

搭建 更高的 梯子

科技与科学相辅相成，
共同推动全球经济走高

乔尔·莫基尔

近年来，尽管人口增长不断回落，人口抚养比率不断攀升，但许多经济学家一直对技术进步推动经济向前发展的能力表示怀疑（Gordon 2016）。这一派人认为，结在低处的果实大部分已经被摘下来了，未来想要取得进步将越发艰难（Bloom and others 2017）。

其他人则反驳称，科学让我们能够搭建越来越高的梯子，摘到那些结在更高处的果实。这一观点的支持者认为，根据快速发展的科学成果来看，技术突破仍有潜力，能在可预见的未来改变生活，就像美国内战结束后的一个半世纪以来所取得的成就一样。

为什么科学一定会持续进步？技术进步不仅会直接影响生产力，还会通过给科学提供更强大的工具以继续推动自身进步。人类的能力有限，无法进

行高度精确的测量，观察极小的物体，克服光学和其他感官错觉，或快速处理复杂的计算。技术在一定程度上帮助我们克服了进化给人类带来的局限，让我们了解本来不能看到或听到的自然现象，也就是德里克·普莱斯 (Derek Price 1984) 所说的“人工启示”。17 世纪的科学革命大部分是通过仪器和工具的改善得以实现的，例如伽利略的望远镜和胡克的显微镜。

现代的科学进步同样依赖于研究人员所使用的工具。显微镜学的改进和实验室技术的提高让人类得以发现生源说，这可以说是有史以来最伟大的医学进步之一。在 20 世纪，能够证明仪器改善和科学技术进步的影响的案例倍增。现代科学最伟大的贡献之一是 X 射线晶体学。这项技术在发现许多生物分子的结构和功能方面发挥了重要作用，包括维生素、药物和蛋白质。它最著名的应用无疑是发现了 DNA 分子的结构，而且它在其他 29 个诺贝尔奖获奖项目中也发挥了重要作用。

在我们今天所使用的传统工具中，显微镜仍然是最重要的工具，因为它是我们在各个方面迈向微观世界的基础，即从越来越细小的层面上理解和改造世界。20 世纪 80 年代早期发明的扫描隧道显微镜开启了纳米层面的研究。最近的诺贝尔化学奖得主研发的白兹格—黑尔超高分辨荧光显微镜与列文虎克研发的显微镜相比，就像是热核装置与鞭炮。同样的情况也发生在望远镜制造领域，在当时具有革命性的哈勃望远镜不久将被更为先进的詹姆斯·韦伯太空望远镜所取代。

过去完全没有的、直到近期才出现的两种功能强大的科学工具是快速计算（包括近乎无限的数据存储和搜索技术）和激光技术。当然，两者都已直接应用到了无数的生产资料和生活资料的生产过程中。计算机对科学的影响远不止对大

型数据库的分析以及标准统计分析：一个数据科学新时代已经到来，即被强大的大数据处理机器取代了模型。强大的计算机采用机器学习算法来发现人类大脑根本想不到的模式。如今我们已经不再使用模型，而是用强大的计算机来发现各种规律性和相关性，尽管这些规律性和相关性是“如此曲折，人类大脑根本无法回想起或预测到” (Weinberger 2017, 12)。

技术进步不仅会直接影响生产力，还会通过给科学提供更强大的工具以继续推动自身进步。

但计算机能做的不仅仅是处理数据：它们还可以模拟，通过模拟，计算机能够估算极为复杂的方程式，这些方程式能让科学家研究迄今鲜为人知的生理和物理过程，设计新材料，模拟迄今为止通过多种封闭方案的尝试，但最终惨遭失败的自然过程的数学模型。这种模拟已经催生了全新的“计算性”研究领域，在这些领域中，模拟和大数据处理在极度复杂领域中强烈互补。在历史上，一些科学家曾梦想过这样的工具，但直到最近十年才有能力实现，届时达到的技术水平必将影响我们的技术能力，进而影响生产率，甚至是经济福利。

随着量子计算的出现，许多这些领域的计算能力可能会成倍增加。同理，虽然人们现在还担心人工智能会取代受过教育的知识型工作者，而不仅仅是取代常规的工作，但人工智能可能成为世界上最有效的研究助理，即使它永远不会成为世界上最好的研究员 (Economist 2016, 14)。

激光技术也是一项具有革命性意义的科学工

如果说前两次工业革命是由能源主导的，那么未来很可能会在新材料的演变过程中见证真正的根本性进步。

具；据说，激光器刚刚被发明出来时，其发明者认为它是一种“正在寻找应用领域”的技术。但在20世纪80年代，激光已经被用于将微小的样品冷却到极低的温度，促进了物理学的重大进步。现在，激光在科学上的应用更是让人眼花缭乱。其最重要的应用之一是激光诱导击穿光谱学，这种工具的用途多到令人震惊，广泛应用于需要在原子层面进行快速化学分析而无需准备样品的领域。激光雷达是一种基于激光的探测技术，能够生成极为详细的三维图像，用于地质学、地震学、遥感和大气物理学，最近还帮助我们大幅修正了对原来被低估的危地马拉地区前哥伦比亚玛雅文明的规模和复杂性的估计。但是，激光也是一种可以烧蚀材料以做分析的机械工具。激光烧蚀可以用于任何类型的固体样品的烧蚀，以做分析；没有样品尺寸要求，也无需样品制备程序。激光干涉仪已被用于探测爱因斯坦假设的引力波，这是现代物理学中最受欢迎的发现之一。

生物学的世纪

成就远远不止于此。正如弗里曼·戴森(Freeman Dyson)所说，如果20世纪是物理学的世纪，那么21世纪将是生物学的世纪。近期分子生物学和遗传学的进步意味着人类改造其他生物的能力发生了革命性的变化。当然，其中突出的是基因组测序成本的下降速度，相比之下，让摩尔定律看起来颇为迟缓：每个基因组的测序成本已从2001年的9500万美元下降到2015年的1250美元。

近来CRISPR Cas9技术的进步，使得在基因序列中编辑碱基对的技术极具发展前景。另一项前景广阔的是合成生物学，它能够在没有生物

体作为中介的情况下实现合成有机产品。无细胞蛋白质合成的想法已有近十年历史，但直到最近，其全部潜力才为公众所知，即使实现这一想法还需要好些年。

共生关系

尽管《圣经》传道书中曾说，“太阳之下无新事”，但太阳底下其实有许多新鲜事。如果说前两次工业革命是由能源主导的，那么未来很可能会在新材料的演变过程中见证真正的根本性进步。以当时的主要原材料命名一个经济时代（“青铜器时代”）是历史学家们多年来的习惯。过去的许多技术想法无法实现，是因为发明者可使用的材料根本不足以使他们的设计成为现实。但是，最近由科学发展推动的材料学方面的进步，使科学家们能够设计出自然界没有的新合成材料。这种人工材料是在纳米技术水平上发展起来的，有望推动材料进一步发展，在硬度、弹性等方面满足定制要求的属性。新的树脂、先进的陶瓷工艺、新的固态物和碳纳米管都将继续发展或完善。

人工智能、激光和基因工程学似乎都符合通用技术(GPTs)的标准，通用技术在生产和研究领域有着广泛应用。人们普遍认为，通用技术——如机器学习——通常需要时间来对经济产生全面影响，因为根据定义，它们需要创新和投资进行互补。但它们有望在许多层面上从根本上改变人类状况。

所有这些技术预测都是不确定的，没有人预测到的进步发生了，而备受期待的进步却没有发生，这都不可避免。但技术继续飞速进步并不取决于任何一个领域的技术，而是基于一种观察到的现象，即科学和技术通过给科研人员提供更强大

大的工作工具，而在一种共生的状态下共同发展。有些工具已经以原始形式存在了几个世纪，而另一些则是无法明确找到其前身的根本性创新。

就像 17 世纪的新仪器和工具带来了科学革命和蒸汽与电力时代一样，当今时代的大功率计算机、激光和许多其他工具也会带来许多超出我们现在想象力的技术进步，就像伽利略也不可能预见到机车的出现。FD

乔尔·莫基尔（JOEL MOKYR）是西北大学经济学 Robert H. Strotz 荣誉教授。

本文基于即将在《Explorations in Economic History》

上发表的文章“The Past and the Future of Innovation: Some Lessons from Economic History”。

参考文献：

Bloom, Nicholas, Charles I. Jones, John Van Reenen, and Michael Webb. 2017. “Are Ideas Harder to Find?” Unpublished working paper, Stanford University, Stanford, CA.

Economist. 2016. “The Return of the Machinery Question.” June 25, 1–14.

Gordon, Robert J. 2016. *The Rise and Fall of American Growth*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Price, Derek J. de Solla. 1984. “Notes towards a Philosophy of the Science/Technology Interaction.” In *The Nature of Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?* Edited by Rachel Laudan. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

Weinberger, David. 2017. “Alien Knowledge: When Machines Justify Knowledge.”