

未讀

● Jim Al-Khalili

● Philip Ball

● Jeff Hardy

● John Miles

● Adam Kucharski

「英」吉姆·阿尔-哈里里 编

陆豪隐

● Anna Ploszajski

● Lewis Dartnell

石头 周书华 译

● Naomi Climer

● Anurag Prasad

● Gaia Vince

● Mark Walker

● Louisa Preston

● Noel Sh

● Dame Juli

# 18

## 个未来 进行时

### WHAT'S NEXT?

Jim Al-Khalili

×

可预见的未来  
与  
可选择的  
现在

科幻小说里的  
奇迹  
也许明天就会  
成为现实

英国科学协会主席、首届霍金科学传播奖得主、  
迈克尔·法拉第奖得主 吉姆·阿尔-哈里里

会聚 18 位关键领域的一线科学家  
汇集 18 篇基于真实科研的未来畅想

多角度精彩呈现人类全景式未来

量子计算/人工智能/星际移民/能源材料/人体改造/……

北京联合出版公司

# 目录

[引言](#)

[第一部分 地球的未来](#)

[人口问题](#)

[人口增长与资源短缺](#)

[未来的我们](#)

[身份识别技术](#)

[制度与信仰](#)

[从长远来看.....](#)

[生物圈保护](#)

[气候变化](#)

[沿革](#)

[已知和未知](#)

[2050年的气候](#)

[我们的选择](#)

[小结](#)

[第二部分 我们的未来](#)

[未来医疗](#)

[下一次流行病暴发](#)

[定制医学](#)

[进一步互联互通的世界](#)

[基因组和遗传工程](#)

[基因组检测](#)

[基因组应用](#)

[遗传学、计算机信息处理技术和生物黑客](#)

[合成生物学](#)

[超人类主义](#)

[人类可以更幸福](#)

[人类可以更高尚](#)

[人类可以更长寿](#)

[人类可以更聪明](#)

[超人类主义的用意](#)

[反对者的论点](#)

[文化考量](#)

### [第三部分 网络的未来](#)

[云计算与物联网](#)

[网络安全](#)

[人工智能](#)

[量子计算](#)

### [第四部分 制造的未来](#)

[智能材料](#)

[未来自行车](#)

[未来飞行器](#)

[智能材料的遗留问题](#)

[能源与未来](#)

[能源和温室气体](#)

[科技爆发](#)

[无处不在的数据](#)

[世代联系](#)

[智能生活](#)

[全球视野](#)

[小结](#)

[未来交通](#)

[成本、时间、载量与便利性](#)

[环境影响](#)

[公共交通与智能出行](#)

[自动驾驶汽车](#)

[机器人技术](#)

[自动驾驶](#)

[家用机器人](#)

[看护机器人](#)

[武装和治安防护机器人](#)

[偷走就业岗位的机器人](#)

[为气候变化修复问题的机器人](#)

[人类与机器人的未来](#)

### [第五部分 遥远的未来](#)

[星际旅行与太阳系开发](#)

[推进器的选择](#)

[家外之家](#)

[人体的脆弱](#)

[地外前哨站](#)

[月球](#)

[火星](#)

[金星和冰卫星](#)

[小结](#)

[末世图景](#)

[全球性灾难的风险](#)

[气候变化](#)

[小行星和彗星撞击](#)

[超级火山](#)

[日冕物质抛射](#)

[全球流行病](#)

[文明的备份“存档”](#)

[空间传送与时间旅行](#)

[空间传送](#)

[时间旅行](#)

[作者简介](#)

[延伸阅读](#)

# 版权信息

18个未来进行时

What's Next?

作者：[英] 吉姆·阿尔-哈里里（Jim Al-Khalili）

译者：陆素隐 石头 周书云

出品方：未读·探索家

出版社：北京联合出版公司

Selection, introduction and Chapter 18 ('Teleportation and Time Travel') copyright © Jim Al-Khalili 2017

Other chapters copyright of the author in each case © Philip Ball, Margaret A. Boden, Naomi Climer, Lewis Dartnell, Jeff Hardy, Winfried K. Hensinger, Adam Kucharski, John Miles, Anna Ploszajski, Aarathi Prasad, Louisa Preston, Adam Rutherford, Noel Sharkey, Julia Slingo, Gaia Vince, Mark Walker, Alan Woodward 2017

Simplified Chinese translation copyright © 2019 by United Sky (Beijing) New Media Co., Ltd. All rights reserved

# 引言

文/吉姆·阿尔-哈里里 (Jim Al-Khalili)

按照爱因斯坦相对论的说法，未来就在那里等着我们——所有的时代，过去、现在和未来，在静态的四维时空中早已存在并永恒不变。我们的意识沉浸于变幻莫测的现在，沿着时间轴爬行，迎接未来，将它一口吞下，让它成为过去，留在我们前行的足迹中。然而，我们永远无法看清前方。尽管心理学家和预言家提出过很多说法，但我们无法预测未来却是一个无可争辩的事实。

在形而上学的层面，我们的未来是注定的还是开放的，我们的命运是被封存在一个确定性的宇宙中，还是可以被我们自由塑造，这些仍然是科学家和哲学家正在争论的问题。当然，有时候我们可以按理确信会发生什么——事实上，将来的某些事是必然的：太阳将继续照耀（至少几十亿年），地球将继续绕着地轴旋转，我们都会变老，而我喜欢的利兹联队总会在足球赛季结束时让我失望。

但在其他方面，未来能以完全意想不到的方式呈现。人类文化是如此丰富多彩，以至于事物经常以人们无法预测的方式发展。因此，虽然有一些人能够预言唐纳德·特朗普 (Donald Trump) 在2016年当选美国总统，但是（到目前为止）没有人能够准确预测下一次自然灾害（地震或洪水）会在何时何地发生。

关于科技进步如何改变未来生活的预言四处流传，有的毫无悬念，有的不可思议。最可靠却也最富有想象力的未来预言往往来自科幻作家，但1990年之前，又有多少科幻作家描绘出了今天互联网连接一切的世界？仔细想想，万维网听起来仍然很梦幻。

那么，在21世纪的第二个十年，我们该如何编写一本关于未来科学发展的书呢？这些技术是即将到来，会在五年或十年之后与我们见面，还是出现在远超我们有生之年的遥远未来？

本书中的一些文章发出了严肃的警告，无论是本来如此还是缘于人



类的活动，如果我们现在不采取行动，一些问题可能会让我们的环境变得非常恶劣。解决全球问题的关键涉及金融、地缘政治和文化，以及科学和工程。显然，用好我们对自然世界的认识，以及新科学在技术中的创新性和创造力，这在未来的几十年里将变得比以往任何时候都更加重要。这些文章也是希望的明灯，因为它们向我们展示了科学如何应对最糟糕的情况，例如气候变化带来的破坏性影响，以及人口过剩或微生物抗性招致的疾病流行。

不可否认，新技术的实际应用都必须经过仔细的思考和论证，仅以几个令人振奋的飞速进展的领域为例，无论是人工智能、机器人技术、遗传学、地球工程，还是纳米技术，都是如此。我们不能不仔细研究新发现及其应用带来的伦理影响和实际影响，而轻率地任由自己被推向不明的未来。我想到很多例子：机器人正开始在工作场所取代人类，人们要防范网络恐怖主义，还有，随着世界人口规模和人类野心的增长，自然栖息地遭到摧毁，生态系统遭到威胁，自然资源即将耗尽。当然，我描绘的是一幅凄凉黯淡的画面，而我们的未来未必如此。

记住一点非常重要，那就是：科学知识本身既不善良也不邪恶，重要的是我们使用它的方式。可以肯定的是，在十年或二十年内，我们将拥有人工智能控制的智能城市、无人驾驶汽车、增强现实、转基因食品、更有效的新能源、智能材料，以及全部联网并交换信息的无数小工具和电器。这将是一个今天的人几乎无法辨认的世界，正如今天的世界在20世纪70年代和80年代的人眼中一样。毫无疑问，我们对世界的了解和这部分知识的运用将继续大幅改造我们的生活。

本书中的一些文章描绘了比较可靠的未来图景。这是因为其中描述的科学技术已经以雏形进入我们的生活，我们可以清楚地看到这部分科学技术在未来几年如何趋于成熟。其他的文章提出了某些技术在未来的多种可能，这不是因为我们不了解这些科学内容，也不是因为科学的应用可能带来意外，而是因为我们选择的道路取决于科学知识的使用方式。可靠的政治家和有科学素养的民众需要共同做出这些关乎社会未来的决定。

某些主题，包括无人驾驶汽车、遗传工程和所谓的物联网，被多位作者提到。我在选择稿件时有意为之，因为这可以为读者提供未来几十年人们生活变化的多个视角。这样还能凸显许多新技术之间如何相互关联，彼此促进。



还有一些文章，特别是那些被安排在本书末尾的文章，不可避免地更具推测性。例如，在本书最后我自己的作品中，我展望了现代人无法到达的极远的未来。但这又如何？有关科学未来的好书怎么能对瞬间移动和时间旅行只字不提呢？

公平地说，安排在前面的文章在描绘未来时采用了相当忧郁的笔调，如果得不到重视，现在的警告会成为未来的灾难。其他文章则为必将在不远的将来丰富我们生活的奇妙技术而欢呼。然而，从一开始就需要说明的重点是，这一系列文章既不是盲目乐观也不是危言耸听。这本书旨在尽可能坦率和客观地描绘出一幅未来的画面，这也是全世界相关领域前沿专家所看到的未来。所有文章的共同点是：它们都基于我们目前对自然规律（科学事实，而不是科幻）的认识。它们要预言的不是充满想象的、牵强附会的未来，本书无关魔法和幻想。在我看来，这些对未来做出理智预估的文章，这些有着可靠知识根基的文章，可以为读者带来更加真实而动人的未来之旅。

# 第一部分 地球的未来

THE FUTURE OF OUR PLANET

人口问题/生物圈保护/气候变化

# 人口问题

## DEMOGRAPHICS [\[1\]](#)

文/菲利普·鲍尔（Philip Ball）

世界因我们改变而改变——像大多数经常被忽视的事实一样，这件事一说出来就很明显了。未来将变得和现在不同，这不仅仅因为我们将发明新技术，还因为我们选择发明某些技术并加以应用——因此，我们允许这些技术改变我们自己。有些技术无疑会解决长期存在的问题，并造成一些新问题；有些几乎不会触及未来的重要挑战。无论如何，仅仅将如今的我们置于推测出来的自然环境和人工环境中并不能真的让我们看到未来。那么，在未来，我们将如何拥有不同的生活？我们的生活将有多大的不同？

## 人口增长与资源短缺

如今，变革的最大驱动力是人口增长，而人口又可能因技术变革而增长。如果没有19世纪以来的农业和粮食生产产业革新，特别是20世纪中期几十年间将高产作物品种培育与人工肥料的效用结合在一起的绿色革命（Green Revolution），我们可能无法供养这个星球上的75亿人口。如果没有科技进步，可能有数十亿人被饿死。

但是，如果没有进一步实质性的创新（特别是在粮食增收、食品生产和水资源利用方面），那么到了2050年，我们无法保证自己能够供养地球上超过90亿的人口。人口增长的主要地区将是非洲和亚洲，尤其是经济和基础设施方面都不占优势，难以应对这一情况的国家。

没人能保证农业生产率随人口增多而提高。气候变化可能加剧土壤侵蚀、荒漠化和生物多样性的丧失，这很可能让世界大部分地区生产率降低，包括因人口增长而需要更多食物的地区。现在，这种变化通过全球化与市场变迁相连：改变一个地方的需求或优先等级（例如种植生物燃料作物）会对其他地方的粮食生产或供应产生重大影响。这意味着，

粮食安全仍将是世界未来可持续发展的重要议题。2008年，食品价格飙升已然引起了大范围的社会动荡，并造成了海地政府的垮台；2011年食品价格上涨也和北非“阿拉伯之春”（Arab Spring）事件紧密相关。

水资源同样前景堪忧。目前，有7.5亿人口面临水资源短缺。这个数字到2025年可能增加到30亿，而从美国中西部到中国华北平原的干旱地区，淡水水库已经面临过度使用。

所有这一切可以看作一个悲伤的故事，它关乎灾难、文明崩溃和世界末日的预测。但我们也可以从中总结出未来政治和技术挑战的任务清单。也许，最重要的是，这提醒了人们，在未来什么是最重要的。是的，个性化医疗、智能机器人、小行星采矿和器官再生听起来都非常惊心动魄（或足以令人恐惧，这取决于你的观点），也许这些都会实现。但是，人类由来已久的问题——我们吃什么？喝什么？——无论何时都不会消失。事实上，可能正是这些问题，而不是信息、运输或医学领域的技术创新，最终决定人和人之间、国家和国家之间互动的模式。

因此，我们需要的是可持续发展的架构。可持续这个词用得够频繁的了，但我们的思路并不是总能跟上。一些经济学家对难以控制的人口增长不够关心，他们认为相关警告是危言耸听，并且认定人类的创新和才智会像过去一样继续支撑大局。还有一些人指出，不顾污染等严重问题，听凭市场力量驱动经济无限增长并不具有必要性，而且这种增长并不能长远持续下去。争论的双方都可以整理数据，或至少列举故事，以支持他们的观点，但他们往往忽视了一个已经存在的科学框架——热力学已经对各种选择施加了很大的限制。没有能源消耗和随之产生的损耗，食品的生产、新思想的出现、社会的推陈出新都将不复存在。简而言之，没有免费的午餐。社会是复杂的生态系统，但它与其他任何生态系统一样，都是相互作用的网络，需要能量，对抗熵衰减，具有适应性，但也有一定的脆弱性，易受影响。创建一门真正的可持续发展科学可以说是我们在22世纪最重要的目标；没有它，一切都不值一提。毕竟，我们在宇宙中的存在并非必然。

## 未来的我们

既然如此，未来的“我们”会是怎样的一群人？

寿命的延长和出生率的下降意味着全球人口的平均年龄正变得越来

越大。英国超过75岁的人口数量将从2012年的510万增加到2022年的约660万。到2050年，发展中国家将有1/3的人口超过60岁，其他的暂且不说，单是医疗卫生行业就会面临更大压力，这也将改变就业人口的比例。

我们还有一个必须提出的问题：我们将在哪里栖身？2007年，联合国的一份报告宣布，全球一半以上的人口生活在城市，世界人口在21世纪初期越过了一个重要节点。对于大多数人而言，未来是城市的未来。

现在，人口超过1000万的大城市有许多，其中大多数在亚洲、非洲和南美洲的发展中国家，包括孟买、拉各斯、圣保罗和马尼拉。未来20年，几乎所有的人口增长预测都将以这些地区为基础，特别是发展中国家，到2035年，世界人口的60%左右将生活在城市地区。

在古老的传说中，人们走进广阔的世界寻求财富，而今天，我们在城市里淘金。许多人从周围的乡村来到城市，希望过上更好的生活，但他们并不一定能找到更好的生活。许多城市无法应对这些涌入的人口。例如，现在有1.5亿城市居民缺水。此外，正如气候变化模型预测的那样，随着海平面上升和极端气候变得更加常见，沿海低洼地区许多快速增长的城市将面临越来越高的洪水风险。

不用水晶球，我们也知道美国的全球影响力会逐渐减弱，欧洲统一事业的上空仍然悬着阴云。但是，如果心怀疑问，那么我们瞥一眼世界各大城市的变化就会知道未来几年哪里可能出现巨变。在1950年，全球最大的五座城市从大到小分别是：纽约、东京、伦敦、大阪和巴黎。2010年，前五名变成了：东京、德里、墨西哥市、上海和圣保罗。2030年，预计该名单将会是：东京、德里、上海、孟买和北京。要找到未来的人口中心，请向东走。

当然，对于一座城市来说，发展是一回事，繁荣则是另一回事，在里约热内卢和圣保罗的贫民窟中，这一点实在是太明显不过了。尽管如此，中国和印度仍将毫无疑问继续向全球超级大国发展。在接下来的20年里，中国可能建造二三百座全新的城市，其中许多城市的人口超过100万。事实上，这个星球每周都会新增一座约150万人口的城市。

但未来的城市会是什么样子呢？艺术家向我们描绘了闪闪发光的玻璃和顶部覆盖着绿色植物的铬合金，这非常迷人，但也有误导性，因为城市的未来不是只有一种可能。未来可能更人性化，更加环保，更有活

力，也可能满是四散蔓延的贫民窟，中间点缀着闪闪发光的金融区，贫富差距比今天更加可怕。我们究竟能不能成功规划城市？城市是否如有影响力的城市理论家刘易斯·芒福德（Lewis Mumford）和简·雅各布斯（Jane Jacobs）所说的那样，必须“有机地”扩展，否则难以充满活力、兴旺发达，而会变得冰冷而贫瘠？

一些研究者认为，除非我们开创真正的“城市科学”，而不是依赖于城市规划者和建筑师任意、俗套和政治化的想法，否则我们几乎没有希望回答这些问题。当我们认识到有些原理几乎适用于规模和特色各不相同的所有城市时，我们便看到了这种新兴学科的微光。城市依赖于规模经济：城市规模越大，对基础设施和能源消费方面的人均需求越少，人均收入增长就越多，城市就越有利于创新。但随着规模增长，一切都会变得更快，无论好坏：大城市犯罪、盗窃和传染病的发生率更高，通常生活节奏更快，企业兴衰的速度更快，人们走路的速度也更快。看来，没有城市的缺点就没有城市的优点。所以，如果有幸可以选择，那么我们可以随便选。

向城市移民的趋势是全球范围内更广泛的移民潮的一部分。联合国估计，目前有2亿多人从自己的国家迁移到另一个国家，大约7.4亿人在自己的国家内迁移。在过去的几十年里，大量人口迁移活动涉及从农村和山区迁移到城市。

为什么会有这种迁移活动呢？在低收入国家，大多数人出于经济原因而搬迁，这是为了寻求更好的就业机会、更高的工资或生活多样化，当农业作为一种生活方式变得不可持续时尤其如此。有些人搬迁是为了接受教育，或者与家人团聚。有些人希望摆脱政治或文化迫害、战争和冲突，比如叙利亚移民。有一些人出于社会原因被迫搬迁，比如中国的三峡移民。还有一些人被迫逃离恶劣的环境，包括被洪水淹没的地区、贫瘠的农田，还有缺乏水资源的地区。

气候变化将在未来几年甚至几十年不可避免地使移民增多，但这并不意味着“气候移民”值得一提。环境变化会以复杂的方式与其他促使迁移的因素相互作用。津巴布韦有经济和政治危机，再加上农村干旱，自2000年以来已经导致150万~200万人逃到不愿接纳他们的南非。更重要的是，环境变化引发的迁移可能会模糊政策和法律规定中“移民”和“迁徙”之间的区别，前者被认为是一种选择，后者则是被迫的。有时，我们很难判断一个地方的环境是否已经恶化到了使人被迫搬迁的程度。无论如何，欧洲近些年的经验表明，移民和入境将毫无疑问是未来几年内

的重要政治议题。

## 身份识别技术

这些迅速发生的大部分变化似乎与非洲农村或蒙古游牧民族的生活相距甚远——除了一点。多亏了电话网络，他们和我们连在了一起。

现在，世界上每三个人中就有两个人拥有一部手机（或者至少有一次认购），即使在撒哈拉以南非洲的欠发达国家也是如此。这些设备是我们今天主要的（远程）通信方式。互联网访问尚未显示出相同的扩展态势：在发达国家，4/5的家庭能上网，但在不发达的国家，这一比例远低于1/10。对技术或数字鸿沟的担忧是有道理的，这不是一个能用简单的式子求解的问题。毫不奇怪，这种差异在特定年龄的统计数据中也很明显：在英国，2016年，16~24岁的受访者中，有超过99%的人表示他们在过去3个月中使用过互联网，但75岁以上的受访者中只有39%的人使用过互联网。

访问情况只是一个侧面。移动网络还让用户的使用模式向着永远在线的心态转变。所谓的Z世代（Generation Z）出生于20世纪90年代，从未经历过缺乏这些设施的时代，他们现在都已成年。就在2011年，一项针对16~24岁英国人的调查发现，45%的人在上网时最快乐。现在，许多企业希望员工能够通过手机和电子邮件保持联系，家庭事务和个人事务也可以在办公桌上处理，工作和家庭之间的界限可以被打破。

类似的统计数据有很多，但这些数据的结论并不明显。依照当前趋势直接推测，到下一个十年结束时，世界各国3/4的人口都将拥有移动电话。但肯尼亚农民或蒙古游牧民族使用电话的结果，自然不同于伦敦金融城中的交易员。

信息技术和社交媒体的传播证明了它们确实应该被称为“变革性”和“颠覆性”的技术，但它们将改造和颠覆什么呢？2011年的“阿拉伯之春”本身就是一场“推特革命”——这样的观点令人兴奋，但相关证据已基本化为泡影，无论如何，这一观点并没有告诉我们接下来会发生什么。

世界日益“信息互联”，这只是人们日益相互依存的趋势的一方面，这种趋势影响着贸易、旅行、疾病、审查制度、隐私等许多其他方面，



并受到这些方面的影响。换句话说，这是令人头晕的、没有人能够提前体验的未来。以下是迄今为止的一些经验让我们产生的想法：

- 互联互通并不意味着包容。相反，这里可能会产生观点的分裂，使政治论述变得粗俗，并滋生或强化极端主义观点。几乎没有迹象表明互联网或社交媒体鼓励宽容和辩论，在某种程度上，它们的创立是为了使我们与异议或挑战隔绝，个性化新闻推送就是一个例子。在过去，寻找否认大屠杀的伪历史常常需要下点功夫，现在只需要点击一下鼠标即可。

- 信息技术可能会放大现有的偏见和误解，它们也可能放大不平等。在商业、贸易、艺术、娱乐和流量方面，市场越来越倾向于“赢家通吃”。心理学研究表明，这正是我们对评级系统的期望，在评级系统中，我们很容易看到其他人的选择。

- 如果一项工作可以由机器人完成，那它很可能就会由机器人完成。金融业有一个重要部分已经让自动交易算法主导业务了。它比我们快，在我们对一些规律一无所知的时候就能做到心中有数。这种自动化的技术将扩展到更复杂的工作领域，包括医疗卫生和教育领域。当然，这可能是有益的。机器人医生从不睡觉，病人不需要提前数周预约，机器人医生可能比人类医生更了解病人的健康状况，因为它们可以使用植入式监测设备和基因组数据。但是，先进的技术也将改变劳动力市场。一个已然明确的历史教训是，那些对社会生产力而言无足轻重的人将被剥夺经济权利，而不是享受更多闲暇。

- 我们最重要的资产可能不是技能、知识甚至财富，而是声誉，比如，在网络平台收到的评价。这意味着我们需要好好管理自己的声誉，或者请别人帮我们管理，就像企业那样。

这些趋势并没有明确地指向单一的方向，实际上这里存在内部矛盾：谎言更容易暴露，但也更容易传播。最重要的是，社会政治环境会对这些变化产生巨大影响。

尽管如此，我们仍然可以为未来的自己寻找可能的结果。在未来，我们的身份远不如过去那么确定，而且更加多元化，或者至少比我们想象的要复杂得多。我们会拥有对应不同情境的多重身份，它们会互相重叠，趋于模糊，但它们却以不同的方式定义我们的观点和选择。特别值得一提的是，定义身份的传统社会范畴（例如年龄、阶级和国籍）正

变得不那么重要，就像公开的身份和私人身份之间的区别一样。基于阶级、种族和政治派别的旧身份定义可能会让位于新的身份定义，例如以城市/农村或教育程度高/低等为依据的身份划分。

如果个人身份的传统属性在未来十年变得更加零散，那么社区关系可能会变得不那么紧密。这也许能降低社会流动性，导致特定群体被边缘化，催生种族隔离和极端主义。另一方面，具有超越性的互联也可以积极地产生或加强群体身份认同，为社区建设提供新的机遇。日益紧密联系的人生和身份认同是有益的还是有害的？嗯，兼而有之吧——而且始终如此。

## 制度与信仰

弗朗西斯·福山（Francis Fukuyama）1992年出版的《历史的终结与最后的人》（*The End of History and the Last of Man*）已成为未来学中最受欢迎的出气筒。现在看看，你会觉得这种观点可笑：柏林墙倒塌、苏联解体后，自由民主制是每个发达国家合乎逻辑的最终形式。然而，现在我们比以往任何时候都有更多的理由怀疑福山温馨的预测。显而易见的是，稳定的民主国家在世界大部分地区仍然像以往一样难以捉摸（当然，它们也不会因独裁政权被推翻而不可思议地出现），同时我们也不能理所当然地认为，一朝民主等于世代民主。在撰写本文时，欧洲和美国的蛊惑人心的民粹主义可能将自由民主国家变成强者政权（**Strong Man' regimes**），这种政权通过胁迫、腐败和勾结得以维持。“自由”和“民主”是否可以成为永远的搭档？无节制的资本主义，其经济谎言、加剧不平等和仇恨的倾向，是否能够至少与其中之一相符？这是我们正在探讨的严肃话题。

简而言之，西方评论员毕竟已经不再那么肯定他们已经掌握了最好的治理形式，更不用说他们打算如何在其他地方发展它了。

根据政治学家大卫·朗西曼（David Runciman）的说法，民主的优势——从各种冲击中恢复的功能——也是它的致命弱点，因为它缺乏真正从过去汲取教训的动力。胡乱应付似乎是一个足够好的策略，直到应付不过来为止。

似乎可以肯定的一点是，我们应该停止将政治视为在达到静止的、严格的均衡之前要冒会儿泡的某种化学反应。变化似乎是唯一确定的事

情，而且，越来越多的政治学家将其称为“不连续”过程，变化不是逐渐发生的，而是由突发的重大事件促成的。

我们可能预料到的变化包括宗教地位的变化。问题与其说在于宗教信仰，不如说在于某一种宗教信仰。四大宗教（伊斯兰教、基督教、佛教和印度教）似乎越来越使得其他宗教黯然失色。全世界有大约16%的人口公开承认自己是无神论者，在西欧，这个占比更高，但无神论的传播速度却比主流宗教信仰要慢得多（佛教是个例外，其传播速度实际上是成比例下降的）。穆斯林的全球人口占比增长最快，预计到2050年将与基督教（约占全球人口的30%）的相等。

无论这些趋势给了我们什么感受，我们看待它们的方式都应该像研究其他文化特征（如语言）的传播时一样。宗教与这些文化特征一样，与人口增长和经济发展等其他因素不可分割。宗教信仰也将继续深刻地影响人们的生活，无论这种影响是正面的还是负面的。历史清楚地表明，宗教不一定反知识分子、反科学、反民主、反人道主义，但宗教有可能如此。

从长远来看.....

最好的科幻小说无关预测未来。这些故事有另一番魅力——想一想《世界大战》（*The War of the Worlds*）、《美丽新世界》（*Brave New World*）、《1984》（*1984*）、《刀锋战士》（*Blade Runner*）<sup>[2]</sup>，还有1997年关于遗传隔离的电影《千钧一发》（*Gattaca*）吧，在天马行空的想象中，这些故事通过未来世界的自由探索现在的焦虑。因此，当拥有喷气背包、月球基地和机器人服务员的美好未来未能实现时，我们没有理由抱怨。这根本不是重点。

然而，即使是最好的科幻小说也可能会错误地一味想象什么技术会影响我们，而认识不到有多少技术会对我们做出反应。极少有什么技术真的是强加在我们身上的，无论我们的负面感受多么真实。它们到来的原因是，我们的社会接受它们，欢迎它们，并最终使它们常态化，这个过程通常在一定程度上让我们感觉被强迫了。在移动电话和社交媒体出现之前，我们从来没有真正意识到自己有多自恋，有多渴望逃离周遭的现实，并减轻孤独感。曾经，我们并不了解社会可以在多大程度上以陌生人之间的信任为基础去运转（电子商务），不明白我们对不同观点有多厌恶（回声室效应），不知道我们眼中平凡的世界多么迷人（真人秀

电视节目），匿名能让我们变得多么令人讨厌（网络暴力）。

因此，未来学可以而且必须促使我们为自己举起一面镜子。想象一下超人类主义的未来：通过将我们的身心与信息技术融合，将我们的思想下载到量子硬盘中，我们可以实现永生。这可能是纯粹的幻想，也可能不是，我认为这是幻想，但幻想有启迪作用。它表明，无论如何，我们与死亡的关系将成为社会变革的驱动力。同样，我建议我们不要将本书中的预测视为未来，而应把这些看作我们对未来的向往。

当我们面对未来，问出“我们将会是谁”时，政府部门往往会发布冷静的报告，充斥其中的路线图和数据多半基于对当下情况的推断。另一方面，未来学家想象着“不连续”变化和“奇点”：现状突然被打破，不可预见的技术或政治危机造成断裂。与此同时，艺术家和作家为想象力插上翅膀，他们的一部分想象力是狂野的，甚至是耸人听闻的，常常带着讽刺意味。我们也许将生活在《美丽新世界》，成为孵化中心的产品；在某颗满是巨塔的星球毁灭之前，我们也许会在每座塔中安顿一个国家；我们也可能在《世界末日》（*Armageddon*）的废墟中，以蹩脚的乔叟式方言讲述着科技奇迹的传说。我们需要所有这些数字、转换和愿景，不是因为它们能给我们答案，而是因为我们必须设法发现我们为自己设下的陷阱。正如美国作家理查德·鲍尔斯（Richard Powers）所说的：“人们想要一切。这正是他们的问题。”

# 生物圈保护

## CONSERVATION

文/加亚·文斯（Gaia Vince）

哥斯达黎加太平洋海岸的黎明时分，正变成淡红色的天空下，一名男子在水边的深蓝色剪影渐渐地生动了起来。我关掉手电筒。杰罗·奎罗斯·罗萨莱斯（Jairo Quiros Rosales）和我是这片广阔的黑沙滩上仅能看到的人，这里的火山沙向北一直延伸数公里。杰罗在招呼我，我赶快下去，掠过海滩和黑暗的海岸线。随着光线变亮，我辨认出了远处送葬的秃鹫，幽暗中出现了各种各样的杂种狗，在沙滩的夜里嗅着。

接着我就看到了它们：在海滩上面约100米处，像奇怪、匀称地隆起的石头，数百只榄龟正从海洋爬到海滩上产卵。这就是阿里巴达现象<sup>[3]</sup>，在西班牙语中它的意思是“到达”，为了看到它，我已经等了一个多月。我急切地抓住杰罗的胳膊，催促他快点朝着海龟赶去。他有点惊讶，但还是笑了。虽然我们以前没有见过面，但我们在电话里已经有点熟悉了——或者不如说，我不断打来电话唠叨，询问什么时候会有阿里巴达，这让我喜欢上了这个腼腆的哥斯达黎加研究员。我们说的是西班牙式英语，他的英语比我的西班牙语好，但和大多数对话一样，有些概念在不同的语言中效果最好。阿里巴达就是其中之一。

大多数海龟在一年中的不同时间单独筑巢，以便它们的幼龟在不确定的时间和地点孵化，从而避开捕食者。但是榄龟（以及坎普一带与之密切相关的鳞龟属动物）进化出了一种独特的大规模筑巢策略。它们同时产卵，让许多孵化的幼龟同时出现，捕食者不可能吃掉所有的幼龟，否则会招架不住。这被称为“捕食者困境”。榄龟大量出现的现象每年在全世界的几个地点发生若干次，而哥斯达黎加的奥斯迪欧娜海滩（Ostional beach）就是这些地点之一。

我们沿着光滑的海岸线走进这和谐的一幕中，海龟像坦克一样从海中涌上海滩。激素驱使着这古老爬行动物的母性舰队前来存放珍贵的货物。杰罗指向大海，在那里，有一排与海岸平行的背甲帽，小脑袋不时

地探出来进行呼吸，等着轮到它们上岸。在我们前面，海滩开始起伏，海龟背着心形的橄榄色龟壳急急忙忙地爬过。现在可能有数万只海龟聚集在沙滩上。一些完成了生产，正在返回大海的途中，不适合在陆地上行进的鳍状肢笨拙地在怀孕伙伴的潮流中逆行，厚重的龟壳起伏着。它们已经精疲力竭，在岸边等待来袭的海浪将它们卷进海里。

我沉浸在这一奇妙的景象中。“太神奇了。”杰罗望着我的脸，表示赞同。他凌晨两点起床，已经多次见过这样的景象，但他显然也被感动了。海龟通常隐藏在它们的海底世界中，而我们却囿于陆地。我曾难得地在潜水时近距离看到它们，在那里，它们毫不费力地游动着，优雅得让人意外。近距离看到大量野生动物是很不寻常的，看到这么多，被这么多包围，这令人难以置信。像所有海龟一样，榄龟也因为我们人类而濒临灭绝。

这些有硬壳的活恐龙是目前世界上2.3万种濒临灭绝的物种之一。人类现在如此普遍地支配着这个星球，以至于我们正在将野生动植物驱离地球。我们已经将世界上一半以上的土地用于种植粮食，建立城市，修建道路和采矿；我们耗费了地球40%以上的净初级生产力（这是植物和动物生产的所有东西）；我们控制着3/4的淡水。我们目前是地球上数量最多的大型动物，其次是我们饲养的动物，它们为我们提供食物和服务。我们星球的变化正使1/5的物种面临灭绝的威胁，这大约是自然灭绝速度的1000倍。仅在过去的40年里，我们就已经失去了一半的野生动物，生物学家发出警告，我们正进入地球历史上的第六次物种大灭绝时期。以前的这类事件，包括恐龙灭绝事件，都是巨大的小行星撞击或超级火山爆发等灾难性活动的结果。

自然世界正遭受人类施加的全球性影响，海龟和其他许多物种一样，处境只会变得更糟。我们应该在意吗？失去一群我们很少看到的动物真的很重要吗？人类与自然世界的关系是复杂的。要了解目前的物种灭绝模式，我们需要着眼于人类生活和生计，以及我们的欲望和动机，了解这一切如何卷入复杂的全球环境中。

对我而言，阿里巴达的故事提供了对行星式问题<sup>[4]</sup>的独特见解，其规模远远超过任何个别参与者。当然，在人类主宰的地球上努力生存的动物或植物情况各不相同，但人的情感和驱动力随处可见。奥斯迪欧娜之所以如此与众不同，是因为当地居民找到了一种既能利用也能保护自然资源的方法。这就是关键：我们无法保护全世界的野生动植物，除非同时保护建立在这一切之上的人类需求。



当我们沿着海滩散步时，杰罗正在给海龟计数，通过龟壳和海龟在沙滩上往返的古怪槽道轨迹，估计在整齐放置的测距杆间的海龟数量。他说，稍后，研究人员将进行更准确的计数，但根据第一次计算，到目前为止，阿里巴达的海龟数量超过了一万只。一些海龟将被标记、测量，并被记录在国际数据库中，以便我们跟踪它们的行动。首先，他想让我看样东西。

“来吧。”他催促着，带我走上海滩，在那里，潮湿平坦的海滩慢慢地变成柔软干燥的沙丘。涨潮线上方是海龟筑巢的地方。一只新来的海龟已经爬到这里，并开始在它选定的位置挖掘。杰罗和我蹲下来观察它。它用鳍状前肢铲起沙子，拂到左右两边，那些沙子一层层地覆在我的双脚上。它不断地挖，掘出了一个更宽更深的坑，继续着从恐龙时代开始的仪式。在由爬行动物统治地球的时代，地球更加温暖，动物体积庞大（例如3米长的白垩纪古巨龟，还有离我们较近的2吨重的骇龟属海龟），甲壳足以提供保护，让它们免受掠食者侵害。那时地球上还没有人类或任何类似我们的生物。短短几分钟，洞就准备就绪，它轻轻地倒转进去，先将尾巴放下。从这儿开始，它用后肢挖出更深的坑，以一种我只能理解为故意的方式把更多沙子抛到我们身上，因为它在挖洞的时候一直直直地看着我。

当洞最终让它满意时，它就准备产卵了。开始分娩。它的外壳明显用力地起伏着，双眼迟钝地凝视着，似乎进入了恍惚状态。对它身下精心准备的巢穴，它已经做出了判断，温度、深度，还有与海洋的距离都很合适，它一个接一个地产下卵。这是它在进化史上存在的理由，是将它和母亲、祖母，直至古老白垩纪祖先联系起来的遗传物质，这种联系还以某种本质的方式触及了海龟的“表亲”，也就是我（人类）。它的呼吸变得强有力，在它努力产卵的时候，鼻孔里积聚了水分。跨越哺乳动物和爬行动物之间的鸿沟，我对这位母亲深表同情。在我们周围，在这个巨大的产房里，其他母亲正在抛沙或产卵。沙滩上潜伏着秃鹫和狗，它们正等待时机，要挖出新产的卵。

每只海龟大约会产100枚卵，在阿里巴达中诞生的1000多万枚卵中，通常只有大约0.2%得以孵化。在刚孵化的幼龟中，一般只有1%可以成年。这一部分是因为阿里巴达本身，这个现象可以持续大约五个晚上。如此多的海龟在相对较小的海滩上产卵，这意味着后面的海龟会挖出并破坏前一晚诞生的海龟卵，这可能造成细菌感染，从而毁坏两窝卵。而且，孵育期至少45天，但是阿里巴达通常每隔一个月出现一次，

所以一只筑巢的海龟也可能挖出并毁掉先前海龟产的卵。

秃鹫已经开始享用散落的龟卵残骸。它们不能从巢中挖出海龟卵，但是狗可以，有人的地方就会有狗。这里的狗对即将到来的海龟以及它们的卵和幼龟都是一种威胁。杰罗发出嘘声把它们赶走，但很快它们就又回来了。

他问我是否想进一步观看（海龟产卵），我点头表示同意。他小心翼翼地避开劳碌的龟尾，刷出一座沙桥，我往里看。巢中有一窝亮晶晶的白卵，每一枚有乒乓球大小。海龟的肉质产卵器从尾巴后面垂下来，我在观察中不禁为之着迷。它又产下了一枚珍贵的卵，接着喷射出一股透明黏稠的保护液，覆盖在可渗透的卵上。我们又看着它产下了几枚卵，然后杰罗将沙子封回原处，我们就坐了下来。

海龟巧妙地适应了环境。这些幸存者自三叠纪以来几乎没有发生变化，它们可以在野外生存一个多世纪，一直繁殖至进入老年。但是，在人类世（Anthropocene），在这个以人类为主导的时代，它们可能面临一百多万年来最严峻的挑战。开发活动、庞大的人口数量，还有同样众多的家犬扰乱了它们筑巢的海滩。单是灯光就引发了问题，这使依赖月光导航的海龟和幼龟晕头转向。它们因船只撞击和渔网缠绕而死亡或受伤，或者因误食塑料和其他污染物而死亡。过度捕捞和珊瑚礁被毁正威胁着它们的食物供应。气候变化也对它们造成了影响——海平面上升和相应的海滩侵蚀缩小了可用于筑巢的区域，一些海滩已经变得无法使用，而温度升高正造成令人担忧的性别变化。海龟的性别取决于孵化卵的温度。较温暖的卵会发育成雌性，较凉的卵发育成雄性。生物学家报告说，全球变暖已经导致许多爬行动物的性别失衡，这对海龟的交配和生存造成了令人担忧的后果。上个月，这里异乎寻常地没有出现阿里巴达现象，缺乏可交配的雄性是疑似原因之一。

不过，到目前为止，对海龟威胁最大的是偷猎。世界各地都有人在海滩上宰杀正在筑巢的雌性榄龟，以获取它们的肉、皮和壳，海龟卵也被当作稀有的美味售卖。过去20年，仅仅一代人的时间就让全球种群数量减少了1/3。每年野生动植物的全球非法贸易额超过120亿英镑，这会威胁政府的稳定和人类健康，因为大约70%的人畜共患传染病例由此而来。非法野生动植物交易往往有组织严密的犯罪网络，这类网络会破坏政府对其他非法贸易（如武器和毒品贩运）的清查工作，并为地区冲突提供资金。通过eBay等跨境电商进行非法交易的时候，商贩往往将商品描述模糊化，或者将野生动物谎称为人工饲养的动物。



像杰罗这样的环保人士和政府管理员在阿里巴达期间会来这片海滩巡逻，但他们敌不过顽固的偷猎者。偷猎者在黑市上把卵作为壮阳药出售。在哥斯达黎加的加勒比海一侧，我看到有人公然在酒吧和咖啡馆里出售和食用海龟卵。那边海岸的莫因海滩（Moin beach）是濒临灭绝的棱皮龟的栖息地，那里的偷猎活动十分猖獗。万般无奈之下，年轻的环保人士（其中许多是志愿者）竞相前往筑巢地点，把海龟卵挖出，并在更安全的秘密地点重新掩埋。偷猎者中有许多人也参与毒品犯罪，而且使用暴力手段威胁和攻击环保主义者。2013年5月，一名年轻的环保主义者杰罗·莫拉（Jairo Mora）在收集海龟卵时被偷猎者绑架并杀害，没有人因此被判入狱。为保护哥斯达黎加及其他地区的野生动物而惨遭杀害的环保主义者越来越多，莫拉只是其中之一。2015年，全球共有185名环保人士在保护自然资源时遇害。这种死亡事件中，只有一小部分施害者会被定罪。

“当你晚上独自一人在这儿的时候，会担心自己的安全吗？”我问杰罗。“不，加勒比海（和别处）不同。”他说。接着他又承认：“有时候会。”自莫拉被杀之后，大多数环保人士都十分害怕，不再敢去巡查莫因海滩，有报道称偷猎行为仍在继续，而且无人抗议。然而，像杰罗这样的人看重保护野生动物，他们认为这是值得冒着生命危险去做的事情。

现在天已经完全亮了，快到早上6点了。杰罗累了，但带着笑容。曾经只有我们两人的海滩即将有人入侵。“我们的”海龟已经产完了卵——它用沙子小心地将它们盖好，笨拙地爬到岸边，与其他海龟妈妈一起返回海洋，每一位母亲都在物种延续中发挥着作用。看到满沙滩的海龟，并在夜晚过去、白昼来临时，目睹母亲为分娩下一代默默努力，我对这个美丽的地方有了不可思议的主人翁意识。在海滩接近村庄的一端，我看到一支约40人的队伍过来了，他们的手里拿着大大的米袋和篮子。

我们人类一直在利用环境资源来获取食物、能源，并满足所有其他需求。我们很擅长这个，这使我们成为非常成功的物种，我们比以往任何时候都更长寿、更舒服，因此我们现在主宰着地球。过去，我们的活动会导致局部的生物灭绝，而现在我们有70多亿人，我们的行为是工业化的、全球性的，这威胁着我们所依赖的资源。我们是否只能顺应自然界随处可见的本能，不断繁殖，直到环境崩溃，物种毁灭？我们是不是第一个能够控制自己的物种？我们能否调节本能，限制我们对自然界

的掠夺，让未来的环境一直具有可居住性？

在过去的几十年里，这里的社区一直在进行一项独特的尝试。这是一个有争议的环境保护尝试，旨在不破坏海龟种群可持续的同时造福当地的贫困村庄。奥斯迪欧娜是世界上唯一一个可以合法收集榄龟卵的地方。

玛莲娜·维加（Malena Vega）朝我走过来，她圆圆的脸上绽开了温暖的微笑。我们已经在电话里谈过几次，她很友好地提议我参加今天的活动。她抬头看着杰罗，杰罗确认海滩上有一千多只海龟在筑巢，这是合法收集海龟卵所需的最低数量。杰罗友好地挥了挥手，到研究站小憩去了，之后就是晚上的工作，这时喇叭声响起，大家要开始收集海龟卵了。

在20世纪80年代后期，村里的代表找到了研究阿里巴达的生物学家，询问是否可以采取措施，使海龟卵收集在可持续参数范围内合法化。他们担心村里突然到来的大量偷猎者偷窃海龟卵并恐吓当地人。他们与政府制订了一项计划，并设立了由妇女运作的奥斯迪欧娜自治开发协会，允许某些家庭在阿里巴达的前三个早晨收集数量有限的海龟卵。（无论如何，总会有一些海龟卵被后面的筑巢者所破坏，并且研究人员计算发现，移除早期的海龟卵后，孵化率会提高5%。）作为协议的一部分，该协会清理海滩，保护海龟和它们的卵免受偷猎者的影响，管理在阿里巴达时大量涌入奥斯迪欧娜的游客。收集的卵可以得到销售许可，售价与鸡蛋相同，这是为了阻止黑市交易，收入用于社区项目。

在我的周围，当地的男男女女在沙滩上跳起了塔兰泰拉（Tarantella）——他们通过用赤脚轻轻踩踏的方式寻找巢穴。每个人身上都有海龟图案，有的人戴着海龟项链，有的人穿着印着海龟的T恤。他们一个接一个地停下来挖洞。现在海滩上只有很少的海龟，下一拨海龟直到夜幕降临才会上岸。玛莲娜蹲在我旁边，她的双手在沙子里有节奏地移动，以发现下面密集的龟卵。这里正是我刚才观察过的那只海龟的巢穴，我见证了它筑巢、产卵、掩盖的全过程——意识到这一点，我的心像石头一样掉到了肚子里。

“过来——”玛莲娜叫起来。我走过去，她抓住我的手，把它推进洞里。“你能摸到吗？”她问道。我翻找了一会儿，但仅摸到了沙子，不禁泄了一口气。玛莲娜自己把手伸进去，熟练地取出了几枚卵，放在她的口袋里。“再试试。”她跟我说。

这一次，我依照玛莲娜的角度把手伸进去，摸到了海龟卵。我拿出来一枚，玛莲娜为我喝彩。她分几次把手伸入洞中，取出了成捧的海龟卵，放进口袋。她清空了巢穴，把沙子重新覆盖好，然后移动到几米远的地方，开始挖另一个巢穴。我坐着，手里拿着我找到的那枚卵。它柔软、温暖，有着革质的手感，被手握住的地方凹陷了下去。我成了噩梦中的小偷，母亲离开后，我把育儿室洗劫一空。这与我所接受的对环境负责的文化截然相反——偷卵已经够糟糕了，而偷走受保护物种的卵更是不可原谅。

玛莲娜大声说：“你可以就这样生吃。”随后她演示了一番：撕开蛋壳，将“内容”抛到嘴里。在我周围，短短的时间内，人们的口袋都已经装满了海龟卵。这里的黑沙滩已经很热了，大家都想回到村里的阴凉处。我帮玛莲娜系好她的口袋，我们一起吃力地越过沙滩走向她的家。途中我们频繁地停下——没想到海龟卵竟然这么重。玛莲娜是开发协会的会长，她告诉我，这个项目改变了社区。奥斯迪欧娜是一个贫穷的小村庄，夹在两条河流之间，在山脉和海洋旁边。在雨季，当河流泛滥时，村庄与外界的联系完全被切断，村民必须靠储存的食物生存。许多人抛下奥斯迪欧娜去了城市，那里有工作。她说，现在海龟卵的交易许可给人们提供了最低生活保障，村里的培训、生育保险和养老金也有了资金支持。人们正在返回村里，在这里谋生。“海龟是我们的命根子，”她说，“我们爱它们。它们在这里对我们来说意味着一切。”

“但这难道不是简单地将你之前的偷猎合法化吗？”我问她。“以前，这是一个危险的地方，”玛莲娜说，“海滩很脏，到处都是偷猎者。警察来了还有枪战。我的祖母就被误射，去世了。在那之后，大家就说：不能再这样了！这是我们的村庄，这些是我们的海龟。”这位女士现在已经是一位祖母了，她坚定的决心，还有她和其他女村民取得的成就深深地打动了她。

我们现在比以往任何时候都更需要世界资源，这是为了发展贫穷国家的经济，支持我们不断增长的人口。但我们需要找到一种可持续的方式。玛莲娜和她的邻居们在奥斯迪欧娜进行的尝试，也正应用于雨林中的木材和海洋中的鱼类。现在判断我们是否真的能够将这些濒危资源的开采限制在可持续的水平还为时过早。但早期迹象表明，如果把生活在这些脆弱环境中的社区的长期需求考虑在内，生态系统就能得到更好的管理，或许这样唤起了我们人类独特的利他主义倾向，让我们关心其他物种，同时照顾家庭环境。

我们现在已经到了玛莲娜的家，这是一栋简单的木结构住宅，用嵌板隔开，她与女儿、孙女和几只鸡住在那里。“你一定要尝尝玉米饼。”她笑着列举玉米饼对健康的益处。当她在炉子上加热平底锅、切碎香菜和洋葱、烹饪刚刚收集到的海龟卵时，我认真思考了我们赋予生物的价值是多么奇怪和随意，由此而来的结果是致命的。许多环保人士认为，由于保护了海龟卵的市场，这里的合法收集会促成对杰罗·莫拉的谋杀。然而，我却看到海龟卵市场对奥斯迪欧娜经济的重要性如何给予海龟更多的保护。

在人类主导的新时代，我们不能再让自然世界在我们的冲击下自生自灭——那样的话，只有杂草才能生存。如果我们想看到野生动物，就必须积极地保护它们。在全球范围内，海龟对我们来说几乎没有什么实际用处。然而，我不想生活在不再有海龟的世界里。当我们试图在人类需求和自然界诉求之间寻找出路时，奥斯迪欧娜告诉我们，这不是一个非黑即白的问题。事实上，为了保护野生动物，我们必须保护人类的生命。

煎海龟卵真是美味。

# 气候变化

## CLIMATE CHANGE

文/达姆·朱莉娅·斯林戈 (Dame Julia Slingo)

### 沿革

气候变化将是21世纪的关键挑战之一。应对气候变化关乎我们未来的繁荣、健康和福祉，以及地球自然环境的永续利用。2015年，190多个国家同意采取行动，将地球表面温度的升高限制在2℃以下，如果可能的话，最好不超过1.5℃。未来几代人很可能会将2015年视为人类努力使政策与科学相符合的一个转折点。不过，我们应该如何理解这一切？气候变化的巨大挑战对我们的生活方式和安身之处又意味着什么呢？

让我们从这两个词说起：气候和变化。气候一词描述的是风、温度和降雨等（我们认为是）稳定因素的长期平均值，在这里，长期通常指超过30年或更长的时间。这是我们每年、每季都能预知的情况。许多社会和经济体很好地适应了当地目前的气候状况，印度就是一个例子。季风雨的定期回归对水、粮食和能源安全至关重要，季风的延迟或爽约都可能对国家经济产生巨大影响。有一则众所周知的谚语——有人说这是马克·吐温说的，但这最有可能是英国地理学家、牛津大学教授安德鲁·约翰·赫伯特森 (Andrew John Herbertson) 说的——“气候是期待，天气是结果”。因此，考虑气候时，我们还需要考虑构成气候的天气范围，特别是较极端天气发生的频率以及可能造成的影响。事实上，我们认为气候变化对人类造成的最深刻的影响恰恰关乎极端天气，包括风暴、洪水、野火、风暴潮和热浪。

变化意味着与常规不同，但是我们该如何定义常规呢？我们的天气和气候在数小时到数十年的各种时间尺度上不断地变化，这种变化是定义气候的一个要素。还有一种界定方法：当气候超出现代文明已经习惯的范围时，我们就认为气候变化了。事实上，科学家正是依据这一点得出了气候变化的明确结论。

然而，回顾历史，我们会发现地球的气候显然总是在变化的，地球经历过冰河期的开始和结束，也经历过升温，二氧化碳比遥远的过去多得多。那么我们现在为什么要烦恼呢？

有三点将当前的气候变化与过去的变化区分开来。第一点在于变化的根源。今天，我们的气候正在发生变化，是因为大气中温室气体，特别是二氧化碳的浓度正在上升，而且上升得很快。我们正在把数百万年来以煤、石油和天然气的形式结合在一起的古老的碳元素，在短短几十年的时间内通过燃烧释放到大气中，以满足我们对能源贪得无厌的需求，并支持工业和现代生活方式。我们试图调整地球生物圈吸收碳元素的方式，帮助改善过度伐木和海洋酸化导致的碳排放超标。二氧化碳是一种温室气体，它反常而迅速的增加正引起地球温度上升，这会严重影响天气和自然环境，引发更极端的热浪、干旱和洪水，导致海冰和冰川消融。回顾过去的气候变化时，我们会发现，地球公转轨道的缓慢变化才是关键。这些变化最初影响大气温度，接着通过大气中二氧化碳含量和自然生态系统之间的关联施加影响。因此，过去的变化是由迥然不同的驱动因素引起的，虽然我们可以从中学到一些东西，但那与我们今天所经历的气候变化没有可比性。

第二点在于气候变化的速度。现在，地球的二氧化碳水平比100多年前高出30%以上，事实上这比至少80万年以来的任何时候都高出30%以上。地球表面的平均温度在过去的一个世纪已经上升了1℃，在2050年将升高2℃，如果我们不严肃对待，情况会更糟。这些数字可能听起来很小，但我们应该记得，上一次冰河时期的地球温度变化仅为5℃！通过快速释放古代的碳，我们实际上切断了生态系统针对气候变化进行调节的自然反馈循环。我们可以看到，这已经导致一些物种丧失栖息地，还有一些物种的周期性习性和季节变化有关，因此也受到了极大的影响。对许多植物和动物而言，气候变化太快，它们来不及迁移或适应。在未来几十年，这可能对许多自然生态系统的可持续性产生深远的影响。与此同时，我们正在对古老地层中的含水层进行掠夺，我们从主要河流中不断抽取水资源，甚至没有多少水能流入海洋。换句话说，我们正在打乱对地球至关重要的水循环和碳循环，让地球的命运陷入未知。

第三点关乎人口规模。地球的人口正在递增，城市正在迅速发展，通常沿着海岸线进行扩展。我们的世界纵横交错，日益复杂，我们依赖全球电信、高效运输系统，以及食物、能源和水的弹性供应。这些本来

就容易受到恶劣天气和气候条件的影响，气候变化带来的额外压力造成了一系列新情况，让我们的未来安全面临挑战。世界气候变化对我们的生计、财产、福祉和繁荣造成了巨大的直接和间接影响。

是的，我们完全有理由忧虑，却几乎没有时间采取行动。早在1990年，英国前首相玛格丽特·撒切尔就认识到了气候变化带来的威胁：

我们现在可以说，鉴定报告已经有了，它指出了问题，我们需要立即开始纠正……如果收到预警，却不采取任何措施，或抱定这种态度：“就这样吧！我也活不了那么久！”那么我们的后代将面临巨大风险。问题不在将来，问题就在此时此刻。受影响的是我们的下一代，他们正在成长。

在过去的25年里，越来越重要的科学证据和其他一切都证明了问题的紧迫性，但我们仍然在拿未来冒险。

## 已知和未知

自前工业时代以来，地球的气温已经上升了约1℃。自1979年有相关记录以来，北极的夏季海冰面积已减少约40%。自20世纪90年代初以来，海平面每年上升约3毫米。自1850年以来，以30年为单位统计的地球表面温度数据持续升高。我们比以往任何时候都更有把握，那就是，20世纪50年代以来，人类已经成为气温上升的“主要原因”（出自联合国政府间气候变化专门委员会2013年第五次评估报告）。

虽然我们经常谈到未来气候预测的不确定性，但有一些事情我们可以确定的。我们知道地球将会继续变暖，我们知道，随着气温升得更高，气候变化的不利影响会不成比例地增大，出现不可逆转的灾难性变化的风险会增加。我们知道，在我们稳定了地球表面温度很久之后，海平面还会继续上升，冰盖和冰川会继续融化。

我们也知道，无论未来的碳排放情况如何，大气中既有的碳积累都会导致某种程度的气候变化。这意味着，无论如何，我们多多少少都要适应变化。洪水防御、海岸防御等情形要求的投资规模，失败的风险，以及基础设施的使用周期和交付周期，这一切加在一起，意味着将来的投资可能对未来20~30年的气候变化高度敏感。我们现在就要计划如何使城乡生活不受气候影响，并保护自然环境。



地球的气候非常复杂。观察和模拟可以让我们了解导致气候演变的各种相互作用。我们认识到，海洋吸收热量的能力极强，这对未来几十年气候变化的全球和区域表现至关重要。我们知道，陆地生物圈（植物和土壤）对气候变暖和降雨模式变化的反应很可能会减少有效的碳汇，放大人类造成的温室效应。简单的物理学原理告诉我们，温暖的空气含有更多的水，因此气候变化将导致更多的极端降雨和洪水事件。我们还应该清醒地认识到，虽然科学在进步，但是气候系统中几乎没有什么能抑制温室气体排放造成的影响。我们知道得越多，我们面临的现实就越令人不安，情况可能比我们之前想象的更具挑战性。

谈到针对不可逆的危险气候变化评估风险，值得一提的是，近年来我们在建立新一代气候模型方面取得了显著进展，我们模拟的地球系统更加接近真实情况。这项研究非常重要，因为单凭观测我们无法知道地球在未来会如何演变，我们甚至无法知道地球曾经经历过什么。应对气候变化的关键决策非常需要这些信息。

到了2015年，百年之内的地球表面温度升高幅度超过了1℃的阈值，这是《巴黎协定》设定的2℃上限的一半。如果不突破这个上限，那么我们本世纪能够使用的碳预算只剩下1/3。而新的科学证据告诉我们，这已经是非常乐观的数字了。永久冻土融化的影响，以及生物圈在化解碳排放问题上的局限表明，我们的余地比我们想象的更小。因此，如果我们想赢得地球的未来，明智的做法是采取谨慎的态度，因为最坏最危险的气候变化很有可能出现，这显然令人不安。我们不应将缺乏确定性当作不作为的借口。

## 2050年的气候

从气候的角度看，2050年并不遥远，我们可以较为准确地描绘那时的气候图景。我不会详尽地探究事实和数据，但我会试着描述，如果我们不设法大幅度减少排放，那么我们的世界可能面临什么样的恶果。例如，我们知道世界上最贫穷的人将会感受到最严重的影响，他们已经承受了巨大的压力，而且手头没有什么资源可以帮助他们生存下来。

让我们快进到2050年。地球表面温度比一个世纪前高出了2℃，同一时期全球海平面又升高了30厘米。这时，北极夏季无冰，海洋温度也在大幅上升。海洋哺乳动物、鱼类和鸟类的数量正在发生变化，当地居民缺乏食物保障，处境日益艰难。沿海海冰减少、海平面上升，以及恶

劣天气的增加，迫使一些社区进行搬迁。北极对外开放，拥有了国际贸易的主要航海线，人们开始快速开发北极的自然资源。人类活动增加带来的新入侵物种正在改变自然生态系统。

在印度，季风前的高温严重影响着大部分人口，特别是北部平原地区人口。因为每日的降水强度增加，季风季节的洪水也越来越严重。随着海平面上升，生活在沿海低洼地区的居民在风暴潮期间会经历越来越频繁的海水入侵。饮用水遭到污染，农田遭到破坏，水源性疾病越发普遍。人们被迫迁移的问题日益严重。不过，从积极的一面来看，空气质量已大幅改善，受呼吸系统疾病影响的人较少。

在热带地区，主要城镇和城市的基础设施建设和维护变得更加困难，因为白天的温度经常超过户外安全工作的临界值。空调的电力需求给电力供应带来越来越大的压力。

由于海平面上升，一些小岛屿国家（例如太平洋中部的基里巴斯）已不再适宜居住，那里的人没有了国籍，前途不明。在另一些国家，珊瑚褪色变白，渔业发展不再具有可持续性，人们将面临食物短缺。作为这些经济体重要组成部分的旅游业已经消亡。

澳大利亚南部和包括中东在内的地中海地区，将长期处于干旱和极端暑热之中。森林大火变得越来越危险，这威胁着人们的房屋和城市环境，而且会破坏自然生态系统。由于蓄水层消耗殆尽，用水安全问题正变得越来越严重。

在英国和北欧，极端温度情况增多，降雨量增多，天气越来越反复无常。当地人对防洪工作加大投入，并学会了如何管理环境，减轻气候变化带来的一些不利影响。夏季热浪变得越来越普遍。气温上升导致积雪减少，适合滑雪的冬季变得越来越短。但是，作物的生长季节变长了，这为粮食生产和旅游业的多样化提供了机会。

展望2050年的气候图景之后，我们应该清醒地认识到，气候变化将成为塑造未来社会和经济的决定因素。我们应该成为自然生态系统多样性的守护者。在一切地球自然资源之中，水很可能成为最珍贵的商品。地区降雨模式的变化，上述变化对可用水和水质的影响，以及跨国界河流和含水层的法律归属问题，都将是未来几十年的焦点。

到目前为止，关于气候变化的争论主要受制于气候预测的不确定性

和处理该问题的经济后果。气候变化将日益成为一个道德问题。显然，世界上最贫穷的人受到的影响将最为严重，气候变化有可能使他们的社会经济发展脱轨。正如联合国人权事务副高级专员弗拉维亚·潘西里（Flavia Pansieri）在2015年指出的：“人为引发的气候变化破坏的不仅是我们共同的生态系统，还有我们的健康权，我们获得食物、水、卫生设施、舒适住房的权利，以及小岛屿国家和沿海社区人民的自决权。”展望未来，保护基本人权方面的考虑，以及发达国家在支持发展中国家时的作用，可能从根本上改变我们关于应对气候变化的争论。

## 我们的选择

2015年是一个里程碑：世界各国不仅签署了《巴黎协定》，还在《仙台减灾框架》上签了字，承诺共同努力，大幅度减少灾害风险，让人们避免由此而来的生命、生活质量和健康损失，各国一致同意联合国可持续发展目标，立志终结贫困和饥饿，改善医疗和教育，使城市更具可持续性，同时保护海洋和森林。应对气候变化对实现每个目标都至关重要。

如果不承认我们的生活方式必须改变，我们就无法应对全球变暖。我们需要改变生产、储存和使用能源的方式，学会应对更多的极端天气和气候。其中一个关键是做好准备。天气和气候预报的持续发展有助于我们提高适应性，有了准确的预警，我们就能预先做好准备。我们的行动和对自然环境的反应越来越多地影响着环境以及我们感受到的天气和气候危害。为此，我们需要在环境风险的端到端评估方面取得重大进展——从最初的灾害（如洪水）到实现风险最小化的具体行动（例如实施排水新方案或种植树木），再到成本效益比的评估。这需要将天气和气候模拟与先进的建筑环境和生态系统建模相结合，而且我们还要更深入地了解人类动力学以及金融和社会经济因素的建模新方法。

虽然缓解气候变化的重点在于减少二氧化碳的排放，但大气中还有其他污染物（例如碳黑和含硫酸烟雾），减少这些污染物的排放可以改善空气质量，从而保护人类、植物和动物的健康。中国就是一个很好的例子。治理糟糕的空气质量是中国当前转向低碳经济的主要动力。但是这里也存在风险：清除目前能够冷却地球的大气污染物也可能导致世界某些地区近期加速变暖，并对区域气候变化产生不利影响。因此，通过减排缓解气候变化涉及很多复杂的过程，从最新的地球系统科学到社会经济评估，我们需要综合各方面，得到最合适的方案。

减缓气候变化的另一个关键议题是地球工程的作用。这涉及通过太阳辐射管理或直接从大气中去除二氧化碳，这意味着对地球自然系统进行大规模人为干预。日渐明显的是，为了实现《巴黎协定》设定的温度目标，我们可能需要使用具有碳捕获和储存功能的生物能源（Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS），从大气中大规模地去除碳。（尽管美国总统唐纳德·特朗普于2017年6月宣布美国将退出《巴黎协定》，但在撰写本文时，美国的立场仍不明确。）<sup>[5]</sup>这些技术必须在全球范围内实施，才能对大气中的二氧化碳水平产生显著影响。

对太阳辐射管理——比如用微粒改造云使其更具反射性，或将气溶胶注入平流层，从而将更多的太阳辐射反射回太空——我们还需要正确认识其潜在的影响。我们不仅要考虑全球地表温度，还应考虑区域气候，以及用水和粮食安全受到的牵连。我们对这些还不够了解，我们需要参照为温室气体排放的区域影响投入的科研精力，对这些问题进一步研究。社会、法律和政治因素使这些技术备受关注，任何国家都可以在没有适当考虑其全球影响的情况下单方面采用这些技术，但国际治理机制仍然需要落实到位。

最后，无论通过哪种方法将适应（应对气候变化带来的影响）和缓解（把气候变化的水平降到最低）相结合，我们都应该让工程师和技术人员提出创新方案，解决几十年内清洁能源生产、储存和供应的问题，并尽可能减少对全球经济的破坏。与此同时，每个人都要保护自然环境，为子孙后代履行生命守护者的责任。这意味着我们当中那些有能力的人需要对生活方式和生活地区做出选择，同时还要支持那些没有选择的人。

## 小结

毫无疑问，气候变化将在未来深刻地影响我们所有人，但值得记住的是，不了解我们可能面临的问题时，我们不可以盲目前进。

计算机模型可以模拟地球的气候，使我们根据基本的物理原理预测天气和气候演变，这是过去50年来最伟大的科学成就之一。现在，谈到气候预测，我们可以满怀信心地展望未来，这种信心在其他科学领域并不多见。

比格尔号船长、海军中将罗伯特·菲茨罗伊（Robert Fitzroy）说的话

值得我们深思。他曾带领查尔斯·达尔文（Charles Darwin）踏上极其重要的旅程，他也是英国气象局的创始人，而且发布了第一份公共天气预报。在1859年一场可怕的风暴中遗失了皇家特许状后，他写信给《泰晤士报》，信中写道：“人类仍然不能平息肆虐的大风，但可以进行预测。人类无法缓和风暴，但可以避开风暴的猛烈侵袭，正确使用所有可用于（海难）救生的设备，可以极大地减轻这些可怕的灾难带来的影响。”

早在150多年前，菲茨罗伊就开始了漫长的预测工作，以此减少和应对恶劣天气影响，这些方法现在依然适用。从全球到地方，从数小时到数十年，我们对天气和气候的认识，以及我们所做的预测，使我们能够规划未来，并有助于保障我们的安全。

不过，让我们把结语留给在英国出生的宇航员、气候科学家皮尔斯·塞勒斯（Piers Sellers），他在2016年12月死于胰腺癌。去世一年前，接受诊断后，他撰写了一篇感人的文章发表在《纽约时报》上，阐述了他对气候变化的看法：

新技术一直在以我们无法预料的方式改善着我们的生活。如果认真应对各种挑战和风险，没有令人信服的证据表明我们不断变化的未来会比现在更糟。历史上，我们人类走出困境的例子不胜枚举。成功者往往是现实、务实和灵活的，失败者却往往否认威胁的存在……

作为一名字航员，我在地球上空354千米的地方进行了太空行走。在国际空间站旁飘浮着，看飓风在海洋上翻滚，亚马孙河穿过一片翠绿色的森林，蜿蜒流向大海，巨大的夜间雷暴在赤道附近闪耀，照亮方圆数百千米。从这里俯视，我能感觉到地球是多么脆弱和珍贵。我对地球的未来充满了希望。

## 第二部分 我们的未来

THE FUTURE OF US

未来医疗/基因组和遗传工程/合成生物学/超人类主义

# 未来医疗

## THE FUTURE OF MEDICINE

文/亚当·库哈尔斯基 (Adam Kucharski)

2016年4月26日，美国宾夕法尼亚州发现用显微镜才能看到的新威胁。就在举国关注当天在该州举行的总统初选时，一名有细菌感染症状的妇女来到一家诊所。医生取了她的尿样，测试显示大肠杆菌是罪魁祸首。但是当分离物被送去进行进一步检测时，结果证明这种大肠杆菌并非普通菌株。

带着对药物抗性的担忧，当地实验室立即开始测试样品对一种名为黏菌素的抗生素的抗性。黏菌素发现于1949年，是一种所谓的“不得已的药物”。它会对人的肾脏造成损害，医生并不常开这种抗生素，它只用于应对伤害较小的抗生素不管用的情形。这就是宾夕法尼亚州这个样品不寻常的原因：它含有一种基因，可以使细菌对黏菌素产生抗性。虽然卫生机构已经在世界其他地方发现了该基因，但这是它首次在美国被发现。幸运的是，宾夕法尼亚州的样本对所有抗生素都没有表现出抗性，但它证明了传染病正在瓦解我们的防线。当时的美国疾病控制和预防中心主任汤姆·弗里登 (Tom Frieden) 说：“这基本上是在告诉我们，这种治疗方法离终结不是很远了。”

50年前，这话听起来还很荒谬。20世纪60年代是乐观的时代。像青霉素这样的抗生素已经被广泛而有效地使用了将近10年。艾伯特·萨宾 (Albert Sabin) 研制出一种脊髓灰质炎疫苗，可以和方糖一起服用。结核病等疾病终于可以治愈了。1967年，美国公共卫生部部长威廉·斯图尔特 (William Stewart) 甚至声称：“（人类）对抗传染病的斗争已经胜利了。”

然而，这场斗争直到今天也没有结束。人们紧锣密鼓地进行疫苗接种，脊髓灰质炎却一直没能根除。耐药性“超级病菌”使青霉素失效，结核病再次成为致命的疾病。与此同时，新流行病——也许是流感，也许是其他传染病——像幽灵一样不断作祟，人口老龄化又带来更多的健康

挑战。不过，我们也看到了医学非凡的进展——从遗传学和个性化治疗，到再生医学和远程手术。医学进展把我们带到了什么地方？我们应该乐观还是悲观？医学的未来会是什么样子？

## 下一次流行病暴发

医学界常常发生出人意料的事情。威廉·奥斯勒爵士（Sir William Osler）在20世纪初就提倡进行现代医学培训，他曾将自己的领域称为“概率艺术和不确定科学”。就拿传染病来说，在有生之年，我们极有可能赶上下一次病毒大流行。至于具体是哪种病毒，在什么地方、什么时候流行，我们只能据理推测。

1919年，奥斯勒本人死于臭名昭著的“西班牙流感”，这次流感造成的死亡人数超过了第一次世界大战期间的死亡总人数。21世纪已经出现了几次新的病毒威胁，包括2003年的SARS、2009年的甲型H1N1流感（俗称“猪流感”）和2014年的埃博拉病毒。这三种病毒都会引发重大疾病，但它们具有对我们有利的生物学特征。SARS或埃博拉病毒的患者在有传染性时通常会表现出症状，这意味着卫生机构可以找到他们最近接触过的人并进行隔离，使疫情得到控制。用这种方式追踪流感要困难得多，但幸运的是，2009年的流感毒株远不及1919年毁灭性的变种那么致命。

这种运气很重要，因为在新的疫情暴发期间，我们常常缺乏有效的药物和疫苗。这是一个时间跨度的问题：相关研究工作往往需要数年或数十年才能得出成果，而流行病可能只持续数月。因此，我们至今仍然没有有效的SARS疫苗，而猪流感疫苗在2009年年末才出现，这时疫情高峰期已经过去。不过，情况正在发生变化。在2014—2015年埃博拉疫情显现期间，研究人员加快了疫苗的研发。在不到一年的时间里，由世界卫生组织领导的一项临床试验确定了一种高效的埃博拉疫苗。研究成果按计划会在下一步出现新的感染时推出。这意味着我们拥有了经过初步安全测试的药物和疫苗储备，以及能够在疫情暴发的艰苦条件下立刻开展临床试验的研究团队。2017年，部分政府和生物医学基金会发起了流行病预防创新联合会（Coalition for Epidemic Preparedness Innovations），以帮助解决这一问题。此举的目的在于投入10亿美元的资金用于疫苗研发，最初集中攻破三种传染病：中东呼吸综合征、拉沙热和尼帕病毒。所有这些病毒已经从被感染的动物蔓延到了人群中，但尚未造成可怕的大规模疫情。



即使我们已经准备好疫苗，只等接受新疾病威胁的检验，我们也必须在疾病发作时认出它才行。在控制流行病方面，我们未来的成败很大程度上取决于我们如何收集和分析数据。例如，除了检测传染病之外，我们现在还可以收集和比较患者身上的病毒或细菌的基因组序列。在2014年埃博拉疫情暴发之初，这个过程用了数周时间，最后，现场团队可以在数小时内用记忆棒大小的设备对病毒进行测序。从埃博拉病毒到流感病毒，未来的人很可能对每种传染病都进行常规测序，以了解不同的病原体是如何传播和演变的。如果我们想要追踪使现有药物或疫苗变成冗余的突变，这一点将尤为重要。

未来几十年，耐药性感染话题可能会占据医学界的头条。人类和养殖动物过度使用抗生素会导致细菌感染无法治疗，将来有一天，剖腹产和髋关节手术等常见的手术可能变得非常危险。这不仅仅是能否开发更多药物的问题。目前市场上最新的抗生素是在1987年被发现的。抗生素价格昂贵，研发难度大，不过大多数患者只需要服用一到两周，这意味着医药公司将日益把研究重点放在其他药物上。因此，想要应对抗生素的耐药性，我们需要更好地管理现有的治疗方法，这意味着改变人们的态度和行为。但这些东西研究起来很棘手。是什么影响了人们对健康的看法？人们的行为如何影响患病的风险？怎么能说服人们改变治疗方法？解决这些问题需要综合应用生物学以及社会科学。

更好地认识人的行为对于应对其他类型的传染病也很重要。例如，减少危险行为可能有助于控制西非的埃博拉病毒。许多感染源于家庭活动和葬礼，当人们改变这种行为时，疾病传播常常会减少。但是，我们仍然不完全了解这些变化如何以及何时在西非发生，以及这对未来有多重要。

卫生研究人员越来越多地研究人们如何在世界各地迁徙和交往。他们通过问卷调查、手机数据和卫星图像来进行这项工作。不久，这些数据就可以与其他信息联系起来，从基因组序列到环境分析，让我们全面研究各种规模的传染病。我们不仅要关注疾病的生物学特征和对特定人群的影响，同时也要分析传染病及其演化和环境，还有人类患者的行为。这样，卫生机构就能针对不同的人群和地区制定疾病控制策略，在一个人的感染史可能影响未来疾病风险的情况下，这尤为重要。登革热就是一个很好的例子：如果一个人曾经暴露于一种登革热病毒株，那么他的第二次感染会更加严重。正因如此，2016年由世界卫生组织协调的一项研究建议登革热疫苗接种活动考虑人群的感染史。目前，这项研究

需要采集大量的血液样本，并进行耗时很长的实验室检测。然而，新的血液检测技术已经使得识别以前在人群中传播的病原体变得更容易，成本也更低廉。随着可用的数据变得更多，这些定制方法最终将成为每个国家应对每种疾病的标准。

## 定制医学

个性化方法也将在其他医学领域变得较常见。2015年，美国总统巴拉克·奥巴马（Barack Obama）正式推出了精准医疗计划，目的就是根据患者的遗传特征、环境和生活方式制定治疗方法，而不是采用一刀切的方法。这是医学的一个大趋势，其方法越来越关注患者个体及其病情。尽管输血等过程已经在一定程度上考虑了个体差异，但更加明确的方法将使用基因组测序和其他新测试，让某些治疗方法对个体的影响更加容易预测。例如，一些抗癌药物仅对具有特定遗传特征的肿瘤有效。与之类似，一种名为依伐卡托的囊性纤维化药物只对大约5%有特定基因突变的患者有效。

精确的方法将使医药不再如此被动，并且更具前瞻性。详细的数据可以帮助我们在疾病成为问题之前降低风险，而不是等到疾病出现再进行治疗。基因检测已经使预测遗传性疾病成为可能，但这些疾病通常聚焦于一种有害的突变，如BRCA1基因突变。如果女性携带BRCA1基因，那就意味着她一生中患乳腺癌的风险约为65%。在这种情况下，她可以通过抢先进行手术降低风险。正是由于BRCA1突变，女演员安吉丽娜·朱莉（Angelina Jolie）在2013年向公众宣布决定切除双侧乳腺。

要检测的不仅仅是特定的基因，最后，针对整个基因组的监测也会变得更常见。这意味着相关数据的增多。美国冷泉港实验室（Cold Spring Harbor Laboratory）的研究人员估计，到2025年，人类基因组数据需要的计算机存储空间将超越油管 and 推特。然而，基因组测序的成本并未包含复杂数据分析的操作成本。在一些情况下，单个基因与特定疾病之间的关联（如BRCA1和乳腺癌）已经在大量的临床医学研究中得到了证实。

理想情况下，我们期望所有疾病都遵循如下一套简单的规则——基因B中的突变A引起疾病C。遗憾的是，如果多个基因与一种疾病有关，或者这种疾病很少见，那么评估风险就会难得多。这可能使选定预防性治疗方法变得更困难。

为了说明医学检验结果（无论是遗传检验结果还是其他结果）有多难解读，我们假设有一种每100万人中有500人会患上的疾病。有一种针对这种疾病的检测方法，准确率为99%。如果你参加了这个测试并且结果呈阳性，那么，你患上这种疾病的概率是多少？值得注意的是，答案仅为5%。这是因为对100万人进行测试时，我们预计495人将呈阳性并且患上这种疾病（测试只有99%的准确度，所以患病的不是全部500人）。与此同时，其他999500人中有1%（9995人）不会得该病，但将被错误地检测为阳性。因此，测试结果呈阳性的总人数将为495 + 9995。其中，只有495人（5%）实际上值得为此烦恼。

请记住，这里假定测试准确率为99%，这已经是很高的准确率了。如果测试的可靠性差一点，那么事情会变得更难以解释。这就是为什么诊断通常还涉及其他因素，如家族病史。目前，面临此类问题的人可以从遗传咨询师那里获得信息，专业人士可以解释这些风险是什么、意味着什么。咨询师通常提供信息，而不提供建议。然而，随着基因检测变得越来越普遍，选项可能变得更加复杂，做出选择也变得更加困难，特别是在可用的治疗措施有限的情况下。你想知道自己是否有患上无法治愈的疾病的风险？你如何处理非决定性测试结果的不确定性？

随着患者掌握的数据增多，做出决策的责任将逐渐远离医生。总有一天，我们会自己管理预计的健康风险。我们必须选择要使用的数据，以及如何根据这些数据行事。这意味着平衡潜在的利益，抵消误诊可能带来的危害。2016年，明尼苏达州梅奥医学中心（Mayo Clinic）的医生发表报告称，基因检测结果显示，一名男子和他的家人将面临危险的突变，之后，这名男子通过手术在皮下植入心脏除颤器。然而，当他们第二次前来征求医疗意见时，却发现测试结果被曲解了：实际上他没有面临重大疾病的风险。

对遗传测试结果感兴趣的不只是患者。在美国，由于2008年的《反遗传基因歧视法案》（*Genetic Information Nondiscrimination Act*），医疗保险公司目前不可以以基因突变为理由拒绝承保。但人寿保险公司的情况有所不同：有些人寿保险公司拒绝接待携带有BRCA1突变的申请人。如果法律跟不上预测医学的快速发展，那么遗传健康风险也会开始影响人们住房和就业等方面的权利。

随着我们对遗传疾病的了解不断深入，它也可能模糊我们对患者的定义。2015年，一名女士将伦敦圣乔治地区的英国国民医疗服务系统告上英国高等法院，因为该系统没有告知她，与她失和的父亲患有遗传病

亨廷顿病。医生曾建议她父亲在2009年确诊时将这一消息告知女儿，但他拒绝了。女儿当时已经怀孕，在2013年才发现自己患有此病。在这种情况下，医生是否应该向患者的家庭成员提供信息？这一次，法官得出的结论是，保密是恰当的。这是法院首次裁定医务人员是否应该向家庭成员披露遗传风险，不过，这类问题在未来很可能会越来越多地出现。

随着医学的焦点从急性疾病转为慢性疾病，家庭的重要性也将凸显。心脏病、糖尿病和肥胖等疾病长期以来一直是困扰富裕国家的问题，现在此类病例在低收入和中等收入地区也增多了。1975—2014年，全球男性肥胖率从3%左右上升到11%，女性肥胖率从6%左右上升到15%。具有讽刺意味的是，改善医疗条件也会导致慢性疾病增多，因为目前许多致命的疾病在未来会变得可以预防，或者易于控制。在未来几年，研究人员将找到减缓或控制阿尔茨海默病等退行性疾病的新方法。植入式设备将监控患者的情况，并相应地调整治疗方案。干细胞将帮助修复或替换受损的身体组织。近期，日本理化学研究所（RIKEN）的发育生物学团队宣布，他们已经在实验室成功培养出了小鼠皮肤，包括同腺体和毛囊。也许，此类研究的最终目的不是使用从身体其他部位取出的皮肤来治疗重度烧伤等损伤，而是让新皮肤的使用得到推广。与此同时，其他团队一直在研究如何用实验室培养的组织修复膀胱、角膜、卵巢、血管等器官。医疗保健服务的改善意味着我们能比以往任何时候都活得更长。在更先进的医疗条件下，延长寿命成为可能，社会需要做出调整，以应对提供这种长期护理的成本——包括经济成本和情感成本。

## 进一步互联互通的世界

社会结构也会以其他方式影响我们的健康状况。1970年，人口超过1000万的城市只有两个：东京和纽约。2017年即将到来的时候，这样的“超大城市”已经有37个了。许多生活在这些城市中的人都处于贫困状态，未来几年，情况可能会变得更糟。联合国估计，到2030年，可能有多达20亿人生活在贫民窟。埃博拉病毒和登革热等传染病容易在贫困和人口密集的环境中迅速蔓延，这可能打卫生机构一个措手不及。几十年来，人们并未将埃博拉病毒视为一种需要得到重视的健康威胁。它在中非造成过20多次小规模的血热暴发，主要发生在农村地区，但几乎没有人认为它可能会引起流行病。接着在2014年，同样的传染病袭击了西非的三个城市，情况迥然不同。我们可能很快发现其他在农村地区吃力地挣扎的类似病原体，到了建筑物林立的地区便迅速蔓延。

大城市也隐藏着其他健康风险。美国健康指标和评估研究所（US Institute for Health Metrics and Evaluation）牵头的研究表明，由于空气污染，全世界每年有超过550万人早逝。死者有一半以上来自中国和印度，这两个国家一共有12个特大城市。除了更大，城市也将变得更密集。每天有超过100000个航班从世界各地的机场起飞。正因如此，2009年流感病毒在几周内蔓延至全球，2015年年底在中国首次发现的大肠杆菌耐黏菌素菌株几个月后突然在宾夕法尼亚州出现。航空网络也在改变感染的路径，传统的世界地图呈现的是直线距离，这无法真正让我们看到世界各地是如何联系在一起的，也可能在传染病传播方面误导我们。一旦考虑飞行路线，一些城市可能会比最初看起来的距离更近（或更远）。

未来，医学知识也将更容易在全世界传播。在2016年叙利亚内战期间，英国和加拿大等地经验丰富的外科医生使用网络摄像头指导当地医护人员在战地进行手术。随着增强现实（Augmented Reality, AR）和机器人技术的改进，我们不久就可以远程进行更复杂的手术。全球数据共享也可以助力家庭治疗。患者可以用人工智能分诊软件讨论问题，如果需要的话，患者可以在不离开家的情况下进行身临其境的增强现实技术咨询，而不必设法预约面对面的会见。从核磁共振成像扫描到显微镜载玻片，使用在全球患者数据库中总结出来的模式识别软件进行诊断成为可能。医生可以通过即时比较患者的病情和大量类似病例来判断特定治疗方法的风险。当一种新的传染病病毒出现时——无论是埃博拉病毒还是大肠杆菌——卫生机构可以很快看出它与附近地区暴发的其他疾病的关系，从而确定如何控制它。

这又回到了我们应该对医学的未来乐观还是悲观的问题上。即使我们加强对当前疾病的预防，根除疟疾、脊髓灰质炎、麻疹等各种疾病，其他疾病也可能出现。即使是在遥远的将来，面对耐药细菌，或是我们不断变化的生活方式引起的慢性疾病，我们对人类健康的守护都是有限的。联通的世界也将面临新的健康威胁，以及由此而来的一系列生物、技术和社会挑战。然而，医学的全球化也将产生新的思路和方法，使我们能够直面甚至直接消灭其中一些挑战。互联和协作也终将拯救我们。

# 基因组和遗传工程

## GENOMICS AND GENETIC ENGINEERING

文/阿拉蒂尔·普拉萨德 (Aarathi Prasad)

生物学将成为未来100年中的主导学科.....

——弗里曼·戴森，1996年

遗传学是对DNA的研究——对我们称之为基因的DNA短片段，以及所有控制它们的物质的研究。基因是我们的遗传单位，是身体的编码文件。它们包含各种指令，即要执行的编码。侧翼基因则是其他编码文件，它们定义了基因应该何时表达以及表达的难易程度。大多数基因编码会被读取并翻译成蛋白质，蛋白质是我们组织和器官的基石。此外，这些编码还会翻译成激素、抗体和细胞中的运输系统，等等。通过这种方式，基因控制了关乎我们身体形态、健康和潜能的重要组成部分。

基因工程即我们所说的对基因的操纵。这种操纵有着悠久的历史。低技术含量的基因操纵（又名选择育种）已经将10000年前看起来像小穗花的玉米果穗变成了多汁的玉米棒，还把狼变成了哈巴狗。最近，我们已经通过实验创造出了可以制造药物的植物，并培育出了含有维生素A的水稻品种，这种维生素对我们的免疫系统和视力至关重要。我们仍然在操纵基因进行治疗、对抗感染，并创造新的能源和可持续食物来源。但是，我们现在的工作方法步入了一个崭新的先进技术领域，其潜力尚未得到充分的发掘。

基因组学是一门搜罗和绘制完整基因数据集的学科。这是一个由遗传学和分子生物学发展而来的信息收集领域，是涉及蛋白质和遗传物质（DNA和RNA）的科学。基因组学试图对人体细胞内生命分子的构成和机制进行编目。十多年前，人类首次读出了构成人类全部DNA序列的化学碱基。它们仅由四个字母A、C、T和G的不同组合表示，这就是我

们的基因组。我们所有的遗传物质由包含约20000个基因的30亿个字母拼写而成。按照普通出版物的字体大小，这些字母连续写成的序列可以从伦敦一直排到里约热内卢。

目前，纳入基因组研究的不仅有人类，还有其他四千多种生命，包括细菌和病毒，也包括黑猩猩、鸭嘴兽和日本重楼（其中一种的DNA按质量计比人类多50倍）。但是在这里，累积生命编码目录并不是最终的目的。以基因组学在医学中的应用为例，理想的路径似乎是这样的——第一，我们必须了解基因组的结构，并掌握使基因发挥作用的所有物质的编目；第二，我们必须努力了解和基因组有关的生物学知识，了解所有指令的意义，明确基因组的哪些部分是指令，哪些不是，不是指令的部分为何如此重要，以至于在进化过程中一直留在基因组中；第三，我们必须了解染色体的图景包含哪些疾病生物学知识，从而解决一些问题。例如，人类的DNA为何能防止或者诱发某些疾病？人类的DNA如何与可能有害的微生物相互作用？我们如何利用这些知识，开发出更智能的靶向药物，提高医疗保健效果？

在最近20年，我们才刚刚获得了解读基因组的基本能力，并开始认识基因操作规范。我们还没有识别人类基因组中所有可以发挥功能的部分，无论它们是否形成基因。（例如，我们DNA的某些部分仅用于确保基因组的稳定或组成正确。）这是遗传研究在未来的重要课题。不过，还有很多东西已经得到了解读。2004年，完整的人类基因组序列发布，第一种全基因组测试方法仅用了两年就上市了。2007—2014年，仅在美国就有50万消费者购买了家庭测试工具，以了解自身基因组中携带的信息。在全球范围内，这一领域的线上和线下销售市场都保持着一定的热度。在接下来的20年里，我们不仅将熟练地解读自己的基因组，还将更深入地挖掘已有记录的遗传信息。曾经受到匿名保护的基因信息越来越容易暴露——无论是好是坏。

而且，当我们不再简单地操纵已经存在于地球生命中的遗传密码时，基因工程的新时代才真正开始。一旦我们读懂了遗传密码，并开始掌握它的语法，我们就有可能主动去编写。未来，我们将尝试设计越来越复杂的DNA，等到这扇窗打开之后，我们在接下来的20年内无疑会看到地球上新生命形式的诞生，我们也可能看到已经灭绝的物种复活。虽然在哲学理念和进化进程上不那么重要，但在生物学之外使用生物学密码将成为我们的日常习惯，渗透我们的工作和生活。毕竟，DNA是一种自我复制的密码，近40亿年来，它以始终一致的方式回应不断变化的环

境，在没有人工指令的情况下进行自适应和多样化。当我们了解了基因组，并尝试通过驾驭DNA来化解人工智能目前难以解决的问题（自主学习、被动适应、自我复制），计算机技术和DNA系统的交互方式将彻底改变。

未来，遗传学和基因组学有可能让我们更深入地理解和掌握我们的身体、我们周围的环境，并且以更加个性化的技术赋予我们力量。我们将如何利用这些技术进步？我们将如何利用不断发展的基因和基因组知识？以下就是正在塑造基因新时代的几项科技革命。

## 基因组检测

就在不久前，即使是分析DNA也意味着要使用专业实验室中的昂贵的大型设备，更不用说对整个基因组进行测序。在2000年，获得人类基因组的序列草图需要耗时15个月，耗资约3亿美元。到了2006年，获得个人基因组的草图仅需1400万美元。10年之后，这项工作花费降低到了1500美元左右，可以在两天内完成。现在，测序开始摆脱实验室，甚至跳出了遗传学家的手掌心。我们不再需要大型设备，新的测序仪可以放进口袋。这些设备还无法绘出个人的完整基因组，但未来潜力不可小觑。目前，科学家正在研发设备，用于研究重要的特殊基因，并且及时测序。最近的发明可以监测细菌或感染人的病毒毒株基因组数据。从公共卫生的角度讲，这已经为最需要这种设备的地区带来了希望。在非洲西部，这样的便携式测序仪成功地从患者身上识别出了148种埃博拉病毒的基因组。未来，在该领域，人性化的微型基因组科技会争取在数小时内进行诊断，并指导冠状病毒、登革热、埃博拉病毒、基孔肯雅病毒和寨卡病毒等的治疗。这样的科技应用有一天可能会像手机一样出现在每个人的口袋里。

我们甚至可以使用半导体实现形态更小的DNA检测设备。伦敦帝国理工大学的克里斯·图马佐（Chris Toumazou）最近研发出一种可插入U盘的检测用芯片，只需几分钟即可在任何计算机上查看结果。这项技术有意避开人类基因组的全部30亿个化学碱基，专注于每个人身上较独特的那1%，从而创建“生物IP地址”。不同的芯片可以检查不同的人类基因突变，包括一个人对某种疾病的易感性，或者个体代谢某些药物的能力。正如图马佐所说：“未来，医生考察的将不再是你的病史，而是你未来的疾病。”



## 基因组应用

基因组革命可以更好地保护人类健康，但它的威力远远不止于此。每种生命形式的指令都编码在基因组中。在过去几年中，更智能的新技术已经涌现，并引发了一系列对未来的展望，这些展望很可能还存在于科幻小说的世界中。其中，詹妮弗·杜德纳（Jennifer Doudna）和艾曼纽·卡彭特（Emmanuelle Charpentier）杰出的创新成果最为突出。他们最近研发的基因组工程技术已成为这一领域最先进的技术。这就是CRISPR，它是一种操纵DNA的新系统。它能够更密切地考察特定基因的功能，通过对特定基因的启动、关闭，或者对DNA的精确位置切割，改写间隙中的序列。理论上，这意味着我们可以精确地除去造成患病细胞的缺陷基因，并用“健康”的、正确发挥功能的基因替换它。

这项技术也为基因组编辑之外的新技术提供了可能性。未来，这能帮助我们厘清98%不编码蛋白质DNA的功能，使我们越过基因组的字母表，研究遗传物质的语法和标点符号。这关乎我们自主打开和关闭基因的能力。我们已经开始用光控制引入基因组变化的位置、时间和可逆性。这涉及另一个快速发展的领域，即光遗传学——用光控制细胞。目前，科学家正在实验室里通过这项技术加深对大脑的理解。在接下来的20年中，我们希望该领域能够提供关于一系列疾病的关键信息，这些疾病包括帕金森病、癫痫、阿尔茨海默病、卒中和听力损失等神经退行性疾病，目前这些疾病还没有有效的治疗方法。此外，科学家正在开发“CRISPR丸”——可依照顾客要求定制的、用于指示耐药细菌自毁的可食用DNA序列。

我们已经看到了许多CRISPR相关技术的应用，从必要的（防止蜂群减少）到琐碎的（宠物狗、迷你猪预订，以及锦鲤颜色定制）。在接下来的几十年中，这项技术还可能创建复杂的生物电路，将细胞转化为生物燃料工厂，例如，以培育耐感染家畜为手段。此外，还有“CRISPR小鸡”计划，CRISPR编辑工具将直接整合到鸟类个体的基因组中。实际用途包括“制药”，参与此计划的鸡就像转基因鸡一样，它们产下的蛋中可以含有解决胆固醇问题的药物。

其他应用还包括灭绝动物半“复活”计划。我们已经开始着手研究编辑大象胚胎，培育像猛犸象一样的北极大象，我们也在着手研究编辑鸽子胚胎，以便重现19世纪因人类过度捕猎而灭绝的候鸽。

## 遗传学、计算机信息处理技术和生物黑客

能够读懂DNA，我们就很容易看出它作为编码系统与计算机科学有什么相似之处。过去几十年的数字化革命一直是基因组革命的主要推进者，而针对DNA的研究也可以以多种新颖的方式反哺计算机技术。DNA的数据存储形式毫无疑问比我们在过去几十年中看到的所有存储介质都更长久。与软盘或CD-ROM不同，只要地球上有人掌握读取DNA的技术，其中的数据就可以使用。DNA数据存储的另一个优势在于规模。细胞核包含一个人的整个基因组，而细胞核的直径通常为2~10微米。1微米是1米的百万分之一，就连人的一根头发直径也有约75微米。作为一种概念验证，最近我们已经用DNA存储技术进行了文本文件和音频文件存储，内容包括莎士比亚的全部154首十四行诗，以及马丁·路德·金著名演讲《我有一个梦想》的26秒音频剪辑。这项工作是通过电子学和计算机科学中的二进制代码完成的，但是它使用组合方式不同的DNA碱基A、C、G和T来表示位（0和1）。比特是可以在计算机上存储或操作的最小信息单元，以莎士比亚十四行诗的存储为例，有520万比特的信息编码到DNA中。

抛开数据存储不算，DNA计算处理技术的前景本身就是迷人而出人意料的。它最早用于解决一系列计算机科学家感兴趣的难题，其焦点是我们越发依赖的电子计算机、智能手机和平板电脑，它们需要越来越小化的组件，这关乎成本和技术。然而，电子设备的小型化趋势即将达到极限。但是，对于DNA计算机来说，单个分子是输入数据，而其他生物分子，如蛋白质，可以作为处理器。与按顺序处理数据且耗时较长的传统计算技术不同，DNA计算机更适合并行处理信息，这大大加快了处理速度。试管中或玻片上可以自由活动的DNA或RNA本身就能进行计算，比如，含金玻片可以以电路板的形式进行排列。创建一组编码计算问题解决方案的DNA分子可以在这个表面上合成并保存。

DNA计算处理技术也可应用于传统计算机望尘莫及的空间和尺度，比如细胞之内，或极其薄的合成材料中。由此微小的生物计算机将有可能进入细胞，识别患病组织，选择性地执行自毁序列，或者重新编码细胞受损的DNA。例如，我们也许可以通过这种方式为癌细胞重新编码，以避免它们增殖成肿瘤，我们也有可能让干细胞长成替代器官。同时，生物计算机已经显示出控制生物活性治疗分子的能力，一些药物的给药过程也许会因此受益。

基于DNA的分子电路也有一些令人印象深刻的例子，其中包括为编码井字棋游戏（与人类对手进行交互式竞争）而创建的电路、计算平方根的电路，以及表现出类脑自主行为的类神经网络。然而，到目前为止，计算机数字逻辑的模拟一直难以捉摸、令人沮丧。而且，DNA的计算能力在执行任何算法方面都比不上现有的硅计算机。

尽管如此，该领域仍然在开辟令人兴奋的生物学和生物医学应用。在未来的几十年中，DNA计算技术将创造更好的DNA新设备，以生物传感器的形式参与诊断、纳米制造，以及人体细胞的编程控制。它还将在“智能药物”的开发和传送过程中发挥作用，将“智能药物”输送到人体所需的部位，这意味着感知和分析各种生理学诱因，并进行逻辑运算以释放药物或调节基因表达方式的物质。而且，除了更智能的生活之外，DNA和计算技术的交融也可以使我们更接近自然演化的真相，以及生命起源的秘密。

与此同时，正如曾经仅供专家使用的大型计算机机柜演变成为可供所有人使用的便携式设备一样，人们预测遗传学将越来越多地被传统实验室以外的人在更多个人空间中使用。谁应用基因科学和基因组学，以及如何和何时使用，已经发生了重大转变，这一领域将变得更加“大众化”。

这些变化带来了许多机遇和挑战。医生和患者都在迅速接受基因组革命带来的个性化选择，而个性化医疗已经在各个领域得到应用——从调整药物剂量到指导白血病、艾滋病和结肠直肠癌的最佳治疗途径。那些没有生病，但仍然有兴趣探索未来健康图景的人会越来越经常地使用基因技术。许多人现在正在使用可以在线上或线下购买的工具包和服务，通过直接面向消费者的遗传血统检测来查询自己的基因组。欧特克研究员安德鲁·赫塞尔（Andrew Hessel）参与的项目涉及工程纳米粒子、DNA合成新技术和人类基因组图谱绘制，他说，随着我们走向未来，DNA测序的商业模式正在发生转变。已经有一些公司愿意免费为个人测序，随后出售分析结果或其他服务。另外一些公司会付钱给合适的人测序，因为他们有一些有价值的特征，数据挖掘者值得花时间筛选他们的DNA密码。如果可以找到理想特征（比如，不掉发，头发不白发，不多毛，不需要大量睡眠，在晚年看起来依然年轻，视力更佳或夜视力更佳）的遗传基础那会怎么样呢？研究具有这些特质的人的基因组，我们就有希望找到传递这些特征的药物。

但是，为了收集遗传信息，我们毫无疑问必须送交自己的DNA样

本，我们要把自己基因组的秘密封装在试管中，寄送到实验室，等待完成读取，并通过互联网获得解读结果。这可能听起来并没有害处——尽管在自己身上检测出维京血统或者发现自己是埃及艳后失散已久的后代让你将信将疑。不过，发展到一定阶段，对我们今天能够理解的遗传学数据的有限解读会在未来十年带来潜在的风险。基因组不仅能够唯一地标识其所有者，它还包含了家族血脉和易患疾病的信息，这些疾病也包括精神障碍，这对我们的隐私有着严重的影响。

伦敦大学学院计算机安全和隐私专家埃米利亚诺·德·克里斯托法罗（Emiliano de Cristofaro）告诉我们，即使是最近创建公共数据集这种“为了大家好”的公共卫生举措，也要求患者和捐赠者基本上放弃他们的隐私。他说，基因组匿名化（除去标识符以隐藏基因组所有者身份）几乎不起作用。举个例子，一个研究小组最近仅用系谱学网站提供的信息就找出了基因组的主人。这甚至还不是具有完整基因组序列数据的站点，这里能查到的仅仅是这些人基因组中不连贯的小片段。

德·克里斯托法罗警告我们，在未来几年，计算科学的发展引发的DNA数据安全问题只是此类问题中的一个。事实上，还有一部分基因组的功能我们目前还不了解，公开这部分基因组似乎没有风险，但是随着我们更深入地了解基因组，这些DNA数据可能对它们的所有者不利。DNA数据可以迅速武器化并不是一个牵强附会的想法。有人提出，了解目标基因组的特性是创造个性化生物武器的重要基础，这种生物武器可以不留任何痕迹地将目标拿下。但在更世俗的层面上，德·克里斯托法罗下面这段话更加值得我们思考。

如果我们发现某个突变与精神障碍有关，那会发生什么？数据一旦公开就无法收回了。我们不要忘记，基因组数据会带来前所未有的安全挑战，因为基因组的敏感性不会随着时间的推移而降低，并且掌握了某人基因组的信息也就意味着掌握了其近亲属的信息。毕竟，如果计算机密码泄露，你可以重置它，但是你不可能重置自己的基因组。

我们可以想象一个较为理想的未来，民主发展遵循近十年来既定的道路，许多大城市会涌现社区实验室，没有接受过科学训练的人在此推进着触手可及的低成本技术。普通人也可以研究各种各样的项目，从生产廉价的胰岛素到摆弄粮食作物。遗传科学的进步也为休闲提供了空间：人们可以编印果酱的基因序列条形码，也可以让细菌像夜光灯一样在黑暗中发光。

安德鲁·赫塞尔认为，不仅如此，未来生物技术还将在家庭中普及。正如我们现在拥有个人电脑、网络、云一样，未来的人将在家中看到易于使用的生物技术设备，如监测口腔微生物的牙刷。

虽然遗传学带来的技术变革已经开始取得成果，但其他的一些方面可能在一段时间内不会走进我们的生活，而且它们的出现可能不会符合大多数人的期望。但是，正如赫塞尔所说，我们可以肯定的是，DNA技术会变得更好、更快、更便宜。这些技术非常重要，因为它们将使我们能够设计各种生物。他说：“这种技术的应用和快速发展是不可避免的。我们想阻止也无法阻止，正如计算机（终将普及）一样。”

# 合成生物学

## SYNTHETIC BIOLOGY

文/亚当·拉瑟福德（Adam Rutherford）

我们可能会认为花314美元买一条领带太贵，不过话说回来，这种特别的领带可是用蜘蛛丝编织而成的。这听起来确实不可思议，或许能在某种程度上证明花这么多钱是合理的。蜘蛛丝是一种神奇的材料，根据物种和环境的不同，这种蛋白质能够以多种形态发挥功能，用于吊网，作茧密封猎物，或保护蜘蛛卵。每种蛛丝的机械特性、弹性和物理特性都超过人类能够制造的水平。相同重量的拖丝蛋白比钢更结实。每种蛛丝都是通过吐丝器从蜘蛛腹部挤出来的，吐丝器是一组高度复杂的体内接头，可根据所需的蛛网类型排列成丝蛋白短纤维。

虽然我们很喜欢收获蜘蛛丝，并开发其卓越的物理特性，但是众所周知，蜘蛛很难养殖。多数蜘蛛都难以适应生产大量纤维所需的工业化农业生产过程。蜘蛛基本上是独居者，与其他蜘蛛一起饲养时倾向于同类相食。因此，这种领带要价如此之高的第二个原因在于，它由跟蜘蛛或吐丝器并没有什么关系的真实的蜘蛛丝编织而成。这种丝是在酵母中培养和发酵而成的。

欢迎来到合成生物学的奇妙世界。这个标题无疑有点矛盾：生物学研究的是大自然，因此不可能有人工合成的份儿。这个难题意味着一项核心技术，这项技术不仅会深刻地影响（甚至主导）我们服装的未来，而且还将影响医学、农业、药物设计、能源生产甚至太空探索。这种领带是合成生物学公司博尔特丝织品公司（Bolt Threads）生产的第一款商品。从某种意义上说，这是一个里程碑，却还算不上是真正的大众畅销商品——博尔特首批只制造了50条蜘蛛丝蛋白质领带，它们是时尚的蓝色织物，而且相当昂贵。博尔特是一家致力于制造服装材料的公司，该公司绕过了饲养和耕种动植物等低效生物并收获棉花、羊毛或丝绸等材料的传统生产形式。一万多年来，我们一直在“设计”动物和植物，这样它们就能生产出供我们使用的产品。但是农业一直局限于有性繁殖缓慢、烦琐的过程，并且局限的核心往往在于，我们必须通过同一物种的

生物体进行繁殖。运用合成生物学，我们现在完全可以绕过性和繁殖，甚至可以将完全不能交配，已经在进化树上分离了数亿年的有机体——蜘蛛和酵母——组合在一起。合成生物学家试图提取自然的源代码并将其重新设计成更高效的生物工厂。

自然的源代码就是DNA。蜘蛛丝蛋白由几亿年来只存在于蜘蛛中的基因编码而成。几十年前，我们开始准确而快速地提取和表征基因，并思考如何将它们重新插入生物体中，有时我们想将基因插入原物种，有时我们想把它插入截然不同的物种。我们可能让基因保持原样，以便观察它的作用；我们也可能进行修改，甚至故意让它残缺，观察某些部分被破坏时会发生什么，进而测试其自然功能。这就是基因工程，这个领域存在的基础在于生物学源代码的通用性——地球上的所有生物体都在同一张系谱图上，这是一个无比庞大的网络，根据查尔斯·达尔文的自然选择理论，它已经蓬勃发展了大约40亿年。这意味着所有生物都是由DNA编码的。这是一张看似简单的字母表，仅由四个化学字母组成，它们却能串成表达基因的语言。基因的语言可以翻译成由氨基酸组成的字。所有生物使用的氨基酸只有21种，它们连在一起形成蛋白质。每一种既有的蛋白质都是用这种方式形成的，所有的生命都是由蛋白质构成的。

20世纪70年代中期，基因工程诞生，这意味着，如果操作得当，细胞或寄主并不在意DNA来自哪里，只要能够读取就行。只能由某一个物种产生，给出指令制造蛋白质，并告诉蛋白质做什么的基因，可以被写入另一个完全不同的物种的DNA。

几年前，甲壳虫乐队首次将采样技术应用于音乐创作。在录制1967年发行的《比伯军曹寂寞芳心俱乐部乐队》（*Sgt Pepper's Lonely Hearts Club Band*）专辑曲目《为了凯特先生好》（*Being for the Benefit of Mr Kite*）时，乔治·马丁和保罗·麦卡特尼拿来维多利亚时代马戏乐器（被称为蒸汽机风琴）的录音带，并剪切成许多短条。据说，他们将这些短条随便一扔，从地板上随机挑选几个，并插入唱片中。音符是用相同的“语言”编写的，因此，通过仔细地调整音调和节奏，这些片段完美地融入了歌曲。这是一个有历史意义的创举。从那时起，这种采样在流行音乐中变得非常普遍，并且催生了各种流派，其中说唱成了史上最赚钱的音乐形式。

1973年，斯坦福大学一位名叫保罗·伯格（Paul Berg）的科学家领导了一项团队工作，将一个基因从一种病毒转到了另一种病毒。这种生

物取样行为可以被视为现代生物学诞生的标志，这也是生物技术主导其他技术的基础。现在，没有哪个关乎生命的领域不依赖这些技术。识别导致疾病的缺陷基因，以及在人类基因组计划中鉴定我们所有的基因，这些完全依赖于我们提取基因并放入细菌，完成操纵、表征和辨别的能力。我自己的（发育遗传学）研究主要是从一个生物体中获取基因并插入另一个生物体，我们对后者了解更多，更容易看到基因如何表达。我们获取人类的基因并放入细菌中，对这些密码摆弄一番，然后将它们拼接到小鼠中。在几十年后，以20世纪80年代为起点，重新合成生物的行为开始变得正常化。

随着20世纪过去21世纪来到，遗传学、基因工程和分子生物学从幼年进入童年。在那些日子里，人类基因组计划不断获得进展，我非常兴奋。身处一场科学革命之中时，所有相关领域的科学家都会感觉到干劲十足。但现在回想起来，那时的我们都太笨拙，效率太低，这主要是因为每次实验时都要寻找基础的DNA操作方法。每次想要采样时，我们都在剪切蒸汽机风琴的录音带。这是一个完全定制而成的、重新合成的世界。

其实，这就是大多数新技术的来历。科学家通过手忙脚乱的尝试发明了这些操作，然后使它们变得简洁，留下标准并广泛传播，让每个人都可以使用。这些方法很快就变得更简单，接着就成为常规的操作。音乐采样现在成了一种游戏，甚至可以在智能手机上玩。我现在描述的技术对50年前的人来说是难以想象的。这是一种我几乎完全不了解的技术，这种技术的表现在很大程度上可以预见，而且基于简单的电子学原理和材料属性。我按键的动作使电子向下通过导线、电路、逻辑闸、晶体管，进入发光二极管，这种发光二极管如此复杂，我无法理解它是如何真正起作用的。零件的商品化促进了电子学的繁荣。这些组件已经标准化。想要使用二极管的人不必发明二极管。我可以购买二极管，并与其他组件结合在一起，然后就能充分了解它的性能。

配件变得更小，设计更复杂的电路就会变得更容易。如今，基于晶体管的电子设备几乎进入了所有人生活的各方面。

合成生物学的创始人也认识到了这一点。在美国的斯坦福大学和麻省理工学院，电气工程师和数学家发现，遗传学就像编码的电子线路，可以进行编写和重写，但遗传学家花了一半时间用来改造他们的电路。如果基因工程的各个部件可以像电子元件一样标准化，那么这项技术工业化的进展速度可能呈指数级提升。



这正是他们所做事情。生物零件基金会（The BioBricks Foundation）成立于2006年，旨在创建一个开放的DNA标准部件存储库，这些标准部件经过精心整理，可以像乐高积木一样组合和拼接在一起。这不是比喻，基因和基因开关被提取成为DNA链，每个末端都已成形，能以正确的生物学方向附着到另一段DNA链上。每一个基因片段都可以从储存库中调出，放在一小张吸墨纸上寄送到世界各地。通过添加某种溶液，DNA可以漂下来，连接下一个组件，就像多米诺骨牌一样。通过这样一个简单的举动，你可以完成前所未有的基因工程操作，这对于现代科学来说也是不可思议的。

科幻小说界的领袖最擅长预测未来技术，但他们都没有预见这一点。进化凭借其无法效仿的40亿年的错误和试验系统，为构建生命形式提供了难以想象的资源：随着环境在周围发生变化，各种各样的基因每个都经过了选择，以优化生物体内的生存状况。通过合成生物学，我们发明了一种系统，我们取得进化的组件，并将它们重新组合起来，这并不是为了存活下去，我们有自己的目的。

合成生物学有很多种形式，有些研究人员不仅为特定的目的而改写密码，还用自然界中不存在的字母，或者用从未存在过的、修改后的DNA再造DNA语言。其他一些人则专注于研究如何将DNA作为数据存储设备——毕竟，说到底，这正是DNA在生命过程中的作用。基因是信息，DNA作为一种数据格式非常稳定。我们可以恢复已经死亡数万年甚至数十万年的人和生物体的基因组。而这是DNA，我们永远不会有不想再研究它的时候。回到数字硬件世界，数据在消减，而一种格式过时只需要数年而不是数十年。你还记得5英寸软盘吗？你还记得老式录像带吗？世界各地的几个项目已经成功地将视频、莎士比亚的十四行诗、图书和其他内容的数据编码成了DNA，目前，DNA已成为已知最密集的数字存储形式，它在这方面比蓝光光碟高出几个数量级。作为数字存储器，DNA写入速度慢，读取速度也慢，这意味着它只能用于长期存档。但是在未来，我们也许会使用DNA格式化的驱动器运行计算机。

合成生物学诞生后的第一个十年就迸发了这些创意，这已经非同寻常，这一领域创造未来的潜力也是前所未有的。在这里，创意和技术的广度令人惊心动魄，但这一领域科学家最大的动力在于，他们想在未来设计出能形成产品的遗传电路，这是通过其他领域的技术难以实现的。

应对历史上最大的单一死因是合成生物学运动的一个核心。每年，全世界有2亿至5亿疟疾感染病例，约有40万人因此死亡，其中大多数是

15岁以下的儿童。纵观整个人类历史，这种不变的病魔夺去的生命比任何其他单一病因都要多。多年的医疗行动使其得以暂时缓解，但是不受管制地过度使用药物导致疟原虫发生变化，病症由此演化，对特定药物产生耐药性。近年来，一种名为青蒿素的化学物质已成为治疗疟疾的最有效药物。依照传统的方法，人们要从亚洲的青蒿植物中提取青蒿素。但是，与许多传统的农产品一样，它受到了经济兴衰周期的影响，市场价格在过去几年里大幅波动。在21世纪的最初几年，旧金山一家名为阿米瑞斯（Amyris）的合成生物公司致力于开发一种可以在酵母中培养的柴油，他们的一位研究人员注意到，一种处于曲折的分子路径中的产品正是青蒿素的前体。因此，他们开始改进遗传电路，以便在酵母细胞中大量生产青蒿素，并提取出来，以此作为药物的新来源。比尔和梅琳达·盖茨基金会认为，这是在传统农业的经济枷锁之外对疟疾进行大规模治疗的潜在策略，基金会已经投入数百万美元的资金，同时授权赛诺菲制药公司以明显较低的价格将其推向市场。

从早期到现在，合成生物学家一直在研发如何将细胞作为传感器使用。生命机制是非常敏感的，视网膜中的光感受器就能够探测到单个光子。今天，细胞已被重新编程，以检测各种环境信号，从超市中出售的变质包装肉类，到石油污染物，再到人体内的感染因子，都是检测对象。

而且，合成生物学并不是只能在地球上应用。美国国家航空航天局（NASA）对这一学科非常感兴趣，并投资开发了DNA重新编程衍生出来的技术，这主要是因为细胞很小，几乎没有什么重量。太空探索最大的成本与重量有关。据估计，打破重力的束缚，将1千克物资从地球送到太空大约需要花费30000美元。如果真的要把人送到其他星球上，那么我们必须考虑两个关键障碍。首先，太空环境严酷，我们还没有进化到能在地球大气层的保护之外生存。太空船将暴露在大量的宇宙射线和太阳耀斑引起的辐射中，由此接受的辐射量十分惊人。在往返火星的模拟旅行中，我们发现，宇航员会患上不育症和白内障，并有可能患上一系列癌性肿瘤。对付这些致命射线的最佳方法是使用厚金属罩，其质量很大，因此成本过高。位于加利福尼亚州艾姆斯的NASA研究人员一直在思考合成生物学能否带来两全其美的方案，他们一直致力于研究辐射之下可以分泌细胞因子的细菌。细胞因子是人体对辐射引起的DNA损伤的自然反应，因此能产生其自身细胞因子的合成细菌可治愈这种损伤。

NASA开启合成生物学计划的第二个原因是，一旦宇航员到达另一

个星球，他们就需要相应的住所、氧气和食物。合成生物学项目使用生物零件在细胞中生成电路，而这些细胞能制造氧气、食物甚至砖块——它们可以分泌凝结分子，能够在模仿火星风化层的沙子中形成砖块。这种项目需要的原料包括一试管的细胞、一些水和一些火星沙。这些原料只有一种需要从地球搬运过去。

合成生物学梦想带来的希望和热情促进了这种创造力。这是一个洋溢着青春活力的领域。任何人都可以构建这些基因电路——唯一的限制就是你的想象力。很长一段时间以来，问题在于这些梦想实际上很少能成真。依照理论设计的电路并不总像预期的那样在活细胞内起作用。原本应该很清晰的数字输出，经常被系统中的噪声所干扰。无论是化学传感器、药物还是燃料，输出端口都有点不稳。NASA的宇航员防护设备还需要几十年才会投入使用，阿米瑞斯尝试制造清洁生物柴油，却证明了这项工作无法规模化，而且他们无法发展出商业上切实可行的体量。青蒿素几年来一直准备大规模地进入市场，却从未完全成功。黑市上已经有了青蒿素，但由于其用法没有遵循世界卫生组织用药指南，这已经让疟疾从源头出现了一点耐药性。用药指南指出，服用青蒿素只能作为综合疗法的一部分。

# 超人类主义

## TRANSHUMANISM

文/马克·沃克（Mark Walker）

超人类主义者认为，我们应该使用先进的技术，如药理学、基因工程、控制论和纳米技术，从根本上提升人类。换句话说，我们应该尝试创造新型的人类——有时也被称为“后人类”。与我们相比，他们明显更优秀。请想象这样一个未来世界：其中居住着一种新的后人类物种，他们更快乐、更正直、更聪明，而且寿命可以长达几个世纪，而不只有几十年。这就是超人类主义者的想象，也是他们努力追求的前景。

### 人类可以更幸福

我们知道快乐很重要。我们完全理解为快乐放弃名望、权力或金钱的人，以及常说自己只想让孩子快乐的父母。

既然致力于创造更美好的人生，超人类主义者主张使用科学技术从根本上提升幸福感也不足为奇。

我们现在知道，幸福（定义为积极情绪和对生活大致满意）的遗传因素与控制身高的遗传因素几乎同样重要。当然，这种基因发挥作用的过程很复杂，基因不是唯一的决定性因素，大多数人类特征是由基因和环境因素综合作用而形成的。但是，我们都认识比大多数人更幸福的那些人。这些人的步伐似乎格外有活力，他们能从重大的失望中重新振作起来。这些“特别擅长快乐的人”有着“快乐基因”——与快乐的性格相关联的基因序列，这些基因序列已被科学家识别和定位。随着生物科学的成熟，使用基因工程技术有可能创造出比现在的普通人更幸福的后代。我们至少已经实际拥有了着手创造更快乐后代的技术。创造“试管婴儿”通常需要在植入母体之前对实验室中培育的胚胎进行基因检测。技术人员通常会检测疾病的遗传标记，有时也测试儿童的性别，不过，从原理上讲，易于获得幸福的遗传标记也可以检测出来，甚至接受筛选。

但我们不必等待基因工程和遗传选择来使幸福的人随处可见。即使基因没有改变，人也可以从根本上增进幸福感。我自己提出了“快乐人药丸”，试图将增进快乐的药剂做成药丸，以帮助因为没有撞上基因大运而缺失幸福感的人（也就是绝大多数人）。与目前的药物（比如安定和迷幻药）不同，这些药丸可以提供自然的愉快体验，而不会损害我们的认知能力。如果获得了社会工作者的支持，我们很有可能在十年内研制出这样的药丸。这个项目耗时约十年，每年将花费大约10亿美元。与全球经济规模相比，这是一笔很小的金额，但回报将是巨大的。我们也可以像最幸福的人那样享受快乐，我们的步伐也可以带着同样的活力。这还会产生不可思议的连锁反应，让我们越来越快乐。快乐的人往往更合群，更容易交友，更容易取得好的学业成绩，更容易拥有好的婚姻，更容易从同事和老板那里得到更高的评价……

## 人类可以更高尚

为使人类品行更加端正，我们付出了巨大的努力。我们在童年时期都要频繁地接受品德教育——打人不对，撒谎不好，要友善待人，与人分享。除此之外，我们还有强调种族主义罪恶的公共教育计划，还有摇滚明星引导人们关注不幸者的困境，这些是针对成年人的公德教育。

研究“遗传美德”和“道德提升”的超人类主义者建议，在使人更加道德时，环境方面的工作应该与生物学方面的工作相匹配。该建议基于两个基本理念：人类行为和人格特质具有遗传组分，而道德涉及行为特征和人格特征。

已经成为研究对象的行为特征或人格特征似乎都具有一些遗传因素，我们可以有把握地预测，正直的行为也有遗传因素。事实上，如果这种遗传不存在，那才叫不可思议。我们甚至可以在其他物种中看到大量关乎品德的行为：母鼠会照顾幼崽，猿类有时会以一种我们只能描述为公正的方式分配食物。

有关遗传性美德的提议旨在为我们的后代提供更多有利于产生美德的生物构件，同时避免产生恶习的生物组分。与幸福一样，这也关乎生物学变化，可以是基因工程、胚胎选择或高级药理学的结果。然而，对于遗传决定论的警告同样适用于此：即使我们创造出的后代携带着与道德行为相关的基因，我们也并不能保证他们真的会更正直。充其量，这样的程序只会增加他们正直的可能性。基因并非一切。

## 人类可以更长寿

人类延长寿命的愿望可能与人类历史一样古老，但人们在实现这一目标方面却没有取得多大进展。在撰写本文时，法国女子雅娜·卡尔芒（Jeanne Calment）仍然保持着人类最长寿命的纪录：122岁（1875—1997）。医学在延长人类寿命上一直没有起太大作用，我们有充分的证据表明，有史以来一直有少数人能活100多岁。通过降低婴儿死亡率，医学在提高人类平均寿命方面发挥了很大的作用。

从根本上延长寿命，就是利用科学技术突破稍长于100岁的生物学极限，使人类或后人类可以生活数百年甚至数千年。实现这一点的一种方法是简单地更换老化的器官，就像我的邻居通过更换磨损部件来让旧卡车保持运转一样。普通汽车的使用寿命大约是八年，但我的邻居拥有一辆完美的卡车，能达到该使用年限的五倍。从理论上讲，只要（比如，使用先进的干细胞技术）不断修复和替换老化的细胞和器官，我们就可以使人体无限期地运转下去。科学家已经证明，我们有可能使用患者的干细胞，在实验室的工作台上培养出新的器官，比如膀胱。这个方法实际上就是“剪切粘贴”。例如，移除旧的膀胱，用实验室中培养的器官替换。我们甚至可能不必这样做。在临床试验中，干细胞已用于修复心脏病发作期间遭受的心肌损伤。

逆转衰老和死亡的部分困难在于这些现象牵涉的因素众多。SENS（Strategies for Engineered Negligible Senescence Research，人工操控可忽略衰老策略研究）基金会是一个致力于推动人类寿命延长的非营利组织，基金会已经确认了七种引起衰老的因素（细胞萎缩、细胞癌变、线粒体突变、抗凋亡细胞、细胞外基质硬化、细胞外聚集物和细胞间聚集物）。每种因素都需要专门的生物学或工程学解决方案。尽管如此，正如一些举世瞩目的技术已经证明了动物的寿命可以延长，延长人类寿命的研究也正在不断取得进步。科学和技术将使我们能够从根本上延长自己的寿命。最近，科学家开发了一种能够移除某类旧细胞（衰老细胞）的细胞“自毁开关”，以此将老鼠的寿命延长了25%。这些老鼠不仅寿命更长，而且更健康，与年龄相关的疾病也更少。

到目前为止，这里所描述的技术对灾难性伤害都没有什么帮助。当一架钢琴从三层楼高的地方掉下来砸在你头上时，世界上所有的干细胞技术都无法帮助你。但是，针对这些意外事件，超人类主义者也设想了修复技术。虽然只是前瞻性的技术，但这些技术也许能在21世纪实现。

实际上，这个想法就是创建一个备份：比如，扫描大脑并在微观水平进行记录，然后用数据重建一个新的大脑。该提议的另一个版本是，由一小队分子大小的纳米机器人记录下大脑的分子结构。万一主人发生创伤性损伤，这些纳米机器人就可以被激活，修复被钢琴砸伤的大脑，或者基于事先保存的蓝本创造一个新的大脑。

还有一种可能，那就是将大脑的信息上传到计算机平台。实际上，这就像是将你的心智从生物学湿件（大脑）转移到了计算机硬件上。这引发了棘手的形而上学问题——在这次移动中，活下来的是否真的是“你”？这是否只是对你进行的复制？超人类主义者和哲学家在这个问题上存在严重的分歧。我支持那些认为我们能够在这种转移中活下来的人。实际上，我甚至认为一个人可以存在多个不同的自我。如果你在从生物平台转移到计算机平台的过程中存活了下来，那么你为什么不能上传到多台计算机呢？通过这种方式，人有可能实现永生，或者至少接近永生。

## 人类可以更聪明

众所周知，脑部大小和智力之间存在相关性。（实际上，对于许多物种来说，讨论智商的时候也必须考虑体重，但我们在这里暂且忽略这一点。）我们的大脑容量几乎是黑猩猩的三倍，尽管从遗传的角度看，我们非常相似——人类和黑猩猩有96%~98%的基因组是一样的。人类基因组由大约20000个基因组成，这意味着我们有别于黑猩猩的基因只有不到1000个，可能只有400个。利用现有的基因技术，我们可以尝试创造一种后人类物种。让我们把这个物种称作“大头智人”，其脑容量是今天人类的2~3倍。就技术而言，这实际上相当简单。有一些专门的基因（同源框基因）控制着身体不同部位的大小。在人类受精卵发育的过程中，通过增加控制大脑大小的基因的表达，我们大体上有可能创造出具有大得多的大脑的生物。使用这些同源框基因的不同组合，我们可以促进大脑特定部位的生长。例如，大脑新皮层与较高的认知功能相关联，因此，如果要提高智力，那么我们也许能操控该区域发育的同源框基因，尝试增大这一部分大脑。

但是，“我们可以尝试这样做”绝不等于“我们应该这样做”。我们并不确信这种实验能够成功地创造出后人类智能物种：该物种比我们聪明得多，一如我们比猿类聪明得多。但我们也没有理由认为这样的实验会失败。这就是我们进行科学实验的目的——去发现真相。但是今天——

举个例子——当我们在植物上应用基因技术时，大多数实验的进展都无法令人满意。将实验失败的植物材料扔进堆肥箱是一回事，处理实验失败的人类受精卵或婴儿是另一回事。不过，我们已经拥有了这样的科学和技术：借助一系列实验过程，我们今天就可以开始创造大头智人。值得庆幸的是，很少有科学家为了进行这种实验而不顾安全、伦理和道德。为了避免让这种有争议的研究与优生学等名声扫地的理念联系起来，整个社会需要审慎地讨论和思考此类问题。

还有一些不那么激进的方法，也可以用来尝试提高人的认知能力。一些研究表明，大约1/3的大学生利用莫达非尼（Modafinil）、阿得拉（Adderall）等促智药物的增效作用提高学习成绩。通过创建脑—机接口，科学家在人类心智的“人体电子化”方面也已经有了一些初步的实验。通过使用再生技术制造大量的新脑细胞，成年人也可能增加脑容量。（成年人的大脑往往只产生相对较少的新细胞。）从针对阿尔茨海默病患者的实验中我们了解到，胎儿的神经组织可以与成人神经组织相结合并顺利发挥作用。所以，这种技术为我们创造大头智人提供了潜在的不同途径。我们可以继续增加测试对象的新脑细胞（并增加其颅骨大小），看看是否有可能从根本上增进智力。

## 超人类主义的用意

在思考超人类主义的用意时，我们要讨论的关键问题不是超人类主义理想实现的可能性有多大，而是超人类主义在道德上是否可取。思考关于未来的道德主张时，我们要关注的是未来应该是什么样的，而不是它能够是什么样的。

虽然超人类主义声称从根本上优化人类是一个有道德价值的目标，但这并不意味着超人类主义者认为每个人——尤其是反对超人类主义的人——都应该从根本上得到优化。我们认为获得学位是一个有价值的目标，但我们并不要求每个人必须去上大学。这不仅会侵犯个人自由，还可能适得其反。超人类主义者通常认为强迫成年人做某事是不正当的，即使我们认为这对他们非常有益。

这种反家长作风的另一面是，超人类主义者支持“生物学自主”。在某种程度上，生物学自主已经得到了认可：人们被允许通过激光眼科手术和各种整容手术（如隆胸手术）改变自己的生物学特性。超人类主义者认为，人类从根本上的优化是（或者应当是）在这种普遍的生物自主



下进行的——我们会在自己认为合适的情况下打理身体。实际上，我们可以看到，生物自主与许多现代自由主义国家所认可的道德自由密切相关。限制智力或幸福的提高会限制我们的道德心，我们会处在难以感受到快乐的心理状态中，思维也会受到局限。

基于生物优化和文化改进之间的类比，超人类主义者经常把他们设想的人类改造归为一种“无辜的伴生物”——要记住，几千年前，人类才刚刚发明了高效的写作形式，并借此将信息存储在书面作品中。因为在人脑之外创建了辅助存储空间，书写极大地提高了人类智能和追忆信息的能力。我们倾向于认为这种文化改进是非常好的事情，以此类推，我们也应该对生物优化持有同样的看法。

在支持优化时，许多超人类主义者的论证都集中在特定类型优化的积极方面。如上所述，提升幸福的权利或义务与人们对幸福的普遍渴望有关。增强美德的权利或义务则关乎改善生活，让世界更美好。增加智力是为了发现宇宙真相，认清我们在宇宙中的位置。延长寿命则是为了拥有更加丰富而充实的生活。

## 反对者的论点

直到20世纪90年代后期，对超人类主义的反对声几乎都在说超人类主义所描绘的未来是不可能的，而不是不可取的。技术可以从根本上优化人类的观点被批评（讽刺）为就像科幻小说。1996年，第一只克隆哺乳动物多莉羊诞生，形势开始发生变化。超人类主义的批评者开始不情愿地承认，超人类主义者的某些提议或许在技术上具有可行性，此后，他们的批评开始关注其可取性或道德正确性。

莱昂·卡斯（Leon Kass）曾在小布什设立美国总统生物伦理委员会担任主席，他表示，超人类主义是一种会导致自毁的狂妄。卡斯认为，努力和奉献与人类最深切的愿望和目的紧密相连。通过超人类主义达到目标，一切都变成了技术问题，个人的努力就没有意义了。麦哲伦在1521年前后环游了世界，这是人类精神的令人钦佩的胜利。今天，我们可以通过购买机票重走麦哲伦的航线，但是这样的旅程很难被描述为人类精神的胜利。然而，卡斯的反对声是否值得关注，取决于下面这种说法究竟是否合理——如果在生物学上改进人，我们将无法找到挑战自己的新目标。

弗朗西斯·福山（Francis Fukuyama）担心，超人类主义者会破坏现代政治的平等基础：我们有着共同的人性，这种共性是政治稳定性和合法性的基础。福山煞有介事地提出过一个著名的问题：“一旦我们真的能够培育出背负马鞍的人，以及穿靴子戴马刺的人，他们的政治权利会发生什么变化？”一个回答是，我们拥有技术，可以创造背上背着鞍的、屈从的人，但这不一定意味着我们应该甚至一定会创造这样的生物。事实上，我们担心这一结果的原因在于，我们知道在整个人类历史中，总有人在剥削并奴役其他人。但是，提出遗传美德的超人类主义提供了摆脱而不是延续这种趋势的希望。

新西兰哲学家尼古拉斯·阿加（Nicholas Agar）对超人类主义提出了一种在哲学层面上较为复杂的批判。假设人们使用先进技术提高了宠物狗可可（Coco）的认知能力，可可的大脑被放大到人脑大小，它也有了支持语言功能的神经结构。它的嘴、舌头和咽喉被改进，可以发声，它的前爪得到改良，有了对生拇指和赖以控制精细运动的手指。因此，它可以熟练地打字、穿针，等等。可可不断开发新获得的语言、认知和行能力，它开始上小学，不久就毕业去了高中和大学。过去的生活对它来说似乎毫无意义：想到在街区附近散步或嗅闻灯柱时，它不再欣喜若狂。它不再满足于独自躺在床上休息什么的。当我们审视可可的优化时，这个过程似乎更适合被叫作可可的摧毁。现在的可可几乎完全没有过去的担忧、信念和愿望。我们对它的改造太过彻底，它不再是原来的那个可可。实际上，阿加的论点是，超人类主义不会优化人类，反而会导致人类消失。反对超人类主义的这一论点让人想起亚里士多德的观点：一个人可以祝朋友得到最好的东西，但不可以祝朋友成为神。这样的愿望改变了朋友的本性，这意味着朋友不再是朋友本人。与之类似，阿加认为，超人类主义无关人类的渴望和欲望，超人类主义者只是创造了具有非人类欲望和渴望的生物。

许多对超人类主义的批评都集中在根本优化的具体建议上。提升幸福的想法被批评为太像赫胥黎的《美丽新世界》，真正的幸福会被摧毁。超人类主义畅想的人类道德水平提高也受到了批评，因为这会使个人失去自主权或自由意志。批评者反对从根本上增进智力，因为这可能导致“邪恶天才”的诞生。超人类主义者坦然地进行了反驳。有一个论点聚焦于我们对“无辜伴生物”的看法。由于在遗传方面走运，总有一些人天生比别人更幸福、更道德、更聪明。超人类主义者认为，没有人认为这样的人缺乏真正的幸福，缺乏自由意志，或者很可能变成邪恶的天才。因此，超人类主义者认为，设想遗传优化会导致这种不良后果是完

全错误的。想象一下，有两个受遗传因素影响比大多数人更幸福的人，一个人的基因组经过基因工程改造，另一个人靠运气获得了遗传素质。如果没有人告诉你，你就不会知道谁是哪种情况。因此，说这两个人中的某一个缺乏真正的幸福在道德上似乎太武断。超人类主义者拒绝接受这样一种观点，即天然与人工之间存在道德上的根本区别。

## 文化考量

超人类主义就人类未来提出了重要而深刻的问题。我希望读者明白，超人类主义的很多断言将成为21世纪的核心问题。一篇文章无法讨论可能受到超人类主义影响的所有领域，即使只是概括性地讨论。但最后，让我大致介绍一下另外几个需要考虑的问题。第一个是超人类主义与宗教之间的关系。虽然人们可能认为宗教必然与超人类主义相对立，但摩门教超人类主义者协会（Mormon Transhumanist Association）却是历史最悠久、最活跃的超人类主义者社团之一，也是推动宗教与超人类主义深度融合的几个组织之一。第二个问题关乎人造人，比如人工智能和机器人。而超人类主义与艺术之间的关系尚未开始讨论。超人类主义和政治之间的关系只在本章中顺带提及，但是支持超人类主义的候选人已经在几个国家竞选政治职位了。

最重要的是，这里没有提到全球性灾难的风险。正如他们关注先进技术的正当使用，超人类主义者同样关注如何避免不良后果，但确实，许多超人类主义感兴趣的先进技术不仅可以行善，也可以作恶。

# 第三部分 网络的未来

THE FUTURE ONLINE

云计算与物联网/网络安全/人工智能/量子计算

# 云计算与物联网

## THE CLOUD AND INTERNET OF THINGS

文/娜奥米·克莱默（Naomi Climer）

在未来社会，我们的生活将因云计算技术与物联网（Internet of Thing, IoT）的强强联合而发生翻天覆地的变化。简单来讲，云计算技术为我们提供了通往海量存储、运行、应用和服务资源的渠道。它的出现，使得我们不再需要把什么都安装在自己的电脑里，我们只要知道从哪里获取这些功能就好。事实上，如果你在需要时用到它们，你会发现你能够获取、利用的资源远超个人电脑所能承载的。而且，一旦我们将信息和文件上传至“云”之后，其流动性将会大大提高。不管你是在巴黎还是去了开罗，都可以顺利地收发电子邮件；即使你和老板没有同在芝加哥或东京，你们也可以顺畅无碍地远程在线沟通；到了下班时间，你还可以在奈飞（Netflix）这样的影视平台上看电影或电视剧。今天，云计算技术的广泛运用已经大大方便了我们的生活，让我们的工作与娱乐方式也变得更加灵活。

与此同时，云在公司管理上的运用，也让多人协同办公更加方便。即使数据和设备都在异地，很多人也可以就同一任务进行远程合作。例如，在工业生产领域，专家可以在线提供技术支持，远程指导工作人员，这对工厂的生产运作来说极为重要。而在文化创意行业，以往电视台在报道奥运赛事时都要派出大型的导播团队，现在只需要派一部分工作人员到现场报道即可，大部分工作都可以在电视台本部完成。然而，想要实现以上这些技术突破，光靠网络还不够，我们还需要与此相关的协同工具。（如果你和十个人一起开过语音会议，就会知道安排每个人的发言时间有多难，但增加一个简单的可视化辅助工具，比如“举手”功能，整个会议就可以进行得更加顺利。）这类虚拟协同工具的质量和创意将成为未来云应用的关键动力。未来，人和人之间的联系将更加紧密，上面提到的这些只是一个很小的侧面。云计算技术将为这一切提供不可替代的作用。

如果互联网是一张搜集和交换数据的大网，那么物联网就是一张搜

集和交换汽车、冰箱、温控器等各种实物的大网。在2016年，全球互联网数据统计网站（InternetWorldStates.com）曾经估测，当时互联网用户的总人数已达37亿。到了今天，在互联网上流通的实物数量要远远超过人的数量。有人预测，截至2021年，前者的总数将达到500亿。如今，帮助减肥人群监测体重变化，帮助病人持续监测心率、血糖变化的智能设备都已经出现在了我们的工作和生活中。这些设备可以应用在家庭护理领域，帮助我们照顾老人和孩子，而它们都是物联网的构成部分。虽然这些智能设备才刚刚进入我们的生活，但围绕其展开的讨论已不绝于耳，从宏观层面上的社会影响和作为问题解决方案的有效性，到微观层面上对个人隐私与安全的影响，不论我们怀揣着怎样的忧虑，这股智能化的发展趋势都已不可阻挡。

尽管来自国内外的竞争压力不可小觑，但为了其中巨大的经济效益，各行各业都在默默尝试引入物联网技术。例如，风力发电厂可以利用从传感器传回的信息，对扇叶挥舞时的角度进行调整，尽可能地从风中提取能量，这就像人们驾船时为提高航行速度而根据风向调整帆的角度，正确的操作最多能让帆船多获取25%的能量。工厂数据和供应商共享，元件可以自动在需要的时候实现订购。另外，在生产线上安装传感器可以帮助管理者对机器进行故障监测，防止生产延迟，保证生产效率。博世（Bosch）和空客（Airbus）等跨国制造商可以做到在不同国家的工厂之间进行数据分享，以保证各地工厂在遇到生产问题时，都可以得到技术专家的协助，便于进行管理。

物联网具有的另一个优势是可以进行大规模的数据采集。低能耗的廉价传感器可以安装在任何装置和设备上，持续不断地搜集关于个人、环境、系统的实时数据，这样既可以帮助预防输水管道渗漏，也可以对流感疫情进行监测。

有了从各处搜集来的海量数据，我们如何做出明确的决策？在未来，这将成为人们引入物联网技术后面临的一大挑战。这里涉及的转换过程通常被概括为“DIKW体系”：资料（Data）—资讯（Information）—知识（Knowledge）—智慧（Wisdom）。举个例子，数据是你现在掌握的一串数字，它可能代表了编号32的商品和它的销售截止日期，紧接着你可能得知编号32的商品是某品牌的牛奶，它的销售截止日期是昨天。那么接下来你可以趁这批牛奶下架前多买一些，毕竟这个时候购买最为划算。但是，这仅仅是一个非常简单的示例，在未来，当我们掌握了大量的透明数据后，如何能从这些数据中提取重要信息，从而采取正

确行动将成为一大难题。在人力市场上将产生与数据科学相关的新职位，企业和组织都会寻找能帮助他们分析数据的专业人员。这些人能帮助我们正确地发问，为我们发掘、构建重要的数据模型。

很有可能，在未来的几十年，世界上的大多数人将在城市居住。毫无疑问，大量人口的涌入，将给城市在能源、教育、医疗和交通等诸多方面带来巨大压力。为了应对这些挑战，围绕“智慧城市”这一概念，许多国家、地区的政府开始尝试让医疗、教育和交通等多个领域的网络管理系统互通，开发能让市民生活更便捷的技术应用。仅仅在英国，就有格拉斯哥、伦敦、布里斯托、彼得伯勒四座城市在努力推进“智慧城市”计划。这里少不了各种智能设备的影子：洛杉矶有方便盲人过街的交通信号灯，伦敦尤斯顿车站（Euston station）有智能垃圾箱，内置传感器能高效地协助垃圾分类。美国“大肚”公司（Bigbelly）、芬兰恩沃尔公司（Enevo）、韩国E立方公司（Ecube Labs）都是尝试利用新科技手段解决垃圾回收处理问题的企业，现在世界各地都有这些公司生产的智能垃圾箱。它们的内置传感器可以预测垃圾装满时间，而且能在装满后将最短的垃圾收集路线发给清理人员，方便他们尽快赶来回收。只不过，虽然智能垃圾箱是一项很好的技术发明，但垃圾清理人员还是需要花时间来适应这项技术，调整他们的工作方式。

从以上事例中我们也能看到，未来我们要允许物联网、智能技术走入我们的生活。不论是涉及交通运输，还是在医疗与教育行业，物联网技术的优势在于，它能将看上去互不关联的事物联系起来，从而带来新的发明。一旦这种联系能够成功搭建起来，那么行业的服务质量和从业者的工作效率都能得到提升。不过，这与其说是一个技术难题，不如说是一个实际操作问题，企业和政府部门在此之前从未协同办公过，双方均需要不断努力才能达成这件事。目前，已有五个国家的政府部门依据开放原则协同促进虚拟经济发展。这五个国家分别是爱沙尼亚、以色列、新西兰、韩国和英国，它们不仅“身体力行”地诠释了信息公开透明、注重国际合作的办公原则，而且还在进一步地对其进行完善。

基于云计算和物联网的另外两项技术突破是VR（Virtual Reality，虚拟现实）和AR。这两项技术在游戏和主流商业市场的应用已极为普遍，现在它们也出现在了其他领域。利用VR技术，建筑师可以将自己的设计进一步可视化，房地产经纪人可以带客户参观、查看未建成的新屋，造船公司、飞机制造公司、石油公司在重大项目投资前，可预览最终成果的虚拟图像。还有一些工厂为技术工人提供了AR头戴装置，以

帮助他们获得实时操作指导。虽然VR和AR技术面世时间不算长，但它们极有可能成为教师和医生的好工具，不论是将其用于工作还是进行娱乐消遣，这两项技术都有着巨大的潜力。

另外，除了现有的技术，我们还可以发掘物联网和云计算技术所具有的无限潜能，尝试解决一些棘手的全球问题。

随着越来越多的传感器出现在我们生活中，医疗健康产业也将有进一步的发展。这些传感器将帮助我们监控自己的身体状况和心情变化，鼓励我们更有效地做好健康管理，不管是在白天还是晚上。顶尖运动员早已把相关技术用到了极致，帮助自己达到最佳竞技状态。金融等高压行业的从业者每天要承受不小的压力，有的公司已经尝试监测员工的压力值，及时跟进、了解、控制工作环境带给人的负面影响。也许到了将来的某一天，我们能从身体传感设备那里获取不同类型的实时数据，对自己的身体状况有全面而动态的了解。我们的智能冰箱能根据它发送的数据，自动为我们订购大量的水果和蔬菜。当我们发烧时，中央供暖系统会接到通知，提高温度，以防我们再次受凉。病情加重时，设备还会帮我们打电话找医生，甚至可以在预知我们身体不适的情况下，主动帮我们取消第二天与他人的工作会面。

未来，远程医疗设备的诊疗和护理功能也会有所提升，老年人大多数时候可以在家接受诊断和治疗。机械外骨骼和假肢这样的可穿戴设备很有可能在融入物联网之后得到极大的发展，因为这将引入以人体机能为基础的新型控制机制。例如，这些设备可以通过平板电脑发出的指令活动身体，触摸仿生公司（Touch Bionics）研发的智能仿生手（i-limb）就可以通过手机上的应用程序来操作。

通过分析物联网提供的海量数据，我们可以找到新的模式，这将帮助某些领域的研究取得革命性的突破。举个例子，斯坦福大学利用大数据进行疾病分析，研究某些疾病如何让人的基因发生突变，导致药物失效。研究人员最后得出结论：目前市面上许多针对特定疾病的药物毫无作用，但在其他一些疾病的治疗上又颇有成效。鉴于新药临床试验的资金投入和时间成本巨大，这一发现意义重大。但是，与此相关的临床数据也应该足够公开透明，供所有人了解和使用。目前，美国和欧洲的制药公司已同意与相关机构分享临床数据。未来，我们也可以期待在其他行业看到类似的技术突破。

个人的疾病治疗方案也将变得更有针对性。大数据应用不断渗透个



人生活，医生在下诊断和制订治疗方案前，极有可能先对患者的情况进行全面的分析，了解他的基因信息和个人生活（此人使用的在线社交平台，他的工作简历、运动爱好，他是否加入了某个葡萄酒俱乐部.....这些信息都可以作为依据），并且调取前一次治疗的药物反应，还有相关病症的研究资料。当然，想要让这一构想成真，我们还需要先解决各种与隐私安全有关的重要问题（关于这点，下文会有更多介绍），但大数据分析技术在医疗健康领域的应用前景不可小觑。

物联网和云计算技术还有一项未完全展露的优势，这关乎它在全球教育领域的应用。社会的结构在发生改变，理论上说，这两项技术的出现能让全世界的每一个人都有机会学习现代人必备的知识和技能，为迎接知识经济时代的到来做好准备。但这当中的最大问题是：我们能否让每个人都接触到互联网？这不仅是联合国和世界经济论坛已经注意到的问题，而且也是Facebook、微软、谷歌这样的科技巨头，以及各界名人、慈善家致力于解决的问题。

对于许多为生活奔忙的普通人来说，物联网和云计算技术所打造的虚拟世界以数据为驱动力，交互充分，效率极高，能满足个人需求。因此，这两项技术有不小的潜力，不仅可以协助节约家用能源、减少食物浪费，提高工作效率，还能满足医疗健康方面的个人需求。

然而，实现这些梦想的道路上还有很多的阻碍，总体可以归纳为四点：安全问题、覆盖率问题、能源问题和社会问题。

首先，相关技术在个人隐私和信息安全方面就有一连串的问题。个人要面对的主要就是个人数据的安全问题。如果想让物联网技术充分发挥其威力，智能设备需要全方位地搜集个人的信息。获取信息的阻力越大，它就越难提供周到的服务。从某种程度上来说，这是个人选择问题，可不论怎样，设备的安全系统首先要足够强大，除此之外，养成注意保护信息的网络安全意识同样也很重要。当然，这里还有许多与网络巨头有关的问题，苹果、Facebook和谷歌这样的大型科技公司，以及各国政府都掌握了海量的个人信息。企业和机构可以利用这些信息，为我们提供高品质的定制化服务，但数据被滥用的概率也大大提升了。需要注意的是，私人定制服务和信息窃取行为往往就是一线之隔！保险公司有可能根据你的健康数据提高你交纳的健康保险费用；你个人生活方面的数据有可能成为报税信息的核对依据；如果没有保管好个人信息，你的身份可能会被盗用，导致经济利益和人身权利受损。而到了今天，科技巨头掌握着用户个人信息的直接通道，收集的信息越来越多，收入越

来越可观，权力也变得越来越强大。这样的权力可以用来行善事，也可以进行剥削和恶意控制。全世界的政府部门和民间消费者组织每天都在与这样的庞大势力进行博弈。

对于个人和公司来说，任何与网络连接的设备都可能成为黑客入侵的通路。黑客是否可能通过控制你家的智能水壶来控制你的房子？政府部门是否可以入侵联网设备从而控制一家发电厂？糟糕的是，以上这些担忧都有可能成为现实。前几年关于黑客的网络攻击案例中，2010年的“震网”（Stuxnet）事故尤为具有代表性，这种名为“震网”的蠕虫病毒会感染伊朗核设施中的工业控制程序，修改程序命令，让核心设备（离心机）异常加速运转，最终使其报废。根据此后的新闻报道，伊朗全国五分之一的离心机都被这种病毒摧毁了。而在2015年，乌克兰电力部门遭到了黑客的恶意代码攻击，八万人受到断电事故影响。这两起网络攻击事件让我们看到，未来的军事战场有可能延伸至互联网领域，敌对国之间有可能利用物联网和云计算技术制造打击敌人的武器。

同样是在2015年，几位高手成功向所有人展示了如何通过入侵车载多媒体系统来控制一辆行驶在高速公路上的吉普车。在这次出于研究目的的“善意入侵”之后，汽车制造业已加大了防范力度，以避免联网汽车遭到此类攻击。不论事关联网汽车、智能家电设备，还是某公司的商业机密，或是发电站和水坝这样的公共设施，个人、商业组织、政府面临的网络攻击威胁都是显而易见的。时评员和专业人士也一致认为，向网络攻击发起的反击战将会打响，在未来的几十年内，网络安全问题将成为所有人关注的头号问题。

更现实的问题涉及网络覆盖率。不论是光纤网络、无线网络，还是蜂窝网络，物联网设备只有与网络连接后才能派上用场。虽然在城市中上网很容易，但到了偏远地区，这点就很难得到保障。但是，网络连接是无人驾驶汽车、远程手术、遥感技术（如水文遥感）存在的先决条件，为了解决偏远地区的网络传输问题，全球已投入大量的人力物力。而移动通信下一个阶段的5G技术将有可能攻克这一难题，其更高的覆盖率、对数十万并发连接的支持将成为新的行业技术规范。毫无疑问，要想真正实现全面的、稳定的、高带宽的网络覆盖，需要电信、有线网络、无线网络和卫星通信技术共同发力。为了能更高效地利用网络技术，个人、民间组织、企业和政府之间的联系和合作也需要更加紧密。以后的产品需要将网络连接功能纳入设计考量，其他服务行业（如电信运营）也需要开始考虑如何满足交通运输业、医疗卫生业、娱乐业、农

业等行业的需求。为了能享受到优质服务，我们也愿意分享自己的个人数据，这样才能让所有人都接收到更为准确的信息。

随着网络覆盖率的提高，数据流也会大幅增加，相应的支持设施也要随之扩增。根据思科公司的预测，到了2020年，人们需要使用的数据量将增长十倍。数据大增是否会导致耗电大增？这样的争论已经不再激烈。根据英国《独立报》报道，在2016年，数据中心消耗了全球3%的能源，2026年，数据中心的耗电量将是2016年的三倍。为了应对物联网的需求，搜集、存储和运行数据的设备在不断增加，间接导致了这一增长，但这毕竟不是最重要的原因。一般来说，物联网传感器能获取的数据不算多，一个普通的传感器一年只能产生几百兆字节的数据，相比之下，视频播放一小时就需要大约一千兆字节的数据，这对数据处理和存储功能要求都很高。现在，视频已经占用了大量的网络资源，但娱乐、医疗、休闲和工业对影像的需求都在与日俱增。这其实是一个严肃的能源消耗问题，为了更丰厚的经济利益，各地的数据中心都在设法升级设备，提高能效。Facebook、谷歌和苹果等大公司都在尽可能地尝试利用可再生能源。有的企业将数据中心建在气候较寒冷的地区，以节省冷却费用，有的企业不断优化系统架构和操作程序，以此降低能耗。有人甚至预言，未来，为了遏制能源消耗的增长，人们观看视频需要领取配额缴税。

除了安全、覆盖率和能源问题，还有从技术进步衍生而来的社会问题，其中有一些前文中已经有所介绍。人们未来的工作问题就是一个例子：周边所有事物都智能化、自动化了，我们还可以干什么呢？未来有哪些工作是只有人能做的？我们在学校里要接受什么样的教育，才能跟上这个快速变化的世界？

人类未来的工作可以单独成为一个研究命题，而我们要重点关注的是未来工作的种类、就业教育，以及怎样成功建设“职业不分贵贱”的社会。芬兰、纳米比亚、加拿大和美国等国家已经开始就此进行尝试，例如给全民发放无条件基本收入（Universal Basic Income）或者缩短工作时长。在英国，苏格兰或许将成为首个进行类似尝试的地区。虽然，“人类将不用工作”的预言已被反复提及了几个世纪，但从历史来看，每一次新技术的出现都催生了新的职业，而且新职业数量往往都大于消失的职业。然而，这个预言一定不会实现吗？现在进行判断，恐怕为时过早。

除此之外，物联网技术还极有可能为共享经济体提供助力，在这

里，个人所有权将变得不再那么重要。现在，我们只需要在平台上付费就能听音乐或看电影，不再需要购买实体产品。在未来，我们也很有可能与别人共享我们的汽车、厨房甚至宠物。在韩国，“共享客厅”已颇受欢迎。普通的公寓太小，而年纪不大的成年子女时常离开小家，回去和父母一起住，因此，公共空间按小时出租是个不错的方案，年轻人可以在一个像家一样的舒适环境里轻松社交。另外，未来我们会越来越多地在外就餐，家中的厨房也变得越来越可有可无。有可能，未来的公寓设计会安排多个公共厨房，而不是每户人家单独有一个厨房。洛杉矶有的公寓内部就已经建有多功能停车场，一旦汽车共享成为主流趋势，这些停车场就可以“改头换面”成健身房或者电影院。而在纽约，在合理的监督机制下，你可以按小时租一只宠物狗陪自己散步。对于那些担心自己责任心不够，不敢养宠物的人（或是暂时需要多养一只猫解决家中鼠患问题的人），租一只宠物事实上是一个颇有吸引力的选择。但共享经济会不可避免地让制造业陷入窘境——从理论上讲，如果共享经济普及，那我们就不需要制造那么多商品了。随着服务业的繁荣，实体商品的需求量也会逐步下降。

总的来说，虽然仍有许多严峻的问题有待解决，但面对未来世界的许多重大变革，互联网和云计算仍将是最有力的技术支持与保障。为了看到未来的各种可能性，让这个世界变得更好，我们需要的是更棒的想象力和创造力——这很可能来自在网络时代成长起来的“数字原住民”。未来，我们的生活能否变得更好，企业的生产效率能否得到提高，某些全球问题能否得以解决，极大程度上取决于我们怎么发掘和释放物联网和云计算技术所具有的巨大潜力。

# 网络安全

## CYBER SECURITY

文/艾伦·伍德沃德（Alan Woodward）

都市传说不是真的，我们发明互联网并不是为了对抗核战。最早的互联网[以“阿帕网”（ARPANet）而闻名，由美国国防高级研究计划局（Advanced Research Project Agency）研发]是为方便研究者分享资源而生的。蒂姆·伯纳斯-李（Tim Berners-Lee）创建了超文本标记语言（HTML），万维网诞生，互联网的理念延续发展。到了20世纪90年代中期，互联网开始投入商用，情况发生了变化。我们很快就意识到，如果我们的财务信息要在便利但不私密的新网络环境流通，那么我们必须有办法保护自己的隐私，保障我们的信息安全。糟糕的是，这个崭新的线上世界——网络世界——原本的技术架构就不是为安全而设计的。网络犯罪无可避免地紧随在线交易而来，利用网络的致命缺陷作恶，由此，网络安全工作诞生了。

对于不断涌现的网络安全要求，任何有计算机的人都不会觉得陌生（最起码我希望他们不陌生）：个人计算机要安装杀毒软件和防火墙，设置密码要养成良好的安全意识，等等。犯罪分子越发狡猾，普通人只能不断提高警觉，注意更新安全措施。但问题没有消失。即便是《星际迷航》中史波克那样冷静的人，也会暴露可供犯罪分子利用的人性弱点。在网络“七宗罪”（冷漠、好奇、轻信、殷勤、贪婪、胆怯、冲动）中，冷漠或许是最致命的，认为自己绝不会碰上网络安全事故的人基本上都会碰上网络安全事故。在解决“PICNIC”（Problem is In the Chair Not In the Computer，问题在于使用者而非工具）即用户错误操作问题的过程中，许多计算机科学家甚至不再确定人类能够跳出这一死循环。

美国国防高级研究计划局也再次行动起来，发起了一项比赛，鼓励创建保护电脑免受网络攻击的人工智能安全系统，但其中不能有任何人力介入。2016年，这项比赛的首次决赛在拉斯维加斯举行，每年全世界的技术高手都会来这里参加黑帽和DefCon这类的科技大会，交流想法，展示最新的技术成果。

虽然野心不小，但第一届比赛十分朴素。国防高级研究计划局给了参赛者几个程序，让他们用各自打造的安全系统进行分析，查出程序是否会在进行特定输入后崩溃，接着真正的考验来了，他们要改进这些程序，避免它们再受到同样的攻击。

在这场网络安全的“夺旗赛”上，自动化系统与人针锋相对。最终的结果不太明确——每个系统都有一些出色的地方，也有一些不尽如人意的地方。有趣的是，当时“机器学习”这一概念已经诞生了，而“学习”可以说是电脑最擅长做的事情。得到的数据越多，它就越来越擅长辨别模式（比如识别黑客可以利用的漏洞）。现在，这已不是什么惊人的发现，许多专业团队已开始研究如何让机器学习理论在网络安全领域派上用场。

在这次比赛中，人工智能系统并没有比人类更好地辨别特定模式，但这没什么。毕竟，这只是初步的尝试。不过，这让我们看到，人工智能的确有支撑未来互联网安全工作的可能，这一趋势在此之前就有迹可循。在同一会场，正当比赛进行时，一家公司发布了一款杀毒软件，它被称作第一款具有“认知”能力的智能杀毒软件。这就是深甲（Deep Armor）。

深甲只关注网络安全工作的其中一个方面（杀毒），但要想做好这方面的工作，我们确实非常需要人工智能的帮助。因为人类（或者任何有人类参与的流程）根本无法应对如潮水般涌来的各种计算机病毒变体。现在，我们每天都要面对近百万种的新型网络威胁，其中大部分都是现有病毒的变体，每一种都需要先被辨认出来，之后杀毒软件才能知道如何消灭它们。但这样会使情况变得越来越糟，因为犯罪分子也可以利用技术避开杀毒软件。他们制造了如野外生物病毒一般可以变形的网络病毒——你可以掌握它正在运行的原型代码，但在几次感染后，病毒又会变得无法识别。这一切并不令人惊讶。深甲在面对这种情况时会启动一款类似人类免疫系统的杀毒软件——它被恰如其分地命名为“数字抗原”（Antigena）。

这种做法彻底改变了我们对网络安全工作的看法，重塑了我们的防御模式。互联网安全工作的第一阶段主要关注如何在一开始阻止攻击。我们的系统就像一座城堡，不论是你的家用计算机还是医院的电子病历系统，一切都在开启时进行了防御病毒和攻击的设置，但当所有人参与其中，使得人与人、人与计算机、计算机与计算机之间的联系构成庞大而复杂的网络时，这些原始构想都失效了。这种被称为“外围安全防

护”的措施已经失效了。现在，我们欢迎别人来城堡做客，但不会允许他们离开时带走城堡中最珍贵的王冠。我们既需要匿名访客准入机制，也要有识别可疑角色的能力。

最近的一项技术成果模仿了我们在许多城堡中已经见过的多层防御策略。我们可以允许人们在城堡的某些区域自由行走，甚至可以授权不同级别的人进入计算机宫殿的核心区，我们将王冠存放在最安全的区域即可。

事实证明，机器非常善于观察我们的行为，并能将其中一些与坏的征兆联系起来。事实上，你让机器观察得越多，它就越擅长辨认可疑行为，随着数据集增加，辨认的正确率也会有奇迹般的提升。由此看来，未来的网络安全工作重点已变得十分清晰：我们可以将所有的工作都交给电脑处理。但是，没有任何人为干涉，完全应用和依靠人工智能技术，这会引发一些颇耐人寻味的问题，关键在于，我们得首先教会机器如何工作。因此，我们会基于自己的利益对机器进行训练。

首先，互联网有可能成为人工智能善恶之争的电子战场。以后，我们的“电子防御系统”也许每天都会对抗电子病毒感染，我们要习惯这样的生活，就像我们自然而然地生活，不必知道自己体内每天都有“生理战争”。大多数时候我们不会发现免疫系统在做什么，但有时我们会知道自己被感染了，需要服用抗生素。而且，如果病毒比免疫系统威力更大，那么病人就会死去。在有些情况下，我们无法给自己的系统杀毒，我们只能抹掉它，然后用干净的软件进行重装。这种情况很早就出现了，个人计算机被勒索病毒感染就是一个典型的例子，遇到这种情况，除了重装系统，你别无选择（假设你没有在怂恿之下支付赎金）。当然，最重要的是给计算机做好数据备份，这才是个人计算机里最有价值的部分，是你重新开始的必需。

另外，我们能允许人工智能对我们的生活享有多大的控制权呢？我们可以不执行人工智能授意的操作吗？也许你认为我们当然有权说“不”，但糟糕的是，这个时候“七宗罪”再次出现了。设想一下，你正要打开一个网站，人工智能却监测到这里有问题，并且警告你不要有进一步的操作。这时，你也许希望有个拒绝按钮能让你跳过这个警告，而科学研究也证明了人类有这种忽视警告的倾向。这也许是因为我们冷漠或者有好奇心，也许纯粹是因为我们不喜欢服从命令。不论你是怎么想的，这个时候继续操作，你的系统就很有可能会被感染。如果你有这样的忧虑，那也许让人工智能完全掌握控制权的确是最好的。

相关研究显示，以后我们会碰到无数这样的警告，最后，我们总会忽略它们。这种心理现象有一个专门的说法——“安全性疲劳”，它会导致人们行事鲁莽。为了避免发生这样的情况，人工智能在未来要学会判断哪些是最为严重的安全隐患，警告数量达到多少就算太多，人工智能还要在发出警告前判断、筛选出有效警告，这样才能引起我们的重视。不过人工智能不会通过练习获得判断力，只有我们人类会这样，人工智能只会简单地说“是”或“不是”。

这也给我们带来了另一种困扰，那就是什么人需要把控制权交给系统。例如，你是否可以命令人工智能审查你浏览的网站？这些问题最终会让我们思考网络中究竟有哪些内容是有害的。如今，网络安全工作已经开始避免未成年人浏览载有极端信息和误导性信息的网站。就算未来的人工智能可以让我们免受好奇心之苦，谁又来定义这个界限呢？我们要让人工智能来判断和决定什么有害吗？许多有识之士已经看到了这种做法不可取。即使没有令人生厌的强制性引导和保姆化设置，发展到一定程度，人工智能也可以将网上的所有发现都判定为有害。“有害”这个词的定义将变得暧昧不清。

在下一个十年，我们要决定究竟是让人工智能系统保护我们，还是依赖现有的传统措施。这个决定不简单，为了公众的利益，所有人都要积极地参与讨论。如果我们不想要人工智能安全系统，而传统的安全措施渐渐失效，那我们还有其他选择吗？也许有吧。

假设我们一定要介入网络安全的怪圈。没有我们参与的情境会出现什么问题？以物联网为例，这是一支规模不断增长的智能产品军队，如果它们可以避开我们进行交流，那怎么办？冰箱、水壶和烤面包机以后都可以与网络连接，为我们提供更便捷的服务。虽然你的水壶没有什么值得黑客侵入盗取的宝贵数据，但它有可能成为“僵尸网络”的一员，黑客可以用它来发动分布式拒绝服务攻击（Distributed Denial of Service, DDoS），向某个系统发送大量无用数据，导致系统无法为正常的用户服务。物联网日后的规模是现在的我们难以想象的，未来会有数以百万计的设备连在一起。黑客有能力操控过剩的闲置设备。我们有可能要面临一个很可笑的局面，看着自己的国家被本国的产品给掌控了。

所以，让我们回到底层，也就是互联网创建的技术基础。我们可以对其做些修改，比如，无论做什么，你在网上的用户身份都是明确的，和你在网上交流的人用户身份也是明确的。收到一份电子邮件时，你能马上知道发送者的身份。如果一家网站上有恶意软件，那你的系统就能



立即追踪和屏蔽它；如果有袭击者在探查你的电脑系统，你能马上知道他的身份和来历。不过，要做到这些，互联网协议就要升级到第6版（IPv6）。这项协议自20世纪90年代就已存在，也许它正在你的电脑上运行，但我们目前还是没有将其推广成功。大部分人觉得继续使用第4版互联网协议（IPv4）没什么问题，但事实并非如此。

如果想获得网络安全方面的保障，我们需要的不是新电脑，而是：第一，我们要采用第6版的互联网协议；第二，每个人都要心甘情愿地创建电子版的真实身份。这就是问题所在，并非所有人都愿意有一个明确的电子身份。人们已经习惯将网络视为远离现实规则束缚，可以来去自如的地方。另外，我们很喜欢以匿名身份浏览各类网站，有些人甚至做得更彻底，为了保护自己的匿名身份，他们用“洋葱路由器”（The Onion Router, TOR）隐藏自己的第4版互联网协议地址。

当初，美国海军研究室出于善意研发了TOR，但现在，TOR的“隐藏服务”使它臭名昭著。有些网站只能用TOR打开，浏览时真实地址无法定位，这就是人们口中的“暗网”——一个能进行任何交易的地方，从毒品到大规模杀伤性武器的零件，你都可以在那里买到。现在，各种虚拟货币在暗网上流通，其中最为人所熟知的便是比特币。设计者原本就是想让这些加密货币成为电子货币的等值代币，它们不仅不易追踪，而且流通性很强。所以，欧洲刑警组织（Europol）发现全球40%的黑钱都以这种货币的形式流动，这完全不值得惊讶。

正因如此，执法部门也在加大力度查办这些暗网上的非法行径。利用技术，执法人员也能找到方法，破除暗网提供给犯罪分子的“匿名身份”。然而，这是一场关于技术的持久战，一旦我们发明了揭露犯罪分子真面目的技术，那么掩盖他们身份的技术也会升级，执法部门的努力可能功亏一篑。即使我们发现了对方的致命缺陷，很快也会有新的技术产生。举个例子，TOR在一定程度上依靠自愿加入的人提供的节点保证用户匿名使用系统。一旦执法部门用同样的方法建立节点，就可以抢先了解暗网上的各种动态。接下来，这项技术会升级，以便保护其他暗网用户的匿名状态，使其免受“坏洋葱”（执法部门）的破坏。由此，有隐形网络之称的P2P暗网诞生了。与广为人知的TOR不同，它虽然遍布整个网络世界，却隐藏在这个时代的喧嚣背后。

经过加密的电子货币（加密货币）也存在这种情况。这里使用了一种名为“区块链”的技术。在这里，所有的交易都是公开的，没法被伪造或推翻，而且完全可以匿名进行。刑侦策略里最基本的操作便是“跟着

钱走”，但经过技术上的设计，即使是比特币这种声名在外的加密货币也会让这个策略很难生效。就算有技术介入，能保证执法部门查清钱流向哪里，也会有新的电子货币诞生。为了对抗警察的网络追踪技术，还有人发明了“零货币”（ZeroCoin）。

就算第6版互联网协议和它的安全附件在未来会成为默认的网络安全设置，只要不愿遵守法律规定的用户以及犯罪分子依旧希望保持匿名状态，像TOR这样的技术还是会存在（即使不得不进行结构上的调整），这就使得引进第6版互联网协议没有丝毫意义。第6版互联网协议和配套的安全措施目前没有成功普及，支持者的热情还在。我们迟早会接纳这一技术。不过，我们最终仍有可能身处一个分化的互联网世界：在一个世界里，人们愿意进行身份认证但有可能被追踪；在另一个世界里，人们希望远离身份认证系统。有些国家的人没有选择，但你可以把这些地方想象成有围墙的花园，你在其中进行任何活动都可以免于袭击。但是，如果你将这个带围墙的花园视为镀金的鸟笼，那么你也可以离开，转身去另一个残存的互联网世界，那里更像是未经开拓的美国西部。这个选择权在你。也许你会发现，逃离了围墙花园的庇护，你就再也回不来了。毕竟，对于一个封闭的无菌环境，离开后想再回来的人必然需要接受一系列检查，因为他保不齐就带了脏东西回家。

黑客则会盯上那些在安全区活动的人。他们必定会想法儿潜入安全区，坑害没有防备意识的用户。今天，我们都知道黑客的社会工程学手段。例如，他们会给我们发送熟悉的电子邮件地址或者部分个人信息，诱导我们打开某个未知链接。如果这些突然出现，那么这些诡计会更容易影响我们。在有墙保护的花园里发动这样的攻击虽然不容易，但这迟早会发生。

作为我们这个有墙花园的一部分，物联网设备将成为黑客瞄准的弱点。研究一下银行抢劫案例你就会知道，得手的大盗不会从前门攻入，他们利用下水道偷偷潜入，等内部人员发现财物被洗劫一空时，他们早就逃之夭夭了。虽然没有哪个网络世界是绝对安全的，但未来的网络世界总会比我们现在的安全。问题是你要选择这道墙的哪一边。

也许未来的网络世界会有两套截然不同的治安。在安全区，我们仍然需要警察，即使他们只负责处理商业纠纷，或者像街区巡警一样，负责了解一个区域所有住户的情况，必要时进行私下问询。在安全区外，我们需要的是美国西部警长那样的治安人员。这些网络警长是特种技术人员，有权追捕和缉拿网络罪犯。这样的专业警察在其他领域也有，举

个例子，当伦敦地铁开始运营时，新形式的犯罪尾随而至，英国交通警察局因此正式成立。恐怖分子盯上民用飞机，空警越发警惕，加紧防范。互联网遍布全球，在未来，我们也许需要联合国的网络维和部队来维持安全区外的秩序。关键问题是谁可以授权这些网络警察采取行动。

不论是在这种安全区的内部还是外部，我们都要面对一个核心问题：应该采用何种法律？当下现实中的法律执行范围要依国境而定，但遵循这个原则，我们就无从打击网络犯罪了——即使我给别人发送了数不清的诈骗邮件，成功骗到了一个外国人的钱，那我也不太可能被人追捕，更别提被起诉了，毕竟我没有拿着一把短管霰弹枪走进银行。而且，网络犯罪能带来暴利，一旦得手，那就是以一分投入获得十倍回报，而且其中的风险很小。所以，毫不令人意外，情节恶劣的网络犯罪正是现在最严重的一种罪，但我们到目前为止还没有独立的网络执法部门。

为了应对这些问题，我们可以尝试采用通信或飞机航线的管理方法，协商并制定国际条约。然而，网络空间的情况更加复杂。人们花费了数十年的时间才在飞机航线、电报通信和电话通信领域厘清哪种情况要采用哪国法律，这些领域相对而言还不算广阔。一开始，我们认为所有人对网络犯罪行为的界定都一样，但事实并非如此。举个例子，世界上有许多国家达成共识，会一致保护文字工作者、音乐家和电影制作者的版权，不论是否在本国，他们的权利都会得到保护。但是有些国家（尤其是原属苏联的国家，还有东欧和亚洲的一些国家）在版权保护上的行动严重滞后。所以，毫无意外，这少数几个国家要为大部分盗版作品的传播负责。

也许，最后我们会面临这样一个局面：在秩序混乱的网络环境中，网络警长本人代表法律，或者他与网络治安会会员一起维持法律与秩序。这不是什么新现象。现在，我们起码能保证执法部门公平执法，任何人触犯法律都能立即受到惩处。过往历史也告诉我们，在法律制度缺位的环境里，民间自发的治安往往会施法过重。

所以，我们现在处境尴尬，进退两难：要么采用非黑即白的人工智能安全系统，要么接受网络警长易出错的人为治理。事关未来的互联网安全，这的确不是一件能够轻易决定的事。唯一能确定的，就是犯罪分子总是会钻执法部门的空子，我们要么团结一致保护自身安全，要么将这份工作交给某个人或某个事物，比如电影《地球停转之日》（*The Day the Earth Stood Still*）里维护和平的机器人戈特（Gort），或者《义

海倾情》（*Wyatt Earp*）里的那位英雄，这由你来决定。

# 人工智能

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE

文/玛格丽特·A.博登 (Margaret A.Boden)

虽然我们没法确切预知人工智能将来会出现在哪些领域，但我们很容易知道它不会出现在哪儿——反正它不会藏在石头底下。未来，人工智能技术的存在将是普遍的、必然的。

我们早已在社会的各个角落看到人工智能活跃的身影。它是所有互联网研究和手机应用程序的核心。它出现在GPS导航、电脑游戏和好莱坞动画片中，出现在每家银行、保险公司和医院，当然，它还出现在智能手表和无人驾驶汽车上。

在未来，它会出现在各个地方：法庭、办公室、老人的家中……甚至婚姻登记所。火星探测机器人将有数不清的表亲在仓库工作。物联网还能将可穿戴装置（可监测我们的位置、运动状态和血压）与我们家中、办公室、街道与餐馆的总控装置连接。这可不是“老大哥正在看着你”，这更像是数不清的“小兄弟”在不停地说着话。

人工智能的发展极其迅猛——事实上，它早已开始。几十年内，数不清的人工智能应用将重塑我们的生活。企业的发展将极大地依靠人工智能技术。比如，根据人工智能技术提出的医学和农业方面的专业意见，可以传递给离现代医院或农学家甚远的人，发展中国家也会受到影响。

这一切之所以能够实现，一个重要原因在于机器学习对大数据的利用，这使得大量的信息被用来分析人类的行为模式和倾向。这就是人工智能领域的深度学习技术，现在距离它首次提出已有二十多年，但当时的计算机性能不够强大，所以深度学习一直无法投入实践。但在过去的几年里，计算机的性能和存储容量已有了极大的提高，能保证今天的机器学习以每秒100京次运算利用存有数十亿数据的数据库。

这种类型的机器学习能在大量的数据集和不同层级的细节中找到模式。举个例子，大数据也许包含一座城市的公路上所有小型汽车和卡车当下的行驶速度和位置，每个交通信号灯的最新动态，或者包括一个地区乃至一个国家所有医院的病历，其中记录着每个病人的症状、用药剂量和效果。

人工智能系统并不设置“做完这个做那个”的传统程序。它由多层神经网络构成，上一层网络的输出是下一层网络的输入。每一层包含成千上万个单元，它们彼此之间传递信号，直到形成稳定的数据模型。通常，这些模式是全新的、出人意料的，就连运行系统的人也无法提前发现。

在2016年，由谷歌深度学习部门开发的围棋软件战胜了世界第一围棋手——这比战胜国际象棋冠军要难得多（1997年，IBM的计算机“深蓝”做到了这一点）。但在当时，这仅仅被视作一次竞技游戏，相关技术让人印象深刻，却无实际功用。然而现在，从各国政府到全球资源雄厚的大公司都已经开始运用人工智能技术。随着这项技术的研发成本逐渐降低，可以投入应用的天地将变得越发广阔，它在未来将渐渐延伸至社会的各个领域。

也许你认为深度学习已发展到“今天付诸行动，明天就能得偿所愿”的惊人地步，但事实并非如此。虽然这项技术的学习系统已十分强大，但我们对它的运行原理仍不大清楚。用行话来说，这就是“黑盒”——虽然系统的输入与输出可见，但我们对其内部究竟如何运行仍然所知有限。设计者或者程序员并不完全清楚它究竟如何工作，所以他们也没法准确预测其下一步行动。在充分意识到这一问题后，人们投入了大量的人力和财力，但没人知道究竟什么时候能解决这一难题，我们甚至不能确定这些“黑盒”能否变成相对容易理解和控制的“灰盒”（在“不能解决”与“解决”之间，能够让我们先明白原理，充分了解运行规律的系统），我们也许永远得不到答案。

所以，我们要谨慎对待未来，有些事情远比大多数人想的复杂，比如通用人工智能（Artificial General Intelligence，简称AGI）。这涵盖了艾伦·图灵和在他之前的人工智能先驱所追求的目标。他们希望人工智能能像人类一样懂得举一反三，知道如何随机应变。虽然先驱目标一致，但这个目标实现起来尤为艰难——人工智能最终不仅要具有解决各类问题的能力，还要自如地开口说话，看得见也听得见，除了会学习，还有创造力。当然，它还要有行动能力，比如可以操控机器人。换句话

说，这个我们理想中的程序与我们熟悉的计算机程序和手机应用软件全然不同，后者只关注一个领域，专而不全。

最开始，研究人员对通用人工智能寄予了很高的期望。在1959年，有一个程序甚至被命名为“通用问题求解器”（General Problem Solver）。从理论上讲，只要能够按主次分解成多个小问题，任何问题都可以依序解决。（事实上，程序员在编写程序时，就是要将问题用这种方式进行陈述，这可以说是编程时最难的部分。）

这个程序成功解决了传教士和食人者的渡河问题——三个食人者和三个传教士要渡河，但他们眼前只有一条能载两个人的船，无论是在岸上还是在船上，食人者的数量不能比传教士多，否则传教士会被吃掉，那么如何让所有人顺利渡河呢？这一成功可谓非同凡响，因为这道题里面藏有陷阱（你也可以开动脑筋想想）。当时，这个问题是人工智能的标准测试题之一，所以当一台机器正确回答了这个问题，专业人士当然是非常兴奋的。

为了能提升其性能，扩大应用范围，研究人员投入了不少心血，但还是举步维艰。到了20世纪70年代末，许多人工智能的研究者开始将研究范围缩小，研发所谓的“专家系统”，例如专门诊断某种疾病以及为此类病人制订用药方案的系统。当时，各种以实例为基础的知识（例如医学诊断）被源源不断地输入人工智能系统中，“将世界上的知识放入人工智能系统”成了从业者的信条。

今天，“专家系统”这个词已不再新潮，现在的此类系统包含了各种实例，可用来处理或简单或复杂的任务，从石油勘探、机器翻译、面部识别到寻找离你最近的印度餐馆。在21世纪，人工智能的研究仍然集中于这种服务单一领域的系统。通用人工智能明显不在此列。如今，通用人工智能研究再次变得如火如荼。（下文的LIDA认识研究模型就是一个例子。）但是，目前还没有哪个通用人工智能系统像图灵设想的那般“通用”。

也许IBM公司沃森计划（Watson program）的拥护者对此持有异议，他们会说人类已经掌握了通用人工智能技术。毕竟在2011年，沃森战胜了《危险边缘》（Jeopardy!）的两位冠军。在这档智力竞赛节目中，选手不会被直接提问，他们要解析线索，说出答案可能对应的问题，例如，选手不会面对“法国的首都是哪座城市”这样的问题，他们会收到“这座城市的名字是某一连锁酒店的女继承人的名字”这样的提示。

这样的问题需要答题人利用发散思维，进行广泛联想。

沃森在《危险边缘》中取得的多次胜利毋庸置疑，这的确值得设计者为之自豪。但沃森的认知方式依然不同于我们。举个例子，当沃森遇到一位残疾运动员时，它会正确地将注意力放在这位运动员的腿上，但它无法靠数据库真正理解“失去腿的运动员”意味着什么。即使程序员在后来突显了“残疾”这一词的重要性，防止程序对事实做出错误判断，事情的本质也没有改变。如果换作一个人遇到这位运动员，他显然能够知道缺失一条腿对这位运动员的运动技能和日常生活造成的影响，所以他从一开始就会知道缺腿意味着残疾。这种与人类及其日常生活的关联，是所有通用人工智能都要面对的巨大烦恼。如果人类为它们简化事实，那么人工智能就不知道怎样才能做出和人类一样的反应。

换句话说，有些富有野心的人工智能或通用人工智能项目极其难以完成，即使在理论上可行（毕竟，人类的大脑也不是靠魔法驱动的），它们也永远无法投入实际应用。

一些认同奇点理论的人工智能专家却不这么看，他们大约在二十年前就猜想，到了某个时间点，作为机器的人工智能在不断快速提高自己的认知水平后，将赶上甚至超越人类。（此类预测多种多样，但许多人工智能专家预测奇点将在本世纪末到来。）一些对此坚信不疑的人认为，到了那时，全球的战争、贫穷、饥荒、疾病问题都会被一并解决，人类甚至有可能永生。

这样的观点其实颇有争议。比如，非人类的智能系统能化解中东政治危机吗？诚然，到目前为止，我们人类也没有很好地处理这件事。相信人工智能有这样的能力是一种信仰，这要求人们极其相信技术进步的力量，这对很多人（包括我）来说未免有点儿太过了：这里牵涉的政治敏感问题和历史背景问题太过复杂，人工智能在其中起不了多少作用。

在另外一些奇点信仰者的未来构想中，机器人将会接管我们的社会，到时候人类将面临灭顶之灾。在他们看来，拥有超级智能的AI会为达目的不择手段，我们将因此付出惨痛的代价。它们不需要（但实际上它们也许会）通过伤害我们来达到目的，但它们会像对待蝼蚁一样对待大多数人，如果我们干扰这些超级智能机器人执行任务的话，它们便会直接对我们动手甚至消灭我们。比如，在未来，一个制造回形针的人工智能机器人也许会为了提取金属成分而将我们的身体磨碎，仅仅因为我们血液中的铁可以用于生产回形针。



总的来说，奇点理论的反对者认为，且不说奇点会不会到来，它的到来究竟是不是一件好事也还是未知的。但无论如何，未来都会发生各种激动人心的事。一个对奇点理论不感冒的人也能看到人工智能迎来一个令人兴奋的未来。保守点儿说，未来的人工智能也将比现在发展得更好。但人工智能究竟能走多远呢？比如，它能最终通过图灵测试吗？在1950年，图灵预言，总有一天，冒充人类的人工智能可以在长达5分钟的沟通测试中骗过30%以上的人类志愿者。虽然至今没有哪个人工智能通过了这个测试，但其实现在很多人经常把程序误当成真人——如果没有人提醒他们在与机器交流的话。

如今，每年在英国的布莱奇利公园（Bletchley Park）都会举办一个图灵测试比赛（届时会有网络同步直播），举办地正是第二次世界大战时图灵破解德军恩尼格玛密码的地方。获胜者可获得勒布纳奖

（Loebner Prize）：设计出最接近人类交流行为的人工智能，可获得2000美元；设计出“第一个与人类交流起来毫无破绽，令人无从分辨的”人工智能，可获得25000美元；设计出外表如人类一般，能与人进行口头交流的人工智能，可获得10万美元。

不过迄今为止，还没有人获得25000美元的奖励。严格地讲，目前没有哪个人工智能骗过30%以上的真人。一个对话程序在2014年的比赛中成功骗过了33%的评委，让他们相信自己是人类，然而评委们都将它当成了一个13岁的乌克兰男孩（这是赛事组织方提供的选项），换句话说，这个程序的英语表达能力欠佳。对话者对它语言上的疏漏和错误都给予了谅解，就像我们在跟外国人交流时也不会斤斤计较，面对外国小朋友时更是如此。

但在这里显而易见的问题是：即使有人工智能通过了图灵测试，那又怎么样呢？我们假设某个人工智能系统有一天真的通过了图灵测试，甚至通过了完全图灵测试，具有与人一般的感知行为。可是这能证明什么呢？这是否意味着一些计算机真的能像人类一样思考？这能证明它们真的拥有“意识”吗？

事实上，“意识”是一个难以诠释的概念。但我们可以先区分一下功能意识（functional consciousness）和现象意识（phenomenal consciousness）。“功能意识”涉及对诸多心理活动或状态的区分：沉睡与清醒，深思熟虑与不假思索，关心与漠视，易懂的与令人费解的，值得报道的与不值得报道的，善于反思的与不经反思的，等等。

这些意思相反的心理活动都在“功能意识”的范畴内。我们可以确定，机器在信息加工的过程中能理解这些信息，我们可以将其编入运行程序中。（目前，关于机器意识的研究中，最有意思的是LIDA认知系统理论，它建立在一系列已经得到广泛认可的脑科学研究基础之上，重点关注我们上面提到的这些概念。）这么说来，未来一些人工智能的确可能具有意识。一个通过了图灵测试的机器人有可能既会计划也会思考。

现象意识或称感质（qualia）的概念与功能意识截然不同，我们对疼痛的感觉，以及看到红色时的感受，都属于现象意识。现象意识的存在，在这个本质上由物质构成的世界中，是一个非常形而上学的、难以解释的谜。解释“我们为什么会拥有现象意识”，远比解释功能意识要难得多，有时我们也将其称为“知觉难题”。

为了解释现象意识，有些人提出了极为大胆甚至可以称得上疯狂的想法。一些人认为感质与质量、电荷一样，是宇宙的基础。（当然，这种说法实际上也没有真正解释现象意识！）还有一些人尝试用量子力学的知识来解释现象意识，这相当于用一个深不可测的理论来解释另一个深不可测的理论。很多人干脆举手投降，选择放弃。当代一位著名的哲学家曾说过：“不仅没人能知道物质如何才能拥有人的意识，而且也没人能知道我们是怎么产生‘没人能知道物质如何才能拥有人的意识’这一想法的。”简而言之，这就是一个如泥沼般的哲学难题。

可是，如果仅仅因为“人类为什么拥有现象意识是一个难解之谜”，就认为我们没法判定未来的人工智能是否也会有现象意识的话，坦白说，这个结论对你来说或许比较荒谬，对于我来说就太过荒谬了。这还仅仅是直观的感受，不是仔细论证后得出的结论。

许多人工智能专家（如LIDA理论的提出者）跳过了与现象意识相关的问题，因为这真的太复杂了。但仍有少数几位在人工智能领域颇有影响力的哲学家，尝试用信息加工理论对其进行分析。

从一方面来说，感质可以看作程序内部的计算状态，或者人脑内部的虚拟机。它不仅会对我们的行为造成影响（例如影响我们不由自主露出的表情），也会影响我们处理信息的过程（例如，当我们被人伤害后会想着如何反击）。只有结构极为复杂的计算系统可以产生感质（蜗牛就不可能有这样复杂的神经系统）。系统只有特定的几个部分能够获得感质，因此它们是私密的。更进一步来说，这种我们自发的感受无法用

精神结构理论来解释，我们也很难对它进行精确的描述，即它具有“不可描述性”——“你和我对红色的感受是截然不同的，我也没法将我的这种感受完全传给你。”

如果上述推测正确，那么未来有些人工智能也将拥有现象意识。但关于这点，我们仍然没有达成共识。

另外，在“人工智能技术究竟是否有益于我们人类”这一更关键的问题上，我们也还没有达成共识。上文提到的那些奇点理论的拥护者对此当然毫不怀疑，但即使是像我这样怀疑奇点不会到来的人，也要承认人工智能技术在当下很多地方都非常有用，这点在未来也将变得越发明晰，甚至毋庸置疑。

从某种程度上来讲，给人工智能技术贴上“好东西”的标签看上去是正确的。

尽管如此，在各种与人工智能的未来有关的忧虑中，有一些需要我们严肃思考。其中一个最突出的问题就是人工智能对就业的负面影响：留给人的就业岗位（包括专业性强的和一般的）会变少，技术含量低、重复性强的工作会被机器接管。在理想情况下，我们的工作结构会被重新调整，我们会与机器协同工作：人类做仅能由人类完成的工作，剩下的由机器来做。即便如此，许多一直在做技术含量比较低的工作的人在将来会发现工作更难找了。虽然未来将有一些新的工作产生，但这些新工作对从业者受教育水平的要求很可能是大多数人望尘莫及的，即便在发达国家也是如此。

有些人认为就业将不再重要。他们暗示，像“全民基本收入”这样的保障将取代我们的工资，作为公民，我们有获得这笔收入的权利。（许多国家已经开始进行类似的实验或正在草拟计划。）但是，这个方案也存在各种问题。支撑这笔庞大社会支出的税收从哪里来？人们靠做什么来消磨这么多的业余时间呢？社会心理学家已经明确告诉我们，一份工作，即使技术含量不高，它给人带来的也远不只是金钱。

另一个突出的问题，或者说一系列突出的问题，与军事有关。虽然我们早已开始用无人机来投放炸弹，但轰炸目标仍由人类选择。如果未来出现了全自动化的无人机，轰炸目标也由它们来选择的话，那将是一个不折不扣的噩梦。本书中诺埃尔·夏基（Noel Sharkey）的文章将充分讨论这个问题。

另外，大量的人工智能机器人也出现在了一些需要同理心的、面对面与人交流的工作中。人们不断将大笔的资金投入智能维修机器人、陪伴机器人和保姆机器人的研发领域。

如果保姆机器人只是一个对婴儿的哭泣或睡眠模式进行监测，适时提醒人类照顾者的智能系统的话，那么也还好。但如果它是一个运用了自然语言处理技术的智能系统，既能给孩子们带来欢乐，又能教育他们，那情况就不太妙了。即使只是陪着孩子一起看《小鹿斑比》，它都能引来大问题：当看到斑比的妈妈被射杀时，一个保姆机器人会对孩子说什么呢？

同样，未来老年人家中的护理智能系统（软件或机器人）如果只是为老人做些日常家务的话，那么也还好。但如果它们与老人深入交流，一不小心就能唤起对方的情绪记忆，那它们带来的麻烦就远多于好处了。（不过在理想的未来世界，人们都不会考虑使用这样的智能应用。人们会雇用专业的护理人员，并且尊敬他们，一切都比现在好得多。亲戚朋友探望老人也变得非常方便，年老的你是否期待他们，那就是另一个问题了。）

世界上有许多组织和团体都在思考我们提到的这些问题，试图找到能避免、改善和控制这些问题的实际方法。例如，一个由机器人专家担任主席的国际委员会就在关注军用机器人（例如无人轰炸机）的发展，该组织也提供专家建议；还有监测大数据在各个领域应用情况的人工智能专家团体和政策制定者，他们关注与大数据有关的个人隐私滥用问题。

总的来说，巨变已发生，人工智能技术的许多成果都会极大地提升我们的生活质量，但有一些会产生计划之外的结果，威胁我们生活的重要方面，尽管有时我们有所预料。因此，我们也不能放松对人工智能研究的监管。

# 量子计算

## QUANTUM COMPUTING

文/温弗里德·K.亨辛格 (Winfried K. Hensinger)

20世纪80年代初期，传统计算机的流行趋势才初见端倪。那时候，人们的生活与现在大不相同，没有网络和智能手机，火车站里看不到电子售票系统，当时磨炼打字技能的我用的还是老式的机械打字机。事实上，那时候日常事务的运转并不依赖于计算机，许多在今天看来理所当然的东西当初根本就无迹可寻。然而短短40年不到，世界就发生了翻天覆地的改变。现如今，计算机技术已经渗透到了生活的方方面面，甚至让我们开始怀疑没了计算机我们的生活没办法继续。科学界和政界为这种对我们的生活产生广泛而又深远影响的技术专门起了个名字：颠覆性技术。之所以冠以“颠覆性”之名，是因为这样的技术有能力在短时间内给我们的生活带来极大的变革，并且这种变革涵盖生活的方方面面。而在接下来的10~20年，我相信我们将有幸见证另一项颠覆性技术的降临，它就是——量子计算。

不过首先，我们要明确这样的认识：量子计算机并不等同于拥有超快运算速度的传统计算机。事实上，无论是内部原理还是外部功能，它都与传统计算机有极大差异。要是以为量子计算革命就是把传统计算机替换成量子计算机来执行同样的任务以获得更快的速度，那你就大错特错了。量子计算机的真正威力在于，借助它，我们可以去求解一些原本“无法求解”的问题——哪怕使用现在最快的传统计算机，这些问题也要花上几十亿年才能算出答案。量子计算机会赋予我们全新的能力，从而以超乎想象的方式改变我们的生活。要想真正领略量子计算机的神奇，畅想它会对我们的生活带来怎样的变革，我们有必要了解一些基础知识。因此，请允许我先对量子物理做一个简单科普。

什么是量子物理？一言以蔽之，量子物理学是一门试图解释我们所在的世界的理论。这门理论有一些相当古怪的特性。比如，它预言物体可以同时出现在两个不同的地方。是的，你没听错：根据量子物理学的基本原理，我可以一边坐在布莱顿的办公桌前奋笔疾书，一边又躺在佛

罗里达的沙滩上惬意地晒着太阳。遗憾的是，这种情况在现实世界中几乎不可能出现在人这样的宏观物体身上（尽管我无比希望上述的情景能成为现实）。但是，对于像原子这样的微观物体，这种名为“叠加”的现象却可谓稀松平常。无数次的实验表明，原子确实可以同时存在于两个不同的位置。物理学家曾对量子物理的这种奇怪特性感到无比震惊，他们设计了大量实验，试图找出理论的破绽从而将其推翻，而实验的结果则一次又一次地让他们哑口无言。

我也曾在学术生涯里与量子物理学的古怪特性打过交道。有位名叫杰拉德·米尔本（Gerard Milburn）的物理学家曾经做出预言，他认为一个原子可以在同一时刻既向前运动又向后运动。为了更直观地理解这个预言背后的思想，你可以想象这样的情景：你走进停车场，发现自己的爱车被另外两辆车一前一后地夹住，而且间隔甚小，你为了把车倒出来而感到头痛不已。在现实世界，你可能遇到这样的麻烦：你小心翼翼地把车往前开了一点，没承想还是碰到了前面的车，于是你慌慌张张地倒退，结果又把后头的车撞了。到了量子世界，你遭遇的麻烦也许就会变成这样：你一启动，就发现自己把前后两辆车同时给撞了——没错，是同时！刚接触这个想法时我还年幼，不过从那时起我就一直对它念念不忘，所以当我正式走上学术道路，拥有实验条件之后，我就自然而然地动了将这个想法实现的念头。经过三年的艰苦工作，在实验室度过了无数个不眠之夜，我和我的同事终于得到了满意的观测结果：原子可以在向前运动的同时向后运动。这就是古怪的量子叠加的一种表现。

不过，你要是以为叠加就是量子物理唯一的古怪之处，那就太天真了！还有一种被称为“纠缠”的现象，它的古怪程度可能犹有过之。量子纠缠的准确阐释绕不开数学公式，不过我会尽量用简单的语言给出一个通俗的描述。量子物理学预言，我们可以通过某些方法使两个微观物体（比如两个原子）纠缠在一起。如此一来，哪怕将这两者隔开很远的距离，并且切断一切可能的信息传递方式，一旦对其中一个原子施以特定作用，另一个原子也会在瞬间受到影响。爱因斯坦称之为“鬼魅般的超距作用”，他对此感到十分不舒服。爱因斯坦提出了实验思路，希望实验结果与预言相悖，从而证明量子理论的不完善。自那之后，物理学家一直在进行着这样的实验，他们不断地提高实验精度，堵上能想到的每一个漏洞。然而六十多年过去了，实验的结果却一次次地让爱因斯坦的支持者失望：量子物理学似乎是正确的，叠加和纠缠之类的古怪现象确实无可辩驳地存在着。

虽然仍有物理学家试图深入研究量子物理的古怪特性，但大多数物理学家已经接受了这一事实，并转而寻求新的挑战。他们开始思考：是否有办法利用这些古怪特性，以它们为基础，发展全新的技术？这方面的想法有很多，量子精密测量就是其中之一。这项技术有望引领新一代传感器的变革，让我们以前所未有的精度对电磁场进行测量。我们甚至能够利用这项技术来感知重力的微弱变化，从而实现地下管道的远程监测。另一项颇被看好的技术是量子加密，它向我们保证如果通信被第三方窃听，我们能够马上发现，而做出这份担保的不是其他，正是物理学定律本身。

所有这些技术都令人兴奋，并且都有可能对我们的生活产生深远的影响。不过，要是让我来选一个最具颠覆性意义（同时也最难实现）的技术的话，那还是非量子计算莫属。现在，就由我来向读者解释这项崭新的技术究竟强在何处。

首先，我要简单介绍一下量子力学这门物理学分支的作用。这门学科试图解释宇宙中物质的一切属性（颜色、强度、传热、导电）如何通过原子的行为和相互作用表现出来。它还试图解释我们体内的原子通过怎样的行为和相互作用使我们能够看，能够闻，能够感知周遭的世界。由此，量子力学的重要性显而易见。

然而，我们现在面临着一个巨大的难题：量子力学的计算和仿真很难通过传统计算机来实现。事实上，我们真正感兴趣的是那些能够准确描述现实情况的量子力学问题，但在这些问题面前，传统计算机的功能往往捉襟见肘。传统计算机需要为这类问题消耗大量的计算资源，即便是目前性能最强的超级计算机也要一刻不停地运行几十亿年才能算出答案。在某种意义上，我们甚至可以把当今世界上绝大多数科学家的工作概括为“创建高度简化从而能用传统计算机计算的数学模型以模拟实际情况的量子力学过程”。我们不难想象，这种不得已而为之的简化会不可避免地使最终的计算结果与实际情况存在出入。这也许会让我们错过发明新药的机会、合成新材料的机会、认识蛋白质折叠的机会、理解并控制生物学过程的机会，我们或许已经任由无数重大发现从身侧悄悄溜走而全然不知。困扰我们许久的难题也许会被量子计算机终结。量子计算机本身就以量子物理的古怪特性作为根基，所以在精确模拟复杂量子系统方面，它具有天然的优势。你也许会问：借助量子计算机来理解和控制各种物理系统能带给我们哪些突破性的成果？这些突破性成果中最令人期待的又是哪一项？很遗憾，我无法给出明确的答案，因为科学家

也才刚刚开始认识这项全新技术。不过，只要认识到宇宙中一切物理系统的所有属性都可以通过量子力学来解释，我相信你也会和我一样，对量子计算机所能创造的无限可能抱以十二分的期待。事实上，借助量子计算机来理解现实是一个前所未有的创举，我们对宇宙的认识以及对生命的看法都极有可能因此而改写。

量子计算机的上述用途已经足够令人兴奋，但它还有第二个重要应用，同样能对我们的生活产生深远的影响。为了让读者更好地理解这方面的内容，请允许我从传统计算机开始讲起。在过去30年里，随着晶体管的体积不断缩小，单个处理器上能够集成的电路数目变得越来越多，传统计算机的计算性能也以大约每18个月翻一番的速度稳步提升，这一现象被称为摩尔定律。这听起来似乎是在说传统计算机的计算性能正以惊人的速度持续提升，但实际情况并没有那么乐观。姑且不论摩尔定律早晚有一天会失效，在一些复杂问题面前，这样的速度仍然远远不够。我可以简单举几个例子：（1）天气的准确预测；（2）收益最高的股市投资选择；（3）一次送出多份货物时的最短路线设计。这些问题所涉及的参数会随着问题规模（例如天气预报覆盖的地区大小和需要送出的货物的数量）的扩大而增加，所需的计算资源也会相应地水涨船高，传统计算机对具有较大规模的此类问题根本就无能为力。

然而，这些问题交给量子计算机或许就能迎刃而解。信息在传统计算机内以二进制形式编码，其基本单位为经典比特，每个经典比特的值或者为0，或者为1。处理器所要处理的一切信息（比如数字）都可以用长度不一的经典比特串来表示。以两位的经典比特串为例，我们可以用它来表示0到3中的任意一个数字（比如，01表示数字1，10表示数字2）。将这两个二进制数写入计算机的存储器，再送入处理器执行加法运算，就能得到计算结果11（表示数字3）。这个结果同样会被写入存储器中，用于下一步的运算。不难看出，经典计算机的运算操作只能一个接一个地按顺序执行。然而量子计算机却可以摆脱这样的限制。由于量子物理的叠加特性，一个量子比特串可以在同一时刻表示所有可能出现的组合！量子处理器也可以同步执行所有的运算操作！事实上，学术界对量子物理存在多种不同的诠释，其中一种就认为这些运算操作实际上是在不同的平行宇宙中执行的。如果只比较两位的经典比特串和量子比特串，那它们的差异似乎并不明显（量子计算机一次操作四个数字，传统计算机一次操作一个数字）。然而，随着比特串位数的增多，这种差异会急剧增加。十位的量子比特串可以同时表示1024个不同的数字，而一百位的量子比特串可以同时表示



12676506002282300000000000000000个不同的数字。想想传统计算机完成一次运算的工夫足够让量子计算机完成12676506002282300000000000000000次甚至更多次的运算，量子计算机的强大可见一斑。

不过先别兴奋，量子计算机有一个重大的局限性我不得不提。虽然它可以同时完成那么多的运算，但这并不意味着我们能够读取所有这些运算的答案。确切地说，我们只能读取其中的一个。你也别忙着泄气，这样的局限性并不会让量子计算机沦为鸡肋，因为我们可以确保得到的答案用到了所有运算结果。所以，量子计算机依然强大，只是为了要让这份强大有用武之地，我们必须给它配上特定的问题——只要一个答案，但这个答案依赖于大量的运算和操作。数据库查询就是一个很好的例子。想象一下，你从某个地方得到了一个重要的电话号码，你需要从一本按姓名排序的电话簿上找到这个号码的主人是谁，那么你得翻多少页才能找到答案呢？平均而言，半本。如果运气足够好，你可能没翻几页就找到了那个号码，但要是时运不济，等你找到时或许整本电话簿都已堪堪翻完。因此，采用经典的搜索算法，你往往需要翻完半本电话簿。解决这类难题恰恰是量子计算机的拿手好戏，在合适的量子搜索算法的帮助下，量子计算机可以大大缩短查询的时间，这方面的研究已经取得了令人振奋的结果。事实上，开发适用于量子计算机的算法已经成为一个新兴的研究领域，我们在这方面才刚刚起步。令人鼓舞的是，研究人员已经找到了许多性能卓越的量子算法。

你可能要说，量子计算机有多厉害我已经见识到了，但你们要怎样才能把它制造出来呢？很遗憾，这件事的困难程度超乎想象，以至于在概念提出之后的几十年里，许多科学家甚至认为这根本无法实现。然而，随着近年来科学和技术领域迎来许多突破，科学家的态度已经发生了改变。根据目前的情况，我们可以断言，凭借现有技术，我们完全有能力制造出量子计算机。然而，这个目标就像载人登陆火星一样复杂且艰巨，无数工程难题横亘在前，留待我们逐个攻破。不过先别管那么多，我们来看看制造量子计算机究竟需要哪些技术。

一台量子计算机最重要的组成部分无疑是能够呈现量子效应的物理系统，因为量子叠加和量子纠缠是这台机器能发挥作用的基本前提。好消息是，我们在这方面享有一定的灵活性，因为原则上任何物理系统都能够呈现量子效应。量子计算机的设想提出之后，各路科学家纷纷建言献策，提出了大量的候选方案，包括光子方案、离子阱方案、超导电路

方案、液氦上电子方案、含杂质的硅晶体方案，等等。针对这些方案在量子计算机方面的可行性，科学家们展开了深入细致的研究。

上述系统确实都能呈现量子效应，困难的地方在于如何控制它们，让量子效应的发生符合我们的需求。虽然在观测量子物理的古怪预言方面，物理学家经验丰富，但说到控制这些效应，他们依然是不折不扣的新手。为什么这项技术会这么困难呢？部分原因在于任何形式的扰动都会立即将这些量子效应破坏（这也是我们看不到像人这样的宏观物体同时出现在两个不同地方的原因）。许多科学家仍然在对各种各样的候选系统进行研究，它们之中或许会诞生未来量子计算机的完美架构。但是，目前脱颖而出的方案只有两种，它们取得的进展令人瞩目，我们由此坚信，大规模量子计算机的问世已经不再遥不可及。

其中一种方案利用了名为超导的量子现象，这要求量子计算机必须冷却到接近绝对零度（ $-273^{\circ}\text{C}$ ），否则无法正常使用。如果只涉及几个量子比特，那么这项工作可以轻松完成，但是一旦量子比特的数目增至几十亿个，工程设计就将面临极大的挑战。

另一种方案关乎离子阱，它可以在室温环境或者 $-196^{\circ}\text{C}$ （氮气的液化温度）的“适度”低温环境下正常工作。目前，量子计算相关研究中的最佳成果便是由离子阱系统取得的。仅仅几个月之前，在来自谷歌公司、丹麦奥胡斯大学（Aarhus University）、德国锡根大学（University of Siegen），以及日本理化学研究所的多位杰出科学家的帮助下，我所在的萨塞克斯大学（University of Sussex）的科研团队发布了世界上首个基于离子阱系统的大型量子计算机制造计划。这项计划已经在萨塞克斯大学的实验室里开始了正式的工程运作。

我们现在就来看看离子阱量子计算机的工作原理。在这样的一个系统中，离子由电磁场捕获，约束在特定的区域，每个离子在功能上都相当于一个量子比特。我们需要确保离子所在的环境接近完美的真空环境，这样它们就不会和系统内部的其他粒子发生碰撞或相互作用。捕获离子的电磁场由部署在专门设计的微芯片上的一系列电极提供，这些电极纵横交错，形成一个巨大的迷宫，与经典游戏《吃豆人》的地图颇为形似。通过改变电极上的电压，我们可以让这些离子沿着迷宫的路径移动。执行运算操作时，只要让相应的离子从存储区域移动到量子逻辑门区域即可。这些量子逻辑门的实现通常要借助以微米级精度对齐的成对激光束。但是，为了完成运算操作，系统所需的成对激光束的数量十分庞大，与系统所含离子的数目相差无几。因此，尽管在离子数目较少的

情形下，这项技术的可行性已经得到了验证，但谈到设计并制造能够容纳几十亿对激光束，满足同等数目离子需求的大规模量子计算机，我们前方的道路似乎依然困难重重。

幸运的是，我们最近发明的新方法实现了突破，我们成功地通过在微芯片上施加电压的方式实现了原本只有成对激光束才能实现的功能，这就使得建造大型量子计算机的难度大大降低。事实上，我们已经规划好了建造大型量子计算机的蓝图，全面概述了所需的工程任务。在这份蓝图中，我们仅仅依托现有的科学技术，完全不依赖假想中的未来物理学突破，所以我们有信心向世人宣布：我们此时此刻就已经具备了建造大型量子计算机的能力。不过也正因如此，我们计划中的这台量子计算机还远未达到它潜在的最佳性能，它会有很大的占地面积（一栋楼甚至一个足球场那么大），非常高昂的造价，并且谈到它的最终面世，我们还需等待10~15年的时间。但不管怎样，在我们前方的道路上已经没有了与物理原理相关的明显障碍。或许你仍心存疑虑，觉得即便制造出了这样的量子计算机，它的庞大体积也使它难以进入寻常百姓家。诚然，我同意你的观点，不过这并不是个大问题。毕竟世界上第一台传统计算机也没小到哪儿去，也需要整栋楼的空间才能安放妥当。另外，我们实际上可以只在一定地域范围内部署一台量子计算机的主机，让用户手持终端对其进行远程访问，以获取计算资源，这样的方式在现今的云计算时代不仅可行，而且更为自然。

那么在量子计算的商用道路上，我们现在已经走了多远呢？有一家名为D-Wave的加拿大公司迈出了大胆的一步，该公司将其产品冠以量子计算机之名推向了市场。许多物理学家对此持怀疑态度。不过最近的研究似乎证实了确实有某些量子效应在D-Wave计算机的运行过程中发挥着作用。不过，我并未看到任何证据表明这款产品有可能“进化”成为通用量子计算机。也就是说，D-Wave计算机与本章介绍的有望彻底颠覆我们生活的量子计算机并不是同一回事。这是因为，和基于离子阱这类系统的量子计算机相比，D-Wave计算机使用的量子比特在功能方面有所欠缺。因此，D-Wave计算机只能被视作可用于执行特定任务的专用计算机，而无法进一步演化成为通用量子计算机。虽然这听上去让人有些失望，但是D-Wave计算机仍然有可能在某些专门领域大放异彩。

制造大规模通用量子计算机相当于夺取科学界的圣杯，因此越来越多的高校加入了研发量子计算机的行列。与此同时，量子计算的商用前景也十分广阔。除了IonQ这样的初创企业，IBM、谷歌和微软等许多老

牌名企也都对量子计算表现出了浓厚的兴趣，因为它们已经意识到，能否掌握这项技术或许关乎公司的存亡。可以说，制造量子计算机的道路上已经不存在难以逾越的障碍，但是我们面临的工程挑战依然严峻。距离第一台大规模量子计算机的问世可能还有10年或者20年，而在此期间，我们无疑会见证一系列技术成果的诞生。总而言之，这项全新技术也许会给全世界带来翻天覆地的变革，能够亲历这一盛事的我们何其幸运！

# 第四部分 制造的未来

MAKING THE FUTURE

智能材料/能源与未来/未来交通/机器人技术

# 智能材料

## SMART MATERIALS

文/安娜·普洛萨伊斯科 (Anna Ploszajski)

想象一下，要是你拥有的物品可以自动地感知、反应、移动、适应、变形以及自我修复，完全不需要人为操控，那你的生活将会产生怎样的变化？你的想象在不远的将来或许就会全部成为现实：不需任何操作，你的物品就会自动为你执行各种功能。这项技术实现的关键不是机器人技术和电子技术，而是智能材料。这是一类特殊的固体材料，在光照、温度、湿度或外力等外界作用下，它们的颜色、形状或磁性等属性会自发改变。这是一个充满无限可能的领域。我们或许可以在有生之年看到融入日常生活的智能材料：人形机器人的皮肤，可穿戴的显示设备，调节建筑物温度的变色屋顶，甚至能够自己打开的水果罐头，智能材料的神通妙用将会完全颠覆你的现有认知。

智能材料其实并不是科学家的新发明。事实上，大自然早就已经向我们展示了智能材料的神奇之处。想想一到下雨天就自动闭合的松果，还有无论种在什么地方都会向光生长的植物，你就理解这句话的意思了。而且，就算只是回顾人类自己的历史，智能材料的使用也不是件新鲜事：古埃及人在4500年前修建了吉萨金字塔群，他们在金字塔上涂抹的砂浆就有一定的自我修复功能。但是，科学家第一次明白无误地认识到智能材料的存在，要追溯到1880年。这一成果要归功于皮埃尔·居里（Pierre Curie）和雅克·居里（Jacques Curie）兄弟二人。顺便说一句，皮埃尔的妻子，雅克的弟媳，就是大名鼎鼎的玛丽·居里（Marie Curie）。他们在实验中发现，当石英晶体（提取自花岗岩的常见透明矿物）受压时，其上下表面之间会形成电压。仅仅过了一年，他们就进一步证明了这种效应是可逆的。也就是说，对石英晶体施加电压，就能够使其变形。兄弟俩将希腊单词piezo（挤压）和elektron（琥珀，古希腊人用其制备电荷）组合在一起，将这种现象命名为piezoelectricity（压电效应）。以石英为代表的压电晶体首次投入实际应用是在第一次世界大战期间，它是声呐探测器的重要组成部分。时至今日，压电晶体的应用愈加广泛，从打火机到麦克风，再到钟表和超声成像，它们的身影可

谓无处不在。

皮埃尔和雅克的突破性研究激发了许多材料学家、工程师和发明家的灵感，他们开始重新思考自己的材料设计方法，并最终发现了一系列全新的智能材料，数以百万计的专利发明的诞生受益于此。目前已发现的智能材料，其功能可大致分为六类：变色、感知、变形、加热/冷却、相变（凝固或熔解）以及自我修复。这些材料绝不是科幻小说中的天方夜谭，也不是仅存在于实验室的黑科技，它们已经渐渐走进了我们的生活。如果喜欢浏览购物网站，你或许已经与它们不期而遇过——日光照射下颜色变深的光致变色太阳镜，还有一倒入热饮就改变颜色的热致变色马克杯，这就是智能材料在实际应用中的两个典型例子。

未来，在智能材料的帮助下，你的骑行体验将更加轻松愉悦。道路将始终平整如新，再也不会坑坑洼洼，而你的自行车将彻底跟爆胎和刮痕挥手告别。你不必再为天气烦恼，因为你的衣服可以快速适应环境和你的体温，哪怕下雨也无妨。天都黑了还没来得及回家？没关系，来往车辆会让道路发光，照亮你的归途。不小心摔倒在地，划破了衣服？没关系，就算被撕得粉碎，你的衣服也能当场自动修复，转眼就恢复如初。

如果想去更远的地方旅行，你需要一架未来飞机。不过，和现在的飞机相比，未来飞机更像是一只鸟，它会主动根据飞行条件改变自身外形，从而为乘客提供极致平稳的航行体验。与此同时，未来飞机还可以使用更少的燃料获得更快的飞行速度，而这一切都要归功于智能材料的运用。这就是智能材料构筑的未来世界，你准备好迎接它了吗？

## 未来自行车

为了让顾客每隔一段时间就为同样的产品再次掏钱，现在的厂商往往会采取两种不怎么光明的手段：实行计划性报废，令产品无法修复。后者的含义不言自明，前者是指厂商故意为其产品设计有限的使用寿命，以加快用户的更换频率。当今社会，消费主义与一次性产品大行其道，厂商所采取的这两种手段可谓“功莫大焉”。在这样的时代背景之下，自行车可以称得上是个例外。所有的自行车都遵循同一套设计思路，所有零部件都可拆卸替换，已然接近完全可修复的产品。然而，即便如此，任何一辆自行车最终都会因斑驳的刮痕、瘪下去的车胎，以及锈迹斑斑的部件而报废，无论用户怎么悉心呵护也无法改变这个结局。

但是到了未来，一切都将不同，智能材料将帮助我们的自行车摆脱变成废品的宿命。

自行车的车身可以涂覆一层自修复涂料，这种涂料的内部含有大量包裹着树脂修复剂的小球。一旦车身被锐器刮到，出现刮痕，这些小球就会裂开，释放树脂修复剂，将刮痕填满，从而实现自我修复。自修复轮胎则可以用特制的硫化橡胶生产。组成这种橡胶的高分子长链的边缘被带有电荷的原子或原子团修饰，因此相邻分子上带有异号电荷的部分就会彼此吸引形成强化学键，从而令材料具有坚固耐用的宏观性质。如果橡胶破裂，化学键遭到破坏，分子也可以自发聚合形成新键，其依赖的仅仅是异号电荷相互吸引这一简单的物理事实。目前市面上的防扎轮胎只是在胎面下增加了一层黏性的填隙材料。一旦出现穿孔，这种填隙材料会迅速将其封住。但它和我们介绍的自修复轮胎并不是一回事，后者采用的智能橡胶是能够不断将自身密封的单一成分。

要是把现在的自行车停在室外任其经受风吹雨淋，那么用不了多久，暴露在外的零部件就会开始生锈。因为锈蚀的出现会让金属表面的碱性增强，所以智能显色材料在这种时候就有了用武之地。这类材料就像高中化学实验课上常用的石蕊试纸一样，会随环境pH的改变而呈现不同颜色。比较常见的是含有酚酞的显色材料，它会在碱性条件下变成粉色。从自行车零部件到桥梁钢筋，显色材料可以涂覆于所有可能发生锈蚀的物体表面，有了它我们就能在锈蚀发生早期进行识别，从而准备好应对方案，避免更严重的损失。

美国国家航空航天局在这方面更进一步，这里最新研发的智能防锈蚀涂料不仅有识别功能，其内部所含的微囊体还会在碱性增强时释放出油性抑制剂，从而阻止锈蚀进一步发展。如果未来的物品都拥有自动防锈蚀的能力，那么整个国民经济都会大大受益——你可能想象不到，英国每年因锈蚀造成的损失多达600亿英镑（约合5340亿元人民币），占到GDP的3%。

或许再过不久，我们感谢皮埃尔和雅克兄弟的理由又会增加几条。这是因为科学家为他们发现的智能压电材料找到了新的应用场景：为街灯、路标和交通信号灯提供电力。目前最常见的压电材料是一种名为锆钛酸铅的人造陶瓷。这种材料之所以能在受压时产生电压，是因为其内部原子排列形成了非对称的晶体结构。说到晶体，可能有些人会联想到水晶那样闪闪发光的宝石，但其实这只是个科学名词，表示内部基本单元按一定规则有序排列并形成重复三维结构的固体材料。包括水晶在内



的绝大多数宝石都属于晶体，但除此之外，金属、陶瓷、冰、岩石以及一些塑料也同样属于晶体。多数晶体的基本重复单元是对称的，无论是上下颠倒还是旋转 $180^\circ$ ，它们看上去都不会有什么不同。但压电晶体不一样，它们的基本重复单元不是对称的。通常情况下，压电晶体内部原子所携带的正负电荷会相互抵消。然而一旦受到挤压或拉伸，压电晶体内部的非对称重复单元就会变形，改变正负电荷的分布，使它们无法相互抵消。于是，重复单元的一侧会带有更多正电荷，另一侧带有更多负电荷。压电晶体内部有数百万个重复单元，其中的每一个都会产生这样的效应，不断累加之后就会出现宏观可测量的电压，这就是压电效应的微观机理。接下来，我们只需要将压电晶体接入电路，就能把这种电压转化成有用的电能。在未来，我们给道路铺沥青前可以先铺设一层压电晶体。这样一来，车辆驶过路面时就能压缩晶体使其发电，电能可以存储在电池中以备路灯照明之用。针对这种系统的几次试验均取得了不俗的成果，它的前景值得期待。此外，这项技术的应用范围可以进一步拓宽，我们可以将压电晶体嵌入车胎和鞋垫，从而将原本会浪费掉的动能转化成电能。

地方政府的要员以及有车（不管是汽车还是自行车）一族大概会对未来的道路状况十分满意，因为在自修复混凝土的作用下，他们再也不用担心路面坑坑洼洼了。自修复混凝土是一种能够检测自身残缺并且自动修复的智能材料。它的内部掺入了特殊成分，开裂时这些成分就会暴露在外，雨水或者大气中的水分会将其激活，催生出新的建筑材料填补裂缝。这种特殊成分的一个例子是含有休眠活菌和乳酸钙的黏土添加剂。你可能是头一次听到乳酸钙这个名词，不过你说不定已经见过它的真身了：把熟化干酪在冰箱里放一段时间，它表面析出的那层白色晶体就是乳酸钙。添加剂中的休眠细菌遇水会重新活化，它们以乳酸钙为食，然后排出石灰石填补裂缝以防止路面进一步损伤。这种自修复混凝土材料可用于建设道路、高楼以及其他一切基础设施，尤其是在地震频发地带它能起到的作用简直不可限量。

骑自行车的时候我们会希望衣服干爽透气，以免出汗后贴在身上令人难受，但同时我们也希望停止骑行时，衣服能够拥有卓越的保暖性能。天底下能有这样的好事吗？还真有。提供解决方案的是一种名为形状记忆聚合物的智能材料。聚合物的基本构造单元是成百上千个原子通过共价键连接形成的长链状分子。橡胶、塑料以及蛋白质等都属于聚合物。顾名思义，形状记忆聚合物的特殊之处在于它的形状记忆功能。这种材料会“记住”自己最初被制造出来时的形状。如果我们在材料温度高

于某个值（转变温度）时令其发生形变，那么在它逐渐降温的过程中，这个形状就会固定住。再次被加热到转变温度后，它会快速弹回至最初记忆的形状。未来的骑行夹克或许会在内部增加一层由形状记忆聚合物制成的蓬松衬里，当皮肤温度较低时它会像睡袋一样捕获空气，从而提供卓越的保暖性能，而当你骑了一段时间，身体微微发热时，它会收缩以加速热量散发。

除了对温度敏感的形状记忆聚合物，事实上我们还有对湿度敏感的形状记忆聚合物。这种聚合物在环境干燥时十分坚硬，但一接触水就会软化。我们可以用这种聚合物制造衣料上的微鳞片。干燥时，这些鳞片会垂直伸出，从而使衣物拥有良好的透气性，而在下雨时，软化的鳞片会平躺下来，交叠形成密不透水的防护层。

我们对皮肤的自愈特性肯定不陌生。如果不小心从自行车上摔下来擦破了皮，你不会太过担心，因为你知道几天之后伤口就会自动痊愈。未来，在自修复织物的帮助下，我们的衣服也将拥有同样的特性：不小心撕裂了衣服，你只需要往上面倒一些水，然后揉搓几下，再次展开时你就会发现它已经完全恢复，整个过程用时不到一分钟。这样神奇的效果都要归功于这种织物含有的一种特殊蛋白质。这种蛋白质最初发现于鱿鱼的吸盘“牙齿”中，现在已能够在实验室里人工合成了。在水和压力的作用下，它可以快速形成新的化学键，从而实现自我愈合的效果。所以，下次你骑车时不小心把裤子绷开，它就可以当场修复了，但愿这种尴尬给你带来的自尊心伤害也能快速痊愈。

## 未来飞行器

五百多年前，达·芬奇受鸟类的启发构思了人类历史上的第一架飞行器，这甚至比自行车的设想还早了几百年。在他的构思中，机翼由铰接在一起的木头加上丝绸构成，能够像鸟类的翅膀一样扇动。我们今天看到的飞机虽然还保留着达·芬奇飞行器的双翼结构，但机翼却是刚性的，只有少数几个部件可以受限地活动。展望未来，智能材料能让我们摆脱当前飞机设计的这种不灵活性，将我们带回达·芬奇最初的设计思路，制造出强健、灵活，能感知环境并自行适应的新一代飞行器。

在飞行过程中，飞机不得不承受不同方向、不同大小的外力，传统的固定翼结构不可能时刻确保自己处于最佳构型。而未来飞机的机翼可以展平或隆起，从而最大化机翼的升力，并且可以根据飞行阶段的不同

在折叠、延展、扭转或者紧缩于机身两侧等构型之间自由切换。这些实时的调整可以减少阻力并增加机动性，从而缩短起飞距离，并且在不同的飞行条件下始终保持最佳的气动特性。这将缩短航行时间，减少燃料消耗，为乘客提供更舒适的搭乘体验。

要想让这样的未来飞行器真正出现，我们需要各种智能材料通力协作。让机翼活动的执行机构要由形状记忆合金制成，比如镍钛合金，当温度升高或降低时，它可以在两种预设的形状之间来回变动。轻量级可变形材料的重要性同样不可小觑，这种材料的一个例子是电活性聚合物，对它施加或撤除电压时，它分别会膨胀和收缩。飞机的蒙皮则非形状记忆聚合物不能胜任，它可以从能够承受巨大气动力的刚性结构迅速切换为能够满足机翼变形需求的柔性结构。

许多智能材料还能同时起到传感器的作用，比如，压电晶体和电活性聚合物受到应力时会产生可测量的电信号。此外，光纤的折射率会随温度的升降或外力的施加而改变，因此它们不仅仅是能够嵌入飞机内部结构的坚固轻质复合材料，还是能够监测飞机在飞行过程中出现的损坏、裂缝和动态应变的传感器。这种材料不仅可以应用于飞机，还能应用于建筑物甚至柔性电子设备。通过收集这些材料传递的信号，我们能了解结构内部存在哪些潜在的故障点。

利用量子隧穿复合材料，我们能够赋予未来飞行器人类级别的触觉灵敏度。这种材料由包含微小镍颗粒的橡胶基质构成。橡胶基质是绝缘体，因此当这种材料处于非激活状态时，相距过远的镍颗粒无法使其导电。然而，我们可以压缩材料将其激活，缩短镍颗粒之间的距离，使电子有可能以隧穿的方式在绝缘体内部穿行，从而使材料具备导电性。什么是隧穿？根据量子力学，我们无法得到电子位置的精确坐标，只能给出它处在不同位置的概率。因此，当镍颗粒中的电子接近绝缘体的势垒时，即使能量不足，它也有一定概率穿过势垒，这一概率虽然不大但确实存在。基于此前提条件，只要有足够多的电子试图穿越势垒，最终必然会有一部分幸运的电子成功地出现在势垒的另一侧。NASA已经将这种神奇的材料应用于最新研发的机器人，用于感知抓握物体时的松紧程度。除此之外，这种材料还可用于制造新一代触摸屏和残疾人士的假肢。

## 智能材料的遗留问题

本文谈到的所有智能材料的有效性都已经在实验台上得到了验证。然而，如果要走出实验室，走进我们的日常生活，它们还有许多问题需要一一解决。在许多情况下，它们的响应不够迅速，材料的结构强度和稳定性有所欠缺，刺激阈值难以精准调控，部分材料有毒性，性能会随着时间的推移而下降。此外，如何将它们整合进工作装置中也是一项艰巨的挑战。最后，与许多新兴产业一样，昂贵的成本、对高端装备制造技术的需求，以及原材料的短缺都阻碍了智能材料的大范围推广。

然而我乐观地相信，在科学家的不懈努力下，这些问题最终都会得到解决。到那时，智能材料有望像互联网改变我们与信息的交互方式那样，彻底改变我们与物质世界的交互方式。我们把物品定义为受到摆布后不会产生自己想法的东西。每一样智能材料孤立地看都符合这样的定义，它们顶多会按照开/关指示在两个状态之间来回切换。然而，一旦将各种智能材料组合在一起，我们就会得到一架能够自我组装、自动修复、产生并存储能量、感知自身状态与周围环境并加以适应，甚至与同类“交流”的飞行器。突然之间，它仿佛从死物变成了生命体。

因此，智能材料向我们抛出了一系列值得思考的问题。它们一定能引领我们走向更美好的生活吗？如果生产、使用、回收智能材料需要消耗更多的宝贵能源和稀缺资源，那么我们为追求生活的便捷性而一味地将简单物品复杂化的做法是否正确？即便事实证明这一做法并不会消耗更多的能源和资源，这就算皆大欢喜了吗？也不是。自修复智能材料的使用将大幅延长产品的使用寿命，这对制造业和贸易业无疑是个巨大的挑战，我们的经济体系如何才能顺应这一变化？智能材料在未来是否会成为权贵阶层的专利？当我们将对智能材料带来的自动化生活形成极度的依赖时，我们是否还能进行批判性的独立思考？工艺品诉说着人类的历史，这些代表当今顶尖技术的智能材料终有一日会被当作历史文物收纳进博物馆，到时候它们会对我们的后人讲述怎样的故事呢？

在我看来，智能材料带给全世界民众的积极意义远远超过其潜在的负面影响。未来飞机所需的材料与技术可以用来制造能够感应和自我修复的脑控假肢，为残障人士带来福音。如果自适应衣物和自修复设施能够减轻环境恶劣地区居民的生存压力，那这些技术就值得我们去追求。我们与材料的关系是复杂的，它既与我们的个人观念密切联系，也映衬着特定时代的流行思潮。当我们离开人世时，我希望这些智能材料记录下的我们是敏锐的、坚韧的，能够在变幻纷扰的环境中始终屹立不倒，就如同它们自身那样。

# 能源与未来

## ENERGY

文/杰夫·哈迪 (Jeff Hardy)

我得承认一件事情，其实我是个狂热的能源问题爱好者。不管是从运动中收集能量这样的前沿科技，还是大家已经司空见惯的燃气锅炉，都能使我兴奋不已。这一爱好让我显得与众不同。许多人并不觉得自己与能源之间有多么直接的关系，他们仅仅将能源视作一种必不可少的服务。他们支付电费，这样一来，他们每次打开开关时，电力公司就得负责把灯泡点亮。然而，就是这件你认为理所当然的事，对于发展中国家的20亿人而言，却仍是一种奢望。未来我们和能源的关系与今时今日相比肯定会有巨大的不同，这是因为包括气候变化在内的一系列因素制约着我们对能源的使用。未来充斥着不确定性，但我们至少能确定一件事，那就是能源问题——尤其是寻找不受限制的清洁能源——将成为未来人类不得不面临的一项严峻挑战。与其对未来的不确定忧心忡忡，不如欣然接受它。我相信通过本文的介绍，你会对能源的未来充满期待。

## 能源和温室气体

看过前面那篇关于气候变化的文章之后，你应该已经知道减少全球温室气体排放的重要意义。根据国际能源署的研究，在能源的生产使用过程中排放的温室气体占据全球总排放量的2/3。鉴于这一巨大比例，我们在制定减排政策时，能源问题必然是需要考虑的重中之重。

那么，我们要如何减少与能源有关的碳排放呢？有一个看似简单的解决方案：停止使用化石燃料。这个方案真的实施起来无疑困难重重，因为没有化石燃料就没有现代化的生活，它们是我们生活的动力来源。让大家发扬吃苦耐劳的精神，忍受禁用化石燃料带来的不便利，等待科学家找到可行的替代方案——这样的提案显然不会得到支持。此外，对于那些能源供应受限的国家以及整体经济建立在化石燃料基础之上的国家，这样的提案将使它们的发展停滞不前。因此，我们需要一系列循序

渐进的方案以逐步降低人们对化石燃料的依赖。

第一个方案是让能源利用更加高效。要想减少温室气体排放，我们最先想到的代价最小的方法就是尽可能减少化石燃料的使用量。在英国以及世界其他地方，有大量的能源被浪费。电力在生产和传输过程中会损失2/3的能量。另外，如果房间隔热效果不佳，热能也会迅速散失。那么问题来了，既然节约能源有那么多好处，如果这难度不大，那我们为什么没有在这方面做得更好呢？部分原因在于大多数人对提高能源利用率这件事并不感兴趣，政府出台的一系列优惠政策也无法令他们心动。此外，这里还存在另一个问题：能源利用率的提高可以帮助人们省钱，而这会导致某种反弹效应，他们往往会把省下来的钱用在其他消耗能源并产生温室气体的活动上，比如消耗更多天然气让房间变得更暖和或者乘飞机去国外度假。

第二个方案是让能源系统的运行方式更智能。目前多数能源系统的运行都基于供应紧跟需求的方式。这一特点在需要始终保持供需平衡的电力系统中尤为明显。为此，电力系统采用了多种具有不同优先级的技术，有的持续运行（比如核电和煤电这种基本负载）、有的选择性运行（比如太阳能发电和风力发电）、有的灵活选用（比如燃气发电），还有的仅在高峰时段运行（比如可以快速启动但价格昂贵的柴油发电）。想想看，当你为了洗衣服按下洗衣机开关时，究竟会发生什么？为了满足你的需求，发电站的工作人员需要启动一个新的发电设施或者让运行中的某个发电设施提高功率。在用电的高峰时段（比如很多人都选择在这个时间洗衣服），为你提供电力的很有可能是化石燃料（燃气发电或柴油发电）。这就是现有能源系统运行方式的弊端，而智能能源系统则采取需求跟随供应的方式。在上述例子中，洗衣机这回不会立刻开始工作，它会让你选择：“你最晚什么时候需要洗干净的衣服？”这样一来，只有当存在可用能源时，你的洗衣机才会开始工作（但不会超过你设置的截止时间），这意味着发电站无须启动额外的发电设施。

第三个方案是用温室气体排放量较低甚至为零的其他燃料或技术替代化石燃料。

在供电领域，我们可以将低碳能源作为化石燃料的替代品，比如核能、风能、太阳能以及生物质能（从木材或其他植物中获取的能量）。

另一种方法是使用碳捕集与封存技术。我们可以在发电站附近修建大型化学工厂，捕集该发电站排出的废气中的大部分二氧化碳。这些二

氧化碳随后会通过管道输送至废弃的油田或天然气田，从而实现理论上的永久封存。如果发电站使用的不是化石燃料而是生物质燃料，那么通过碳捕集与封存技术我们甚至可以得到负的碳排放！这是因为树木在生长过程中会吸收大气中的二氧化碳，所以将其燃烧之后捕集二氧化碳的做法实质上相当于减少了大气中的二氧化碳含量（只要我们补种上新的树木）。但并非所有的生物质燃料都是碳中和的，它们的生长方式、收获方式、补充方式、运输方式，以及使用土地的方式都会对最终的结果产生影响。

在供暖领域，我们有多种不同的选择。目前人们取暖的方式主要是燃烧天然气。所以，为了减少碳排放，我们可以将天然气替换成对全球变暖影响较小的其他燃气。例如，我们可以用生物质制备生物气，与直接开采天然气相比，这种方法产生的温室气体净排放量更低（只要上一段所论及的影响因素都能得到妥善处理）。此外，我们还可以使用氢气。氢气燃烧的产物是水，因此它是一种非常清洁的能源。但问题是，当前主要的氢气制备方法还是需要用到天然气，这种名为天然气蒸汽转化的方法在运行过程中仍会释放二氧化碳。我们也可以通过电解水来获得氢气，然而为此我们需要铂和钌这类昂贵的材料，而且要支付电费，过高的成本使这种方法难以大规模推广。

在交通领域，化石燃料的统治性地位无可动摇，至少目前还是如此，未来我们也许会转为使用氢气。虽然电动汽车和混合动力汽车越来越受大众欢迎，全球的销售量已超百万辆，但这和使用化石燃料的汽车相比仍是九牛一毛。我们习惯了让汽车在装满油的情况下行驶数百千米，然后在几分钟之内再次把油加满。尽管汽车电池和充电桩的性能正在不断提升，但距离满足我们的期待它们还有很长一段路要走。

最后，我们的行为习惯也有着重要影响，这点在交通领域尤为明显。今天，英国人有5%的时间花在了使用汽车上。随着自主汽车技术、虚拟会议技术、智能公共交通系统，以及城市自行车道规划各个方面的进步，或许在不久的将来，我们的出行方式会彻底改变。

## 科技爆发

能够取代已有技术或者创造新的产业从而撼动整个市场的技术，我们称之为颠覆性技术。在能源领域，颠覆已经开始。

首先，我们使用的产品正在变得越来越高效。自从使用能效标识和产品标准以来，欧洲节省下的能源量之大，相当于意大利全年的消耗量。举个例子：曾经家家户户都有的白炽灯正在逐渐被LED灯取代，后者的能耗只有前者的1/10。智能科技也在帮助我们提高日常生活中的能源利用率，比如，智能恒温器可以学习我们的能源使用习惯，从而优化家庭供暖模式并节约我们的资金（当然，这同样会导致前文提到的反弹效应）。

同时，能源技术的价格也日趋平民化。随着全球装机量的持续增长，太阳能光伏设备的价格正变得越来越容易为大众所接受。这种设备有一个关乎普及的因子约为21%，也就是说它的销售量或者装机量每增加一倍，价格就会下降21%。现在，全球太阳能光伏装机量已经达到了300千兆瓦，而在十年前，这个数字才刚刚接近10千兆瓦。（做个简单说明，我家里的电器全部打开的话大概需要10千瓦的功率，1千兆瓦等于100万千瓦，这意味着目前全球的太阳能光伏已经可以在高峰时段同时为3000万栋住宅提供电力。）这项技术将会催生出大量的“产消者”，他们一边消费电力，一边生产电力。可以预见，如何在家庭中存储电力将会成为下一个重点攻关课题。

## 无处不在的数据

我们越来越清楚地认识到，这个时代是属于“大数据”的时代。不管是我们的智能手机和智能手表，还是周围的传感器以及蓬勃发展的物联网，所有的一切都在收集并传输数据。我们利用大数据来改善产品营销，预测地震，督促健忘的病人服用药物。

将数据（不管是不是大数据）与机器学习（利用数据进行学习并做出预测的算法）相结合，可以产生大量与能源相关的应用。这项技术已被证明可用于优化流程从而降低各种系统的能源需求，例如超市的冷藏系统和数据中心的冷却系统。然而除此之外，该技术或许还能成为未来能源供需关系实时智能优化的关键，因此它还有更大的潜力留待进一步的开发。

这场科技大爆发的最后一块拼图便是高度安全的点对点交易技术的问世。近年来吸引了无数人目光的比特币，其基础是一种名为区块链的技术。利用区块链技术（或者其他相似技术）搭建分布式记账系统，可以在不依赖银行这类中心机构的前提下完成各方之间的交易，并且保证



这一过程的安全性。这项技术同样可以在能源领域发挥重要作用，利用它我们可以安全地实现点对点能源交易。例如，我可以把我的太阳能光伏板产生的电力直接卖给邻居而无须中间商介入。

## 世代联系

变化的不只有技术，还有我们自己。我们与能源的关系会朝什么方向改变？这很可能与我们未来的态度、价值观和行为习惯相关。不同世代之间的差异已经显现。

Y世代也被称为千禧世代，他们出生于20世纪70年代末至90年代。他们思想开明，对包括互联网在内的各种技术十分了解。调查显示，移动技术已经成为Y世代人群生活中必不可少的一部分。而且，和前几代人相比，他们对太阳能光伏等分布式能源技术的兴趣更高。因此，他们很可能乐于看到能源领域出现颠覆性技术。

Z世代出生于互联网时代，这一时期智能手机大范围普及，社交媒体大行其道。但与此同时，在他们成长的时期，全世界都在面对金融危机以及不断增加的安全威胁带来的困境。调查显示，Z世代的人群务实勤奋，具有高度的社会责任意识和环境责任意识。他们能够很好地适应变化与创新，期待来自世界各地的便捷服务和即时通信。

掌握推动变化者的信息很有帮助，从中我们能了解人类与能源的关系在未来会如何演化。从上文已经考察过的一些趋势分析，未来能源或许将会与我们每个人密切相关。接下来，我会从几个侧面对Y世代和Z世代未来的人生历程中可能出现的情景做一番畅想，为这个话题增添几分趣味。

## 智能生活

想象一下，未来的你是一名商务精英，每一分每一秒都弥足珍贵，为此你把一切日常事务都外包给了一家名为“生活后盾”的公司。只需要每月结账，这家公司就会为你提供衣食住行的全方位服务。公司还为你配备了一位智能机器人管家，它可以与你对话，甚至可以帮你订购商品。检测器和传感器遍布你的住宅，为你提供最舒适的生活环境。住宅屋顶装有太阳能光伏板，柜子里的电池可以存储暂时不用的电能。偶

尔，你想要把屋内的温度调高，一个小型热泵就能满足你的需求。你的住宅有着卓越的隔热性能，所以这一过程不会消耗太多的能源。你无须专门为这些服务花钱，因为生活后盾公司会帮你打理好一切，你要做的仅仅是把能源账单上省下来的钱付给这家公司而已。你不需要车，智能管家知道你什么时候出行，它会提前帮你规划好最佳的交通方案。它可能会告诉你下一班城市公交抵达的时间，可能会提醒你准备穿上骑行夹克，还可能会预约一辆自动驾驶电动车直接开到你的家门口。当你与这家公司签订合同时，你也授予了他们代表你做出某些决策的权力。比如，当自家太阳能光伏板产生的电能储备不足时，公司会替你选择性价比最高的另一家供电商，公司也会管理住宅内的用电需求，以减轻电网在高峰时段的负担。你在能源市场十分活跃，尽管一切操作你都无须亲力亲为。

换一个场景，想象一下，未来的你是个能源贸易商。从单一供应商处获取能源的方式彻底成为历史，欢迎来到点对点能源交易的时代！无须中间商，你可以与能源的生产者或消费者直接交易。这究竟是怎么做到的呢？首先，你自己的住宅就可以充当发电站，你的屋顶装有太阳能光伏板，或许花园里还有一台风力涡轮机，收集的电能存储在屋内的电池中。其次，分布式记账系统会由区块链或者其他相似技术实现，你可以安全地在点对点交易市场上买卖包括电能在内的各种能源。你可以任意地选择交易对象以及交易策略，比如低价购入高价售出，从而最大化收益，或者尽可能只购买清洁能源，从而为环保出一份力。这些操作你既可以亲自参与，也可以全权委托给第三方，让他们根据你的目标定制最优策略。此外，你为独立化的住宅安装了能够管控能源需求的智能设备，在电池的配合下，该设备能够根据你的交易策略调整你的能源需求。不仅如此，它还可以帮助你确定各项需求的优先顺序，比如先给汽车充电还是先为屋内供暖。你可以随心所欲地决定自己在能源市场中的活跃程度——活跃程度越高，回报也就越丰厚。

再换一个场景，想象未来的你毅然决然地中断了与电网的连接，完全掌控了自己需要的能源。为了实现自给自足，你必须考虑供电、供暖以及出行这三个方面的问题。你将家庭能源的使用效率提升到了极致，从而最大限度降低了对能源的需求。你把所有家用电器换成了直流电设备，让它们可以直接使用太阳能光伏板产生的电能。你购买了燃料电池系统，它可以将生活废物（包括污水）转化为额外的电能和热能。通信、互联和娱乐你依然可以畅享，移动网络加上手持设备能够满足你的一切要求。进行户外活动时，你也在时刻不停地从环境中采集能量，

这要归功于你衣服上的小型太阳能电池以及鞋垫中的动能转换设备。这意味着你可以随时给身边的设备充电，使其永不断电。你也会时不时地面临能源短缺的窘境，不过你很快就能习惯，再说也可以问问邻居愿不愿意伸出援手.....

人们可能会聚集在一起，形成所谓的利益共同体或地方团体（或者两者的融合组织），商讨并决断与能源相关的某些问题。同一个利益共同体中的人可以通力合作，争取更优惠的能源供应方案（集体转换），也可以为全新的能源项目众筹。地方团体以其所在的村庄或城镇为基础，加入团体的居民可以参与购买并运营当地的能源基础设施（比如太阳能光伏板），然后共享由此获得的能量和收益。有时，这些团体还会把包括电网和热网在内的地方能源系统整个买下。

但是，全世界此时此刻还有1/6的人住在没有电网覆盖的地方，他们的未来又会怎样？你是否想过，固定电话并不是移动电话出现的必要条件，我们也可以跳过现有的国家级电网建设，直接搭建更先进的设备？借助名为微电网的技术，这个大胆的想法正在逐步走向现实。所谓微电网，是指将一个社区内的太阳能光伏设备（或其他发电设备）、电池、控制系统通过电线连接成的小型发配电系统。换言之，只要提供上述组件，即使与国家电网完全脱离，该社区也能享受必要的能源服务。微电网可以在夜间提供照明，允许社区居民为手机等设备充电。通过提供此类基本服务，这项技术将产生巨大的社会效益与经济效益。事实上，随着太阳能技术与电池技术的进步及其成本的降低，国家级电网已经不再是必需品，我们完全可以将微电网作为替代品，大力推进它的建设。如果能更进一步将微电网与移动通信网和移动互联网结合，那么某些地区就可以一举拿下其他国家花费几十年时间才获得的成果。此外，无现金支付技术也值得一提。顾名思义，该技术可以让居民告别现金，通过手机和指纹等生物识别信息购买商品和服务甚至取得商业贷款，因此，这项技术有望创造新的经济机会。总而言之，这一系列的科技进步意味着，尚未建设国家级电网的国家或许可以跳过这一阶段，直接把目光投向微电网和无现金支付这样的新兴技术。

## 全球视野

现在，让我们离开个人层次与社区层次，尝试从洲际甚至全球的角度思考能源问题。当然，能源早就已经实现了全球化，各国之间互通的资源数量十分庞大。但是电能也可以这样全球化吗？

事实上，我们已经通过多种方式开展了这项工作。例如，大多数欧洲国家之间都有电缆与天然气管道，即使是四面环海的英国也通过海底线路与法国、荷兰和爱尔兰相连。但是，我们能够实现更大规模的电能传输吗？

DESERTEC是一个试图充分利用太阳能的超级电网计划。其想法是在撒哈拉沙漠及其周边地区建造大量风力发电站、太阳能光伏电站，以及集中式太阳能热发电站，然后经由西班牙和意大利的新型高压直流输电网将收集到的电能输送至全欧洲。其中，集中式太阳能热发电技术是该计划的重点，值得在这里简单介绍一下。请想象：我们以发电站为中心部署了许多反射镜，调整镜面的角度使其反射的太阳光汇聚于发电站顶部的接收器。这个技术的原理有点像用放大镜聚焦太阳光，但是在这里，最终汇聚的太阳光能够产生 $1000^{\circ}\text{C}$ 的高温，然后我们就可以像传统的火力发电厂一样利用高温驱动汽轮机。另外，我们还准备了巨型熔盐罐，将白天多余的热能存储下来，在夜间继续发电。

科学家还设想将太阳能电池板送入太空，然后让它们把收集到的能量发射回地球。虽然这听起来有点像007电影的情节，但这种在20世纪70年代提出的空间太阳能发电设想背后有严谨的科学逻辑。太阳光在穿越地球大气层的过程中会损失大约60%的能量，所以将太阳能电池板安置在大气层外可以大幅增加其收集到的太阳能。不过，即使成功地将太阳能电池板送入了太空，我们也要面临下一个挑战：如何将能量带回地球。使用微波或者激光可能是目前最好的选择。为此，我们需要在太阳能电池板上安装发射天线，用于将波束定向发射回地球，同时地面需要有配套的接收天线（长度也许会达到好几千米），用于将接收到的波束转换成电能。最后，在上述技术难题之外，还存在一些政治层面和经济层面的“小问题”，比如，人们需要通过谈判确定谁能拥有这些能量，谁又要为这些能量埋单.....

## 小结

这趟未来能源世界之旅已临近终点，你现在有何感想？虽然我基本上可以肯定，这些预测不可能每个细节都对，但我希望你能体会到这一点——未来，我们与能源的关系确实会发生转变。

最后，我想留给你一个思想实验。

请暂且搁置你的怀疑，思考下面这两个问题。假如能源完全免费会怎么样？假如你可以摆脱电线，直接以Wi-Fi那样的无线形式获取能量会怎么样？这些听起来像是痴人说梦，但事实上这并非绝无可能。超低成本可再生能源技术（比如空间太阳能发电站）的突破或者可控核聚变（太阳产生能量的途径）的实现都有可能让未来能源的价格变得十分便宜，甚至接近免费。无线电能传输技术也比你想象中的更常见，一部分手机和电动牙刷已经实现了感应式充电，所以类似的技术或许真的能在未来普及。此外，借助能够接收并发射波束的太空中继卫星，远距离电能传输也同样可以实现。但是，问题的关键并不在于技术或经济上的可行性，而在于我们与能源之间的关系会如何变化。如果有朝一日，能源真的如我们呼吸的空气一般完全免费，人类与能源之间的关系会有怎样的变化呢？

# 未来交通

## TRANSPORT

文/约翰·迈尔斯 (John Miles)

前面的文章已经介绍了人口问题、基因工程、超人类主义和人工智能。和这些充满挑战的主题相比，本文介绍的交通似乎和这本探讨人类未来的书格格不入。毕竟，交通指的不就是巴士、火车，以及总是挤得水泄不通的机场这些所有人都司空见惯的东西吗？别忙着下结论，其实交通的进步在人类历史的进程中发挥着举足轻重的作用，深刻影响着我们的生活方式。而现在，我们或许只需要发挥一点想象力就能预见未来交通会如何重塑我们的生活方式，带给我们新的惊喜。

人类的基本需求有哪些？获得普遍支持的有这么几项：水、食物、住所、对环境风险的防护，还有爱。很遗憾，这张不长的需求清单上并没有出现交通。但在现代文明的发展过程中，交通却是不可或缺的助推剂，如果没有交通的进步，许多关键的历史进步或许永远无法实现。以车轮这项平凡但意义深远的发明为例，不管是马车、驴车，还是一切现代化的机动交通设备，没有车轮都将彻底化为泡影。公路、运河、铁道，以及飞机的重要性也不遑多让，在这些概念提出之前，或许没人能预料到我们社会的发展将会呈现出今日的面貌。因此，要想窥见交通领域的下一步重大飞跃，我们有必要先了解现有交通工具对我们生活方式的深远影响。

### 成本、时间、载量与便利性

交通领域的发展会以不同的形式呈现，回顾这些新技术的时候，我们会发现它们有的至今仍令人心潮澎湃（例如协和式飞机和阿波罗登月计划），有的似乎平凡无奇（例如运河船和福特最负盛名的Model-T车型）。这些例子告诉我们，交通新技术的普及性和影响力并不取决于它融合的工艺有多复杂精巧，而取决于它能否满足一些基本的要求。

我们现在就来看看三个重要的基本属性——任何交通系统想要成功都必须在这三者之间取得良好的平衡。首先是价格可负担性（成本），合理的价格是一款产品从竞争激烈的市场中脱颖而出、为广大群众所接受的关键。因此，对于成功的交通系统而言，价格可负担性是应该满足的最显而易见的要求。另外两个属性分别是行程时间（速度）以及传输效率（载量）。

回顾人类历史，我们会发现，对交通领域的创新发展起到最大推动作用的是战争。在军事领域，成本在速度和载量的巨大优势面前只是细枝末节，所以罗马人会不计成本地修建公路，只为了能在基地之间快速地运输大量军队与装备。而在此过程中，罗马帝国实际上也在其下属的各城镇之间建立了贸易通路，为后续的经济的发展奠定了基础。海运发展史大致相似。在这两个例子中，发展交通系统最初都是出自军事上的考量，但它们随后都为人员与货物的流通提供了巨大的便利（后者更加重要）。这些交通系统推动贸易在越来越大的范围内持续增长，进而促进了各个层级——从区域级到国家级再到国际级——的经济发展。我们今天可以清楚地看到，历史上许多国家、帝国或者贸易联盟的建立与其陆上和海上交通系统的发展存在着密不可分的联系。我必须指出的一点是，交通系统未必能自然而然地从军事需求转变成经济助推剂，军事领域的耀眼明星或许只能成为随后社会经济发展的看客。超声速客机的历史就是这句话的一个绝佳注脚，协和式飞机直至退役也未能像它的设计者所期望的那样，成为大多数旅客的首选。这是为什么呢？

依我所见，问题的关键在于，协和式飞机的三个基本属性总体上不符合市场的要求。它的速度确实很快，但这并不足以抵消高昂的成本和过低的传输效率（每次航班最多只能搭载128名乘客）。空中交通领域的最终胜者是大型喷气式飞机，尽管速度较慢，但它降低了每名乘客的花费，增加了每次航班的客运量，从而提升了整体的效率。

喷气式飞机在远程交通方面十分高效，但它运输货物的效率却不尽如人意。因此，海运更适合作为全球范围内的货运方式。海运在成本（以每吨货物运输1千米的费用衡量）和载量（以每天或每年运输货物的吨数衡量）这两点上表现极佳，但耗时极长。在飞机发明之前，远洋船舶作为洲际旅行的唯一方式取得了相对短暂的成功，但海上航行的时间过长，所以几乎所有的海上旅程都是单向的。即便如此，海上交通的发展依然为15—17世纪欧洲人向外扩张提供了必备条件，他们远渡重洋，先后在美国、加拿大、南非以及澳大利亚等地建立了殖民地。可以

说，当代世界格局的形成与海上交通在那段历史中的繁荣不无关系。然而，无法全面实现双向旅程的海运在载客领域的主导地位最终还是被飞机所取代。不过，对于不易变质因而对行程时间不敏感的货品而言，海运仍然是上佳的选择。伴随着集装箱技术的成熟，以及船舶吨位的不断增加，洲际货运量的纪录持续被刷新，海运俨然已成为全球化经济的重要支柱。

以成本、时间和载量为标准，我们可以很方便地评判交通领域过去的发展，但这种评判方式的有效性难以延续到未来。过去，我们可能会乘坐列车上下班，因为这样比自己开车更快，而且还可以利用车上的时间完成一部分工作，但未来我们的想法或许会改变。想想看，如果你的汽车有了自动驾驶功能，解放双手的你可以使用智能手机和移动网络进行车上办公，那么你还会继续选择乘坐列车吗？我相信，移动通信、车载计算以及自主控制系统的协作有望延续当前的数字革命，在未来让交通领域改头换面，并且颠覆我们对交通的固有认知。在未来，选择出行方式时我们可能不再看重时间，它的地位或许会被便利性这一新的属性所取代。

那么，与我们和我们的下一代息息相关的未来交通会具备哪些特征呢？

## 环境影响

在交通领域，英国目前的人均每公里二氧化碳排放量大约是100克。如何让这个数字大幅减少是政府未来制定各项政策时需要考虑的重中之重。许多国家已经制定了相关法律，明确提出要在2050年前将全国碳排放量减少到1990年的20%。鉴于部分种类的能源消耗（例如空运）可能永远无法达到这一目标，公路交通不得不承担更多的责任。那么，我们是否有能力在2050年前将公路交通的碳排放量减少到1990年的10%呢？我们能否更进一步，实现公路交通的二氧化碳零排放呢？

多数评论家认为，长远来看，内燃机必将消亡，机遇之门已经为敢想敢为的创业家开启。特斯拉公司就是一个成功的例子。这家公司由一个白手起家的团队于2003年在硅谷创立。团队成员中有企业家，也有工程师。他们准确预见到了未来对清洁且性能卓越的汽车的强烈需求。经历了初期的举步维艰，公司随着其标志性人物埃隆·马斯克（Elon Musk）的到来逐步走上正轨。特斯拉生产的纯电动系列车型受到了全



世界的欢迎，目前年销售量达10万辆。就在我撰写本文前不久，特斯拉的股价已经超越了福特公司，这样的事情几年之前恐怕还无人敢想。特斯拉是这个行业里的搅局者，它是一家拒绝遵守行业既定规则的、新兴的、年轻的汽车公司，我们亲眼见证了它的崛起，这令人兴奋。70年来，历史悠久的汽车公司只能通过不断合并扩大规模，单打独斗走向成功的仅此一例。无论怎样雄心勃勃，试图在汽车行业分得一杯羹的新企业总是难以拿出足够的资产逾越行业的准入壁垒。但所谓的“科技公司”却可以突破这一限制，它们可以发行股份，从而在硅谷募集大量资源。特斯拉的崛起如同一石激起千层浪，汽车行业的巨变或许真的不再是幻想。无论以特斯拉为代表的搅局者在与传统汽车业的对决中走向什么样的结局，它们对于行业的影响都已产生，并且势必会持续很长一段时间。在过去的几年里，家喻户晓的汽车巨头纷纷宣布将打造纯电动系列车型，毫无疑问，它们会在不久的将来兑现这一承诺。

目前，电动汽车在载量和便利性上的表现与传统化石燃料汽车相差无几，却有着更高的使用成本——至少暂时如此。因此，即便电池价格下降，顾客逐渐把现在使用的化石燃料汽车更换成电动汽车，电动汽车大大改变当前社会经济格局的可能性依然微乎其微。但是，搅局者的出现或许会在其他方面对社会经济格局产生更大的影响，本文会在后面探讨这个话题。

## 公共交通与智能出行

数字革命拓宽了人们对公共交通的认识，“智能出行”的概念应运而生，被交通领域的专业人士广泛接受。根据“智能出行”的理念，只能从公交车、列车、私家车中选择一种作为出行工具的年代终将成为历史。未来，我们会习惯在一趟旅途中切换多种不同的交通工具。交通规划者一直追求的“多式联运出行”终于有望实现。实现这一目标的努力在过去屡屡受挫，雨天在公交站等半个小时，被迫中途走几百米去最近的地铁站，这些实在让普通人难以接受。为此，全球无数上班族把公共交通的优先级排到了最低——坚决不予采纳，除非别无选择。虽然有车位难找、容易堵在半路等诸多不便之处，汽车对于有经济实力的家庭仍然是首选。

在智能出行构筑的新世界中，公共交通焕发出了新的光彩。如果能建立出行者信息系统，以及囊括列车、巴士、自行车的按需随选公共交通系统，并实现两者的实时信息交互，那么我们就可以在没有任何延误

和不确定因素的条件下完成交通工具的行程内切换。或许真的有一天，公共交通可以提供快速可靠的“门到门”服务，我们再也不用为堵在半路或是找不到车位而心急如焚。

## 自动驾驶汽车

自动驾驶技术是汽车行业的另一个搅局者，它的加速发展强有力地冲击着既定秩序，谷歌、苹果和优步对该项技术表现出的重视令一众车企巨头备感压力。不过，我还是要表达与之前相同的看法，发展自动驾驶技术的公司最终能否取代老牌车企的地位，这并不是我们要关心的事。无论如何，它们已经为行业的发展提供了新的方向，这足以使它们青史留名。我们还不知道谁能成为这场自动驾驶竞赛的胜者，从而赢得至高的学术荣誉，但至少竞赛已经开始，老牌巨头与新兴车企都铆足了干劲飞速发展，这点才是真正重要的。

很多业内人士都认为自动驾驶技术能改变游戏规则，原因大致有两个。第一，该技术能够解决城市的交通拥堵问题。从纽约到孟买，严重的交通拥堵是世界上许多发达地区和发展中地区所面临的共性问题，如何利用有限的公共资源提升公路和铁路的运载能力是摆在政策制定者面前的一道难题。修建新的基础设施既昂贵又不便，从规划到实施动辄就要花费二三十年。另一方面，研究人员经过简单的计算即可证明，自动驾驶技术能够严格控制车道，缩短车间距离，减少驾驶员注意力不集中导致的小型交通事故，可以在很大程度上改善交通拥堵的问题。自动驾驶技术与共享汽车理念的结合会增强民众的出行意愿，但这对于缓解交通拥堵所起到的作用依然十分可观。交通拥堵缓解了，城市运载能力也会有所提升，推广自动驾驶技术所需的资本支出极少，而且这项推广几乎不会造成任何不便，我们有什么理由不去大力发展这项技术呢？

关注交通领域新动向的专家重视自动驾驶的另一个原因是，“时间奉还”有着诱人的前景。一旦车辆实现了自动驾驶，（原先的）驾驶员就可以自由地安排行程时间。驾驶员可以做些别的工作，也可以自娱自乐，甚至可以打盹儿，这有助于化解漫长旅途引起的不快。只要在车上做的事有价值，即便行程比预期滞后，你也不会感到焦虑。而且，信息系统能够提前通知延迟，并保持信息的实时更新，这会让你更加安心。

那么，上述这些交通领域的明日之星真的能在未来的某些应用场景中生根发芽吗？对于这个问题，诚实回答是：我也不知道。但是透过迷

雾，我们确实能看到未来的几种可能，接下来，我会根据现有的认知进行几点猜测。

第一，无论是在城镇还是在郊区，汽车在短程出行中的重要性都将减小（但不会完全消失）。之所以会出现这一趋势，主要原因在于，随着服务水平的飞速提升，公共交通会逐渐成为成熟的智能出行方案。公共交通的便利性会在未来显著提升，载量也将随着需求的上升而增长，这会直接让每名乘客需要分摊的费用大幅下降——正如大型喷气式飞机的出现使机票价格下降。当然，决定公共交通能否成功的关键在于，它和私家车相比优势有多大。与其用法律法规限制普通人选择交通工具，不如提高公共交通的服务水平，吸引更多乘客。这无疑是推动公共交通发展的更有效的方法。提升公共交通吸引力的关键在于确保其多式联运模式的可靠性与无缝衔接。时不时需要变更交通工具确实会带来些许不便，但多数人是可以坦然接受换乘，只要交通拥堵和停车困难引起的烦恼能够消除。

第二，在中程（5~300千米）出行中，汽车的主导地位会进一步得到巩固。这是自动驾驶技术进入市场产生的结果，我们将看到城市运载能力显著提升，道路交通事故大幅减少。这两大目标的实现几乎不会给公共资产带来额外的负担。自动驾驶或许还谈不上引发社会经济变革，但它至少能够缓解我们目前面临的困境，这足以使它成为交通领域的一项突破。

我的第三点猜测关乎时下备受瞩目的近声速陆地交通工具：超级高铁。这种交通工具的概念在2013年由马斯克提出，颇受媒体关注。所谓的超级高铁，实质上就是基于磁悬浮技术在真空管道中穿行的超高速列车。想象一下，如果超级高铁的班次，以及乘坐超级高铁去国外城市所需花费的时间，两者都与现在的城市地铁水平相当，那么未来的社会经济格局无疑会发生巨大的变化。有了超级高铁，原本只够从伦敦到曼彻斯特的时间可以让我们从伦敦到达比利时的布鲁塞尔。马斯克也说过，高铁可以让旧金山到洛杉矶的行程时间缩短至45分钟。伦敦地铁和巴黎地铁可以让这两座城市在经济层面成为内部协调的整体，超级高铁也能协调一国的经济。它可以解决英国南北距离遥远而带来的一系列问题，将由此产生的收益分配至全国各地。其他的中小型国家也可以获得类似的益处。但考虑到协和式客机这一失败的先例，超级高铁要想取得成功，除了要兑现超高速的承诺，还必须尽可能地降低成本，提高乘客运输效率，否则它最终只会成为小部分富人的专供产品。这样的模式无法

改变当前的社会经济格局。

除了上述内容，我尚未看到交通领域还有哪项技术发展能使我们的生活方式发生革命性的改变。毫无疑问，低排放（甚至零排放）汽车会出现，但它们并不会改变我们的生活方式。海运技术也会有所发展，但无论在成本和载量这两点上如何优化，其行程时间上的劣势终究还是难以忽视。只要我们还能选择飞机，海上交通就无法成为客运领域的主流。空运的情况则恰恰相反。制造商会不断提升传统飞机的性能。然而，在不增加乘客花费的前提下，飞机在载量和班次上如果没有显著的提升，我们的生活方式就不会受到持续的影响。空运能否在货运领域实现飞跃，则取决于未来飞机的运载能力能否达到与大型集装箱船同样的量级，这希望十分渺茫。

交通领域的最后一个前沿课题自然是太空运输。既然你已经熟悉了基于成本、载量、便利性的评价方法，不妨自己思考这个问题，看看这三个属性在太空运输领域的情况。不过，无论如何，太空运输都是一个能够对我们未来的生活方式产生持续影响的新领域。

# 机器人技术

## ROBOTICS

文/诺埃尔·夏基

我们与机器人的未来存在许多种可能。机器人技术的发展可能会让人类大大受益，也可能导致乌托邦的到来。我们无法猜测未来具体会发生什么，这要交给占卜师和科幻小说家。不过，即使不去理会那些稀奇古怪的想象，机器人技术现在也确实吸引着各国政府的目光，各方对这项技术可能带来的数十亿美元的经济增长虎视眈眈。但是，在机器人商业化的潘多拉魔盒尚未打开之前，我们有必要先处理一些紧急的问题。

事实上，我们近几年一直徘徊在机器人革命的风口浪尖。从20世纪50年代起，机器人一直在工厂以远胜人类的速度做着汽车喷漆、组装部件等单调重复的工作。但现在，更年轻的服务机器人在数量上已经远远超过了工业机器人。服务机器人的应用范围涵盖你能想到的所有领域：从医疗保健到老幼看护，从烧饭做菜到鸡尾酒调制，从家庭清洁到农业种植，从辅助外科手术到保护濒危物种，从维护治安、上阵杀敌到监测、修复气候变化造成的破坏，甚至还出现了有争议的伴侣机器人。可以说，只有你想不到的，没有机器人做不到的。

开拓这些应用领域令许多从业者和投资人兴奋不已。机器人产业巨大的国际市场方兴未艾，吸引着各国政府与企业的关注，各方将机器人技术视为增加自身财政收入的关键技术。大量资本涌入，为机器人行业的发展起到了推波助澜的作用。企业与创业者开发了大量的机器人应用程序，行业竞争变得异常激烈，而这一情况必将进一步推动机器人领域的创新。

这个行业未来的发展趋势很大程度上取决于国际监管的力度，以及相关企业和员工愿意承担的社会责任。许多机器人应用的发展是以消费者的信任为前提的，若无法赢取信任，这些应用就会停滞不前，投资人也将面临巨大的损失。

## 自动驾驶

2005年10月8日，一辆无人驾驶的大众途锐汽车在内华达州的莫哈维沙漠创造了历史，并且赢得了200万美元的奖金。在美国国防高级研究计划局（DARPA）主办的无人驾驶沙漠公路挑战赛中，这辆名为“斯坦利”的赛车以6小时53分8秒的成绩行驶了约212千米的全部赛程，一举夺魁。最终，23辆参赛汽车中有5辆成功到达终点线，第四名与冠军斯坦利的差距只有36分钟。

这是机器人领域的一个重大飞跃。要知道，在前一年举办的DARPA挑战赛中，15辆参赛汽车中，行驶距离最长的也只开了约11千米，与终点相差约201千米。2005年的赛事结束后，谷歌公司迅速招揽了获胜团队，并在随后的十几年取得了自动驾驶领域一系列引起全球瞩目的成果。

现在，有越来越多的企业试图进入这个竞争日趋激烈的新兴市场。自动驾驶技术的应用范围也在不断扩大，自动驾驶卡车每天从澳大利亚北部的矿山搬运矿产，自动驾驶拖拉机让粮食生产更加高效，自动驾驶公交车已经在美国、丹麦和日本进行性能测试，优步也在美国推出了自动驾驶出租车的服务。当然，在可预见的未来，所有这些自动驾驶设备都需要配备乘务人员，以便在必要的时候进行人为干预。

人们对自动驾驶的热情主要基于这样一个信念：这项技术将大大减少交通事故死亡人数。支持者认为，和人类驾驶员相比，自动驾驶汽车可以凭借各种传感器更快、更可靠地发现并避开行人和其他车辆。另外，自动驾驶系统不会像人类那样疲劳或醉酒，也不会因后排儿童的吵闹而分心。

不过，并不是所有人都看好自动驾驶的发展前景。内华达州更改州法，允许自动驾驶汽车上路后，该州的高速公路巡警特鲁珀·查克·艾伦（Trooper Chuck Allen）表达了担忧：“把路线和车速的决定权交给机械，意味着把其他人的安全也交给了机械，这确实很难让人放心。”虽然自动驾驶汽车极少出现意外，但确实也发生过几起严重的事故，甚至导致了死亡。乘务人员必须保持警惕和专注，在发生意外时及时接管汽车。比如，出现临时交通指示牌或者有交警提醒前方发生事故需要减速慢行时，自动驾驶系统可能无法准确应对，必须进行人为干预。但是，连续盯了几小时却完全没发现有必要插手，乘务人员很可能会对汽车心生依赖，从而逐渐放松警惕，导致意外真正降临之时手忙脚乱。

此外，还有伦理方面的问题。想象一下，面临如下两难之境时，自动驾驶汽车该如何抉择：刹车失灵，只有两条路可走，这时车子究竟该撞向骑自行车的老爷爷，还是该撞向另一辆载有一名孕妇和两个孩子的汽车？这种情况下，自动驾驶汽车能否急速转弯撞向围墙，置车主的生死于不顾？这些问题很有深意，不过就目前自动驾驶汽车的传感能力而言，思考这些还是杞人之忧。除了确保测得的速度、距离等数据的精度，我们还希望汽车能够根据摄像机拍摄的画面“分析”路面状况，判断路面是否有水或油。换言之，我们希望未来的自动驾驶汽车有能力提取深藏于原始传感数据背后的信息。

解决这些难题还需要一段时间，但我们可以预期，到2050年时，全世界的高速公路将发生翻天覆地的变化。当人为干预彻底消除，汽车与汽车，汽车与道路之间通过传感器建立了通信，当汽车能够获悉前方道路发生的意外，并根据整体情况自动做出响应，交通事故的数量将会大幅减少。当然，这项技术还存在着一个重大缺陷：黑客也许会入侵系统，造成巨大的破坏。

## 家用机器人

家用机器人是比较无趣的一种机器人，但它们确实已经成为许多家庭的一员。现在的家用机器人并没有做成人形，它们和《星球大战》中的经典角色C-3PO在外表上完全不同。它们更像装有轮子的笨重飞盘，兢兢业业地从事着擦窗、扫地、拖地，以及清理排水槽和下水道这类没人愿意做的无聊工作。

根据国际机器人联合会（International Federation of Robotics, IFR）的数据，2014年全球总计售出470万台机器人供个人或家庭使用。2015年，这一数字增至540万，销售额达22亿美元。而这个庞大的全球市场短期内没有萎缩的迹象，甚至很可能继续扩张。IFR预测2016—2019年家用机器人的销售量将达到4200万台，这还是保守估计。

在未来，越来越多的家务将由机器人完成。除了打扫和清洗，家用机器人还会有更多功能，比如熨烫衣物、折叠毛巾，甚至独立完成用洗衣机洗衣服的全套操作。具备这些功能的机器人不会很快问世，不过我们可以期待，在二三十年内，我们的家中就会出现它们辛勤工作的身影。

还有一些机器人专门用于制作汉堡、比萨、寿司，这类机器人的研发工作也取得了重大进展。当然，能够快速调制鸡尾酒的机器人也已经不是新鲜事物了。不难想象，未来20年里，这类机器人的价格会迅速下降，直至能被普通家庭所接受。

我之所以说家用机器人无趣，是因为它们的设计初衷就是承担我们日常生活中那些乏味、重复、无趣的工作。但这项成果对于我们人类而言其实十分有趣，只要将家用机器人接入物联网住宅，我们就能彻底摆脱烦琐家务的束缚。不过，这里还有一个大问题——

除非你住在宫殿里，否则你的家中恐怕没有足够大的空间安置这么多功能各异的机器人。因此，要想使前面的畅想全部成为现实，我们就需要多功能机器人技术的突破性成果。可惜目前为止，我们还看不到多功能机器人问世的迹象。不过无论如何，未来的智能家居很可能把机器人嵌入各种家用电器之中，或者整合进住宅的基础构造之中。所以，未来的炊具也许会在检测到你离开厨房20分钟后自动关火，从而防止意外的发生。

## 看护机器人

能够在看护老人和儿童的过程中发挥辅助作用的机器人在过去十年里数量飞速上升。根据IFR的数据，2014年，辅助看护老年人和残疾人的机器人数量比上一年增长了5倍。在这个领域，如果选择对方向，我们会大有收获，反之，一旦我们行差踏错，则会面临严重的后果。

值得我们关注的是保姆机器人的开发。许多亚洲厂商一直在努力制造真正的保姆机器人。这种配备有电子游戏功能、智力测验功能、面部和语音识别功能，以及有限会话功能的机器人能够引起学龄前儿童的强烈兴趣。它还可以将图像与声音实时发送给看护者，在一定程度上预防可能发生的危险。这种机器人对忙于工作的父母而言充满吸引力，而且它的价格也在持续下降。有些家长甚至已经开始使用一些较为便宜的产品，例如售价为2000英镑左右的Hello Kitty机器人。

人口老龄化是看护机器人得以迅速发展的重要动力，因为看护机器人可以为解决老年人护理这一社会难题提供助力。这方面日本走在了世界前列，许多具有不同功能的看护机器人已经上市，比如西科姆公司研发了能够自动喂饭的My Spoon机器人，三洋集团研发了能够自动冲洗的



电动浴缸机器人，三菱集团研发了能够进行监控和通信，并且提醒人服药的Wakamura机器人，理化学研究所研发了能够听取简单指令搬运行动不便者的RI-MAN机器人。欧洲和美国同样面临人口老龄化问题，现在也在加大这一领域的投入，追赶日本的步伐。

与任何快速兴起的技术一样，机器人技术潜在的风险和伦理问题需要引起重视。但同时我们也必须承认，看护机器人在许多方面都可以发挥重要作用。对于出现痴呆或其他脑衰老症状的老年人，看护机器人可以提高其自理能力，延后其进入医院或特殊养老院的时间。对于有特殊需要的儿童，看护机器人的作用也已经得到了实例验证。

机器人具有交互属性，可以帮助孩子提高对科学和工程的兴趣，也可以推动老年人投入社交互动。不过，看护机器人普遍装备摄像机，这可能会引发另一方面的担忧：这是否会侵犯年幼者与年长者这两个弱势群体的权益？除了确保各年龄人士的身体健康，社会还有责任和义务尽可能保证他们心理健康，不受冒犯。展望未来，我们将看到更多看护机器人协助看护老人与儿童，但在此过程中，我们必须小心翼翼地把护理工作的主导地位留给人类。

## 武装和治安防护机器人

不难想象，世界各地的军队也会因机器人在武装冲突中可能发挥的作用而对这项技术翘首以盼。有些应用方式比较温和，比如炸弹拆除，从战场上找回受伤士兵，以及远程操控机器人进行空中侦察。

但是，全球也有不少团体在全力研发可以在无人监督的情况下击杀对手的机器人武器。根据美国国防部的说法，自主武器系统发射之后无须进一步的人为干预，可以自行选择目标并发动攻击。中国、美国、俄罗斯和以色列正在为率先实现坦克、战斗机、潜艇和军舰的自主化及集群化作战而展开竞赛。

这些武器无疑会对当前的国际人道主义法与战争法（比如《日内瓦公约》）形成挑战，对国际安全构成重大威胁。姑且不论战争的各种是非非，许多人都认为将是否杀死人类的决定权交给机器在道义上是完全错误的。在过去的几年里，我一直奋战在前线，与众多的非政府组织和诺贝尔奖得主组成联盟，共同呼吁联合国制定新的国际条约，禁止机器人武器的研发和使用。我们已经取得了重大进展。

但是，新的国际条约只针对武装冲突，而不会限制机器人在治安防护方面的使用。事实上，机器人协助警方监视、射击、收集情报、拆除炸弹和解救人质的历史已经有十多年了。这一切似乎都很合理。然而，所谓的非致死性武器作为机器人的装备越发普遍，人权主义者也越发不安。南非的沙漠狼公司于2014年推出了臭鼬无人机，这款无人机装备了四支彩弹枪，每支枪可以在1秒内发射80颗胡椒弹。市场对这款无人机的需求不断增大，公司不得不在阿曼和巴西增设工厂，这意味着民用武装无人机正在全球迅速增多。此外，美国北达科他州最近刚通过了1328号法案，允许警察给他们的四轴无人机装备泰瑟电击枪等所谓的非致死性武器。事实上，这种装备在某些情况下可能致人死亡。

美国警方多年来屡次将非武器机器人临时充作武器使用。警方使用机器人杀人的第一起事件于2016年7月在达拉斯发生，对方是一名导致5名警员死亡，7名警员受伤的狙击手。警方的做法似乎无可厚非，法律专家也表示这完全合法，但问题在于，我们或许已经越过了某条红色警戒线。警察需要保护自己，但在此前提下，警方应当尽可能地采取非暴力手段。只有当非暴力手段无效时，警察才有必要转向暴力手段，并根据对象的反抗力度逐步升级暴力水平。这点对于自主机器人而言无疑是一个巨大的挑战。

当前，为了武装冲突而研发的自主机器人武器也许会进入普通人的世界。在面临恐怖主义袭击等“恰当”的情景下，大量的机器人武器或许可以用来“保护”平民，它们可以在大规模识别和跟踪可疑人员时发挥重要作用。由于后续袭击的威胁持续存在，这些机器人将会变得难以从城市撤离。在任何社会中，机器人赋予警方的巨大力量都很容易被滥用，这样的未来绝对不会是我们想要看到的。

## 偷走就业岗位的机器人

目前，关于人工智能在几十年内造成大规模失业的报道比比皆是。2013年就有学者预测，美国47%的工作岗位会在20年内被计算机取代。2014年，德勤咨询公司根据在英国、瑞士和荷兰等地展开的研究得出了相似的结论。美国、英国和意大利的银行从业者也对这一趋势表达了深切的担忧。

有解决办法吗？恐怕没有。有人认为机器人应当只在人类不擅长的领域发挥补充作用，这样一来机器人会用于取代或辅助部分职位，但不

会使整个行业都消失。但是，随着机器人成本疾速下降，可胜任工种迅速增加，确实有许多人会在未来面临失业问题。

当失业潮来临时，我们要如何应对？有不少人提出了建议。微软创始人比尔·盖茨提议，公司用机器人代替人工时应缴纳一定税款，作为全民基本收入（Universal Basic Income, UBI）资金库的部分来源。UBI的理念由来已久，近年重获关注。这种理念可以有多种不同的实现形式，其中一种是每月给所有人发放一笔等量的基本收入，等人们获得工资收入后，再适当回收一部分。目前，部分地区正在开展UBI试验，但尚未有任何国家正式推行UBI政策。

机器人时代确实可能是乌托邦，让无数人陷入穷困。但我们也有可能迎来真正意义上的理想社会，每个人都有充分的自由做自己想做的事情。未来究竟会如何，或许只有时间才能给出答案。

## 为气候变化修复问题的机器人

气候变化造成的影响已经开始显现，我们的水和粮食难以支撑地球不断增长的人口。好消息是，对于气候变化造成的部分破坏，机器人可以起到缓解和预防的作用。

潜艇机器人可以下潜到人类难以到达的深海，在海水水柱中寻找有关全球变暖的重要线索。领跑这项前沿研究的是加利福尼亚州莫斯兰丁蒙特利海湾研究所的海洋生物学家，他们使用水下机器人完成当今海洋科学领域最繁重的工作。除此之外，水下机器人还可用于发现并修复遭到破坏的珊瑚礁。

新加坡国家水利局正在使用机器天鹅监测水库中有机物和无机物的含量。新加坡的另一个项目团队则在开发成群的小型机器海龟，用于监测海洋环境，减轻溢油事故造成的影响。另外，包括苏格兰在内，全世界很多地方的团队都在开发珊瑚机器人。这些机器人可以潜入水中，像蜜蜂和蚂蚁一样以集群的方式协同工作。它们依靠特定的程序把珊瑚和其他海洋物体区分开，从而达到识别的目的。遇到被飓风等自然灾害破坏的珊瑚，以及被渔船拖网破坏的珊瑚，这些机器人可以将它们拼接在一起，使其重新生长。

密歇根州立大学研发的机器鱼群正在协助改善北美五大湖的水质。

它们携带的传感器能够监测水温和氧浓度，检测污染物，将水质数据通过无线电传给管理员。

苏格兰海洋科学协会多年来一直在使用定制的遥控无人机（Remotely Piloted Aircraft, RPA）勘察北极最危险、最难到达的地区，以研究冰川融解的原因。这些无人机使用激光测距仪进行测量，使用相机拍摄极地冰川的图像。冰川专家用这些独一无二的数据进行着有关全球变暖的最前沿研究。

化学品泄漏会对人类和生态环境构成重大威胁，在应对这类问题时，机器人可以发挥关键的作用。例如，机器人可以用于检测石油外泄，检查是否有易燃的甲烷气体或有毒化学品从输运管道的裂缝中逸出。机器人也可以用来检测水管泄漏。别小看这个问题，全世界有多达25%的珍贵饮用水以这种方式流失。阿联酋使用无人机检测水管泄漏，这一措施将水资源的浪费减少了10%。

机器人技术可以提高粮食生产的效率，减轻作物生长对周边自然环境的影响。无人机可用于测试作物的成熟度，防止粮食浪费。自主农业机器人可以大幅提高粮食生产的效率，而且可以大大减少油耗。

保护环境和提高粮食产量可能是未来机器人最重要的任务。若能获得足够的资金投入和国际社会的大力支持，机器人或许会成为人类的救世主。

## 人类与机器人的未来

除本文提到的内容之外，未来几十年里，机器人技术还会对我们生活中的许多领域产生影响，有些甚至会超出我们现有的想象。看过本文，你应该已经明白，准确描绘机器人技术的未来是非常难的。在未来，机器人带给我们的可能是乐观者眼中美妙的理想社会，也可能是悲观者眼中凄惨的乌托邦。各国政府最近才开始把目光投向有争议的机器人问题，欧洲议会也才刚刚投票确定了机器人法的大体框架。但是，不管新的法律法规有什么内容，机器人的未来发展最终都要依靠我们全人类共同的努力与关注。我们既是消费者，也是公民，所以我们要全力确保机器人带给我们的未来是丰饶的，是迷人的，是能让所有人都受益的。

# 第五部分 遥远的未来

THE FAR FUTURE

星际旅行与太阳系开发/末世图景/空间传送与时间旅行

# 星际旅行与太阳系开发

## INTERSTELLAR TRAVEL AND COLONISING THE SOLAR SYSTEM

文/路易莎·普雷斯顿 (Louisa Preston)

早在2000年，人类就开始体验在太空中生活，不过生活区空间不大，只能容纳不到10名宇航员。这片生活区位于国际空间站

(International Space Station, ISS)，这是一颗运行于地球轨道的、拥有居住舱的大型人造卫星，也是人类向外太空进发的第一个前哨站。截至2017年，人类尚未在地外天体的表面建立太空殖民地，不过别以为这个想法仅仅是科幻小说的素材。人类最终必然会找到银河系中其他适宜生存的星球，这一目标已经铭刻在了人类命运的图景中，追求这个目标是我们必须自觉承担的责任，也是衡量未来人类成功的关键。人类踏足宇宙的最重要目的或许是了解宇宙以及我们在其中所处的位置，但这绝对不会是唯一的目的是。全世界不断增长的人口有朝一日将超越地球的承受极限。为了让人类继续生存繁衍，也为了保护与我们共同生活在地球家园上的其他生灵，我们不可避免地要向外太空进发。与此同时，宇宙中充满了有用的材料与能源，可以为我们提供取之不尽、用之不竭的丰富资源。不过，要想实现目标，我们还有许多文化层面和技术层面的困难需要克服。

### 推进器的选择

越了解宇宙的广袤程度，我们就越能认识到人类面临的困难有多大。我们无力改变太阳系与其他恒星之间的遥远距离，即便是最近的半人马座 $\alpha$ 星也与我们相距4.3光年（41万亿千米）。人类目前最快的宇宙飞船是旅行者号，速度为18千米每秒，它完成这次航行需要7万多年。所以，用《星际迷航》中斯科特的话来说就是：“我们做不到，舰长——我们没有这个能力！”因此，我们的首要任务就是将理论结合实践，设计并改进我们的推进技术，让我们在探索宇宙的过程中飞得更快、更远。那么，我们要从哪里开始呢？

很长一段时间以来，化学火箭都是我们“忠实可靠”的星际运输方式，它将推进剂燃烧产生的气体从喷管排出，从而获得推力。不过，我们已经最大限度地利用了推进剂化学键中存储的能量，因此很难将化学推进技术进一步改良，使其满足星际航行的需求。当然，化学火箭仍然可以为我们的目标行星提供燃料。如何在可接受的时间范围内抵达目标行星是我们亟须解决的难题。目前，我们也在使用电热火箭发动机，它们产生的推力非常小，自20世纪70年代就被用于卫星轨道姿态的精准控制。显然，电热火箭发动机也无法成为我们探索银河系的首选发动机。未来，为我们穿越外太空提供推力的或许是离子推进器和太阳帆。离子推进器先将携带的惰性工质电离，然后施加电场，使离子加速喷出，从而获得推力。这样产生的推力很小，但在长途任务中，它携带的每千克工质提供的冲量是化学火箭的10倍。采用当前的技术手段，从地球航行至火星需要6~8个月的时间，但如果改用离子推进器，这个时间可以缩短到39天。现在，环绕矮行星谷神星运行的黎明号空间探测器采用的就是离子推进器，在这项推进技术的帮助下，黎明号成为第一例进入首个天体轨道后能够成功脱离并进入另一个天体轨道的航天器。另一项颇具前景的技术是太阳帆。太阳光束照射到太阳帆上会产生光压，从而形成持续的推力。因此，装备了足够大的太阳帆的航天器即使不携带任何燃料，也可以达到令人难以置信的速度。但是，随着航天器逐渐远离太阳系，太阳光的强度不可避免地减弱，可用的推力也会相应减小。因此，为了使航天器在预定航线上顺利前行并在接近目标行星时成功减速，额外的燃料也是必不可少的。

论潜力，还有其他几种能够帮助人类成为星际旅客的推进方式，包括等离子发动机（本质上就是高能离子推进器）、核裂变发动机、连续式或脉冲式核聚变发动机（实际模拟太阳能产生），以及就可行性而言只能位列末席的反物质发动机。反物质是一类特殊的物质，组成它的基本粒子所携带的电荷与正常物质恰好相反。当反物质与正常物质接触时，两者会湮灭并释放出纯粹的能量。这个过程的能量密度超过任何已知的其他过程。如果可以将反物质用作星际旅行的燃料，我们就能获得迄今为止最高效的推进系统。2006年，NASA创新先进概念研究所资助了一个团队，研究反物质动力飞船的可行性。他们的计算结果表明，1/1000克的反物质就能在45天内将一艘飞船送到火星。然而，问题的关键在于，我们如何才能制造足够的反物质燃料。毕竟，直到今天，全世界所有实验室拥有的反物质加到一块，也只能热一杯茶而已。

## 家外之家

飞船的速度越快、性能越强，我们抵达遥远星系的可能性就越大。我们最终的目标是建造能够承载全体宇航员，以接近光速的速度在太空中穿梭的宇宙飞船，这将带来两个明确的好处。第一个好处显而易见：我们可以缩短旅程所需的时间，在几年之内到达最近的恒星。另外，如果你以99.5%光速的速度旅行，那么根据爱因斯坦的相对论，别人的时间会比你的快10倍，所以在星际旅程中，跨越了100光年的宇航员只会衰老10岁。当然，这也会带来一个问题，那就是，当他们返回地球时，会发现曾经的同龄友人都比他们老了90岁，甚至早已不在人世。这样的飞船需要非常强劲的推进系统以及大量的防护措施，以保护高速状态下的船体和宇航员不与小行星或太空碎片发生碰撞。或者，我们无须不顾一切地追求更快的速度，而是可以采取另一种方案，即接受飞船较慢的航行速度以及较长的旅行时间。假设我们建造了速度慢得多的星际方舟（比如其速度只有光速的0.2%），那么我们仍然可以在10000年内抵达太阳系附近几十颗恒星中的任意一颗，不过这需要飞船上几百代人的共同努力。

这样的星际方舟被称为世代飞船，数以千计的乘客居住于此，世世代代在船上繁衍生息，直至抵达最终的目的地。飞船必须足够耐用，这样才能在几千年的时间长河中经受住太空环境的严峻考验。飞船还必须完全自给自足，能够为船上的每个居民提供充足的能源、食物、空气和水。飞船内部的系统也必须非常可靠，只要居民进行定期维护，它就可以在漫长的时间内正常工作。飞船上的居民将组建家庭，孩子出生后会接受训练，学习如何操控及维护飞船，并在父母和祖父母衰老或死去之后接手他们的工作。世代飞船上独特的环境无疑会催生许多生物层面、社会层面和道德层面的难题，特别是那些涉及自我价值、组织管理以及人生意义的问题——最初的先驱无法活着看到自己的使命完成，中间的几百代人也注定在船上生、在船上死，有生之年看不到自己的努力有任何实际的成果。被迫和飞船捆绑在一起的他们究竟对此作何感想？他们能够应对这样的环境吗？

为了避免这些问题，我们或许还有一个更好的方法，就是让飞船上的大多数人甚至所有人进入休眠或假死状态。这样一来，他们就可以活着抵达旅途的终点，这种飞船被称为睡船。我们还可以设计携带胚胎的星际飞船（Embryo-Carrying Interstellar Ship, EIS），它可以将处于冷冻或休眠状态的人类胚胎或DNA送至遥远的目标天体。然而这种方法存



在一个明显的问题——如何让这些胚胎顺利成长？因此，航行时间不超过人类寿命的飞船仍是最佳选择。理论物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）曾经构思过这样的宇宙飞船，它以核聚变或核裂变作为动力来源，通过不断地引爆小型核弹来获得推力。美国政府曾对这一方案开展过研究，这就是所谓的“猎户座计划”，但这项计划最终因其潜在的放射性威胁而被放弃。最后，我们还可以在太阳系部署大功率激光发射器，用激光束来推动飞船。斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）、尤里·米尔纳（Yuri Milner）和马克·扎克伯格（Mark Zuckerberg）基于上述想法提出了突破摄星计划——制造能够飞抵半人马座 $\alpha$ 星的光推进小型自主航天器。根据计划，这些名为摄星的航天器将在20年内完成发射前的准备工作。摄星由超薄光帆和贴在光帆上的芯片组成，芯片的尺寸与普通的硅晶片相当。大约上千颗这样的摄星会先搭载一艘母舰进入太空，随后，建造在高海拔地区的激光设备会向它们发射激光，很快这些摄星就能加速到20%光速，向着最终目的地进发。在这个速度下，它们需要在空间中飞行20年才能抵达半人马座 $\alpha$ 星。

也许，我们不一定要静静等待现有的技术逐步成熟到与我们进军宇宙的野心相称。科幻作品向我们提供了别的方案。根据《超时空接触》和《星际穿越》这类科幻电影，我们“只需”找到一个虫洞就能实现星际旅行。从此，你可以告别漫长的旅途，穿过虫洞通道就能在瞬间抵达银河系的另一头。尽管这听上去很像天方夜谭，但我们无法完全否定它在理论上的可能性。然而，即便真的发现了虫洞，我们目前也没有充分的证据证明这种方法确实可行，对于人类这样的脆弱物种而言，它的安全性恐怕也要打一个大大的问号。

## 人体的脆弱

除了巨额成本以及必要的科学进步和技术发展，人类的太空探索事业还面临着另一个巨大的挑战，即脆弱的人体是否能适应太空旅行。要想让未来的人类进行长期甚至无限期的太空旅行，我们必须清楚地知道长时间的太空生活会给我们纤细敏感的生理系统带来怎样的影响。此外，我们还需要研发能够在太空环境中保护人体的技术，并对其进行性能测试。目前，在国际空间站生活的宇航员就是我们的实验小白鼠。

宇宙飞船上必须配备人工生命支持系统，它能够提供水、空气和食物，并让太空舱内保持舒适的温度和气压。同时，飞船还需要配备防御设施，以避免危险的太阳辐射、宇宙辐射、小行星和太空碎片对船体和

船上的乘客造成伤害。科幻作品描绘了制造人工重力的方式——让具有刚性结构的空间站高速旋转，其产生的离心力就能模拟重力——但这样的构思却未能付诸实践，主要原因在于，这要求航天器具有相当大的尺寸。因此，我们今天仍然无法避免太空中缺少重力的问题，我们必须寻找有效的应对方案。虽然人类的身体可以很好地适应失重环境，但我们在太空中待的时间越久，重力缺失带来的长期影响就越大。在微重力环境中，我们的身体无须耗费能量抵抗地球引力，因此会变得松弛，钙质会从骨骼中渗出，由尿液带出身体，最终导致肌肉萎缩以及骨量流失。随着时间的推移，宇航员的骨骼强度会不断弱化，他们有可能在年纪轻轻时出现类似骨质疏松的症状。在太空中飘来飘去听起来既轻松又有趣，但是终日处于这种状态，宇航员的身体会日渐衰弱。此外，在太空生活一段时间之后，宇航员的脊柱会被拉长——他们基本上都会长高两三厘米。受到体液上涌的影响，他们的脸部会浮肿，同时眼部出现问题。幸运的是，一旦宇航员返回地面，在地球引力的作用下，他们的症状大多能得到恢复。但是，如果未来的宇航员无法选择适时回到地球的重力场——比如，他们需要执行长期航行甚至世代航行的任务，或者他们找到的外星殖民地重力明显低于地球——他们又该怎么办呢？

还有一个问题同样重要：在太空中生活显然会造成个人空间的缺失。宇航员面临的最广为人知的挑战包括长期隔离、生活单调、行动受限、睡眠紊乱、个人卫生条件变差。与同一群人生活在极为狭小的空间内，隐私确实成了一种奢侈。作为目前人类太空探索唯一的前哨站，国际空间站的大小相当于五居室或六居室的住宅，但即便如此，在这里连续待上半年或更长时间仍然会让宇航员感到难以忍受——无论是在精神层面还是身体层面都是如此。因此，我们希望任何执行长期太空任务的宇宙飞船都拥有比国际空间站大得多的空间。在太空生活意味着每天与风险做伴，宇航员可能抑郁、失眠、焦虑，他们可能要面对人际冲突甚至精神错乱。通常，他们都会为这些潜在的威胁做好充分的准备。最后一点关乎太空食品，其口感之糟糕已经不是什么秘密了。预包装的脱水食品寡淡无味，太空冰激凌与地球上的真品大相径庭，调味用的胡椒粉则泡在橄榄油里，以避免在空间站里撒得到处都是。日复一日地吃着同样乏味的食物很容易让宇航员产生饮食疲惫感，这是那些可选食物种类有限的人经常遭遇的苦恼。对食物感到厌倦的宇航员有可能丧失食欲，卡路里消耗减少，最终出现体重下降以及营养不良的症状。所以，任何长期的太空旅行都需要准备种类丰富的鲜美佳肴供宇航员选择。

## 地外前哨站

我们已经对未来的太空旅行进行了那么多畅想，不妨停下脚步，看看人类在探索外太空的道路上究竟走了多远。尤里·加加林于1961年首次进入外太空，以此为起点，我们取得了如下成就：将人类送上月球，将探测器派往金星和火星，调查最大的几颗小行星，拍摄木星及其巨大卫星的特写，穿过土星的光环和土卫二的冰冷喷流，拍摄天王星和海王星的细节图像，展示冥王星冰封万里的真正美景，我们甚至让探测器跳到了高速飞行的彗星上。正是有了这些对太阳系的初步探索，我们现在才可以认真考虑建立自给自足的外星殖民地。然而，以人类当前的技术水平，在地球以外的任何地方建立居住区都会使我们面临巨大的挑战——地球以外的环境显然对人类不太友好，为了让几百甚至几千人在这样的环境中生存下来，我们必须想方设法渡过一切难关。

## 月球

就目前而言，最有可能真正成为外星殖民地的是离我们最近的天体。月球很可能会成为我们的第一个星际港口——这颗天然卫星也许是我们地球引力范围之外进行材料、设备和人员中转的理想选择，我们也可以在月球上测试人类在外星环境中生存所需的种种技术。建立月球基地之后，我们向火星以及深空进军的能力将得到显著提升，这甚至可能促进太空旅游业的蓬勃发展。然而，在月球上建立居住区并非易事，特别是考虑到月球表面的重力只有地球的1/6。我们还必须留意建筑材料的性能：它们能否应付月球的真空环境？它们的强度能否经受住速度可达10千米每秒的微小陨石的冲击？它们如何响应极端的昼夜温度变化（从120℃到-153℃）？

和其他一切外星殖民地一样，月球基地将成为未来月球居民的命脉。因此，基地必须有稳定的水循环，有压力合适的空气供人呼吸，有适宜的环境令农作物生长，这里还要抵御猛烈的太阳辐射。月球的黑夜很漫长，相当于地球上的两个星期，基地必须确保在这段时间内有充足的光照、温度，以及能源供给。2009年，印度的月船1号探测器在月球北极的永久阴影区发现了40多个陨石坑，据估计，这些陨石坑内含有6亿吨水冰——月球基地可以设法利用这一资源。为了自给自足，基地需要循环利用90%以上的水资源。此外，基地内产生的二氧化碳将用于营造温室效应，也将作为原料供植物进行光合作用，生产氧气，构建气体

循环。

## 火星

尽管月球才是距离我们最近的天体，但在想象中，人们似乎更倾向于将火星视作未来太空探索的前哨站。创办了太空探索技术公司

（SpaceX）的知名企业家马斯克近几年来一直致力于研发所谓的行星际传输系统（Interplanetary Transport System, ITS），该系统囊括了太空探索和外星殖民所需的一切重要设施与关键技术，马斯克计划在未来的50~100年内用该系统将100万人送上火星。在过去的40年，我们往火星派遣了多个空间探测机器人。通过它们收集的信息，我们不仅进一步了解了地球的历史，还知道了火星表面有什么在等待着我们。就算撇开火星的知名度，它也确实拥有太阳系中仅次于地球的温和环境，我们甚至可以说火星是宜居的。为了抵达这颗红色的行星，人类仍然要面对重重障碍，比如长达300天的行程时间，遭受辐射的风险，长期处于微重力环境对身体造成的影响，以及极度危险的着陆过程（目前无人航天器安全完整地降落到火星上的概率还不到30%），但是在火星建立前哨基地有着诱人的前景。一旦克服困难，获得成功，我们将获得比月球更好的生存条件。

火星的自转周期和自转轴倾角都与地球相近，季节变化相似。火星拥有水冰、适宜居住的环境以及大气层（尽管很稀薄），不过正是这层大气带来了我们要面对的重大挑战，它95%的成分是二氧化碳，并且气压极小，只有0.006个标准大气压。如果不借助设备，人类不可能在这样的环境中生存。此外，火星的引力只有地球的38%，环境温度很低（ $-85^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ ），因此其表面不存在液态水。那么，登陆火星之后，我们要住在什么地方呢？除了科幻电影中常见的充气式圆顶帐篷，我们还可以在遍布火星的撞击坑和熔岩管道内打造居住区。实际上，只要利用好这些天然屏障，我们就能集中修建大型建筑，保护居民不受太空环境的伤害，实现长期定居——这是人类在火星建立殖民地唯一切实可行的方式。这些建筑不必一次性完工，我们可以将任务划分成几个阶段，然后分批次完成。以组件形式生产装配的国际空间站为这一方案提供了灵感。居住区修建完成之后，居民要马上实现自给自足，我们要自己种植作物，生产氧气，开采地下水。因此，人类和植物将同时成为初代火星居民。这真是完美的旅行伴侣，我们和植物通过交换氧气和二氧化碳来维持彼此的生命。

## 金星和冰卫星

我们不能忽略太阳系其他有趣的成员，尽管开发它们还存在明显的障碍。人类自身的生理条件以及如今的技术水平还远不能让我们前往金星定居。人体是很脆弱的，暴露在金星的环境中，一个人10秒钟之内就会死亡——9200千帕的大气压力会把他压扁，465℃的高温会把他烧成灰，而他呼吸的最后一口空气也是有毒的。显然，金星炎热残酷的环境并不适合人类长期居住。然而，我们或许可以利用金星的极端气候条件，在金星浓密大气层的高处建立人类居住区。只要居住区内部的气体组成维持在与地球大气相似的水平，人类就有可能在其中生存，因为距金星表面50千米高处的气压与地球海平面的气压相近，而且这里的温度正好略高于0℃。如果这样的居住区真的建成了，那么里面的居民只要戴上氧气罩就能外出探险，还能俯瞰脚下的金星云层。

我们对木星和土星这两颗气态巨行星各自的卫星木卫二和土卫六也有兴趣。木卫二的冰冻表面（温度低至-220℃）其实非常适合人类探险家建立基地（我们可以像在南极洲那样生活），但是木星的磁气圈会对木卫二释放致命的辐射，严重威胁居民的生命安全。因此，木卫二基地的最佳选址地点要么是冰壳下方，要么是背对木星的半球，这样才能尽可能减少基地受到的辐射。选择土卫六，我们甚至可以不用穿增压太空服，只需要穿上足够保暖的衣服，再携带一罐氧气即可。土卫六有着浓密的大气层，站在土卫六表面，感觉像浸没在地球上的游泳池中。土卫六的地貌与地球相似，有平坦的区域可供我们安居。令人兴奋的是，土卫六拥有大量包括水冰在内的生命活动所必需的资源，这为我们提供了便利。

## 小结

从当前的技术水平出发，我们很难预测未来的太空探索会有怎样的中长期发展。在某个时刻，我们不得不区分哪些理论与技术属于科幻和幻想，前途渺茫，而哪些又是科学的、实际的、大有可为的。我们深知，为了克服远距离造成的种种阻碍，我们需要更好的推进技术。设计筛选推进技术方案以执行太空探索任务并实现运输系统的变革，开发部署机器人以调查外太空中潜在的适宜居住地，这些都意味着我们要长期面临人力、物力与财力上的严峻考验。如何选定具体的外星殖民地也需要仔细研究，后续还有选拔居民的问题。在我们的地球上，简单的工程

项目在正式动工前也面临着初步调查、现场勘测、环境取样分析等多个步骤，更何况是星际殖民这样的大项目呢？

我们明确知道的一点是，人类的太空探索事业既危险又昂贵。人类的缺点有很多，比如身体脆弱，对环境挑剔，离不开水、氧气和食物，对空间环境的承受能力差，以及不愿意冒生命危险。空间探测器就没有那么多毛病，它们只需要相对少得多的防护和支持就能持续工作数十年甚至更长时间。无疑，我们在太空探索的过程中会更偏爱这些忠诚的探测器，尤其是现在，在研究人员的努力下，它们的性能和自主性正变得越来越出色。探测器传回的信息让我们对月球和火星有了更深入的了解，我们也明确了人类造访外星世界可能面临的重大难题。这些信息还能帮助我们寻找切实可行的解决方案。

人类在太空探索的过程中并非一无是处。我们动作灵活、灵感迸发，拥有天生的聪明才智，这些都能发挥重要作用。至少到目前为止，还没有哪种机器能在好奇心上战胜我们。在太阳系和更遥远的地方，很可能有千百个适合人类居住的外星世界等着我们去探访。最后，我由衷地希望，这种对新世界的探索欲在推动我们向太空进发之余，还能帮助我们认识到如何成功地在地球上长久地生活下去。

# 末世图景

## APOCALYPSE

文/刘易斯·达特内尔（Lewis Dartnell）

一切未存档的内容都将丢失。

——任天堂《超级马里奥银河》“退屏”信息  
T. 迈克尔·马丁（T. Michael Martin），《末日游戏》

许多作者都在探讨当我们对宇宙有了深刻的理解或者掌握了有望彻底改变当前生活方式的先进技术之后，未来会发生怎样的变化。但我想在本章探究一些会造成历史的进程偏离原定计划的情景。如果我们想要的未来没有如期而至，那么会发生什么？

为了明白将来可能发生什么，我们可以转过头，从自身的历史中汲取经验教训。早在几千年前，我们的祖先就开始发展农业，然后建立城镇并逐渐壮大，在此期间，有无数的文明最终走向灭亡，消失在了历史长河中。事实上，我们的文明在最近几个世纪里持续发展，同时伴随着技术的持续进步，从历史角度来看这其实颇为异常。那么，有没有什么灾难性的事件可能会引发未来的世界末日呢？更加重要的是，我们现在是否能做些什么来保留住现代知识的种子，好让末日的幸存者能够在尽可能短的时间内重启文明呢？

任何伟大文明的覆灭往往会导致历史的断层，知识会遗失在时间的迷雾中，社会的发展会在一段时间内步履蹒跚。人们最常谈论的例子就是随着西罗马帝国灭亡而开启的“黑暗时代”。但是，这个例子的叙述往往会有些过分简化，并且明显带有欧洲中心主义的倾向，因为在此期间，伊斯兰世界与古代中国仍然持续着学问、技术、社会等领域的发展，而且即便是欧洲自身也并没有像人们普遍认为的那样停滞不前。实际上，欧洲在这段时间里取得了许多重要的进展——比如发明了风车

塔、机械钟以及重型犁，其中重型犁的出现为北欧黏质土地地区的农业带来了变革。但不可否认，西罗马帝国的消亡确实造成欧洲在中世纪初期的发展受阻，产生了深远的历史影响。此外，在更加久远的青铜时代，地中海东部地区的多个文明也曾遭遇灭顶之灾，其后果就是始于公元前1100年左右的另一个“黑暗时代”的出现。世界范围内还有许多其他从兴盛转向衰亡的文明：印度河流域文明、复活节岛的拉帕努伊文明、美洲大陆的玛雅文明和奥尔梅克文明，等等。认定我们当前的工业文明由于某种原因可以免疫突如其来的崩溃并且可以无限期地持续存在下去，这无疑是一种狂妄自大的念头。事实上，以约瑟夫·泰恩特（Joseph Tainter）为代表的人类学家认为，随着社会结构与人际关系变得越来越错综复杂，就像我们的文明当前所呈现的那样，当灾难突然爆发时它就会显得愈加脆弱。

## 全球性灾难的风险

从战争和别国入侵到自然灾害再到过度开采和自然环境恶化，造成文明消亡的原因是多种多样的。现代文明已经覆盖世界的各个角落，我们把可能在不久的将来威胁到现代文明的灾难称为全球性灾难。这样的灾难按可能性从高（比如全球范围的流行病）到低（比如小行星撞击）到几乎为零（比如僵尸暴发）的顺序排列可以得到一份长长的名单。我们接下来就选取五种具有现实可能性的全球性灾难进行深入探讨。

## 气候变化

气候变化最有可能成为推翻现代文明的凶手。我们知道气候变化已经开始，而且推动这一过程的正是人类自身的行为：我们的工业、农业和运输业每天都会排放大量的二氧化碳（和甲烷）。全球的平均气温会持续增加，海水的受热膨胀以及冰盖的消融会导致海平面上升，海水吸收了空气中过剩的二氧化碳会引起海洋酸化。不仅如此，区域性气候也会发生剧烈变化。全球变暖将引起降水分布的改变，有些地区会发生洪水，另一些地区则会遭遇干旱，两者都会对农业生产构成严峻挑战。如果粮食产量受此影响而无法增长，那么这将演变成一个攸关生死的问题。或许很快，可靠的淡水资源就会像原油和其他珍稀的自然资源那样，成为加剧地缘政治紧张局势的重要因素，第一次“水资源大战”的爆发可能就在不久的将来。地球的大气、海洋、陆地



以及一切有关的反馈回路共同构成了一个十分复杂的系统，想要基于这样的系统准确预测气候变化的快慢以及局部效应的产生是件极其困难的事。还有一个值得特别关注的问题，目前在大洋底部和永冻层封存了大量的甲烷——这种气体的温室效应大概是二氧化碳的25倍。一旦这些甲烷被释放到大气中，全球就有可能会在短时间之内剧烈升温。气候变化的危险之处在于它的发展可能非常迅速，我们无法跟上其步伐完成基础设施的建设，只能眼睁睁地看着现代文明走向衰亡。

## 小行星和彗星撞击

大多数小行星不会离开火星和木星之间的小行星带，不过也有些小行星可以运动到距离地球十分近的位置，它们被称为近地小行星。随着太空采矿技术的发展，近地小行星或许能为未来的我们提供珍贵的金属材料，但与此同时，我们也面临着小行星撞击地球的威胁。我们相信，科学家经过长期的巡天观测已经识别出了最具威胁的近地小行星并对它们的轨迹进行了持续跟踪，他们还初步调研了如何使危险小行星的轨迹发生偏移，使其进入一个相对安全的轨道（需要的技术与太空采矿相似）。然而彗星撞击留给我们的准备时间则要少得多——可能只有几个月。彗星大部分时间都待在太阳系外围的阴暗区域中，但在某个时刻，引力会“推”它一把，让它朝着内太阳系和地球高速冲去。这就意味着，当彗星撞击地球时，它会带有非常大的动能，而且我们无法及时地从望远镜中发现它，因此来不及做些什么阻止这一碰撞过程。大直径的小行星或彗星撞击地球，造成的影响将是毁灭性的。如果落入海洋，它们会掀起海啸，淹没附近的海岸；如果撞击陆地，它们会粉碎岩石，溅起遮天蔽日的尘埃，引起大范围的火灾。许多科学家相信，6500万年前正是由于有一颗直径在10千米左右的小行星撞上了地球，才引发了包括恐龙在内的大量生物的灭绝。同等大小的天体在可预见的未来再次造访地球的可能性并不大，但即使撞击地球的小行星或彗星直径只有1千米，它也会破坏大片的区域，动摇现代社会的根基，引起文明的衰退。

## 超级火山

在许多方面，超级火山爆发都会造成与小行星撞击类似的影响。如果火山爆发时你碰巧就在附近，那么很明显，你会因为涌出的岩浆、灼热的灰云、滚落的岩石或者有毒的烟雾而死亡。但更值得引起我们广泛

关注的是，一座足够大的火山如果爆发会产生怎样的全球影响。火山灰和硫化物进入高空后将覆盖地球，遮蔽阳光，导致持续数年的“火山冬天”，仅仅这一点就有可能摧垮全球农业。长期来看，突然的降温甚至可能让我们进入另一个冰河期。在并不久远的过去发生的一起事件就对我们敲响了警钟：1815年4月，印度尼西亚坦博拉火山爆发，让随后的那一年成为“无夏之年”，北半球的许多地区都因此面临食物短缺的问题。一些科学家认为，71500年前多巴火山的爆发（同样发生在印度尼西亚，该地处于板块俯冲带，火山活动非常活跃）可能让当时全球人类的数量锐减到只有几万人。今天的火山学家们对美国黄石国家公园的超级火山保持着密切关注。它的火山喷口直径达40千米，上次爆发在距今64万年前，形成的火山灰云几乎覆盖了美国密西西比河以西的所有地区。如果——更确切地说，当——黄石超级火山未来再次爆发，我们的文明很可能会遭到破坏，甚至走向衰亡。

## 日冕物质抛射

小行星或彗星撞击并不是唯一能够引发大灾变的地外威胁。地球上的一切生命可以说都是由太阳所孕育，但与此同时，它也对我们的科技文明构成了威胁。与所有恒星一样，太阳经常向外抛射表面大气，呈现巨型泡沫的形状，这一过程名为日冕物质抛射（CME）。这些仿佛太阳打嗝呼出的气泡质量可达十亿吨，在高温下，气泡内的分子处于等离子态（以离子和电子的形式存在），并且其中充斥着磁场。CME有小概率会直接朝向地球，特别剧烈的CME可能引发灾难性的后果。今天的我们在导航、通信及对地观测等多个领域都要依赖人造卫星，许多地面操作也需要GPS卫星提供的精准授时信号加以协调，比如全球经济下的金融交易。然而，伴随CME出现的粒子辐射很容易破坏太空中的敏感电子器件与太阳能电池板，所以一次强烈的CME爆发就有可能让我们浩浩荡荡的卫星群中的很大一部分彻底瘫痪。不仅如此，CME与地磁场的碰撞或许会对生活造成更加恶劣的影响。当地磁场受到剧烈扰动，配电网的电缆中可能感应出强大的电流，让至关重要的变压器遭受永久破坏。1859年“卡林顿事件”光顾地球，一时间，罗盘指针乱转，电报机的接线火花四射，远离极点的地区也出现了极光。当时的社会其实尚未真正进入电气时代，如果那起事件发生在今天，我们受到的损失会更加惨重，而且长时间的停电也会妨碍我们的修复工作。1989年的太阳风暴曾导致加拿大魁北克省发生大规模停电，而就在不久前的2012年，一次剧烈的CME以毫厘之差与地球擦身而过，如果当时正面迎上，我们的许多现代

化设施都将报废。

## 全球流行病

纵观历史，传染病始终是人类苦难的来源之一，而且时不时地就会出现一种传染性非常强的疾病在大量人群中肆虐蔓延，成为全球流行病。黑死病被认为起源于中亚的大草原，携带病菌的商人经由丝绸之路将这种疾病带到了欧洲，混入商船的老鼠则加快了病菌的传播。1347年，黑死病在中世纪的欧洲大规模暴发。在接下来的几年里，欧洲的人口因这场瘟疫整整缩减了1/3，在受灾最严重的城区，死亡率甚至高达一半。据估计，整个欧亚大陆有1亿到2亿人死于这场瘟疫。若把目光转向近代史，“西班牙流感”是个不得不提的名字。时值第一次世界大战接近尾声，这场流感于1918年3月突然暴发，并在短短六个月的时间里传遍世界，感染了全球1/3人口。该病的致死率极高，最终的死亡人数超过了5000万。如果一种传染性强、致死率高的病毒出现在现代社会，那么它造成的后果可能要更加严重。今天，大多数人口居住在拥挤的城市，这为传染病的迅速蔓延提供了理想的条件，而且定期的长途航班让人们可以方便地在遥远的大陆之间往来，使得检疫与疾病控制更加困难。即使在同一时期内染病死亡的人数只占全球很小的比例，许多关键的公共服务——医疗、警务、水处理、电力生产以及食品生产与销售——还是会受到影响而无法正常运转，社会也将因此而分崩离析。

## 文明的备份“存档”

像大型小行星撞击和全球核战争这样的灾难破坏性强、波及范围广，灾难结束之后幸存者们很难迅速恢复文明。日冕物质抛射则会摧毁我们的科技基础设施，不过基本上不会造成人员的直接伤亡，然而骤减的资源可能引起人类内部的激烈冲突，从而造成残酷的“二次减员”。如果世界末日无法避免，那么至少从便于幸存者灾后重建的角度而言，最佳的末日来临方式将会是一场突如其来的致命瘟疫。这将迅速减少人口，但留下所有的物资：幸存者们大可一边学习重建文明所需的知识与技能，一边在废墟中搜寻用得上的工具和材料。

那么，今天的我们要做些什么才能让我们的未来在全球性灾难爆发、文明濒临崩溃的情况下仍然得以延续呢？在世界各地，尤其是美国，有一群被称为“末日经营者”或“生存主义者”的人，他们认为世界末

日说不定会在自己的有生之年降临，因此储备了各种必要的消耗品，比如瓶装水、罐头食品、常用药物，以及用于自卫的武器。但不管储备了多少，它们终究会有用完的一天，届时你将不得不在工业化文明已经消失的世界尝试自己生产制造，那么你要从哪里获取所需的一切知识呢？当前文明最为重要的科学知识和技术窍门的积累花费了我们几个世纪的时间。当上帝按下重置按钮，当“一切未存档的内容都将丢失”的消息弹出，我们要怎样才能为后人保留人类知识的核心？我们要怎样才能帮助幸存者避开又一个黑暗时代的来临，让他们能够在从头开始的情况下尽快重建文明呢？

从维基百科到YouTube上的视频指导，今天的我们可以在线获取大量有用的信息，但是它们都要依附互联网才能存在。虽然互联网最初的开发者是想把它设计成不受核攻击影响的可靠军事通信网络，但当末日降临，电网发生故障，服务器连不上电源，互联网也会从这个世界上消失。（不过有人以玩笑的方式在维基百科上拟定了“终极事件管理政策”，阐述了当全球性灾难即将来临时，如何快速地将维基百科的线上内容打印到物理媒介上。）然而，维基百科的内容并不像教科书那样具备循序渐进的逻辑架构，而且也并不包含太多的实用信息。

为了帮助后人在末日后重启文明，理想情况下我们应该编纂某种意义上的“全书”或者说建立一座万卷书库，保留对人类最有用的信息。书不同于DVD和计算机数据库，它存储信息的方式是文字和图像，所以你不需要眼睛以外的任何辅助工具。因提出盖亚假说，将地球视为能够自我调节的完整个体而闻名的詹姆斯·拉夫洛克（James Lovelock）曾于1998年撰文哀叹：“我们的文明没有永不磨灭、无所不在、万一崩溃时能够让幸存者将其复原的记录。”他在文章中还阐述了“四季书”的构想，这种书类似于完备的科学教科书，并且还提供了许多实用信息。

《地球目录》的前编辑、《连线》的创始人凯文·凯利（Kevin Kelly）也提出了“永恒之书”或者说“实用图书馆”的概念：在边远地区的某座山山顶建立书库，存储大约10万册的图书，书中囊括重建文明的根基、再现文明的科技所要求的一切基本知识。有一个名为今日永存基金会的组织，关注着人类的长远未来。基金会的其中一个项目建造了一座位於山腰的巨型时钟，它可以为自己供能，在至少一万年的时间里保证显示的时间准确无误。不同于拉夫洛克和凯利还只停留在理论阶段的构想，今日永存基金会已经开始了图书收集，用于建立他们自己的“文明指南”书库（我也为书库的建设出了一份力，贡献了多本书，其中包括了我自己的科普书《世界重启：大灾变后，如何快速再造人类文明》）。

令人惊讶的是，这样的想法并不是在我们这一代才刚刚产生，它的历史比我们想象的更为悠久。最初的百科全书是知识分子应该记住的所有信息的概略（百科全书的英文“**Encyclopaedia**”字面意思是“学问圈”，或者说全面教育）。然而到了17世纪，科学研究方法的进步使得知识的数量经历了爆炸式增长。在这种情况下，任何人想要掌握人类所有已知的知识无异于痴心妄想。因此，百科全书的作用就变成了提供现有知识的摘要以供人们参考。但是，18世纪中叶的百科全书编纂者比今天的我们更加敏锐地认识到，即便是最伟大的文明也有其脆弱性，存在于人类头脑中价值连城的科学知识和实用技能有可能湮灭在历史的长河中。

《科学、美术与工艺百科全书》的主编德尼·狄德罗（**Denis Diderot**）曾经明确表示，这套从1751年开始陆续出版了28卷的百科全书起到的作用是人类知识的安全备份。他为后人保留了文明的精华，以避免文明因灾难而出现断层——就像古埃及、古希腊和古罗马的文化几乎全部失传，只留下少量的断章残篇那样。他想让百科全书成为时间胶囊，在封存人类智慧结晶的同时能够抵御时间的侵蚀。这就是“全书”（至少是书库中的一个书架）理念的最初诞生，也就是试图系统地解释人类已有的知识以及不同主题之间的相互关联。百科全书的编纂者们也非常认真地在书中加入了工艺技法和实用窍门的图表以及重要原理的详细实验证明。这样一来，一套完美的百科全书将会成为地球上全部书籍浓缩而成的精华。信息之间以交叉引用的方式相联系，并且以合乎逻辑的方式加以组织，若世间存在某种无所不知的生灵，他的记忆想必也是大抵如此。个体想要将卷帙浩繁的所有材料全部记住（哪怕是理解）是不切实际的，但至少在原则上，任何人只需这一套书就足以自学一切可能用到的知识。

然而，纸质书虽然方便阅读，但也存在一些问题。纸张容易燃烧，而且受潮之后很快就会腐烂分解。此外，经过加固的末日图书馆需要遍及全球，如此才能为分散在世界各地的幸存者们提供帮助，这将是一项艰巨的任务。但借助现代技术，我们可以将重启文明的种子以更紧凑的形式封装起来。使用**Kindle**之类的电子阅读器，你可以将10000本书——一座图书馆的知识量——攥在手里。这种方法的问题在于，如果末日来临时电网瘫痪，那么你就无法简单地将设备插到墙上充电。到时你很可能会感到无比抑郁，明明人类知识的宝库尽在手中，偏偏却不得其门而入。所以为了解决这个问题，我为自己打造了一款末日版**Kindle**——不但下载好了重启文明所需的各种必备知识，而且加固了外壳并内置了太阳能电池板。

现在你拥有了一个便携式的实用知识库，当电池电量不足时，你只需要将它放在太阳底下充电即可。当然，屏幕和太阳能电池板不可避免将会老化，但到那时，你所在的幸存者社区应该已经顺利走上了复兴的道路。知识库中保存有如何制作纸张、墨水和简单印刷机的说明，学会之后，你就可以将设备存储的资料还原成书籍这种技术含量较低的形式。

仅仅掌握理论知识还不足以重建运转良好的社会，你还需要合适的手段和工具才能将理论付诸实践。因此，马尔钦·雅库博夫斯基

（Marcin Jakubowski）采取了一种稍微有些不同的策略——设计并制造一组巧妙关联的机器。在他的设想中，这个名为全球农村制造组件

（Global Village Construction Set, GVCS）的机器套组共包含50种不同的机器，在功能上互为补充，一旦完成后将成为促进文明的开源蓝图，能够为自给自足的社区提供一切必备的基础设施。这些机器五花八门，简单的有烤箱、锯木机和钻井器，稍微复杂点的有风轮机和使用可再生能源（生物燃料）的蒸汽机，最复杂的则是从黏土中提炼铝的装置和能够熔化钢铁的感应炉。它们将为农业、运输、制造以及能源生产提供全方位的支持。而最巧妙的一点是，GVCS中任何一台机器的维修与制造都可以由其余的机器来完成。雅库博夫斯基原本的目标是帮助发展中国家的农村地区拥有独立的生产手段。但很明显，当末日的幸存者为了恢复文明而重新建立社区时，这种内部互相支持并且能够满足独立社会所有要求的机器套组也是必不可少的。

所以，如果未来会爆发全球性灾难从而导致工业文明突然崩溃的可能性确实值得引起重视，那么对于现在的我们而言，正确的做法就是立即采取措施，保护人类至今所取得的一切成果的核心部分，即我们花费了几个世纪的时间才积累起来的最为关键的科学知识和技术窍门。这个过程就像是在为我们的整个文明建立备份存档，好让幸存者能够尽快地重新建立一个有竞争力的社会。

# 空间传送与时间旅行

## TELEPORTATION AND TIME TRAVEL

文/吉姆·阿尔-哈里里

我故意为本书的最后一章选择了比较激进的主题。前面的章节主要是在讨论不久的将来几乎必然会实现的技术——许多甚至已经在某种程度上成为现实，当然也有些预言比较悲观，我们应当极力避免这些预言所描绘的未来或者至少对其做好充分的准备。但是，在非常遥远的未来，远到我们已经离开地球家园，开始在宇宙中开辟殖民地，那个时候会发生些什么呢？那些现在只存在于科幻小说中的奇思妙想有可能成为现实吗？从意念交流到超光速引擎，可供我们讨论的内容不胜枚举，但我最终选定了我个人最喜欢的两个主题。几乎可以肯定，我在有生之年看不到它们实现，但在更加遥远的未来……谁知道呢？

### 空间传送

所谓空间传送，其基本思想是让物体从一个点直接移动到另一个点而不必穿过两点之间的物理空间。这个概念在科幻题材的小说、电影和游戏中出现的时间之早可能出乎你的意料。根据现有资料，最早的空间传送器登场于爱德华·佩奇·米切尔（Edward Page Mitchell）1877年的小说《没有身体的人》。故事中的科学家发明了一台机器，可以将活的生命体分解成原子，然后通过导线将原子像电流一样传送到接收器中，最后在接收器中还原成原来的生命体。这个故事吸引我的部分原因在于当时的人们还不知道电子，甚至对原子的认识也还不够准确。

我们现在来到半个世纪之后的1929年，这一年阿瑟·柯南·道尔（Arthur Conan Doyle）发表了一篇题为《分解机》的短篇小说，在其中提到了一种能够把物质分解然后重新组装的机器。用小说中某个角色的话来说：“你能不能想象这样的过程，像你这样的有机生命体以某种方式溶解在宇宙之中，然后只要将实验条件小心地逆转，你就会被再次拼凑出来？”两年后，美国作家查尔斯·福特首次创造

了“teleportation”（空间传送）这一说法，用来描述人或物突然消失然后在其他地方重新出现的神秘现象。空间传送是福特研究过的许多“异常现象”——著名的福特现象——之一，与超出了常规科学认知边界的各种神秘超自然现象并列。

美国1958年的科幻恐怖电影《变蝇人》让现代化的空间传送概念被更多的民众所了解。在这部电影中，一名科学家没注意到有只苍蝇跟着他进了传送舱，导致自己的DNA与苍蝇的DNA融合，最终变成了怪物。然而，对于世界各地的许多人而言，空间传送在科幻世界中最著名、最经久不衰的形象无疑是星舰企业号上的“传送室”，以及那句著名的话：“把我传送过去，斯科特。”这是《星际迷航》的编剧吉恩·罗登贝瑞在20世纪60年代中期想到的主意，但他那时的主要目的其实是节省特效经费。因为相比起让角色乘坐飞行器从企业号上飞下来，渐隐之后直接显现在行星表面的做法更加方便，也更加便宜。

这些当然都很有趣，但在这个问题上严肃的科学有什么能说的吗？将物质从一个地方传送到另一个地方而不穿过两地之间的空间，这样的想法听上去似乎很荒谬，但如果你处在量子尺度，这其实是一件很平常的事。有一种名为量子隧穿的过程允许像电子这样的亚原子粒子从一个位置跳到另一个位置，即使它没有足够的能量。它有点像这样一个过程：你把球朝着一堵砖墙扔过去，球在空中消失然后重新出现在了墙的另一侧，在此期间墙面始终完好无损。这绝对不是科幻小说中的情节。事实上，我们的太阳之所以能发光放热，为地球上的所有生命提供能量，根本原因就在于氢原子可以通过量子隧穿的方式穿透原本固若金汤的力场从而发生核聚变。

但其实量子力学还有一个更有趣、更违反直觉的预言，即已经经受了无数次实验验证的量子纠缠。在介绍量子计算的那一章，温弗里德·亨辛格已经对此做了介绍。根据量子纠缠的描述，两个或者更多个在空间上彼此分离的粒子可以存在紧密关联，任何一个粒子受到测量或扰动，与它成对的另一个粒子也会在瞬间受到影响，无论相距多远。爱因斯坦的相对论认为，信息传递速度不能超过光速，而量子纠缠现象似乎突破了这一限制。量子力学对此的解释为，纠缠的粒子不是互相独立的实体，而是单个系统的一部分。

请考虑下面的类比。把一副手套的两只分别装进两个盒子里，其中一个盒子留在身边，另一个盒子则让朋友带去远方。如果你打开身边的盒子发现了一只左手手套，那么 you 立刻就能知道另一个盒子里的手套是



右手的。这个故事当中自然没有任何神秘之处，因为唯一发生变化的就是你的知识状态——无论你知道与否，另一个盒子里总是装着那只右手手套。但在量子世界中，当手套被纠缠的粒子所取代，情况就会变得极为不同，因为在一个粒子身上，自旋向上和自旋向下这两种状态可以同时存在，即所谓的量子叠加。你打开身边盒子的过程实际上就是在执行名为量子测量的操作，这一操作将迫使粒子从两种自旋方式中“决定”一种。毕竟，我们观测到的粒子总是以某种特定的方式自旋——否则也太荒谬了，不是吗？量子力学的理论告诉我们——并且实验也向我们证实——量子叠加是真实存在的。而更为重要的是，一旦你打开身边的盒子检查其中的粒子，另一个盒子中的粒子也会立即从两个自旋方向同时存在的叠加态坍缩成自旋方向唯一的状态，而且这个自旋方向恰好与第一个粒子相反。你打开盒子的动作仿佛向另一个盒子中的粒子发出了量子信号，让它瞬间就知道自己该如何表现。

叠加和纠缠很自然地会让我们想到量子空间传送。这个构想能在现实中实现吗？量子空间传送的大致思想是，先使纠缠的粒子分处两地，然后扫描你想要传送的物体以获取其信息，最后通过纠缠粒子对将这一纯粹的信息传送至远处。

但即使是传送单个原子我们也需要获得它完整的量子态信息——基本上我们需要知道它的一切。最初科学家们认为这是不可能实现的，因为有一个叫作海森堡不确定性的基本原理指出，我们永远无法扫描一个量子系统以获得能够在其他地方将其重现的全部信息。然而，量子纠缠却为此提供了一套解决方案。信息中的一部分可以在量子水平实现即时传送，我们无须知道这部分信息的具体内容。作为补充，我们还要扫描粒子的状态，并将测得的信息独立地发送到另一端。将这两部分信息（借助纠缠对传输的量子信息以及通过扫描获得且以光速传输的经典信息）组合在一起，我们就能在另一端使用同样的原材料重建最初的物体。

1993年，由IBM研究员查尔斯·班尼特（Charles Bennett）领导的六人国际科研团队首次证明，可以利用量子纠缠将粒子的状态传送到遥远的地方，量子空间传送的现代概念也就此诞生，被称为量子隐形传态。自那之后，科研人员一直在努力让越来越多的原子实现纠缠。然而，虽然我们可以传送几个光子或一束原子（需要把特殊种类的气体冷却至接近绝对零度），但是真正的问题在于，人类的身体由数万亿原子构成，我们必须使用巨量信息才能描述这么多原子的特定排布，而利用量子纠

缠传送如此巨量的信息无疑是件困难得多的任务。

需要指出，空间传送并不仅仅意味着创建原始粒子的复制品。至少在量子水平上，传输粒子的所有信息就相当于传输粒子本身：我们不需要将原始粒子进行物理意义上的转移。但我们必须清楚，真正的空间传送需要先将A处的物体销毁，再在B处将其重现。最近有一项称为粒子空间传送的初步研究，该研究表明我们有望更进一步，实现物体本身的量子传送。

但请注意，不管怎样，《星际迷航》中的技术可能还得等几个世纪才能出现。

## 时间旅行

空间传送依赖于量子力学——描述物质微观行为的物理理论，而时间旅行则源于从宏观尺度描述宇宙的理论：爱因斯坦的广义相对论。

作为我们目前用来描述时空性质的最出色、最准确的理论，广义相对论没有完全排除时间旅行的可能性，因此我们可以严肃地讨论这个话题。广义相对论告诉我们，物质和能量会导致时间和空间发生拉伸和翘曲。事实上，广义相对论在数学上允许非常奇特的时空形状存在，例如黑洞和虫洞。有一个叫作闭合类时曲线的概念与时间旅行密切相关，这种曲线穿透翘曲时空形成封闭回路，时间会朝自身发生弯曲。沿着这样的路径前行，你会觉得时间像往常一样流逝，但是当你走了一圈返回出发地时却会发现，这时的时间甚至要早于你的出发时间，这实际上就意味着你回到了过去。这样的时间回路就构成了大多数时间旅行思想的理论基础。

虽然许多物理学家认为这种时间回路是“非物理的”，但也有些学者不愿轻易放弃。爱因斯坦广义相对论方程的第一个时间回路解由W. J.范·施托库姆（W. J. van Stockum）于1937年发表。施托库姆假设真空中存在一个无限长的圆柱体，它的内部填充了致密的材料，并且保持高速旋转。这种情况下的数学方程做出预言，圆柱周围的时空区域会发生扭曲，因此其中将包含时间回路。不幸的是，这样的圆柱体不可能在客观物理世界中存在，因为它会赋予时空某些非常奇怪的属性，整个宇宙都会受到影响，而我们知道现实宇宙并不具有那些属性。

奥地利裔美国籍数学家库尔特·哥德尔（Kurt Gödel）曾在普林斯顿大学高级研究所与爱因斯坦共同工作，他于1949年提出了另一种假设情景，该情景与广义相对论完全兼容并且其中包含有时间回路。然而不管是当时还是现在，大多数物理学家都认为旅行到过去可能造成的逻辑悖论足以令我们将其否决，时间旅行的可能性之所以无法完全消除只是因为现在的物理定律中还存在漏洞，而随着我们的认识更加深入，这些漏洞终将被填上。这种深入认识可能会源于量子引力理论的出现，即当今物理学最重要的两大理论——量子力学和广义相对论——的统一。到目前为止，我们还没有找到这种所谓的“万物理论”，不过科学家们正在孜孜不倦地追寻。

到了20世纪60年代和70年代，研究广义相对论解的理论物理学家发现了更多包含时间回路的理论模型。所有模型涉及的天体都因为高速旋转而扭曲了周围的时空。其中最为著名的是弗兰克·蒂普勒（Frank Tipler）提出的模型，他在1974年发表了一篇论文，对施托库姆的旋转圆柱体做了改进。蒂普勒的圆柱体长100千米，宽10千米。它由密度极大的奇特材料制成，具有非常大的强度和刚度。这一方面是为了让它能够保持圆柱体的形状，不至于被惊人的引力压扁，另一方面则是为了提供巨大的向心力以防止外层物质向外抛射，毕竟当圆柱体高速旋转时，外层物质的线速度可达到光速的一半。尽管听上去似乎很难实现，但蒂普勒指出，所有的困难都可以随着技术的进步而得到解决。

那么我们要如何把蒂普勒的圆柱体当作时间机器来使用呢？你需要做的就是乘坐飞船接近那个高速旋转的圆柱体，然后绕着它飞几圈，那么当你返回地球时就有可能发现自己回到了过去。至于你回到了多远的过去，则取决于你绕着圆柱体飞了多少圈。也就是说，虽然你绕圈时感觉时间是正常流逝的，但是从你所在的翘曲时空之外的区域来看，你其实是在不停地向过去移动。这有点像你明明在向上爬一个螺旋阶梯，结果却发现每爬完一圈都会来到下面一层。

你可能认为，想要在宇宙尺度上操纵物质来建造这样的设备基本上是不可能实现的。然而，天然的蒂普勒圆柱体或许已经存在于宇宙中了。这种存在性极具争议的对象叫作宇宙弦，部分宇宙学家认为它们是宇宙大爆炸遗留下来的产物。宇宙弦既可以形成闭环，也可以延展至整个宇宙，它们的厚度比原子还小，但是密度极大，每毫米的重量可达一百万亿吨。

美国天体物理学家理查德·高特（Richard Gott）关于时间旅行做了

大量思考，他证明当两条宇宙弦以恰当的角度高速经过彼此时，附近就会形成一个时间回路。

最后，说到时间旅行，我们能想到的最可行（或许我应该说最不荒谬）的方式似乎是穿越虫洞。根据广义相对论，宇宙中可能存在名为虫洞的理论实体，它们是时空中的奇异结构。我们可以将虫洞视为穿越时空的捷径，连通空间中不同的区域，而其路径则存在于我们宇宙之外的维度中。由于时间与空间密切相关，原则上虫洞的两端也可以连接两个不同的时间——一个是另一个的过去。根据方向的不同，穿过虫洞你就可以旅行到过去或者未来。

不同于已有大量观测证据的黑洞，虫洞目前仍然只是个有趣的理论模型。尽管如此，有一天我们或许会有能力制造一个虫洞。当然，这一天也有可能永远不会到来，至少这不会是能够在21世纪实现的目标。但是，请允许我给出一些猜测。当我们眼中的尺寸变得极小，比原子的尺寸还小数十亿倍时，我们就触到了所谓的普朗克尺度。在这一尺度下，时间和空间的概念将失去意义，量子不确定性将成为主宰一切的力量。在这里，所有已知的物理定律都会失效，时空会形成一切可能的形状，以一切可能的方式扭曲，像跳一支随机而狂乱的舞蹈般瞬起瞬灭。科学家们虽然发明了“量子涨落”和“量子泡沫”之类的术语，但这些词很难体现普朗克尺度下发生的这种行为的疯狂程度。在这个泡沫内，微型虫洞会短暂地出现，然后迅速地消失，我们的目标就是设法捕获其中的一个，趁它消失前把它放大许多倍。

那么，什么才是我们能够相信的呢？虫洞可以制造吗？虫洞可以成为时间机器吗？时间回路可以在我们的宇宙中形成，让我们旅行到过去吗？事实是，现在的我们还完全无法确定，但我对此保持乐观。弗兰克·蒂普勒发表了第一篇关于如何建造时间机器的严肃论文，他曾经写过这样一段戏谑的文字：

笔者认为，任何已知的物质、机械和力都无法组合成一台可用的机器，让人能够[回到过去]，同任何其他物理事实一样，我们可以完全证明这一点。

这句话并不是蒂普勒的原创，而是改编自天文学家西蒙·纽科姆（Simon Newcomb）早年的断言，只要把方括号中的“回到过去”改为“在空中长距离飞行”就成了纽科姆的原话。他曾经坚定地认为，比空气重的飞行器是不可能实现的，为此在19世纪末、20世纪初的时候发表

了多篇论文试图证明这一观点。后面的事情大家都知道，莱特兄弟没过多久就证明了纽科姆的断言是错误的。我想看看，是否有一天同样的故事会以时间旅行为主角再次上演。我不愿意花太多钱打赌人类终有一日将建成时间机器，但我一直秉持这样的观点：如果我们最好的科学理论不能完全驳斥时间旅行的可能性，那么想象它会以怎样的方式实现将是一件有意义也很有趣的事。

本章的最后，我想向各位介绍一个激动人心的想法：也许，仅仅是也许，空间传送和时间旅行之间有着十分密切的联系。一部分理论物理学家正在认真思考这个想法的细节，他们将这个想法记为ER=EPR，表示量子纠缠（关系到空间传送）和虫洞（关系到时间旅行）之间存在着深刻联系。1935年，爱因斯坦和他的合作者发表了两篇在随后很长一段时间里都被认为完全无关的论文，但它们其实可能是在描述同样的概念。第一篇被称为EPR（爱因斯坦——

Einstein、波多尔斯基——Podolsky和罗森——Rosen三位作者的姓氏首字母）的论文首次描述了量子纠缠的古怪特性，即两个相距遥远的粒子可以在瞬间发生关联，而在爱因斯坦看来这是不可能的，因此他认为量子纠缠的存在暗示了我们对于量子理论的理解还不完全。第二篇被称为ER（爱因斯坦——Einstein和罗森——Rosen两位作者的姓氏首字母）的论文则首次介绍了虫洞的概念，因此后世也常把虫洞称为爱因斯坦—罗森桥。

在这两篇论文发表了八十多年后的今天，我们提出了一个大胆的问题：有没有可能量子纠缠对能够“交流”的根本原因是它们通过虫洞连接在了一起？相关的文章读得越多，思考得越是深入，我就越喜欢这个疯狂的想法。它真是太漂亮了。因此，如果虫洞在物理上可以实现，它能够同时充当空间传送器和时间机器。世界上还有比这更酷的事情吗？

当然，就目前而言，本章的主题还牢牢地局限在科幻小说的范畴内——当然也存在于勇敢的理论物理学家所要面对的数学方程式里。

无论结果如何，我完全相信在未来的几十年、几百年里，科学会带给我们大量的惊喜。

所以，让我们合理地使用我们的新知识吧。

# 作者简介

吉姆·阿尔-哈里里（Jim Al-Khalili），物理学家，作家，节目主持人，曾被授予大英帝国官佐勋章（OBE），现为萨里大学理论物理学教授。其研究与写作集中于核物理学、量子生物学领域，除此之外，他还主持了多档科学主题类的电视广播节目，其中包括BBC广播四台的周播节目《科学家的人生》（*The Life Scientific*）。他于2007年获得英国皇家学会迈克尔·法拉第奖（Royal Society Michael Faraday Prize），于2016年获得首届斯蒂芬·霍金科学传播奖（Stephen Hawking Medal for Science Communication）。

菲利普·鲍尔（Philip Ball），作家，先后在牛津大学、布里斯托大学获得化学、物理学专业学位，曾作为编辑，在《自然》杂志任职多年。现在，他定期撰写科普文章，值得一提的是，他十分关注与艺术文化有关的科学话题，著有《明亮的泥土：颜料发明史》（*Bright Earth: the Invention of Colour*）、《好奇心：科学何以执念万物》（*Curiosity: How Science Became Interested in Everything*），以及《音乐本能》（*The Music Instinct*）、《隐形：看不见的危险诱惑》（*Invisible: The Dangerous Allure of the Unseen*）等书。其中，《预知社会：群体行为的内在法则》（*Critical Mass*）获得了2005年的英国皇家学会科学图书奖。同时，他还是BBC广播四台的《科学故事》（*Science Stories*）节目的主持人，最新作品名为：《水的国度：不为人知的中国历史》（*The Water Kingdom: A Secret History of China*）。

玛格丽特·A. 博登（Margaret A. Boden），萨塞克斯大学认知科学教授，帮助建立了全球首个认知科学专业，曾被授予大英帝国官佐勋章。她获得了医学、哲学和心理学的学位，并在研究中将专业与人工智能做了结合。她是英国国家学术院（the British Academy）、美国人工智能协会（Association for the Advancement of Artificial Intelligence）及其英国、欧洲同类协会的成员，其作品被翻译成20种语言，最新一本作品名为《AI：人工智能的本质与未来》（*AI: Its Nature*）。

*and Future* ) 。

娜奥米·克莱默 (Naomi Climer)，工程师，专攻广播和通信技术，曾任职于BBC、英国独立电视台、索尼英国技术中心 (Sony's UK Technology Centre)，她是英国工程技术学会 (IET) 的前任主席，英国国立电影电视学院董事，国际广播电视技术展览会 (IBC) 的理事会主席，索尼英国技术中心的董事会顾问。

刘易斯·达特内尔 (Lewis Dartnell)，威斯敏斯特大学太空生物学教授，主要研究火星上存在微生物的可能性 (火星地表暴露在宇宙射线下)，以及我们该如何进行探测。同时，他还经常受邀参加各种科普节目，著有《宇宙中的生命：新手指南》 (*Life in the Universe: A Beginner's Guide*) 和《世界重启：大灾变后，如何快速再造人类文明》 (*The Knowledge: How to Rebuild our World from Scratch*)，后者曾被《星期日泰晤士报》评为“年度好书”。

杰夫·哈迪 (Jeff Hardy)，伦敦帝国理工学院格兰瑟姆气候变化与环境研究所 (Grantham Institute Climate Change and the Environment) 高级研究员，主要研究未来的低碳经济模式，以及该模式与人们的日常生活和商业运营之间的关系。在此之前，他是英国天然气和电力市场管理局 (OFGEM) 未来可再生能源研究办公室 (Sustainable Energy Futures at the UK energy regulator) 的主管，联合国政府间气候变化专门委员会第三工作组 (Science for Work Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change) 的科学项目主管。目前，他仍在英国能源研究中心 (UK Energy Research Centre)、英国皇家化学学会 (Royal Society of Chemistry)、约克大学绿色化学中心 (the Green Chemistry Group at the University of York) 担任职务，同时还是已停止运行的塞拉菲 (Sellafield) 核工业区的核能实验室的化学研究员。

温弗里德·K. 亨辛格 (Winfried K. Hensinger)，萨塞克斯大学量子技术教授，他不仅领导着萨塞克斯大学的离子、量子技术研究小组 (Ion Quantum Technology Group)，而且还是萨塞克斯大学量子技术中心 (Sussex Centre for Quantum Technologies) 主管。在昆士兰大学攻读博士学位期间，他曾加入诺贝尔物理学奖得主威廉·菲利普斯 (William Phillips) 的团队，在美国国家标准与技术研究院 (NIST) 进行研究。2017年，他和团队公布了一份建造大型量子计算机的技术蓝图，目前他们也正在尝试据此进行搭建。

亚当·库哈尔斯基（Adam Kucharski），伦敦卫生与热带医学院副教授，主要以数学建模研究传染病暴发。他曾就读于英国顶尖研究型大学华威大学，后获得剑桥大学数学专业博士学位。作为2012年的威康信托基金会科学写作奖（Wellcome Trust Science Writing Prize）获得者，他一直为《观察者报》（*the Observer*）、《新科学家》（*New Scientist*）、《连线》（*Wired*）等报纸杂志供稿。2016年，其处女作《完美博弈：拉斯维加斯的概率论、混沌理论与行为科学》（*The Perfect Bet: How Science and Maths Are Taking the Luck Out of Gambling*）出版。

约翰·迈尔斯（John Miles），剑桥大学伊曼纽尔学院（Emmanuel College）院士，奥雅纳工程咨询公司（Arup）、英国皇家工程学院（Royal Academy of Engineering）与剑桥大学共同设立的能源转型策略研究部门专家。他主要研究未来运输技术及其对经济发展的影响，尤其关注能源效率和环境效应。他也是英国汽车工业协会（UK Automotive Council）的创始人之一，曾领导协会下的智能运输系统研究小组（Working Group on Intelligent Mobility），提交了关于未来智能运输技术的发展路线图与研究报告。

安娜·普洛萨伊斯科（Anna Ploszajski），材料学家，工程师，科普工作者。她经常表演以材料学为主题的脱口秀，同时运营一个名为'rial talk的播客节目，为《材料世界》（*Materials World*）等期刊撰写文章。2017年，她获得了英国皇家工程院的杰出青年工程师奖（Young Engineer of the Year），并成功进入全球颇负盛名的趣味科普比赛“科学一叮”（FameLab）的英国区决赛。她还喜欢吹小号，现在正在练习游泳，计划游过英吉利海峡。

阿拉蒂尔·普拉萨德（Aarathi Prasad），分子遗传学家和作家，为BBC电视一台、BBC广播四台、英国第四台、国家地理频道、探索频道策划并主持了多部纪录片，著作颇丰，《接骨师的候诊室：印度医学之旅》（*In the Bonesetter's Waiting-Room: Travels in Indian Medicine*）是她的代表作。

路易莎·普雷斯顿（Louisa Preston），伦敦大学伯贝克学院天体生物学家，英国航天局（UK Space Agency）“极光”计划（Aurora Research）成员，参与美国、加拿大等多个国家的航天局研究项目，主要研究地球上的生命体如何在恶劣的环境中生存下来，以此作为地外生物和栖息环境的研究参考。她还积极进行科学普及，曾在2013年的TED大会上与大家讨论如何寻找火星生命，其处女作名为《金凤花与水熊



虫：在宇宙中搜寻生命》（*Goldilocks and the Water Bears: The Search for Life in the Universe*）。

亚当·拉瑟福德（Adam Rutherford），遗传学家、作家，BBC广播四台的王牌科普节目《科学内幕》（*Inside Science*）主持人。他还是多部电影的科学顾问，包括《僵尸世界大战》（*World War Z*，2013年）和亚历克斯·嘉兰导演的奥斯卡获奖作品《机械姬》（*Ex Machina*，2015年）；著有《我们人类的基因：全人类的历史与未来》（*A Brief History of Everyone Who Ever Lived: The Stories in Our Genes*）等作品。

诺埃尔·夏基（Noel Sharkey），谢菲尔德大学人工智能与机器人学荣誉教授，负责任机器人基金会（Foundation for Responsible Robotics）联合创始人，非政府国际自治武器控制协会（the NGO: International Committee for Robot Arms Control）主席，BBC《机器人大擂台》（*Robot Wars*）节目主裁判。他自如地游走于各学科间，从人工智能到语言学、计算机科学，从机器学习到工程学、机器人学和技术伦理研究。在谢菲尔德大学之外，他还在埃塞克斯大学、埃克塞特大学、耶鲁大学和斯坦福大学授课和做研究。

达姆·朱莉娅·斯林戈（Dame Julia Slingo），气象学家和气候学家，英国皇家学会会员（FRS），美国国家工程院（US National Academy of Engineering）外籍成员，2009—2016年英国气象局（the Met Office）首席专家。运用更为先进的方法解读天气现象、预测天气、为气候建模贯穿了她的职业生涯，她也十分关注热带气象和气候异变。

加亚·文斯（Gaia Vince），专精于科学、社会和环境主题写作的自由撰稿人和电视广播节目主持人。她的文章发表于英国、美国、澳大利亚的多家刊物，她还曾是《自然》《新科学家》和《自然气候变化》（*Nature Climate Change*）的编辑。2015年，其处女作《人类世的冒险之旅：穿越我们塑造的世界之心》（*Adventures in the Anthropocene: A Journey to the Heart of the Planet We Made*）获得英国皇家学会科学图书奖。

马克·沃克（Mark Walker），新墨西哥州立大学哲学系教授，曾获得校内理查德·L. 赫登进步哲学奖学金（Richard L. Hedden Chair of Advanced Philosophical Studies）。2013年，他的第一本书《给所有人的快乐药丸》（*Happy-People-Pills for All*）建议为大众制造增加幸福感的药物。他最新的一本书《给所有人的钱》（*Free Money for All*）在2015

年出版，建议为每一个美国人提供一笔金额达10000美元的“基本收入”。

艾伦·伍德沃德（Alan Woodward）原本是一位物理学家，他在攻读硕士学位期间因科研需要而接触信息科学，对计算机的了解与日俱增，后成为一名计算机安全专家。在英国政府部门工作多年后，他开始在企业从事网络安全工作。之后，他回归学术领域，在萨里大学做客座教授，也担任如欧洲刑警组织等机构的顾问。他是网络安全领域的著名专业人士，他的工作涉及从量子物理到计算机科学的多个领域和层面。

# 延伸阅读

## 第一部分 地球的未来

1. *Adventures in the Anthropocene: A Journey to the Heart of the Planet We Made* , Gaia Vince, Vintage, 2016.

2. *Climate Change (What Everyone Needs to Know)* , Joseph Romm, Oxford University Press, 2015.

3. *The Future* , Al Gore, WH Allen, 2014. [\[6\]](#)

（中文版《未来：改变全球的六大驱动力》2013年由上海译文出版社出版，译者：冯洁音、李鸣燕、毛云）

4. *Homo Deus: A Brief History of Tomorrow* , Yuval Noah Harari, Harvill Secker, 2016.

（中文版《未来简史》2017年由中信出版社出版，译者：林俊宏）

5. *Population 10 Billion* , Danny Dorling, Constable, 2013.

6. *Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies* , Geoffrey West, Weidenfeld & Nicolson, 2017.

（中文版《规模：复杂世界的简单法则》2018由中信出版社出版，译者：张培）

7. *Smart Cities, Digital Nations: Building Smart Cities in Emerging Countries and Beyond* , Casper Herzberg, Roundtree Press, 2017.

8. *Tomorrow's World: A Look at the Demographic and Socio-Economic Structure of the World in 2032* , Clint Laurent, Wiley, 2013.

## 第二部分 我们的未来

9. *Citizen Cyborg: Why Democratic Societies Must Respond to the Redesigned Human of the Future* , James Hughes, Basic Books, 2004.

10. *Creation: The Origin of Life / The Future of Life* , Adam Rutherford, Penguin, 2014.

11. *The Gene: An Intimate History* , Siddhartha Mukherjee, Vintage, 2017.

（中文版《基因传：众生之源》2018年由中信出版社出版，译者：马向涛）

12. *Happy-People-Pills for All* , Mark Walker, Wiley, 2013.

13. *Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life* , J. Craig Venter, Little, Brown Book Group, 2013.

（中文版《生命的未来：从双螺旋到合成生命》2016年由浙江人民出版社出版，译者：贾拥民）

14. *The Patient Will See You Now: The Future of Medicine Is in Your Hands* , Eric Topol, Basic Books, 2016.

（中文版《未来医疗：智能时代的个体医疗革命》2016年由浙江人民出版社出版，译者：郑杰）

15. *Spillover: Animal Infections and the Next Human Pandemic* , David Quammen, Vintage, 2013.

（中文版《致命之旅：全球大型传染病探秘之旅》2014年由中信出版社出版，译者：刘颖）

16. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies* , Nick Bostrom,

Oxford University Press, 2016.

（中文版《超级智能：路线图、危险性与应对策略》2015年由中信出版社出版，译者：张体伟、张玉青）

### 第三部分 网络的未来

17. *AI: Its Nature and Future* , Margaret A. Boden, Oxford University Press, 2016.

（中文版《AI：人工智能的本质与未来》2017年由中国人民大学出版社出版，译者：孙诗惠）

18. *Cloud Computing* (MIT Press Essential Knowledge Series), Nayan B. Ruparelia, MIT Press, 2016.

19. *Computing with Quantum Cats: From Colossus to Qubits* , John Gribbin, Bantam Press, 2014.

20. *The Economic Singularity: Artificial Intelligence and the Death of Capitalism* , Calum Chase, Three Cs, 2016.

（中文版《经济奇点:人工智能时代,我们将如何谋生》2017年由机械工业出版社出版，译者：任小红）

21. *Enchanted Objects: Design, Human Desire and the Internet of Things* , David Rose, Scribner, 2015.

22. *The Technological Singularity* , Murray Shanahan, MIT, 2015.

（中文版《技术奇点》2016年由中信出版社出版，译者：霍斯亮）

### 第四部分 制造的未来

23. *The Industries of the Future* , Alec Ross, Simon & Schuster, 2017.  
*Innovation and Disruption at the Grid's Edge*, Fereidoon Sioshansi (ed.),

Academic Press, 2017.

（中文版《新一轮产业革命：科技革命如何改变商业世界》2016年由中信出版社出版，译者：浮木译社；校译：何玲）

24. *Innovation and Disruption at the Grid's Edge* , Fereidoon Sioshansi (ed.), Academic Press, 2017.

25. *Made to Measure: New Materials for the 21st Century* , Philip Ball, Princeton University Press, 1999.

26. *Stuff Matters: The Strange Stories of the Marvellous Materials that Shape Our Man-made World* , Mark Miodownik, Penguin, 2014.

（中文版《迷人的材料：10种改变世界的神奇物质和它们背后的科学故事》2016年由北京联合出版公司出版，译者：赖盈满）

27. *We Do Things Differently: The Outsiders Rebooting Our World* , Mark Stevenson, Profile, 2017.

## 第五部分 遥远的未来

28. *Black Holes, Wormholes and Time Machines* , Jim Al-Khalili, CRC Press, 2012.

29. *Emigrating Beyond Earth: Human Adaptation and Space Colonization* , Cameron M. Smith, Springer, 2012.

30. *Global Catastrophic Risks* , Nick Bostrom and Milan M. Cirkovic, Oxford University Press, 2011.

31. *The Knowledge: How to Rebuild Our World After an Apocalypse* , Lewis Dartnell, Vintage, 2015.

（中文版《世界重启：大灾变后，如何快速再造人类文明》2015年由北京联合出版公司出版，译者：秦鹏）

32. *Packing for Mars: The Curious Science of Life in Space* , Mary

Roach, Oneworld, 2011.

33. *Physics of the Future: The Inventions That Will Transform Our Lives* , Michio Kaku, Penguin, 2012.

（中文版《物理学的未来》2012年由重庆出版社出版，译者：伍义生、杨立盟）

[1] 此处出现的英文标题为对应章节的原标题，后同。——编者注

[2] 指《刀锋战士》电影。原书此处括注内容翻译如下：还有菲利普·K. 迪克（Philip K. Dick）的小说，这部电影据此改编。——编者注

[3] arribada，指某些种类的海龟同时在同一地点大规模筑巢的现象。  
——译者注

[4] planetary problem，群体中某一个体比其他个体质量大得多时的多体问题。——译者注

[5] 美国于2017年6月宣布退出《巴黎协定》。——编者注

[6] 本书第一版2013年由兰登书屋出版。——译者注





## 未读 Club

为读者提供有温度、有质量、有趣味的  
泛阅读服务



专属社群 独家福利  
精品共读 活动特权

手机扫码

加入未读 Club 会员计划