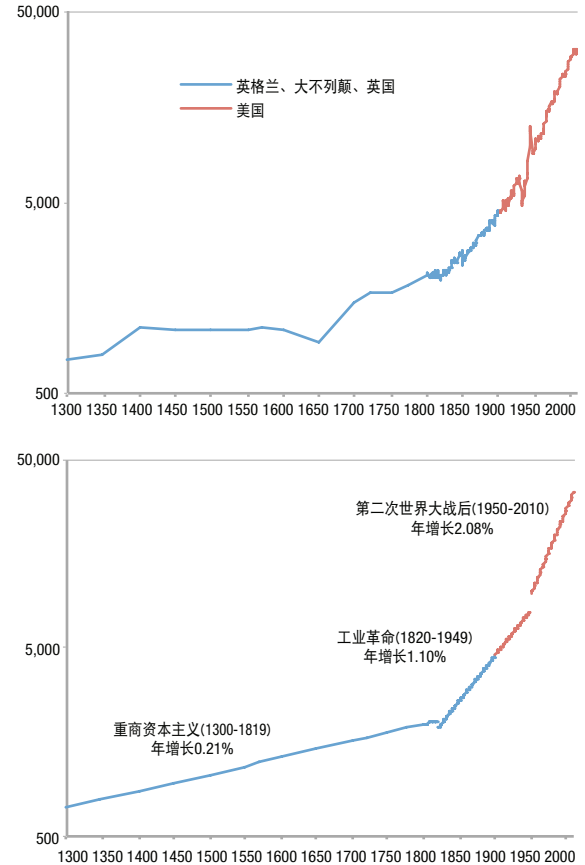
前沿增长开始于19世纪早期,并在第二次世界大战后加快速度。

研究数个世纪以前的增长表现是一项具有挑战性的工作。发达经济体从20世纪上半叶才开始编制国民经济核算以对国民生产总值(GDP)进行衡量。大多数发展中国家开始做这项工作的时间比发达国家还要晚得多。经济历史学家利用历史生产、工资、税项和其他数据记录对还没有官方数据时期的GDP价值进行了估算。由此得到了选定经济体在两个世纪或更长时间以前的经济产出估值。这些估算非常粗略。估算所涉及的时期越久远,误差幅度就越大。此外,比较不同时期的GDP值带来了这样的难题,即如何对所生产产品服务的性质和质量的变化进行衡量。从长期来看,对GDP值进行比较必定会造成对物质生活改善水平的显著低估,因为这样的比较不能充分捕捉新技术出现所带来的收益。³

虽然存在上述问题,但经济历史学家的工作是长期增长表现实证信息的唯一来源,因此值得仔细考量。依据麦迪逊项目所产生的现有最为全面的一系列历史估算数据,图1.1显示了1300年以来前沿人均GDP的发展情况。⁴‘前沿’在此指的是在某个时间点人均经济产出水平最高的经济体。图1.1中的前沿经济体是1900年之前的英格兰、大不列颠和联合王国(UK),以及1900年后的美国(US)。⁵

图1.1: 七个世纪以来的前沿增长

1300-2000年实际人均GDP (单位: 对数尺度)



说明: GDP单位是1990年国际美元,并根据各国购买力的差异进行了调整。对于“英格兰、大不列颠、联合王国”,截至1700年的估算针对的是英格兰,1700年至1850年是大不列颠,1851之后是联合王国。年增长率就是三个时期对数趋势线的斜率。

资料来源: 麦迪逊项目2013年版 (www.ggdgc.net/maddison/maddison-project/home.htm)。

3. 见DeLong (1998年) 和Coyle (2014年)。

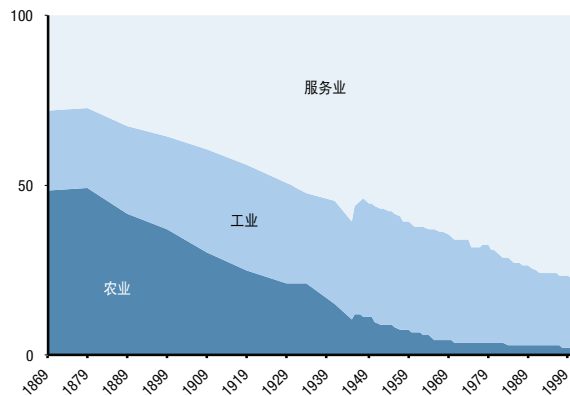
4. 见Bolt和van Zanden (2014年)。

5. 该方法来自Gordon (2012年)。

图1.1的下半部分将七个世纪分为三个增长期，通过趋势线来表明人均GDP在三个时期的平均增长率。第一个是根据库兹涅茨（1967年）最早提出的命名，被称为“商业资本主义”的时期。经济在这个时期只是非常缓慢的零星增长，增速为年均0.21%。⁶之后随着工业革命的出现，年增速迅速上升至1.10%。⁷为了表明这一增幅的重要意义，0.21%的年增长率意味着收入每331年翻一番，而1.10%的增长率为每64年翻一番。最后，在第二次世界大战之后的时期，增速进一步提高至每年2.08%——即每34年收入就翻一番。对比过去几个世纪的历史增长情况，1950年以来的增长表现可谓令人惊叹，非同一般。

图1.2：服务业的兴起

1869-2000年美国不同部门的就业结构（单位：百分比）



说明：“农业”包括农业、林业和渔业；“工业”包括制造业、采矿业和建筑业；“服务业”包括交通运输和公共事业、批发、零售、金融、保险、房地产和政府，以及美国劳工部劳工统计局（BEA）的“服务业”分类。如美国人口普查局（1975年）的解释，1929年及以前的数据参考了肯德里克估算数据。

资料来源：BEA、《国民生产和收入核算》表6.8B以及美国人口普查局（1975年）。

典型事实2：

经济增长使服务业取代农业成为主要的经济活动，并推动了城镇化发展

在中世纪，农业是主要的经济活动。随着经济增长从19世纪早期开始加快，经济产出逐步转型，从最初的农业转变为工业和服务业，到后期阶段完全以服务业为主。图1.2通过显示三个主要经济部门自19世纪中期以来的就业结构，表明了美国的这一转变。在1869年，农业的就业人口接近总就业人口的一半，工业和服务业各占约四分之一。⁸在之后的131年中，农业失去了其主导地位，到2000年只占总就业人口的2.4%。工业就业人口占比首先呈增长趋势，到1953年达到最高的34.4%，但随后下降到2000年的20.4%。服务业的增长最为显著。其就业人口1934年已超过总就业人口的一半，到2000年超过四分之三。

各部门在GDP中的增值占比也显示了类似的情况。2010年，服务业在高收入国家经济产出中的占比为73.6%，工业25.0%，农业1.4%。⁹总而言之，经济增长将若干世纪前的农业社会转型为今天以服务业为基础的经济。

6. Broadberry等（2011年）认为14世纪人均GDP增长的原因是黑死病导致的人口减少。同样地，17世纪下半叶的增长也伴随着人口减少。
7. 图1.1采用Maddison（2001年）的方法，即将1820年作为“商业资本主义”时期向“工业革命”时期过渡的年份。

8. 图1.1中选择1869年作为开始年份只是出于数据可用性的原因。历史研究表明，开始向工业和服务业结构转型的时间比1869年早得多。例如，根据Broadberry等（2011年）的估计，英国农业的GDP贡献率从1381年的49.1%下降至1700年的26.8%，而同期的服务业贡献率从23.1%上升至34.0%。
9. 根据世界银行的世界发展指标数据库。

这一结构转型对经济地理学产生了深远影响。从农业中释放出来的劳动力聚集到了城市地区，城市不仅提供了就业机会，还提供了卫生、教育、零售市场、交通、娱乐和其他便利设施。随着19世纪工业革命的到来，城镇化进程显著加快。英国——19世纪的前沿经济体——居住在人口规模5000人或以上城市的人口比例从1800年的五分之一增长至1900年的三分之二。¹⁰伦敦成为世界最大城市，居住人口在1800年左右达到100万，到1891年达到560万。¹¹相比之下，巴黎人口直到19世纪中期才达到100万，纽约在1871年达到，柏林在1880年达到。¹²的确，城镇化进程在其他发达经济体所花费的时间要更长。在美国，城市人口比例在1900年为相对较低的31.3%，直到20世纪下半叶才超过三分之二这一城镇化人口比例门槛。¹³尽管如此，截至2010年，在所有高收入国家中，接近五分之四的人口都居住在城市地区。¹⁴

典型事实3:

不同的发展路径使得穷国和富国之间的差距更为悬殊

经济增长在全世界是否为均匀分布呢？特别地，随着经济从19世纪开始加速增长，前沿集团以外的经济体经历了怎样的增长呢？如果引用普里切特的著名评论（1997年），简单的回答是增长存在着“非常大的差异”。在许多不同经济体的数据最早可循的1870年，最富裕国家的人均GDP约为最贫穷国家的10倍；到了2008年，这一差距已扩大到126倍。¹⁵虽然一些曾经属于穷国的经济体——特别是东亚经济体——得以追赶上前沿集团，但这种差距缩小的现象并未在世界范围内发生。图1.3通过显示各经济体有最早数据记录的初始收入水平及其后续增长情况表明了这一点。如果收入差距缩小，则散布图应呈负相关，说明一开始不发达的经济体增长速度更快。但不论是在整个1870年至2008年期间，还是在第二次世界大战后的较短时期，都未呈现这种负相关的关系。¹⁶

前沿经济体持续增长，以及非前沿经济体无法与之缩小差距，这些造成绝对收入水平在世界范围内出现巨大差异。为了说明这一点，以德国和厄瓜多尔的经历为例。1870年，德国的人均收入为1839美元（USD），厄瓜多尔为411美元，相差1428美元。两个经济体从1870年至2008年的年均增长率大致相同，均为1.8%左右。因此，德国的人均收入2008年增长到20801美元，厄瓜多尔增长到5005美元。两国收入水平的绝对差异增长了11倍，达到15796美元。¹⁷

10. 见Bairoch和Goertz（1986年）。

11. 来自伦敦历史普查数据data.london.gov.uk/dataset/historic-census-population。

12. 见Watson（1993年）。

13. 来自美国人口普查局www.census.gov/population/www/censusdata/files/table-4.pdf。如果城市人口门槛为2500或以上，则城市人口比例在1960年为63.1%。

14. 根据世界银行的世界发展指标数据库。

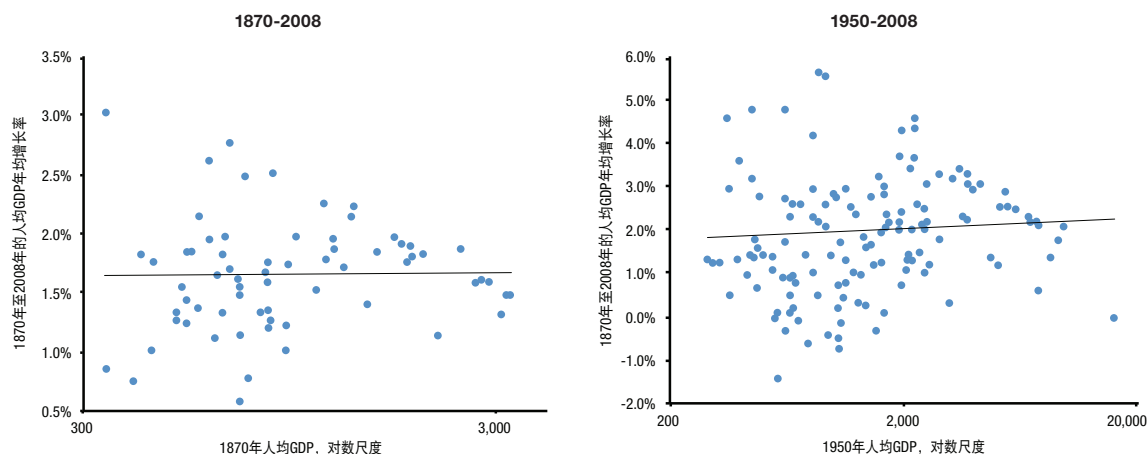
15. 这些估算值依据的是麦迪逊项目数据库（另见图1.3）。根据该数据库，1870年，最富裕的国家是澳大利亚，最贫困的国家是大韩民国；2008年，最富裕的国家是美国，最贫困的国家是刚果民主共和国。

16. 图1.3中性回归线的斜率从统计学意义上来说与零没有差异。但要注意在高收入国家中长期出现的收入收敛趋势（Pritchett，1997年）。

17. 本示例中的所有数据都来自麦迪逊项目数据库，其单位为1990年国际美元。

图1.3: 贫困经济体的增长速度没有富裕经济体快

初始收入水平与后续发展



说明: GDP单位为1990年国际美元,并根据各国购买力的差异进行了调整。左图包含了麦迪逊项目数据库提供1870年人均GDP估算值的所有67个经济体。右图包含了有1950年人均GDP数据记录的138个经济体;三个产油小国——赤道几内亚、科威特和卡塔尔——没有被包括进来,因为它们的增长表现主要在1950-2008年这一时期的初期或末期受到周期性因素的影响。

资料来源:麦迪逊项目2013年版 (www.ggd.net/maddison/maddison-project/home.htm)。

此外,人均收入的最初差异在大多数情况下都随着时间保持不变。1870年十个最富裕经济体中的八个到了2008年仍位列最富裕经济体的前十位。只有香港和新加坡从之前的前十位开外跻身前十。¹⁸需要说明的一点是,前沿集团以外的大多数经济体也实现了持续的经济增长,其居民生活水平与19世纪相比有了极大改善。但世界范围的增长模式并未缩小国与国之间的贫富差距;而是使差距加大。

典型事实4:

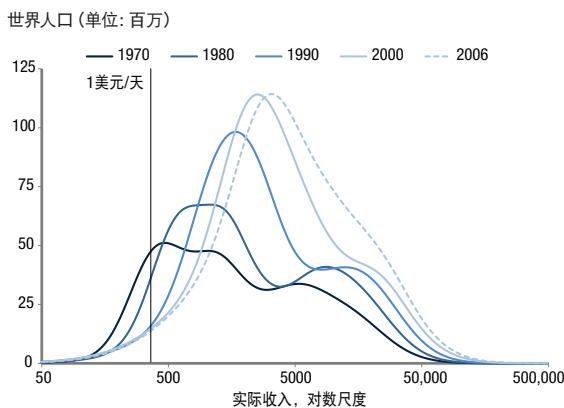
在过去数十年中,经济增长一直伴随着各国内部越来越严重的不平等现象,但中国和印度的快速发展推动了世界收入分配的平等化,并使绝对贫困水平下降。

如果各国收入水平高低各异,这是否意味着世界变得更加不平等了呢?答案是不尽然,这其中有两个原因。第一,上面的分析把所有国家看作是一样的,忽略了有些国家的人口比其他国家多得多。第二,它并未考虑各国内部收入分配的变化,而这会影响普通居民的贫富水平。

18. 与上文一样,排名依据的是麦迪逊项目数据库中的人均GDP数据。

想要评价世界是否变得更加平等,就需要分析世界所有居民——而不是国家——的收入分配是如何随着时间而变化的。Sala-i-Martin (2006年) 就进行了这样的分析。利用138个国家的人均GDP和国民收入分配数据,该研究对从1970年开始的世界收入分配情况进行了估算。¹⁹它得出了三个结论。第一,大多数国家的居民收入不平等现象都有所加重。第二,尽管如此,并且虽然国与国之间的收入差距越来越悬殊,但世界范围内的收入不平等现象有所缓解。这一结论乍看起来有悖常理。但这是因为人口众多、一度受贫困困扰的亚洲经济体(特别是中国和印度)与发达经济体之间的收入差距缩小。利用不同数据和其他估算方法的后续研究没有急于得出世界不平等现象总体得到缓解这样的结论。²⁰但它证实了这样的观点,即亚洲大经济体的增长影响了全球收入分配格局,促进了分配的平等化。

图1.4: 增长降低了绝对贫困水平



说明: 图中的曲线显示了世界收入在不同年份的分配情况, 每条曲线之下、横轴之上的面积代表当年的世界人口。实际收入以2000年国际美元为单位进行衡量, 并根据各国的购买力差异进行了调整。

资料来源: Pinkovskiy和Sala-i-Martin (2009年)。

第三, 经济增长显著降低了绝对贫困水平, 绝对贫困门槛是日均收入不超过1美元。根据Sala-i-Martin估算的更新内容所制订的图1.4显示了1970年以来的世界收入分配情况以及日均1美元的门槛值。它展示了经济增长如何使世界收入分配曲线向右侧移动。曾经贫困的亚洲大经济体特别快速的增长使该曲线成为单峰值分配曲线。在这个过程中, 绝对贫困人口从1970年的4.03亿下降到2006年的1.52亿。此外, 在1970年, 大多数贫困人口居住在亚洲, 而到了2006年则主要分布在非洲。有时使用不同贫困门槛的其他研究对于贫困水平的估算结果各不相同。²¹但它们都证实了绝对贫困水平的显著下降及其地理转移。

1.2 创新如何驱动经济增长

各经济体的增长表现为什么随着时间和地域的变化而出现如此大的差异? 经济增长引擎的驱动力是什么? 很少有经济学问题会产生如此大量的研究。本节对经济增长的主要驱动力进行了评述, 希望以此找到特别是创新促进增长的主要途径。它侧重于经济增长的长期决定因素, 并未考虑造成经济体暂时偏离其基本增长路径的经济周期波动(见1.5节中的进一步讨论)。

经济学家用来确定长期增长源头最为常见的“主力”是所谓的增长核算框架, 一般认为来自于诺贝尔奖获得者、经济学罗伯特·索洛所提出的理论。²²该框架将产出增长分为两部分: 第一部分是生产要素的积累——主要是资本和劳动力, 后来扩展到人力资本; 第二部分是经济体的总体生产率增长, 也被称为全要素生产率(TFP)增长。

19. Sala-i-Martin (2006年) 通过计量经济学预测以及参考邻国的数据缺少的数据点。

20. 例如Lakner和Milanovic (2013年) 利用调查数据捕捉各国的平均收入水平, 而不是像Sala-i-Martin (2006年) 那样使用国民核算数据。他们所预测的基尼系数高于Sala-i-Martin的预测, 对于基尼系数的预测基本上从未减小过。另见Pinkovskiy (2013年)。

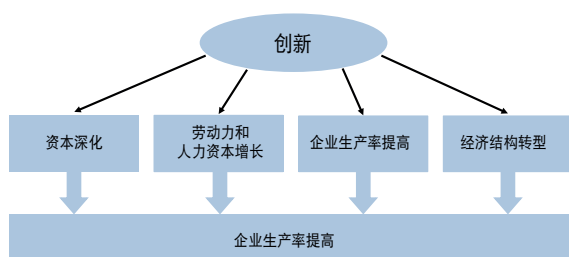
21. 例如见Chen和Ravallion (2004年)。

22. 见索洛 (1956年; 1957年)。

增长核算框架在一定程度上解释了一些国家的增长速度比其他国家更快的原因。²³例如，实证研究指出，高投资率和农村剩余劳动力进入正规劳动力的高转化率是若干东亚国家在过去数十年中快速增长的关键原因。²⁴但在试图了解技术创新如何驱动增长时，增长核算框架面临两个重要局限。第一，虽然通常认为技术创新是全要素生产率增长的一个关键性决定因素，但它也会对要素积累产生深远影响，会在下文中对此进一步解释。第二，实证研究一般将全要素生产率增长作为对生产要素的影响力进行核算后所剩余的余值增长。这样一来，它就无法帮助解释到底是什么样的力量驱动着经济体的生产率增长。

要找出这样的因果关系是一项具有挑战性的工作。技术创新会对公司和工人的行为以及经济结构产生复杂的影响。但如图1.5所示，大致可以分为四种传递途径。²⁵本节将对这些传递途径进行阐述。

图1.5: 创新通过不同的途径促进增长



资本深化

公司对新资本设备进行投资依据的是它们对于这些投资所产生未来收入的预期。新技术的出现能够提高投资回报率，并促使公司进行新投资。新技术同样会影响政府对于公共产品的投资决定，特别是关于为经济体提供基础设施方面的决定。的确，根据新古典增长理论的预测，如果没有技术进步，资本投资的收益就会递减，经济增长就会收缩为零。²⁶

从历史上看，突破性重要技术的出现总会引发投资热潮，从而带来经济产出的扩大。例如，铁路技术在19世纪的出现带动了大量的基础设施投资，进而造成了较大规模的产出波动。²⁷到了当代，随着信息通信技术（ICT）在20世纪90年代的迅猛发展，研究显示美国各行业公司都迅速增加了它们的信息通信技术资本存量，特别是与其他固定资本资产相比。²⁸此外，无形资产投资——建立新业务流程、数据库和其他知识密集型活动——成为总体投资的重要组成部分，并且也与新技术的使用不无关联。

劳动力和人力资本的增长

从历史上看，技术创新是劳动力规模扩大的一个关键因素。首先，卫生技术的进步使平均寿命大幅提高。例如，在1800年，所有发达国家的出生时平均预期寿命是40岁以下；到了2011年已经提高到70岁以上，其中日本的平均寿命最高，达到83岁。²⁹通过减少慢性疾病和残疾所带来的负担，技术还为劳动力日益健康从而从经济角度具有更高生产率作出了贡献。

23. 例如见Mankiw等（1992年）中的计量经济学证据。

24. 见Young（1995年；2003年），虽然Nelson和Pack（1999年）认为是由于成功的东亚经济体学会了如何有效利用新技术才产生了高投资率。

25. Maddison（1997年）提出了相似的分类法。

26. 见索洛（1956年）。

27. 见O'Brien（1977年）第五章。

28. 例如见Stiroh（2002年）。

29. 见Roser（2015年）。

创新为更多成年人加入劳动力提供了便利。例如，冰箱、室内管道、洗衣机、超市和其他创新使家庭成员——特别是女性——得以从日常家务劳动中解脱，使他们能够进入正规就业。同样地，快速公共交通减少了劳动力市场的地理限制。这些因素还增加了受教育机会，提高了劳动力素质。而教育技术的进步又拓宽并深化了教育成果，从而进一步扩大了经济的人力资本基础。

公司生产率的增长

创新可以通过不同途径对公司的生产率产生影响。工艺创新能够提高投入——特别是劳动力——转化为产出的效率。如上所述，效率提高的原因通常是新资本设备的使用。所带来的生产率提升释放了可以用于在同一家公司、同一个部门或经济的其他部门扩大产出的资源。同样地，能够使公司实现更大规模经济的工艺创新意味着相同的资本和劳动力投入可以带来更大的产出。

产品创新对于生产率的影响更为多样化。其中一类创新是对现有产品的质量进行改进——例如性能更强大的计算机、使用寿命更长的电池和能效等级更高的电冰箱。如果公司能够以相同的投入生产出相同数量但质量更好的产出，那么产品创新就能直接带来公司生产率的提高。虽然从理论上来说非常直观明显，但如框1.1中所述，在总体经济产出中对质量改进进行衡量颇具挑战性。

产品创新的第二种形式是前所未有的新产品的出现。这样的产品或是与现有产品存在明显区别——如新车型——或是更为根本性的突破，如首台平板电脑的问世。由于推出新产品的公司以前没有生产过该产品，因此无法评估创新对于公司生产率的直接影响。与质量改进所遇到的问题相同，在新产品上市时正确衡量经济产出的增长同样具有挑战性（见框1.1）。

新产品对于生产率的影响最终主要取决于购买新产品的是最终消费者还是将该产品作为生产投入的其他公司。如果是前者，那么新产品的消费者一定会调整他们的消费篮子，从而造成产出结构的变化。无法确定这一变化对于生产率的影响。但由于消费者是自愿购买新上市的产品，他们的福利必定会上升。

被其他公司作为中间投入的新产品可能会使生产率显著提高。³⁰的确，从历史上看，电力、负担得起的长途旅行、电信、计算机的使用以及其他很多产品和服务使许多不同部门公司的生产率大幅提高。

最后，正如工艺和产品创新能够提升公司的生产率表现，它们也能使政府更高效地发挥职能。例如近一段时间以来出现的利用信息通信技术提供政府服务——即通常所说的“电子政务”——就大大提高了这些服务的质量和成本效益。³¹

30. Grossman和Helpman（1991年）在建模时将生产率提高体现为中间投入多样性的提高。

31. 澳大利亚政府发布了一份关于电子政务所带来的质量和效率提升的综合研究www.finance.gov.au/agimo-archive/_data/assets/file/0012/16032/benefits.pdf。

框1.1: 在GDP统计数据中捕捉新产品和技术

对经济增长进行衡量要依靠统计学家对总体经济产出的量化。由于将橙子和苹果的数量相加没有任何意义——更不要说是平板电脑、出租车用车和医生出诊的数量——因此统计学家要依靠这些数量的市场估值。将每种产品和服务的数量与价格相乘，然后将所得到的估值相加就是一个经济体的GDP。

计算某一年的所谓名义GDP相对简单直接。但如果想跟踪经济产出随时间的变化就会出现困难。首先，名义GDP的变化可能反映了大致数量的变化、价格的变化或两者皆出现变化。例如通货膨胀率高可能造成名义GDP较大幅度地增长，即使数量保持不变。因此，统计学家提出了实际GDP的概念，它利用某一基准年份的价格对经济产出的物理数量进行衡量。

但如果产品创新促使新产品和服务上市，就会引发一个错综复杂的问题。如果这些新产品和服务与之前的任何产品或服务都没有关系，那么就无法提供它们在以往基准年份的价格。将它们纳入实际GDP的唯一方法是更新基准年份。但选择哪一年作为基准年份并非显而易见。在上市第一年期间，新产品和技术的价格通常会快速下降，数量会快速增长；选择过早的基准年份可能会夸大实际的GDP增长。由于这个和其他原因，许多国家的统计局都采用所谓的连锁加权法来衡量实际GDP，即每年隐式地对基准年份进行更新。

如果新产品和服务是在既有产品和服务的基础上改进质量，那么就有以往基准年份的价格可循。³²但是，将新产品和技术的数量与旧产品和服务的数量进行比较会产生误导。例如，如果数量为草莓的盒数，那么自然会根据每盒草莓的重量在当年和下年之间的变化进行调整。同样地，如果数量为计算机的箱数，那么就应根据每箱计算机的计算能力在当年和下年之间的提升幅度进行调整。³³统计学家已建立了这样的质量调整方法。通过所谓的匹配模型和特征价格法，人们可以在保持质量特性不变的情况下对捕捉产品和服务价格变化的假定价格指数进行估算。然后用这些价格指数缩小名义GDP值，就计算得出了将质量改进考虑在内的实际GDP。³⁴

连锁加权法和特征价格法是将产品创新纳入GDP衡量的重要工具。但它们并非完美无缺。³⁵首先，它们取决于统计局从产品和服务的大量质量特性中量化、收集数据的能力。即使是资源最丰富的统计局也只是对数量有限的产品和服务进行特征价格调整。此外，很难对某些质量改进进行量化分析——例如能够改善安全、安保、可持续性和总体生活质量的创新。

最后要指出的是，实际GDP增长只是部分捕捉到了产品创新所带来的福利提升。如上所述，其中一部分原因是衡量方法并非完美。更为重要的是，GDP增长只是对产出随时间的变化情况进行衡量，而不是衡量消费者和整个社会如何对产出扩大进行估值。虽然人们出于合情合理的原因认为产出和福利之间存在关联，但它们是具有本质区别的两个概念。

资料来源：Landefeld和Parker（1997年）、Landefeld和Grimm（2000年）以及联合国（2009年）。

32. 事实上，新产品与高质量产品之间的区别可能很小。例如，产品的新功能可以看作是质量改进；但如果新功能足以重要并为产品带来了新用途，则可以将其看作是全新产品。这使衡量变得更为复杂。见OECD（2001年）。
33. 该示例来自Landefeld和Grimm（2000年）。

34. 另一个重要的衡量挑战是应将公司哪些类型的发明创新活动作为中间消费，哪些作为资产投资。例如2008年国民核算系统将研发支出和软件作为固定资产投资（见un.org/unsd/nationalaccount/sna2008.asp）。其他无形资产投资在今后可能也做相同处理。
35. 关于对方方法论的评论，见Huiten（2003年）。

经济结构转型

创新对于公司的增长表现有着深远影响。同样重要,如果不是更重要的是,新技术通常是发生深刻结构转型的根源。这种结构转型通过一系列不同的方式对经济体的生产率表现产生中长期影响。

首先,新技术能够改变行业的面貌,导致一些公司被淘汰出局,而另一些脱颖而出。此外,竞争的激烈程度可能出现变化。在很多情况中,这些变化带来效率的提高从而促进增长,并促使生产要素重新进行调配。活跃的竞争可以推动技术传播和未来创新。³⁶但这不是唯一可能出现的结果。技术还可能造成产业结构更为集中,有时甚至会引起竞争主管部门的关切和干预。³⁷

第二,技术创新经常会促使供应链重组。一般来说,这样的重组意味着更大程度的专门化,即公司发展独特的专长或为同一行业或跨行业的不同公司生产专门化产品和服务。更高的专门化水平能够创造对于提高总体经济生产率至关重要的效率。技术创新还推动了供应链的全球化发展。数量更多、更多样化的国际供应商的参与进一步扩大了更大程度专门化所带来的生产率提高。

第三,技术创新会带来新的经济活动,从而造成旧有活动的衰退。例如,汽车的出现取代了骑马或马车出行,也就不再需要大量工人清扫街道上的马粪。同样地,电话技术的出现使直接拨号成为可能,从而不再需要人工接线员。从中短期看,这种技术颠覆由于使得某些工作岗位变得冗余而可能给供职于这些岗位的工人带来困境。但从长期看,工人在增长型经济部门中的调配是创新带来产出增长最为重要的方式之一。

如图1.2所示,在现实中,技术进步引发了从农业和工业向服务业的巨变。这在很大程度上反映了农业和工业生产率的历史增长速度相比劳动密集型的服务业要快得多。³⁸因此——虽然有些有悖常理——从农业和工业释放出来的工人进入了日益增长的服务业就业。³⁹从这个角度看,工业产出占比萎缩不一定是令人担心的“去工业化”预兆,而是技术进步的天然副产品。

1.3 前沿创新和传播

上文的讨论表明了创新在驱动长期增长方面所发挥的关键作用。但不同的创新所产生的增长到底有多少?第22页的信息图对照图1.1中的前沿增长轨迹,显示了过去200年来一些最为重要的技术突破。该图仅为说明之用,并且对于技术的选择明显带有主观性。

36. Aghion等(2005年)对竞争与创新之间的相互作用进行了正式探讨。另见1.3节中关于内生增长的讨论。

37. 深受新技术影响并受到竞争主管部门审查的行业包括例如电信业(美国电话电报公司)、计算机操作系统(微软)和在线搜索(谷歌)。

38. 见Baumol(1967年)和Baumol等(1985年),虽然后者还提到服务业的多样性,如电信和广播等服务活动的生产率已出现快速增长。

39. 除了技术,服务业的发展可能还反映出随着经济体的富裕程度提高,对于服务的需求随之增长,包括教育、卫生、旅游和娱乐服务。

框1.2: 对以往创新对于增长所产生的影响进行量化研究

想对特定创新对于增长的影响进行量化分析的研究主要依靠1.2节中所述的增长核算框架来做这项工作。特别地,它们通过两部分来捕捉增长贡献率: (i)通过衡量与某一创新相关的资本投入增长而得到的资本深化水平; 以及(ii)所生产产品作为创新基础的部门的全要素生产率增长。

使用了该框架的两项研究是Crafts (2004年) 关于蒸汽技术在18世纪末期和19世纪对于英国经济增长影响的研究, 以及Oliner和Sichel (2003年) 关于信息通信技术在20世纪最后25年对于美国增长影响的研究。在表1中列出了他们的估算数据, 即对于劳动力生产率增长的年贡献率百分比。

Crafts的研究通过衡量与蒸汽技术有关的马力增长来反映资本深化水平。虽然詹姆斯·瓦特的蒸汽机在1769年就获得了专利授权, 但根据Crafts的估算, 在1830年之前, 蒸汽机对于劳动力生产率增长的年贡献率不超过0.02%。然后提高到0.04%

1830-50年)、0.12% (1850-70年) 和0.14% (1870-1910年)。这些估算表明了蒸汽机所产生的影响有所滞后, 但却长期持久。

Oliner和Sichel的研究通过对信息通信技术资本——计算机硬件、软件和通信设备——的增长进行统计, 从而衡量资本深化水平。他们的估算显示, 信息通信技术对于增长的总体贡献率要高于蒸汽技术, 特别是在20世纪90年代的下半叶。此外, 大部分增长贡献都来自于资本深化——在整个经济中对于信息通信技术更大程度的应用。与蒸汽技术的研究相同, 信息通信技术对于增长的影响在一定时间后才体现出来, 但滞后时间相比蒸汽技术要短得多。

上述研究低估了新技术对于增长的实际影响。最主要的一点是, 所使用的估算方法只捕捉到技术产生部门的全要素生产率增长。它忽略了可能出现在其他经济部门的生产率溢出。在蒸汽技术的案例中, Crafts认为这种溢出作用在1850年之后可能相当显著。同时, 循环效应可能影响表1中所列的估算值, 特别是可能造成对于20世纪90年代下半叶信息通信技术贡献率的高估 (Gordon, 2000年)。

表1: 蒸汽技术和信息通信技术的增长贡献率

	英国的蒸汽技术			美国的信息通信技术				
	1760-1800	1800-30	1830-50	1850-70	1870-1910	1974-90	1991-95	1996-2001
资本深化	0.004	0.02	0.02	0.06	0.09	0.41	0.46	1.02
TFP	0.005	0.001	0.02	0.06	0.05	0.27	0.41	0.77
总贡献率	0.01	0.02	0.04	0.12	0.14	0.68	0.87	1.79

资料来源: Oliner和Sichel (2003年) 以及Crafts (2004年)。

遗憾的是难以在历史增长表现和不同的创新之间建立起清晰的联系, 这是因为至少存在两个原因。第一, 1.2节中所述传递途径的多样性和复杂性以及各种技术同时产生的影响意味着难以将单个创新的贡献分离出来。第二, 技术的应用需要时间, 并且技术本身也会发展变化, 因此难以进行因果性归因。虽然存在上述问题, 但一些研究至少已经对所选定的历史创新在若干国家中的增长贡献进行了部分量化分析 (见框1.2)。

更广泛地说, 经济学家就对于理解创新和增长之间关系至关重要的两个问题取得了重要的认识:

- 前沿创新是如何形成的?
- 技术如何在各经济体之间传播?

本节归纳总结了对于这两个问题的关键认识。

前沿创新是如何形成的?

在19世纪初期, 技术创新的主体主要是个人发明人和小企业主。现代创新体系在20世纪出现, 一系列不同的组织通过这个体系共同推进知识前沿的发展——包括科学机构、大型研发密集型公司和创业公司。

实现技术突破主要有三个驱动力。第一, 科学发现为商业创新奠定了基础。例如液晶显示器的发展正是依靠有机化学领域的科学进步。第二, 政府的需求——特别是在国防领域的需求——是很多技术开发的关键驱动力, 而这些技术在后期被广泛应用于不同的经济部门。最后, 市场的需求和竞争性市场力量促使公司对新技术的开发进行投资, 以获得比对手更强有力的竞争力。

框1.3: 无形资产投资

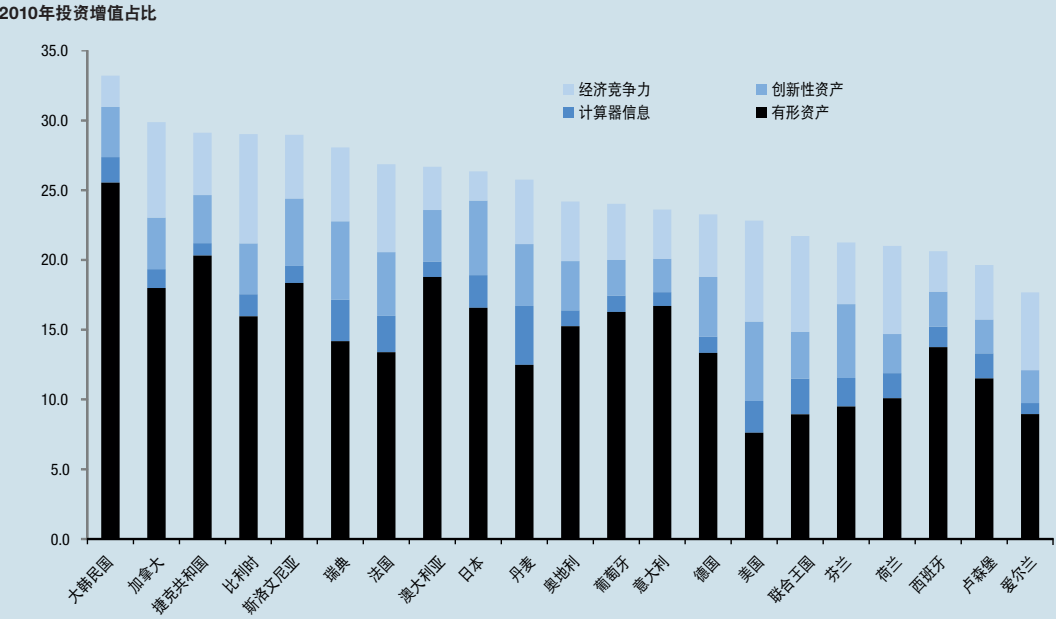
内生增长理论强调了无形资产投资在知识密集型产业中的重要性。但衡量投资规模并将其与有形资产投资进行比较一直具有挑战性。公司财务报告和国民经济核算一直以来习惯将无形活动作为中间投入而非投资。传统的企业投资活动侧重于有形资产的投资，例如工程和设备、房舍和机动车。

为了更为全面地了解企业投资，研究人员建立了一个新的衡量框架，它将无形资产分为以下几个组成部分 (Corrado等, 2012年)：

- 1. 计算机化信息
 - 软件
 - 数据库
- 2. 创新型产权
 - 矿产勘探
 - 科学研究
 - 娱乐和艺术原创
 - 金融服务中的新产品/系统
 - 外观设计和其他新产品/系统
- 3. 经济能力
 - 品牌价值 (广告; 市场研究)
 - 公司特有的资源 (雇主提供的培训; 组织结构)

通过该框架，对许多发达经济体的无形资产投资进行了估算 (见图1.6)。它们一致显示无形资产在企业总投资中的占比相当可观——在丹麦、芬兰、法国、荷兰、英国和美国都超过了50%。

图1.6: 无形资产投资在企业总投资中的占比较高



说明：加拿大、日本和大韩民国参考2008年估算值。

资料来源：OECD (2013年) 图1.2。

经济学在解释经济体对创新进行投资的原因以及这些投资对于经济体的增长路径所产生的影响方面硕果累累。耐人寻味的是，新古典增长理论——第一批力图增长过程建立正式模型的理论之一——并未考虑技术进步是怎样产生的；它只是表明离开技术进步，增长就会停滞。这一短板催生了内生增长理论，该理论将开展创新的激励因素直接嵌入经济增长模型中。特别地，在正式的内生增长模型中，公司主要通过推出质量更好的新产品来对研发活动进行投资，以产生未来利润并避免被竞争对手取代。接下来，公司之间的竞争带来了具有活力的创新竞赛，实现了生产力的持续增长。这些模型捕捉到了当今知识密集型产业的一个关键特征：公司对无形资产进行投资——不仅投资研发活动，还投资设计、软件、工人技能和组织专长——并且它们经常发布新产品以取代旧产品。的确，现有数据强调了无形资产投资作为企业总体投资份额的重要性（见框1.3）。

但是，一些经济学批评内生增长理论过于僵化。⁴⁰特别地，虽然承认创新活动的结果具有不确定性，但内生增长模型假设这些结果存在于一个预先设定好的概率分布中。但很多具有深远意义的创新式突破都是意外实现的——这意味着它们不在事先知晓的一系列结果之内。

受到上述批评意见的影响，增长文献的第二个分支——演化增长理论——强调创新活动的特定历史环境以及相互关系的复杂性，同时因果机制随时间而变化。⁴¹在演化增长理论中，公司无法预知所有的技术可能性，当它们从事创新活动时主要依靠“经验法则”。技术进步的发展轨迹是由遴选过程所决定的，市场力量和其他经济制度在该过程中发挥了关键作用。

在演化法中，创新是一个渐进式过程，变化的方向只有随着时间的推移才能变得清晰明确。虽然偶尔会“灵光一现”并采取激进的行动向前推进，但即使是重大历史突破也需要用数年、甚至数十年的时间去发展，这其中需要采取许多渐进式的步骤。此外，创新对于整个经济的影响取决于公司学习如何利用新技术、进行资本投资以及对经营活动进行重组。的确，新技术的出现通常会促进组织和商业模式的创新，而后者也有利于显著提高生产率。本报告最后的信息图中所提到的即时制造和条形码就是这种类型的重要创新。

渐进式创新对于所谓通用目的技术（GPT）的繁荣发展同样至关重要。⁴²虽然没有统一的定义，但通用目的技术通常是指具有一系列广泛用途并应用于许多不同经济部门的技术，它与现有或潜在的新技术有着很强的互补性，并为后续创新提供了肥沃的土壤。大部分关于通用目的技术的讨论都会将蒸汽机、铁路、机动车、电力和信息通信技术作为主要示例。⁴³有关通用目的技术的历史研究显示了它们对于促进增长的重要性，但也发现它们对于增长的激励作用通常要经过较长的滞后期才能显现出来——例如根据估计，蒸汽机的滞后期为80年（见框1.2），电力为40年。⁴⁴最近的内生增长研究将通用目的技术的出现和应用与经济增长的长期周期联系起来，解释了历史上所观察到的急剧增长和增长放缓的原因。有趣的是，对于增长周期的预测工作与“长波”（也称为康德拉季耶夫长波）的概念不谋而合，长波概念是早期演化理论的重要组成部分，特别是在约瑟夫·熊彼特的工作中。⁴⁵

40. 关于关键贡献，见Nelson和Winter（1982年）；

关于文献综述，见Verspagen（2004年）。

41. 见Verspagen（2004年）。

42. Bresnahan和Trajtenberg（1995年）提出了“通用目的技术”的概念，虽然它与演化增长文献（Verspagen，2004年）中所使用的“基础创新”和“技术范式”概念类似。

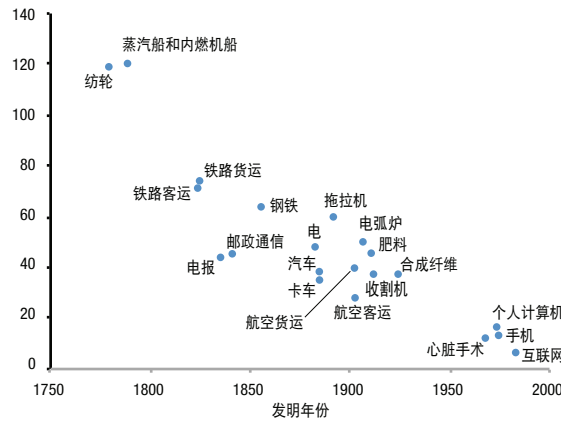
43. 但即便是这五项技术也未取得共识。例如，Crafts和Mills（2004年）就蒸汽机是否应算作通用目的技术提出疑问。

44. 蒸汽机见Crafts（2004年）；电力见David（1990年）。

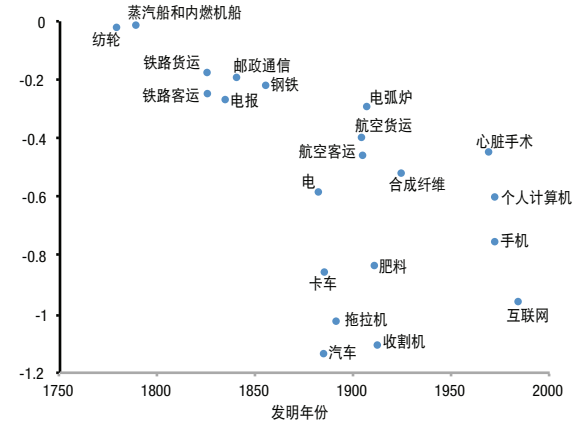
45. 见Schumpeter（1939年）。事实上是Schumpeter根据前苏联经济学家尼古拉·康德拉季耶夫将其命名为康德拉季耶夫长波，康德拉季耶夫是第一个强调经济产出中长期波动的经济学家。

图1.7: 技术传播速度更快, 但普及率降低

距首次发明的利用滞后年数



普及率的差异 (单位: 对数尺度)



说明: 距首次发明的利用滞后后期是指所有国家对于某一特定技术的平均利用滞后后期。普及率的差别是指在Comin和Mestieri的“西方国家”中平均普及率的平均差。出于展示图表的目的, 若干技术没有在两图中显示出来。

资料来源: Comin和Mestieri (2013年)。

虽然最近有关通用目的技术的研究表明内生增长和演化增长理论存在着趋同, 但这两种方法对于增长过程的基本特征仍然有着不同的看法。⁴⁶前者认为这是一个确定性过程, 其内核随着时间的变化保持不变。后者认为该过程与技术的特性紧密相关, 因此会随时间而变化。两个理论之间的这一区别对于促增长政策的设计有着重要影响。内生增长模型可以根据基本原则制定政策建议, 但演化法认为适合一个技术范式的政策不一定适合另一个技术范式。

技术如何在经济体之间传播?

到目前为止, 讨论侧重的是前沿创新的贡献, 而未涉及创新的来源。但是, 创新很少完全来自本土。根据国际专利申请数据, Eaton和Kortum (1994年) 认为, 在发达经济体中, 想法和点子的流动性很大; 即便是在美国这样的大经济体, 他们发现约一半的生产率增长来自于国外技术。但技术究竟能否在经济体之间顺畅传播, 特别是向欠发达经济体传播?

这是一个重要的问题。如1.1节所述, 过去200年来各国之间存在着贫富差距。考虑到新技术在驱动长期增长方面的重要性, 技术传播不充分是否是经济水平参差不齐的一个原因?

近期出现的有关技术传播模式的证据表明情况喜忧参半。一方面, 它显示了较新的技术创新向中低收入国家传播的速度比以往更快。Comin和Mestieri (2013年) 所收集的数据涵盖了18世纪末期以来的25项技术突破以及它们在132个国家的利用情况。他们发现, 这些技术的平均利用滞后后期在过去200年中显著缩短 (见图1.7左图)。最值得注意的是, 最新的技术——如手机技术和互联网——在发达经济体和发展中经济体出现的时间只间隔数年。

46. 见Verspagen (2004年)。

另一方面, Comin和Mestieri还研究了新技术出现后, 不同经济体对于新技术的利用程度和水平。特别地, 他们对于同一组技术的长期普及率以及不同经济体之间普及率的差异如何随时间而变化进行了估算。在这方面, 他们发现发达和发展中经济体对于最近所出现创新的利用情况存在着更大的差距(见图1.7右图)。这一发现最初令人惊讶, 考虑到例如移动电话和互联网在大多数发展中经济体得到了非常广泛的使用。但发达经济体对于这些技术的利用程度更高, 它们的利用差距与早期创新相比更大。⁴⁷

虽然存在着这些普遍模式, 但技术传播程度由于技术和接收国的不同而千差万别。首先存在着很多不同的传播渠道, 特别是国际贸易、外国直接投资(FDI)、直接技术许可、技术移民和跨境信息流动。其中一些渠道具有更强的“流动性”。虽然技术直接体现在产品和服务中, 但产品和技术进口非常有助于从新技术中获益。例如, 重要的卫生技术——如疫苗、抗生素和蚊帐——在中低收入国家有着很高的普及率; 这些技术被认为显著改善了生活质量, 甚至是在经济增长非常缓慢的贫困国家。⁴⁸

但在上述案例中, 成功的技术传播的一个关键要素是技术接收方无需对技术充分了解就可以进行使用。对于其他很多技术来说, 这种了解可能是必需的, 如果想成功地使用这些技术, 可能需要大量的组织专长, 并要对补充性设备和基础设施进行投资。因此, 经济学家强调吸收能力对于成功技术传播的关键作用。有效的吸收能力取决于人力资本能够理解并应用技术、组织和管理专长以及为技术应用协调和调动资源的机构。在很多情况中, 吸收能力还涉及开展渐进式技术和组织创新的能力, 以根据当地需求对技术进行改进。的确, 吸收能力有时就意味着创新能力。

一些国家对于吸收能力的培养相比其他国家要更为成功。特别地, 经济学家认为快速增长的东亚国家取得成功至少一部分原因是它们能够开启技术学习和吸收的过程, 为经济追赶奠定了基础。⁴⁹ 但是, 具体怎样的政策组合对于培养吸收能力最为有利仍是一个引发很多辩论的问题。特别地, 很多在东亚取得成功的政策——如贸易保护、国家指令性贷款和外国直接投资合同中的技术转让要求——在用于其他发展中经济体时没有取得同样的成功, 特别是在非洲和拉丁美洲经济体。这表明成功的政策组合可能关键取决于该发展中经济体的经济和制度背景以及当代技术范式, 这与演化增长理论关于政策的观点不谋而合(见下文)。⁵⁰

47. Comin和Mestieri(2013年)接下来表示, 他们对于技术传播模式的估算可以解释1820年以来穷国和富国之间80%的收入差异。

48. 关于抗生素对公共卫生的影响, 见Kenny(2011年)和2.2节。

49. 见Nelson和Pack(1999年)。

50. 关于成功追赶性增长政策方面辩论的综述, 见Fagerberg和Godinho(2004年)。

1.4 创新与知识产权

如上节所述,个人发明人和小企业主在工业革命伊始是创新的驱动力。因此,早期经济著作没有机会对创新的环境进行积极调查。例如,亚当·斯密在他著名的《国富论》中注意到“大部分机器最初是由普通工人发明的,他们所做的工作是非常简单的操作,这自然使他们希望找到更简单便捷的方法来进行操作”。⁵¹

更为正式的创新体系在20世纪的建立引发了关于创新过程的特性和政府在市场经济中为支持创新活动所发挥作用的学术思考。诺贝尔奖获得者、经济学家肯尼斯·阿罗所提出的有关发明活动过程的两个重要见解激发了经济思想⁵²:

- 发明活动具有风险。在为解决问题而进行投入之初,最终能否找到解决方案并不确定。
- 关于如何解决一个问题的信息具有经济学家称之为公共物品的特性:很多人可以同时使用该信息,问题解决者通常无法防止信息的复制。该特性也被称为发明活动的独占性困境。

面对这两个根本性困难,阿罗认为,如果不加干预,市场对于发明活动的投资会低于切合社会需求的水平。为了避免因解决问题的尝试失败而浪费资源,在竞争性市场进行经营的公司可能会放弃发明机会;如果竞争对手能够立即搭上成功解决方案的便车,从事发明活动的公司就无法从经济上获益。

由于存在这种市场失灵的现象,政府采取了不同形式的干预政策,影响了现代创新体系的面貌。这些干预政策分为三类。⁵³第一,政府支持在大学和公共研究组织开展由国家资助的研究。这些机构通常进行基础研究,以将科学知识前沿向前推进,这类研究的商业应用并非总能在近期马上实现。第二,政府通过公共采购合同、研发补贴、税额减免、奖项、软贷款和其他相关机制对私营公司的研发活动进行资助。有些支持针对的是特定的技术领域,特别是国防领域,而其他支持没有对技术领域的特别要求,研发方向反映的是公司的决策。

最后,政府通过授予知识产权帮助私人研发活动调动私筹资金。本节将对不同的知识产权如何对创新活动产生影响进行探讨。它借鉴了之前发布的世界知识产权报告,这些报告对以下列出的很多考量进行了更为深入的讨论。⁵⁴

知识产权与创新激励措施

知识产权法使个人和组织能够为发明创造的成果获得独占性权利。知识资产所有权限制了竞争对手对这些资产搭便车的程度,使公司能够从创新活动中实现利润,并从根本上解决了独占性困境。处理独占性问题最为相关的知识产权形式是专利和实用新型、工业品外观设计、植物品种权、著作权和商业秘密。⁵⁵

51. 见斯密(1776年)。

52. 见阿罗(1962年)。

53. 见WIPO(2011年)表2.2。

54. 见WIPO(2011年)和WIPO(2013年)。

55. Goodridge等(2014年)将不同的知识产权形式与框1.3中所述的无形资产投资框架联系起来。他们发现2011年英国一半的知识投资受到知识产权保护,特别是版权、商标和未注册外观设计。

调查证据表明,许多公司认为知识产权对于保证研发投入产生回报至关重要。但是,它的重要性随行业的不同存在很大差异。在一些行业中——特别是制药和化工——知识产权对于公司的商业模式发挥着核心作用。在其他行业中,公司通过研发以外的替代性机制来实现利润,特别是通过比竞争对手更快地推出产品以及通过品牌化经营赢得消费者的好感。事实上,品牌化的重要性强调了另一种知识产权形式——商标在发展创新方面所发挥的间接作用。通过商标保护,消费者对于他们所购买的产品就是他们想要买的产品抱有信心,这是有效的品牌化活动的先决条件。

知识产权促使市场力量对创新活动进行引导。它意味着能够以分散化的方式决定抓住哪些创新机会。在处于技术前沿的个人和公司对于创新项目成功的可能性掌握着最为充分的相关信息的情况下,知识产权制度有利于创新活动资源的高效分配。

虽然传统上这是保护知识产权的关键经济理由,但知识产权还可以以其他若干方式对创新成果产生影响。首先,虽然知识产权并未直接解决与发明活动相关的风险问题,但它能改善金融市场的运行情况,从而更好地为具有风险的创新调动资源。特别是有证据表明,在创新过程的早期阶段授予专利会使投资者确信,如果创新成功实现了商业化,创业公司就能从中盈利。⁵⁶

此外,虽然发明活动有时是为了给单独的问题找到解决方案,但这通常是一个积累的过程,研究人员在现有知识的基础上开发出新技术或产品。知识产权,特别是专利,在积累式创新的过程中发挥着重要作用。专利申请人必须公开支撑一件发明的问题解决信息。这推动了新技术知识的及时公开,并使之后的发明人能够利用这些知识。⁵⁷

同时,专利在某些情况下可能会给后续的创新制造障碍。创新的商业化有时需要使用第三方的专有技术。其他权利人可能拒绝许可他们的技术,或要求支付使用费而导致创新无法盈利——造成所谓的要挟问题。即便权利人愿意进行许可,但要多个权利人的参与进行协调,其成本可能过高。

最后,公司被授予独占性知识产权使其获得了市场力量,经济学家认为这种市场力量体现在公司有能力使其定价超过边际生产成本。在很多情况中,市场力量由于来自替代技术或产品的竞争而受到限制。但对于颠覆性创新,市场力量可能非常显著。公司有能力实现高于竞争水平的利润是知识产权制度经济逻辑的一部分。但这也意味着资源分配可能会失灵,因为市场不再处于完美竞争的理想经济学状态。高于边际成本的定价还会阻碍技术传播(见上文)。在政策设计中,这一失灵现象通过大多数知识产权保护的时间性规定得到缓解;超过保护期限的知识产权不会再次对竞争造成限制。⁵⁸

知识产权、技术市场和传播

知识产权使得知识资产的许可或转让成为可能——这是现代创新体系中日益重要的一个方面。技术市场为创新过程中的专门化提供便利。通过将重点放在选定的研究、开发、制造或营销活动上,公司可能变得更具创新性和效率。例如,一家公司可能发现它在延长电池寿命方面具有特别的优势,但其他公司可能在将发明转化为不同电子产品的元器件方面能力更强。同样地,一家公司可能知道如何最好地在其本土市场对创新产品进行营销,但却倾向于在它不了解的海外市场与另一家公司建立伙伴关系。⁵⁹

56. 见Graham等(2009年)。

57. 英国和美国的证据表明,技术引入许可占公司总研发支出的40-44%。见Arora等(2013年)。

58. 如果商标所有人续展其商标注册,商标保护就不受保护期限限制,这反映了保护的不同出发点。

59. 该观点反映了1.2节中关于各经济部门专门化趋势的观点。

知识产权通过几种不同的方式为技术市场的运行提供便利。没有知识产权,公司就不愿在对许可合同进行谈判时向其他公司公开易于复制的机密技术。此外,虽然知识产权原则上可以通过不涉及任何知识产权的私人合同进行转让,但知识产权对这些资产的范围进行了划定,并保证了市场独占性。因此,知识产权传递着有助于制订合同的重要信息。⁶⁰

技术市场还是所谓的开放创新战略的核心。在很多行业中,公司要在保护和分享知识之间进行权衡。一方面,它们的研发投入要获得回报,这就要求防止知识被泄漏给竞争对手。另一方面,对所有想法进行绝对保护不一定使公司的利益最大化。通过与他人合作,它们可能成为更好的创新者,即使这意味着要对专有知识进行分享。此外,技术分享还可能有助于为新产品开发新兴市场。知识产权是在保护和分享知识之间进行权衡的关键。它使公司能够灵活地控制与谁对哪些技术在什么样的条件下进行分享。

但技术市场的另一个重要功能是为科学研究所产生的发明实现商业化提供便利。这些发明的商业化潜力通常具有高度的不确定性,需要通过更多的大规模投资才能将其转化为具有市场前景的技术。大学和公共研究组织既没有投资的资源,也没有这方面的专长。但是,它们可以为它们的发明申请专利,并将其向掌握相关资源和专长的公司进行许可或转让。

最后,知识产权对技术在各国内部和国与国之间的传播产生着影响。一方面,独占权从其特性上说可能会妨碍新技术的传播——至少在独占权生效的国家是如此。另一方面,知识产权可能会促进技术传播,正如知识产权对于技术市场的促进作用。因此,知识产权最终的作用取决于相关技术的特性——特别是在多大程度上能对技术实施逆向工程——以及接收方的吸收能力(见1.3节)。

商业秘密和工人流动性

知识产权制度与创新表现之间一个经常被忽视的联系是通过知识工人的流动性所产生的关联。高度专门化的非显性知识通常在工人从一家公司去另一家公司工作的过程中进行传播。但是,这些工人在多大程度上可以使用他们供职于前雇主时获得的知识?这些知识是保密的吗?该问题的法律解答取决于雇佣合同中所规定的所谓竞业禁止条款。这类条款对雇员在至少一定时期内在新雇主处使用在当前雇佣关系维系期间所获得的信息进行了限制。但是,竞业禁止条款是否纳入雇佣合同及其内容取决于相关法规的规定,不同的管辖区对此采取不同的方法。⁶¹

政策制定者在确立竞业禁止条款的基本原则时要作出权衡。为工人在公司之间进行知识转移留出较大的余地能够促进知识的传播,推动创新体系的发展,并有利于技术采用。⁶²但是,它可能促使公司由于害怕创新活动的成果在未来可能被泄露给竞争对手而放弃开展这些活动。实证证据表明,竞业禁止条款会对工人的流动性产生影响,特别是对于那些掌握公司特有技能以及所从事技术领域范围较窄的发明人来说。⁶³但是,这一规定对于整体经济的重要性尚不明确。它们不仅涉及技术知识,还涉及组织专门知识和经营方式。因此,这类规定不仅关系到技术密集型公司,还涉及例如服务行业的公司,而服务业在高收入经济体中占据经济产出的主要份额(见1.1节)。

61. 见Caenegem(2013年)。

62. Gilson(1999年)认为加利福尼亚州没有实行就业后竞业禁止条款的规定是驱动硅谷公司创新发展的一个重要因素。

63. 见Marx等(2009年)。

60. 关于实证证据,见Gans等(2008年)。

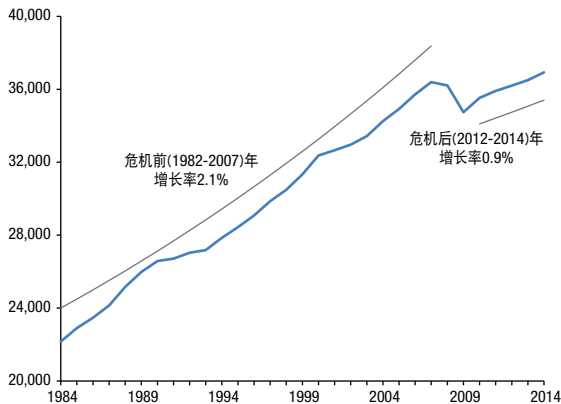
1.5 创新驱动型增长的未来发展前景

1.1节中的第一个典型事实形容第二次世界大战后的前沿增长表现令人惊叹、非同一般。但自2008年全球金融危机爆发以来，增长一直呈低迷态势。图1.8显示了20世纪80年代中期以来高收入国家人均GDP的变化情况。在危机发生前，年均增长率为2.1%，与图1.1中所示的二战后前沿增长率持平。金融危机不仅使经济产出急剧下滑，还使2010年以来的年均增长率跌至0.9%。

金融危机是否标志着一个新的低增速时代的开启？创新驱动型增长的引擎是否失去了动力？虽然只有时间能给出确切答案，但近几年来，人们就未来将会有怎样的增长前景展开了激烈的学术辩论。最后一节归纳了所提出的一些主要观点。它首先陈述了乐观主义者的立场，即近期的增长下滑是暂时性的，快增长终将回归，然后论述了悲观主义者认为增长在未来数十年内将大幅放缓的理由。

图1.8: 二战后的迅猛增长已告一段落？

1984-2014年高收入OECD国家实际人均GDP



说明：GDP单位为2005年定值美元。年增长率是两个时期对数趋势线的斜率。

资料来源：世界银行世界发展指标。

乐观主义者的观点

增长下滑可能是暂时性的，其主要原因在于金融危机的根源。特别地，这场危机的爆发是由于债务融资资产的泡沫破灭，从而造成公司和家庭的资产负债表陷入困境。⁶⁴希望通过增加储蓄来修补资产负债表的举措导致累积需求的持续低迷，造成实际产出和潜在产出之间出现巨大缺口。随着利率触及零利率下限，中央银行难以通过传统的货币政策工具缩小这一缺口。因此，金融危机后的债务积压使得发达经济体的经济增长长期处于不景气的状况。⁶⁵

乐观主义者认为，市场力量最终将消除持续的产出缺口，经济增长将回到其由经济体的基本生产能力所决定的长期发展轨迹。经济史上的确出现过持续时间较长的经济衰退期，促使学者提出了增长将会终结的预测。例如，约翰·梅纳德·凯恩斯在1931年评论说：“我们现在正在经受经济悲观主义者的猛烈打击。严重的世界萧条，虽然出现了严重的用工荒，但失业率却反常地高[……]，这些使我们受到了蒙蔽，无法真正解释表象下的实际趋势”。⁶⁶

在当前的情况下，通过关注如图1.1所示的长期增长趋势——而不是与金融危机相关的“失常”——仍会看到非常积极的未来增长前景。此外，考虑到创新持续支撑未来增长的潜力，人们有理由感到乐观。

64. 见Koo (2014年)。

65. 见Lo和Rogoff (2015年)。

66. 见凯恩斯 (1931年)。

首先，全球为了将知识前沿向前推进投入了前所未有的海量资源。图1.9显示了全世界以及研发支出最多的六个国家的研发支出发展趋势。它表明20世纪90年代中期以来研究支出持续呈上升趋势。虽然金融危机使一些国家受创，但研发支出受到的影响却比经济产出小得多。此外，中国从20世纪90年代初期研发支出相对较少的国家发展到2009年取代日本，成为仅次于美国的研发支出第二大国。中国作为创新者的崛起——以及大韩民国研发支出的快速增长——使得全球创新态势更为多样化。

创新仍具有提高生产率、实现经济结构转型的重要潜力。信息通信技术已为增长作出了重要贡献（见框1.2和2.3节）。但参考历史，未来还会掀起创新促进增长的热潮。以往的通用目的技术从出现到其为增长作出贡献，中间间隔了数十年的时间（见1.3节）。⁶⁷的确，以人工智能为核心的下一代信息通信技术创新蕴藏着巨大潜力。例如，Brynjolfsson和McAfee（2014年）形容数字创新的影响力为指数级的，引用了关于棋盘上的奖赏循序加倍的故事，认为后半程的大部分潜力还未释放。他们的考量之一是信息通信技术具有提高服务业生产率的潜力，而生产率习惯上被认为是服务业增长的一个短板。⁶⁸例如，有关美国经济的证据表明，大量使用信息通信技术的经销服务业的生产率增长尤为迅猛。⁶⁹

此外，还有其他许多创新领域极具刺激未来增长的潜力。它们包括第三章中所讨论的三个领域——3D打印机、纳米技术和机器人技术——以及基因工程、新材料和不同形式的可再生能源。新技术也大大改进了驱动科学发现进程的研究工具。特别地，受信息通信技术驱动的技术，如大数据分析和复杂模拟，为很多技术领域研究进步提供了新机会。对于乐观主义者来说，科学与技术之间的相互作用产生了一种能够自我强化并蕴藏无穷潜力的动态关系。⁷⁰

乐观主义者阵营中一个比较不同的观点——提出的部分原因是为了回应如下所述的近期生产率表现薄弱这一评论——是目前的GDP衡量框架遗漏了新技术的真正影响。该观点有两种形式。一是统计学家的工具越来越难以捕捉质量改进和新经济产出形式（见框1.1）。⁷¹二是GDP这一概念本身就不适合用来捕捉与当今创新有关的社会福利增长。特别地，很多新技术的开发成本高昂，但一旦开发成功，生产成本却相对较低，甚至可以免费复制。因此，它们对经济产出没有贡献，却可能不成比例地提高福利。⁷²

67. 见David（1990年）。

68. 由于历史上服务业相比制造业生产率增长更为缓慢，Maddison（1997年）将服务业在经济产出中不断增加的占比形容为“显著的结构性放缓”。

69. 见Jorgenson和Timmer（2011年）。更为广泛地说，Triplett和Bosworth（2003年）发现，美国服务业的生产率增长自1995年起达到了经济总体生产率增长水平。

70. 见Mokyr（2014年）。

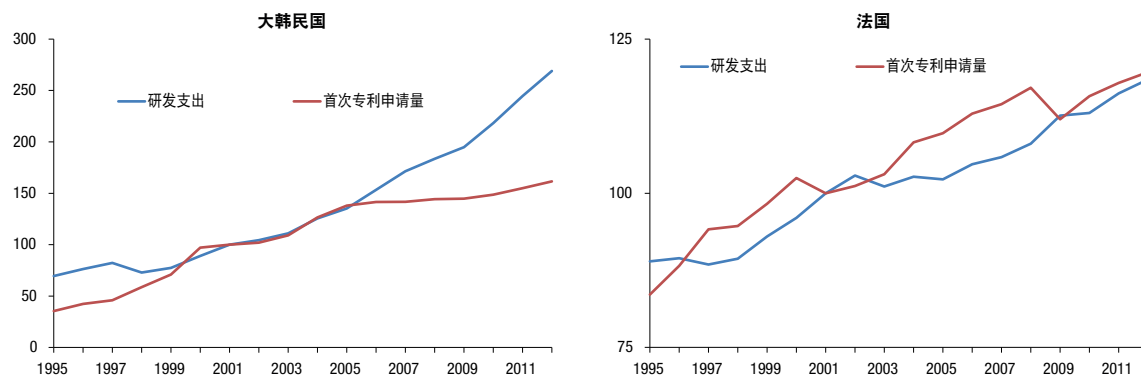
71. McGuckin和Stiroh（2001年）发现一些广泛依赖信息通信技术的服务行业——如金融、商业服务和批发——中的衡量问题造成对于美国生产率增长的低估。

72. 见Mokyr（2014年）和Glaeser（2014年）。

图1.9: 创新表现的不同发展趋势

1995-2012年研发支出和首次专利申请指数 (2001年=100)





说明: GDP单位为2005年定值美元。在研发支出项中,世界累积量针对的是大多数年份的数据都可查的33个国家。它们包括主要的OECD国家以及中国和俄罗斯。选定的数据点是通过外推法得到的。

资料来源: OECD和WIPO统计数据库。

悲观主义者的观点

悲观主义者的观点首先是质疑市场力量是否足以消除金融危机所产生的产出缺口。经济衰退的持续时间以及许多发达经济体未能在复苏中实现充分就业表明发生了根本性的变化。这些疑虑催生了有关所谓“长期性经济停滞”的理论——长期性经济停滞是经济学家劳伦斯·萨默斯2013年提出的一个概念。⁷³它的技术定义是只有实际负利率能够使储蓄和投资等同于充分就业。低通货膨胀和政策利率零下限使得产出缺口持续出现,造成增长低迷——也被称作“新平庸”。⁷⁴

宏观经济学家对于长期性经济停滞的成因进行了深入辩论。人口结构和金融市场结构变化被看作是可能的原因。耐人寻味的是,一些经济学家还将技术作为解释因素,认为最新一轮信息通信技术创新需要的投资相对较少。⁷⁵

关于长期性经济停滞的关切并非质疑创新为未来增长作出贡献的潜力。但是,持续的产出缺口可能对创新促增长的传递渠道产生负面影响。特别地,整体需求疲软可能造成公司不愿抓住新技术所带来的投资机会,长期失业意味着工人丧失技能或根本无法获得技能,以及越来越少的创业公司和“规模扩大”可能使经济结构转型放缓。

除了关于长期性经济停滞的关切,悲观主义者的阵营还对创新驱动未来增长的潜力产生了根本性怀疑。产生这一怀疑的理由之一是观察到全要素生产率增速在金融危机爆发前就已开始放缓。美国经济从1995年到2003年出现过短暂的全要素生产率增长显著加快的过程,主要是由于信息通信技术的发展(见框1.2);但此后的全要素生产率增长明显放慢。⁷⁶更广泛地说,国际货币基金组织(IMF)的分析表明,所有发达经济体的潜在产出都从21世纪初期开始走低,主要是因为全要素生产率增长的下滑。⁷⁷

73. 见Summers (2014年)。

74. “新平庸”一词来自国际货币基金组织总裁克里斯蒂娜·拉加德。见www.imf.org/external/np/speeches/2014/100214.htm。

75. 总结见由Teulings和Baldwin (2014年) 编辑的短评集。

76. 见Fernald (2014年)。

77. 见国际货币基金组织 (2015年)。

是否会出现这样的情况，即信息通信技术对于增长的贡献已大部分实现，而由于重要性可与其相提并论的其他创新还未出现，因此未来的增长将令人失望。在一篇引发争议的文章中，经济学家Robert Gordon正是提出了这样的观点。⁷⁸他认为信息通信技术的应用和后续创新速度相比以往的通用目的技术要快得多，并产生了重要的生产率收益，如繁琐、重复性的文书工作在20世纪70和80年代就已被计算机取代。最新的信息通信技术创新包括越来越小的娱乐和通信设备，但它们并未引起经济生产率的迅猛增长。

更为广泛地说，Gordon认为未来的创新很难达到以往创新所取得的成就。例如，在旅行速度、平均寿命和远程通信领域所实现的惊人进步只可能发生一次，未来的进步与之相比必将略逊一筹。同样地，在加大劳动力参与度方面留给创新的空间已不多；恰恰相反，发达经济体的人口结构变化将导致参与水平降低。

此外，另一个疑问可能是关于未来创新活动的生产力。向前推进知识前沿正变得越来越困难，因为“枝头低的水果”已被摘走。除了实际研发支出，图1.9显示了首次专利申请量——最接近唯一发明这一概念的专利衡量标准——的发展趋势。除了中国，大多数国家研发支出的增长速度从2000年代中期开始超过了首次专利申请量的增速，造成研发收益减少。但不应过度解读这种趋势，因为专利申请发展趋势的变化可能反映了专利活动战略的转变。但与20世纪80年代和90年代下半叶的情况不同，专利活动发展趋势表明最近一个时期的研发生产率并未出现增长。⁷⁹

最后，很难对GDP统计数据未能捕捉创新所产生真实影响的说法进行评判。特征价格法和其他方法的使用在那些统计局能够使用这些方法的国家改进了GDP的衡量工作（见框1.1）。从这方面看，现在的统计数据质量应好于数十年前。GDP统计数据未能捕捉新创新所提供的全部福利收益，这是毫无疑问的，但关键问题是，衡量不足的问题现在是否比过去更严重。没有确凿的证据证明这一点，并且基本不可能找到这样的证据。⁸⁰

78. 见Gordon（2012年）。

79. 关于长期专利申请趋势更为深入的讨论，见Fink等（2015年）。他们认为更大程度的国际化是专利活动战略的一个重要变化。

80. 见DeLong（1998年）。

参考文献

- Aghion, P., Bloom, N., Blundell, R., Griffith, R., & Howitt, P. (2005). Competition and Innovation: An Inverted-U Relationship. *Quarterly Journal of Economics*, 120(2), 701-728.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(2), 323-351.
- Arora, A., Athreye, S., & Huang, C. (2013). Innovation, Patenting and Licensing in the UK: Evidence from the SPU Survey. Research commissioned by the UK Intellectual Property Office.
- Arrow, K.J. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In R.R. Nelson (Ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (pp. 609-626). Princeton: Princeton University Press.
- Baumol, W.J. (1967). Macroeconomics of Unbalanced Growth: The Anatomy of Urban Crises. *American Economic Review*, 57(3), 415-26.
- Baumol, W.J., Blackman, S.A.B., & Wolff, E.N. (1985). Unbalanced Growth Revisited: Asymptotic Stagnancy and New Evidence. *American Economic Review*, 75(4), 806-817.
- Bairoch, P. & Goertz, G. (1986). Factors of Urbanisation in the Nineteenth Century Developed Countries: A Descriptive and Econometric Analysis. *Urban Studies*, 23(4), 285-305.
- Bolt, J. & van Zanden, J.L. (2014). The Maddison Project: Collaborative Research on Historical National Accounts. *The Economic History Review*, 67(3), 627-651.
- Bresnahan, T. & Trajtenberg, M. (1995). General Purpose Technologies: Engines of Growth? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108.
- Broadberry, S.N., Campbell, B., Klein, A., Overton, M., & van Leeuwen, B. (2011). British Economic Growth, 1270-1870. *School of Economics Discussion Paper No. 1203, University of Kent*.
- Brynjolfsson, E. & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York, NY: W.W. Norton & Company.
- Caenegem, W.v. (2013). Employee Know-How, Non-compete Clauses and Job Mobility across Civil and Common Law Systems. *International Journal of Comparative Labour Law and Industrial Relations*, (29)2, 219-238.
- Chen, S. & Ravallion, M. (2004). How Did the World's Poorest Fare since the Early 1980s? *The World Bank's Research Observer*, 19(2), 141-170.
- Comin, D. & Mestieri, M. (2013). If Technology Has Arrived Everywhere, Why has Income Diverged? *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 19010*.
- Corrado, C., Haskel, J., Jona-Lasinio, C. & Iommi, M. (2012). Intangible Capital and Growth in Advanced Economies: Measurement Methods and Comparative Results. Working Paper, available at www.intan-invest.net.
- Coyle, D. (2014). *GDP: A Brief But Affectionate History*. Princeton: Princeton University Press.
- Crafts, N. (2004). Steam as a General Purpose Technology: a Growth Accounting Perspective. *The Economic Journal*, 114(495), 338-351.
- Crafts, N. & Mills, T.C. (2004). Was 19th Century British Growth Steam-Powered? The Climacteric Revisited. *Explorations in Economic History*, 41(2), 156-171.
- David, P. (1990). The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox. *American Economic Review, AEA Papers and Proceedings*, 80(2), 355-361.
- DeLong, J.B. (1998). How Fast is Modern Economic Growth? *Federal Reserve Bank of San Francisco Economic Letter*, 1998-31.
- Eaton, J. & Kortum, S. (1994). International Patenting and Technology Diffusion. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 4931*.
- Fagerberg, J. & Godinho, M.M. (2004). Innovation and Catching-Up. In J. Fagerberg, D.C. Mowery, & R.R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 514-542). Oxford: Oxford University Press.
- Fernald, J. (2014). Productivity and Potential Output Before, During, and After the Great Recession. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 20248*.
- Fink, C., Khan, M. & Zhou, H. (2015). Exploring the Worldwide Patent Surge. *Economics of Innovation and Technology*, (forthcoming).
- Gans, J.S., Hsu, D.H. & Stern, S. (2008). The Impact of Uncertain Intellectual Property Rights on the Market for Ideas: Evidence from Patent Grant Delays. *Management Science*, 54 (5), 982-997.
- Gilson, R. J. (1999). The Legal Infrastructure of High Technology Industrial Districts: Silicon Valley, Route 128, and Covenants not to Compete. *New York University Law Review*, 74(4), 575-629.
- Glaeser, E.L. (2014). Secular joblessness. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 69-80). London: CEPR Press.
- Goodridge, P., Haskel, J. & Wallis, G. (2014). Estimating UK Investment in Intangible Assets and Intellectual Property Rights. Research commissioned by the UK Intellectual Property Office.
- Gordon, R.J. (2000). Does the "New Economy" Measure Up to the Great Inventions of the Past? *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 49-74.
- Gordon, R.J. (2012). Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds. *National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 18315*.
- Graham, S.J.H., Merges, R.P., Samuelson, P., & Sichelman, T. (2009). Entrepreneurs and the Patent System. *Berkeley Technology Law Journal*, 24(4), 1258-1328.
- Grossman, G.M. & Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Hulten, C.R. (2003). Price Hedonics: A Critical Review. *Economic Policy Review*, 9(3), 5-15.
- IMF. (2015). *World Economic Outlook April 2015*. Washington, DC: IMF.

- Jorgenson, D.W. & Timmer, M.P. (2011). Structural Change in Advanced Nations: A New Set of Stylised Facts. *Scandinavian Journal of Economics*, 113(1), 1-29.
- Kenny, C. (2011). *Getting Better: Why Global Development Is Succeeding – And How We Can Improve the World Even More*. New York, NY: Basic Books.
- Keynes, J.M. (1931). Economic Possibilities for Our Grandchildren. In J.M. Keynes (Ed.), *Essays in Persuasion* (pp. 358-374). London: The MacMillan Press.
- Koo, R.C. (2014). Balance Sheet Recession Is the Reason for Secular Stagnation. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 131-141). London: CEPR Press.
- Kuznets, S. (1966). *Modern Economic Growth: Rate, Structure, and Speed*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Landefeld, J.S. & Parker, R.P. (1997). BEA's Chain Index, Time Series, and Measures of Long-Term Economic Growth. *Survey of Current Business*, 77(5), 58-68.
- Landefeld, J.S. & Grimm, B.T. (2000). A Note on the Impact of Hedonics and Computers on Real GDP. *Survey of Current Business*, 82(12), 17-22.
- Lakner, C. & Milanovic, B. (2013). Global Income Distribution: from the Fall of the Berlin Wall to the Great Recession. *World Bank Policy Research Working Paper*, 6719.
- Lo, S. & Rogoff, K. (2015). Secular Stagnation, Debt Overhang and Other Rationales for Sluggish Growth, Six Years On. *Bank for International Settlements Working Paper*, No. 482.
- Maddison, A. (1997). Causal Influences on Productivity Performance 1820-1992: A Global Perspective. *Journal of Productivity Analysis*, 8(4), 325-359.
- Maddison, A. (2001). *The World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: Development Centre of the OECD.
- Mankiw, N.G., Romer, D. & Weil, D.N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Marx, M., Strumsky, C., & Flemming, L. (2009). Mobility, Skills, and the Michigan Non-Compete Experiment. *Management Science*, 55(6), 875-889.
- McGuckin, R.H. & Stiroh, K.J. (2001). Do Computers Make Output Harder to Measure? *The Journal of Technology Transfer*, 26(4), 295-321.
- Mokyr, J. (2014). Secular Stagnation? Not in Your Life. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 83-89). London: CEPR Press.
- Nelson, R.R. & Pack, H. (1999). The Asian Miracle and Modern Growth Theory. *The Economic Journal*, 109(457), 416-436.
- Nelson, R.R. & Winter, S.G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- OECD. (2001). *Measuring Productivity*. Paris: OECD.
- OECD. (2013). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2013*. Paris: OECD.
- O'Brien, P. (1977). *The New Economic History of Railways*. New York, NY: Routledge.
- Oliner, S.D. & Sichel, D.E. (2003). Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going? *Journal of Policy Modeling*, 25(5), 477-503.
- Pinkovskiy, M. (2013). World Welfare is Rising: Estimation Using Nonparametric Bounds on Welfare Measures. *Journal of Public Economics*, 97, 176-195.
- Pinkovskiy, M. & Sala-i-Martin, X. (2009). Parametric Estimations of the World Distribution of Income. *National Bureau of Economic Research Working Paper*, No. 15433.
- Pritchett, L. (1997). Divergence, Big Time. *Journal of Economic Perspectives*, 11(3), 3-17.
- Romer, P.M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-1037.
- Romer, P.M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- Roser, M. (2015). Life Expectancy. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved September 22, 2015, from <http://ourworldindata.org/data/population-growth-vital-statistics/life-expectancy>.
- Sala-i-Martin, X. (2006). The World Distribution of Income: Falling Poverty and... Convergence, Period. *Quarterly Journal of Economics*, 121(2), 351-397.
- Samuelson, P. (1978). The Canonical Classical Model of Political Economy. *Journal of Economic Literature*, 16(4), 1415-1434.
- Schumpeter, J. (1939). *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: W. Strahan and T. Cadell.
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320.
- Stiroh, K.J. (2002). Information Technology and the U.S. Productivity Revival: What Do Industry Data Say? *American Economic Review*, 92(5), 1559-1576.
- Summers, L.H. (2014). Reflections on the 'New Secular Stagnation Hypothesis'. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures* (pp. 27-38). London: CEPR Press.
- Teulings, C. & Baldwin, R. (2014). *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures*. London: CEPR Press.
- Triplett, J.E. & Bosworth, B.P. (2003). Productivity Measurement Issues in Services Industries: Baumol's Disease Has Been Cured. *Economic Policy Review*, 9(3), 23-33.

United Nations. (2009). *System of National Accounts 2008*. New York, NY: United Nations.

US Bureau of the Census. (1975). *Historical Statistics of the United States*, Bicentennial Edition, Part 2. Washington, DC: US Bureau of the Census.

Verspagen, B. (2004). Innovation and Economic Growth. In J. Fagerberg, D.C. Mowery, & R.R. Nelson (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation* (pp. 487-513), Oxford: Oxford University Press.

Watson, C. (1993). Trends in World Urbanization. In K.B. Willey & W.H. Robinson (Eds.), *Proceedings of the First International Conference on Urban Pests*. Cambridge, England.

WIPO. (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

WIPO. (2013). *World Intellectual Property Report 2013: Brands – Reputation and Image in the Global Marketplace*. Geneva: World Intellectual Property Organization.

Young, A. (1995). The Tyranny of Numbers: Confronting the Statistical Realities of the East Asian Growth Experience. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(3), 641-680.

Young, A. (2003). Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*, 111(6), 1220-1261.

第二章：具有历史意义的突破性创新

本报告的第一部分涉及一些创新突破对于经济持续长效增长的重要性。正如第一章所讨论的，近期的经济研究表明，这类创新突破与通用目的技术（GPT）相关，这些技术在众多领域中都有着广泛的应用。但是，由于通用目的技术的正式定义多种多样，关于哪些技术属于通用目的技术仍未有共识。¹尽管创新突破在定义上不甚明确，对特定的创新突破及其对于经济增长的影响加以研究仍然有着持续的前景。创新培育环境的多样化、技术的不同性质、以及新技术影响经济活动的不同渠道往往会阻碍对创新产生的原因、创新如何刺激增长以及哪种政策能够最有效地支持创新活动这些问题得出概括性的结论。

因此，通过对各种创新突破的案例研究，本报告第二部分对创新、知识产权和经济增长之间的相互关系进行了更为深入的探索。本章特别针对三项重要的历史性创新——飞机、抗生素和半导体展开讨论，而第三章则对具有广阔未来前景的三项创新进行了探讨。

将飞机、抗生素和半导体作为历史性创新案例研究的对象在某种程度上是随意而为。但是，它们无疑都代表着重大创新，其技术贡献和经济影响都有着划时代的意义。这些创新都位列各种20世纪最重要创新和学术成就之列。²除此之外，它们还展示出创新萌发的多种环境，并且跨越多个不同的技术领域。简言之，飞机是多种工程技术所成就的一项产品，抗生素则是一种来自某个狭窄领域科学发现的产品，而半导体则是铸就了众多信息和通信技术（ICT）产品的基础技术。

第2.1节（飞机）、第2.2节（抗生素）和第2.3节（半导体）分别对这三项案例研究进行了介绍，并紧密贴合第一章中所介绍的概念框架。每项案例研究都被分为三部分。第一部分介绍这项创新的历史起源、其如何从一项发明开始发展到大规模的商业化、以及其重塑经济活动的方式和如何推动经济增长。第二部分对培育创新所依赖的生态系统加以研究——哪些人是创新的关键性人物、他们之间如何相互影响以及公共政策如何塑造创新途径等。第三部分则是对知识产权制度的作用加以研究，特别是不同类型的知识产权可在何种程度上帮助研发投资经费的回笼以及其如何促进技术市场的发展和新技术的融合。此外，该部分还对知识产权制度如何根据技术和市场需求不断变化的特性来加以调整进行了说明。

最后的第2.4节则旨在从这三个历史案例中汲取一些经验教训，从而为第三章中所讨论的历史与当今的创新突破之间的对比奠定基础。

1. 近期讨论请参见Ristuccia和Solomou（2014年）。
2. 例如，请参见《大西洋》杂志列出的一份最受欢迎创新清单。www.theatlantic.com/magazine/archive/2013/11/innovations-list/309536

2.1 飞机

“发明出飞机是小事一桩。
制造出飞机是关键所在。
而飞起来才是一切。”

Otto Lilienthal
德国航空先驱

飞机于20世纪初成功升空，打破了19世纪的预言“重于空气的飞行器是不可能存在的”。³到了20世纪末，乘坐飞机旅行已经成为相对普遍的方式，空运也革新了全球商务。世界因而变得更小。飞机的发明历程异常丰富，涵盖了富有英雄主义的发明家为了追寻荣耀不惜牺牲生命到一系列工程学壮举——试飞、失败以及最终的科学思考。⁴

2.1.1 商用飞机的发展及其对经济的贡献

进入20世纪，美国发明家奥威尔·莱特和威尔伯·莱特发明出一种机翼翘面和方向舵结构，能够实现飞行器的横向稳定，并于1903年3月23日就此项发明提交了美国专利申请。⁵机翼和方向舵的结合所带来的横向稳定被普遍认为是飞机发展早期的一项重大突破。这使得莱特兄弟的飞机——“飞行者”——飞上了天空，用59秒时间飞行了260余米。“飞行者”成为首架成功飞行的机体重于空气的飞行器——尽管存在争议。⁶1905年，在早先样机基础上进行了重大改进制造出的飞行者三号已能够轻松地转圈和转向，并且能够一次飞行超过30分钟。⁷

在1908年威尔伯·莱特向公众展示“飞行者三号”之前，已经出现了其它的竞争机型。巴西人Alberto Santos-Dumont (1906)、法国人加布里埃尔·瓦赞 (1907)、Henri Farman (1909) 和Louis Blériot (1909) 等人都曾成功地制造出飞行速度、距离和结构可靠性不尽相同的飞机。⁸

但是，像莱特兄弟设计出的这类早期飞机都无法用于人员运输。这些飞机体积很小，是由粗糙的活塞发动机提供动力的单引擎飞行器，只能输出25到100匹马力。这些飞机的飞行时速约为40英里，最长续航时间为两到三小时，仅能容纳两名乘客。⁹

莱特兄弟发明出飞机后，过了近十年时间，人们才考虑将飞机作为一种可行的交通方式。

将科学知识应用于航空

莱特兄弟及其同时代的人们在不了解飞行的科学基础知识的情况下成功地实现了飞行。

在科学解释了重于空气的飞行器如何能够在空中飞行的原理之后，飞机发展史迎来了第二项突破。特别是数学和物理学方面的发展对机翼周围的空气流通原理做出了解释，并提供了关键性的因素，说明并估算出空气如何对机体受到的升力和阻力产生影响。¹⁰

3. 这句1895年的预言出自苏格兰数学家和物理学家开尔文勋爵威廉·汤姆森。
4. 本部分内容参考了Mowery (2015年) 和Budrass (2015年)。
5. 美国专利申请821,393 (通常被称为“393号专利”) 于1903年3月23日提交，并于1906年5月22日获得授权。
6. 在航空史早期，飞机只是实现飞行的若干种可能的方式之一；另一种著名的方式就是飞艇——一种轻于空气的可控飞行器，由一种机械机构来提供动力。
7. Gibbs-Smith (2003年)。

8. 1906年，Alberto Santos-Dumont的第14代第2版飞行器成为得到法兰西航空俱乐部和国际航空联合会认证的首架重于空气的配备有动力系统的飞行器。Henri Farman和加布里埃尔·瓦赞之间的合作也促成了Voisin-Farman飞机的诞生，该飞机于1907年因首次在150米高度飞行了超过771米而赢得了法兰西航空俱乐部颁发的奖项。
9. Brooks (1967年)。
10. 慕尼黑大学数学家Wilhelm Kutta和俄罗斯空气动力学家Nikolai Joukowski各自独立用公式得出机翼周围气流通流的原理——Kutta于1902至1911年间，而Joukowski则是在1902至1909年间。1904年，哥廷根大学物理学家Ludwig Prandtl发布了流体中漩涡起源的说明。

德国热力学教授雨果·容克斯将这一套理论加以应用,从而发明出悬臂厚机翼,并于1910年和1911年分别向德国专利局和美国专利商标局(美国专商局)提交了专利申请。¹¹之前所设计的飞机机翼纤薄,由支架和拉索来支撑,与之不同的是,厚的机翼通过机翼和机身的构造增强了机体结构。为了进一步改进机体结构,容克斯用高强度铝合金——硬铝合金替代了常用材料胶合板、布料和杉木。1915年,他制造出首架全金属飞机,但并不具备实用性。¹²容克斯进一步发展了这项设计,并于1917年制造出首架全金属军用机——J-7/-9。在这项军用设计的基础上,容克斯于1919年开发出首架全金属小型载人飞机——F-13。

对空气动力学理论的理解以及将其应用于飞机设计中,使得飞机的结构和性能都得到了改进。这一系列改进其中包括(参见表2.1):

- 单梁飞机机翼设计和应力蒙皮构造,使得飞机的结构重量被分散在其机翼和机身的“蒙皮”上(Adolf Rohrbach, 1918年;由Herbert Wagner于1925年改进);
- 增加了翼瓣来防止在空中失速(由德国人Gustav Lachman和英国人Handley Page在1923年左右分别独立发明);
- 理想化的流线型机身形状使得飞机得到最大升力,同时将空气阻力最小化(Bennett Melvill Jones, 1927年);
- 通过减少机翼横梁和采用应力蒙皮结构,使得引入可伸缩起落架成为可能;以及
- 前罩星型发动机能够实现冷却发动机的同时保持飞机的结构(国家航空咨询委员会(NACA)的Fred Weick根据H.C.H. Townend于1928年提出的建议)。

到20世纪30年代,绝大多数的飞机设计都是针对全金属单翼机,将上述创新融入进去。机翼厚度的变化、机身的全金属结构和应力蒙皮结构增强了飞机的稳定性,从而带来了更大的内部空间来容纳乘客、货物、发动机、货箱和器械。这些变化都被融入到波音247、道格拉斯DC-1至DC-3和洛克希德客机的结构中。

更为重要的是,这些飞机比它们的前辈们更可靠、更耐久。

飞机发展历程中的下一个重要阶段就是引入了喷气式发动机。早在20世纪初期,人们就开始构想采用喷气式发动机,但随着空气动力学理论的逐步发展和应用于飞机机身设计,这一构想才开始有了实际意义。最初,人们对于喷气式发动机并没有迫切的需求,因为活塞发动机能够为当时服役的飞机带来足够的高性能。另外,喷气式发动机的进一步改进——诸如为涡轮喷气式发动机设计出高速涡轮和压缩机——以及后掠翼的发展,是实现必要的运营效率来将喷气式发动机技术应用到飞机上所必不可少的前提。第三,两项新的发展——对承载更多乘客的需求以及引入新的机身设计来容纳多台喷气式发动机——将涡轮喷气式发动机推向商用飞机的应用。直到1952年才诞生了首架商用喷气式飞机——德·哈维兰“彗星”。

直到20世纪70年代初,出现了宽体式商用飞机——如波音747、麦道DC-10和洛克希德L-1011。这些飞机的性能都得到了极大的改进,特别是涡轮风扇发动机令其在载客人数和运营效率方面得到了前所未有的极大提升。

11. 德国专利申请253 788于1910年2月1日向德国专利局提交,美国专利申请1,114,364则于1911年1月26日向美国专商局提交。

12. 德国当局认为J-1太重(Gibbs-Smith, 2003年)。

表2.1: 航空史上一些重要的数据 (1850年-1935年)

年	发明家/实验者	国家	说明
航空先锋*			
1866年	Francis Wenham	英国	在飞机中引入重叠机翼的概念, 于1866年申请专利。在其1890年出版的论文《空气运动学》说明了高宽比多翼机的重要性。这种设计正是双翼机、三翼机和多翼机的基础。
1870年代	Alphonse Pénaud	法国	首次建造了相对稳定的固定翼模型机, 即具有上反机翼和倾斜舵的旋转舵手动机型。还设计了一种带有控制系统的实际尺寸飞机。
1890年代	Otto Lilienthal	德国	利用滑翔机进行了实地实验并进行记录。他的滑翔演示激发了很多人参与飞行。
1890年代	Lawrence Hargrave	澳大利亚	引入了一种箱式风筝型设计, 提升了飞机的稳定性。1893年, 他在美国芝加哥举行的国际空中航行大会上介绍了他的发现。
1890年	Clément Ader	法国	在Armainvilliers驾驶蒸汽飞机Éole独立起飞, 在空中持续飞行约50米。首次独立起飞飞行, 但飞机在空中无法控制。
1903年	奥维尔和威尔伯·莱特	美国	开发出机翼翘面和方向舵结构, 能够实现飞机的横向稳定。1903年提交专利申请, 1906年获得授权。
空气动力学理论及其在飞机机身制造上的应用			
1904年	Ludwig Prandtl	德国	提出移动流体中漩涡形成的原理。1917年, 该原理与Kutta-Joukowski原理一起构成了机翼空气动力学理论的基础。他的同事Albert Betz和Max Munk随后对之加以改进。
1910年	雨果·容克斯	德国	1910年, 提交了专利申请“人体机翼设计”。
1911年	Theodore von Kármán	匈牙利	他的涡街原理解释了为何气流会以高迎角从机翼处分开。也解释了飞机为何会停转。
1913年	Armand Deperdussin	比利时	首次尝试设计单壳体机身, 并获得专利权。
1918年	Adolf Rohrbach	德国	在其四引擎客机Staaken E.4/20的设计中引入应力蒙皮结构。
1925年	Herbert Wagner	德国	他是Adolf Rohrbach的一名同事, 开发出对角张力场的理论框架, 计算出应力蒙皮设计。他的研究优化了飞机机身和机翼上应力蒙皮的特性。
1927年	Bennett M. Jones	美国	将理想化的流线型机身设计概念化, 从而将飞机重量分散在其结构上而不仅仅是在机翼上。在空气动力学上优化的机身既减少了飞机所受的阻力, 也降低了油耗。这一概念为民航能够盈利铺平了道路。
1928年	H.C.H. Townend	英国	建议在星型发动机周围配上一个环, 以避免气缸中的湍流。
喷气式发动机的发展			
1922年	Maxime Guillaume	法国	首件使用涡轮增压器的喷气式发动机
1930年	Frank Whittle	英国	就早期的涡轮喷气机原型机提交专利申请, 1935年因缺少经费而不再维持。
1932年	Ernst Heinkel	德国	提出了一种在空气动力学上优化的机型HE 70。参与航空发动机设计, 还对von Ohain的喷气发动机研究工作提供补助。
1935年	Hans J.P. von Ohain	德国	就其喷气发动机设计提交了一份专利申请。发明了首架可操作的喷气发动机飞机。

*对应于先驱发明家/实验家的“发明”的日期为估算。

资料来源: Crouch (2000年)、Gibbs-Smith (2003年)、Heilbron (2003年)、Meyer (2013年)、Budrass (2015年) 和Mowery (2015年)。

对空运的依赖程度日益提升

飞机可靠性和耐久性方面的改进使得空运成为一种可行的交通方式, 成为铁路和航运这类接触式交通方式的竞争对手。到1930年, 乘客已经能够在同一天往返于欧洲各城市之间, 如柏林、伦敦、巴黎和维也纳, 使得空运成为铁路客运的强劲对手。

此外, 喷气式发动机的引入和更高的载荷能力大幅降低了飞机的运营成本。成本的降低在1958年催生了“经济”舱的诞生, 将空运推向了更广大的人群。经济舱出现的同年, 乘船跨越北大西洋的乘客数量骤降。¹³表2.2显示出各时期各种不同机型的飞机性能与载客量方面所取得的改进。

成本的降低也增大了通过空运运输的商品份额: 1955年至2005年间, 航运货物每吨·千米的平均收入下滑了92%。¹⁴

13. ICAO (1960年)。
14. Hummels (2007年)。

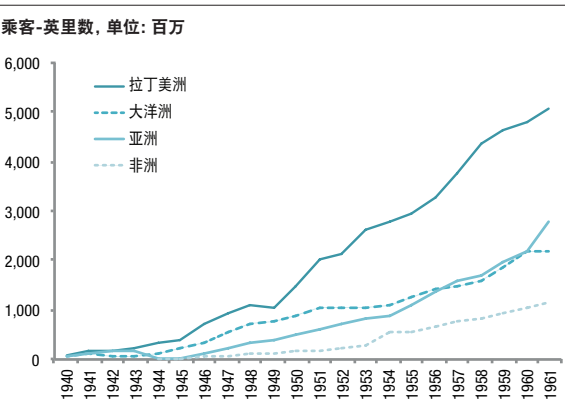
表2.2: 飞机性能与载客量方面的提升, 1936年-1974年

机型	服役年份	载客量	平均巡航速度 (mph)	每小时产能 (每小时载客量/ 吨-英里)	制造架数
活塞式					
道格拉斯DC-3	1936年	28	180	400	13,500
道格拉斯DC-4	1946年*	40	205	1,000	2,300
波音“同温层巡航者”	1948年	60	300	2,300	56
道格拉斯DC-6B	1951年	66	315	1,950	362
洛克希德L-1049“超级星座”	1951年	80	310	2,800	286
道格拉斯DC-7	1956年	112	335	2,700	338
涡轮螺旋桨飞机					
克斯“子爵700”	1953年	52	310	1,200	283
布里斯托“不列颠尼亚300”	1957年	110	385	4,300	60
洛克希德“伊莱克特拉”	1959年	85	405	3,200	174
涡轮喷气式飞机					
波音707	1958年	132	570	10,500	913
道格拉斯DC-8	1959年	142	535	9,500	208*
南方飞机公司“卡拉维尔”	1959年	87	455	3,000	87*
波音747	1969年	340-493	595	30,000	1,235
空中客车A300B	1974	245	552		

*仅指早期机型。
资料来源：Staniland（2003年）。

最后一点，空中旅行将偏远地区和繁华都市连接了起来。到20世纪30年代，小型的私营航空公司已开始执行加拿大南北之间的航线运输。同时，也有固定航班穿行于美国、法国和德国与中南美洲各城市之间。欧美以外的乘客也开始日益依赖于飞行，将其作为一种可行的交通方式（参见表2.1）。20世纪20年代，许多欧洲国家航空公司相继成立，其中一些航空公司将欧洲各个城市与其在亚洲、中东、拉美和大洋洲各地的殖民地连接了起来。¹⁵

图2.1: 1940年至1961年间，拉美、亚洲、非洲和大洋洲搭乘飞机的乘客数量激增

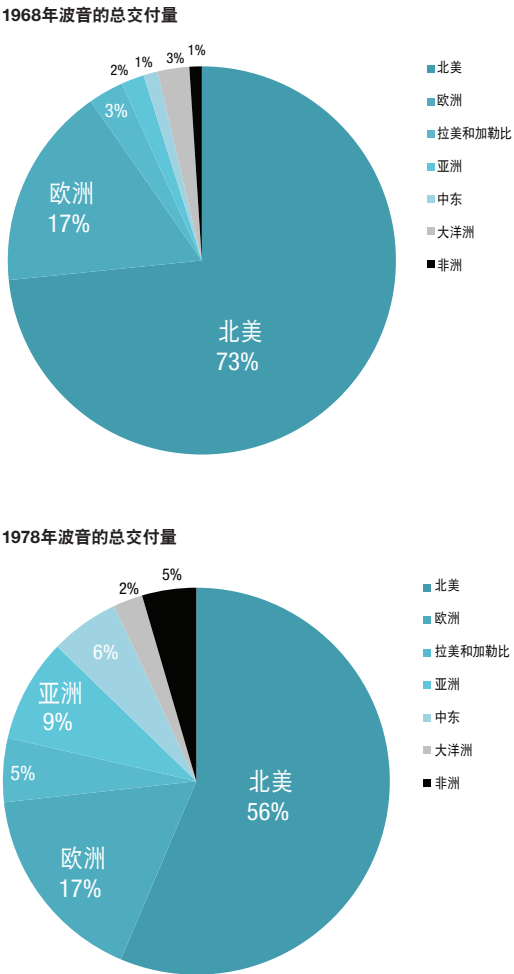


资料来源：Davies（1964年）。

15. Brooks（1967年）。

到20世纪70年代中期，除了欧美之外的各个国家也开始为其本国的航空公司购买飞机（参见下图2.2）。

图2.2: 波音（包括麦道）飞机地区销售份额对比图，1968年对照1978年



资料来源：波音（2015年）。

在经济增长方面发挥重要作用

飞机自诞生之日起就对经济增长带来了深远的影响。

首先，开设国家航空公司和建设支持空运所必需的基础设施——如机场航站楼、跑道、控制塔台和相关的服务设施——所需的大量资本投资对经济增长作出了重要贡献。民航组织于2006年发布的一份研究报告计算得出，1998年，民用航空业对全球经济的直接贡献高达3700亿美元，并提供了大概600万个就业岗位。¹⁶另一份研究报告则估算，2004年，航空产业对各个地区的国内生产总值（GDP）的贡献达到113亿美元到4100亿美元（USD）之间。¹⁷

此外，这项投资还带来了多重影响，触发了一些与增长相关的其他经济活动。同一份民航组织报告指出，“在全球经济中，航空业每产出100美元产值及每创造100个就业岗位都会催生其他产业多产生325美元的需求和610个就业岗位。”¹⁸

第二，可靠的空运、更短的旅行时间和更低的成本也推动了全球化的进程。乘客与货物可以在更短的时间内被运输到更远的地方，从而更便于跨境提供商品和服务。从1951年到2004年间，通过空运的商品平均增长了11.7%，而海运商品的平均增长仅为4.4%。¹⁹此外，旅游业也因此蒸蒸日上。²⁰

对空运依赖度的提高转而促进了制造业供应链的重组，新的商业模式应运而生，所有这些都归因于各国相对的比较优势。

16. ICAO (2006年)。
17. 113亿美元（非洲）、1480亿美元（亚太地区）、2740亿美元（欧洲）、206亿美元（拉美和加勒比地区）、161亿美元（中东地区）以及4100亿美元（美国）（ATAG, 2005年）。2014年更近期的估算数据请参见ATAG网站。
18. ICAO (2006年)。
19. Hummels (2007年)。
20. 2004年有40%的游客选择飞机出行。

2.1.2 飞机创新生态系统

航空业的发展——从1903年莱特兄弟实现的有动力、可操控、无辅助飞行56秒的突破到20世纪70年代可靠的长途空运——都归功于多个不同技术领域的众多的渐进式创新和改进。

这些创新归功于飞机创新生态环境的众多因素之间的相互作用，这些因素包括发明人、学术机构和政府的作用以及萌发创新的经济环境等。

有三个显著的因素对飞机创新的动态情况产生影响。首先，从尝试飞行实验之时到20世纪前十年间专门致力于民用和军用飞机机身和发动机制造与销售行业的诞生，发明人之间的相互影响产生了一种显而易见的变化。在实验阶段，发明人相互协作、分享心得，但随着飞机产业逐步成型，这种协作也渐渐消失了。

第二，随着航空领域不断取得进步，从单纯的将基础机械工程学原理应用于实验中，到高度依赖气流流通的科学知识，再到今天通过将电子、液压和材料技术等多个复杂的子系统结合进来从而实现飞行器性能的最优化，飞机创新变得越来越复杂。在航空发展的每一个阶段，一种产品要获得成功，需要各种不同的技能和专门知识。此外，由于更新一代的飞机集成了越来越多的系统，所需的创新投入也就变得更昂贵，而结果也变得更不确定。特别是，一种新机型的成功往往取决于优化设计以集成多个复杂的系统，但是这些系统相互之间会产生怎样的影响，则常常难以预测。

第三，随着航空业开始在教育方面——特别是国防应用方面——展现出可观的收入前景，政府开始在飞机研发方面表现出浓厚的兴趣。

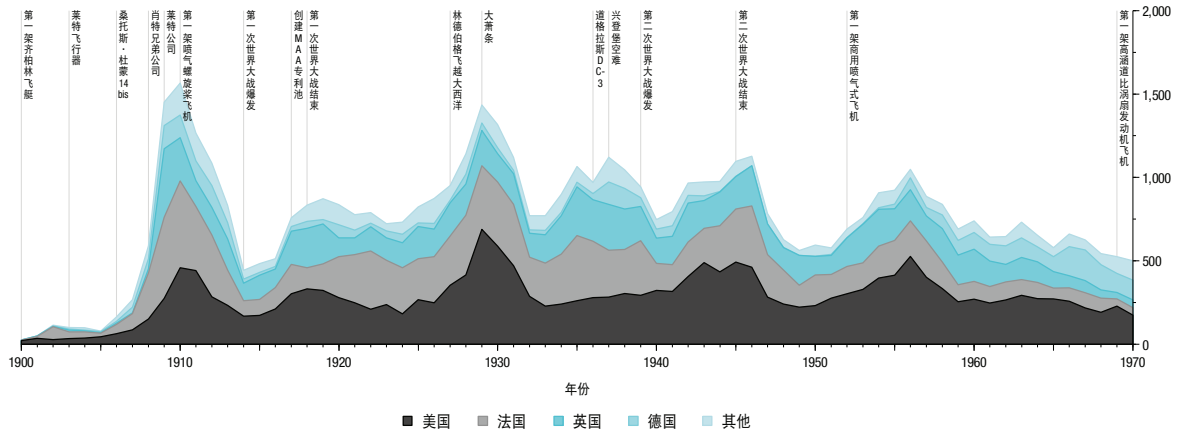
纵观飞机创新生态系统中这些不断变化的动态因素，其中有一个因素在1900年到1970年间似乎并没有发生变化：那就是航空业主要的创新活动都集中在美国 and 欧洲——尤其是法国、德国和英国——这两个地区，尽管这些国家的重要性随着时间推移也在发生着变化。这期间的全球专利申请趋势证实了这一点。

图2.3根据1900年到1970年间的第一申请人居住地对航空相关的首次专利申请进行了划分。全球专利申请在1910年和1929年呈现出两个明显的高峰。但是，1910年这个高峰出现的阶段正值新的机型设计出现在欧洲各地的航空展中并得到演示，而1929年的高峰则出现在可靠的客机机型出现的阶段，如道格拉斯DC-3。²¹

21. 如上文所说明，20世纪30年代的机型设计融入了众多的渐进式创新成果，提升了飞机性能和可靠性。

图2.3: 1900年至1970年间, 航空相关专利申请趋向于集中在美国、法国、德国和英国。

按来源划分的首次专利申请, 1900年-2011年



资料来源: WIPO的基于PATSTAT数据库(参见技术注释)

协作的动态变化

在1890年到1905年航空先驱探索的阶段, 个人在推动创新方面扮演着比政府或机构更为关键性的角色。这些发明家受到好奇心的驱使, 都热衷于飞行, 沉迷而不能自拔; 其中一些人赢得了名誉, 但没有人——至少在最初——没有企图在金钱上得到回报。

事实上, 许多发明家本身就相对富裕, 他们在投入飞行实验之前就在其他领域积累了财富。在这个早期阶段, 新参与者要进入这个圈子并不困难。一个原因就是, 航空业的进步往往集中在机械方面, 因而都是便于仿制的。发明家们可以从前人的实验中汲取教训, 对其机型设计作出轻微的改进, 然后再加以测试。

此外, 最新的技术发展和技术诀窍都会在航空界内公布和分享, 实验者们就能够以这些现有的知识作为基础。²² 在柏林、伦敦和巴黎, 都有关于“空中航行”的成员制俱乐部和协会。还会举办各种展览和会议来展示航空方面的最新进展, 其中最早的一次就是1868年由大不列颠航空协会在伦敦水晶宫举行的。

到1909年, 总共有21家航空期刊在传播最新的航空信息。其中最重要的一家期刊是由法国人Octave Chaunte开办的。1894年, Chaunte出版了《飞行机器的进步》一书, 在书中编写了所有与航空相关的实验及其结果, 将这些知识向公众公布。他同时也是连接发明家之间的桥梁, 跟发明家们通信并为他们提供他的点子。Chaunte多次资助身无分文的发明家, 帮助他们继续开展实验。²³

22. Meyer (2013年)。

23. 在他众多的资助中, 他为Louis Mouillard的滑翔机实验提供资助。

在莱特兄弟发明出机翼翘面设计之前，他们之间也进行了通信，并加入了飞行爱好者圈子。在此期间，政府的支持力度是最小的。

随着飞行器之梦渐渐成真，航空创新方面的协作性也开始渐渐消失。²⁴这种变化始于莱特兄弟将其发明保密直到他们在1906年获得专利权。²⁵在获得美国专利局的专利授权两年后，威尔伯·莱特才在巴黎展示了他们的机型。²⁶

私营部门和公共部门也开始对飞机制造业进行大规模投资。欧洲石油业先驱Henri Deutsch de la Meurthe在1919年逝世之前，一直在法国为汽车和飞机的研究提供资助。雨果·容克斯为他本人的航空研究供资，甚至还为他的私人研究机构建造了两套风洞设施。

莱特兄弟（1908年）、加布里埃尔·瓦赞（1910年）、格伦·柯蒂斯（1916年）这些飞机发明家们都各自设立了自己的公司来从发明中盈利。1903年到1913年间，出现了大约200架原型机，但是仅有几架被投入生产。²⁷其中多数出售给了政府使用。

开始基于科学的创新

随着发明家们开始理解飞机飞行的原理，飞机的可靠性和性能也随之得到极大改进。通过将空气动力学理论应用到机身建造上，从而对机型设计加以改进，也为能够在此领域做出创新的国家——德国——带来其他国家——诸如英国、法国和美国——所没有的技术优势。

有若干种要素促成了德国的这一技术优势。第一，德国几乎所有的飞机发明家不是科学家就是工程师，都能够将空气动力学理论应用于制造结构复杂的飞机。²⁸甚至有一些德国飞行员都拥有工程学学位，能够为飞机性能的计算、测量和测试带来帮助。第二，一部分发明家同时还担任大学教授，相互之间联系方便，因而也获益不少。用硬铝合金制造波纹钢管这个想法就来自于容克斯的同事Hans Reissner，他们两人都是亚琛工业大学的教授。第三，飞机设计的进步还获益于德国在齐柏林飞艇方面的经验。Claude Dornier和Adolf Rohrbach两人在转向飞机设计之前的研究方向都是齐柏林飞艇。Prandtl在1908年设计的风洞原本是用来改进齐柏林飞行器的外形，却在第一次世界大战末期被用来测试Prandtl-Betz-Munk的机翼理论。在之后的几年里，这些测试结果都被用于飞机的设计和制造。

但是，随着飞机设计方面的改进更具科学性，飞机产业中的创新成本也随之增长。需要在风洞这样的大型研究实验机构方面进行投资来测试飞机设计。1917年，Gustave Eiffel在法国Auteuil建造了一个风洞设施，可用来测试飞机设计，但是其潜力和用途却因缺乏航空研究经费而减少。

很快，各国在航空知识基础方面的差距逐渐增大。²⁹其他国家的发明家们往往缺乏仿制或改进其敌对国——德国制造的机型所需的技能或知识，例如，英法两国的设计者们——譬如肖特兄弟——曾于1922年急切地仿制德制的硬铝合金飞机，因为这是种潮流，但是却未能对之作出改进。

24. 这种转变并非飞机制造业所独有。

25. 莱特兄弟在1905年10月9日写给法国发明家Ferdinand Ferber的一封信中披露，他们成功地实现了飞行，而一篇法文文章也根据他俩的美国专利申请详细地描述了他们所取得的成就。但是欧洲航空界并未对此加以关注；这可能是疏忽导致（Gibbs-Smith, 2003年）。

26. 莱特兄弟在美国国内进行了演示，但是未能得到联邦政府的关注。

27. Zhegu (2007年)。

28. Budrass (1998年)。Henrich Focke是旋翼翼飞机领域的先驱；Hanns Klemm专攻轻型飞机；Messerschmitt、Heinkel和Arado则专门致力于将空气动力学方面的革新内容应用于机身结构。

29. Constant II (1980年)、Crouch (2002年)。

此外，语言方面也存在着障碍：航空知识的跨境传播往往依赖于翻译。Hans Reissner在将法国航空知识引入德国方面发挥了先驱性作用，这部分地是源于他对法语的精通，另外，德国出身的英国科学家Hermann Glauert首次将Prandtl的机翼理论译成英文。此外，英文期刊《工程》翻译了Prandtl著作的摘要，并为其英语读者对这些摘录进行了详细的审阅。

尽管推进德国飞机发展的最新科学知识通过研究出版物和会议的渠道在整个科学界传播开来，但是这始终不足以促进后进国家在技术上实现赶超。事实上，德国知识的主要传播渠道之一是二战后科学家的移民和该国航空知识被征用（参见框2.1）。

框2.1：二战后德国航空技术诀窍遭征用

二战结束后直到1955年，德国人不得在航空领域开展任何活动。此外，德国人在海外的专利也被没收并提供给公众使用。美国总统杜鲁门发布了行政命令，指出“应及时、公开、免费和广泛地传播敌人的科学和工业信息。”³⁰ 德国专利因而被视为公共财产，可由盟国公民所用。

在德国的盟军占领区，盟国缴获了大量的文件和装备，收集了约1200吨的技术报告、文件和1946年之前的专利以及研究设备。

由于德国人不得在德国从事任何航空活动，一大部分德国科学精英移居到了盟国。大约有1000名德国科学家移居到美国，其中40%的科学家是飞机研究方面的专家。

资料来源：Budrass（2015）。

通过政府倡议来促进飞机开发

主要是出于国防目的，各国政府在飞机研发方面也发挥着重要的作用。各国政府在促进飞机开发和在各国国内以及从技术领先者的德国往世界各地传播知识方面发挥着至关重要的作用。此外，政府也成为了飞机研发的主要供资方。

政府的主要干预行为包括：

- 通过创建和资助专门从事航空研究的公共研究机构来对航空研究提供支持，如在法国（1908年）、英国（1909年）、德国（1912年）、美国（1915年）以及意大利（1935年）；
- 对展示航空界最新进展的富有声望的国际展览会提供赞助，如法国巴黎布尔热国际航空航天展（1909年）、英国Hendon皇家空军航空展（1912年）、德国国际航空展（1912年）；
- 汇集最新的航空发展动态并将其传播给研究人员和制造商：在一战期间，德国军方限制航空方面的出版物，但是在《Technische Berichte der Flugzeugmeisterei》中发布最新进展供内部使用；美国的国家航空咨询委员会定期出版重要的航空研究文件的译文，以便其研究人员了解欧洲最新的航空知识；
- 购买飞机及补贴国家航空公司（参见下表2.3）。

表2.3：航空公司的政府补贴收入份额百分比

	1930	1931	1932	1933
比利时	79.8	83.0	73.5	74.8
法国	79.6	81.8	79.6	79.0
德国	63.3	68.9	69.8	64.6
荷兰	50.9	40.4	41.0	24.0
瑞典	62.6	65.8	68.3	52.0
瑞士	78.6	81.5	80.9	67.0
英国	69.2	48.8	35.7	39.0

资料来源：Miller和 Sawers（1968年）。

30. 第9604号行政指令，对科技信息的传播作出规定。

有两个国家的创新生态系统和政府在促进飞机研发方面发挥着突出作用：德国与美国。

德国

在两次世界大战之前、期间和之后，德国政府都大力推动德国战机的研发和生产工作。

首先，德国政府出资创建了多个研究机构，开展航空相关的技术研究，收集最新的技术进展动态并通报给德国制造商。³¹这一行为的受益方之一就是飞机制造商安东尼·福克，他首次将一战期间哥廷根大学研发分析的厚机翼带进了实际应用。这样生产出来的飞机比盟军战机具有更高的爬升率和更强的机动性。³²

第二，政府设立了飞机生产商战时协会，将德国所有的飞机制造商和发明家都招入麾下。其成员之间能够共享所有的专利技术和技术诀窍，让那些在技术上落后的成员深受其利。

第三，政府还鼓励小型飞机制造商进行合资，来推动搭载了新技术的战机得到更快的部署。例如，一战期间，政府促成了福克和容克斯的合资，试图将福克在飞机量产上的经验与容克斯的最新创新技术相融合。³³

最后一点，德国政府是飞机的主要采购方，持续不断地提供着需求。容克斯从这一需求中获利，他的许多研究项目涉及将最新的空气动力学原理应用于机身制造，这些项目得到了政府的资助。直到二战前，容克斯和德国政府之间的合同都类似于一种提前订购承诺。

美国

一战期间，美国飞机工业在技术上十分落后，以至于美国的多数战机都采用的是欧洲的设计。为了弥补这一缺陷，政府加大投资，推动从欧洲的技术转让，发展美国自身的空气动力学研究能力。

首先，政府于1915年成立了联邦研究机构——国家航空咨询委员会，旨在为民用和军用目的开展机身和推进技术研发并为之融资。该机构设有建于1927年、可容纳真实比例机身的首个大型风洞。在这里诞生了机身设计方面的一个重大改进——国家航空咨询委员会星型气冷活塞发动机罩，这一设计随后被应用于道格拉斯DC-3型飞机的设计中。

第二，政府通过国防支出在军用飞机的机身、发动机和相关部件研发经费中占了相当大份额。对比而言，1945年至1982年期间，产业界对研发经费的投入只占了不到20%的份额。商用飞机发动机上的创新很大程度上获益于军方采购和研发投入。美国首台喷气式发动机的开发工作正是在二战期间由美国军方完全出资支持的。此外，尽管军方的研发投入并不指望能够催生商用飞机方面的创新，但是军转民所带来的额外技术却成为了商用飞机创新的一个重要来源。

第三，1919年，美国政府的压力催生了飞机制造商协会(MAA)的成立，加快了飞机研发和生产进程。MAA属于一种专利池，其成员能够共享有关飞机设计的所有相关专利(第2.1.3节将进一步对MAA加以讨论)。

第四，政府聘用重要的德国科学家——如Max Munk和Theodore Kármán——来国家航空咨询委员会和美国各所大学任职，以推动空气动力学知识进入美国，从而建设这些机构的研发能力。此外，Ludwig Prandtl也获得了(美国)国家航空咨询委员会的一份大额合同，为其提供一份报告，调查空气动力学方面的最新发展动态(Munk、Kármán和Prandtl对航空所作贡献的更详细内容请参见表2.1)。³⁴

31. 例如，Flugzeugmeisterei飞行科学工作信息和传播中心、德国滑翔研究所和汽车工程学及机动车发动机研究所)。德国政府还在亚琛、柏林、达姆施塔特和斯图加特等地的多所大学设立了研究部门(Trischler, 1992年)。

32. Anderson (1997年)。

33. Anderson (1997年)和Budrass (1998年)。

34. Hanle (1982年)、Hansen (1987年)及Anderson (1997年)。

2.1.3 飞机与知识产权制度

研究飞机史的大多数学者都并不认可专利作为竞争或技术策略工具的重要性。很显然的是，根据当时的环境，政府在飞机量产方面的需求以及对飞机工业的介入程度都对这个行业的发展起到了关键性的作用。这一需求反映出飞机在军事上的重要性，也成就了20世纪的知识密集型产业中独具一格的航空业。很难讲——假如说——在更为“正常”的情况下是否也会出现动荡的战争年代和战争的威胁所带来的飞机市场的繁荣。

此外，几乎没有证据表明，20世纪30年代和50年代的飞机创新突破中出现过关键性的“阻碍型”专利。³⁵这部分是飞机创新的性质所致，其涉及到将电子、材料等技术的复杂子系统的整合优化。

然而，专利申请在飞机工业发展的早期也发挥着作用，尽管很难对其重要性加以评价。一定程度上而言，专利帮助早年的发明家们确保投资回报，鼓励其将技术传播到别的国家。

确保投资回报

专利申请能够帮助早年的发明家们确保投资得到回报。飞机发明的先驱们将其发明申请专利，并在此基础上构建业务。这些专利防止了他人免费利用发明家们的汗水，有助于其保持竞争力。例如，容克斯曾以福特的设计侵犯了其专利技术中的某些要素为由而要求禁止德国进口福特三引擎飞机。³⁶

发明家们也能够通过将其发明许可给别人来获利。例如，20世纪30年代，Rohrbach将他所发明的应力蒙皮结构许可给英国、日本和意大利的制造商。³⁷德国前飞行员Lachmann和英国企业Handley Page将其开缝机翼发明出售给各国政府，盈利约375万美元。³⁸容克斯通过其厚机翼发明获得英国工程企业William Doxford and Sons的许可费来部分地解决他的研发经费。³⁹德国政府在一战期间因使用了他的机翼专利发明而向他支付了大约200万马克。⁴⁰

此外，申请专利也促进了专利技术通过许可这种方式得以传播。容克斯和柯蒂斯-莱特都获得了别人开发的螺旋推进器技术，而不是独自发明的。⁴¹1923年，日本川崎飞机生产厂购买了Dornier的机型许可用于生产。

但是，专利文献中所披露的内容在传播创新方面似乎并不那么重要。法国航空出版物《L' Aéroplane》在1906年1月刊登了一篇文章，披露了莱特兄弟的第393号专利的部分文本。该内容对莱特兄弟如何实现横向平衡控制方面较为细致地进行了说明，但是并未对欧洲的航空发展产生太大的影响。⁴²另一个例子中，Lachmann和Handley Page各自独立地解决了飞机在空中失速的问题。Handley Page在Lachmann之后申请了专利，并证明了其并不知晓Lachmann的专利。

35. Mowery (2015年)。

36. 福特三引擎飞机被认为采用了容克斯设计中的一些元素 (Budrass, 2015年)。

37. Budrass (2015年)。

38. Miller和Sawers (1968年)。

39. Byers (2002年)。

40. Budrass (1998年)。

41. Miller和Sawers (1968年)。

42. Gibbs-Smith (2003年)。

为了继续保持竞争力,这些发明家中有人通过诉讼来维护其专利权,由于海外诉讼成本过高,因而这种做法往往在本土用的更多。例如,容克斯就利用专利维权来打击他的飞机制造竞争对手——如Messerschmitt、Rohrbach和Dornier等等。作为折衷的解决办法,同时为了避免经济纠纷,Messerschmitt和Rohrbach两人都与容克斯进行了谈判,同意交换部分专利。而在美国,当容克斯的公司遭遇财政困境时,他并没有选择利用专利维权,而是选择了与福特三引擎飞机达成了许可协议。

莱特兄弟成功地用诉讼击败了若干个竞争对手,特别是在美国本土。这是由于美国法庭对莱特兄弟的发明作出了宽松的解释,将其扩展到包括“所有已知的用于飞机横向稳定的方法”。在欧洲,德法两国的法庭对莱特兄弟的发明采取更加怀疑的态度,因而对其权利要求采用了一种更严格的解释。⁴³

战时的临时措施

容克斯和莱特兄弟在专利维权方面的努力都着重说明了两点:专利诉讼成本很高,以及专利维权可能会对飞机的发展带来有害的影响。由于第二点,美国因此设立了专利池,并强迫容克斯加入了一个类似专利池的协会机构。

飞机制造商协会(MAA)

MAA是于1917年成立的一个专利池,用以鼓励大规模生产军用飞机。MAA的所有成员都必须准许其他成员查阅其有关飞机结构方面的专利——但不包括那些涉及到设备和发动机的专利。只要许可条款不比准许给成员的条件优惠,也是允许将专利许可给非成员的。任何涉及到由政府资助的研究项目或相关活动所推出的飞机设计的专利都在免许可费的情况下由成员和非成员使用。其他不属于MAA范围但是源自政府项目的专利则必须向联邦机构支付许可费后方可使用。MAA于1975年解散。

MAA对飞机工业产生了一些影响。首先,其通过对莱特兄弟和柯蒂斯作出经济上的让步,来承认莱特兄弟和柯蒂斯所持有专利的重要性。第二,其消除了莱特或柯蒂斯的公司对其他飞机制造企业提起诉讼的风险。第三,其削弱了这一行业中专利的独占权。总的来说,MAA确保了任何飞机制造商都能够获取并且使用专利池中的所有技术。

MAA对飞机创新所带来的影响则难以评估。美国的飞机产量曾有过一个激增——从1920年的328架到1939年的5856架,其中分别有256架和2195都被军方预定使用。但是美国制造的飞机在数量的增长也与政府高额的军费支出以及其他促进战时大规模生产飞机的倡议相一致。

1988年的一份研究报告发现,在1968年到1972年间,有121件航天专利被添加到这一专利池中。“这一数字仅为同时期航天类专利总量的7.8%,尽管这或许会令这一领域内的创新活动打折扣——航空领域的可专利发明能够以国家机密之名予以保密——但还是表明,该专利池对于促进飞机设计的进一步创新收效甚微。但是,对此仍需进一步开展研究。

43. 莱特兄弟在1904年3月向德法两国的专利局都提交了专利申请。德国法庭以其在提交申请之前向公众披露了其专利而成为了现有技术为由宣告其专利无效(Crouch, 2000年)。法国法庭似乎是倾向于莱特兄弟的申请,但最终决定还是被拖延到了专利到期之后才作出。

44. Bittlingmayer (1988年)。美国专利局对航天专利分配的CPC分类号为244。

框2.2: 二战期间英国与美国之间的航空知识转让

1941年, 英国与美国签署了《英美专利互换协议》, 来促进技术交换。根据该协议, 在战时, 美国 and 英国的飞机制造厂商能够免费使用两国的航空专利。其目标旨在帮助盟军制造出所需的大量飞机。在二战末期, 每件专利及其所有权利都被归还给其持有人。

资料来源: Eubank (1952年)。

德国飞机生产商协会

一战期间, 德国试图通过德国飞机生产商协会来创建飞机生产商的专利池。该协会于1917年成立, 与 *Flugzeugmeisterei* 飞行科学工作信息和传播中心一道, 推动了德国飞机生产商之间对航空相关技术的共享。⁴⁵ 希望利用分配局的飞机生产商必须自愿将其专利技术提供给协会其他成员使用。

该协会理应对专利池加以规范, 但是它实在过于薄弱。该协会的一个缺陷就是, 无法说服德国飞机制造商先驱之一的容克斯加入进来并共享其专利。

1933年, 纳粹政府强制容克斯将其专利贡献给该协会。自此之后, 飞机领域的所有专利在被认为必要时都必须服从强制许可。德国航空部被指定为颁布许可和后续费用相关规定的唯一机构。⁴⁶

尽管一战期间这一专利池有助于德国飞机制造厂商之间共享最新发展动态 (参见第2.1.2节德国案例研究部分), 但是其对于德国的后续创新仍难以发挥效用。二战后, 盟军禁止德国从事任何航空相关的活动, 并没收了所有航空相关的技术文件。航空方面的所有专利技术都被公诸于众并可免费使用 (参见框2.1)。

45. 飞机研究信息分配局。

46. Budrass (1998年)、Byers (2002年)。

2.2 抗生素

“1931年，人类已经能够远涉重洋，可以与世界各地即时通讯。人们研究量子物理，开展心理分析，面对成千上万的广告，受困于交通堵塞，打电话交谈，盖起高楼大厦，操心自己的体重。西方国家的人们尖酸刻薄，贪得无厌，享受刺激的快感，喜好电影和爵士乐，热衷于一切新鲜事物；人们在最普遍意义上是完全现代化的。但是，至少在一件重要的事情上，人们比起史前人类来并未取得多少进步，那就是：在面对细菌感染时几乎都是束手无策的。”

Thomas Hager,
《显微镜下的魔鬼》，2006年

无论怎么看，20世纪30年代抗生素的发现彻底改变了卫生、临床实践和医药行业。⁴⁷抗生素的发展导致在很短的时间跨度上死亡率急剧下降，预期寿命整体得到提高。随着抗生素革命的到来，世界各个地区的一些传染性疾病导致的死亡率显著下降。这些抗生素在全世界的扩散也有助于各国之间和国内人均寿命的趋同。⁴⁸

2.2.1 抗生素的发现和发展及其对经济的贡献

根据抗生素的广义定义——即具有微生物特性的化学物质，历史上有三种抗生素的发现是重大的创新突破。⁴⁹具体包括20世纪30年代德国发现的磺胺类药物、同时期英国发现的青霉素——尽管美国在其后首次实现了大规模生产、以及20世纪40年代美国发现的链霉素。

显而易见的是，磺胺类药物、青霉素和链霉素都属于20世纪的重大创新突破。格哈德·多马克（1939年），亚历山大·弗莱明、恩斯特·钱恩和霍华德·弗洛里（1945年），以及赛尔曼·瓦克斯曼（1952年）因发现了这些药品而被授予诺贝尔生理学 and 医学奖。此外，这些突破还催生了一系列后续创新，包括半合成青霉素、头孢菌素以及一系列广谱抗生素。

20世纪30年代——磺胺类药物：抗生素革命的曙光

磺胺类药物的开发是为了应对一战期间由感染造成的大量士兵死亡。尤其是链球菌感染导致了战争期间所有各方的大量死亡以及众多平民患病。⁵⁰

对链球菌感染的首个有效治疗方法就是磺胺类药物——即磺胺药——这是德国在一战过后发现的。自19世纪后期以来，德国化学企业就开始着手开发生产煤焦油的能力，煤焦油是煤炭生产过程中产生的一种副产品，也是新化学制品的重要来源以及合成染料业的基础。早在1910年，德国化学家保罗·埃尔利希就发现，染料中的化合物能够用来杀死细菌。尽管这些化合物被证明具有毒性——并最终被青霉素所替代——但是埃尔利希的工作说明，合成化学制品能够治愈疾病。这一发现令德国众多大学和化工产业的研究人员开始研究化学制品，以期用来治疗传染病。德国拜耳公司的研究团队——由病理学和细菌学主任格哈德·多马克带队——发现了一种偶氮染料族能够消灭试管中的细菌。

47. Mokyr (2002年)。

48. 本部分内容参考了Sampat (2015年)。

49. Bentley和Bennett (2003年)、Bentley (2009年)。

50. Hager (2006年)。

到1932年,拜耳的科学家们已经通过添加一种磺胺来制造一种偶氮染料变体,并在小白鼠身上进行测试,发现其在治愈链球菌感染方面具有很强的功效。同年,当地医院的病人就开始使用首批磺胺类药物Streptozon。1935年,拜耳的测试结果表明,其不仅对链球菌感染有效,还对包括葡萄球菌感染和淋病在内的其他传染病有效,之后该药品被更名为Prontosil。很快,全球的研究人员开始利用拜耳提供的样本对Prontosil进行实验室和临床测试。这一原始药品的一大重要特点就是成为了一个研究库——即为后续发明提供平台。通过将磺胺基加入到偶氮染料中的正确位置,拜耳研究人员就有可能制造出新的抗感染药,从而开启了一个无比丰富的医药领域。⁵¹

到1935年底,法国巴斯德研究所的研究人员——在医药化学家埃内斯特·富尔诺的带领下——基本复制出了Prontosil,更为重要的是,他们还发现,能够产生疗效的是纯磺胺。这一发现推动了全球范围内对磺胺的研究,科学家们陆续发现了各类新的变种药物来治疗各种传染病。同时,这又促进了磺胺类药物的快速开发。到1937年底,消费者们已经能够在当地药房的柜台上购买到20余种商品名的纯磺胺类药物,到1945年,数以千计的各类新磺胺类药物也开始面世。⁵²

20世纪40年代——青霉素:“魔术子弹”

要说科学界的“偶然”发现,最常提到的就是青霉素的发现。在英国医学研究理事会主持的一项研究过程中,亚历山大·弗莱明将一个金黄色葡萄球菌的培养皿放置在外,随后被一种孢子感染,这种孢子在后来被认定为青霉菌孢子(*Penicillium notatum*)。弗莱明推测是模具抑制了细菌的生长。1929年,他发布了一篇有关青霉素疗效的论文。⁵³尽管这篇论文并没有强调突出临床应用或医用性,但确实提出了其在医用方面的潜力。在随后的若干年里,弗莱明和他在伦敦圣玛丽医院的同事们进行了几次人体实验,但是由于难以制备出纯度足够高的青霉素来进行测试,因此实验结果并不令人满意。⁵⁴

从20世纪30年代开始,牛津大学的一个实验室——由洛克菲勒基金会资助并由霍华德·弗洛里和恩斯特·钱恩牵头——开始开展抗生素方面的研究,研究部分是基于磺胺类药物所获得的成功。⁵⁵1940年,英国政府希望对战时感染开发出新疗法,受此鼓舞,弗洛里、钱恩和Norman Heatley首次成功地提纯了青霉素。这一突破使得临床试验成为可能,从而证明了青霉素在治疗多种感染方面具有令人难以置信的功效。

在解决了首次测试问题之后,下一个挑战就是青霉素的大规模生产。1941年,Andrew Moyer与美国农业部(USDA)的其他科学家,伙同弗洛里和Heatley一起,开发出一种媒介用来大规模生产青霉素。一年后,美国政府说服了企业界投入到生产中。尽管一开始仅限于一小批企业,但最终美国政府还是会从具有制药能力的企业采购青霉素。好几家大型美国企业都参与到战时青霉素的生产中,包括辉瑞、施贵宝和默克。20世纪40年代战时的努力取得了极大的成功,实现了青霉素在极短时间内从实验室到大规模生产的转变,并使得生产率提高了两个数量级。从那时起,参与青霉素生产的各家公司就开始利用其新开发的制药能力来探索新的机遇,特别是在新的抗生素研究方面。

51. 参见Hager (2006年),第137和143页,Lesch (2007年)和Bentley (2009年)。
52. Hager (2006,第196页)。

53. A. Fleming, *Br. J. Exp. Pathol.* 10, 226 (1929年)。
54. Wainwright (1990年), Kingston (2000年)。
55. Neushul (1993年)。

天然青霉素在战争期间得到了发展,但在此之后出现了一些缺陷,包括给药方面的难度、对某些机体的药效有限、以及不断增长的抗药性。1957年,麻省理工学院(MIT)有机化学家John Sheehan在Bristol实验室的资助下,开发出首个纯化学合成青霉素。这一过程中还合成除了中间体化合物6-APA。几乎是同一时期,钱恩和来自英国必成集团的科学家们发现了一种从发酵液中提取6-APA的方法。6-APA的提取使得任何能构想到的新的青霉素结构的开发成为可能。⁵⁶Bristol和必成之间很快开始了合作,因为必成需要Sheehan的从6-APA制备其他青霉素的方法以及Bristol的制药能力,以便扩大其自身的生产能力。这促成了早期半合成青霉素的投产,包括非奈西林(phenethicillin)、氨苄西林和阿莫西林。正是由于这项技术,这些企业以及众多其他企业得以开发出青霉素的若干种改进版本,沿用至今。

20世纪50至60年代——链霉素和其他广谱抗生素

甚至是在青霉素成功推出之前,其他学者长久以来都坚信,土壤中的细菌能够用来对付其他微生物。⁵⁷1939年,默克与罗格斯大学的土壤化学家赛尔曼·瓦克斯曼签署了一份研究协议,瓦克斯曼当时正在研究一种特定类型的土壤细菌——放线菌。这份协议为瓦克斯曼带来了资源,让他能够筛选土壤样本并对所形成的抗生素进行药理学评价,同时他还获得了大型设备,可用来生产任何有前景的药物发现。1943年,瓦克斯曼的学生Albert Schatz从土壤样本和其他来源中发现了一种菌株,这种菌株能够有效对抗结核病,他将之命名为链霉素。在接下来的几年中,进行了动物和人体试验后,这种药物在1950年被投放市场。

链霉素之所以重要是出于以下几个原因。首先,无论是磺胺类药物还是青霉素,对于结核病都收效甚微,而结核病在20世纪50年代仍是导致高发病率和死亡率的一个主要原因。此外,链霉素被证明对许多其他疾病也有疗效,包括伤寒、鼠疫和泌尿道感染等。但最重要的是,链霉素的发现不仅涉及到一种新药,更成为了一个研究库,让科学家们为抗生素寻找土壤样本和其他天然来源。⁵⁸

继链霉素之后,其他企业也开始寻找土壤样本中的抗菌活性。早期取得的一些成功包括金霉素(1948年)、氯霉素(1948年)、土霉素(1950年)和四环素(1955年)。⁵⁹另一类重要的早期药物是头孢菌素(1964年),这类药物是在意大利科学家Giuseppe Brotzu在当地下水道中发现的顶头孢霉菌的基础上制备的。许多这类药比青霉素更加广谱,同时也具有其他优势。在之后的几年里,仍有其他种类的抗菌药物不断被研发,如硝基咪唑类药物、氯霉素、喹诺酮类、单内酰胺类、阿莫西林-克拉维酸、以及亚胺培南-西司他丁。

经历了抗生素革命后,形成了一个全新的制药业,它在众多方面都进行了创新,包括开发新药种类、创造能够有效对抗不同种类细菌或具有更轻微的副作用的新药、在给药途径和便捷程度上做出改进。

56. Mann (2004年)。

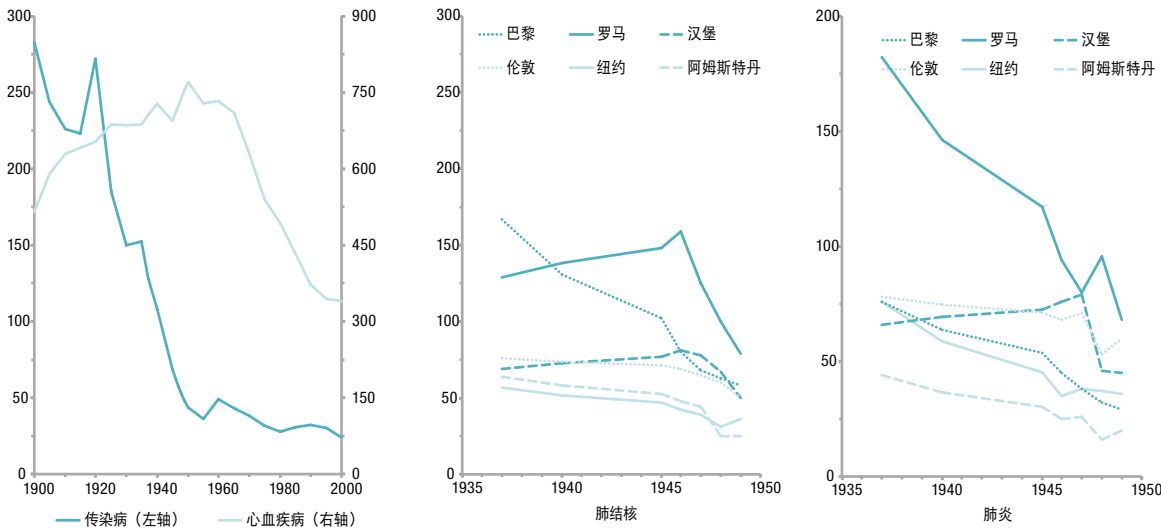
57. Kingston (2004年)。

58. Temin (1980年)。

59. Landau等 (1999年)。

图2.4: 抗生素对人体健康产生巨大影响

传染病与心血管疾病的死亡率对比以及不同地域的传染病死亡率对比



资料来源: Cutler等 (2006年) 以及Achilladelis (1993年)。

抗生素对经济的贡献

毫无疑问, 抗生素对人体健康带来了极大的正面影响。1937年至1943年间, 磺胺类药物显著降低了多种情况下的死亡率, 如产妇死亡率、肺炎和猩红热的死亡率。⁶⁰在此期间, 美国总体预期寿命上升了8%至16%。磺胺和青霉素的发现, 使得美国的传染病死亡率显著下降; 到1960年, 各种传染病的死亡率已经实现了目前的水平。⁶¹也有证据表明, 抗生素革命之后, 全球结核病和肺炎的死亡率也急速下降。⁶²当然, 也存在其他因素促成了这种下降趋势, 尤其包括营养和公共卫生状况的改善。话又说回来, 抗生素也推动了其他的治疗方式——如外科手术或癌症的治疗方法——并辅助在抗击其他疾病方面取得进展。⁶³总之, 在抗生素革命之后, 世界各个地区的若干种传染病导致的死亡率下降的趋势是显而易见的 (参见图2.4)。

与许多新技术一样, 抗生素的推广模式是不均衡的。但是这些药物最终在全球范围内的推广有助于促进预期寿命的趋同。⁶⁴在被发现后不久, 磺胺类药物在整个欧洲和美国得到广泛扩散。无论是联合国还是美国政府, 都有计划在全球范围内推广青霉素和链霉素。类似地, 联合国在中国、捷克斯洛伐克、意大利、波兰、南斯拉夫等地资助设立新工厂。⁶⁵

总体而言, 很难为新的医疗技术带来的优势设定一个确切的经济价值, 但是抗生素在20世纪前半叶所带来的经济贡献无疑是巨大的。一些估算数字显示, 在此期间, 预期寿命的增长与同时期人均GDP增长所带来的福利增长同属一个数量级。⁶⁶

60. Jayachandran等 (2010年)。
61. Cutler等 (2006年)。
62. Achilladelis (1993年)。
63. Le Fanu (2011年)。

64. Acemoglu和Johnson (2007年)。
65. FTC (1958年)。
66. Nordhaus (2002年)。

抗生素对人体健康带来了前所未有的影响，通过改善劳动力和人力资本积累，抗生素无疑也对经济增长产生了影响。如前所述，抗生素的全球性推广对预期寿命带来了影响，大幅度增大了劳动力的总体规模，并且也可能影响到劳动力市场的参与度。⁶⁷此外，卫生条件的改善也影响到了劳动力质量。抗生素导致更好的卫生条件，后者改善了短期就业，而这反过来又对劳动力生产率带来影响。类似地，儿童健康得到改善必然会对学校出勤率和学习能力产生影响，从而长期来看也会改进劳动力生产率。⁶⁸

抗生素的大规模推广和对经济产生的影响所带来的一个结果就是对耐受菌株的关注不断增多，特别是与不限于人体健康领域的系统性使用相关。

2.2.2 抗生素创新生态系统

各种抗生素新发现背后的创新生态系统在促进创新方面都发挥了关键性作用。根据所有的历史记载，先前有力的科研工作——多数出自公共学术机构——为抗生素以后的商业发展奠定了基础。类似地，外部因素——如战争——也极大地影响了公共和私营激励机制来促进这一行业的创新。相应地，整体的抗生素革命为后续更普遍的抗生素和药品塑造了创新生态系统。新发现本身和新发现的商业发展都影响到创新环境，引导产业结构和监管框架向现今的状态发展。

科学界的推动和战争带来的破坏

就这三种抗生素而言，下游创新建立在已有科学基础上，展示出科学与产业之间强有力的纽带。学术机构为产业创新带来贡献的渠道不尽相同，从“单纯”从事基础研究工作，到开发出能够被产业进一步发展的初步概念，再到与产业支持合作开发一个潜在的产品。学术研究向产业转化的渠道也是多元化的，包括出版物、咨询和人员流动。也有企业获得一些专利许可，但是与今日相比，当时的许可方式是相当迥异的。

与历史上其他众多的创新突破一样，战争带来的破坏是导致改变的一个重要诱因，军方采购和国防研发对通用目的技术的发展起着特殊的作用。⁶⁹战争对于磺胺类药物和青霉素相关药物这两类药物的发展都通过不同的方式发挥了关键性的作用。就磺胺类药物而言，由于美国政府的没收，拜耳丧失了其美国专利和商标的所有权，这间接推动了拜耳寻求新的合成化学产品来弥补损失。⁷⁰就青霉素而言，二战期间美国政府对有效治疗方法的迫切需求推动了美国实施大规模的开发和生产计划，因此政府在促进青霉素创新方面发挥了更为直接的作用。

67. Acemoglu和Johnson (2007年)。

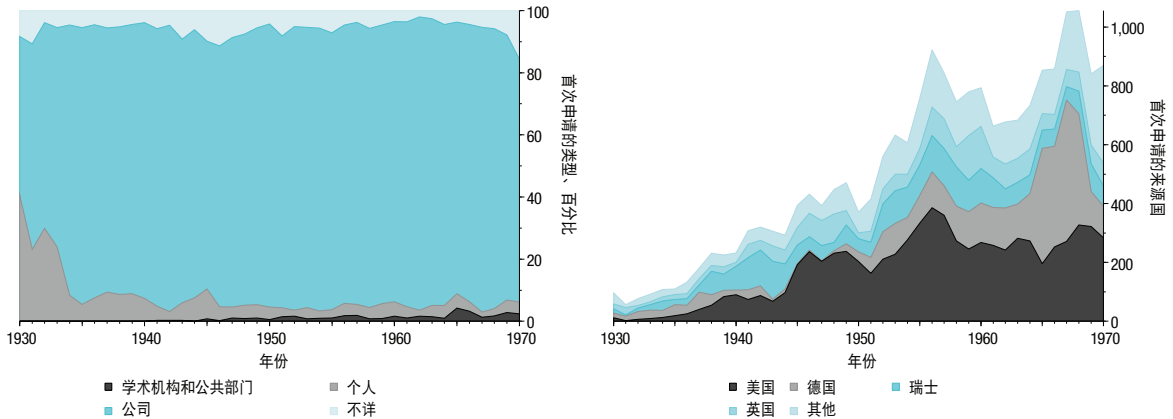
68. Bhalotra和Venkataramani (2012年)。

69. Rosenberg (1969年) 和Ruttan (2000年, 2006年)。

70. Hager (2006年)。

图2.5: 抗生素创新的改变

与磺胺类药物、青霉素和链霉素相关的首次申请，按申请人类型和地域划分，1930年-1970年



资料来源：WIPO根据PATSTAT数据库（参见技术注释）。

这两个案例中饶有趣味的部分在于，尽管战争的破坏和紧迫需求无疑有助于推动创新，但这两种创新都是在早先的科研基础上完成的。假设现在是战时，战争可能早就更快地推动了现有政府资助科研项目的开发。当然，将这种“科学界的推动”与准确的数字相挂钩并不是一项简单的工作。但是，通过对历史专利数据的研究，我们可以看出，20世纪30年代初，约三分之一的抗生素是与非产业发明家有关的（参见图2.5）。这一数字可能是被低估了，因为科学发现并不总能带来可以申请专利的成果——比如弗莱明——而如果其成果可以申请专利，那么学术机构也可能并不作为申请人，因为这种做法在当时并不如今日这样普遍。

从初次发现到大规模生产和商业化

私营部门在推动抗生素进入市场方面发挥了显著的作用。私营企业负责扩大生产规模并建立商业渠道来推广新药。这还包括了试验阶段的大规模生产和分销。此外，私营企业在很多情况下都会为科研提供资金支持。磺胺类药物的发现就是最好的例子，拜耳为研究提供了资金和场地支持。⁷¹

私营部门的作用不仅涉及新发现本身的开发，还有关于后续创新。例如，从磺胺类药物平台上获益的主要利益攸关者——即便在没有偶氮染料的情况下——是具备染料生产经验的化工企业，其中不少都来自德国和瑞士。⁷²图2.5表明主要由德国、瑞士和美国申请人——多数是私营企业——提交的与磺胺类药物、青霉素和链霉素相关的专利的增长模式，申请甚至延续到最初发明之后的数十年。

然而，尽可能让科学发现能够为最终用户带来利益，青霉素就是一个实例。如前所述，开发相关新药所面临的主要挑战之一就是能以盈利的产率来大规模生产纯青霉素。有意思的是，在能够合成纯青霉素之后，弗洛里和钱恩确实与很多英国制药企业——包括葛兰素和帝国化工（Imperial Chemical Industries）——讨论过这个想法，但是这些企业都缺乏大规模生产青霉素的能力，部分原因是战时的轰炸和对德国可能入侵的担心。⁷³即便在USADA科学家开发出大规模生产方法之后，美国政府仍未能成功说服私营企业参与到生产中来。为了说服这些企业，美国政府不得不协调临床测试、出资转让能力和设备、支持高校科研以克服扩大生产规模所面临的技术障碍、并促成技术信息的交流。⁷⁴

71. Hager (2006年)。

72. Achilladelis (1993年)。

73. Wainwright (1990年)。

74. Neushul (1993年)。

在战时青霉素实现大规模生产之后，医药行业彻底改头换面，企业的研发流程得以内部化和正式化。公司经过纵向整合，转变为具有研发、制造和销售部门的企业，专门负责开发、制造和销售药品。结合积极的市场营销，专利和商标已成为商业模式中不可或缺的部分。也有一些鼓励集中式管理的经济体。⁷⁵二战期间以及战后，企业在青霉素最初的创新后快速进入这一领域，但随后逐渐放慢了节奏，直到许多企业渐渐退出这一领域。⁷⁶直到20世纪70年代，早期的参与者们承担的大量青霉素生产工作，提高了研发回报。合成青霉素的开发推动了新一轮的参与，尽管最强的企业仍然是那几家。链霉素依然有着相当大量的供应商，但是后期引入的药品在每个市场往往只有一家或少数几家供应商。

创新突破与监管框架

抗生素开发之初，还没有规定要进行大规模试验。美国发生的与早期磺胺类药物相关的一系列死亡事件促成了1938年《食品药品化妆品法案》的通过，该法案赋予美国食品药品监督管理局（FDA）监管药品安全性和有效性的权力。⁷⁷该法案还规定，药品必须经过医生开设处方，而不能由柜台售卖。20世纪50和60年代，有关沙利度胺导致新生儿畸形的报告以及积极的市场营销带来了新一轮的监管浪潮。制药行业的一个特殊关注点就是已有抗生素——如青霉素和链霉素——固定剂量组合开具过多。尽管很少有证据表明这些抗生素组合的疗效如何，各家企业仍加以积极推广，导致了细菌的耐药性。⁷⁸在众多的修正措施中，这项立法旨在由FDA设立一个疗效标准，来确保新药确实有效用，同时促进竞争。⁷⁹1962年，《Kefauver-Harris修正案》规定将批准药品之前的随机临床试验加以制度化，从而有助于FDA实现现代化。

多数欧洲国家从20世纪60年代以来就已经增强了其产品准入规定。1971年的英国《药品法案》与美国的法案最为接近，但在欧洲其他地区，监管仍比英美两国薄弱。在德国，即便经历了沙利度胺的惨剧，仍有人强烈反对药品监管，并认为制药行业能够进行自我监管。法国、日本和意大利的规定也要远远宽松于美国。至少在20世纪90年代之前，欧洲各国对于药品监管的规定仍有着极大的变化。⁸⁰

在20世纪30年代末，美国监管政策的变化必然是有助于关闭了很多低质量药品零售商并促成了研发安全性更高、毒性更低的磺胺类药物变体。20世纪60、70年代起，英美两国实施更为严格的监管规定，对产业结构带来了影响，令实力薄弱、国际化程度低的制药企业不得不退出市场。这种改变提高了药品开发和审批的成本，但也可以说惩戒了缺乏创新精神的企业。在之后的数十年中，这些改变无疑在任何情况下都改变了制药企业的营销策略。此外，监管规定的另一个结果就是加强了产学纽带，因为日趋严格和复杂的临床试验需要那些有能力的医院来进行设计并实施。⁸¹

2.2.3 抗生素与知识产权制度

知识产权在各种抗生素的历史上扮演着不同的角色，并有大量的传闻证明了知识产权保护的潜力和局限。我们可以看到，在一些情况下，科学发现和生产方法已获得专利，但在其他的众多情况下，这些并没有获得专利。对于商标，已有系统性的使用方法，但往往被忽视和低估。此外，与其他监管一样，抗生素的创新突破也已影响到了知识产权制度，其程度不亚于这一制度对创新的刺激程度。

75. Temin (1979年, 1980年)。

76. Klepper和Simons (1997年)。

77. Temin (1979年, 1980年)。

78. Podolsky (2015年)。

79. Carpenter (2014年)。

80. Vogel (1988年)、McKelvey等 (2004年) 和Carpenter (2014年)。

81. McKelvey等 (2004年)。

通过专利来分配创新成果

专利制度的目标之一就是要通过分配发明成果来促进创新。这貌似为拜耳开发磺胺类药物提供了必要的激励机制。1932年12月25日，拜耳提交了其首份有关磺胺类药物的专利申请——申请名为《偶氮化合物的制备方法》——并于1935年获得专利权。⁸²多马克和拜耳的其他科学家们不仅立即开始对此化合物申请专利，还发现了所有有效的化合物并申请专利。到20世纪60年代，科学家们已经新申请了50多件磺胺类药品专利。这种积极申请专利的做法已在德国化工界传播开来。1905年到1915年间，德国化工企业赫斯特在埃利希的研究成果基础上申请了不下20件专利。其中多数是方法专利，因为德国——与当时多数其他国家一样——不允许授予药品以产品专利。⁸³实际来说，拜耳不是就该分子申请专利，而只是针对将偶氮染料和磺胺类药物加以结合的研究平台申请专利，在巴斯德研究所的发现推出后，该平台也变得并不相关。

相反地，通常认为，专利在青霉素的发现过程中并未发挥多少激励作用，因为纯青霉素的发现或合成都没有申请专利。⁸⁴尽管一些人认为，弗莱明决定不就青霉素申请专利的做法导致了青霉素花费了很长一段时间才得到商业化，但其他人却不以为然，理由是如果要就弗莱明在其论文中所描述的内容申请专利的话，那么该专利的范围太有限。类似地，一些人认为，即便牛津大学的团队要寻求专利保护，其结果也可能是不确定的，缘于以下理由：青霉素霉菌是一种天然产品；而要到1949年英国才开始批准制药领域的产品专利；在想到要申请专利之前，研发团队曾在一份出版物中披露过其合成方法。

无论如何，一些专利确实保护了青霉素大规模生产方法。1944年，Moyer和Robert Coghill提交了一份名为《青霉素高产率制造方法》的专利申请，于1947年获得授权，并转让给USDA。⁸⁵其没有对英国合作者予以承认最终导致了英国对此专利产生争议，一些英国研究人员还称，美国研究人员将一个公共发现据为己有。无论如何，认为英国已经失掉青霉素这一想法使得英国研究人员在随后更倾向于针对其他医学发现申请专利。⁸⁶还值得一提的是，大约在同一时间，英美的许多企业——如May & Baker、葛兰素、礼来和默克——也针对制备青霉素的方法提交了专利申请。

专利在激励抗生素后续开发上的重要性则更为明显。在第一代抗生素的价格竞争已经令这个行业无法盈利的年代，抗生素的后续开发显然是为了要开发出新的、独特的分子。特别是链霉素的发现正是得益于这种新方法，尽管最终其知识产权还是通过一种相对不受限制的方式得到保护。导致链霉素被发现的科研工作是在默克和瓦克斯曼签订的一份协议下完成的，该协议旨在发现能够申请专利的抗生素，以便让研发和临床试验得到回报。1945年，瓦克斯曼和Schatz提交了首份链霉素相关的专利申请，并于1948年转让给罗格斯研究捐款基金会（Rutgers Research and Endowment Foundation）。⁸⁷实际应用中，这意味着链霉素分子是可以得到专利保护的——尽管不是由默克提交的申请——而研究平台被保留在公有领域中。一些学者认为，这种设置对于促进后续创新是必不可少的。⁸⁸自然产品可通过结合使用方法来寻找这些产品的权利而获得专利保护提高了许多抗生素的可专利性前景，默克甚至整个行业都采用了这种方法。⁸⁹

82. 专利DE 607 537。

83. 德国的这条法律直到1968年才得到改变。类似地，英国、法国和意大利分别是在1949年、1967年和1978年才允许授予产品专利。参见Dutfield (2009年)。

84. Bentley (2009年)。

85. 专利US 2,423,873。

86. 参见Wainwright (1990年)。例如，弗洛里于1952年就头孢菌素的制备方法提交了专利申请，而该方法是基于Brotzu的发现（专利US 2,883,328）。

87. 专利US 2,449,866。

88. Temin (1980年)、Merges和Nelson (1990年)。

89. Kingston (2001年)。

合成青霉素的例子还反映了专利在抗生素产业的作用有所改变。根据Sheehan的记载,比起战时的天然青霉素,战后合成青霉素的专利前景对于制药企业而言要重要的多。1957年,Sheehan——他本人在默克的10余项青霉素和链霉素相关专利中都被列为发明人——在美国就合成青霉素提交了一份专利申请。同年,必成集团在英国提交了一份有关合成青霉素的专利申请,并于1960年获授权。⁹⁰必成集团表示,如果没有专利保护这种激励机制,那么最初就不会决定将药品研发扩展到半合成青霉素,也不会有人去从事导致新青霉素的发现和发展的基础工作。⁹¹

商标——另一种分配方式

即便没有巴斯德研究所的发现后随之而来的可维权的专利,拜耳仍然成功地通过磺胺类药物赢得了大量的利润。拜耳通过其首创能力、品牌效益和强有力的销售能力,保住了竞争优势。受商标保护的 brand 认可度被证明是一个有益的战略,对拜耳而言如此,更普遍来说,对整个行业也是如此。⁹²拜耳先将其磺胺类药物命名为Streptozon来营销,后来将其命名为Prontosil、Prontylin和Prontalbin。

正如德国人对磺胺类药物的处理方式一样,企业开始积极地使用品牌来试图增强并延长其市场地位。在激烈的同类竞争为早期抗生素带来价格压力的情况下,这一点尤为重要。⁹³到1954年,美国市场上有超过一百种抗生素,具有超过六百个商品名,这显然令医生无所适从。⁹⁴对此,各家企业开始投入资金向医生开展推广。多数大药厂投入巨资来扩大其销售队伍。从而,对制药企业来说,市场营销和销售变得和研发至少同等重要。企业平均花费大约三分之一的销售收入来开展营销,但是投入研发活动的经费却不足六分之一。⁹⁵

公开、合作与传播

专利制度的另一个目标就是促进信息公开。有关磺胺类药物发展的一些记载表明,拜耳曾担心公开发明所带来的影响,这延迟了其申请专利保护的时间,使其直到磺胺类药物的其他变体被发现才开始申请专利保护。想要永远保护住这个领域是不可能的,因为其早先的工作已经表明,任意数量的偶氮染料衍生物都具有药用活性。拜耳没法将其都申请专利,但是延迟申请给了其时间来发现最有价值的化合物并申请专利。⁹⁶在获得了首件专利后,多马克发表了一篇关于该发现的论文,拜耳则更广泛地将其用于实验,包括在多家医院。⁹⁷然而,考虑到对逆向工程的担忧,拜耳显然努力想要避免在撰写专利时将信息完全公开。主要的磺胺类药物专利的公开至少以晦涩的语言揭示了如何复制Streptozon。⁹⁸无论其来源是科技出版物还是专利文献,信息公开最终都会令巴斯德研究所的研究人员能够进行实验进而确定出磺胺——一种已知的分子——是关键性成分。信息公开以及随后围绕已有专利进行发明无疑都鼓励了新发现,同时也使得拜耳的专利毫无价值。

提供一个用以公开信息的框架也会促进合作。根据研究先驱们的记载,专利促成了学术界和产业界之间开展合作,生产出早期的半合成青霉素。Sheehan申请专利的动机之一就是能够更自由地与Bristol实验室开展合作。⁹⁹类似地,专利保护让必成成功说服Bristol实验室分享其生产方面的技术诀窍。但令人遗憾的是,这项合作最终还是流产了,因为在Sheehan还是必成集团对6-APA具有优先权这一问题上长期存在着法律纠纷。这一纠纷最终于1979年得以解决,结果有利于Sheehan。如前所述,罗格斯和默克之间的科研合作促成了链霉素的诞生,而这项合作也是通过专利权来加以支持的。¹⁰⁰

90. 专利GB 838,974。

91. Taylor等 (1973年), 第259页。

92. Dutfeld (2009年)。

93. Temin (1979年, 1980年)。

94. Welch (1954年)。

95. Achilladelis (1993年)。

96. Hager (2006年)。

97. G. Domagk (1935年), *Dtsch. Med. Wochenschr.*, 61, 第573页。

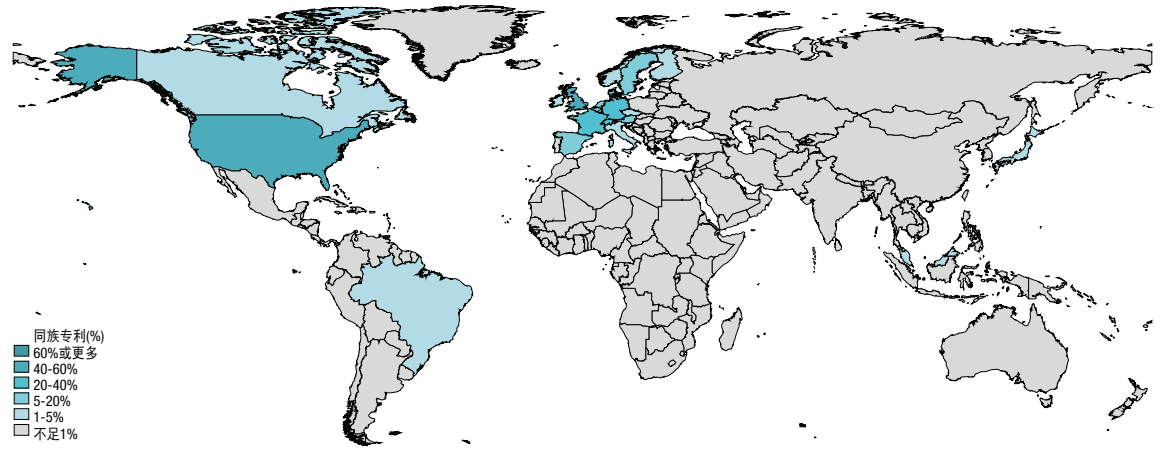
98. Hager (2006年)。

99. Sheehan (1982年)。

100. 但是, 在Waksman还是Schatz应当受益于这一发现以及许可费的问题上尚存争议。1950年美国法庭的一项判决结束了这一争议, 结果利于Schatz。

图2.6: 在美国和英国之外寻求抗生素的有限专利保护

1970年之前, 申请人在给定国家寻求保护的全球同族专利份额



资料来源: WIPO根据PATSTAT数据库 (参见技术注释)。

所有这些突破性发明在工业化国家得到迅速传播并以低成本得到产业化, 表明专利并未阻碍其推广。如前所述, 在巴斯德研究所的发现之后, 磺胺类药物的基础化合物是不可专利的, 弗莱明发现的青霉素似乎也是同样的情况。这种缺乏可专利性会有助于推动发明广泛的传播。在链霉素的案例中, 迫于来自瓦克斯曼和罗格斯的压力, 默克同意广泛将其许可出去。此外, 即便在发达国家, 产品专利也是到20世纪60年代才被广为接受, 多数发展中国家直到1995年《与贸易有关的知识产权协定》(TRIPS) 出现后才准许授予药物产品专利。¹⁰¹一些学者曾指出, 尽管如此, 将突破性抗生素推广到发展中国家还是花费了相当长的时间。¹⁰²而且, 这些抗生素治愈的众多传染病即便在今时今日还依然引发问题, 而专利却早已过期。对历史上这一系列抗生素审视一番就能发现, 这种情况不仅仅出现在发展中国家(图2.6)。20世纪70年代之前提交的专利中, 有很大一部分只在英美两国寻求保护, 使得多数发明在众多竞争企业所属的司法辖区——如德国、法国、瑞士和日本——都能被使用。

专利制度与科技和产业共同发展

从许多方面来说, 抗生素革命创造了制药产业, 并在随后的几年里引发了产业内的剧变。正如前文对广谱抗生素的讨论中所提到的, 最初的创新突破产生了利润, 并培养了能力, 为随后研发其他抗生素和其他药物铺平道路。在所有的药品种类中, 随后的研发工作目的明确, 就是要获得可专利的发明, 以便独家生产。这一做法得到了那些积极开展研发的纵向整合的大企业的支持。专利诉讼和专利竞赛变得更加普遍。企业一旦获得了专利, 就会加大药品的营销力度。市场营销的扩大, 结合了对不当使用和高定价的担忧, 推动了新的药品监管, 也有人认为这样反而提高了药品研发的成本, 并可能也提高了专利保护的重要性。

101. Deere (2008年)。
102. Cutler等 (2006年)。

从这些创新突破中,我们可以看到,科学、技术、法律和企业战略是共同发展的。这使得要梳理出专利和其他知识产权与创新之间的因果关系变得十分困难。同时也很难明确地说,抗生素的突破性发展会如何影响薄弱或强有力的专利。但是,抗生素革命有助于通过能力培养和获取利润来催生后续创新、重塑专利法、专利标准和企业的专利战略,从而最终创造出现代化专利密集型制药产业,这一点无疑是明确的。

链霉素是促使美国专利法修订的先例之一。早先,具备可专利性需要“创新天才的灵光一现”。这一标准阻碍了众多抗生素专利,因为这些抗生素都是通过众所周知的技术来开发的。1952年《专利法案》将“创新天才”这一规定修改为“非显而易见性”,这可能更容易让常规化大规模研发工作产出专利来。¹⁰³其他一些国家也随着作出非显而易见性或“创造性”规定,包括日本在1959年、瑞典在1967年、以及英法两国在1968年分别如是规定。¹⁰⁴与非显而易见性规定相同,组合物专利的授予也是制药产业的一个重要先例。

大约在同时,美国立法也作出了一些其他修改,旨在让FDA设立疗效标准来确保新药能发挥效用,并消除“跟风”专利和固定剂量组合药物专利。¹⁰⁵《Kefauver-Harris修正案》的原始法案还包括了强制许可规定,基本允许进入市场三年,以换取合理的许可费。可以说,这些修订源于对抗生素专利独占权带来的负面影响的担忧,但也常常被引用来解释为何制药领域的专利保护比其他领域要更加重要。一方面,试验大幅提高了研发成本,使得有必要寻求较长的专利保护期来补偿投资回报。而另一方面,开展试验的需求也使得围绕一项专利来进行发明创造变得更困难。我们可以对一个分子进行调整,但要将这一调整后的分子引入市场,其成本就很高了,因为规定要求进行昂贵的新药试验。

在20世纪70年代之前,学术机构不愿意积极参与专利申请和许可活动,特别是卫生相关技术的此类活动。¹⁰⁶在几乎全部所讨论过的案例中,学者们对于就公共卫生相关的技术申请专利总有些谨小慎微。学术机构的态度也一样勉强。例如,Sheehan的合成青霉素专利的受让人并不是MIT而是Research Corporation——一家成立于1912年的第三方技术转让代理机构——该代理机构在战后为多家机构处理学术专利问题。不光是学术机构不愿涉足专利许可活动;如果它们参与进来,正如链霉素的案例中那样,学术机构会倾向于采取一种广泛的方式,并且支持加强竞争。在之后的数十年中,美国的学术机构变得稍微愿意参与到医药发明专利申请和许可中来。经过一系列发展,1980年的《Bayh-Dole法案》被推上顶点,之后联邦政策便开始支持公共医药研究成果能够申请专利并独家许可。这种对专利申请和许可的关注是否及如何影响那些对创新突破甚为重要的其他类型的产学互动和技术转让渠道,尚不明确。¹⁰⁷

正如第2.2.1节中所提及的,对抗生素耐受菌株的担忧在不断增多。有人认为,这会对开发新抗生素的激励机制带来巨大的影响,推动与制药产业相关的制度性及监管性框架发生改变,包括那些可能与专利制度相关的此类框架。¹⁰⁸然而,这些动态因素会如何发挥作用尚不明确。

103. Dufield (2009年)、Kingston (2004年)。

104. Kingston (2001年)。

105. Carpenter (2014年)。

106. Mowery和Sampat (2001a, b)。

107. Mowery等 (2004年)。

108. Outtersen等 (2007年)、So等 (2011年) 以及Jaczynska等 (2015年)。

2.3 半导体

“集成电路实现了诸如家用计算机……汽车自动控制器、个人便携式通信设备这样的奇迹。如今，电子手表只需要一个显示器便可成为现实。”

戈登·摩尔，
英特尔联合创始人，1965年

半导体是一种仅能在特定条件下导电的材料。这种特性使得这种材料成为控制电流的理想介质，半导体设备从而能够开关、放大和转换电流。半导体技术始于ICT产业和当今数字经济发展之初。半导体的发明使得大型机迅速发展，随后个人电脑也迅速崛起，催生了整个产业和机构——如医院、学校、交通和家居——的数字化。¹⁰⁹

2.3.1 半导体的发展及其对经济的贡献

1928年，亚历山德罗·伏打在对材料的电性质进行实验时首次用到了“半导体”这个词。半导体的技术突破起源于一系列的科学发现和技术发明，被微处理器发明推到巅峰，微处理器则是所有个人电脑或具有处理能力的设备的核心。

半导体的发展可以分为四个历史时期：真空管时期、晶体管时期、集成电路时期和微处理器时期。简单地说，微处理器由大量的集成电路组成，而集成电路只是一块芯片上集成了成堆的大量的相互连接的晶体管。

真空管 (1900年-1945年)：为半导体行业打下科学基础

在科研探索了一个多世纪之后，1904年，贾格迪什·博斯获得了首个利用半导体的特性来探测电磁波用于无线电的设备专利。¹¹⁰1908年，李·德富雷斯特申请真空三极管专利，这是一种探测并放大微弱无线电信号的设备。¹¹¹这些设备还被用作整流器，将交流电转换为直流电。一战为新一代放大器的发展及其大规模生产提供了契机。电话业务量的增长也为放大器带来了额外的需求。¹¹²战后，基于真空管的放大器促进了电话、无线电和计算机的发展。

然而，真空管也伴随着众多的技术问题。真空管中的金属会烧熔，往往体积太大，性能过于不可靠，耗能也大。二战期间，军方——尤其是美国军方——需要大量的高质量雷达接收器。同时在英国，军方的需求及其在布莱切利园付出的努力也推动了首台可编程电子计算机——“巨人”——的成功开发。

尽管真空管比早先的技术更为可靠，也有更多的应用，但随着工业生产的进程，其缺陷也日益明显，从而成为一个重要的科研挑战。

晶体管 (1945年-1950年代)：从贝尔的发明到 (竞争) 企业的创新

战后，美国电话电报公司 (AT&T) 的子公司贝尔电话实验室成为这一行业未来创新的主导力量之一。1947年12月，贝尔宣布，威廉·肖克利的研发团队——在不经意的情况下——完成了晶体管发明。不久之后，肖克利离开了贝尔实验室，成立了自己的公司——肖克利半导体实验室。在电子设备的发展过程中，晶体管发挥着关键性的作用。晶体管体积小、发热量低、可靠度高、能耗要求低，这些都有助于实现复杂电路的小型化，而计算机正需要这项技术。

109. 本部分内容参考了Hoeren (2015a)。

110. 专利US 755,840。

111. 专利US 879,532。

112. Levin (1982年)。

欧洲的研究人员和企业在技术上也相当先进，足以开发并制造晶体管。1948年8月，来自法国西屋制动及信号公司 (Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse) 的德国物理学家Herbert Mataré和Heinrich Welker提交了一份“le transistron”的专利申请。其研究工作是独立进行的，与贝尔实验室的研究刚好同步。在贝尔宣布消息仅一周后，荷兰的飞利浦也制造出一种有效的晶体管，随后法国的汤姆森-休斯顿、英国General Electric Corporation和Standard Telephones and Cables也纷纷完成了类似工作。¹¹³

一系列的产品和工艺创新改进了第一代晶体管，最终促成了Jean Hoerni的平面晶体管发明。Hoerni随后便离开了肖克利半导体实验室并创建了仙童半导体公司 (Fairchild Semiconductor)。

集成电路 (1960s)：个人创业的崛起和摩尔定律

晶体管的下一代产品——集成电路——是由德州仪器的Jack Kilby和仙童半导体公司的Robert Noyce于1959年各自独立开发并申请专利的。¹¹⁴欧洲科学家开展的独立研究也都指向了类似的方向。1952年，英国物理学家G.W.A. Dummer与Kilby产生了同样的灵感。而根据他的想法，英国企业Plessey制造出世界上第一款集成电路模型。

与分立晶体管相比，集成电路的价格更具竞争力，能够确保这项技术的快速传播，尤其是推动这项技术用于军用或大型商用大型机，之后用于企业和实验室中的大型计算机。将集成电路进一步小型化并提升其计算能力便成为半导体产业的目标。仙童半导体公司和英特尔的创始人之一——戈登·摩尔于1965作出预测，单个芯片上的晶体管的数量每12个月翻一番——之后他将这一说法改为每24个月翻一番，在之后的十年中，这一预测的准确性得到广泛证明，成为了今天我们所熟知的摩尔定律。

微处理器 (1970年代-1990年代)：半导体应用于个人电脑

微处理器推动了个人电脑的发展，实现了将计算机带入家庭和小企业。微处理器比集成电路要复杂得多。单个芯片包含了超过10万个组件和门电路。

1970年和1971年间，德州仪器和英特尔都宣称已经开发出首款微处理器。从20世纪70年代起，日本厂商开发出微处理器并大规模生产，为英特尔和多数美国企业带来了重大挑战 (参见第2.3.3节)。

同时，工艺创新和计算机辅助设计工具的开发使得芯片产品设计与芯片制造相互独立开来。这一重要的创新令各家企业开始转向专业化。其也为新企业——尤其是亚洲的新企业——带来了市场契机，因为这些新企业能够以低廉的价格大规模生产芯片，供应全球的ICT生产。

半导体对经济的贡献

半导体对经济产生的巨大影响一直持续到今天。到20世纪70年代，半导体设备才被用来产生并控制电流以及探测无线电信号。包括交通、化工、铝工业在内的各行各业都采用了高生产率的半导体设备。之后，半导体便催生了ICT产业的发展，也带来了其他众多行业的增长。

半导体产业本身也已经保持增长了超过四十年。2015年，全球半导体市场总量约为3470亿美元，而1976年这一数字仅为约30亿美元 (参见图2.7)。起初，需求的增长来源于计算机和电子消费品。今天，车载产品和无线产品成为主要增长点。¹¹⁵

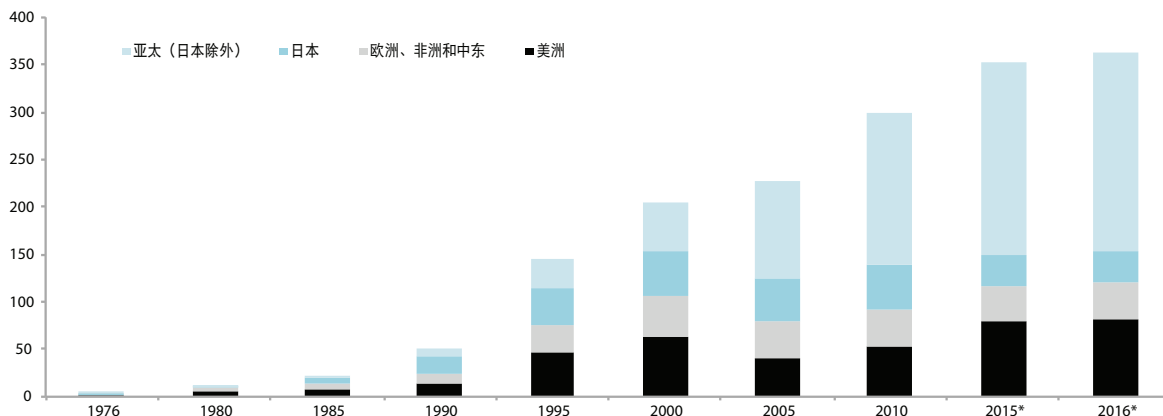
113. Malerba (1985年)。

114. 因其突破性发明而获得2005年诺贝尔物理学奖。

115. WSTS (2015年)。

图2.7: 全球半导体销售额增长块、地区变化大

以十亿美元计, 当前价格, 1976年-2016年



注释: 图中的地区遵照WSTS的定义。*估算值

资料来源: WIPO基于历史订单报告和WSTS (2015年)。

半导体生产在地理上的一个重要迁移就发生在此时期。1976年, 将近70%的产量来自于美国, 20%来自欧洲, 5%来自日本。到1990年, 美国的份额跌落到约30%, 而日本所占比例则上升到40%。自此之后, 美欧日的份额都开始下滑, 亚太地区——主要是中国台湾省和大韩民国——已经占到2015年销售额的将近60%。

ICT和互联网的使用转变了现有的产业模式, 开创了一个全新的产业——包括零售、分销、能源、金融、交通和卫生; ICT对人们的学习、旅行、工作和社交方式都带来了影响。

经济学家们已经开始对ICT对经济增长的广泛贡献开展量化分析 (参见本报告上一章第1.2节和框1.2)。他们明确了历史上出现过的三类增长渠道。¹¹⁶

第一, 对ICT行业的投资有助于总体资本深化。¹¹⁷第二, ICT行业的技术进步推动了ICT生产行业的全要素生产率 (TFP) 增长。芯片的质量和运行速度稳步增长的同时成本保持下降, 促进了其广泛推广。¹¹⁸第三, 与其他种类的通用目的技术相类似, 经历了很长一段时间后, 所有经济部门更广泛地采用计算机提高了整体经济的全要素生产率。因为ICT投资也伴生了组织机构和工艺创新, 同时也由于网络效应, 企业运营和市场交易都变的更为高效。

经验性研究表明, 上述这三类增长渠道确实都存在, 但研究也指出了一些需要注意之处, 特别是有关第三类渠道。我们都知道, 自20世纪90年中期开始, ICT生产行业已经极大拉动了多个高收入国家的生产率增长。¹¹⁹在美国, 从20世纪70年代中期开始, ICT对劳动力生产率增长的贡献就已经显而易见 (参见框1.2)。而实际上, 直到近期的经济危机及之后, ICT投资都持续对含有附加值的成长产生了积极的影响。¹²⁰

117. Stiroh (2002年)。

118. Jorgenson (2001年)。

119. Jorgenson和Stiroh (2000年), 及 Colecchia和Schreyer (2002年)。

120. Van Ark (2014年)。

116. OECD (2004年)、Van Ark和Inklaar (2005年)。

此外，美国和其他一些高收入国家在20世纪前十年中都开展了一些研究，其中多数研究都表明，相比于ICT生产部门，ICT使用部门中增效明显，尤其是服务性行业更是如此。¹²¹

ICT投资所产生的这些收益尚未惠及所有国家。人们担心的是，ICT驱动的生产率增长在欧洲或日本的普及程度甚至都不及在美国。¹²²一些研究也指出，高收入国家ICT资本深化对生产率带来的影响目前已经到达峰值（参见第1.5节）。¹²³

半导体已经开始扩散到新兴经济体，有时扩散迅猛。2015年，中国成为最大的半导体市场，印度、俄罗斯联邦和巴西紧随其后。¹²⁴同样，在某些中低收入经济体，ICT在提升市场效率方面已经发挥了重要作用，譬如通过创建新的支付服务或进一步刺激创新等途径。毫无疑问，这一潜力在发展中经济体中远未枯竭。就半导体生产而言，一些经济体——如中国、马来西亚、中国台湾以及其他一些亚洲经济体——承担着一些最大规模的装配和制造业务。而关于半导体创新——除了几个例外情况，如中国和其他几个亚洲国家以及拉丁美洲——尤其是阿根廷、巴西和哥斯达黎加，多数的高附加值产业——如芯片设计——仍然聚集在高收入国家。

2.3.2 半导体创新生态系统

半导体创新生态系统随着时间得到了极大的发展，尤其反映了从早期发明和首次商业化向大规模生产和推广的演变。就三个主要地区而言——即美国、欧洲和日本，每个地区的创新系统都有着特点鲜明的结构，为创新和推广起到了独特的作用。

在美国，硅谷产业集群为专门化的企业的出现和与老牌大型企业共生创造了条件。在日本，大企业——最初靠美国的技术许可起家——实现了大规模低成本的生产业务，并在技术和组织层面上双双引入了创新。在欧洲，扎实的基础研究系统、大企业的统治性地位——以及产业政策方面用以创造并维持这些大企业的努力——以及对消费品市场的关注，这一切都令企业能够在消费品行业半导体市场中获得稳固的具有竞争力的地位。

除了20世纪60年代之前的较早阶段，半导体创新的所有这些阶段在很大程度上都依赖于基础科学的进步以及其与公共研究、大学研究之间的关系。此外，知识的快速推广也促进了全球创新。

半导体创新主要得益于政府支持和政策，后者往往是以需求和采购半导体设备以及产业及贸易政策的方式来体现。

早期集中于欧美，并向亚洲扩散

半导体行业的多数创新集中于一些集群中。位于美国旧金山湾区的硅谷已经成为ICT创业、活力和创新的一个代名词。日本的东京和大阪-神户地区也成为半导体产业集群的一个重要代表。¹²⁵

121. Jorgenson和Stiroh (2000年)、Pilat和Wölfl (2004年)、Bosworth和Triplett (2007年) 以及OECD (2015年)。

122. Colecchia和Schreyer (2002年)、Jorgenson和Motohashi (2005年) 及van Ark (2014年)。

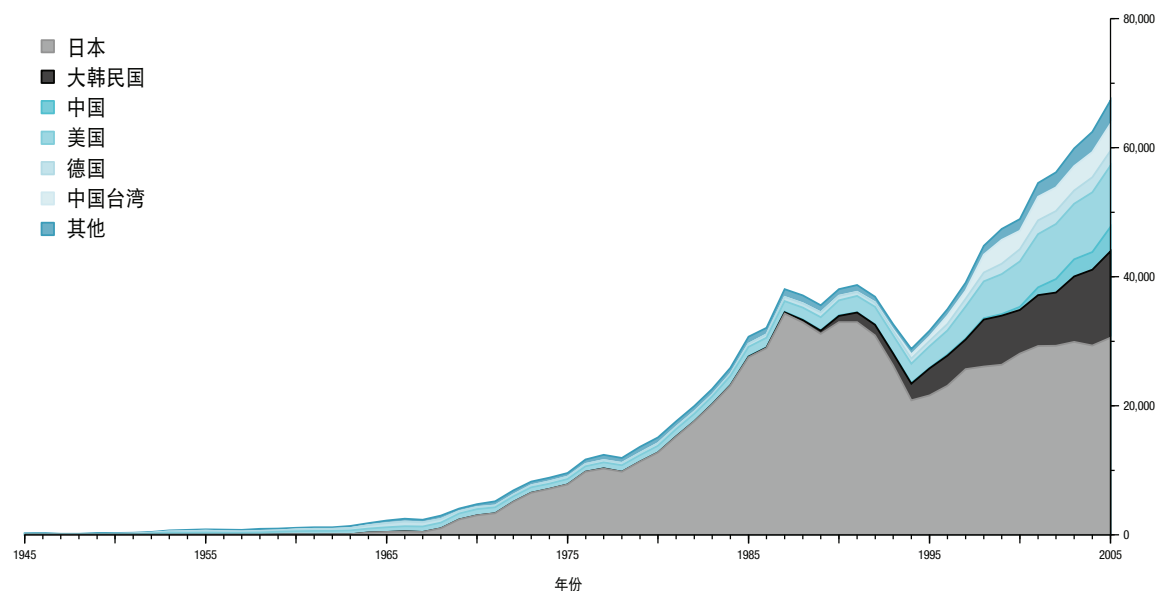
123. Gordon (2012年) 及van Ark (2014年)。

124. PwC (2014年)。

125. Morris (1990年)。

图2.8: 半导体专利申请增长迅猛 (尤其在美日两国)

按来源国统计的专利申请量, 1945年-2005年



资料来源: WIPO的基于PATSTAT数据库 (参见技术注释)

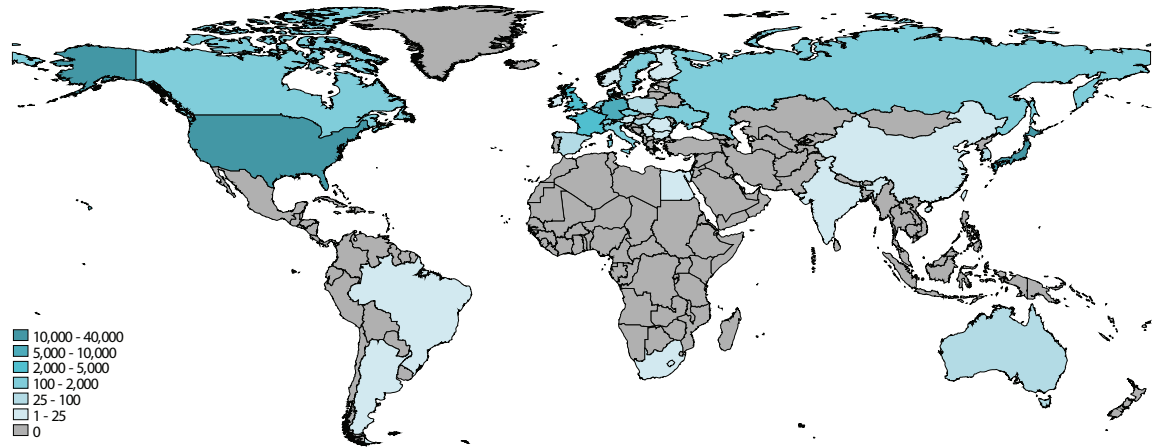
图2.8表明了1945年到2005年间全球半导体领域首次专利申请量。这一时期涵盖了发明阶段——从1947年晶体管到1971年微处理器的发明——以及随后的推广应用阶段。在第一个阶段，在半导体专利申请方面，美国和日本领先，德国、英国、法国和荷兰紧随其后。到1971年为止，美国发明人每年平均提交这个领域内专利总量的40%。直到20世纪60年代，来自日本的发明人提交的专利申请约占总量的1%；但到了1980年，他们的份额上升到了85%，并在1986年到达最高峰90%。同样地，到20世纪80年代末，大韩民国发明人提交的专利份额还近乎为零，但到2005年，这一数字已经上升到20%。日本发明人提交的专利份额居高不下，至少在一定程度上与专利洪水这一做法有关，具体来说，日本企业会围绕已经被美国企业申请了专利的核心技术进行微小的修改并提交众多的专利申请。日本专利制度的规定是允许这种做法的。¹²⁶

图2.9表明1945年到1975年间（上图）发明阶段的首次专利申请的来源，并将这一数据与1976年到2005年间（下图）的数据进行了对比。每个时期各有三个国家占到了全球半导体专利的89%：1945年到1975年间，这三个国家是日本、美国和德国，到第二个时期，则为日本、美国和大韩民国。在第二个时期，中国台湾和中国加入到专利申请人前六位。其他一些经济体——如新加坡、以色列、俄罗斯联邦以及包括马来西亚、印度和南非在内的中等收入国家——的专利申请也有增长，即便专利申请量要低得多。

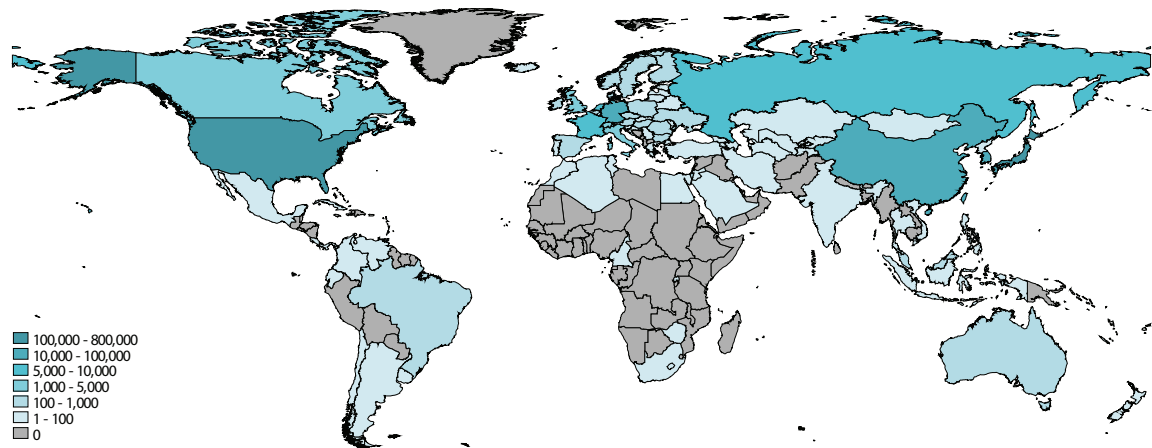
126. 例如参见Wolfson (1993年)。

图2.9: 美国、德国和日本及其他亚洲国家的专利申请

1945年-1975年按来源国统计的首次专利申请



1976年-2005年按地区统计的首次专利申请



资料来源: WIPO的基于PATSTAT数据库(参见技术注释)。

半导体创新生态系统的发展

第2.3.1节描述了半导体创新生态系统在各个技术阶段的发展。

真空管: 大型综合企业和对基础研究的迫切需求

大型综合企业——多数为电气电子系统公司, 诸如美国的西电公司、荷兰的飞利浦、德国的西门子和日本的NEC——成为半导体的主要生产商, 形成了稳定的市场垄断地位。美国和企业则有赖于其强有力的研发部门和大学的研发能力。在当时, 日本企业的创新工作是通过吸收外国技术来推动的。

晶体管: 美国的产业分类和新加入者们

在这个时期, 科学与技术知识之间的相互影响对于新兴半导体设备的发展是至关重要的。¹²⁷在美国, 斯坦福大学、MIT和加州大学伯克利分校集中了大量知识丰富的科学家和工程师, 吸引了企业落户到当地。基础研究与应用研究之间的相互影响如此重要, 以至于大企业都设立了自己的研究实验室——譬如AT&T和贝尔实验室。

在欧洲和日本, 主要生产商们依然是电气设备行业的那些大型综合企业, 即便日本的那些实际和潜在参与者——如索尼公司——引入了一些竞争。在美国, 大企业与新参与者们共同存在。这种新参与者有两种类型: 之前从事其他产业的企业, 如Hughes和德州仪器; 以及本就制造半导体的企业, 如Transitron。

美国企业主要服务于军方机构; 欧洲和日本企业则服务于民用市场, 尤其是收音机和电视领域。这两个市场的需求有着很大的不同。在欧洲和日本, 成本、可靠性以及探测信号能力得到增强已成为研究的主要关注点, 并将锗选定为晶体管的首选材料。在美国, 尺寸和功耗则成为新设备的明确目标, 并引导制造商们以硅来替代锗。¹²⁸随后, 硅逐渐成为多数应用中首选的半导体材料。

集成电路: 美国出现创业潮, 但欧洲和日本仍乏动力

美国与欧洲和日本的创新生态系统之间的差别扩大。

在美国, 集成电路细分市场吸引了众多创业科学家的注意, 让这些科学家离开了大企业并开设其自身的集成电路企业。行业集群和风险资本为人员流动带来便利, 从而带动了这一风潮。¹²⁹到1966年, 美国的主要半导体生产商主要是那些专业的半导体企业——德州仪器、仙童、摩托罗拉——大型电气企业紧随其后, 如西电公司和通用电气。

在欧洲, 消费品市场依旧是半导体的主要用户群。因此, 主要的生产商们——飞利浦和西门子——在使用锗方面已经积累了扎实的专门知识, 这些企业继续从事晶体管的大规模生产, 并不愿意将业务转向硅和集成电路。在欧洲, 像英国的Plessey and Ferranti、法国的COSEM和德国的Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft AEG Telefunken这类规模较小的企业都转向了集成电路生产。然而, 这类企业转型较晚且资金有限, 无法得到充分的增长。此外, 消费品市场驱使欧洲企业在模拟集成电路和数字集成电路之间选择了前者。由于硅和数字集成电路都逐渐统治了这个行业, 因而欧洲生产商们在这些技术上的选择令其处于劣势。因此, 欧洲的计算机和数字设备市场很大程度上是通过从美国或从美国企业在欧洲的子公司进口来得到满足, 而欧洲企业在电子消费品行业维持了强有力的商业地位。¹³⁰宽泛地讲, 美国的初创企业促进了行业展现出更大的活力, 推动了行业更快地向现代化集成电路转型。

日本半导体产业呈现出与欧洲相同的一些特质, 尽管日本在技术上还有所落后。进入集成电路时代之后, 大型综合企业统治了这一行业。此外, 各家企业也开始放眼于消费品市场, 尤其是计算器市场, 且不愿意转向硅器件。

127. 例如, 在20世纪40年代末, 普渡大学的研究人员几乎就发明出了晶体管。

128. Malerba (1985年)、Langlois和Steinmueller (1999年)。

129. 离开Shockley半导体实验室的工程师们与仙童相机与仪器公司——资助建立仙童半导体公司的企业——签署了首份此类协议, 推动了风险资本行业的形成 (Lécuyer和Brock, 2010年)。

130. Malerba (1985年)。

表2.4: 半导体生态系统的发展 (1900年-1990年代)

	行业领导者	创新类型	主要用户群
真空管	集成电气企业 (EU/US/JP)	通过科学发现实现产品创新	军用雷达 (US) 消费品市场——电视和收音机 (EU/JP) 供电、交通和冶金行业 (EU)
晶体管	1. 集成电气企业 (EU/US/JP) 2. 专业企业 (美国)	通过应用研究与工程学实现产品创新	军用及计算机 (US) 消费品市场——电视和收音机 (EU/JP)
集成电路	1. 集成电气企业 (EU/JP) 2. 初创企业 (US)	产品和工艺创新, 组织机构创新	大型机和微机 (US) 消费品市场 (EU/JP)
微处理器	1. 整合元件制造商 (US/EU/JP/KR) 2. 无工厂企业 (US) 3. 代工厂 (TW/SG/MY/TH/CN)	产品和工艺创新, 组织机构创新	个人电脑 (US) 电子消费品、电子通信和汽车 (EU) 电子消费品 (JP)

注释: EU欧洲、JP日本、KR大韩民国、TW中国台湾省、SG新加坡、MY马来西亚、TH泰国、CN中国。

在这个时期, 研发与生产之间的互动对创新至关重要。例如, 德州仪器采用了一种组织架构, 能够促进各不同部门之间的关系。这是这家公司的成功要素之一。¹³¹同样地, 仙童半导体公司的平面晶体管发明也是借助了生产部门的一名领班的突发奇想而开展的研发工作成果。¹³²

微处理器: 设计与生产之间的劳动力分工逐渐扩大

工艺创新弱化了研发与生产之间的相互独立性。此外, 微处理器的复杂性意味着生产微处理器需要投入更多的资金。因此, 三类企业应运而生: 自身从事生产和设计的企业, 也被称为整合元件制造商 (IDM); 专门从事设计工作的企业, 也被称为无工厂企业; 以及专门从事生产的企业, 即所谓的代工厂。将半导体应用于无线通信和消费者产品——如视频游戏——也有助于促进专业化。这些市场要零碎分散得多, 其产品生命周期也比计算机市场要短得多。

在美国, 英特尔作为微处理器市场中的领导者以及多数半导体企业都专注于设计密集型芯片, 以获得更高的利润。其中一些企业——如英特尔和德州仪器——继续维持其生产设施, 逐渐发展为IDM。其他一些企业——如高通——则选择了无工厂商业模式并将制造工作外包给代工厂。多数日本企业——如NEC、东芝和日立——也成为了IDM, 但其侧重于标准化的半导体设备。同样, 大韩民国的三星、现代和LG电子在存储芯片销售方面成为世界领先企业。代工厂则主要集中在台湾。1996年, 中国台湾的主要代工厂——台积电、联华电子公司和华邦科技——的产量占到了美国无生产企业所需产量的40%。¹³³20世纪90年代末, 亚洲其他经济体的企业——如新加坡、马来西亚、泰国和中国——开始进入代工行业。

美国企业侧重于计算机应用, 日本企业则侧重于电子消费品。日本企业的规模和多元化使其能够在销售下行时期依赖于内部资本转移, 来确保稳定的高投资率。日本企业的另一个特点就是其专注于质量控制: 全质量管理这种做法推动了自动化流程控制和监测。这为改进质量和生产率带来了显著的效果。最后, 日本流行的终身聘用制限制了知识的推广和所获技术诀窍的流失。

131. Morris (1990年)。

132. Lécuyer和Brock (2010年)。

133. Langlois和Steinmueller (1999年)。

欧洲企业采取的战略是并购美国企业，并与老牌微处理器生产商来开展研发合作。这使得欧洲企业能够将新技术用于电子消费品、电子通信和汽车应用中。飞利浦、西门子和SGS-Thomson保持着在国际电子消费品市场的商业地位，并催生出一些专业半导体企业，这些企业在后来都取得了成功。¹³⁴

政府在研发创新的融资和推动方面发挥的关键性作用

政府通过各类机制推动了半导体行业的发展，各国政府推行的机制各不相同。

美国于1949年拨给贝尔实验室研究经费、用于试点合同的研发与制造经费、以及其他所有各类直接和间接的财政资助，总共占到了20世纪50年代末期半导体行业全部研发经费的四分之一。¹³⁵财政资助一直持续到1987年的SEMATECH项目，该项目还涵盖了各竞争企业之间的研发合作。美国政府及其军方机构确保了美国半导体产业具有稳定的需求来源。一项“只买美国货”的政策也使得本国竞价相比外国更具竞争力。政府还通过颁布技术规定来对半导体行业施加影响。小型化正是由此而来。政府推出的计划设立了实验室和研究机构网络。政府资助的研究项目侧重于应用研究，这些项目都是跨学科的，涉及到研究方和制造方之间的密切合作。关于监管环境，1956年做出的一项反垄断判决让AT&T不得商业销售半导体，这为其他大企业和初创企业带来了商业契机。美国政府还推动了产品标准化的进程，令企业能够拥有更大的市场，从而从规模经济中获益。1984年的《国家合作研究法案》也推动了联合研究的开展。¹³⁶

欧洲不存在军方合同，当有资助时，几乎也很少有成果可实现向商业应用的转化。¹³⁷政府并不投入相同的资金来支持半导体行业的发展。在欧洲企业试图在微处理器行业中赶上美国企业时，更大规模的财政资助才姗姗来迟。政府设立的研究实验室更热衷于基础研究而非应用研究。¹³⁸补贴、关税、非关税壁垒和竞争政策都对国内龙头企业予以支持。缘于欧洲市场零碎分散，其有限的业务规模对这些政策的成果也带来了影响。¹³⁹此外，国家采购——譬如电信行业——进一步深化了市场的分散化。

同样，军方采购在日本半导体行业的发展过程中也没有发挥什么作用。然而，日本政府通过其通商产业省（MITI）对这一行业施加了巨大的影响。其影响最深远的活动之一就是超大规模集成电路（VLSI）项目（1976年-1980年），这是一个包括富士通、NEC、日立、三菱和东芝在内的行业联盟。与欧洲一样，日本通商产业省通过高关税和非关税壁垒以及公共采购中对本国企业提供优惠来支持本国产业的发展。政府还通过资本控制来阻止外国企业成立全资子公司，并控制日美企业之间的许可协议。¹⁴⁰资金由日本银行来管控的国有银行能够在其提供借贷的企业中持有等量的股份。因此，即便在没有投资回报的情况下，银行业也对国有企业提供着支持，从而维持企业的高投资率。

134. Malerba (1985年)、Langlois和Steinmueller (1999年)。

135. Tilton (1971年)。

136. Langlois和Steinmueller (1999年)。

137. 例如，参见英国在二战期间为破译密码开发的“巨人”计算机这一案例。

138. Malerba (1985年)。

139. Morris (1990年)。

140. Nakagawa (1985年)、Flamm (1996年)、Langlois和Steinmueller (1999年)以及Hoeren (2015a)。

2.3.3 半导体与知识产权制度

在创新和商业化的各个阶段中，分配和知识产权战略也自然得到发展。分配与知识产权战略往往特定于具体参与者，各个国家之间也存在着巨大的差别。但是，也可能都具有一些广泛的特性。

专利：从开放式的战略到更具防御性的专利申请战略？

由于硅谷科学家的高流动性以及研究人员公开其发明的意愿，因而在美国，保密并不是一种有实效的战略。而在日本，职工受益于终身聘用制，因而很少会离开所在的公司，从而信息就能被保存在公司内部。商业秘密法就极少被用到。

半导体创新的时期恰逢专利被密集使用。前文所讨论的所有阶段都涉及到大量的专利申请，多数专利涉及到那些对半导体行业的进一步发展至关重要的发明。从早期开始，专利申请就表现出显著的增长（参见图2.8）。这种密集使用非常显著，因为半导体的布图原则上是不能通过传统的专利权来予以法律保护的。而实际上，集成电路的布图被认为是现有布图的显而易见的变化形式，不得授予专利保护。¹⁴¹从业务角度来看也是如此，集成电路的生命周期较短，使得其他的分配方式更具吸引力。而实际上，在这方面，交货时间、先发优势、设计能力和良好的信誉都显得更加重要。¹⁴²不仅如此，半导体技术的其他要素是可专利的。尤其是，专利可用来对半导体设备的复杂技术结构特征和半导体加工工艺中的创新分配回报。

更为重要的是，专利多被用作主要参与者之间共享技术的有效手段。部分由于企业战略和政府政策的原因，专利很少需要得到实施。企业很清楚，芯片开发需要查询大量为多方所持有的错综复杂的发明和专利权。¹⁴³企业直接或间接地使用其他方的发明，是通过两种方式，要么正大光明地进行灵活的大规模交叉许可，要么是暗暗无视他人的专利权。¹⁴⁴

技术得到披露和共享以及诉讼量少有利于创新的累积和推广。专利同样也推动了专业化，并有助于动员资源来支付高额的研发成本并为创业提供资金。¹⁴⁵而实际上，以历史标准来衡量的话，当下的制定大型专利组合来阻碍竞争对手或转移诉讼风险是这个行业内的一种新现象。真正的创新所担心出现的负面影响也可能会得到更好的控制，比一些人最初所担心的要更好。¹⁴⁶

对于知识产权战略的各个不同阶段加以仔细区分是很有帮助的。

第一阶段（1900年-1940年）：个别学者申请专利

早在20世纪初，各类学术界发明人为这一行业奠定了基础。即便在这个早期阶段，除了被作为科技论文进行发表之外，发明还会被申请专利。但发明人尚不能独占这些专利。实际上，这些专利基本上不会得到商业开发；相反，这些专利只是为填充知识库作出了贡献。

141. Hoeren (2015a)。

142. Levin等 (1987年)、Cohen等 (2000年)。

143. Grindley和Teece (1997年)、Hall和Ziedonis (2007年)。

144. Von Hippel (1982年)、Appleyard (1996年)、Motohashi (2008年)、及Hoeren (2015a)。

145. Hall (2005年)。

146. 例如，相关担忧参见Shapiro (2000年)、Hall和Ziedonis (2001年)、以及Jaffe和Lerner (2004年)。

第二阶段(1940年-1980年)：专利均衡与广泛的交叉许可

从20世纪40年代到70年代，创新恰逢知识产权的迅速崛起，这一现象不只发生在美国，在欧洲和日本也是如此。¹⁴⁷专利权人并不利用专利来对技术保密或对抗竞争。专利要么被用来交叉许可要么故意不实施。¹⁴⁸初创企业在已有的半导体技术基础上来开发后续创新。

权利人不实施其专利权是出于两个原因。

第一，各类产业参与者明白，在这样一种交错复杂的技术态势下，实施个人的专利权是不可能的，同时也会带来反向的效果。即使是关键性专利也是借鉴了已有专利所公开的技术，也可能侵犯这些已有的专利权。¹⁴⁹

申请大量专利同时又不实施，会形成一种实力上的均衡局面，让各类发明在竞争各方之间所持有。诉讼仅限于起初一些关键性的案例。例如，Noyce和Kilby的关键性发明是相互独立的情况下完成的，导致仙童和德州仪器对几乎同样的一件发明同时提出了专利请求。起初，这两家公司相互起诉对方专利侵权，但1966年的一项判决裁定，双方商定不再对对方的专利挑起纠纷；并达成了一项意义深远的交叉许可协议。¹⁵⁰这类处理方式在半导体行业中推广开来，各家企业也日渐开始选择交叉许可协议而不是诉讼来解决问题。

此外，发明人的流动性和初创企业的出现此起彼伏，推动了技术的进一步推广。实际上，1977年，美国联邦贸易委员会指出：“各家公司可以快速地相互复制技术，这一实际情况非常重要。这种快速复制是企业之间人员流动以及多数企业不愿就商业秘密或专利侵权提起诉讼所导致的”。¹⁵¹

在国际上，专利也未被用来避开竞争。实际上，尽管日本迅速成为半导体的主要生产地，在1962年之前，很少有本国国民或非本国国民提交的专利在日本得到授权。¹⁵²因此，国际专利诉讼就变得十分罕见。

第二，与飞机的情况有着奇妙的类似（第2.1节），美国的竞争政策也发挥了作用。在1956年的反垄断同意判决（参见第2.3.2节）之后，AT&T同意就现有专利授予免费许可，同时停止作为半导体生产商的业务。同样地，贝尔未来的所有专利也应以合理价格予以公开。随后在20世纪60年代和70年代，反垄断政策防止了像AT&T和IBM这样的大型专利权人实施其专利权。技术领导者们随后制定了自由许可政策，这些政策因为加快了创新的步伐而得到广泛的赞誉。¹⁵³正如Hoeren (2015a)所指出的，“贝尔对于与全世界的专家们分享新的晶体管技术有一个有趣的想法[……]贝尔组织举办了三次会议，让其他科学家能够第一手[……]了解这项新[……]技术。对会议感兴趣的人们必须提前支付25000美元专利许可费，可抵扣未来的许可费用[……]”。

147. Levin (1982年)。

148. Shapiro (2000年)。

149. 1948年，Bell的律师发现Shockley对晶体管的阐述受到了1925年授予电气工程师Julius Edgar Lilienfeld的一件专利的“高度影响”，之后Shockley的名字就不再出现在点接触晶体管专利申请中 (Shurkin, 2006年)。

150. Langlois和Steinmueller (1999年)。

151. FTC (1977年)。

152. 一个有趣的案例可以说明这种现象所带来的影响。在Sony公司，江崎玲于奈发现了江崎效应（并因此获得了诺贝尔奖），这一发现极大地提高了半导体的运行速度。但是，江崎从未要求就他的发明申请专利，却将他的想法与其他研究人员分享。1960年，贝尔的一名员工就一台利用江崎效应的设备提交了专利申请。

153. Levin (1982年)。

从那时起，美国和国际上的——多为日本和欧洲——企业得到贝尔的技术许可。许可的条件就是以合理价格提供其持有的专利。¹⁵⁴逆向工程让所有的半导体企业都可以检查其竞争对手生产的电路内部。专利申请的公开也让研究人员知晓他人已开展的工作，并让发明人更加尊重彼此的工作。

这种针对专利技术的开放式方法并未止步于国境线。早期日本芯片厂商的壮大依靠的是美国企业的技术许可。随着芯片设计成本的提高，美国和日本企业相互合作，并开展技术交叉许可。¹⁵⁵

第三阶段（1980年-1984年）：产业政策和贸易战导致最初的停滞，以及专门权利的产生

前文所述的创新与知识产权模式开始逐渐销蚀，主要原因是产业政策以及技术领先地位的不断变化所导致。20世纪80年代，日本企业在半导体芯片的质量上开始超越美国企业。这在美国国内引发了担忧；针对日本企业的知识产权侵权指控层出不穷。不仅如此，仙童和德州仪器还被限制在日本进一步投资。此外，在日本，德州仪器直至1989年才就其关键集成电路专利获得全面专利权（尽管某些有限的专利权于1977年获得批准），这已是其最初申请后的25年。¹⁵⁶

美国和日本政府越来越多地介入到半导体行业中，对本国企业都实施优惠政策。半导体仿冒指控层出不穷；美国和日本的企业之间开始了一场长达十年的专利战。自由的跨境许可政策戛然而止。随之而来的是游说各方建立一种专门制度来保护半导体掩模设计。在国家国际两个层面上都制定了相应的法律，创建了新的知识产权种类。但是，这种临时的、特定于技术的专门方法未能产生任何明显的收效。

第四阶段（1984年至今）：半导体专利激增，防御性专利申请和诉讼

从20世纪80年代初开始，美国本土和海外的半导体专利申请和向专利的倾斜态度加快到了无法预计的程度。¹⁵⁷根据文献记载，美国国内向专利申请倾斜的立法——即1982年通过《联邦法院改进法案》成立了联邦巡回上诉法院（CAFC）——促进了这种专利申请的增长和知识产权战略的改变，这一举措进一步加强了半导体产业的竞争内核，增进了日益高涨的更积极寻求许可收入的趋势。¹⁵⁸尤其是，德州仪器着手进一步开发其知识产权组合，并开始从其竞争对手手中赚取收入，这一现象引发了连锁反应。¹⁵⁹新商业模式的突起使得芯片设计从芯片生产中脱离出来，从而在专利申请战略的转变中也发挥了作用；芯片设计商通过向制造商出售知识产权许可来赚取收入。

不仅如此，专利还逐渐被用来阻止可能的参与者和竞争对手，并为后续创新铺设路障。一些记载还表明出现了所谓的专利劫持，带来了延缓技术进步的风险。¹⁶⁰根据文献和产业界的记载，专利申请日趋更具防御性，以避免因专利侵权而被起诉的风险。数据表明，美国半导体企业作为专利维权方的诉讼率在过去二十年间保持相对稳定。对比而言，有记录表明，由非执业实体发起的主动诉讼有所上升。

154. Levin (1982年)。

155. Motohashi (2008年)。

156. Nakagawa (1985年) 以及 Flamm (1996年)。

157. 正如 Fink 等 (2015年) 中所记载的，全球层面上首次专利申请与研发之比的最陡增也出现在“电气机械、计算机和视听技术”这一类别中，其中包含有半导体。

158. Hall 和 Ziedonis (2001年)。

159. FTC (2002年)。

160. FTC (2003年)。

上述的内容是否从根本上改变了专利与半导体研发和技术传播之间的相关性，仍是一个悬而未决的问题。尚无可靠的证据表明，近期对专利劫持或诉讼产生的越来越多的担忧对半导体创新已经产生了一种无形的影响。专利申请的增长实际上可能是由于半导体企业的创新效率提高所致——也就是说每个单位研发能够收获更多的专利。而实际上，按照摩尔定律得出的创新速度——尽管面临着物理学局限的压制——仍是无误的。

不仅如此，有人认为，在表面之下，广泛的直接交叉许可协议或隐性的不起诉协议——契约，仍然存在于大型半导体设计和生产企业之间。¹⁶¹此外，如今这些合同还包含有商业秘密和保密条款。¹⁶²

尝试创建半导体专门保护制度未果

如前所述，20世纪80年代，制定了一种专门制度来保护半导体掩模设计，但甚至都没有实现让创新者和发明人加以使用。

行业协会希望建立一种保护制度来应对在国外日益被指控半导体假冒行为的困境。这些协会认为，现行专利法无法为其行业提供充分的保护。¹⁶³美国国会最终赞同建立专门保护制度的想法。保护的目標对象是“掩模工作”，也就是用来在硅晶片上设置电路来形成集成电路的图样。美国于1984年颁布的《半导体芯片保护法》（SCPA）创建了一种新的工业产权法令，包含有专利、版权和竞争法的要素。¹⁶⁴日本早在1985年5月31日就公布了一项类似于《半导体芯片保护法》的法案。¹⁶⁵而在欧洲，欧洲委员会理事会于1986年通过了一项《关于半导体产品法律保护的指令》。¹⁶⁶《半导体芯片保护法》建立在互惠原则基础上。外国芯片制造商的拓扑图和掩模工作要在美国得到保护，条件是在该国司法辖区内施行与《半导体芯片保护法》相类似的标准。最后，1994年的《TRIPS协定》第35到38条规定了对半导体技术的保护。

然而，有意思的是，这项专门保护制度并未得到实质性落实或产生实际影响。首先，如前所述，这项专门权利保护的是芯片的掩模。然而，集成电路的功能比其掩模更具价值。第二，尽管掩模很复杂且难以复制，但可以在不破坏芯片功能的情况下轻易对其进行修改。因此，如果通过逆向工程对掩模加以修改，那么原有掩模就无法得到保护。专门保护在技术方面缺陷降低了其吸引力。此外，由于芯片的寿命日益缩短，而生产成本和定制要求日渐增高，芯片盗版实际上也变得难以负担。因此，甚至都没发生过一起任何针对掩模设计的维权诉讼，而半导体行业则继续依赖于专利。

161. 更多参考信息请参见Hoeren (2015a)。

162. Ludlow (2014年)。

163. Levin (1982年)。

164. 1984年11月8日《公共法98-620》第三部分，如今的17 U.S.C. Section 901 et seq.; 《美利坚合众国工业产权法律与条约》Text 1-001。

165. 《关于半导体集成电路的电路布图设计的法案》(1985年5月31日第43号法案)。

166. 1987年1月27日，OJ, L 24/36。《半导体产品法律保护指令》，87/54/EEC。

通过版权来保护芯片设计：近期日渐重要？

尽管最初人们认为版权与芯片设计并不相关，但近期利用版权来保护芯片设计正在日益变得重要。尤其在美国，版权一直以来都被认为是芯片设计的潜在保护方式。但这些尝试大多无疾而终。例如，美国版权局拒绝对印刷电路板和半导体芯片的图案予以注册，因为其没有表现出独立的艺术性。该图案仅被认为与芯片的实用功能不可分割。最终还是倾向于前文所述的专门方法，版权作为一种可能的分配方式不再受到关注。

尽管如此，将芯片设计与制造分离的新的商业模式已经变得比以往任何时候都更重要，产业专家们建议，版权现在已经是分配半导体创新成果的一种重要手段。具体而言，网络表——由无工厂企业为代工厂提供的所有设备以及每个设备之间的连接的图片描述，可以包括文本、软件、资料库和数据库——无疑受到版权法的保护，因为其包含了极具价值和创意的芯片设计的文本格式。¹⁶⁷

167. 例见www.concept.de/img/Netlist_Debugger_Showing_Critical_Circuit_Fragment_L.gif；
并请参见Hoeren (2015b)。

2.4 汲取的经验教训

本章所介绍的三个案例研究为创新突破如何促进经济增长以及知识产权制度在相关创新生态系统中发挥着怎样的作用提供了多元化的观点。许多观点专门针对近期的技术和历史背景，不便推而广之。实际上，飞机、半导体和抗生素这三个领域的创新今天依然生机勃勃，这些领域创新活动背后的生态系统也得到了极大的发展。

尽管如此，对这三个历史性案例加以对比并思考能够借鉴到怎样的经验，仍是非常值得的。本章力图做到这一点。本章按照案例研究的结构，首先针对创新对经济增长的贡献，然后讨论其生态系统，最后探讨知识产权所发挥的作用。

对经济增长的贡献

对这三项创新如何影响经济增长进行研究后，我们发现抗生素最为突出，因为其主要通过延长寿命和改善劳动力健康状况来促进增长。抗生素对增长的贡献可能要超出治疗细菌感染的范畴，因为抗生素的商业化带动了以研究为基础的制药产业以及其伴生的监管框架的发展，后者还催生出制药领域的其他突破。

飞机和半导体主要通过促进投资、提高企业生产率和转变经济结构来促进经济增长。经济转型的影响尤其深远。这两种创新都推动了供应链的剧变，对一系列行业产生了广泛的影响，成为了整个新型产业的基础。这些增长效应的实现花费了一些时间，但是增长在初次商业化之后持续了数十年。这也有赖于持续不断的后续创新——本质上就是技术和组织结构上的创新。

这三类创新是如何在中低收入国家传播以及促进经济增长的？尽管案例研究并未给出任何量化的证据，但有趣的是，由创新而带来的产品——飞机、抗生素药品和无数的信息技术产品——在发展中国家得到了广泛的应用。这无疑会对经济增长作出重要的贡献。通过对比，我们发现，与这些创新有关的制造方面的技术诀窍并未如此广泛的传播开来。一些发展中经济体在培养这些产业制造能力方面取得了成功，但时至今日，大规模生产仍集中在相对少数的一些国家。

创新生态系统

这三份案例研究中所描述的创新来源于创新过程不同阶段的各类参与者。政府是科研经费的主要来源，而科研工作往往是创新突破的必经之路。此外，在这三个案例中，政府在推动创新从实验室发展到生产阶段发挥着关键性的作用——往往是源于增强国防的需求。至于个别企业和金融市场未能吸收产品开发的高成本和高风险，我们可以推测，如果没有政府的干预，与飞机、抗生素和半导体相关的一些创新甚至都没机会出现——或者至少在当时是这样的结局。同时，企业付出的努力也同样关键，尤其是在将富有前景的想法付诸实践以及参与后续创新方面，这些都推动了生产规模的扩大、成本的降低和新技术的广泛应用。

这三个历史性案例中，生态系统对创新方向的影响有多大？在一个层面上，创新源于个人想法和偶然发现——正如飞行先驱的首次飞行和青霉素的发现所体现的。而另一个层面上，创新生态系统显然有着重要的作用。例如，德国强有力的科研基础对于改进飞机设计至关重要，而对航空知识的专门翻译和传播也是如此。同样，美国政府在将半导体用于国防用途方面比欧洲和日本有着更大的意向，这使得日欧的企业更加侧重电子消费品应用。此外，美国的创新生态系统更有利于初创企业的成长，而欧洲的创新大都发生在老牌企业中。¹⁶⁸有意思的是，国家创新生态系统所提供的激励机制最初都不尽相同，并最终证明对产业发展和专业化都产生了深远的影响。

最后，随着创新发生后数年和数十年，这三种生态系统都经历了极大的发展。毕竟，飞机创新经历了从业余发明家俱乐部到一种以大型研发密集型制造商、零部件独立供应商、强产学研纽带、以及下游服务业为特征的生态系统的明显转变。抗生素和半导体背后的创新生态系统也经历了重大的发展，即使其程度和性质都有所不同。这三个案例展现出两个共同的趋势。第一，为应对日渐复杂的技术挑战，创新参与者们——无论是个人、大学实验室还是企业——变得比以往都更加专业。一个可能的例外情况就是抗生素案例中以研究为基础的制药公司的纵向整合。第二，随着商业化的推进，创新朝着针对不同应用来优化技术和按照市场需求来调整技术这个方向进行转变。如前所述，这些后续创新的形式都被证明对充分实现每项创新的潜力具有决定性的作用。¹⁶⁹

知识产权发挥的作用

知识产权保护在飞机、抗生素和半导体的发展历史上有多重要？由于并不存在缺少知识产权保护这样的与事实相反的历史，因此我们并没有信心来回答这一问题。尽管如此，这三项案例研究仍对知识产权的作用提出了不少启示。

第一，创新者们往往有赖于知识产权制度来保护其创新活动的成果。在某些时期——尤其对于半导体而言——创新者们是如此广泛地应用知识产权制度。他们这么做的动机不尽相同，但有证据显示，知识产权保护至少部分地有助于研发回报的分配——从而表明知识产权对于创新的激励机制具有重要意义。¹⁷⁰

第二，创新生态系统由于或明确或隐含的知识共享举措而不时得到发展。在飞机的案例中，首个业余发明家俱乐部的运行与现代的“开源”社区并没什么不同。随后，首个飞机制造商将飞机专利技术许可给其他制造商，然后设立了正式的专利池来明确地推动不同制造商对新飞机进行商业化。在抗生素的案例中，免费使用新的研究库被证明在促进大的研究人员群体开展后续创新方面非常重要。最后，在半导体案例中，交叉许可协议和不实施专利权的默契举动对新技术的商业化和后续创新都同样的重要。在众多的情况下，知识产权制度沿着上一章第1.4节中所描述的途径促进了知识共享。但是，知识共享同样也有赖于社会规范和——在给定案例中——政府干预。半导体案例尤其耐人寻味，因为诉讼和产业政策都对已有的交叉许可方式提出了挑战，但是这些发展对创新的速度和方向所产生重大影响的范围尚不明确。

168. 经济学文献曾正式对在一个工业产品生命周期内企业的创新表现相对于其规模所展现出的区别进行过研究（Klepper, 1996年）。

169. 这些发现是依照不同产业的产品生命周期的研究而广泛得出的。例如可参见Klepper（1996年）以及Malerba（2002年）。

170. 知识产权保护作为研发投入回报的分配方式的重要性在这三项产业研究中必定不尽相同。尤其是，半导体和飞机的生产比制药需要投入更多的前期资本。前两个产业的市场准入成本更高，因而就降低了企业在市场竞争过程中对知识产权保护的依赖程度。

第三, 知识产权制度本身随着新兴技术而进行调整。首先, 专利局和法院面临着创始发明可专利性方面的难题。这些问题涉及到这些发明根据当时推行的法律标准是否可授予专利以及发明的权利要求范围能有多广。第一个问题在早期抗生素案例和半导体布图案例中凸显了出来。第二个问题则成为了围绕莱特兄弟的开创性专利所产生的纠纷的核心, 美国和欧洲的法院对此作出了不同的判决。前文所描述的专利池——政府在其中发挥了一些作用——也用来对专利制度加以调整, 使之更好地为当时盛行的创新生态系统提供支持。此外, 由于存在着众多混杂的影响因素, 不计后见之明的话, 难以对政策决策者当时是否作出了正确的决策加以评价。有意思的是, 从传统知识产权类型中脱离的一次尝试——即为集成电路布图设计创造了一种新的知识产权形式——由于并未得到多广泛的应用而被证明以失败告终。如果说能够从中吸取什么教训的话, 那就是政策决策者在决定对知识产权政策加以改革时需要审慎地考虑技术的动态特性。

最后, 放眼全球知识产权态势, 我们发现, 已有的数据表明, 这三个案例当中的创新者们无一例外地在高收入国家寻求专利保护, 而多数创新也都源自这些国家。在相关的技术领域, 只有一小部分的首次专利申请在中低收入国家有同族专利。总体而言, 这表明, 在技术得到传播时, 专利并不有助于技术的传播, 而在技术未得到传播时, 专利也没有雪上加霜阻碍其传播 (也请参见第1.4节)。其反而指向了是否具有吸收能力, 这被认为是能够说明传播程度的一个主要因素。

参考文献

- Acemoglu, D., & Johnson, S. (2007). Disease and development: The effect of life expectancy on economic growth. *Journal of Political Economy*, 115:6.
- Achilladelis, B. (1993). The dynamics of technological innovation: The sector of antibacterial medicines. *Research Policy*, 22 (4), 279-308.
- Anderson, J. D. (1997). *A history of aerodynamics and its impact on flying machines*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Appleyard, M. M. (1996). How does knowledge flow? Interfirm patterns in the semiconductor industry. *Strategic Management Journal*, 17 (S2), 137- 154.
- ATAG. (2005). *The economic and social benefits of air transport*. Geneva: Air Transport Action Group.
- Bentley, R., & Bennett, J. W. (2003). What is an antibiotic? Revisited. *Advances in applied microbiology* 52: 303-331.
- Bentley, R. (2009). Different roads to discovery: Prontosil (hence sulfa drugs) and penicillin (hence β -lactams). *Journal of industrial microbiology & biotechnology* 36.6: 775-786.
- Bhalotra, S. R., & Venkataramani, A. (2012). *Shadows of the captain of the men of death: Early life health interventions, human capital investments, and institutions*.
- Bittlingmayer, G. (1988). Property rights, progress and the aircraft patent agreement. *Journal of Law & Economics*, 31, 227-248.
- Boeing (2015). Orders & Deliveries. Retrieved August 21, 2015, from Boeing: www.boeing.com/commercial/#/orders-deliveries
- Bosworth, B. P., & Triplett, J. E. (2007). Services productivity in the United States: Griliches' services volume revisited. In E. R. Berndt & C. R. Hulten (Eds.), *Hard-to-measure goods and services: Essays in memory of Zvi Griliches* (pp. 413-447). Chicago: University of Chicago Press.
- Brooks, P. (1967). The development of air transport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1 (2), 164- 183.
- Budrass, L. (1998). *Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland, 1918-1945*. Dusseldorf: Droste.
- Budrass, L. (2015). *The nature of airplanes as a breakthrough innovation and how IP rights shaped this innovation. A European perspective, 1903 to 1945*. Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015.
- Byers, R. W. (2002). *Power and Initiative in Twentieth Century Germany: The Case of Hugo Junkers*. University of Georgia, Athens.
- Carpenter, D. (2014). *Reputation and power: organizational image and pharmaceutical regulation at the FDA*. Princeton University Press.
- Cohen, W. M., Nelson, R. R., & Walsh, J. P. (2000). Protecting their intellectual assets: Appropriability conditions and why U.S. manufacturing firms patent (or not). *NBER Working Papers*, No. 7552.
- Colecchia, A., & Schreyer, P. (2002). ICT investment and economic growth in the 1990s: Is the United States a unique case? A comparative study of nine OECD countries. *Review of Economic Dynamics*, 5 (2), 408- 442.
- Constant II, E. W. (1980). *The origins of the turbojet revolution*. Baltimore, London: The Johns Hopkins University Press.
- Crouch, T. D. (2002). *A Dream of Wings: Americans and the Airplane, 1875-1905*. New York, London: W. W. Norton.
- Crouch, T. D. (Ed.). (2000). *Blaming Wilbur and Orville: The Wright Patent Suit and the Growth of American Aeronautics*. Boston: Kluwer.
- Cutler, D., Deaton, A., & Lleras-Muney, A. (2006). The determinants of mortality. *The Journal of Economic Perspectives*, 20 (3), 97- 120.
- Davies, R. E. G. (1964). *History of World's Airlines*. Oxford: Oxford University Press.
- Deere, C. (2008). *The Implementation Game: The TRIPS Agreement and the Global Politics of Intellectual Property Reform in Developing Countries*. Oxford University Press.
- Dutfield, G. (2009). *Intellectual property rights and the life science industries: past, present and future*. World Scientific.
- Eubank, J. A. (1952). Aeronautical Patent Law. *Dickinson Law Review*, 56, 143-157.
- Fallows, J. (2013) The 50 Greatest Breakthroughs Since the Wheel. *The Atlantic magazine*, November 2013 Issue.
- Fink, C., Khan, M., & Zhou, H. (2015). Exploring the worldwide patent surge. *Economics of Innovation and New Technology*, in press.
- Flamm, K. (1996). *Mismanaged trade?: Strategic policy and the semiconductor industry*. Washington, DC: Brookings Institution Press.
- FTC (1958). *Economic Report on Antibiotics Manufacture*. US Government Printing Office. Federal Trade Commission.
- FTC (1977). *Economic report on the semiconductor industry: Staff report*. Washington, DC: Federal Trade Commission.
- FTC (2002). *Transcript of February 28, 2002 Patent Hearings*. Washington, DC: Federal Trade Commission.
- FTC (2003). *To Promote Innovation: The Proper Balance of Competition and Patent Law and Policy*. A Report by the Federal Trade Commission.
- Gibbs-Smith, C. H. (2003). *Aviation: An Historical Survey from its Origins to the End of the Second World War* (Third Edition ed.). London: Science Museum.
- Gordon, R. J. (2012). Is U.S. economic growth over? Faltering innovation confronts the six headwinds. *NBER Working Papers*, No. 18315.
- Grindley, P.C., & Teece, D.J. (1997). Managing intellectual capital: Licensing and cross-licensing in semiconductors and electronics. *California Management Review*, 39 (2), 1- 34.
- Hager, T. (2006). *The demon under the microscope: from battlefield hospitals to Nazi labs, one doctor's heroic search for the world's first miracle drug*. Broadway Books.
- Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2001). The patent paradox revisited: An empirical study of patenting in the US semiconductor industry, 1979-95. *RAND Journal of Economics*, 32 (1), 101- 128.
- Hall, B. H., & Ziedonis, R. H. (2007). *An empirical analysis of patent litigation in the semiconductor industry*. Paper presented at the American Economic Association annual meeting, Chicago, IL.

- Hall, B. H. (2005). Exploring the patent explosion. *Journal of Technology Transfer*, 30 (1/2), 35- 48.
- Hanle, P. A. (1982). *Bringing aerodynamics to America*. Cambridge: The MIT Press.
- Hansen, J. R. (1987). *Engineer in Charge. A History of the Langley Aeronautical Laboratory, 1917-1958*. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration.
- Heilbron, J. L. (2003). *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. Oxford: Oxford University Press.
- Henderson, R., Orsenigo, L., & Pisano, G. P. (1999). The pharmaceutical industry and the revolution in molecular biology: interactions among scientific, institutional, and organizational change. In D. Mowery & R. Nelson (Eds.), *Sources of industrial leadership: studies of seven industries* (pp.267-311). Cambridge University Press.
- Hoeren, T. (2015a). *Economic growth and breakthrough innovations – The semiconductor chip industry and its IP law framework*. Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015.
- Hoeren, T. (2015b). *Copyright law and chip design – The overlap of industrial property and copyright law protection*. Unpublished manuscript.
- Hummels, D. (2007). Transportation costs and international trade in the second era of globalization. *The Journal of Economic Perspectives*, 21 (3), 131-154.
- ICAO (1960). *Annual Report of the Council to the Assembly for 1960*. Montreal: International Civil Aviation Organization
- ICAO (2006). *Economic Contribution of Civil Aviation (Circular 292)*.
- Jaczynska, E., Outtersson, K., & Mestre-Ferrandiz, J. (2015). *Business Model Options for Antibiotics: Learning from Other Industries*. Research Report, publications on Business models and strategy, Big Innovation Centre, London, UK.
- Jaffe, A. B., & Lerner, J. (2004). *Innovation and its discontents: How our broken patent system is endangering innovation and progress, and what to do about it*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jayachandran, S., Lleras-Muney, A., & Smith, K. V. (2010). Modern Medicine and the Twentieth Century Decline in Mortality: Evidence on the Impact of Sulfa Drugs. *American Economic Journal: Applied Economics*, 118-146.
- Jorgenson, D. W., & Stiroh, K. J. (2000). Raising the speed limit: U.S. economic growth in the information age. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 261.
- Jorgenson, D. W. (2001). Information technology and the U.S. economy. *American Economic Review*, 91 (1), 1- 32.
- Jorgenson, D. W., & Motohashi, K. (2005). Information technology and the Japanese economy. *NBER Working Papers*, No. 11801.
- Kingston, W. (2000). Antibiotics, invention and innovation. *Research Policy*, 29 (6), 679- 710.
- Kingston, W. (2001). Innovation needs patents reform. *Research Policy*, 30 (3), 403- 423.
- Kingston, W. (2004). Streptomycin, Schatz v. Waksman, and the balance of credit for discovery. *Journal of the history of medicine and allied sciences*, 59(3): 441-462.
- Klepper, S., & Simons, K. L. (1997). Technological extinctions of industrial firms: An inquiry into their nature and causes. *Industrial and Corporate Change*, 6 (2), 379- 460.
- Klepper, S. (1996). Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle. *American Economic Review*, 86 (3), 562- 583.
- Landau, R., Achilladelis B. & Scriabine, A. (1999) *Pharmaceutical innovation: revolutionizing human health*. Vol. 2. Chemical Heritage Foundation.
- Langlois, R. N., & Steinmueller, W. E. (1999). The evolution of competitive advantage in the worldwide semiconductor industry, 1947-1996. In D.C. Mowery & R. R. Nelson (Eds.), *Sources of industrial leadership: Studies of seven industries* (pp. 19-78). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Le Fanu, J. (2011). *The rise and fall of modern medicine*. Hachette UK.
- Lécuyer, C., & Brock, D. C. (2010). *Makers of the microchip: A documentary history of Fairchild Semiconductor*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Lesch, J. E. (2007). *The first miracle drugs: how the sulfa drugs transformed medicine*. Oxford University Press, USA.
- Levin, R. C. (1982). The semiconductor industry. In R. R. Nelson (Ed.), *Government and technical progress: A cross-industry analysis* (pp. 9-100). New York: Pergamon Press.
- Levin, R. C., Klevorick, A. K., Nelson R. R., & Winter S. (1987). Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings Papers on Economic Activity*, 18 (3), 783- 832.
- Ludlow, T. (2014). Sign of the Times: Trends in Technology IP Licensing. *Intellectual Asset Management*, 66, 31- 38.
- Malerba, F. (1985). *The semiconductor business: The economics of rapid growth and decline*. London: F. Pinter.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31 (2), 247- 264.
- Mann, J. (2004). *Life Saving Drugs: The Elusive Magic Bullet*. Royal Society of Chemistry.
- McKelvey, M., Orsenigo L., & Pammolli, F. (2004). Pharmaceuticals Analyzed through the Lens of a Sectoral Innovation System. In F. Malerba (Ed.), *Sectoral Systems of Innovation* (pp.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Merges, R. P., & Nelson, R. R. (1990). *On the complex economics of patent scope*. Columbia Law Review: 839-916.
- Meyer, P. B. (2013). The Airplane as an Open-Source Invention. *Revue économique*, 64(1), 115-132.
- Miller, R., & Sawers, D. (1968). *The Technical Development of Modern Aviation*. London: Routeledge & Kegan Paul PLC.
- Mokyr, J. (2002). *The gifts of Athena: Historical origins of the knowledge economy*. Princeton University Press, 2002.
- Morris, P. R. (1990). *A history of the world semiconductor industry*. London: P. Peregrinus on behalf of the Institution of Electrical Engineers.
- Motohashi, K. (2008). Licensing or not licensing? An empirical analysis of the strategic use of patents by Japanese firms. *Research Policy*, 37 (9), 1548-1555.

- Mowery, D. C. (2015). "Breakthrough innovations" in aircraft and the IP system, 1900-1975. *WIPO Economic Research Working Paper*, no 25.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001a). Patenting and licensing university inventions: lessons from the history of the research corporation. *Industrial and Corporate Change*, 10 (2), 317- 355.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001b). University patents and patent policy debates in the USA, 1925-1980. *Industrial and Corporate Change*, 10 (3), 781- 814.
- Mowery, D. C., Nelson, R. R., Sampat, B. N., & Ziedonis, A.A. (2004). *Ivory tower and industrial innovation: University-Industry Technology Transfer Before and After the Bayh-Dole Act*. Stanford Business Books, Palo Alto, USA.
- Nakagawa, Y. (1985). *Semiconductor development in Japan*. Tokyo: Diamond Publishing.
- Neushul, P. (1993). Science, government and the mass production of penicillin. *Journal of the history of medicine and allied sciences*, 48 (4): 371- 395.
- Nordhaus, W. D. (2002). *The health of nations: the contribution of improved health to living standards*. No. w8818. National Bureau of Economic Research.
- OECD (2004). *The economic impact of ICT: Measurement, evidence and implications*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2015). *The future of productivity*. Paris: OECD Publishing.
- Outterson, K., Balch-Samora, J., & Keller-Cuda, K. (2007). Will longer antimicrobial patents improve global public health? *The Lancet infectious diseases*, 7(8): 559-566.
- Pilat, D., & Wölfl, A. (2004). ICT production and ICT use: What role in aggregate productivity growth?. In OECD, *The economic impact of ICT: measurement, evidence and implications* (pp. 85-104). Paris: OECD Publishing.
- Podolsky, S. (2015). *The Antibiotic Era*. Johns Hopkins University Press.
- PwC (2014). *China's impact on the semiconductor industry*. New York: PricewaterhouseCoopers.
- Ristuccia, C.A., & Solomou, S. (2014). Can General Purpose Technology Theory Explain Economic Growth? Electrical Power As a Case Study. *European Review of Economic History*, 18(3): 227-247.
- Rosenberg, N. (1969). The direction of technological change: inducement mechanisms and focusing devices. *Economic Development and Cultural Change*, 1-24.
- Ruttan, V. W. (2000). *Technology, growth, and development: An induced innovation perspective*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Ruttan, V. W. (2006). *Is War Necessary For Economic Growth?* Oxford, UK: Oxford University Press.
- Sampat, B. (2015). Intellectual Property Rights and Pharmaceuticals: The Case of Antibiotics. *WIPO Economic Research Working Papers*, no 26.
- Shapiro, C. (2000). Navigating the patent thicket: Cross licenses, patent pools and standard setting. In A. Jaffe, J. Lerner, & S. Stern (Eds.), *Innovation Policy and the Economy Vol. 1* (pp. 119-150). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Sheehan, J. C. (1982) *The enchanted ring: the untold story of penicillin*. MIT Press (MA).
- Shurkin, J. N. (2006). *Broken genius: The rise and fall of William Shockley, creator of the electronic age*. London: Macmillan.
- So, A. D., Gupta N., Brahmachari, S.K., Chopra, I., Munos, B., Nathan, C., et al (2011). Towards new business models for R&D for novel antibiotics. *Drug Resistance Updates*, 14(2):88-94.
- Staniland, M. (2003). *Government Birds: Air Transport and the State in Western Europe*. Oxford: Rowman & Littlefield Publishers.
- Stiroh, K.J. (2002). Information technology and the U.S. productivity revival: What do the industry data say?. *American Economic Review*, 92, 1559-1576.
- Taylor, C. T., Silberston, A., & Silberston Z. A. (1973). *The economic impact of the patent system: a study of the British experience*. Vol. 23. CUP Archive.
- Temin, P. (1979). Technology, regulation, and market structure in the modern pharmaceutical industry. *The Bell Journal of Economics*: 429-446.
- Temin, P. (1980). *Taking your medicine: drug regulation in the United States*. Harvard University Press.
- Tilton, J.E. (1971). *International diffusion of technology: The case of semiconductors*. Washington, DC: Brookings.
- Trischler, H. (1992). *Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900-1970: Politische Geschichte einer Wissenschaft*. Frankfurt, New York: Campus Verlag.
- Van Ark, B., & Inklaar, R. (2005). *Catching up or getting stuck? Europe's problems to exploit ICT's productivity potential*. Paper presented at the International Symposium on Productivity, Competitiveness and Globalisation, Paris.
- Van Ark, B. (2014). *Productivity and digitalisation in Europe: Paving the road to faster growth*. The Conference Board and the Centre for Innovation Economics.
- Vogel, D. (1998). The globalization of pharmaceutical regulation. *Governance* 11(1): 1-22.
- Von Hippel, E. (1982). Appropriability of innovation benefit as a predictor of the source of innovation. *Research Policy*, 11 (2), 95- 115.
- Wainwright, M. (1990). *Miracle cure: The story of penicillin and the golden age of antibiotics*. Blackwell.
- Welch H. (1954). *The manual of antibiotics, 1954-1955*. Medical Encyclopedia, Inc. New York, USA.
- Wolfson, J. A. (1993). Patent flooding in the Japanese Patent Office: Methods for reducing patent flooding and obtaining effective patent protection. *George Washington Journal of International Law and Economics*, 27, 531- 563.
- WSTS (2015). *WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2015*. Retrieved July 9, 2015, from: www.wsts.org/PRESS/PRESS-ARCHIVE/WSTS-Semiconductor-Market-Forecast-Spring-2015
- Zhegu, M. (2007). *La coévolution des industries et des systèmes d'innovation: l'industrie aéronautique*. Université du Québec à Montréal, Montréal.

第三章：具有未来突破性潜力的创新

自创新驱动增长的初期以来，当今创新环境有了很大的发展。如第一章所述，世界经济以前从未投入如此之多的公共和私营资源来扩展全球知识前沿。随着亚洲经济体、尤其是中国正在成为新的创新资源，创新在地域方面比上个世纪更加多元化。

创新从未像当今这样是多方面的。很久以前采用的诸如汽车和纺织纤维之类的产品仍然目睹技术的快速进步。此外，创新的新领域已经出现，它们提供新的可能来满足人类需求和迎接挑战。信息和通信技术（ICT）尤其是通过快速数据处理而促进科学发现和商业研究和开发以及刺激不同技术领域的想法形成，从而对创新过程产生明显影响。

然而，实现创新突破并确保其在整个经济中扩展经济增长方面的长期效益，并非更加容易。技术问题正变的日益复杂，可能对如何进一步完善过去成就的余地存在自然极限，如便捷旅行、高寿和远程通信。目前尚不清楚当今大大增强的创新体系将在多大程度上克服这些挑战。

本章探讨目前似乎有突破性潜力的三项创新：3D打印、纳米技术和机器人技术。正如第二章选择的案例研究，这三个创新领域的选择有些随意。尽管如此，它们在当代讨论中都对未来可能刺激增长的技术起重要作用。¹此外，这三项创新至少都具有通用目的技术（GPT）的一些特征，尤其是它们有广泛用途，并可在很多行业得到应用。²

这三个案例研究的介绍列于第3.1节（3D打印）、第3.2节（纳米技术）和第3.3节（机器人技术）。这一讨论遵循第二章的案例研究结构，首先查看各项创新之源和它们对经济增长的贡献，然后考虑其生态系统，最后考虑知识产权的作用。第3.4节将设法汲取从三个案例获得的一些主要经验教训。

作为重要的提醒，3D打印、纳米技术和机器人技术虽然不属全新，但仍处于相对早期的开发阶段。与第二章相反，这一章的案例研究因此不能汲取事后教益，这使一些讨论有些属于推测性。事实上，对这三项创新将如何塑造未来增长则有很大不确定性，本章对此不声称否认。因此在阅读这三个案例时，牢记这一不确定性则很重要。

1. 例如，见Mokyr（2014年）和英国知识产权局在www.gov.uk/government/collections/intellectual-property-research-patents网站上发表的关于有前途的新技术的《知识产权态势报告》。
2. 正如在第2章引言中所指出的，未就通用目的技术的定义达成共识。

3.1 3D打印

“3D打印的下一阶段将涉及打印全新的各种材料。我们将最终打印完整产品——电路、电机和内含电池。在这一点上，原来的预测都没灵。”

Hod Lipson,

康奈尔大学创意机实验室主任

3D打印——在工业中被称为增材制造——是指一组制造技术，其中通过在各层顶部添加连续的材料层来创建3D物品，由专门的计算机程序辅助程控和物品设计。

本节追溯3D打印的发展及其经济重要性。然后，它描述引起这一创新的生态系统，要特别注意那些推进它的关键因素。最后，它侧重于知识产权制度在3D打印发展中的作用，并指出这一创新可能给该制度带来的一些潜在挑战。³

3.1.1 3D打印的发展及其经济重要性

就广义而言，3D打印根源可一直追溯到19世纪的图片雕塑和地形作品。

但直到1960年代末才试图开始创建使用专门计算机程序创造3D物体。一个在俄亥俄州哥伦布市巴特尔纪念研究所进行，另一个由加利福尼亚伯克利的Wyn Kelly Swainson创造。十年后，名古屋工业研究所日本科学家Hideo Kodama报告了首项可用的3D打印技术。

此后不久，出现了不同的3D打印流程（见表3.1）。其中的每一程序均基于不同的打印技术，用于打印原料的类型也有一些变化。

作为3D打印流程的补充，要求介绍3D客体表面几何形状的新文件格式。曾推出基于光固化的第一台商用3D打印机的3D系统公司，还开发了被称为STL的第一个文件格式。‘这种格式演变成一直到最近之前使用的行业标准。

由于这一创新在商业制造中获得更广泛的接受，不同的细分市场便出现了个人3D打印，也称为个人制造。

在2000年代中期，巴斯大学、麻省理工学院（MIT）、康奈尔大学和斯坦福大学的研究人员通过研究如何广泛提供3D打印而推出了这一细分市场。他们的目标是开发小型和普遍应用的3D打印机。⁵

他们构思创建的项目之一是*RepRap*，创建将会自我复制的开源3D打印机。它的开发连同配套产品和服务，大幅削减个人3D打印机的成本，使它们更容易被感兴趣的消费者接受。

*RepRap*还创建了蓬勃发展的生态系统，由硬件制造商、软件编程人员和服务提供商组成，它们全都支持3D打印机消费市场。当今的一些个人3D打印机都是基于*RepRap*的开源软件和硬件，以及它们所包含的技术。

但并非所有人都能拥有或有能力建立自己的3D打印机和进入微观装配实验室（Fab Lab）。该实验室是2001年由Neil Gershenfeld主导在麻省理工学院开始的项目，它侧重于建造低成本的开放源码的制造实验室。其基本原理是鼓励用户创建其需要的东西，而不必为获得3D打印系统许可证而进行谈判。Fab Lab是基本上配备了工业级制造和电子工具的实验室，它以开放源码软件和麻省理工学院开发的相关项目运作。用户可使用这些实验室来创建和打印他们想要或需要的物体，而无须购买3D打印系统。

3. 本节引用Bechtold（2015年）。

4. STL来自立体光刻，但它也被称为标准镶嵌语言。

5. Lipson（2005年）。

表3.1: 精选的几项3D打印技术

年*	技术	类型	原始发明人	公司
1984年	光固化成形	光聚合固化技术 由控制光源、即紫外激光固化的液态光聚合物。该激光硬化聚合物暴露区域。该过程逐层重复，直到完成物件。	Charles Hull (当时属UPV公司)	3D系统
1986年	选择性激光烧结法	粉末床熔融技术 将激光束施行于沉积在构建平台的粉末层。激光将物料烧结为正确形状。然后将构建平台向下移动，激光便熔制下一层。	Carl Deckard (得克萨斯大学奥斯汀分校博士项目)	得克萨斯大学奥斯汀分校，授权给新星自动化公司，后来改名为DTM公司，2001年被3D系统公司收购。
1989年	熔融沉积成型；一般称为热塑性塑料挤出法 (见框3.2)	材料挤压工艺——选择性地让材料通过喷嘴或孔喷出。	Scott Crump	Stratasys公司
1989年	3DP (三维打印)	3DP (三维打印) 将胶分散到局部粘结的粉末材料，类似于正常喷墨打印机的运作。	Emanuel Sachs和团队	麻省理工学院特许几家公司用于商业化，特别是Z公司，它后来在2012年被3D系统收购。

*是指首次专利申请年。

资料来源：Bechtold (2015年)。

日益增强的商业关联

自3D打印首次被商用以来，它已对各个行业和部门的生产工艺产生影响。它首先被应用于快速原型成形工艺程序。工程师和工业外观设计师用它来加快其设计和成型操作，既省钱又省时间。

随着新原材料的较新3D打印方法的采用，渐渐地它被应用于生产组件，甚至应用于多个行业领域的成品，包括航空和航天、汽车、建筑、工业外观设计、医疗产品和防护。

它甚至被用于制造消费者的电子产品，如时装、鞋类、珠宝、眼镜和食品。⁶

在许多情况下，3D打印减少了公司的生产时间和成本。一份咨询报告估计，利用3D打印生产全球航空市场的维护、修理和操作备件而节约的成本可达34亿美元。⁷

至于个人3D打印的细分市场，开源3D打印举措的发展和相关专利的到期，已降低打印机的成本，使它们更容易获得（见有关专利作用的第3.1.3分节）。⁸廉价的打印机和制造为个人使用的实验室已促进在许多群体中传播技术，帮助满足其各种需求。

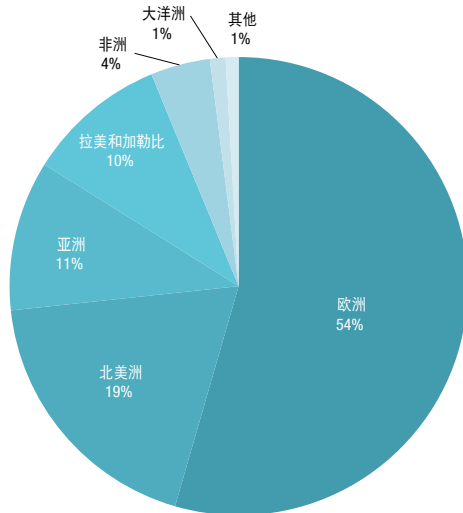
例如，印度、加纳，挪威北部和美国波士顿内城的早期Fab Labs，已允许地方创新者制造工具来分别测量牛奶安全和检验农业机械、协助当地绣花业务的成块绣、可基于网格监控牛群的数据标签、太阳能电池和从废金属制作的饰品。目前，世界各地有近550个Fab Labs。它们主要分布在美国和欧洲，但非洲仍有23个Fab Labs、亚洲有58个、拉丁美洲和加勒比地区有54个（见图3.1）。

6. Bechtold等 (2015年)。
7. 假设50%的部件由3D打印技术打印 (PwC & M Institute, 2014年)。

8. 见Lipson和Kurman (2013年)、West和Kuk (2014年)、Bechtold等 (2015年) 以及Campbell等 (2012年)。

图3.1: 目前在世界上几乎所有角落出现的Fab Labs

2015年各区域的Fab Lab份额



资料来源: 微观装配基金会 (2015年)。

很有价值的效果

3D打印的潜在影响明显。首先, 它不仅在快速成型、而且在生产产品组件和完成成品方面可以发挥越来越重要的作用。⁹ 例如, 它在医疗部门已被用于生产髌关节置换和助听器壳定做插座。¹⁰ 通过绕开制造业的传统方式, 它可大批定制产品, 降低库存成本和优化产品设计。

第二, 它或许导致制造业分散的世界。由于将客体信息的创建与通过3D打印技术的生产分开, 可能打乱传统的生产渠道, 包括供销这两个渠道。¹¹ 从实质而言, 客体可以在其他地方创建, 但生产离客户近, 甚至由客户本人进行。这就可能导致商业模式创新, 实现有效地瞄准利基市场和将客户融入价值链。¹²

第三, 对远离制造工厂或甚至销售渠道的地理区域产生深远影响。对于这些没连上电网的群体, 3D打印技术使生产和制造替换零件或产品成为可能, 否则这些很难获得它们。一个潜在的应用是在可能远离正常销售渠道的欠发达经济体。3D打印可使这些经济体绕过传统的制造链和销售渠道, 获得更低成本的产品。¹³ 正如Fab Lab所示, 它可就地为本地问题设计解决方案, 这可能会给这些经济体带来较大利益。另一个可能受益于3D打印技术、但与离网型群体非常不同的是难以收到替换零件的国际空间站。

最后, 个人3D打印机更加可靠, 其设计和营销大大改进, 通过降低成本和减少打印产品对环境的影响, 它们具有吸引消费者的潜力。¹⁴

由于3D打印技术似乎将在生产过程和销售渠道带来的变化, 越来越多地使用它则可能影响当地的就业市场。¹⁵ 例如, 它可通过将工作机会转移到对3D打印有需求的地方来取代传统制造业的就业。但到目前为止, 尚无学者研究这一影响。

对3D打印增长和影响的估计差异很大。产业观察者预测, 3D打印市场到2020年将产生200亿美元收入。¹⁶ 该技术的财务影响到2025年估计为每年在2300亿美元和5500亿美元之间, 对消费者 (1000亿至3000亿美元)、直接制造 (1000亿美元至2000亿) 和创建工具及模具 (300亿到500亿美元) 的影响最大。¹⁷ 但对市场增长的一些预测则比其他方面 (见表3.2) 更加谨慎。

9. 见Bechthold等 (2015年)。

10. 见Lipson和Kurman (2013年) 和Bechthold等 (2015年)。

11. 见Desai和Magliocca (2014年) 和Lemley (2014年)。

12. Ghilassene (2014年) 和Rayna及Striukova (2014年)。

13. King等 (2014年)。

14. 见Wittbrodt等 (2013年) 关于生命周期的成本; Kreiger和Pearce (2013年), Bechthold等 (2015年) 以及Lipson和Kurman (2013年) 关于环境影响。

15. Lipson和Kurman (2013年)。

16. 沃勒斯协会 (2014年)。

17. 麦肯锡全球研究院 (2013年)。

表3.2: 对3D打印技术的市场估计相差很大

市场	估计的潜在规模/增长率	资料来源
全球3D打印业（相关技术、产品和服务）	到2021年达108亿美元	沃勒斯协会，2013年
全球3D打印业（相关技术、产品和服务）	到2025年达40亿美元	研究与市场，2013年
3D打印材料市场（包括塑料、金属、陶瓷、其他）	到2018年，复计年增长率为19.9% ¹⁸	RnR市场研究，2014年
3D打印技术的医学应用	到2019年达9655亿美元，复计年增长率为15.4%	透明度市场研究

资料来源：Bechtold et al（2015年）。

对3D打印未来影响的预测被证明正确与否，将取决于它能否克服一些技术上的挑战。一方面，工业3D打印机的成本仍然很高，从75000美元到90370美元；一些工业系统3D打印机的价格超过100万美元。¹⁹尽管个人3D打印机的价格已从几年前超过30000美元降到目前的1000美元，但很多人仍买不起。²⁰此外，适当的原料比传统制造过程中使用的许多原料贵很多。一个专业咨询公司估计，2013年在3D打印机原材料方面的花费为5.288亿美元。²¹

此外，3D打印技术仍属缓慢工艺，通常需要好几个小时或数日才能打印完客体。

最后，这一市场的增长程度将取决于未来的易用性，创新的采用要超越爱好者和黑客圈和许多其他商业因素。

3.1.2 3D打印创新生态系统

许多因素和参与者促成3D打印的进展。来自私营和公共部门的参与者、进入3D打印系统配套产品的进展以及来自产业和私人消费者不断增长的需求，都是有助于推动这一创新前进的因素。

框3.1: 实现3D打印的潜力取决于配套产品的开发

影响3D打印技术更广泛应用的一个主要因素是配套产品，即原材料和设计软件开发。

早期版本的3D打印机只能打印塑料材质，因为其应用有限，这一技术很容易被传统制造商拒绝²²，但3D打印机现在还可以使用陶瓷材料、金属合金、玻璃、纸张、光聚合物和在一定程度上的活细胞和食物进行打印。

直到最近，用于创建打印数字图像的设计软件仅满足工程和工业品外观设计领域以及某些工业生产快速制造需求的快速原型应用。尽管取得一些改进，但仍远远不能完全数字化体现复杂的人体以及它如何移动的图像。此外，打印诸如全功能的机器人等先进产品，除了客体设计外，将需要考虑到更复杂的人体功能设计软件。²³

因此，需对这些配套产品进行进一步投资，以促进这一创新在各产业部门和不同收入水平的各国传播。

18. CARG是指复合年增长率。
19. 见麦肯锡全球研究院（2013年），沃勒斯协会（2014年）。
20. 麦肯锡全球研究院（2013年）。
21. 沃勒斯协会（2014年）。

22. Lipson和Kurman（2013年）。
23. Lipson和Kurman（2013年）。

介绍3D打印创新的全貌

大多数获得专利的3D打印发明都集中在美国、德国、日本和最近在中国。

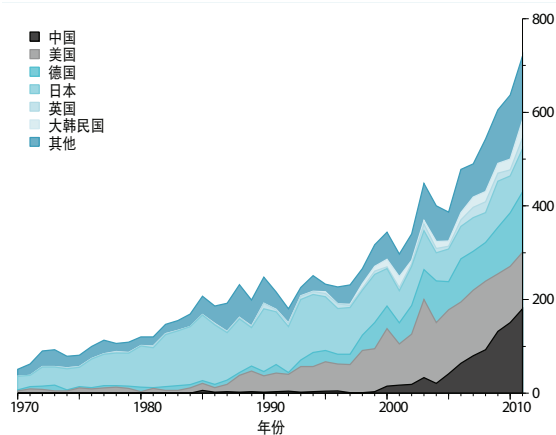
图3.2列示多年来居住在前六名国家的申请人的专利申请量发展。在20世纪80年代初，日本申请人提交大量有关3D打印发明的专利申请，但在二十一世纪它们已经落后于美国申请。到2010年，中国申请人提交较多的3D打印应用申请——几乎相当于日本和美国申请的总和。

此外，大多数3D打印专利申请人是企业（见图3.3）。这并不奇怪，因为该领域的很多早期发明家倾向于建立自己的公司。除了少数大参与者，这些企业往往是中小型企业。²⁴

大学越来越多地参与这一领域——虽然比公司的份额少得多。事实上，两项更重要的3D打印流程起源于麻省理工学院和德州大学系统，尤其是得克萨斯大学奥斯汀分校。迄今这两所大学拥有在该领域的大量专利组合。然而，这些大学的专利通常特许给私营公司进行商业化。例如，由麻省理工学院开发的喷墨3D打印技术批准给几家公司，用于它们自己的应用和商业化。²⁵

图3.2: 中国、德国、日本和美国占了大约3D打印技术专利的80%

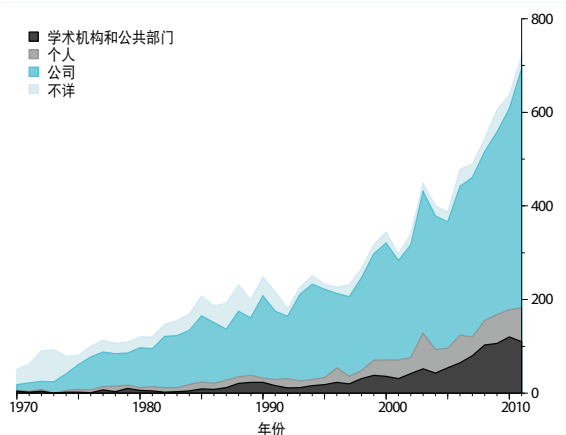
1970-2011年按来源地列出的首次专利申请



资料来源：WIPO根据PATSTAT（参见技术注释）。

图3.3: 公司提交大多数3D打印技术专利申请，但学术界和公共部门的参与越来越多

1970-2011年按专利申请人类型列出的首次专利申请



资料来源：WIPO根据PATSTAT（参见技术注释）。

24. 研究与创新专家委员会（2015年）。
25. 沃勒斯协会（2014年）。

工业3D打印

工业3D打印市场主要由中小型企业构成，但有两个大系统制造商主导该行业：Stratasys公司和3D系统公司，两个公司的总部都设在美国。这两家公司是市场上为数不多的先行者，分别推出其3D打印流程、光固化和熔融沉积成型，它们是该行业目前最领先的专利申请人，正如表3.3所标明的专利申请量。其他重要的全球参与者包括中国的北京太尔时代公司、EOS公司和Envisiontec公司，两个公司的总部均在德国。²⁶

表3.3: 自1995年以来前10家公司提交的专利申请

公司名称	国家	首次专利申请数量
3D系统公司	美国	200
Stratasys公司	美国	200
西门子公司	德国	145
通用电气公司	美国	131
三菱重工业公司	日本	120
日立	日本	117
MTU航空发动机公司	德国	104
东芝	日本	103
EOS公司	德国	102
联合技术	美国	101

资料来源：WIPO根据PATSTAT数据库（参见技术注释）。

3D打印属研究密集型产业。要求对早期的3D打印流程进行几轮改进，以开发正常运作流程。²⁷这对密集型研发活动的依赖一直持续到今天。近来，一个专门从事3D打印咨询的公司透露，各公司在2013年平均支付其收入的19.1%用于研发投入。²⁸

通过公共和私人举措支持发展

各国政府的举措促进了3D打印的发展。在许多情况下，这些举措都有助于抵消投资于这一创新的高风险的研发努力。在1980年代后期，大阪府工业研究所作为日本的一个公共研究机构，将其3D打印发明许可给几家日本公司用于开发和制造。这些包括三菱重工业公司和NTT数据通信在内的公司迄今仍然继续是该行业的重要参与者。

最近，美国、欧盟和中国制定了大规模的政府举措，这是举的几个例子。还有一些国家通过各种国家科学基金会提供一般科研经费，也有针对3D打印的项目。例如，美国国防部和美国国家实验室已成为3D打印技术研究的积极支持者²⁹其中一些项目涉及能源、军事乃至太空应用。³⁰欧盟拨出2.25亿欧元的总预算来资助2007-2013年3D打印的研究。

在中国，政府对3D打印技术进行大规模的战略投资；这些投资在推进创新方面比公司驱动的研发更重要。³¹中国政府对3D打印技术的巨额投资体现在中国高校提交专利申请的数量；在某些情况下，这些申请超过了美国和欧洲大学的申请（见表3.4和图3.4）。

26. 然而，北京太尔时代公司和Envisiontec公司未出现在表3.3的前10名专利申请者名单。这一名单反映我们基于所获最新信息的研究和择选标准（亦见技术注释）。

27. Prinz等（1997年）。

28. 沃勒斯协会（2014年）。

29. 沃勒斯协会（2014年）。

30. 美国能源部能源高级研究计划署最近资助一个只使用3D打印技术来生产30千瓦异步电动机的项目（Langnau, 2014年10月6日）。美国航空航天局正在研究如何利用3D打印技术来生产外层空间任务的替换零件，以及美国航空航天局兰利研究中心自2010年以来一直主导美国政府跨部门的3D打印技术工作组（沃勒斯协会，2014年）。

31. 研究与创新专家委员会（2015年）。

表3.4: 自1995年以来前十所大学和公共研究机构申请人

大学名称	国家	首次专利申请件数
弗劳恩霍夫协会	德国	89
中国科学院	中国	79
杭州科技大学	中国	46
麻省理工学院	美国	37
西安交通大学	中国	34
南加州大学	美国	31
华南理工大学	中国	27
哈尔滨工业大学	中国	24
荷兰应用科学研究机构	荷兰	24
北京工业大学	中国	17

资料来源: WIPO根据PATSTAT (参见技术注释)。

政府举措还发挥了第二个作用, 即提供生态系统中不同参与者之间的联系。其中的许多举措使学术界和私营部门的研究人员与有意在整个经济中传播创新的制造商合作。例如, 美国已为公共和私营部门的合作投入5000万美元, 以便将3D打印技术纳入主流制造业。³²这一伙伴关系使50个公司、28所大学和研究实验室以及16个其他机构一起合作。最近澳大利亚政府宣布的类似举措使14个制造企业、16个地方大学、4个行业机构、澳大利亚联邦科研机构和弗劳恩霍夫激光技术研究所进行合作。一个参与该举措的制造业企业是德国3D打印制造商SLM Solutions GmbH公司。³³

此外, 还有来自3D打印行业的推动, 以促进在其他行业采用这一创新。目前美国和欧洲正在努力使术语、流程、接口和制造技术标准化。其中一项工作是美国试验与材料学会F42国际委员会关于美国增材制造技术, 另一个是欧盟对增材制造的标准化项目的支助行动 (SASAM)。

美国试验与材料国际协会是材料、产品、系统和服务标准化国际组织, 它还采用了新的标准文件格式来传输设计方案与3D打印系统之间的信息。新的基于可扩展标记语言 (XML) 的文件格式可体现有关客体的颜色、纹理、材料、子结构和其他属性信息。与此形成对照的是, 实际的行业标准STL只体现大约一个表面网格信息。

个人3D打印

与工业3D打印市场不同的是, 个人3D打印市场基于基础设施而创建, 它旨在通过加强创新者与用户之间的协作和共享动态, 保持设计和创新组成对所有人开放。这导致了一个独特的创新生态系统, 包括开源爱好者、硬件制造商、软件编程人员、服务提供商、新的资助方式和用户创新者。

在这个生态系统内, 创新进展可来自消费者以及这些生产3D打印机的公司。³⁴用户可探索3D打印机新的应用程序, 如果有几台3D打印机足够复杂, 甚至能用现有硬件和软件予以改变和改进。用户在创新中的这一作用是生态系统的不同寻常的特点。例如, RepRap依靠大约25个核心贡献者和很大的支助群体来帮助推进技术。它的贡献者和群体成员包括爱好者、新兴技术的早期采用者、黑客和学术研究人员。³⁵其中大部分人往往是由个人需要、内在动机和声誉目标驱动, 而不是金钱收益驱动。³⁶

此外, 个人3D打印在原始创新时的生产者 and 使用者之间区别的模糊, 加强该群体与制造商联系的重要性。其中一个重要环节就是通过网络平台。实际上, 如果数字创新没有进步, 个人3D打印的协作性质便无可能。

32. 2012年建议的“全国制造业创新网络”保护伞下的“美国制造”举措。见<http://americamakes.us>。

33. 创新的制造业CRC (2015年)。

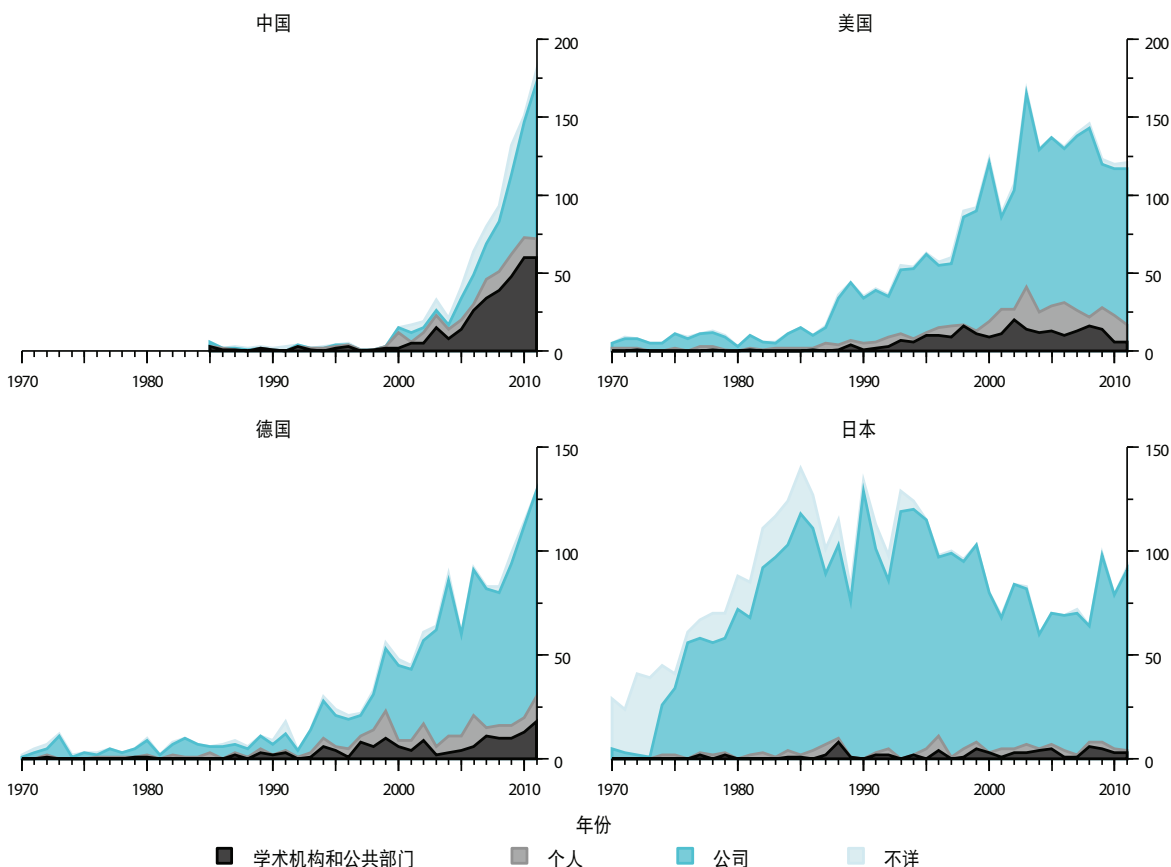
34. Lipson和Kurman (2013年), Bechthold等 (2015年)。

35. Jones等 (2011年), Malone和Lipson (2006年)。

36. Jong和Bruijn (2013年)。

图3.4: 中国大学和公共机构提交的3D打印技术专利申请比例高于其他领先国家居民同类申请

按申请人百分比列出的1970年以来的首次专利申请



资料来源：WIPO根据PATSTAT数据库（参见技术注释）。

数字通信基础设施，例如通信平台、开放源码控制系统和软件库以及在线市场中心等，便利了协作创新的生态系统，在此基础上构建开源3D打印群体。³⁷

此外，这一群体随着越来越多的人属于数字世界而壮大。

配套产品和服务对市场的重要性

在支持3D打印机开源性质时，许多3D打印技术的软件程序已创建。它们都得到许可，无论是开源许可或专有版权许可，但大多数都属免费提供。在许多情况下，这些专门程序都包含在3D打印客户端，Repetier-Host。其他程序，例如Autodesk，提供各种免费的3D打印设计的软件程序。

37. Bechthold等（2015年），West和Kuk（2014年）。

此外,已经出现向个人3D打印群体提供支持的专业化服务提供商。有些供应商准许用户通过Thingiverse之类平台共享3D设计文件。其他人利用集中的3D打印服务来打印3D客体和将它们运送给用户,如在Shapeways的情况下。2012年,Shapeways运送一百万件3D打印的部件。³⁸而在2014年,该公司的特色是近50万3D客体和来自133个不同国家的23000个店主和产品设计师。³⁹

这一市场的成功经验吸引了相关行业的知名公司。诸如Office Depot公司、史泰博公司和联合包裹服务公司,目前在其选择的商店中试行提供3D打印服务。

最后,由于创新者避免对个人3D打印市场大部分技术进展的适当回报使用专利保护,需要有新的筹资机制来支持该领域的发展。各种个人3D打印项目都受益于诸如Kickstarter集资平台。在此平台为3D打印的相关项目筹资,M3D公司筹集340万美元,Formlabs公司290万美元和WobbleWorks公司230万美元⁴⁰由于媒体炒作个人3D打印,在Kickstarter的几个众筹项目或许已被证明受欢迎,但它们也证明这个群体以新颖方式募集资金的能力。

3.1.3 3D打印与知识产权制度

完整的3D打印系统往往会触及下述各类知识产权:3D打印组件、流程以及打印的原材料专利权、3D打印制造流程商业秘密保护的、控制软件程序版权保护、3D客体外观设计保护的和3D打印机产品的商标保护。

这些知识产权的每一组合都影响了3D打印创新的进步,不仅影响工业和个人细分市场,而且有可能影响未来的创新。它还影响早期创新者如何获得对其研发投资的适当回报以及传播创新。

促成初期开发

3D打印技术的早期发明者似乎都依赖专利制度来确立其发明的新颖性,并使其在市场上立足。他们中许多人开始基于其专利发明来开办公司,后来使这些发明商业化。因而专利似乎帮助发明者在地方市场有了立足点,并可能已在行业的发展中起到重要作用。虽然业界已经目睹一些并购,但几个创业公司今天依然存在。

发放许可对3D打印技术从研究机构传播到产业、企业间甚至跨越各大洲发挥重要作用。一些许可证力图促进发明创造的商业化,其他许可证促进这些发明用于更广泛行业领域的应用。

专利在防止对手模仿技术方面发挥多重要的作用则很难确定。一方面,3D打印系统在工业和个人细分市场都属相对难以逆转的工程。⁴¹甚至原料往往也属专用,通常是由控制其供应的少数专业公司生产,这反过来又可能增加模仿任何这些打印机的成本。

此外,自授予3D打印的首次专利以来,已有许多使用不同材料的3D打印技术。对各类3D打印技术的需求因应用需要和类型而不同。因此,它们不直接相互竞争,或许不侵权于对方的专利技术。

38. 麦肯锡全球研究院(2013年)。

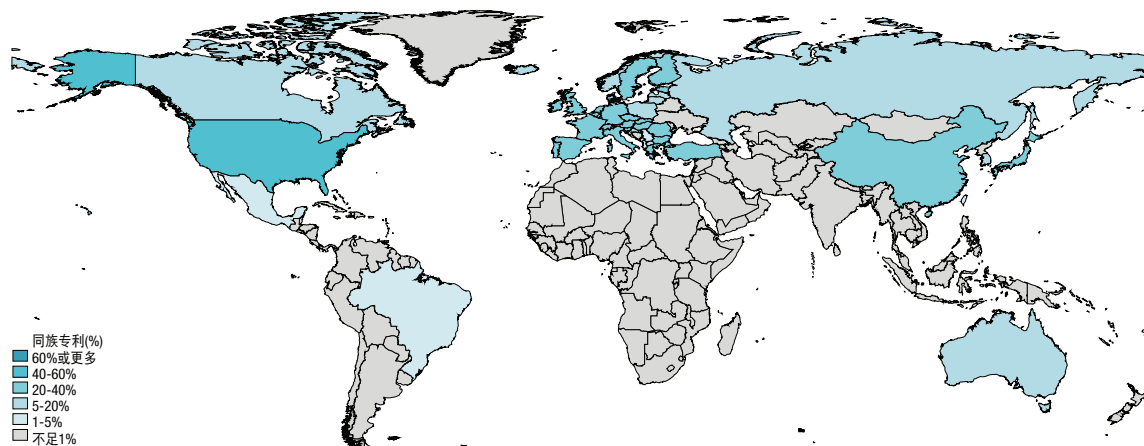
39. Muzumdar(2014年)。

40. 见www.kickstarter.com。

41. 沃勒斯协会(2014年)。

图3.5: 3D打印专利申请人最有可能在美国申请保护

自1995年以来申请人在特定国家寻求保护的全球同族专利份额



资料来源: WIPO根据PATSTAT数据库(参见技术注释)。

然而,出现了轶闻之类的证据表明3D打印公司正在工业市场领域实施其专利发明。这些公司包括一些主要的市场参与者,如3D系统公司、杜邦公司、EOS公司、Envisiontec公司和Stratasys公司。⁴²

图3.5列明寻求特定发明的专利保护所在的不同司法管辖区。美国收到很大一部分3D打印专利申请,超过60%的专利申请提交到那里。中国和欧洲的其他地区也得到了很大份额的专利申请,约达40%-60%,而诸如阿根廷、巴西、马来西亚和南非等中等收入国家收到的专利申请则不到20%。这些数字表明获得专利的3D打印发明正在传播到中等收入国家,尽管传播的程度远远低于前四名3D打印专利起源国家(中国、日本、德国和美国)。

IP如何与个人3D打印市场相关,发明者在该市场往往由个人需要、内在动机和声誉目标、而不是金钱利益驱动?简短的回答是,知识产权依然相关。

首先,若无工业市场领域的早期发展,个人3D打印的进展则无可能。3D打印市场使用的许多技术属于工业领域运营公司的专有技术。例如,RepRap公司和其他开源3D打印平台基于ScottCrump的熔融沉积成型技术,

该原始专利于2009年到期。另一个开源3D打印机用的Fab@Home项目是基于熔融沉积成型和Hull的光固化流程,这两项专利均在2004年到期。这些专利期满或许是个人的3D打印市场起飞的原因之一。

其次,虽然这些程序的开放源代码安装启用的兴起与相关的关键专利到期重合,但未来对这些发明的改进仍根据专利和/或商业秘密等各种知识产权而受到保护。例如,2009年作为开放源码的个人3D打印制造商而成立的MakerBot公司,将其Replicator 2的几乎所有设计及制造都作为秘密予以保守。⁴³

第三,用户共享的开源代码依赖版权和病毒作用,通过保持软件公开而便利这一共享。⁴⁴

最后,个人创建并上传的设计文件可受版权保护,3D打印成品的美学标准属于个人可以选择予以保护和施行的工业品外观设计。

42. 见Yen-Tzu和Hsin-Ning (2014年)。

43. West和Kuk (2014年)。

44. 例见Nadan (2002年)。

框3.2: 美国限制使用术语“熔融沉积成型”

熔融沉积成型或FDM是由ScottCrump在1980年代末发明的技术。1989年,美国专利商标局授予Crump这一流程专利(美国专利5121329),他通过与妻子Lisa Crump共同创立的Stratasys公司着手使这一程序商业化。

大约15年后,Adrian Bowyer启动了开源的RepRap项目,该项目将开发一种自我复制的3D打印机。该打印机基于Crump的专有3D打印技术建成。一些人提出的理由是,Bowyer选择了这一流程是因为它比较容易建立,满足了他关于开源、自我复制的3D打印机理想。其他人提出的理由是,这一时间安排与2009年专利到期相一致。⁴⁵

快进到今天。大多数开源3D打印平台基于RepRap源代码,并仍然使用Crump的技术。

虽然这一技术的专利已过期,这使此类打印机的制造商进入市场,而无须与Stratasys公司谈判或冒侵权风险,它们或许不把打印技术称为“熔融沉积成型”。这是因为在1991年1月28日,Stratasys公司将“FDM”这一说法变成了一个商标(美国商标序列号74133656),从而限制其它制造商使用该术语⁴⁶因而,其他制造商使用术语“融合丝材制造”,“塑料喷涂”或通常的“热塑挤出”来形容这个特殊的3D打印流程。⁴⁷

两个细分市场之间的紧张状况升级

随着个人3D打印细分市场商业化更加可行,工业与个人3D打印这两个细分市场之间的区别正在逐渐消失。例如,工业3D打印参与者也开始更加注重个人市场空间。在2012年1月举行的消费电子展上,3D系统公司推出了其版本的个人3D打印机,名称为魔方。随后在2013年6月,Stratasys公司发布了一份新闻稿,宣布与主要的个人3D打印公司之一MakerBot合并。

此外,当个人细分市场蓬勃发展时,工业市场就有潜在的溢出效益,反之亦然。

当两个细分市场的经营政策相交、特别是在工业参与者进入个人市场空间以及开放还是封闭专有权机制问题出现时,这种紧张便很明显。

个人3D打印生态系统是围绕开放共享理念而形成,而其工业同行依赖、并继续依赖专有知识和技术来推动创新。在此方面的任何进一步的创新或许都涉及开源代码,然后它可被纳入专有和封闭的硬件。

开放的3D打印群体目前已经对这种紧张状况有一些负面反馈。而且,对可能授予已属开源发明专利的任何努力,该群体回应的方法是参与有关专利申请的辩论,例如通过美国专利商标局的“同行评议专利”举措。⁴⁸不过,现在还不清楚这将如何影响个人3D打印生态系统内的共享。

个人3D打印市场对知识产权制度的挑战

个人3D打印细分市场对知识产权制度提出新挑战,特别是关于如何实施现有的知识产权。凡有渠道使用3D打印机者,只要他们具有打印客体的数字表象,均可打印这些客体。因此,受工业外观设计权或版权保护的任何外观设计的复制品,在没有权利持有人允许的情况下,便会很容易地被复制和销售。当多个个体为盈利而参与生产和销售非法复制品,就使对现有知识产权侵权这一问题更加复杂。因此,个人3D打印有可能引发3D打印用户对现有知识产权大规模侵权问题。

引起这一挑战的是,在实践中,什么属于合法行为,什么属于可执行的行为,两者之间的状态非常紧张。

45. 见Freeman (2013年)。

46. “fused deposition modeling”这一术语并没作为商标,但Stratasys公司可依赖美国普通法商标权,这一术语因此与该公司相关联,从而排除他人使用。

47. Banwatt (2013年)。

48. Clinic Staff (2013年), Samuels (2013年)。关于美国专利商标局举措,见Shapiro (2003年)。

原则上,当用户使用他或她自己的3D打印机打印专有的三维客体,或将它发送到3D打印服务部时,他/她可能侵犯几项知识产权。他/她可能侵犯受保护客体的原始外观设计权或版权。如果外观设计足以独特来标识打印客体的来源,并有资格获得商标保护,那么未经授权的3D打印可能也侵犯了商标权。然而,受保护客体未经授权的3D副本构成侵犯知识产权与否,将取决于打印的规模和不同的司法管辖区如何管辖知识产权的例外和限制规则。

潜在的大规模侵权可能对知识产权权利人获得其投资的适当回报的能力造成明显的不利影响。这些侵权行为可能削弱知识产权持有人的销售市场,并在一定程度上,甚至可能导致减损其品牌。

然而,许多实际问题造成难以执行个人市场的知识产权。首先,有许多潜在的侵权者,很可能难以确定实际侵权者。第二,侵权人将有可能是知识产权权利人的客户。这些因素导致了最后一个问题:执法的代价很高,而且可能会损害该公司形象。

知识产权权利人可行使其权利的一种方式是针对提供相关的个人3D打印服务的中介机构。然而,此类中介机构作为促进使用3D打印的平台,发挥着重要作用,因此针对它们将会对该行业的发展产生不利后果。此外,这将有损害创新增长的风险。中介为3D打印市场发挥许多有益作用。它们促成共享和传播内容的新市场,便利分布式制造。将潜在消费者侵权行为的责任推给中介机构,则可扼杀3D打印机分销和制造中的创新。

这种情况令人想起数码行业的崛起与版权侵权的类似情景。从其他数字化创新获得的经验教训可揭示如何纠正知识产权侵权的一些途径。首先,3D打印市场参与者可能会考虑改变其经营战略。例如,他们可决定将其利润重心从3D打印机市场转向供应材料的二级市场,通过将其材料价格定得高到阻止潜在的知识产权侵权,则可限制侵权行为的规模。

其次,他们可考虑接受侵犯用户的行为,而不与之斗争。有些用户主导的创新可能对原有发明增加有效价值。与这些用户群体的联系会创造业界与消费者之间的反馈循环,从而帮助创造更好的产品和加强品牌的忠诚度。⁴⁹

最后,知识产权权利人可依靠技术措施来维护其现有商业模式。例如,他们可采用音乐业类似的数字版权管理方法,控制其消费者如何能查阅和使用专利产品。

然而,个人3D打印市场与数码行业之间的差异很大。3D打印的侵权规模比数码行业小,这反映了这个市场的初期阶段。⁵⁰尤其是,面对个人3D打印的摄取有许多限制因素。3D打印需要使用3D打印机、获得原材料、使用和操作计算机辅助设计文件的计算机编程技能,这些因素需要用户的时间和金钱的大量投资(见第3.1.1分节和框3.1)。与此相反,从互联网下载版权材料、然后复制它们所需要工具和投资则较小。大多数家庭有必要的硬件、软件和技术来下载和复制版权保护的内容。

49. 见Jong和Bruijn (2013)。

50. 见Mendis等 (2015)。

3.2 纳米技术

“纳米技术是用原子进行制造”。

William Powell,
美国航空航天局戈达德太空飞行
中心首席纳米技术专家

纳米技术是纳米尺寸——原子和分子尺寸的技术。一纳米是一米的十亿分之一，或约3-20原子的长度。纳米粒子不是新的，但只是在最近数十年来科学家们已经能够使之真正可视化和控制纳米现象。研究人员已在生产纳米的科学和工程技术与广泛的商业应用程序取得非凡的突破。在本节开头，必须指出“纳米技术”术语包括了广泛的创新。虽然存在纳米技术的一些明确定义，但断定一项具体技术是否属于一个给定的定义中则富有挑战性⁵¹以下的讨论寻求综合纳米技术的广泛文献和应该铭记定义上的模糊性这一必要提醒。⁵²

3.2.1 纳米技术的发展及其经济重要性

如同众多创新领域，纳米技术一直依赖先前科学进步。如果在20世纪初没有对支配纳米相互作用的分子结构和量子力学规律的基本了解的理论突破，就不可能取得20世纪后期的技术发展。物理、化学、生物和工程的基础发展为今天的广泛应用铺平了道路。

最初消费者的纳米技术产品涉及被动纳米添加剂，以提高网球拍、眼镜的材料和防晒性能。纳米技术伞形结构还涵盖了生物技术和医学的许多发展。生物分子世界在纳米级上操作：DNA具有约2纳米的直径，许多蛋白质在尺寸上大约有10纳米。科学家们已为生物诊断和治疗剂而设计这些生物分子和其它纳米材料，例如为癌症治疗定向递送药物。

要了解该技术的范围和潜力，仔细看看三项纳米技术创新则有用：电子和扫描探针显微镜，这是理解和建立纳米器件必不可少的研究工具；富勒烯、碳纳米管和石墨烯，它们是一些最有希望的纳米级材料；以及商业纳米电子学，从晶体管到磁存储器。

研究工具：电子和扫描探针显微镜

可视纳米结构的能力一直对纳米技术的发展至关重要。即使使用最强大的光学显微镜，也看不到纳米级特征，因为它们比光的波长小。然而，电子具有比可见光小得多的波长——法国物理学家Louis de Broglie因这一发现而获得1929年诺贝尔奖——并且可用于反映小得多的特征。Max Knoll和他的博士研究生Ernst Ruska在柏林技术大学公布1932年的第一个功能透射电子显微镜（TEM）图像。几年后第一个商用TEM出现，其中部分原因是Ruska在1936年调到西门子。其他电子显微镜技术出现于1930年代，分别是扫描电子显微镜（SEM）和扫描透射电子显微镜（STEM）。然而，它们在几十年后才被用于商业化生产，随着剑桥仪器公司于1965年出售它的第一个SEM和英国VG显微镜公司于1974年推出其第一个STEM。当今，大多数电子显微镜能做的空间分辨率接近0.13毫微米薄的样品。

51. 例如，美国科学和技术政策办公室广义界定纳米技术为涉及“理解和控制直径在大约1至100纳米的物质，其中独特现象促成新的应用”的任何技术。

52. 本节引用于Ouellette（2015年）。

用于纳米级表面成像的不同技术是扫描探针显微术，这涉及测量平面与扫描它的极细的探针之间的相互作用，导致表面的三维图像。在IBM苏黎世工作的GerdBinnig和HeinrichRohrer在1981年研制了第一台所谓的扫描式隧道显微镜（STM）。由于他们的发明，他们与创造第一台电子显微镜的ErnestRuska分享了1986年诺贝尔物理学奖。1985年，Binnig发明了在一类不同类型的扫描探针显微镜——原子力显微镜（AFM）——这是他与来自美国斯坦福大学和IBM公司的研究人员开发的。用原子力显微镜就有可能反映不导电的材料。IBM持有STM和AFM这两个基本专利。这两种仪器现在是调查具有原子分辨率的纳米材料的常规工具。

大有希望的纳米材料：富勒烯、碳纳米管和石墨烯

一些最有希望的纳米材料是其中碳原子被主要布置在六角形结构，包括称为富勒烯的足球状似结构，名称分别为碳纳米管的碳缸结构和石墨烯片。

富勒烯于1985年由Robert Curl、Harold Kroto和Richard Smalley在莱斯大学发现，为此他们获得1996年诺贝尔化学奖。1990年，马克斯普朗克核物理研究所和亚利桑那大学物理学家发现了更大量地生产富勒烯的方法。这一进展导致现在看到在商业上可行机会的实体，包括学术研究人员和公司进行的大量有关富勒烯的专利活动。富勒烯已用于商业化，以提升产品，如羽毛球拍和化妆品，但其最有前途的应用是在有机电子和生物科学方面。

单壁碳纳米管的形成——管壁由碳的单原子层制成——1993年由日本NEC公司的研究人员和IBM公司在加利福尼亚州的研究人员同时报告。⁵³从那时起，对碳纳米管的研究已经起飞；例如，在美国国家科学基金会，纳米管是2001年和2010年期间第二个得到最多资助的纳米技术专题。至于富勒烯，一系列的商业产品已经利用碳纳米管，包括薄膜电子。然而，最有前途的应用——那些利用单独纳米管电性能的应用——似乎与商用阶段仍然相距很远。⁵⁴

石墨烯这一令人关注的最新碳纳米材料已于1947年从理论上予以介绍，但直到2004年才出现其物理隔离，当时Andre Geim、Konstantin Novoselov和曼彻斯特大学同事表明他们可以利用透明胶带从石墨晶体提取单个石墨烯片。2010年，Geim和Novoselov因其石墨烯工作获得了诺贝尔奖。他们的科学突破促成大量与石墨烯相关的专利，但迄今为止，商业产品却很少。石墨烯具有从电子产品到生物传感的应用潜力范围，但明显的实施障碍依然存在。例如，将石墨烯集成到太阳能电池和电池具有提高能源转换和存储的希望，但这种进步必定要求提高大批量制造和转移过程。⁵⁵

53. 尽管碳纳米管在1991年的发现往往归于日本学术物理学家Sumio Iijima，但苏联科学家L.V. Radushkevich和V.M. Lukyanovich在1952年发表50纳米直径碳纳米管的TEM图像，从那时起纳米管被重新发现多次。见Monthieux和Kuznetsov（2006年）。

54. 见De Volder等（2013年）。

55. 见Bonaccorso等（2015年）。

商业纳米电子学

尽管碳纳米材料的许多潜在应用仍属推测性，但其他纳米技术的发展已经产生了明显的市场影响。纳米技术已导致商用电子显著改进，包括改进的晶体管和磁存储器。例如，2010年美国半导体市场约60%产品涉及纳米特征，市场价值约达900亿美元。

器件尺寸的稳定缩小反映了“摩尔定律”的持久性，它描述了一个芯片上的晶体管数量每隔18-24个月增加一倍（参见2.3节）。为了将器件缩小到100纳米以下，研究人员不得不克服很大的挑战。例如，他们开发了新材料，以提供晶体管栅极漏电流的必要绝缘，并改进光刻技术，以允许在30纳米的特征图案。这些进展取决于在纳米材料制备和特性方面的基本进步，持续缩放被认为需要进一步根本性的进步，或许涉及碳纳米管或石墨烯。⁵⁶

纳米技术的经济贡献和增长潜力

纳米技术已经对广泛的技术领域产生影响。一些观察家认为，纳米制造如同电力、电脑和互联网各项创新技术，具有深刻转变经济体的潜力。并有从改进电池动力汽车，到更有针对性的药物治疗等广泛领域的潜在应用，到纳米管增强遥感能力的铺路。原则上，由于其广泛的特性，纳米技术已通过第1.2节确定的所有渠道来刺激经济增长的潜力。

纳米技术通过解决全球可持续发展的挑战，还有提高社会福利的潜力。例如，已在开发用于水处理、淡化和再利用等基于纳米技术的解决方案方面取得显著进展。纳米技术人员改进食品安全和生物安全，为制造更省油的汽车，创建从其他气体分离二氧化碳的方法，生产轻便、但强大的纳米复合材料，并显著提高塑料太阳能电池的效率。

量化纳米技术的所有进展对当前经济的贡献则具有挑战性，更不用说量化纳米技术对未来经济增长的潜力，这甚至是不可能的。除了数据可用性的限制，目前尚不清楚如何评估虽小、但却是流程产品基本部件的纳米技术发明的价值。例如，现代半导体的尺寸特征通常在纳米尺寸范围内，半导体和电子产品市场作为一个整体的价值分别超过2000亿美元和1万亿美元。⁵⁷ 不过，目前还不清楚这些价值中有多少应归功于纳米技术。

另一个挑战正如在本节开头所述，是如何决定哪些产品和服务属于纳米技术范围。表3.5列出当前纳米技术相关市场规模的不同估计，说明了定义不同则导致完全不同的估计。然而，可从这些数字查明纳米技术已给经济活动留下一些痕迹。

56. 见Roco等（2010年）。

57. 见Bonaccorso等（2015年）。

表3.5: 对纳米技术经济贡献的不同估计

估计	地域范围	纳米技术的定义	资料来源
2012年7310亿的收入	全球	纳米促成的产品	Lux Research
2014年260亿的市场规模	全球	纳米技术应用的狭义定义	BCC Research
2011年1000亿美元的市场规模	全球	纳米药物	BCC Research
2010年3000亿美元的最终产品的市场价值	全球	(不详)	Roco (2001年)

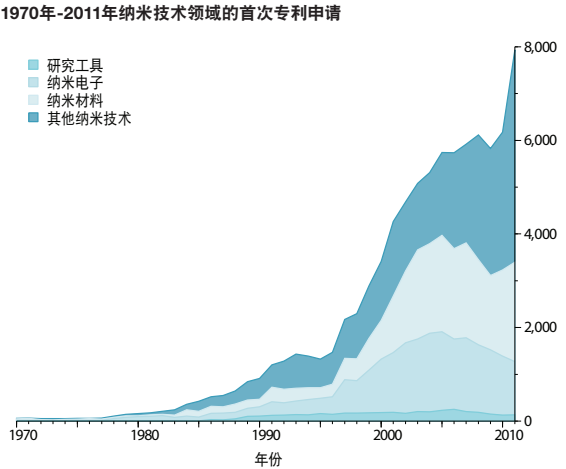
3.2.2 纳米技术创新生态系统

纳米技术在何种生态系统中蓬勃发展？作为第一步，纵观纳米技术专利态势则很有用。虽然没提供创新态势的明确反映，但专利数据提供了一些主要创新者的大量信息——尤其是那些参与有商业潜力的技术开发的创新者。为了补充这一情况介绍，该讨论就介绍一些有关纳米技术开发的主要公共支持计划，提供主要研发者信息，并探讨知识如何通过纳米技术创新的生态系统而流动。

专利态势

根据为本报告编制的专利地图，图3.6描绘了1970年至2011年全球纳米技术领域首次专利申请的数量。⁵⁸首次专利申请是最接近独特发明概念的统计措施。下图显示了纳米技术专利申请的快速增长；自1995年以来，专利每年平均增长11.8%。在上一小节讨论的纳米技术创新的三个领域说明了这一时期的大部分专利活动。不过，令人关注的是2004年专利在这些地区达到峰值以及在那之后其他纳米技术应用得到较快的专利增长。

图3.6: 纳米技术专利申请快速增长，尤其是1990年代中期以来



资料来源：WIPO根据PATSTAT（参见技术注释）。

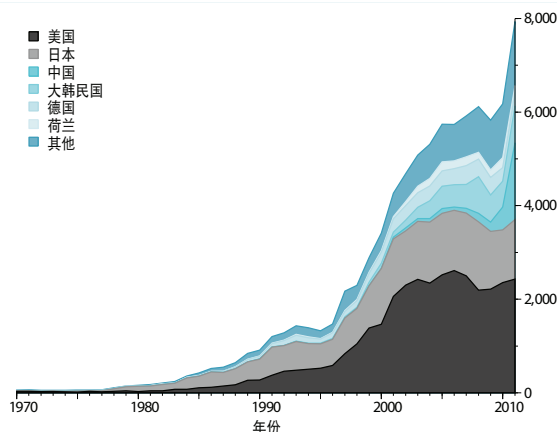
图3.7列明与图3.6相同的专利申请，但提供按专利申请人来源国的分类。这表明日益增强的地域多样性。直到上世纪1990年代末，美国和日本居民占纳米技术专利申请的大多数，但此后其他来源国已得到重视。尤其值得一提的是大韩民国在21世纪初、甚至更近以来中国专利的崛起。令人关注的是，大韩民国的创新已申请纳米材料和纳米电子学的专利，而中国的专利申请几乎全部侧重于上一小节讨论的三个领域以外的纳米技术应用。⁵⁹自2000年代中期以来，美国和日本纳米技术专利活动不仅比其他来源国减少，而且绝对数量也下降。

58. 由于专利申请仅延迟公布，最新可获数据属于2011年。请参阅本报告技术注释，了解标示纳米技术专利所用方法的介绍。

59. 尤其是，与日本的37%、大韩民国的44%和美国的38%相比，1995年至2011年期间源于中国的纳米技术专利的69%属于“其他”类别。

图3.7: 日益增强的纳米技术创新的地域多样性

1970年-2011年按来源国列出的首次专利申请



资料来源: WIPO根据PATSTAT (参见技术注释)。

图3.8提供了纳米技术专利活动的完整全球概览。除了上面提到的国家外，其他一些中等收入国家，尤其是巴西、印度、墨西哥和南非表明某种程度的专利活动，尽管总数大大低于主要的专利来源国。

最后，询问学术专利在纳米技术领域有多么重要则令人关注。图3.9列明1970年以来不同类型申请人对整体专利的贡献。回顾纳米技术的科学起源，人们可能会期待公司专利的份额会随时间推移而增加。但是，情况恰好相反。学术专利的比例从1980年的8.6%上升到2000年的16.1%，并在2011年达到40.5%，这是在本报告讨论的突破性创新中学术专利的最高份额。不过，来源国之间有明显差异。虽然专利活动在大多数国家崛起，但学术专利份额的平均比例如下：日本申请人占8.2%，德国申请人占19.3%，美国申请人占26.9%，大韩民国申请人占35.6%，中国申请人占73.0%。⁶⁰实际上，学术申请人在中国专利申请中占主导地位，这在很大程度上解释了自2000年代中期（见图3.9）以来全球学术专利份额的明显增加。这也可解释上文所讨论的中国申请的不同技术重点。

公共资助计划

各国政府通过各种机制、包括使用基金和采购合同的直接研发开支、创新奖和研发税收优惠政策来支持纳米技术创新。量化这些机制的重要性并不简单。可获得的数据来源往往没报告公共资助计划中纳米技术的特定部分，尤其是与技术无关的计划，例如研发税收抵免。不同的纳米技术定义和在国家一级运作的某些计划，进一步使量化任务复杂化。由于这些限制因素，现有的数据指出以下几点：

- 大多数纳米技术特有的公共资助来自于直接补助形式，无论是基础研究，还是早期阶段的商业化。超过60个国家建立了2001年至2004年期间国家纳米技术研发计划。第一个、也是最大的此类计划是美国国家纳米技术计划，自2000年以来已通过不同的联邦机构提供了近200亿美元的资助。⁶¹
- 估计数表明，全球各国政府在纳米技术研发方面的支出在2012年约达79亿美元，美国和欧盟领先，各支出约达210亿美元。⁶²其次是日本的13亿美元、俄罗斯的9.74亿美元以及中国和大韩民国各仅低于5亿美元。其他目睹政府正对纳米技术大量支出的中等收入国家包括巴西和印度。
- 研发税收优惠比较难以估算，但同样重要，因为每年在世界各地的此类激励措施的花费达数百亿美元，纳米技术研发必将从中受益。⁶³
- 创新奖不是纳米技术领域的主要政策措施。不过，在美国也设有私人非营利奖品和提议美国联邦纳米技术奖。⁶⁴

61. 见Ouellette (2015年)。

62. 就欧盟而言，这包括各国政府和欧洲委员会两者的开支。见Lux Research Inc. (2014年)。

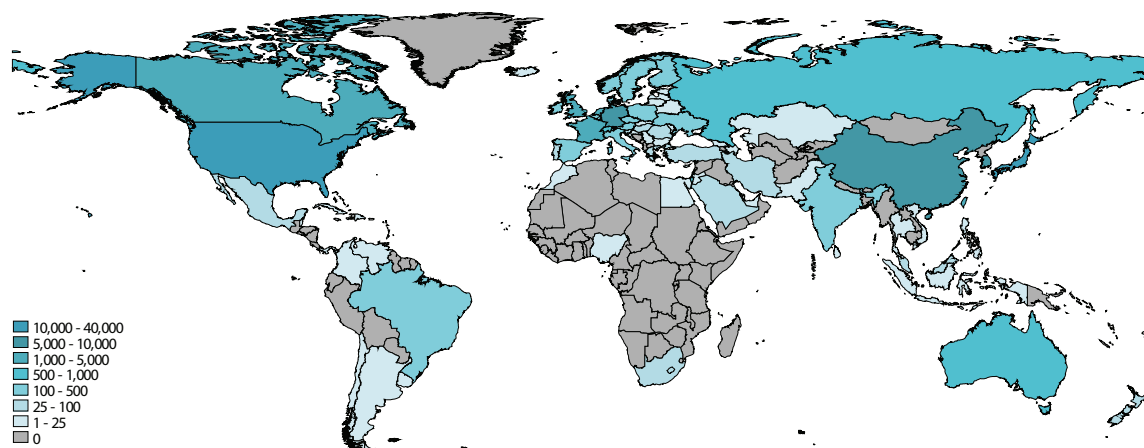
63. 见经合发组织 (2011年)。

64. 见Hemel和Ouellette (2013年)。

60. 这些份额是指1990年至2011年期间所有首次专利申请。

图3.8: 纳米技术创新的完整地域图示

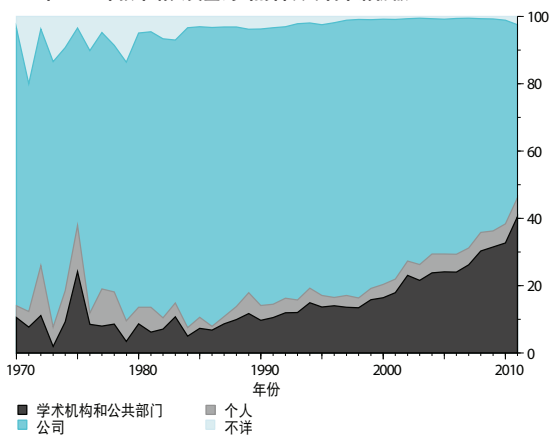
自1970年以来按来源国列出的首次专利申请



资料来源：WIPO根据PATSTAT（参见技术注释）。

图3.9: 学术专利越来越受到重视

1970年-2011年按申请人类型列出的首次专利申请份额



资料来源：WIPO根据PATSTAT（参见技术注释）。

如上所述，政府本身是纳米技术生态系统的关键参与者。它们通过国家实验室和国家资助大学来进行大量研发活动。私立大学和其他非营利性研究机构也是主要参与者，一般通过政府基金进行运作。由于很多大学研究成果都发表，识别领先的纳米技术研究机构的方法是查看出版总量。表3.6就是这样排列的，依靠在科学网中的出版数量，这是最全面检索科学出版物的数据库之一。⁶⁵ 为了比较之目的，还列出这些机构的首次专利申请数量。拥有数量最多的纳米技术出版物的机构有：中国科学院、俄罗斯科学院、法国国家科学研究中心和日本的三所大学。所有排在前20的各科学机构也申请了纳米技术发明专利。然而，出版内容与专利产出并没表现出明显联系，这可能反映了机构战略与专利政策之间的差异。

纳米技术的研发者

纳米技术创新的生态系统由不同参与者组成，包括政府实验室、大学和其他非营利性研究机构、大型企业和小型初创企业。也有风险投资者和已经出现的中介机构，它们帮助促进这些参与者之间的资金和知识流动。

65. 纳米技术出版物和专利的图示方法不同（见Chen等（2013年），和技术注释）。然而，这两个指标应该依然可作广义比较。

表3.6: 自1970年以来排名前20位的纳米技术研究机构

研究机构	国家	科学出版物数量	首次专利数量
中国科学院	中国	29,591	705*
俄罗斯科学院	俄罗斯	12,543	38*
法国国家科学研究中心	法国	8,105	238
东京大学	日本	6,932	72
大阪大学	日本	6,613	44
日本东北大学	日本	6,266	63
加利福尼亚大学伯克利分校	美国	5,936	1,055
高级科学研究委员会	西班牙	5,585	77
伊利诺伊大学	美国	5,580	187
麻省理工学院	美国	5,567	612
新加坡国立大学	新加坡	5,535	75
中国科学技术大学	中国	5,527	na
北京大学	中国	5,294	247
印度理工学院	印度	5,123	14
剑桥大学	英国	5,040	43
南京大学	中国	5,035	95
浙江大学	中国	4,836	191
首尔国立大学	大韩民国	4,831	163
国家研究委员会	意大利	4,679	17
京都大学	日本	4,540	95

*反映属于各自学术界的所有机构的出版物和专利产出。

†涉及加利福尼亚大学整个系统的首次专利申请。

资料来源：Chen et al (2013年) 和WIPO根据PATSTAT (参见技术注释)。

各种规模的企业都从事纳米技术研发。一项估计表明，2012年全球企业在纳米技术研发的支出维持在100亿美元。这个数字超过了对全球各国政府的纳米技术研发支出的估计（见上文），证明了纳米技术在商业上的可行性。最大的研发支出企业所在国是美国、日本和德国，它们的公司在2012年合并的支出为70亿美元。⁶⁶

表3.7: 自1970年以来排名前20位的专利申请人

申请人名称	来源国	首次专利申请数量
三星电子	大韩民国	2,578
新日铁住金	日本	1,490
IBM	美国	1,360
东芝	日本	1,298
佳能	日本	1,162
日立	日本	1,100
加利福尼亚大学	美国	1,055
松下	日本	1,047
惠普	美国	880
TDK	日本	839
杜邦	美国	833
索尼	日本	833
富士胶卷	日本	815
丰田	日本	783
霍尼韦尔	美国	773
中国科学院	中国	705
清华大学	中国	681
富士通	日本	673
麻省理工学院	美国	612
西部数据	美国	568

资料来源：WIPO根据PATSTAT (参见技术注释)。

表3.7列出了排名前20位的纳米技术专利申请人，其中大部分是公司。这些申请人占了本报告专利地图标明的所有首次专利申请的22.8%。东亚申请人在这个名单中占主导地位——10个日本公司、三星电子、清华大学和中国科学院；其余排名在前20位的申请人都来自美国。虽然前20名中所有公司申请人都是经营多年的跨国公司，美国的迹象表明小公司的专利份额随时间推移而增加。⁶⁷此外，侧重于纳米电子的公司占表3.7专利申请人名单的主导地位。至于纳米技术的其他应用，新入市者可能更为重要。

66. 所有研发估计数来自Lux Research Inc. (2014年)。

67. 见Fernández-Ribas (2010年)。

联系与知识流动

什么样的机制将各种纳米技术创新者联系起来, 以及知识从中如何流动? 正式的许可协议很重要, 但大量转让则通过非正规渠道进行。对美国纳米技术产业的一项研究得出的结论认为: “最广泛使用的技术转让机制是出版物和在各种会议、讲习班、网络研讨会介绍技术成果。”⁶⁸

纳米技术的创新有时遵循从学术研究到企业发展到上市产品的有序发展, 但是“非线性”路径也很常见。风险投资可成为学术界与产业界之间的桥梁, 但在2012年全球对纳米技术的风险投资仅为5.8亿美元, 这在各国政府的79亿美元加上企业的100亿美元资金总额中只占百分之三。⁶⁹换言之, 政府和现金充裕的公司在推动纳米技术发展中发挥更加关键的作用。

政府促进技术转让的一个重要途径是通过提供各类参与者都可使用的必要的纳米技术基础设施。纳米技术的研发往往是资本高度密集型, 有的研究往往需要洁净室来容纳价格昂贵的制造和测量工具, 如在第3.2.1分节所述的专门显微镜。例如, 美国国家科学基金会资助了美国大学的14处设施, 组成国家纳米技术基础设施网络。⁷⁰该网络的成员为所有符合条件的用户、包括企业的纳米制造和特性鉴定提供支持。

政府还采用直接拨款来帮助从学术界向产业界转让技术, 资助那些寻求商业化的纳米技术企业创业。例如, 在美国、德国、法国和中国存在相关计划。⁷¹网络的成员为所有符合条件的用户、包括企业的纳米制造和特性鉴定提供支持。

大公司反过来在帮助纳米技术产品商业化方面一直活跃, 其中包括资助学术研究和通过与小公司合作。全球纳米技术创新的一项研究表明, 在一般情况下, “大公司在协同生产和转让纳米技术传授知识方面发挥根本作用, 采取的做法是作为直接连接产业界共同专利网络与公共研究的高度集中的节点。”⁷²

存在不同的渠道组合来促进国家之间的知识流动, 包括向低收入和中等收入国家传播纳米技术。比较贫穷国家尤其关注纳米技术应用, 包括能量储存、农业生产力的提高、水处理和卫生技术。大约60个国家活跃于纳米技术研发, 不同组合的国家已经举办和参加纳米技术会议。国际传播是通过正式合作协议进行, 如国际纳米技术中心和包括美国和墨西哥大学参加的先进材料协会。纳米技术还通过技术移民来传播。例如, 在美国的纳米科学家绝大多数是在外国出生, 诸如中国和印度这样的国家都实行“逆向人才外流”的政策来刺激本国国民的回移。外国直接投资在促进纳米技术传播中的作用尚不明显。例如, 一项研究发现, 尽管总体而言中国一直是受外国直接投资欢迎的目的地, 但有较多外国直接投资的各省似乎并没有产生较多的纳米技术专利; 相反, 中国纳米技术发展似乎由公共部门投资驱动。⁷³

68. 见国家研究委员会 (2013年)。

69. 见Lux Research Inc. (2014年)。

70. 见www.nnin.org/about-us, 将由国家纳米技术协调取代。

71. 见Ouellette (2015年)。

72. 见Genet等 (2012年)。

73. 见Huang和Wu (2012年)。

3.2.3 纳米技术与知识产权制度

前面的讨论介绍了不同的纳米技术参与者都依赖专利制度来保护其创新活动的成果。本分节将详细介绍知识产权制度在纳米技术领域的作用。它首先探讨专利在为研发投资拨款方面的重要性,以及创新者如何在国际上保护其专利。然后,它评估专利的公开作用的重要性,问及专利所有权是否会减慢积累式创新,并讨论对可专利性范围的可能限制。最后,它提供了对商业秘密在纳米技术创新中的作用的简要观点。⁷⁴

专利战略

正如第一章所述,专利在获取研发投资回报方面的重要性因部门不同而异。在某些部门——尤其是药品和化学品——专利在使公司拥有竞争优势上发挥核心作用。在其他部门——尤其是很多信通技术行业——特别是领先时间、品牌和其他机制则至关重要。虽然专利可能仍然在这些部门、至少对某些关键技术发挥重要拨款作用,但公司申请专利在一定程度上是为了确保其自由运作,并将其技术授权给其他公司。

没有证据可阐明有关专利在为具体涉及纳米技术的研发投资拨款方面的作用。然而,由于纳米技术创新的交叉性,很可能不存在一般模式,专利的作用取决于应用部门。例如,有关生物技术和化学的纳米技术专利可能比纳米电子专利发挥更重要的拨款作用。

专利的战略性使用也对纳米技术创新者寻求在本国市场以外范围的专利保护产生重要影响。图3.10说明专利申请人在哪里寻求对其发明的专利保护。它表明申请人在全球寻求保护的纳米技术同族专利的份额。正如可以看出的,美国是最频繁的专利目的地,申请人在美国为全球85%的首次申请寻求保护。日本、德国、英国和法国列在其后,份额在37%和52%之间。平均而言,纳米技术发明的首次专利申请导致与同一发明有关的三项后续专利申请。⁷⁵除了中国、土耳其和几个东欧国家,低收入和中等收入国家的目的地份额处于5%以下。⁷⁶

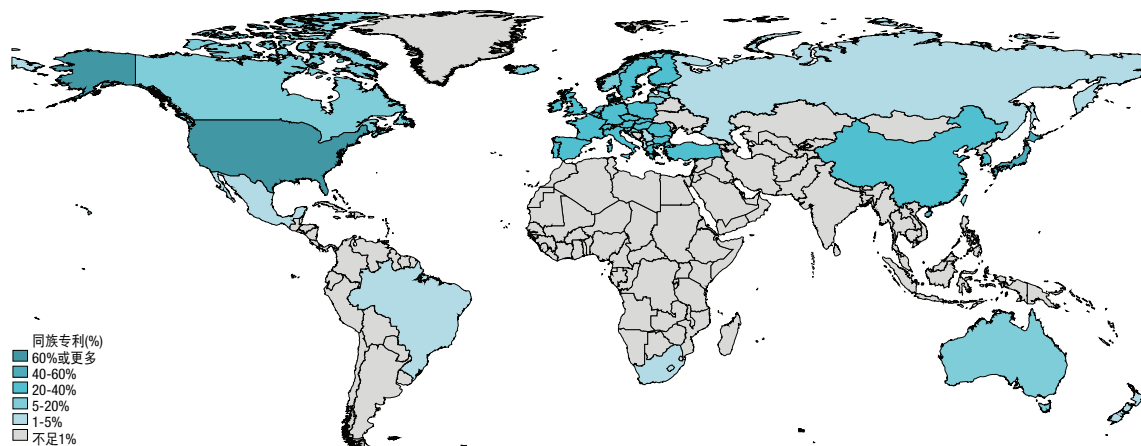
从全球专利全貌出现一些暗示性结论。首先,尽管许多纳米技术应用遍及全球,但创新者主要是在数量有限的高收入国家寻求专利保护。一方面,如上所述,这表明公司有其它手段为研发投资拨款。另一方面,它表明创新者没有看到其技术在技术能力更为有限的国家被仿造的大风险。其次,从大多数低收入和中等收入国家的角度来看,专利所有权不太可能构成技术传播的重大障碍⁷⁷与此同时,对专利的兴趣有限则表示在这些国家更广泛应用纳米技术可能还有其他障碍。

74. 商标对创新者保护其先行者优势很重要,关于采用“纳米”作前缀,存在是否应根据商标欺骗性原则予以规范的问题。此外,创造性的纳米艺术可引起版权法问题。然而,这些知识产权形式在本文没有得到进一步讨论。

75. 这一数字是指1995年以来申请的纳米技术专利。
76. 土耳其和东欧国家的目的地份额比较高,它们都是《欧洲专利公约》(EPC)成员,这很可能反映在欧洲专利局的专利申请,其中有不少不太可能导致在所述国家获得批准。
77. 在这里应说明两点。首先,虽然整个目的地份额低,这可能是由于申请人在低收入和中等收入国家中寻求保护商业上最重要的专利。其次,图3.10所依据的PATSTAT数据库并未涵盖所有低收入和中等收入国家,因而低估了这些国家的目的地份额。

图3.10: 纳米技术专利申请人主要寻求在高收入国家的保护

自1995年以来申请人在特定国家寻求保护的全球同族专利份额



资料来源: WIPO根据PATSTAT (参见技术注释)。

通过专利公开信息

尽管披露一直是专利制度建立以来的核心特征,但它如何促进知识传播和从事创新的后续工作的证据则有限。事实上,一些学者怀疑科学家们阅读专利,这往往被视为律师所写的书面法律性文件。然而,一份调查纳米技术研究人员的研究报告发现,其中有相当数量的人确实在专利中发现有用的技术信息。⁷⁸在主要定居于美国的211名研究人员中,64%的人报告说他们读过专利,并有60%因科学、而不是法律原因阅读专利的研究人员在专利中发现有用的技术信息。受访者报告说专利可以表明“特定设备如何运作”;他们可以“把设想和研究连贯起来,并提供[……]一些似是而非的观点”用于研究人员自己的研究,这些观点可使研究人员避免“走上别人已走过的路。”

虽然这项调查指出专利披露的价值,但也说明专利披露功能可得到改进。尤其是36%的受访者从未读过专利,40%的阅读技术资料的人也没找到任何有用信息。四个主要的抱怨是,专利写得令人读不明白;由于它们与科学期刊不同,它们不会面临评论审查,因此它们不可靠;它们重复期刊文章;而且,它们已经过时。此外,62%的专利读者认为他们所读的专利并没为纳米技术研究人员提供足够的披露信息,在无额外信息的情况下,不能重新创立发明。

因此,该研究报告提出了几项建议,以提高纳米技术专利的披露功能:应更严格地执行现有的披露要求;专利应提前公布——尤其是对于那些几乎无需保密的专利权人;应通过搜索和注释工具,改进专利文献的查阅;应设立在科学出版物中引用专利的鼓励措施。

78. 见Ouellette (2015年)。

积累式创新与专利丛林

与大多数创新活动一样，纳米技术创新属积累性，新发明通常建立在过去发明的基础上。这就提出了一个问题，专利权是否可能减缓甚至阻止积累式创新，这是为一些其他技术提出的顾虑。⁷⁹

纳米技术专利的一份法律研究报告提出的理由是，纳米技术不同于以往一个世纪中其他许多重要领域的发明，原因在于许多基础性发明从一开始就已获专利。⁸⁰ 其他评论者提出对有关纳米技术专利丛林的可能存在的担忧。⁸¹ 在某种程度上，专利态势过于分散和重叠，它们或许阻碍创新，因为讨价还价的上升的交易成本和滞留效应的风险增大。一项研究报告将重叠专利权归于专利局疲于应对这一新的跨学科技术，它不完全属于现有专利分类体系。⁸² 然而，尽管有这些顾虑和专利自1990年代以来的快速增长（见图3.6），但至今几乎没发现实际的专利丛林问题的证据。这或许因为纳米产品市场仍太年轻，此类问题尚未浮出水面，或者可能是一个迹象，表明纳米技术许可市场已比预测的更有效。⁸³

此外，尽管已有一些纳米技术的专利诉讼重点辖区，如美国，与普通专利诉讼相比，纳米技术的专利诉讼并没有什么非同寻常之处。同样地，有证据表明，纳米技术专利可能有问题，例如授权时间长，有大量难以检索的申请等，但这些是影响专利系统作为一个整体，而不是具体纳米技术专利的问题。⁸⁴

可专利性范围

新技术往往提出何种发明的权利要求应有资格获得专利保护的问题。国际法一般要求专利可用于“所有技术领域的任何发明”。⁸⁵ 然而，它允许一些可能涵盖纳米技术发明的例外，其中包括医疗诊断方法和可能危及健康或环境的发明。此外，一些国家已采取一定的限制，可能会排除某些纳米技术发展的可专利性。

重要的是，美国最高法院最近决定，任何“自然产品”，如基因组DNA，以及任何“自然规律法则”，如用于校准药物的适当剂量的方法可能会被排除在专利性之外。⁸⁶ 这些决定提出了关于美国许多纳米技术专利的有效性问题。⁸⁷ 在自然界中存在许多纳米材料；例如，碳基纳米颗粒是由普通蜡烛火焰产生，并且石墨烯简单地通过用铅笔写入而制备。根据美国最高法院的决定，似乎尚未对纳米技术专利有任何挑战，但这可能会成为专利权人的担忧。

其他学者提出了问题，即如果纳米技术发明仅仅改变现有技术的尺度，这些发明相对于现有技术和发明步骤则缺乏新颖性。⁸⁸ 然而，尚无证据表明这些顾虑已成为实践中可专利性的明显障碍。

79. 见WIPO（2011年），进一步了解专利如何影响积累式创新进程的深入讨论。

80. 见Lemley（2005年）。他认为飞机（1903年至1917年之间）和无线电（1912年至1929年之间）是基础创意获得专利的最后新兴技术。

81. 例见Sabety（2004年）、Bawa（2007年）和Sylvester与Bowman（2011年）。

82. 见Bawa（2004年）。

83. 见Ouellette（2015年）。

84. 见Ganguli与Jabade（2012年）。

85. 见《与贸易有关的知识产权协定》（TRIPS）。

86. 见Ouellette（2015年）。

87. 见Smalley（2014年）。

88. 前者见Ganguli和Jabade（2012年），后者见Bleeker等（2004年）。

商业秘密

由于许多纳米技术发明都难以进行逆向工程, 创新者可能更愿意对它们保密, 而不申请专利。实际上, 有证据表明, 纳米技术流程创新尤其可能受到商业秘密的保护。⁸⁹ 此外, 在纳米材料生产商中, 那些侧重于陶瓷纳米材料、纳米结构金属和催化剂的生产商更可能依靠商业秘密。因此, 仅考虑纳米技术专利, 则提供不完整、且可能有偏见的纳米技术态势的状况。

如图3.9所示, 许多纳米技术研究在大学进行, 而大学几乎没有对发明保密的动机。然而, 对于许多公司来说, 商业秘密是适当的研发投资的重要战略。美国的重大商业秘密诉讼表明, 这种形式的知识产权保护很重要。例如, Nanogen在2000年状告前雇员滥用商业机密, 认为该雇员对纳米技术生物芯片提出的专利申请披露了Nanogen拥有的商业秘密。和解费用总额大约1100万美元。在另一起案件中, 安捷伦科技公司起诉前员工对使用纳米粒子液相色谱盗用商业秘密后获得450万美元赔偿金。⁹⁰

如同其他创新领域一样, 商业秘密政策必须在向公司提供研发投入的激励措施与不过分限制技术知识传播之间取得平衡。在此方面的一个关键问题是: 创新公司的员工在何种程度上可将其知识带给竞争对手。正如在第3.2.2分节的所述理由, 劳动力的流动性可能是重要媒介, 有关纳米技术创新的专业知识通过它传播到整个经济。不过, 这仍然不是具体的纳米技术问题。正如本节所解释的, 纳米技术的创新生态系统在许多方面是完整的创新生态系统的缩影以及有关纳米技术的知识产权制度似乎与其一般作用相似。

89. 见Lux Research Inc. (2007年)。

90. 见Ouellette (2015年) 了解详情。

3.3 机器人技术

“说到底，机器人是关于我们。它是模仿我们的生活、想知道我们如何工作的学科。”

Rod Gruben,

马萨诸塞大学阿默斯特分校感知
机器人技术实验室主任

机器人技术是推进机器人在汽车制造、建筑工程、学校、医院和私人家庭等诸多领域使用的一项应用技术。工业机器人手臂在汽车和其它制造业的自动化应用方面已使用差不多三十或四十多年。而且，由于近年来各种新旧技术的融合，如人工智能（AI）和传感技术，已能制造出具有巨大潜力、能在经济和其它社会领域广泛使用的高度自动化的“智能”机器人。⁹¹

3.3.1 机器人技术的发展及其经济重要性

大英百科全书将机器人定义为：“任何可以替代人力自动操作的机器。”按照国际机器人联合会（IFR）的定义：“机器人是具有多自由度两轴或多轴、自动可编程操作机。它可在固定环境移动并完成目标任务。”⁹²

这个定义常被用来强调机器人与其它机械的差别。一个机器人具有能识别环境、调整自己的动作以完成目标任务的能力。根据技术的发展各个阶段，机器人可分为可编程自动控制机器人、半自动化机器人，到有更多自动、多功能的机器人系统。全自动化系统可在没有人力参与下，独立操作，并能为完成目标任务而作出某些“决定”。

机器人技术的历史：工业自动化用的机器人手臂

机器人，就其存在的基本形态，已不是新概念，其历史可追溯到古希腊。当时是用自动装置、必要的非电子驱动的机械，以达到运送物体的目的。从简单自动装置的发明，继续演变发展到今天的机器人。随着工业化进程，今天这种形态的机器人的发展，可用于从事完成重复性工作。

在工业机器人的近现代史中，两个领域的关键性技术发明才使首批工业自动化机器人得以诞生。⁹³首先是控制系统，人员和计算机可在一定距离操控机器人。第二项便是机械转动系统，如机器人移动和抓取物件的手臂和脚。

关于遥控系统，1898年发明了一艘遥控游艇，并取得了专利，同时在纽约一个公园的公开场合进行演示，证明是成功的。⁹⁴

至于机械转动系统，第一个工业机器人于1937年研发出来，类似于一个小起重机。此后，W.G. Walter研发出来机械人脚和手臂。此人于1940年代制造出第一个自动机器人。⁹⁵由于技术的突破，使机器人技术行业得到发展。借此机会于1950年代中期发明了第一个自动操控可编程的机器人手臂，并取得这项发明的专利。⁹⁶而后，Devol与Joseph Engelberger合作，后者被许多学者公认为“机器人技术之父”，开办了一家名叫Unimation的公司，以Devol的专利技术为基础，于1956年代开始，专门生产机器人。这是工业机器人商业化的开始。⁹⁷

此后，机器人手臂得到不断的改进和完善。例如，第一个计算机控制、能转动的电动手臂在凯斯西储大学凯斯技术学院诞生。1969年，斯坦福大学的研究人员研制出了一个叫作程控多功能的转动手臂，可对装配和自动化过程进行更熟练的管控。⁹⁸其中有一位名叫Victor Scheinman的研究员开办了一家名为Vicarm的公司，生产这种被认为是发展机器人行业主要部件的手臂。后来，他于1977年将该公司出售给了Unimation。

91. 本节摘自Keisner等（2015年）和Siegwart（2015年）。

92. 见IFR。

93. 见IFR（2012年）。

94. 美国专利613,809。

95. 美国专利2,679,940。Willard L.V. Pollard和Harold A. Roselund，为DeVilbiss Co.工作，1942年申请了第一台可编程的机械化油漆喷雾器专利。

96. 美国专利2,988,237。亦见Nof（1999年）。

97. 见Rosheim（1994年）。

98. Scheinman（2015年）。

主要是在上述提到的研究人员和公司的研究和生产基础上，第一个商用机器人于1961年在美国通用汽车公司汽车生产组装线投入使用。⁹⁹ 欧洲的第一个工业机器人——Unimate，于1967年在瑞典生产面市。1969年，挪威的一家叫Trallfa的公司向市场投放了第一个喷涂机器人。1973年，ABB的Robotics和KUKA Robotics向市场投放了他们的第一批机器人。从那以后，机器人机械部分的功能和控制技术继续由机器人技术行业进行改进和提高。

大约是在Devol申请专利的10年之后，日本的一些公司依照与Unimation签署的许可协议，开始开发和生产他们自己的机器人。到1970年代，机器人应用技术在国家和日本的汽车制造业得到广泛应用。到1980年代末期，日本的发那科、松下、三菱集团、本田公司的机器人研发部门在生产和使用工业机器人方面处于世界领先地位。

包装行业机器人的平行关键发明，如洛桑联邦技术研究所研发的三角州包装机器人，已申请了28项专利，使包装业实现了现代化。

日本早稻田大学研发出来完全具有人类特点的机器人，为后来在这个领域创新打下坚实基础，有利于增强面向消费者的机器人市场的人机互动。

向人工智能和连通性的自主型系统方向发展

在使机器人不断增加新功能的征程中，研究人员一直致力于增进机器人的自主性和改进人机互动。机器人领域以外专业出现的新材料和技术创新，如人工智能（AI）、机电技术、导航技术、传感技术、目标识别技术和信息处理技术，都是今天促进机器人技术不断发展的核心技术。¹⁰⁰ 这项研究已涉及了更多学科。

特别是软件和人工智能的创新，将是下一代机器人的核心技术。这有助于机器人的操控和躲避障碍。1980年代中期，有助于机器人路径规划的算法取得了启发性突破。¹⁰¹ 这个算法逐渐集中在如何能让机器人做出更复杂的决定，如如何能让家庭和服务机器人模仿人的情绪。目前，研究人员正在开发能模仿人类大脑、语言和能做决定方面技术的软件。

基于连接、传感器和处理能力的改进，机器人日益采用数据驱动，并且可与更多的智能网络相连接，为此，要提交所谓完整的机器人技术和智能操作系统。在使用层级方面，我们已经看到机器人技术已扩展应用到自主汽车和飞机的研发和制造方面。

机器人技术的经济贡献

机器人对制造业的巨大影响已得到证明。自1970年代产业自动化开始以来，机器人在制造业的应用日益普及。工业机器人市场2014年的产值估计可达290亿美元。这包括软件、辅助部件和系统工程的价值（见表3.8）。

99. IFR (2012年)。

100. Kumaresan和Miyazaki (1999年)。

101. Smith和Cheeseman (1986年)。

表3.8: 机器人产值不同货币的估值

估值	定义	资料来源
290亿美元 (2014) 330美元 (2017)	工业机器人全球市场	IFR (2014a)
500-620亿欧元 (2020)	工业机器人全球市场	euRobotics (2014)
36亿美元	服务机器人全球市场 (其中 17亿美元的产品用于国内)	IFR (2014b)

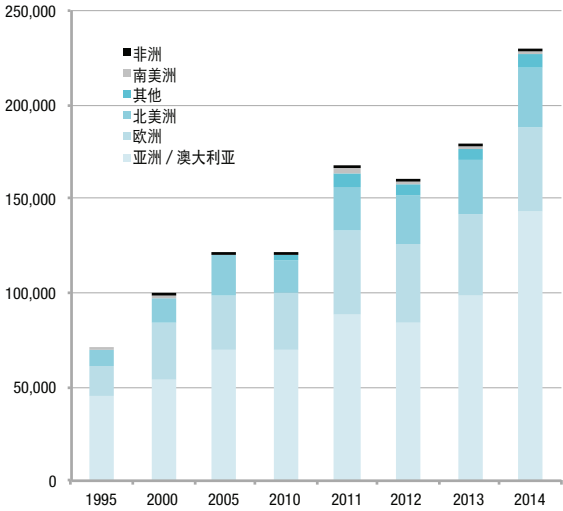
如图3.11 (上面) 所示, 机器人的销售量在增长, 2014年达到230000件, 1995年最多达70000件。预计最近几年还会迅速增长。根据市场规模, 日本、美国、欧洲还将位于世界前列。

令人关注的是, 在全球机器人的销售方面, 个别地区的销售份额有了稍许变化。亚洲领先, 欧洲和北美紧随其后, 南美和非洲数量较少。但在亚洲, 中国一扫1995年没有机器人的历史, 超过日本, 成为最大的机器人销售市场。在亚洲, 现在大韩民国是工业机器人的第二大用户。¹⁰²

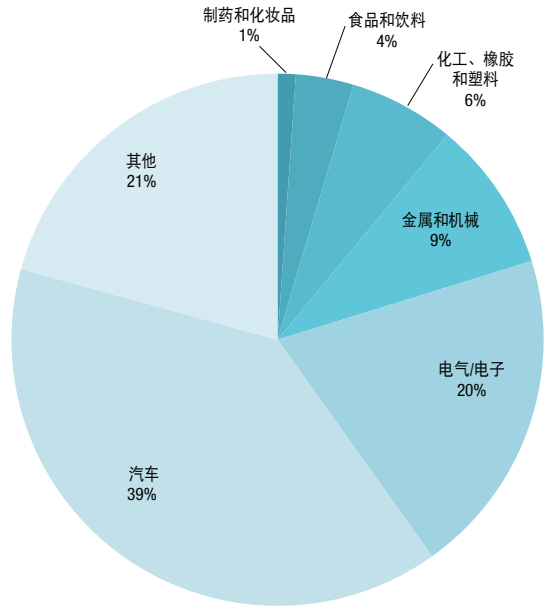
按照行业划分, 汽车制造业仍然是实现产业自动化的主要驱动力量。其次是电子行业 (见下图3.11) 技术创新使制造业变得更灵活和缩小规模。

图3.11: 全球工业机器人销售量增加, 亚洲和汽车行业领先

1995-2014年的销售量 (上), 以1000为单位



2014年 (下) 行业的份额, 按百分比划分。



注释: 图中所示的地区是按IFR的定义划分的。

资料来源: IFR世界机器人技术数据库, 2014年。

102. 按照机器人的使用密度, 2014年大韩民国在全球使用密度最高; 在制造业, 每10000人就使用417个机器人; 其次是日本 (323个) 和德国 (282个)。比较而言, 中国的使用密度为30个, 巴西是9个, 印度2个 (IFR, 2014a)。

除了制造业之外，机器人的一个新领域是服务机器人的制造和应用。这类机器人包括专门用于农业、采矿、运输、空间和海洋勘测的机器人，还包括大面积无人管控的区域和卫生、教育及其它无人监控领域用的机器人。¹⁰³

专业服务机器人的产值在2014年已达到36亿美元，预计会引导未来机器人技术应用的增长。¹⁰⁴最大的市场是日本、大韩民国、美国和欧洲。使用这种机器人最多的行业主要有：国防、后勤和医疗。外科机器人设备市场在2014年已达到32亿美元，预计到2021年可达到200亿美元。¹⁰⁵此外，另一个新兴市场是机器人在个人和家庭的应用。与不多的大规模市场产品相比较，这个市场经历了强劲的增长，产品包括：清洗地板的机器人，绿化用的割草机机器人，用于教育的机器人，还有老人用的伺服机器人。¹⁰⁶这种类型机器人的销售量在2012至2013年间不多，甚至裹足不前，而到了2014年却有了质的飞跃，其前景看好。

几份咨询报告都强调各种支出的节省都是因为在医疗保健、制造和服务业使用了先进的机器人技术，而且对经济的增长有较高的贡献度。¹⁰⁷但可以肯定机器人对提高生产率的贡献，而且越来越具有挑战性。

机器人可提高劳动生产率，降低生产成本，改进产品质量。特别是在服务业，机器人以全新的商业模式出现。机器人可以向残疾人提供帮助，可帮助修理草坪，而且在宾馆饭店、医院等服务业的应用也日渐增多。

在福利方面，机器人帮助人类避免剧烈或危险的工作。它们也有可能有助于解决社会挑战，如照顾老龄人口或达到环保的交通。

在某种程度上，与使用机器人经济效益相关的，就是它能替代部分现有的劳动力，使部分生产实现自动化。¹⁰⁸一方面，更多地雇用人力，可使制造公司保持竞争力，避免企业外迁它国，并且创造出较高工资的就业岗位。另一方面，机器人的使用，替代了一些低技能的岗位，同时，也使一些高技能的岗位不因自动化而受影响。不过，两相比较，目前机器人的使用效果尚不确定。

在全面经济效益方面，另外一个问题是，机器人的创新技术是否能扩散到已具有重大影响力的低、中收入国家。机器人的组装基地，除了几个高收入的经济体和几个例外（如中国）之外，仍然有限，包括巴西和印度，而且特别是在欠发达经济体。不过，预计一些参与全球或本地供应链的加工和装配企业需要更新和使用机器人，包括到目前为止仍只依靠廉价劳动力参与竞争的中等收入经济体、甚至低收入经济体。为解决当地加工企业的产品质量问题，机器人在一些低收入国家也获得一席之地。

3.3.2 机器人技术创新生态系统

从工业自动化时代到高级机器人技术的应用，机器人技术的演变一直围绕经济方面而展开。目前机器人技术创新系统是以几个关键轨迹为特点。

机器人技术集中在主要国家和为数不多但联系紧密的机器人群集

机器人技术的创新主要在几个主要国家和机器人技术群集内进行。¹⁰⁹这些群集致力于社会与私人研究之间的衔接和使创新成果商业化的那些公司更加强盛。

103. 见IFR。

104. IFR (2014b)。

105. Wintergreen Research Inc. (2015年)。

106. IFR (2014b)。

107. 麦肯锡全球研究所预测，到2025年，高级机器人技术的应用，每年可使潜在的经济效益激增到1.7万亿至4.5万亿美元，包括医疗保健方面应用产生的2.6万多亿美元价值（麦肯锡全球研究所，2013年）。

108. Metra Martech (2011年)，Miller和Atkinson (2013年)，Frey和Osborne (2013年)和Brynjolfsson和McAfee (2014年)。

109. Green (2013年)。

机器人技术公司数据库的一项分析表明，机器人技术群集主要设在美国、欧洲，特别是在德国和法国，其次是在英国和日本，但在大韩民国和中国也增多。¹¹⁰ 因国民生产总值和人口规模的关系，加拿大、丹麦、芬兰、意大利、以色列、荷兰、挪威、俄罗斯联邦、西班牙、英国、瑞典、瑞士也纷纷开始在本国设立较大规模的创新机器人技术公司。

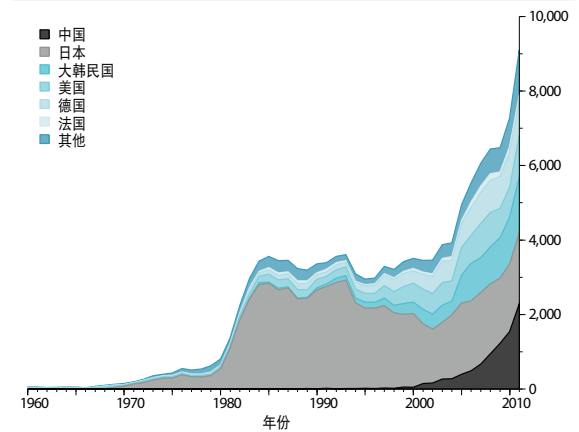
过去发明创新活跃，主要集中在几个国家，现在有了进一步的扩大，包括亚洲的一些创新国家。这在专利数据上可以反映出来。图3.12描绘了在1960年至2012年间，全世界机器人技术首次专利申请的数量。从该图可以看出，美国和欧洲的发明者比较重视，后来日本的发明者开始重视。2000年初，大韩民国开始出现，最近出现的是中国。¹¹¹ 而2000年，中国在机器人技术方面的专利数量只占全世界这方面专利总数的百分之一。从表中可以看出，中国在2011年已上升至25%。大韩民国的份额在2011年占16%。日本的份额从2000年的56%下降到2011年的21%。

在这几个国家里，机器人技术群集主要集中在与此有关的特定的城市或地区以及顶尖大学。例如，在美国，波士顿、硅谷和匹兹堡，一般被认为是三个主要的机器人技术群集。欧洲比较突出的群集有：法国的法兰西岛区（特别是在民用飞行器方面）、德国的慕尼黑、丹麦的欧登塞、瑞士的苏黎世、瑞典的机器人达伦。亚洲的主要群集有：大韩民国的富川、日本的大阪和名古屋、中国的上海和辽宁省。

一些在机器人技术创新方面做得好的公司位于这些群集之外。这些公司通常被公认为是汽车制造业中的大公司。还有就是日益增多的并且在本行业出类拔萃的互联网公司。他们利用财务手段和技术雇用机器人技术方面的专家并利用这些专家研发出来的技术知识。另外，他们也往往通过兼并一些新公司来达到自己的目的。

图3.12：机器人技术专利申请尤其在1980年代后期到2005年期间得到快速增长

1960年-2011年按来源国列出的首次专利申请



资料来源：WIPO根据PATSTAT数据库（参见技术注释）。

图3.13列明2000-2012年间首次专利申请的来源国。取得专利最多的是日本、中国、大韩民国、美国，每一个国家都获得了10000多项专利，占已获取机器人技术专利总数的75%。其次是德国，大约获取9000项专利；法国，获取1500多项专利。

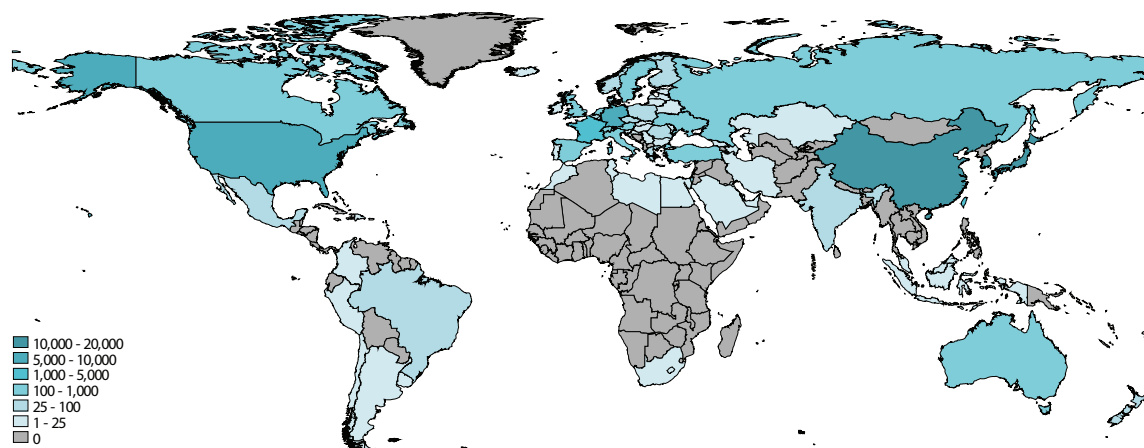
实际上，机器人技术的创新和公司的开办，除中国之外，大多集中在高收入国家。在中国，已看到机器人技术的专利数量猛增，还涌现出一大批成长最快的机器人技术公司，如大疆无人机公司（DJI）；还有一些可降低机器人成本的新型工业机器人制造公司，如埃斯顿（Estun）和新松（Siasun）。

110. Tobe。

111. 亦见UKIPO（2014年）。

图3.13: 机器人技术在不断创新, 但却受到地域差异的限制

2002年-2012年按来源国列出的首次专利申请



资料来源: WIPO根据PATSTAT数据库 (参见技术注释)

高度活跃与研究密集型相结合的机器人创新生态系统

机器人技术创新生态系统由紧密的、相互合作的参与者网络组成, 包括个人、研究单位和大学及大型和小型技术密集型企业。机器人技术将多种科学与技术结合起来的成就, 创造出了一些新的用途。除了已取得的一些进展外, 还在继续推出新的发明创造, 如新材料、动力、控制系统、传感和计算机控制系统的推出。

如在第3.3.1分节所示, 个体企业和他们的创业, 对推动和进一步发展机器人行业起到了关键性的作用。

杰出的公共研究机构也是机器人技术创新生态系统的关键参与者, 如顶尖的大学, 包括加拿大的麦吉尔大学、美国的卡纳基-梅隆大学、瑞士的联邦理工学院、英国的帝国理工学院、澳大利亚的悉尼大学、日本的大阪大学、中国的交通大学。还有一些著名的公共研究机构, 如大韩民国的科学技术研究所、德国的研究中心、台湾 (中国的一个省) 的工业技术研究院和俄罗斯科学院。

一直以来, 这些科研单位在技术创新中起着非常重要的作用。他们通常是从事长期的科学技术研究, 而其研究成果却要在很远的将来才能实现商业应用。此外, 特别是在机器人技术方面, 他们通过设立派生公司和子公司、通过发明专利 (见第3.3.3分节) 和与相关公司的紧密合作, 无论过去和将来, 都将在推动机器人技术发展方面起主要作用。¹¹²子公司的样板单位有: 帝国机器人技术公司、科纳尔大学、Schaff公司、东京大学。公司与公共科研合作更加紧密, 如库卡 (KUKA) 公司与德国机器人技术与机械研究所共同开发轻量级的机器人。还有就是, 他们不断地提供专业的机器人技术大学毕业生, 如公司雇用刚毕业的学生, 这对技术研发和推广起了重要作用。

在开办机器人技术公司时, 要确定三种主要类型:

首先是一些小的公司或专门从事机器人技术的公司。这些公司往往是由从属于机器人技术研究中心或机器人技术群集的独立发明人创办的, 有时还会得到政府的直接或间接的重点支持。例如通用机器人公司, 属于丹麦机器人技术群集, 与丹麦技术研究院有关联, 接受政府的开办资金。

112. Nof (1999年)。

虽然就这个行业本身而言,今天已经很成熟,但对于刚起步规模小的机器人技术公司,仍然潜力很大。在重大技术创新的初始阶段,这些小的公司表现得更灵活和反映更快速,与科研单位紧密互动。还有就是,技术创新生态系统越来越专业化,包括合适的专家公司在内。第三方外围开发者日益成为机器人技术创新系统的一部分。作为以开放源软件结构为基础的机器人技术平台是向前发展的一个起始点。另外,能提供与机器人技术有关服务(车辆或机械管理系统)的公司日渐增多。而且新涌现出来的,更多面向消费者的机器人技术公司和新的融资机构更适合这些刚刚起步的小公司。例如“Play-i”,现在称为“Wonder workshop”,主要生产教育玩偶机器人,最近通过公众融资平台筹到了资金。

其次是一些现有的规模较大的机器人技术公司,最初仅致力于工业机器人的研发和生产,如瑞士的ABB,日本的川崎重工、Yaskawa和发纳科(Fanuc),德国的库卡(KUKA),也都积极参与了机器人技术的研发。公司的规模问题,工业机器人技术硬件的创新都属资金密集型,研发要花费多年才能有成果。例如,汽车制造业一些大用户只愿意从规模大的、值得信任的老公司购货,以避免安全风险。此外,一些规模较大的机器人技术公司显现的新趋势是向服务和家庭机器人方面发展。美国iRobot公司就是这方面的先例。最初是从麻省理工学院分离出来,现已发展成为生产商业、私人家庭和安全方面用机器人的大公司。它的很大一部分收入源于军事订货。

第三,机器人技术行业以外的一些大公司也因参与相关的竞争而受益。像从事国防、空间、安全领域业务的英国BAE系统这样的大公司,不论现在和将来,都是机器人技术创新中的重要参与者。此外,一些汽车制造业的大公司将继续起重要作用,主要是他们自己要用机器人。一个重要的发展趋势是电子和ICT公司逐渐参与进来,如大韩民国的三星和英国的Dyson公司。当机器人技术愈来愈依靠链接和ICT网络、互联网或IT有关公司时,亚马逊、谷歌和脸书,还有印度的ICT服务公司、中国的阿里巴巴、台湾(中国的一个省)的富士康也都正在参与这场纷争,通常是以通过向老机器人技术公司参股方式获取份额。此外,一些医疗卫生方面的公司也在机器人研发中起日益重要的作用。例如,在外科机器人市场的领先者有直觉外科(Intuitive Surgical)、Stryker和汉森医药(Hansen Medical)。

一般说来,机器人技术生态系统内的数据交流给人感觉是量大,流速快。这得益于机器人技术创新科学精密性质和科学与研究部门所起到的强而有力的作用,也得益于开始阶段多种先进机器人技术的结合。科学文献和会议,如国际工业机器人研讨会,对相关知识的传播起到了关键性的作用。还有,机器人技术的竞争和为酬劳解决挑战性问题而设的奖项,使研究人员能了解和正确评定自己的成绩,并且能弥合供货方和需求方之间的差异。以上提到的三类公司之间合作的前景是非常广阔的。

最后,是创新技术的分散化。软件的创新,可使机器人在未来得到广泛应用,而且机器人平台和系统更加标准化。通过实践,一批广泛的外围公司和合作伙伴能够对现有专用机器人软件平台存在的问题提供解决方案。这将使机器人技术创新极大模块化。

政府在组织协调和资助方面起重要作用

政府及其所属机构在支持机器人技术创新方面起着非常重要的作用。政府制定一套标准的、技术中立的机器人技术创新政策，是对机器人技术创新的强有力支持。特别是通过制定供方政策的方式资助科研经费或支持商业研发。

除了在重大科研项目的资金资助和技术创新标准化方面给予支持外，以下几项专门的支持措施值得一提：

创办一些专门的研究机构或研究网络：现有的案例有瑞士国家机器人技术创新管理中心，是联邦研究试验室；还有大韩民国的机器人行业促进协会，主要致力于机器人技术的推广。

研发经费的资助和政府采购：政府，往往是军事部门，通过补贴和提前商业预购的方式对机器人技术创新给予资金方面的支持和创造需求。在美国，研发合同，包括来自国家医疗机构或国防先进研究项目局的合同，都起着非常重要的作用。¹¹³例如，医疗保健行业对机器人技术解决方案的提前商业预购的方案就是欧洲展望2020资助计划的一部分。

竞争、挑战和奖励的组织者：政府已经起到了机器人技术竞赛组织者的作用。日本已经宣布一项机器人奥林匹克运动会。英国最近举办的无人驾驶汽车竞赛和美国国防高级研究计划局（DARPA）举办的机器人挑战赛是一个里程碑。

对合作、技术转让、资金和策划给予鼓励：除了补贴和签合同外，政府往往要求合作和技术转让。例如，鼓励公私合作的多用途性质的培训项目。另外，政府活动的目的还在于帮助群集的发展，帮助企业家和网络建设。政府还要致力于减轻机器人技术创新方面的财务负担，例如法国政府的创办资金“Robolution Capital”。

制定规则 and 标准：最后，政府依照标准化、可测试的和安全规则为基础，制定机器人技术的规则，以利机器人技术的普及。

除以上各项外，许多高收入国家及中国最近几年已公布专门的机器人技术行动计划（见表3.9）。在这些计划中，主要是公布了支持机器人技术研发和创新的专项资金，包括提高机器人技术的教学和技术转让。

表3.9: 国家机器人技术举措

国家机器人技术举措先进的制造业伙伴关系	美国（2011）
机器人技术举措	法国（2013/2014）
机器人项目展望2020计划	欧盟（2015）
机器人驱动的新工业革命（机器人革命）	日本（2015）
下一代工业机器人化	大韩民国（2015）
第十三个五年计划（2016-2020年）中的机器人发展路线图	中国（2015）

3.3.3 机器人技术与知识产权制度

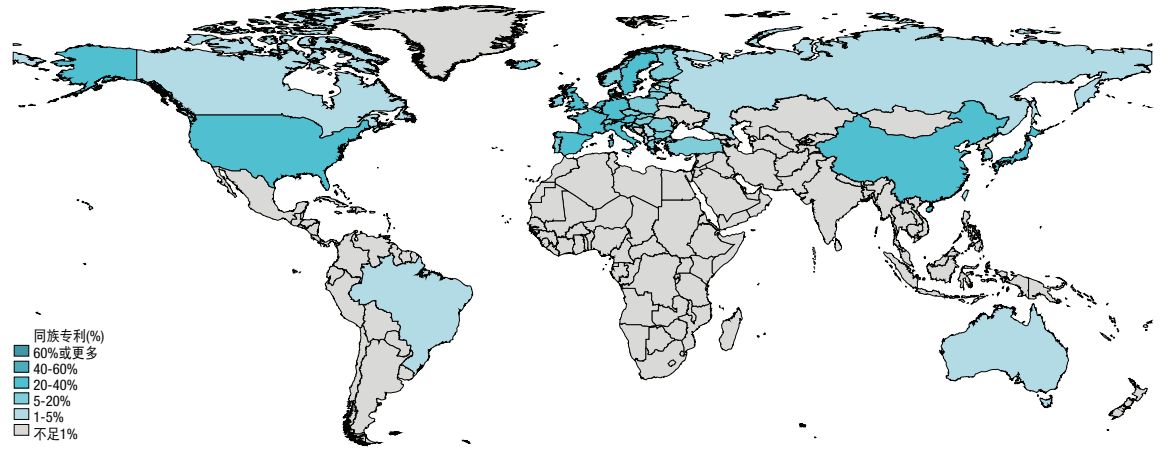
机器人技术创新的重点已从工业自动化向更先进的机器人技术转变，涉及多个技术领域、参与者和经济部门。因此，与技术创新投资适当回报相关联的知识产权制度和其它战略还处于初始阶段。我们对此也不完全了解。

对一些适宜发展战略的暂时结论是以现有文献、数据及来自工业从业者和机器人技术研究人员的见解为基础而得出。

113. Mireles (2006年)、Springer (2013年) 和Siegwart (2015年)。

图3.14: 机器人技术专利授权仅集中在几个选定目的地

自1995年以来申请人在特定国家寻求保护的全球同族专利的份额



资料来源: WIPO根据PATSTAT数据库(参见技术注释)。

专利的作用、其宝贵价值和潜在挑战日益显现

两种知识产权保护形式在帮助公司对研发投资取得合理回报方面起着非常重要的作用: 主要是专利, 其次是在保护机器人装饰性特征方面发挥作用的工业品外观设计。

机器人技术关键性的发明经常由最初的、往往是学者型的发明者申请了专利。这些发明者往往也开办了相应的公司或主动将知识产权转让给现有的制造公司。

结果是, 在1980年代后期, 机器人技术专利猛增。一些以自动化为基础的工厂繁盛起来, 对机器人技术的研究也风起云涌(见图3.12)。后来, 专利申请行动在经历了1980至2000年代的相对平稳期后, 随着机器人技术向更先进方向转移, 也引发了另一轮机器人技术专利申请的高潮, 而且一直持续至今。

图3.14表明实际机器人技术专利权在地理上比较集中。日本是主要目的地, 大约占全球机器人技术同族专利的39%, 而且分布比较均匀; 其次是美国和中国, 接近37%; 德国占29%, 其余为主要的欧洲国家和大韩民国。依次是除中国之外的低、中收入国家, 仅占机器人专利族的1.4%, 分布比较均匀。

汽车制造和电子公司仍然是机器人技术专利最多申请人(见表3.10), 但在不同的国家和行业, 一些新的行动者正涌现出来, 如医疗技术。这些公司的机器人技术专利组合的规模在扩大。它们的做法是, 一是通过自身组织研发申请的专利, 二是收购拥有授权专利的公司。

表3.10: 1995年以来前十名机器人专利申请人

公司名称	国家	首次专利申请数量
丰田	日本	4,189
三星	大韩民国	3,085
本田	日本	2,231
尼桑	日本	1,910
博世	德国	1,710
电装	日本	1,646
日立	日本	1,546
松下(松下电器)	日本	1,315
安川	日本	1,124
索尼	日本	1,057

资料来源: WIPO根据PATSTAT数据库(参见技术注释)。

值得关注的是, 大学和公共研究机构(PRO) 机器人技术专利的持有量也一直在增长。表3.11列出了最重要的专利持有人。在这方面拥有支配地位的是中国的大学。产业界专家注意到一个强有力的动向: 在大学中, 年轻一代机器人技术在向“开放源”发展, 同时大学的知识产权组合也在强劲增长, 这可能有助于上述章节所述新技术的商业化, 但可能同时也向大学和公共研究机构在管理和利用这可观的专利组合时提出了新的挑战。

图3.11: 1995年以来大学和公共研究机构中的前10名机器人专利持有人

全球前10名专利持有人			全球前10名专利持有人（不包括中国）		
上海交通大学	811	中国	大韩民国科学技术研究所（KIST）	290	大韩民国
中国科学院	738	中国	大韩民国电子电信研究所（ETRI）	289	大韩民国
浙江大学	300	中国	日本国家空间实验室（现为JAXA）	220	日本
大韩民国科技大学（KIST）	290	大韩民国	KAIST	188	大韩民国
大韩民国电子电信研究所（ETRI）	289	大韩民国	德国航空航天中心	141	德国
清华大学	258	中国	弗劳恩霍夫应用研究促进学会	91	德国
哈尔滨工程大学	245	中国	朝鲜大学	85	大韩民国
国家空间实验室	220	日本	汉阳大学	84	大韩民国
哈尔滨工业大学	215	中国	首尔大学	77	大韩民国
大韩民国科学技术院（KAIST）	188	大韩民国	国家高级工业科学技术研究所（AIST）	69	日本

注：某些国家以个人名义或衍生公司的名义申请专利的科学技术发明者不在此列。

资料来源：WIPO根据PATSTAT数据库（参见技术注释）。

了解一些大公司在申请机器人技术专利方面的各种因素并给出令人信服的依据是件很难的事。没有对这些机器人技术公司进行大规模的调查，不做大量扎实的工作，就无法弄明白这些问题。机器人技术专利通过公开对后续创新、许可和基于知识产权的协作，产生何种影响，对这个问题提供确定的答案，也很困难。

不过，已经有了很多依据工业专家的意见而得出的调查结论，包括律师和机器人技术专家的意见。¹¹⁴

对于预期能从机器人技术行业获得巨大收益的高科技行业，机器人技术公司寻求使用专利来排除第三方，以确保他们不受干扰地经营、发放特许或相互特许技术，并尽可能避免争议上的诉讼。相较于其他一些规模较大的公司，对于一些规模小和专业的机器人技术公司而言，专利就是他们寻求投资和保护他们自己的知识产权资产的一个工具。

根据专利制度对机器人技术创新的影响，目前创新系统显得比较富有创造力。¹¹⁵ 合作，包括大学与工业的互动，更加紧密，并且在研究方面有了更广泛的相互结合。表面上看，专利有助于支持公司的标准化，而且这对于机器人技术系统的发展也是非常重要的。

很难说是专利保护妨碍了市场准入或因限制技术进入而影响了机器人技术的创新。已有证据表明在机器人技术领域发生的诉讼不多。的确，过去十年在诸多的机器人技术的知识产权诉讼中，只有一个公司涉入，即iRobot。¹¹⁶

具体专利对机器人技术创新的重要性，也很难得到证实。目前还没有作为基本标准的专利出现，也不知道在机器人技术领域是否存在专利池。而且以知识产权为中心的正式和公开的合作与交流也不常见。在机器人技术发展的最近历史上，只有一笔较大的发放许可的业务，并引起极大的关注。¹¹⁷ 即便如此，涉及知识产权转让的这种公司兼并日益变得强劲。¹¹⁸

114. Keisner等（2015年）。

115. Keisner等（2015年）。

116. Keisner等（2015年）。

117. Keisner等（2015年）。

118. 在近代史上最引人注目的协议是iRobot公司与InTouch技术公司之间于2011年7月订立的联合开发和交叉许可协议。

关于披露，公司利用专利获得新技术发展方面的知识，洞察竞争对手的计划，以改进和创新自己的产品，也可了解竞争对手是否试图获得一项具有挑战性的专利保护。¹¹⁹专利在机器人技术公司内外直接引用是新增生产能力创新开始的标志，并以此提前进行产品创新。不过，特别是美国的专利制度，往往仅有法律义务，难以对专利的影响力做出估价。因此，专利在机器人领域使用，究竟有多大价值，在很大程度上，难以评估。

以上的这些问题迟早会得到解决。有争议的是，知识产权还没完全在先进的机器人技术中得到应用。不过，只要它的潜在影响力能够实现即可。与过去标准的工业机器人技术创新相比较，今天的机器人技术创新系统涉及更多的参与者、多类技术领域和更多的专利申请。人们开始看到其它高技术领域制定的更精密、而且具有进攻和防御功能的知识产权战略。¹²⁰

一个极为重要的问题是，各个行业增加的资本和商业机会能否像其它高科技和成套技术那样，将天平向高成本的讼争方面倾斜。至今，案子虽然不多，但已有一些，而且一些非实体机构已盯上了机器人技术涉讼公司。¹²¹新闻报导特别提到，在外科机器人和医疗机器人领域更多出现负面看待的“专利蟑螂”活动的可能性。¹²²

两种因素会导致增加诉讼的可能性。首先是本报告研究过程中接受咨询的专家们对机器人技术专利案件中过于宽泛的权利要求表示关注，特别是在老专利方面。第二，在某些国家，与计算机有关的发明创造产生的专利和新产品一般会引起很大争论。特别是在美国，而最近美国联邦高等法院对Alice公司诉CIS银行胜诉的判决，看来是增加了对软件专利申请的限制措施。¹²³考虑到在机器人技术创新过程中，计算机控制的零部件需要量大，增长快，对软件申请专利的关注，无论是现在还是将来，都将对与机器人技术有关的专利带来挑战。

机器人技术平台与知识产权和开放源并存

如3.3.2节所述，大学和商务部门用的机器人技术平台越来越依靠机器人技术创新。而且也是越来越对外开放的开放式平台，往往基于开放源软件，如机器人操作系统（ROS）。这些开放源机器人技术平台邀请第三方使用，并且可对现有功能进行改进，而不必与知识产权权力进行正式协商和注册。我们要做的是通过一个有想象力的公共控制或GNU总公共许可（一种自由的软件许可）来对软件和硬件进行分配。这样可以快速并灵活地进行试验。

119. Keisner等（2015年）。

120. Keisner等（2015年）。

121. 见Siemens AG和Roy-G-Biv.的诉讼。另见Hawk Technology Systems LLC起诉Fanuc Robotics Corp. 及Sonic Industry LLC起诉iRobot Corp.。

122. Sparapani（2015年）。

123. Thayer和Bhattacharyya（2014a, 2014b）。

这种想法很简单。行动者在创新的两个层级之间识别。一方面将机器人技术软件、平台和创新结合起来开发。这种创新是坚实的,而且更重要的是有前瞻竞争性,因为使用的领域是基本的,不需要服务于有差别的产品。行动者申请一个共同操作的开放源,进入并取得一个公共机器人技术平台。这可以使他们分享之前的大笔投资,避免一些重复的努力,并使现有的这种方法得到优化。

另一方面,无论如何,当创新公司因机器人技术创新而使终端产品差别化的时候,他们加强了对自己研发的投入并注意投入更多的精力加强对自身发明的保护。

合作与竞争的方式并用,结果就是以兼具竞争性、又受开放源启发的方式处理知识产权。

各种非盈利组织和项目支持用于机器人技术、教育和产品开发开放源软件的研发、分配和应用。例如,iCub就是由EU资助的与类人机器人技术平台有关的开放源,其很多实验室都在应用。Poppy是由INRIA Bordeaux开发的开放源平台,用于互动3D打印机器人的生产、使用和分配。其它一些例子包括开放源代码无人机项目和美国航空航天局国际空间站应用挑战赛。

其中的一些项目将向有吸引力的终端使用者或业余科学家转移,以便使现有机器人技术应用能够互动和改进。事实上,很多面向使用者的低成本平台是为家庭和课堂教学而建的。如TurtleBot和LEGO Mindstorms就建立于开放源平台之上。

这一开放平台方式不限于软件。它还可以制作蓝图,如技术绘图和平面图,还包括设计。例如,机器人技术开放平台(ROP),其作用是使机器人的硬件设计供有开放硬件许可的机器人群体使用。机器人群体可享这些优势。

总之,令人高兴的是,可以看到机器人技术创新系统能保持知识产权特性所有方式(而其商业风险高于外加的非所有方式)的当前流体组合,通过竞争而使相关科学更有通用特性,而且也促进了年轻机器人技术专家与对开放源应用感兴趣的业余爱好者的合作。

用比较复杂的技术和保密方法保护 机器人技术的突破

比专利更重要的是,机器人技术系统技术复杂性和保密性常常被用作适当创新的主要工具。对于标准的机械部件和与硬件有关的部件,的确如此。某些制造数量有限但价值很高的机器人(包括军事用途)的公司,一般不怕竞争对手出于逆向工程的目的获得这种机器人本身。演算法以及其他高级的机器人技术功能也很难进行逆向工程。¹²⁴

机器人技术公司将信息作为商业秘密来保存是有历史原因的。¹²⁵在1980年代,机器人技术取得很多重要突破,各个公司也申请了大量的专利(图3.12)。但这些发明中没有几项能很快得到商业化。结果就是这些公司花费大量金钱去获得专利,而专利在产品得以商业化之前就失效了。这些经历,使他们懂得了专利代价很高,却不能带来必然的回报,特别是针对那些几十年后才可能有市场的创新技术的专利。

当雇员流动性很大时,商业秘密保护也是非常重要的。已经有几例机器人技术公司宣称侵犯商业秘密的诉讼,特别是在雇员已接受了竞争对手提供的职位的情况下。¹²⁶

最后,最近在美国和其他地方围绕软件的可专利性产生的各种问题,可能反而会促进以秘密方式保护有关发明。

124. McGurk和Mandy (2014年)。

125. Keisner等 (2015年)。

126. 2013年的两个例子是ISR集团诉Manhattan Partners, 和MAKO Surgical诉Blue Belt Technologies。见Keisner等 (2013年)。

率先面市、信誉和强势品牌的作用

率先面市、强有力的售后服务、信誉和品牌行销，在过去机器人技术创新中是非常必要的，而且坚持到现在，从产品出厂到直接交付用户使用都莫不过如此。

就工业自动化而言，仅有不多的经营者能够应汽车制造公司的要求，大批量生产可靠的机器人，并尽可能地提供售后服务。最初，Unimation公司在机器人供应市场占有支配地位，后来是像Fanuc这样的大公司居上。

在这一态势越来越多样化的今天，先机、信誉和品牌仍然至关重要。像医院、教育机构和军事部门的参与者仍然依靠经验丰富的机器人制造公司和值得信赖的品牌。医疗机器人制造商及产品的例子包括：DaVinci外科机器人、血管外科机器人和Accuray Cyberknife机器人技术放射外科系统。甚至在军事领域或类似的应用中，品牌也很重要，这点可以通过Boston Dynamics公司使用“Big Dog”这样的商标加以证实。当机器人直接销售给终端用户时，强大的品牌就更加重要。例如“Roomba真空吸尘器”就在很大程度上依赖于其商标价值。

大多数机器人技术公司会为其公司名称及机器人名称申请商标。结果是含有“机器人”这一词语的商标数量越来越多。¹²⁷此外，商业包装作为一种识别来源的知识产权，也被用来保护机器人的整个形象。

版权

版权保护在几个方面与机器人技术有关。

与更传统的机器不同，机器人有它自己明显的特点和人格化特征，可通过版权、商标和或工业品外观设计等进行保护。例如，机器人的一个特殊设计或部件有可能符合版权保护的要求，而机器人用的声道就可以通过版权来保护。

还有就是，操控机器人的源代码和软件也往往通过版权得到保护。的确，机器人技术公司寻求版权保护的最常见的例子，就是为被认为独特和原创的软件代码寻求版权保护。实践中，机器人技术公司一般是通过版权执法来防止其他公司仿制或获取其计算机代码。¹²⁸除了公司之间的纠纷外，尽管国家法律中通常对逆向工程规定例外，当一个业余科学工作者破译并改变软件代码时，仍要援引版权法。¹²⁹

机器人产生的发明或创造性工作 将会遇到哪些问题

将来，执行某种任务的机器人可能对一些问题提出新的解决方案，并由此创造出有形、无形的产品或其他成果，这些成果至少在理论上可被视为知识产权，如新的发明、创意作品或商标。

机器人技术创新的这一要素可能提出一些有趣的问题，涉及当前知识产权制度的设置和边界。由机器人自主创造出来的物品、软件代码或其他资产能否获得版权或专利？如果能，如何实现？谁将拥有这些知识产权权利？是制造者？还是机器人的使用者？或是机器人本身¹³⁰一些国家，如日本和大韩民国，正在考虑将这些权利延伸至机器。

对机器人的自主创造这一问题进行全面的法律评估超出了本报告的范围，但是，谁应拥有机器人创造成果的知识产权权利，必定是一个在将来引发更多讨论的问题。

128. Keisner等（2015年）。

129. 以索尼的机器狗爱宝为例，用户破解了原有的软件代码，进行修改后，把新软件分发给其他消费者，使之得以“教”机器人跳舞和说话，等等。见Mulligan和Perzanowski（2007年）。

130. Leroux（2012年）。

127. Keisner等（2015年）。

3.4 汲取的经验教训

3D打印、纳米技术和机器人技术的案例研究提供了对当前这三项具有突破性潜力的创新的性质和生态系统的不同见解。如在第二章，许多见解具体针对即将到来的技术，提醒不要一概而论。然而，值得指出这三个案例的共性和差异，这就是最后一节力图予以阐述的。该节遵循了案例研究的结构，侧重于创新的增长贡献，然后提及其生态系统，最后谈及知识产权的作用。

增长贡献

本章讨论的三项创新已给经济活动留下痕迹。工业机器人很久以前已开始使某些制造业活动自动化，纳米技术已属许多电子设备的特征。这两种技术以及3D打印推动未来增长的潜力有多大？

这些创新似乎有很大空间来提高制造业的生产力。然而，由于大多数经济体的制造业规模相对小（参见第1.1节），对总体经济增长做出的贡献可能也很小。较大幅度的增长效应可能产生于这些创新的新产品，它们在整个经济中、尤其是在服务行业得到应用。此外，正如案例研究所示，越来越多地使用3D打印机和智能机器人可能促使供应链的重组，可能实现重要效率增益。历史表明，需要各种形式的互补性创新、新商业模式和新技能的发展，以实现隐含的增长潜力。此外，这些创新的传播将取决于竞争动态，获取资金、制定标准和技术规程以及其他决定因素。

正如第1.5节所述，一些经济学家担心当今新技术没产生对新的投资的大量需求——可能促成许多发达经济体的低利率环境。其中对信通技术表达的担忧最常见，而难以评估3D打印技术、纳米技术和机器人技术在此方面遇到的情况。¹³¹有人可能认为，这三项技术都不像早期通用技术，如铁路、汽车、电力或电信那样，需要新的资本密集型基础设施。不过，这在很大程度上将取决于创新的形状、性能和使用范围。在整个经济中得到广泛应用的新的强大技术很可能产生重大投资需求，包括对无形资本的需求。

至于如何将三种技术推广到发展中经济体，也有很多不确定性。在某种程度上，有些技术，如3D打印和机器人技术通过减少劳动力投入来产生节约，它们对劳动力成本仍然相对较低的经济体可能采用的诱因很小。然而，此类刺激因素必然因行业和国家不同而异，这取决于资本密集型新技术的结果如何。此外，这三项创新的某些应用可能解决发展中经济体的特殊需求。例如，3D打印机对远离传统的销售渠道的偏远地区有特殊用途。同样，纳米技术有希望改进食品安全、生物安全和环境可持续性。如果此类指望得以实现，历史表明这对低收入和中等收入国家发展必要的吸收能力来充分利用出现的任何技术机遇将非常重要。

131. 见Baldwin和Teulings（2015年）。

创新生态系统

令人关注的是，三项创新蓬勃发展的生态系统表现出与第二章介绍的许多历史上创新的相似之处。政府资助对推进科学知识前沿一直至关重要，为企业开拓商机奠定基础。政府还在将有希望的技术从研究实验室推广到市场方面发挥作用，尤其是创造市场需求的作用。然而，这一作用似乎对为机器人技术比对3D打印和纳米技术更重要，这在很大程度上反映了为国防目的使用机器人。竞争性市场力量反过来有助于提供私人研发、新技术应用于大规模生产和产品开发的激励措施，以满足不同消费者的需求。此外，如在历史的情况下，当前创新的生态系统已随着时间的推移看到专业化增强，部分地响应日益复杂的技术挑战，以及部分集中于特定技术的应用。

然而，也存在重要差异。首先，科学制度和科学机构与公司之间的正式联系在当今显得比过去更加重要。例如，大学获得专利的份额在本章研究的这三种技术中占15%至40%不等。这可能部分地反映政策努力，以更好地为商业发展而利用科研成果。然而，这些政策努力可以说是承认了上游研究在使下游技术进步方面发挥关键作用。

此外，虽然大多数公共和私人研发仍然集中在相对较少的经济体，但这些创新经济体在过去十年中扩大，包括一些东亚经济体。鉴于其经济规模，近期作为重要研发投资来源的中国的崛起尤其值得注意。本章介绍的三个案例研究表明，中国的各种实体在3D打印、纳米技术和机器人技术领域积极创新。令人关注的是，专利申请数据显示中国的创新态势与其他研发密集型经济体的重要不同之处是：大学和公共研究机构占中国相当高的专利份额，大大高于大多数其他经济体，在纳米技术方面高达80%。这可能表明中国公司的研发能力比较有限，意味着技术的商品化比率较低。同时，正如历史案例表明的，一旦技术突破出现，强大的科学基础从长期来看可能产生新的公司和产业。

知识产权的作用

纵观知识产权制度的作用，第二章中列出的历史案例中又似乎既有共性也有差异。首先，就像其历史相对案例，3D打印、纳米技术和机器人技术创新者特别依赖专利制度来保护其研究活动成果。虽然我们必须牢记没有真正的与事实相反的证据，但这三个案例研究表明专利制度在适当收回研发投入回报、通过技术公开促进后续创新以及促进专业化方面起到有益作用。

虽然有大量的专利申请以及一些观察者对可能的专利丛林表示担忧，但围绕知识产权权利的冲突数量似乎相对很小。在3D打印和机器人技术的情况下，开源群体蓬勃发展的同时，知识管理也在以更加专有的方式进行。总体而言，知识产权制度似乎已经适应并支持不同的知识共享机制。与此同时，如同早期飞机发明者俱乐部的情况，社会规范似乎对管理当今不同创新群体中知识共享很重要。

然而，重要的是铭记本章讨论的许多技术仍处于相对早期的开发阶段，有些还得看看能否实现商业化。一旦商业利害关系更大，历史经验表明，有可能围绕知识产权出现更大冲突。从而应向政策制定者提出建议，以确保知识产权制度的持续平衡：既鼓励知识创造，又不过度限制后续创新。如同一些历史案例，法院可能会在某个时候面对关于新兴技术可专利性的影响深远的问题。这些问题已经出现，例如，作为自然产品而存在的纳米技术的可专利性或机器人技术软件的可专利性。

与历史案例的另一共性涉及中低收入国家的专利态势。虽然国际商业关系是上个世纪更牢固，但三个案例的创新者几乎全都寻求在高收入国家保护专利，大部分3D打印、纳米技术和机器人技术的创新已在这些国家出现。只有在相关技术领域的一小部分首次专利申请在中低收入经济体有等同情况。从表面上看，知识产权申请的这一分布再次表明，技术的推广主要由接受方经济体的吸收能力程度决定。

最后，这三个案例研究揭示了若干新的考虑因素，它们注定形成未来的知识产权政策。这些考虑因素包括以下内容：

- 版权与技术创新日益相关。这首先发生在软件列入了可受版权保护的客体领域。随着软件已经成为许多新技术不可或缺的功能——包括3D打印机和机器人——所以有扩大版权的作用。此外，版权能保护任何类型的数字表达，包括3D客体设计和计算机芯片设计。¹³²这是因为目前尚不清楚这种趋势是否仅仅意味着使用不同知识产权形式的转变，还是从根本上提出了新的政策挑战。
- 低成本的3D打印的出现有可能使可能受工业品外观设计和其他可能的知识产权保护的任何物体的复制都很容易。这一发展是否会使这些权利更难以实施——就像数字革命对书籍、音乐、电影及其他创意作品的版权保护那样？这样的情形可能仍然遥远，而且3D打印与数字内容复制之间有重要区别。然而，正如第3.1.3节的讨论认为，数字内容产业的经验对如何最佳管理这种情况有着宝贵的经验教训。
- 商业秘密一直是重要形式的知识产权保护，即使它不是非常显眼。虽然这三个案例研究只提供启发性证据，但我们有理由相信商业秘密政策已变得更加重要。这主要是因为知识型员工的流动性增加。¹³³尽管很容易获得编码知识，但在使此类知识得到有效利用上，人仍然至关重要。因此，规范知识如何随人流动，对创新成果和技术传播成果都有影响。

132. 见第2.3.3节关于版权在芯片设计保护方面的作用。

133. 欲了解依靠专利文件所列发明者的证据，见Migueluez和Fink（2013年）。

参考文献

- Baldwin, R., & Teulings, C. (2015). Introduction. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures*. London: CEPR.
- Banwatt, P. (2013, July 14). 3D Printing Law: Trademarks -- Why "FDM" isn't for everybody. <http://lawitn.com/3d-printing-law-trademarks-why-fdm-isnt-for-everybody/>
- Bawa, R. (2004). Nanotechnology Patenting in the US. *Nanotechnology Law and Business*, 1(1), 31-50.
- Bawa, R. (2007). Nanotechnology Patent Proliferation and the Crisis at the U.S. Patent Office. *Albany Law Journal of Science and Technology*, 17(3), 699-735.
- Bechthold, L., Fischer, V., Hainzmaier, A., Hugenroth, D., Ivanova, L., Kroth, K., et al. (2015). 3D Printing: A Qualitative Assessment of Applications, Recent Trends and the Technology's Future Potential.
- Bechtold, S. (2015). 3D Printing and the Intellectual Property System. *WIPO Economic Research Working Paper No. 28*.
- Bleeker, R. A., Troilo, L. M., & Ciminello, D. P. (2004). Patenting Nanotechnology. *Materials Today*, 7(2), 44-48.
- Bonaccorso, F., Colombo, L., Yu, G., Stoller, M., Tozzini, V., Ferrari, A. C., et al. (2015). Graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems for energy conversion and storage. *Science*, 347(6217).
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. Norton & Company.
- Campbell, I., Bourell, D., & Gibson, I. (2012). Additive Manufacturing: *Rapid Prototyping Comes of Age, Rapid Prototyping Journal* (Vol. 18, pp. 255-258).
- Chen, C., Roco, M. C., Son, J., Jiang, S., Larson, C. A., & Gao, Q. (2013). Global Nanotechnology Development from 1991 to 2012: Patents, Scientific Publications, and Effect of NSF Funding. *Journal of Nanoparticle Research*, 15(9), 1951.
- Clinic Staff. (2013, January 25). Crowdsourcing Prior Art for 3D Printing. <http://blogs.law.harvard.edu/cyberlawclinic/2013/01/25/crowdsourcing-prior-art-for-3d-printing/>
- De Volder, M. F. L., Tawfick, S. H., Baughman, R. H., & Hart, A. J. (2013). Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications. *Science*, 339(6119), 535-539.
- Desai, D. R., & Magliocca, G. N. (2014). Patents, Meet Napster: 3D Printing and the Digitization of Things, *Georgetown Law Journal* (Vol. 102, pp. 1691-1720).
- euRobotics (2014). *Strategic research agenda for robotics in Europe 2014-2020*. Retrieved August 10, 2015, from www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf
- Expertenkommission Forschung und Innovation. (2015). *Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015*. Unpublished manuscript.
- Fernández-Ribas, A. (2010). International Patent Strategies of Small and Large Firms: An Empirical Study of Nanotechnology. *Review of Policy Research*, 27(4), 457-473.
- Freeman, C. (2013, July 14). Why did RepRap pick FDM and not other 3D printing technique? <http://reprage.com/post/44316648000/why-did-reprap-pick-fdm-and-not-another-3d-printing/>
- Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2013). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?* Oxford: Oxford University.
- Ganguli, P., & Jabade, S. (2012). *Nanotechnology Intellectual Property Rights: Research, Design, and Commercialization*. Boca Raton: CRC Press.
- Genet, C., Errabi, K., & Gauthier, C. (2012). Which Model of Technology Transfer for Nanotechnology? A Comparison with Biotech and Microelectronics. *Technovation*, 32(3-4), 205-215.
- Ghilassene, F. (2014). *L'impression 3D: Impacts Economique et Enjeux Juridiques*: Institut National de la Propriété Industrielle.
- Green, T. (2013). Rising Power and Influence of Robotics Clusters. *Robotics Business Review*, February 22, 2013.
- Hemel, D. J., & Ouellette, L. L. (2013). Beyond the Patents-Prize Debate. *Texas Law Review*, 92, 303-382.
- Huang, C., & Wu, Y. (2012). State-led Technological Development: A Case of China's Nanotechnology Development. *World Development*, 40(5), 970-982.
- Innovative Manufacturing CRC (2015). New Industry-led centre to help transform Australian manufacturing [Press Release]. Retrieved from www.imcrc.org/media-release---imcrc-funding-announcement-26-may-2015.html.
- IFR. Service Robots. Retrieved August 3, 2015, from International Federation of Robotics: www.ifr.org/service-robots/
- IFR. (2012). *History of Industrial Robots: From the first installation until today*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- IFR. (2014a). *World Robotics 2014 Industrial Robots*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- IFR. (2014b). *World Robotics 2014 Service Robots*. Frankfurt am Main: International Federation of Robotics.
- Jones, R., Haufe, P., Sells, E., Iravani, P., Olliver, V., Palmer, C., et al. (2011). RepRap: the Replicating Rapid Prototyper, *Robotica* (Vol. 29, pp. 177-191).
- Jong, J. P. J., & Bruijn, E. d. (2013). Innovation Lessons from 3-D Printing, *MIT Sloan Management Review* (Vol. 54, pp. 43-52).
- Keisner, A. C. (2013). Keeping Things Confidential: Robotics Trade Secrets 1.0. *Robotics Business Review*, October 21, 2013.

- Keisner, A. C., Raffo, J., & Wunsch-Vincent, S. (2015). Breakthrough technologies – robotics, innovation and intellectual property. *WIPO Economic Research Working Paper No. 30*.
- King, D. L., Babasola, A., Rozario, J., & Pearce, J. M. (2014). Mobile Open-Source Solar-Powered 3-D Printers for Distributed Manufacturing in Off-Grid Communities. *Challenges in Sustainability*, 2, 18027.
- Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2013). Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (Vol. 1, pp. 1511-1519).
- Kumaresan, N., & Miyazaki, K. (1999). An integrated network approach to systems of innovation—the case of robotics in Japan. *Research Policy*, 28(6), 563-585.
- Langnau, L. (2014, Oct. 6). Will We 3D-Print Electric Motors? Make Parts Fast: A Design World Resource.
- Lemley, M. A. (2005). Patenting Nanotechnology. *Stanford Law Review*, 58(2), 601-630.
- Lemley, M. A. (2014). *IP in a World Without Scarcity*. Unpublished manuscript.
- Leroux, C. (2012). *EU Robotics Coordination Action: A green paper on legal issues in robotics*. Paper presented at the International Workshop on Autonomics and Legal Implications.
- Lipson, H. (2005, May). Homemade: The Future of Functional Rapid Prototyping. *IEEE Spectrum*, 24-31.
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley.
- Lux Research Inc. (2007). *The Nanotech Report* (5th ed. Vol. 1-3).
- Lux Research Inc. (2014). *Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-Enabled Products Increase*.
- Malone, E., & Lipson, H. (2006, August). *Fab@Home: The Personal Desktop Fabricator Kit*. Paper presented at the 17th Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, Texas.
- McGurk, M. R., & Mandy, J. (2014). Building a Strong Robotics IP Portfolio. Retrieved December 2014: www.finnegan.com/resources/articles/articlesdetail.aspx?news=89c6e508-ddb1-46f4-895d-aa4521c64811
- McKinsey Global Institute. (2013). *Disruptive Technologies: Advances that will Transform Life, Business, and the Global Economy*.
- Mendis, D., Secchi, D., & Reeves, P. (2015). A Legal and Empirical Study into the Intellectual Property Implications for 3D Printing: Executive Summary. *Research Commissioned by the Intellectual Property Office No. 2015/41*.
- Metra Martech. (2011). *Positive Impact of Industrial Robots on Employment*. London: Metra Martech Limited.
- Migueluez, E., & Fink, C. (2013). Measuring the International Mobility of Inventors: a New Dataset. *WIPO Economic Research Working Paper Series No. 8*.
- Miller, B., & Atkinson, R. D. (2013). *Are Robots Taking Our Jobs, or Making Them?* Washington, D.C.: The Information Technology and Innovation Foundation.
- Mireles, M. S. (2006). States as Innovation System Laboratories: California, Patents, and Stem Cell Technology. *Cardozo Law Review*, 1133(374).
- Mokyr, J. (2014). Secular Stagnation? Not in Your Life. In C. Teulings & R. Baldwin (Eds.), *Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures*. London: CEPR Press.
- Monthioux, M., & Kuznetsov, V. L. (2006). Who Should Be Given the Credit for the Discovery of Carbon Nanotubes? *Carbon*, 44(9), 1621-1623.
- Mulligan, D. K., & Perzanowski, A. K. (2007). The Magnificence of the Disaster: Reconstructing the Sony BMG Rootkit Incident. *Berkeley Technology Law Journal*, 22(1157), 151.
- Muzumdar, M. (2014, July 14). Shapeways in 2014: A year in 3D printing and what's next for 2015. www.shapeways.com/blog/archives/19390-shapeways-in-2014-a-year-in-3d-printing-and-whats-next-for-2015.html
- Nadan, C. H. (2002). Open Source Licensing: Virus or Virtue? *Texas Intellectual Property Law Journal*, 10, 349-378.
- National Research Council. (2013). *Triennial Review of the National Nanotechnology Initiative*. Washington, D.C.: National Research Council.
- Nof, S. Y. (1999). *Handbook of Industrial Robotics*. West Sussex Wiley.
- OECD. (2011). The International Experience with R&D Tax Incentives, *Tax Reform Options: Incentives for Innovation*: United States Senate Committee on Finance.
- Ouellette, L. L. (2015). Economic Growth and Breakthrough Innovations: A Case Study of Nanotechnology. *WIPO Economic Research Working Paper No. 29*.
- Prinz, F. B., Atwood, C. L., Aubin, R. F., Beaman, J. J., Brown, R. L., Fussell, P. S., et al. (1997). *JTEC/WTEC Panel on Rapid Prototyping in Europe and Japan*.
- PwC, & M Institute. (2014). *3D Printing and the New Shape of Industrial Manufacturing*: PricewaterhouseCooper.
- Rayna, T., & Striukova, L. (2014). The Impact of 3D Printing Technologies on Business Model Innovation. In P. J. Benghozi, D. Krob, A. Lonjon & H. Panetto (Eds.), *Digital Enterprise Design & Management* (Vol. 261, pp. 119-132): Springer International Publishing.
- Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2010). *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020: Retrospective and Outlook*. Boston: Springer.
- Rosheim, M. E. (1994). *Robot Evolution: The Development of Anthrobotics*: John Wiley & Sons, Inc.
- Sabety, T. (2004). Nanotechnology Innovation and the Patent Thicket: Which IP Policies Promote Growth? *Nanotechnology Law and Business*, 1(3), 262-283.
- Samuels, J. (2013). EFF's Fight for Open 3D Printing Continues at Ask Patents. www.eff.org/deeplinks/2013/03/effs-fight-open-3d-printing-continues-askpatentscom

- Scheinman, V. (2015). Robotics History Narratives. Interview retrieved from <http://robotichistory.indiana.edu/content/vic-scheinman>
- Shapiro, C. (2003). Antitrust analysis of patent settlements between rivals *The RAND Journal of Economics*, 34(2), 391-411.
- Siegwart, R. (2015). Report for WIPO on intellectual property and robotics. *Unpublished background report for the World Intellectual Property Report 2015*.
- Smalley, L. W. (2014). Will Nanotechnology Products be Impacted by the Federal Courts' 'Products of Nature' Exception to Subject-Matter Eligibility Under 35 U.S.C. 101? *John Marshall Review of Intellectual Property*, 13(2), 397-443.
- Smith, R. C., & Cheeseman, P. (1986). On the Representation and Estimation of Spatial Uncertainty. *The International Journal of Robotics Research*, 5(4), 56-68.
- Sparapani, T. (2015, June 19). Surgical robotics and the attack of the patent trolls. *Forbes*.
- Springer, P. J. (2013). *Military Robots and Drones: A Reference Handbook*. Santa Barbara: ABC-CLIO
- Sylvester, J. D., & Bowman, D. M. (2011). Navigating the Patent Landscapes for Nanotechnology: English Gardens or Tangled Grounds? In S. J. Hurst (Ed.), *Biomedical Nanotechnology: Methods and Protocols* (pp. 359-378). Totowa: Springer.
- Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology, Office of Science and Technology Policy. (2015). *The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President's 2015 Budget*, available at: www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NNI_FY15_Final.pdf.
- Thayer, L., & Bhattacharyya, A. (2014a). Patent Eligibility of Software in the Wake of the Alice Corp. v. CLS Bank Decision *Robotics Business Review*, August 14, 2014.
- Thayer, L., & Bhattacharyya, A. (2014b). Will Supreme Court Rein in Software Patents? *Robotics Business Review*, March 4, 2014.
- The Fab Foundation. (2015). Fab Labs World Map. Retrieved August 10, 2015: www.fablabs.io/map
- Tobe, F. (2015). The Robot Report's Global Map. Retrieved August 10, 2015: www.therobotreport.com/map
- UKIPO. (2014). *Eight Great Technologies - Robotics and Autonomous Systems: A patent overview*. London: UK Intellectual Property Office.
- West, J., & Kuk, G. (2014). Proprietary Benefits from Open Communities: How MakerBot Leveraged Thingiverse in 3D Printing. SSRN.
- Wintergreen Research Inc. (2015). *Surgical Robots Market Shares, Strategies, and Forecasts, Worldwide, 2015 to 2021*. Dublin: Research and Markets.
- WIPO. (2011). *World Intellectual Property Report 2011: The Changing Face of Innovation*. Geneva: World Intellectual Property Organization.
- Wittbrodt, B. T., Glover, A. G., Laureto, J., Anzalone, G. C., Oppliger, D., Irwin, J. L., et al. (2013). Life-cycle Economic Analysis of Distributed Manufacturing with Open-source 3-D Printers, *Mechatronics* (Vol. 23, pp. 713-726).
- Wohlers Associates. (2014). *Wohlers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry: Annual Worldwide Progress Report*.
- Yen-Tzu, C., & Hsin-Ning, S. (2014, 27-31 July 2014). *Understanding patent portfolio and development strategy of 3D printing technology*. Paper presented at the Portland International Conference for Management of Engineering and Technology (PICMET), Kanazawa.

缩略语

3D	三维	STL	标准镶嵌语言
AFM	原子力显微镜	STM	扫描式隧道显微镜
AI	人工智能	TEM	透射电子显微镜
ARPA-E	高级研究计划署——能源	TFP	全要素生产率
ASTM	美国材料试验协会	TNO	荷兰应用科学研究组织
AT&T	美国电话电报公司	TRIPS	与贸易有关的知识产权协议
BEA	美国劳工部劳工统计局	UK	英国
CARG	复合年增长率	UKIPO	英国知识产权局
DARPA	美国国防高级研究计划局	UN	联合国
DNA	脱氧核糖核酸	UN ECE	联合国欧洲经济委员会
EU	欧洲联盟	US	美国
FDA	美国食品药品监督管理局	USD	美元
FDI	外国直接投资	USDA	美国农业部
GDP	国内生产总值	USPTO	美国专利商标局
GPT	通用目的技术	VC	风险投资
IBM	美国国际商用机器公司	WIPO	世界知识产权组织
IC	集成电路	XML	可扩展标记语言
ICT	信息通信技术		
IDM	整合元件制造商		
IFR	国际机器人联合会		
IMF	国际货币基金组织		
IP	知识产权		
IPC	国际专利分类		
MAA	(美国)飞机制造商协会		
MIT	麻省理工学院		
MITI	日本通产省(国际贸易与工业部)		
NACA	(美国)国家航空咨询委员会		
NASA	美国国家航空和宇宙航行局		
NEC	日本电气公司		
OECD	经济合作与发展组织		
PC	个人电脑		
PRO	公共研究机构		
R&D	研究与开发		
ROS	机器人操作系统		
SCPA	半导体芯片保护法		
SEM	扫描电子显微镜		
STEM	扫描透射电子显微镜		

技术注释

国家收入组别

本报告中的国家组别参考了世界银行2014年收入分类。该分类根据人均国民总收入将各国分为以下四组：低收入国家（1045美元或以下）；中低收入国家（1046-4125美元）；中高收入国家（4126-12736美元）；及高收入国家（12736美元或以上）。

更多关于上述分类的信息见<http://data.worldbank.org/about/country-classifications>。

专利地图

第二章和第三章中的案例研究依据的是为本报告特别编制的专利地图。编制这些地图所使用的专利数据来自WIPO统计数据库和欧洲专利局世界专利统计数据库（2015年4月PATSTAT）。编制地图的主要方法要素如下：

分析单位

主要分析单位是一件发明的首次专利申请¹³⁴。因此，在统计专利数量时所参考的日期是首次申请日。一些历史记录——如美国专利商标局1930年以前的文件——没有申请日期的记载。对于这种情况，所使用的是最早的后续申请日或首次申请的授权日。发明的来源以首次申请的第一申请人为准；如果该信息缺失，则采取如下所述的归属策略。

只有在对向各专利局寻求保护的同族专利占比进行分析时没有使用上述方法（见图2.6、3.5、3.10和3.14）。在此使用了扩展同族专利的定义（被称为INPADOC同族专利），而并未以首次申请为依据。此外，在分析时只考虑了至少其中一件申请被授权的同族专利，所使用的日期是同一扩展同族专利中的最早申请日。使用扩展同族专利定义以及要求同族专利中至少有一件授权专利的主要原因是为了解决复杂的后续申请结构（如继续申请和分案申请）以及质量较差、数量较少的同族专利（如仅在一个国家提交并在审查前即被驳回或视撤的同族专利）所造成的低估问题。

来源国的归属

如果关于首次申请的第一申请人居住国的信息缺失，则依次考虑：(i)从申请人地址中查找国家信息；(ii)从申请人名称中查找国家信息（见下文）；(iii)利用匹配公司的信息（见下文）；(iv)使用同一同族专利中最常出现的第一申请人居住国（使用扩展同族专利的定义）；(v)使用同一同族专利中最常出现的第一发明人居住国（仍使用扩展同族专利的定义）；及(vi)对于其余一些历史记录，考虑将首次申请的受理知识产权局作为来源国。

清理申请人名称并分类

申请人被分为三大类：(a)公司，主要包括私营公司和企业，但也包括国有公司；(b)学术机构和公共部门，包括公立和私立大学（及其受托机构和董事会）、公共研究组织和其他政府机构（如政府部门、国务院和相关主体）；(c)个人，包括可能隶属或不隶属于公司、学术机构或其他主体的个人第一申请人。还有一个分类，(d)不详，包括所有未分类的第一申请人。

为了对第一申请人进行分类，针对案例研究所涉及的六个创新领域采取了一系列自动化步骤，以清理和统一申请人名称。然后对通过自动化程序得到的结果进行人工交叉核对——特别是每个分类下位居前列的申请人——进而在若干迭代中对策略和参数进行修改调整。

起始点是关于首次申请的第一申请人名称的原始信息。如果名称缺失，则考虑同一扩展同族专利中最常出现的第一申请人名称。在若干迭代中对这份经过完善的第一申请人名称列表进行自动解析，以便：(i)对个案进行统一；(ii)清除分类号和其他冗余信息（如停用词和首字母缩略词）；(iii)清除（用于完善申请人居住国信息的）地理参考信息；及(iv)获得有关符合(a)公司或(b)学术机构和公共部门分类标准的申请人名称的有价值信息。

134. 专利地图包括所能提供的实用新型数据。

接下来,通过Stata的*matchit*指令¹³⁵进行模糊字符串检索,以对申请人名称中的替代性拼写或拼写错误进行识别,然后对分类进行传送。此外,通过合并公司(见下文)得到的结果将一些未分类的申请人名称恢复为公司的分类。最后,仅在其余的未分类记录中将同一专利的申请人与发明人相同或在WIPO统计数据库中PCT申请所包含同族专利被标记为个人的申请分类为个人。对于未分类记录的分析表明,它们中的大多数在PATSTAT中缺失申请人名称。其中大部分缺失名称的原始专利文件都是非拉丁文字且没有后续专利申请的文件。

合并申请人

在第三章所列举三项当前创新的排名中,对不同第一申请人的专利申请进行了合并。对每个创新案例研究中最常出现的申请人进行了人工检查和合并。具有共同最终所有人的申请人被合并为同一申请人。对于各项创新的前30家公司均使用了*BvD*所有权数据库中的简要说明。只考虑了母公司直接或间接拥有多数股权的子公司。

地图编制策略

六项创新的专利地图编制策略依据的是现有证据和专家的建议。对于每个策略都尽可能通过现有的替代性信息来源进行了验证。

3D打印的专利地图依据的是英国知识产权局将CPC和IPC分类号相组合的研究工作¹³⁶例如B29C 67/005和B22F,并在名称和摘要中进行文本词条检索,如增材制造、融合沉积模型、选区激光烧结和立体平板印刷。

飞机的专利地图依据的是Meyer (2010年)和Short (2015年)所编制的现有专利列表,以及关于MAA专利联营和柯蒂斯-莱特专利组合的公共文件¹³⁷通过对于这些专利的分析,确定并评价了最为相关的IPC和CPC分类号,即B64C和B64B。

抗生素的专利地图依据的是CPC和IPC分类号的新组合方式——如A61K 31/18、A61K 31/43和A61K 31/7036——并在名称和摘要中对一份广泛的文本词条列表进行了检索,如磺胺类药物、盘尼西林和链霉素等。词条列表来自于世界卫生组织ATC/DDD索引2015年版、默克索引(第15版)和美国食品及药品管理局橙皮书等。

纳米技术的策略依据的是IPC和CPC分类号B82Y和Y10S 977及其低等级分类。在低等级分类中对研究工具、纳米电子和纳米材料进行了区分。

机器人技术的策略来自于英国知识产权局将CPC和IPC分类号相组合的研究工作¹³⁸——如B25J 9/16和Y10S 901/00——并在名称和摘要中进行了文本词条检索,如机器人和机器人技术。

半导体的专利地图依据的是IPC和CPC分类号H01L,包括所有的低等级分类。

135. 见统计软件组件(SSC)文档和WIPO网站。

136. 见英国知识产权局(2013年)“3D打印:专利综述”。Newport:英国知识产权局。

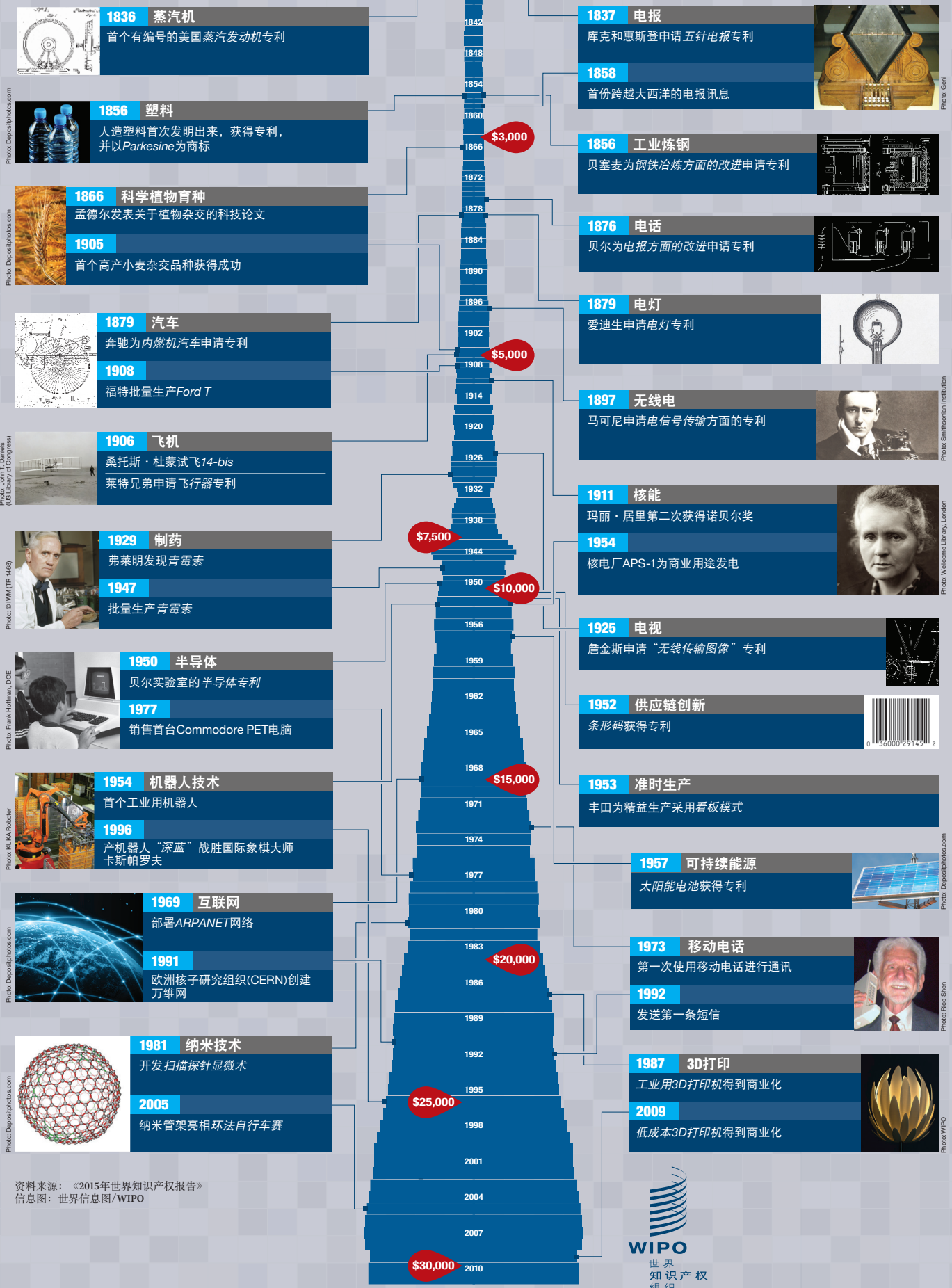
137. Meyer, P. B. (2010年)。“关于飞机发明和新飞机工业的若干数据”。未出版手稿。生产率和技术办公室,美国劳工统计局,华盛顿特区,美国。Short, S. Simine的1799-1909年美国航空专利数据库。2015年8月25日检索<http://invention.psychology.msstate.edu/PatentDatabase.html>。

138. 见英国知识产权局(2013年)“八项伟大技术:机器人和自动化系统——专利综述”。Newport:英国知识产权局。

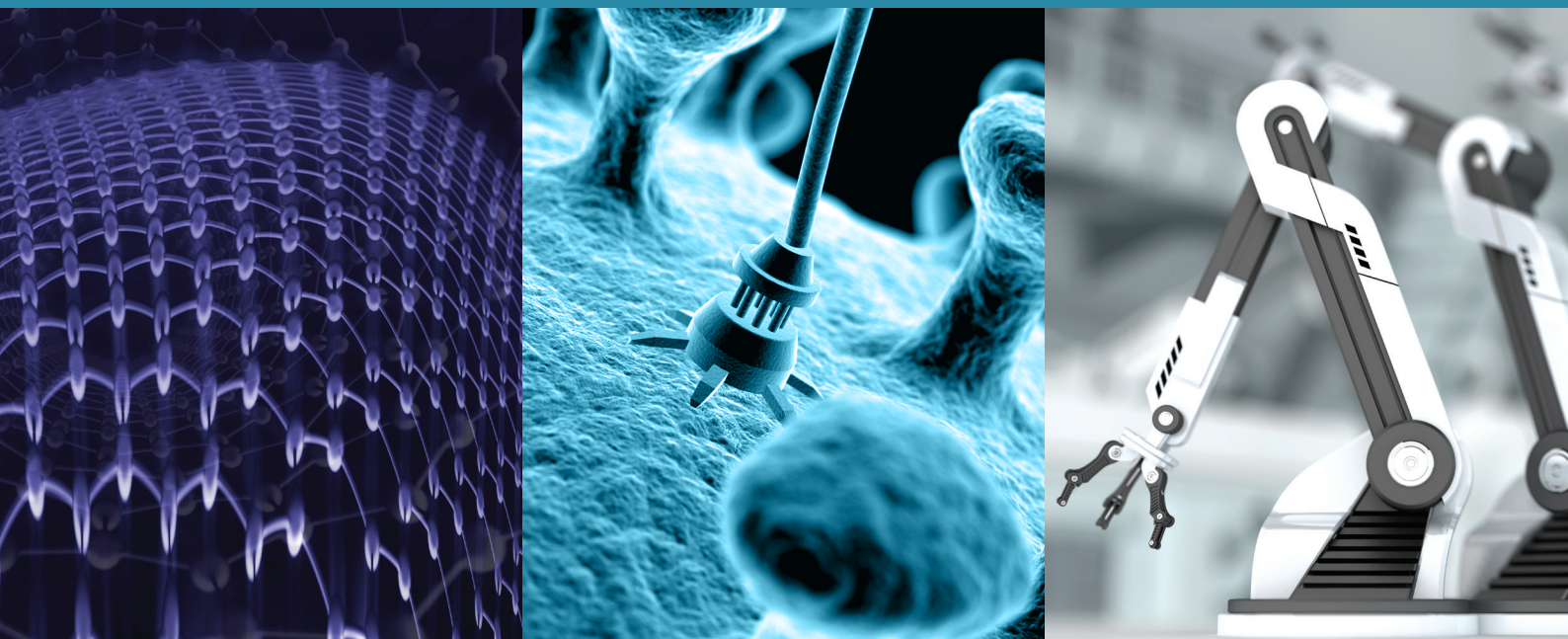
200 年 创新 与增长

人均GDP
\$2,000
(按1990年
美元计)

人类对创新解决方案的追求推动了人类的进步，改变了我们的世界。两个世纪的突破性创新见证了前沿经济体的人均收入增长15倍。**WIPO《2015年世界知识产权报告》**着眼于六项革命性技术，探讨了知识产权在创新中的作用。



资料来源：《2015年世界知识产权报告》
信息图：世界信息图/WIPO



世界知识产权组织
34, chemin des Colombettes
P.O. Box 18
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
瑞士

电话: +41 22 338 91 11
传真: +41 22 733 54 28

WIPO驻外办事处联系方式请见:
www.wipo.int/about-wipo/en/offices/

WIPO 第 944C 号出版物
ISBN 978-92-805-2735-3