

1845年创刊·以科技见证世界改变

# 环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN

《科学美国人》杂志独家授权

邮局订阅代号：80-498

2020年2月号 总第183期 每月1日出版

定价：¥30



中国邮政发行畅销报刊

## 运动延缓衰老

运动不仅能促进神经元的生成，也有助于延缓大脑的衰老进程。  
但是，一个非常关键的问题也始终困扰着科学家：为什么运动会对大脑产生影响？  
最近，这个问题有了答案。

PLUS

### 三维量子比特： 量子计算新可能

如果用三维量子比特来代替传统的二维量子比特，量子计算系统的性能会更强大。



绿色印刷产品

ISSN 1673-5153



9 771673 515207

03



## 封面故事 COVER STORY

### 运动延缓衰老

我们知道运动能提高身体机能，但是很少有人知道运动也能促进神经元的生成，对人类的大脑产生积极影响。而且，这种正面影响在人类衰老的过程中表现得非常明显，可能降低多种神经退行性疾病的患病风险。但是，一个非常关键的问题始终困扰着科学家：为什么运动会的大脑产生影响？最近，这个问题有了答案。

#### 天文学 ASTRONOMY

### 28 外星人尚未到来？

撰文 凯莱布·沙夫 (Caleb Scharf)

迄今为止，人类从未在地球上发现外星文明造访的痕迹。这是否意味着，外星智慧文明并不存在？部分科学家或许如此认为，但也有些科学家认为，下面这个解释更为合理：外星智慧文明的迁徙可能具有周期性，而地球在银河系中的位置又比较偏远，因此目前没有外星文明造访，并不代表外星文明不存在，可能只是因为目前正处于星际移民的“空窗期”，外星文明尚未到来。

#### 天文学 ASTRONOMY

### 36 黑洞照片之后：EHT的下一步

本刊记者 戚译引

事件视界望远镜（EHT）项目的发起者和首任主管、哈佛大学资深研究员谢泼德·多尔曼（Sheperd Doeleman）认为，我们目前处在黑洞研究新时代的开端。EHT的下一步，将建设更加庞大的望远镜网络，从而对相对论进行更加细致的检验，更全面地揭露宇宙的真实。

#### 天文学 ASTRONOMY

### 40 极大望远镜：望向宇宙的地球之眼

撰文 哈维尔·巴尔科斯 (Xavier Barcons) 胡安·卡洛斯·冈萨雷斯·埃雷拉 (Juan Carlos González Herrera) 奥古斯丁·桑切斯·拉韦加 (Agustín Sánchez Lavega)

20多年前，欧洲南方天文台就开始探究如何建造人类历史上最大的光学望远镜。2026年，这台主镜面积相当于3个篮球场的望远镜就将开始运行，它的诞生将意味着一次质的飞跃：随着极大望远镜的问世，天文学的各个领域都将迎来翻天覆地的变革。

#### 物理学 PHYSICS

### 50 三维量子比特：量子计算新可能

撰文 乌尔巴西·辛哈 (Urbasi Sinha)

与经典计算机相比，量子计算机的优势在于，每一个量子比特都可以同时处于两种状态，一旦量子比特达到一定的数量，那么量子计算能力的提升就是指数级的。因此，很多科学家和科技公司都致力于增加量子计算系统中的量子比特数量，但本文作者却选择了另一条道路，用三维量子比特来代替传统的二维量子比特。这样一来，只需要更少的量子比特，就能达到或超过当前量子计算系统的性能。

#### 技术 TECHNOLOGY

### 56 量子热潮：资本和技术的双重角逐

撰文 伊丽莎白·吉布尼 (Elizabeth Gibney)

虽然量子技术还不够成熟，多用途量子计算机也还没有建成，但投资者们完全不在意，正向量子计算领域的初创公司投入大量资金。在目前的量子技术领域，北美和中国处于相对领先的地位：中国在量子通信方面占据了主导地位，而北美则在量子计算方面领先。

#### 生物学 BIOLOGY

### 62 鸟类的惊人脑力

撰文 奥努尔·京蒂尔金 (Onur Güntürkün)

直到2006年，科学家通过镜像实验才证实鸟类具有认知能力。一些鸟类能制造和使用工具，还具有超强的社交策略，可以理解自然界的许多物理现象。虽然鸟类的大脑很小，但它们和人类一样具有协调认知的脑区；而且，鸟类大脑皮层中的神经元更为密集，能缩短信息的传播时间，弥补了它们神经元较少的问题。

2019年度专刊 · 重磅上市

# 诺奖得主经典文集

## 他们如何开创科学的黄金时代？

爱因斯坦、玻尔、玻恩、鲍林、薛定谔、哈恩、克里克、科恩伯格……



**18**位 + **16**篇  
诺奖得主 传世经典

每一位作者，都是科学史上高山仰止的存在；  
每一篇文章，都凝聚了人类的巅峰智慧。

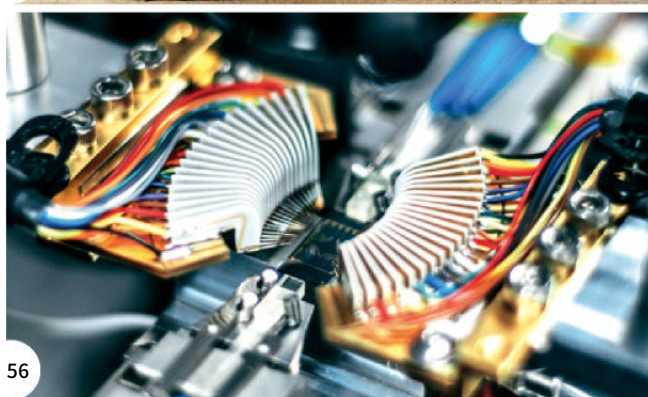
现已全国上市  
客服热线：010-57458982

原价 ~~68元~~

优惠价 **56元**

包快递





## 医学 MEDICINE

### 70 美国的阿片类药物危机

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis)

在美国，阿片类药物是重要的止痛药，但由于这种药物会让患者产生严重的依赖性，美国政府开始严格限制这类药物的使用，但这引发了新一轮的危机：慢性痛患者因为突然停药而痛不欲生，转为购买大量非法的阿片类药物，甚至有些患者会选择自杀。在这样的困境下，科学家发现了一些能让患者减少阿片类药物使用且不增加痛苦的疗法，这或许能帮助慢性痛患者摆脱阿片类药物。

## 医学 MEDICINE

### 78 在争议中狂奔：日本干细胞疗法调查

撰文 戴维·齐拉诺斯基 (David Cyranoski)

近些年，日本再生医学和干细胞疗法的发展速度名列全球首位。这一成就离不开日本政府推出的两项便捷性法案，科研机构或者诊所能够利用法案，更加迅速地通过干细胞疗法的资质审核，完成注册。但由于追求速度，法案降低了对干细胞疗法的审核要求，这也导致了乱相叠出：许多诊所的干细胞疗法的实际效果与宣传有很大出入，甚至还会带来副作用。

## 心理学 PSYCHOLOGY

### 84 羞耻：心理健康的隐形杀手

撰文 安妮特·卡梅雷尔 (Annette Kämmerer)

每个人都有“想找个地缝钻进去”的时刻，然而有些人更容易感到羞耻。羞耻拥有巨大的破坏力。感到羞耻的时候，我们会以消极的眼光看待自己，而忽略了周围发生的事情，这会打击一个人自我认同的核心。因此，具有羞耻倾向的人更容易产生心理问题，并且更不愿意在社会交往上做出积极的改变。

## 前沿 ADVANCES

- |            |            |
|------------|------------|
| 12 制造原子波   | 全球科技热点     |
| 用二氧化碳合成乙烯  | 遏制物种大灭绝    |
| 用反射光识别幸存者  | 寒鸦如何有序飞行   |
| 追踪流行病起源    | 蓝光有益保持生物节律 |
| 机器人应该隐藏身份吗 |            |
| 潜水甲虫：      |            |
| 神秘的脊椎动物掠食者 |            |
| 没有副作用的止痛药  |            |

## 专栏 COLUMN

### 08 《科学美国人》国际版本速览

时间晶体 TIME CRYSTAL

### 09 我们生活在虚拟世界中吗

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek)

### 10 全球学术期刊概览

### 88 2019年《环球科学》最美科学阅读

物理观察 OBSERVATION

### 90 火星改造实验

撰文 罗宾·沃兹沃思 (Robin Wordsworth)

健康科学 THE SCIENCE OF HEALTH

### 92 人体内的细菌药剂师

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis)

反重力思考 ANTI GRAVITY

### 93 大鼠学会了开车

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)

科学评论 COMMENT

### 94 鱼油保健品有用吗

撰文 R·普雷斯顿·梅森 (R. Preston Mason)

数据 DATA

### 95 封面与时代

撰文 珍·克里斯琴森 (Jen Christiansen)

2020年是《科学美国人》创刊175周年。这175年来，《科学美国人》封面上的变化不仅反映了科学的发展，也透视了全球出版业的变迁。

### 96 经典回眸 50,100&150 YEARS AGO

# 2020年《环球科学》 国际科学夏令营招募



扫描二维码  
填写报名表



扫描二维码  
查看详细行程

德国、美国，“科学梦想季”即将开启！

010-57101895  
18610619968



## 美国 NASA

### NASA 航空航天科技夏令营

马歇尔太空飞行中心是美国航天器推进、设计以及建设国际空间站的重要基地，也是目前世界上最重要的宇航研究中心及高科技军事中心之一。《环球科学》将带领全国对航空航天领域有着浓厚兴趣的中学生们，一起深入“火箭之城”的亨茨维尔基地，接受六大模块训练，全方位体验前沿空间探索技术。夏令营结束后，将会获得由美国宇航中心负责人颁发的权威证书。

时间：2020年7月30日至8月12日

地点：亨茨维尔、洛杉矶

招生对象：10-17岁优秀中小学生对航空航天领域有浓厚兴趣



## 德国哥廷根大学

访问 [www.huanqiukexue.com](http://www.huanqiukexue.com),

点击“品牌活动”-“科学营”

查看更多信息

### XLAB 国际科学夏令营

《环球科学》& 哥廷根大学 XLAB 联合举办的国际科学营已成功举办了 17 届。哥廷根大学曾诞生过 45 位诺奖得主，以纯正的诺贝尔式科学教育和实验化教学享誉全球。每年来自全球的上万青年聚集于此，接受最高水准的科学训练。营员将接受全英文授课，并在世界一流实验室中与科学家面对面交流，还将获得院长亲笔签字的结业证书。

时间：2020年7月（日期待定） 地点：哥廷根、慕尼黑

招生对象：16-23岁优秀青年学生，热爱科学实验，英文熟练

## 主管单位 Authorities in Charge

中华人民共和国教育部 Ministry of Education of the People's Republic of China

## 主办单位 Sponsor

中国大学出版社协会 China University Presses Association

## 出版单位 Published By

《环球科学》杂志社有限公司

GLOBAL SCIENCE MAGAZINES Co. Ltd

社址 Address: 北京市朝阳区秀水街1号建外外交公寓4-1-21 Office 4-1-21, Jianguomen Diplomatic Residence Compound, No. 1, Xiu Shui Street, Chaoyang District, Beijing, China. 邮编: 100600

## 社长/总编辑 Editor-in-chief

陈宗周 Chen Zongzhou

## 出版人 Publisher

刘芳 Liu Fang

## 编辑中心 EDITORIAL DEPARTMENT

### 执行主编 Executive Editor

褚波 Wave Chu

### 资深编辑 Senior Editor

吴兰 Wu Lan / 罗凯 F. Leocas

吴非 Wu Fei / 魏潇 Wei Xiao

### 编辑 Editor

龚聪 Gong Cong / 杨心舟 Yang Xinzhou

### 助理编辑 Assistant Editor

石云雷 Shi Yunlei

### 记者 Chief Reporter

方行苇 Fang Xingwei

### 特约记者 Contributing Reporter

陈耕石 Chen Gengshi / 吴好好 Wu Haohao

颜磊 Yan Lei / 杜立配 Du Lipai

### 网站 Website

袁雪 Yuan Xue

### 设计部 Art & Design

### 视觉总监 Visual Director

封雪英 Feng Xueying

编辑部热线: 010-85325871

新媒体合作: 010-85321181

## 运营中心 OPERATING DEPARTMENT

### 发行部 Circulation Department

发行热线 010-57439192

### 市场部 Marketing Department

市场热线 010-57101895

### 广告部 Advertising Department

广告热线: 010-85325810

### 读者服务部 Reader Service

晶晶 Jingjing 010-57458982

国际标准刊号: ISSN 1673-5153

国内统一刊号: CN11-5480/N 总期号: 总第183期

发行单位: 北京报刊发行局

全国各地邮局均可订阅 邮发代号: 80-498

广告经营许可证号: 京朝工商广字第8144号

印刷单位: 北京利丰雅高长城印刷有限公司

版权声明: 本刊刊登的所有内容, 杂志保留全部版权。未经许可, 不得以任何形式转载、复制、翻印、传播或使用。如无特殊声明, 杂志保留以任何形式(包括但不限于纸质版、电子版、移动端、数据库、光盘等)编辑、修改、出版、使用或授权使用该作品的权利。作译者在本刊发表文章, 享有文章署名权和获取一次性报酬的权利, 不享有其他任何权利。本刊保留一切法律追究的权利。

## 北京市绿色印刷工程

——优秀青少年读物绿色印刷示范项目

## 顾问委员会

### 中国顾问委员会

周光召 杨振宁 (以下按姓氏笔画)

艾国祥 李国杰 吴新智 张玉台 张厚粲 赵忠贤 钟南山 姚期智 欧阳自远 郭光灿 焦洪波 滕吉文

### 全球顾问委员会

莱斯利·C·艾洛 (Leslie C. Aiello)

温纳·格伦人类学研究基金会主席

罗杰·宾汉姆 (Roger Bingham)

科学网络 (The Science Network) 联合创始人、负责人

G·史蒂文·博尔 (G. Steven Burrill)

美国博乐集团CEO

亚瑟·卡普兰 (Arthur Caplan)

纽约大学Langone医学中心医学伦理学人口健康系主任

乔治·M·丘奇 (George M. Church)

哈佛医学院计算遗传学中心主任

丽塔·科尔韦尔 (Rita Colwell)

马里兰州帕克分校教授、约翰斯·霍普金斯大学公共卫生学院教授

德鲁·恩迪 (Drew Endy)

斯坦福大学生物工程教授

埃德·费尔顿 (Ed Felten)

普林斯顿大学信息技术政策中心主任

凯格厄姆·J·加布里埃尔 (Kaigham J. Gabriel)

摩托罗拉移动公司副总裁

哈罗德·加纳 (Harold Garner)

弗吉尼亚理工学院生物信息学研究所教授、医疗信息系统部门负责人

迈克尔·S·加扎尼加 (Michael S. Gazzaniga)

加利福尼亚大学圣巴巴拉分校Sage心智研究中心主任

戴维·J·格罗斯 (David J. Gross)

2004年诺贝尔物理学奖得主、加利福尼亚大学圣巴巴拉分校卡夫利理论物理研究所教授、常任理事

莱内·维斯特高·哈乌 (Lene Vestergaard Hau)

哈佛大学物理与应用物理系教授

丹尼·希利斯 (Danny Hillis)

Applied Minds公司主席

维诺德·科斯拉 (Vinod Khosla)

科斯拉风险投资公司合伙人

克里斯托夫·科赫 (Christof Koch)

艾伦脑科学研究所CSO

丹尼尔·M·卡门 (Daniel M. Kammen)

加利福尼亚大学伯克利分校可再生能源及新能源实验室主任、能源与资源研究组特聘教授

劳伦斯·M·克劳斯 (Lawrence M. Krauss)

亚利桑那州立大学宇宙学家、起源项目负责人

莫顿·L·克林格尔巴赫 (Morten L. Kringelbach)

牛津大学精神病学系资深研究员、丹麦奥胡斯大学神经科学教授

史蒂文·凯尔 (Steven Kyle)

康奈尔大学应用经济与管理系教授

罗伯特·S·兰格 (Robert S. Langer)

麻省理工学院化学工程系戴维·H·科赫研究所教授

劳伦斯·莱斯格 (Lawrence Lessig)

哈佛大学法学院教授

约翰·P·穆尔 (John P. Moore)

康奈尔大学威尔医学院微生物学和免疫学教授

M·格兰杰·摩根 (M. Granger Morgan)

卡内基·梅隆大学工程与公共政策教授兼系主任

米格尔·尼科莱利斯 (Miguel Nicolelis)

杜克大学神经工程中心负责人

马丁·A·诺瓦克 (Martin A. Nowak)

哈佛大学生物学和数学教授、进化动力学项目负责人

罗伯特·E·帕拉佐 (Robert E. Palazzo)

阿拉巴马大学伯明翰分校文理学院院长

卡罗琳·波尔科 (Carolyn Porco)

卡西尼探测器成像科学团队、太空科学研究所卡西尼成像中心运营实验室负责人

马丁·里斯 (Martin Rees)

英国皇家天文学家、剑桥大学天文学研究所宇宙学和天体物理学教授

维兰努亚·S·拉玛钱德朗 (Vilayanur S. Ramachandran)

美国加利福尼亚大学圣迭戈分校大脑与认知中心主任

丽莎·兰道尔 (Lisa Randall)

美国哈佛大学物理学教授

约翰·里根沃德 (John Reganold)

美国华盛顿州立大学土壤科学和农业生态学终身教授

杰弗里·D·萨克斯 (Jeffrey D. Sachs)

美国哥伦比亚大学地球研究所所长

尤金妮亚·斯科特 (Eugenie Scott)

美国国家科学教育中心执行主任

特里·诺斯基 (Terry Sejnowski)

美国索尔克生物学研究所计算神经生物学实验室教授、负责人

迈克尔·舍默 (Michael Shermer)

《怀疑论》杂志出版人

迈克尔·施耐德 (Michael Snyder)

斯坦福大学医学院遗传学教授

迈克尔·E·韦伯 (Michael E. Weber)

清洁能源孵化器负责人、美国得克萨斯大学奥斯汀分校机械工程系副教授

史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg)

1979年诺贝尔物理学奖得主、美国得克萨斯大学奥斯汀分校物理系理论物理组主任

乔治·怀特塞兹 (George M. Whitesides)

美国哈佛大学化学与化学生物学教授

内森·沃尔夫 (Nathan Wolfe)

全球病毒预警计划 (Global Viral Forecasting Initiative) 负责人

R·詹姆斯·沃尔赛 (R. James Woolsey)

勒克斯资本管理合伙人

安东·蔡林格 (Anton Zeilinger)

奥地利维也纳大学量子光学、量子纳米物理学、量子信息学教授

乔纳森·齐特林 (Jonathan Zittrain)

哈佛大学法律和计算机科学教授



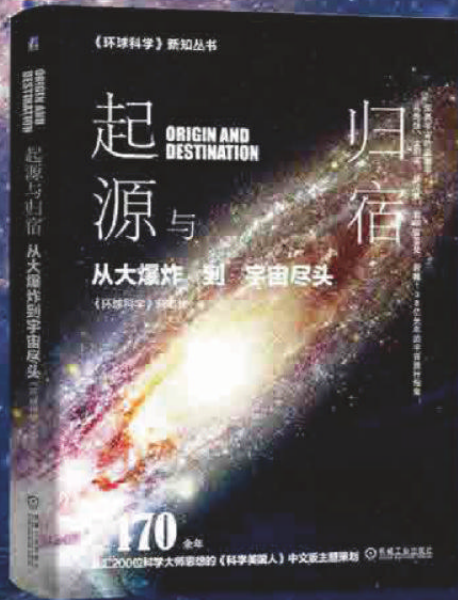
2020. Scientific American, a division of Nature America, Inc. Subject to national and international intellectual property laws and treaties. All rights reserved. Used under license. No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of an audio recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of the publisher.

封面故事

COVER STORY

# 《环球科学》经典珍藏版

《环球科学》× 机械工业出版社 联合出品



时间专刊·宇宙专刊·黑洞专刊·天文专刊  
全新的装帧设计，全新的阅读体验



扫码了解更多



### 意大利版

## 提高光合作用效率

目前，全世界仍有9亿左右的人口处于饥饿状态，而人口仍在持续增长。此外，气候变化也可能带来更多极端天气事件，对未来的农业生产造成较大影响。届时，可能会有更多人面临饥饿的威胁。为了解决这个问题，最直接的办法就是提高农作物的产量。在最新一期《科学美国人》意大利版上，帕尔马大学食品与药品科学系的科学家雷纳托·布鲁尼 (Renato Bruni) 认为，提升发生在叶绿素上的光合作用效率，可以显著增加农作物产量，因为光合作用是植物把能量转化为有机物的关键步骤，提高光合作用效率，植物就会产生更多粮食。而且在过去10年中，一些科学家已经在实验室中做到了这一点，只不过，要将实验室中的结果应用到农业生产中，仍然有许多障碍需要跨越。

### 西班牙版

## 对付神经退行性疾病

阿尔茨海默病、帕金森病、亨廷顿病、肌萎缩性脊髓侧索硬化症……这些疾病有一个共同的名称：神经退行性疾病。那么，不同的神经退行性疾病之间有什么关联？最近，《科学美国人》西班牙版采访了美国梅奥诊所的神经疾病专家罗莎·拉德梅克斯 (Rosa Rademakers)。在拉德梅克斯看来，不同神经退行性疾病之间确实存在相关性，而且她认为，在未来10年会有很多研究进展出现，对于部分人来说，阿尔茨海默病将是可预防的，而对于另一部分人来说，阿尔茨海默病的发病进程则是可以延缓的。不仅如此，科学家对阿尔茨海默病的深入研究，也有助于了解和防治其他神经退行性疾病。

### 法国版

## 鲸为什么没有“后腿”？

我们都知道，鲸属于哺乳动物，绝大部分鲸都生活在海洋里。我们还知道，从解剖学的角度来看，鲸在征服海洋的过程中，失去了它们的陆地表亲的有用特征：“后腿”。但是，鲸的“后腿”是如何消失的？过去几十年，古生物学家发掘出许多化石，这些化石有助于了解过去大约5000万年里，鲸在演化过程中的一些关键节点。但是，这种演化是如何发生的，仍然是一个未解之谜。最近，一些德国科学家比较了包括4种鲸类动物在内的62个哺乳动物物种的基因组，他们发现，鲸的一些典型的哺乳动物特征之所以会消失，可能是因为一些对陆地哺乳动物很有用的基因在鲸类动物中丧失了功能。

### 《科学美国人》子刊

## 银河系中有虫洞吗？

从1967年的科幻剧集《星际迷航·永恒边缘的城市》开始，虫洞这种充满神秘色彩的空间结构就一直吸引着大众的注意力。尽管在物理学理论上，虫洞是可以存在的，但是，这么多年来，从来没有人能够证明它真的存在，更别说观察到。不过，最近一期的《科学美国人·太空与物理学》提到了一种检验虫洞是否存在的方法：那就是寻找微小但奇怪的恒星运动。因为如果有两颗恒星分别位于虫洞的两侧，一侧的恒星应该能感受到另一侧恒星的引力影响，所以，如果观测到恒星出现偏离轨道的情况，那么就意味着可能存在虫洞。而最好的观测区域，很可能就在星系核心的超大质量黑洞附近。



弗兰克·维尔切克是麻省理工学院物理学教授、量子色动力学的奠基人之一。因在夸克粒子理论（强作用）方面所取得的成就，他在2004年获得了诺贝尔物理学奖。



# 我们生活在虚拟世界中吗

多半不是，但这个想法足够疯狂，以至于有必要认真讨论一下。

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek) 翻译 胡风 梁丁当

《黑客帝国》这部电影为我们开了一个巨大的脑洞：我们生活的现实世界只不过是由一台超强计算机所创造出来的虚拟世界。这个想法足够疯狂，以至于我们有必要认真讨论一下。但在此之前，我们需要区别两个不同的问题。第一个是：有没有可能存在这样一个包罗万象的精神世界，它是由抽象的数据形成的，而不是像表面上看上去那样建立在物质的基础上？第二个问题则是：我们真实经历的这个世界——由物理学定律和宇宙学事实所描述的世界——是不是这样的一个虚拟世界？

对于前者，答案无疑是肯定的。事实上人在处于异相睡眠时会做梦。我们每天大约有一两个小时的时间，完全沉浸在大脑产生的虚幻感知中。在梦里，我们所看到的物体其实是脑中不同形式的电信号。虚拟现实与此类似。虚拟现实技术通过各种数据流创造出我们所感知到的一切。

可是梦会醒，而目前的虚拟现实技术还不能够提供包罗



在《黑客帝国》中，强大的计算机创造出了一个虚拟世界。

万象的体验。在大部分的时间里，我们仍然生活在一个共同的现实世界，在饮食人生中渐渐老去。但是很多专家认为，总有一天我们能够实现基于电子线路的人工心灵——它可以模拟人的思考过程，包括人的自我意识。这种存活在程序里的人工心灵，虽然嵌在物理真实里，却又能够超脱其外。

对于第二个问题——即我们所感知到的世界是不是由这些抽象的数据创造出来的，最佳的答案是：不是的。首先，如果我们所经历的物理世界真是由计算机模拟出来的，它就会带来一个更根本的问题，即这台计算机本身又是由什么构成的呢？

撇开这些细节不谈，就描述我们这个世界的物理学来说，它在很多方面都不像是一个高效的世界模拟器的产物。比如，我们对物理定律最精确的表述是建立在时空是平滑连续的这个思想上的。可如果我们要在模拟中使用连续数字而不是0和1，保持精确性的难度就会高很多。

更一般地讲，我们的世界包含了很多隐藏的复杂性。比如我们可以根据基本定律计算质子的性质，但这些计算是极其复杂的。如果用如此难以计算的成分来构建一个模拟的世界，这实在是一个很糟糕的策略。

《黑客帝国》中关于超强计算机创造虚拟世界的这个幻想其实并不新鲜。它不过是唯心主义哲学观念在计算机时代的改良版，认为所谓的物质现实的核心是精神而非物质。18世纪的哲学家伯克利大主教就曾说过：世界是上帝心理活动的映射。但是塞缪尔·约翰逊 (Samuel Johnson) 并不赞成这个理论。正如他的传记作家詹姆斯·博斯韦尔 (James Boswell) 所描述的：

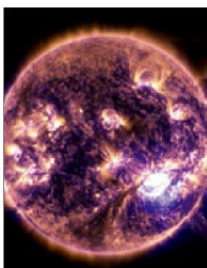
“我们站在那儿，谈论着伯克利大主教的物质不存在、万物皆是我们感知的诡辩……我永远都忘不了约翰逊当时情绪激昂的样子。他狠狠地往一块大石头上踢了一脚，收回脚后，他说道，‘就这样，我便能驳倒他。’”

那一脚真是胜过千言万语。想象一个虚拟的世界当然是可能的。但如果我们的世界真的是虚拟的，那创造它的心灵——天晓得它是由什么构成的——的工作方式实在是太神秘了。 ■

# 全球学术期刊概览



领研网 www.linkresearcher.com



DOI: 10.1098/rspb.2014.2032

《英国皇家学会会刊B辑》

## 太阳活动或会影响人类寿命

以前，占星术士认为天上的星星对人类有着深远的影响。现在看来，他们可能无意中道出了真相，至少太阳对人是影响的。对挪威出生记录的一项分析表明，相比出生在

太阳活动较弱时期的人，出生在太阳活跃期的人平均寿命减少了5年；而在太阳活动极大期出生的女性，生育能力似乎更差。研究人员表示，原因可能是在太阳活跃期，人们暴露在更强的紫外线辐射中，紫外线会降低孕妇体内叶酸的含量，而叶酸是婴儿健康发育所必需的B族维生素。目前还不清楚这种影响是否依然成立，因为现在许多孕妇都会服用维生素。尽管阳光具有潜在的负面影响，我们仍然需要它来合成充足的维生素D，所以这也是一种微妙的平衡。



扫码收听英语  
原声论文解读



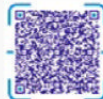
DOI: 10.1098/rspb.2014.1304

《英国皇家学会会刊B辑》

## 哺乳动物祖先怎样逃过大灭绝？

6600万年前，一颗小行星以巨大的能量撞击地球，导致恐龙灭绝，一项近期的研究表明，长时间冬眠可能是白垩纪末期哺乳动物祖先免于灭绝的原因。科学家认为，白垩纪

末期地球被全球性的大火吞没了一年以上，对于生物来说，这段需要避难的时间相当长，小型哺乳动物很可能挖洞钻到了地下。可是，这些动物能在地下待这么长时间不出来透气吗？答案是可以的，只要它们在冬眠就行。研究人员给24只马达加斯加哺乳动物马岛猬戴上记录体温的仪器，然后把它们放回野外。大部分马岛猬被狗、蛇或偷猎者捕杀，但有一对马岛猬夫妇钻入沙子里睡觉，一直睡到9个月后研究人员把它们挖出来。这可能解释了胎盘类哺乳动物逃过大灭绝的原因。



扫码收听英语  
原声论文解读



DOI: 10.1016/j.jsci.2018.05.002

iScience

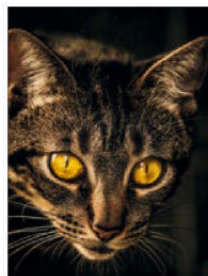
## 吼声能反映力量和体型

动物们常常用声音来表明体型和力量，人类其实也会如此，一项英国的研究表明，仅通过他人的吼声我们就能判断对方的体格。研究人员首先测量了61名男性和女性的二头肌围度、握力大小和身高，然后让

他们大吼一声；接着将录下的吼声放给另一组男女受试者听，同时也测量了他们的力量和体型。结果发现，仅凭吼声，男性就能以90%的正确率判断出对应的男性比自己强壮得多；但男性往往会低估女性的力量，而女性则会高估男性的力量。总而言之，像野生动物一样吼叫似乎是一种相当精确的传达自身体型和力量的方法。研究人员还发现，常规的大喊大叫并没有产生像吼叫一样的效果。因此，吼叫实际上能夸大人们的力量，这与非人类哺乳动物拥有的适应能力非常相似。



扫码收听英语  
原声论文解读



DOI: 10.1177/0956797614539706

《心理科学》

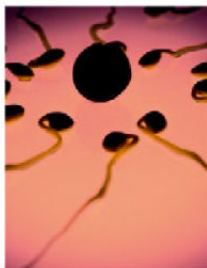
## 眼动研究揭示凝视背后的真实情感

对于看到潜在“新欢”的第一印象，双眼可能真是心灵的窗户，因为看向对方的视线会暴露你的最初反应：是浪漫爱恋还是性吸引。在研究中，异性恋受试者在电脑上看到一系列

陌生人照片，对方穿着整齐，富有魅力，与受试者性别相对。每看一张照片，受试者必须尽快说出自己的感觉：到底是情欲还是浪漫爱恋。对于受试者作出决定的时间长短，并没有发现明显的差异；但眼球跟踪数据揭示了受试者注视位置的巨大差别。受试者如果对照片中的异性产生了情欲之爱，他们会先看眼睛，然后盯着身体；而那些有了浪漫恋爱感的，则更倾向于只是注视着对方的眼睛和脸部。这两种视线模式的识别，对夫妻治疗或具有重要的理论和临床意义。



扫码收听英语  
原声论文解读

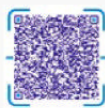


DOI: 10.1371/journal.pbio.3000559

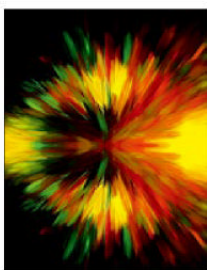
《公共科学图书馆·生物》

## 日常饮食能快速改变人类精子质量

近几十年来，全球肥胖率上升与精子质量下降的趋势令人担忧，已有的小鼠研究表明，父亲的饮食会通过一种存在于精子中的RNA小片段（tsRNA）对后代的代谢健康产生影响。最近，瑞典的研究人员发现人类的精子活力和精子tsRNA对日常饮食的变化都非常敏感，能在短时间内发生较大改变。在为期两周的饮食干预过程中，受试者首先遵循的是健康饮食，而后改为高糖饮食，结果发现所有受试者的精子活力都有了显著的提升，与精子活力相关的tsRNA也发生了变化。



扫码查看最新  
《公共科学  
图书馆·生物》  
论文导读



DOI: 10.1038/s41586-019-1800-4

《自然》

## 热传递的第四种机制被发现

在中学物理中，热量传递有三种传统机制，分别是热传导、热对流和热辐射，而在最近发表的一篇论文中，美国加州大学伯克利分校与中国香港大学的研究团队发现了第四种全新的传热机制。长期以来，人们认为真空中的热传递只能通过辐射进行，而需要介质存在的声子则无法完成，这让真空能阻隔多种类型的热传递。早在2011年就有物理学家提出理论预测，认为电磁场的量子涨落会引起真空中的声子耦合，从而促进热传递；新的研究则利用纳米力学系统实现了真空波动中的强声子耦合，并观察到了各个声子模式之间的热能交换。



扫码查看最新  
《自然》论文导读



DOI: 10.1126/science.aaz0135

《科学》

## 牢固绳结背后的拓扑学

从攀岩到航海，从饰物编织到外科手术，绳结都起着至关重要的作用，牢固绳结背后拓扑与力学之间微妙的相互作用也一直是物理学家和数学家研究的重点。麻省理工学院的研究人员共同开发了一个数学模型，将光学机械实验与理论模拟相结合，利用变色纤维分析打结时不同绳结的机械稳定性，让绳结牢固的理论原因得以直观展现。他们发现，如果一个结有更多的交叉和更多的扭转波动，即绳索的一段到另一段在旋转方向上发生的变化，它就会更牢固。



扫码查看最新  
《科学》论文导读

领研网·论文频道



1 000+ 种  
各学科优质期刊



20 000+ 篇  
中文论文导读



50+ 家  
出版方、国内外研究  
机构合作精选



30 000 000+ 次  
学术界传播及曝光

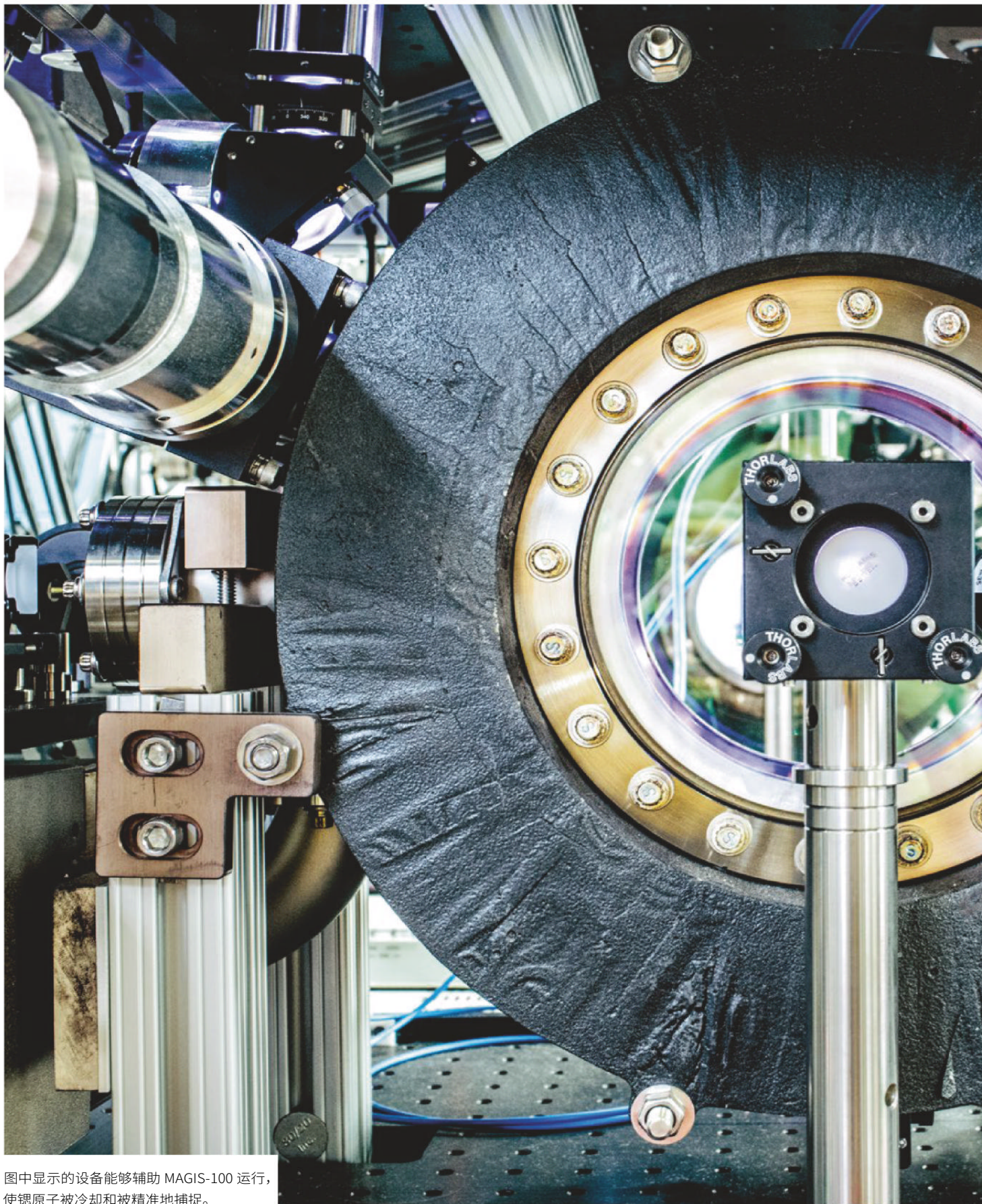


扫描二维码  
订阅科学 60 秒  
与最新论文

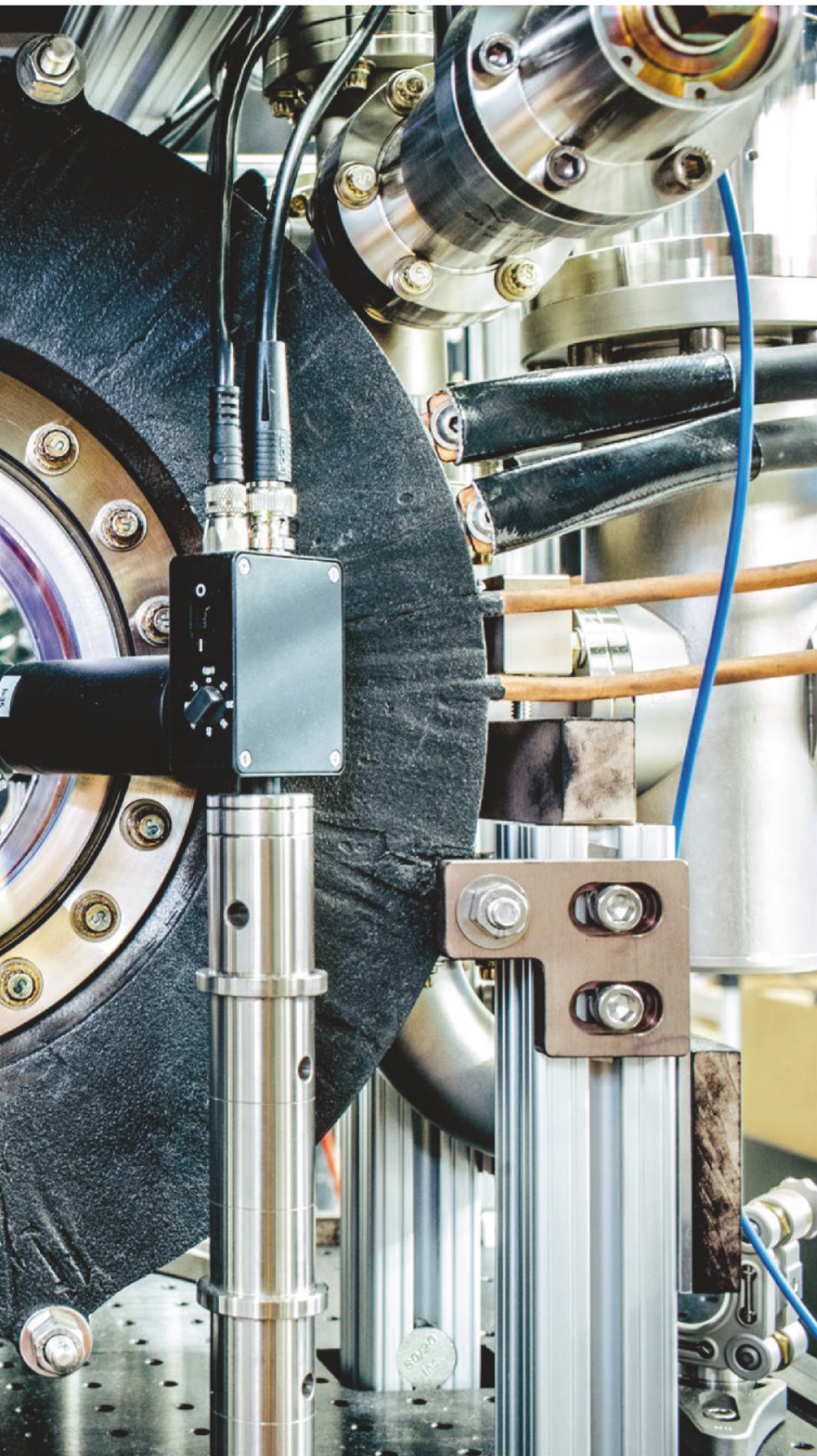
### 领研网

《环球科学》旗下科技学术分享与人才招聘平台，致力于传播与分享全球优秀研究成果，为华人科研人员铺就职场道路，为高校、研究机构与科技企业搭建人才桥梁。

合作邮箱：contact@linkresearcher.com 电话：010-85321181



图中显示的设备能够辅助 MAGIS-100 运行，使铯原子被冷却和被精准地捕捉。



物理学

## 制造原子波

撰文 查利·伍德 (Charlie Wood)

翻译 祝锦杰

研究人员正在着手探索极微观世界的特性，他们想把处于超低温状态的原子掷入100米长的真空中，通过特殊的方法将小小的原子“拉伸”出一阵相当于常规房间大小（米级）的波。通过研究原子的类波特性，实验可以深入量子领域，观察出其中异于常理的地方：包括与暗物质（到目前为止都未曾现身）相关的蛛丝马迹，以及对于未来的研究至关重要的引力波特性。

来自8家机构的研究人员齐心协力，将美国伊利诺伊州的一处矿井改造成了目前世界上最大的原子干涉仪：物质波原子梯度干涉传感器（Matter-wave Atomic Gradiometer Interferometric Sensor）。这套设备归美国费米国家加速器实验室（Fermilab）管理，设计终稿已经敲定，计划于2021年开始正式安装，版本代号为MAGIS-100。届时，研究人员将利用激光控制亚显微级别的铯原子，将其“拉伸”成宏观级别的“原子波”。罗伯·普伦吉特（Rob Plunkett）是费米国家加速器实验室的项目负责人，他说：“到2021年的夏天，一切将超乎人们的想象！”

MAGIS-100项目的经费需求达1230万美元，主要源于公众和私人

捐款。这种公私合资的形式是近年来的趋势，能在仅靠单个研究机构开展的科学研究和需要消耗数十亿美元数十年时间的大型研究之间架起一座桥梁。比如，大型强子对撞机项目(LHC)、激光干涉引力波天文台项目(LIGO)，这些都是基于合资形式运作的。阿西米纳·阿瓦尼塔基(Asimina Arvanitaki，并未参与这项研究)是加拿大圆周理论物理研究所(Perimeter Institute for Theoretical Physics)的研究员。她表示，为了研究暗物质的质量和性质，“你需要关注微观世界，而且还不能把宝押在同一个地方”。

MAGIS-100将测量原子自由落体时的性质。当激光束激发单个原子时，原子会处于既吸收又没有吸收激光能量的双重状态——就像薛定谔假设的那只猫一样，同时处于死亡和活着的叠加态。量子物理中的所有物体(小到光子，大如棒球)都具有波动性，只不过越宏观的物体，这种波动性就越难被觉察。当一个原子在MAGIS中以特定的方式受到激光的激发后，原子的波动性会使自身以原子波的形式延伸到整个房间，而与未被激光激发的部分相比，受到激光激发的“部分”运动得更快。

斯坦福大学有一座MAGIS的原型，高达10米，是目前世界上最大的同类型装置，已经创纪录地制造出了长达半米的原子波。对于费米实验室的装置而言，会把这个记录提高到几米甚至十几米的级别。当原子波在竖井中向下运动时，设备内的第二道激光会使原子的激发态和未激发态重新相遇。通过测量两种原子波的干涉，研究人员可以精确地计算原子自由落体的加速度。由于实验中采用了自由落体的方式，即便存在地震或车辆引起的震动，也不会对测量产生影响。

在MAGIS-100运行时，会同时把100万个原子从竖井的上方掷入底部。通过分析数量惊人的干涉图像(包括竖井上层和下层的原子云之间的干涉)，这台几乎占据了整个足球场的设备有能力探测与已知物理法则不同的细微差异。如果出现任何与理论不符的现象，可能就暗示了其他物质或能量的存在，比如在竖井通道中存在某种迄今未被确认的粒子。贾森·霍根(Jason Hogan)是斯坦福大学的物理学家，也斯坦福大学原型机的建造者之一。他说：“原子自由落体的路径越长，对加速度的测量就越有说服力。”

科学家一直怀疑暗物质构成了全宇宙大约80%的质量，它们至今无法被任何传统手段探测到，但却可以在上述实验中表现出明显的作用。在过去，绝大多实验都把关注点放在了一种科学家称之为“大质量弱相互作用粒子(weakly interacting massive particles, WIMP)”的对象上。这种粒子是由理论推测出来的，质量相对较大。但是这种“巨型粒子”一直没有出现，所以科学家也在不断开展新的搜寻实验。

在众多暗物质的候选名单中，一种理论上存在的超轻粒子(ultralight particles)——普伦吉特称之为“一块从未被人探索过的新大陆”——正在吸引越来越多科学家的注意力。按照约翰·霍普金斯大学理论物理学家苏尔吉特·拉贞德兰(Surjeet Rajendran)的说法，这些科学家空想的暗物质粒子是可以从多个途径对我们已知的粒子施加影响的。如果暗物质真的存在，那么MAGIS-100应该能够观测到两种相关的现象：常数偏移以及第5种基本力(还未被确认)。它们都应该是由一种质量仅有电子万

亿分之一的粒子引起的。与现有的设备相比，MAGIS的优势就在于它的敏感度提高了数百甚至数千倍，能够识别细微的差别。

有科学家倾向于按照理论预测，针对性地寻找特定的粒子；也有科学家更倾向于在技术允许的范围内广泛撒网。高能粒子对撞机已经对引力和强相互作用力领域的粒子做了非常透彻的搜索，但是物理学的标准模型似乎还差几片关键的拼图。

“我总觉得，研究更轻质量的物质更容易获得成果。”华盛顿大学的物理学家格雷·里布卡(Gray Rybka，并未参与这项研究)说，“有很多人抱有同样的想法，人数在过去10年间大概增加了好几倍。”阿瓦尼塔基则认为，即使不知道要找的东西是什么，MAGIS也会大大拓展实验物理领域的疆界。

如果MAGIS-100无法探测到暗物质，至少还能作为引力波探测服务。虽然MAGIS-100本身并不能直接探测引力波，但是它可以用于测试和开发未来所需的技术。

比如，在那条用于探测原子云坠落的竖井的基础上，开发出足以捕捉微小空间扰动的装置。这种装置同时还可以用来探测特定的时空涟漪，它能覆盖那些对LIGO来说太低而对激光干涉空间天线(LISA)来说又太高的频率。比如，由未经历对撞的黑洞和中子星发出的引力波。另外，设备升级为MAGIS-1000后，还可以作为类似天体对撞的预警装置。

目前，相关研究人员非常希望MAGIS-100能在暗物质的研究上独辟蹊径。“我们必须尽最大的努力，”美国西北大学负责激光系统开发的蒂姆·科瓦奇(Tim Kovachy)说，“事在人为，坚持不懈。”

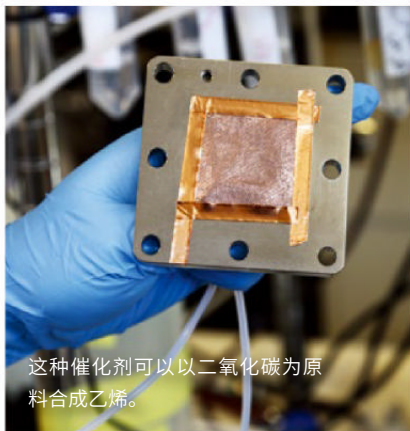
化学

## 用二氧化碳合成乙烯

撰文 苏珊·科西尔 (Susan Cosier) 翻译 张哲

乙烯是最常用的化工产品，全球每年的需求量高达1.5亿吨，其中大部分用于生产电子元件、纺织物中的各类塑料制品。目前，乙烯是以天然气为原料制成的，主要流程是裂解含有乙烯的长链烃。但是这种方法不仅能耗惊人，还会排放大量温室气体。

最近，科学家依靠电解池（依靠电能驱动化学反应的设备），以二氧化碳气体、水和特定的有机物为原料，在铜催化剂的表面合成出了乙烯。相关研究发表在2019年11月的《自然》杂志上。研究不仅为乙烯生产开辟了新的道路，还为以二氧化碳为原料合成其它化工产品指明了方向。



这种催化剂可以以二氧化碳为原料合成乙烯。

特德·萨金特 (Ted Sargent) 是加拿大多伦多大学的工程师，他最先想到或许可以用这种方法合成乙烯。

不过，刚开始时这种方法的耗电量也很大，合成效率很低。为此，萨金特专门求助了美国加州理工学院分子设计与合成方面的专家。

乔纳斯·彼得斯 (Jonas Peters) 和西奥多·阿加皮耶 (Theodor Agapie) 都在加州理工学院工作。接到邀请后，他们立即展开实验，尝试

在铜催化剂中加入不同的有机物。

他们发现，一种芳基吡啶盐最合适。萨金特表示，这种有机物会在铜的表面形成不溶于水的薄膜，可以使二氧化碳分子位于最佳位置，提高与其他分子接触的效率。改进后，乙烯的产量提高了，甲烷和氢气之类的副产物也减少了。

当然，要实现工业规模生产，还需进一步提高反应效率，所用的二氧化碳也最好是来自火力发电厂（燃煤或燃气）排放的废气。此外，还可以依靠风能等可再生能源发电，从而降低电能成本。

美国可再生能源实验室 (National Renewable Energy Laboratory, 位于科罗拉多州戈尔登市) 的高级研究顾问兰迪·科特莱特 (Randy Cortright, 并未参与这项研究) 表示：“这是一次重大的突破。”他认为，这项研究会得到很多科学家的关注，并以此为基础继续研究。

计算科学

## 用反射光识别幸存者

撰文 索菲·布什维克 (Sophie Bushwick) 翻译 郝豪

在灾后救援时，无人机常被用来绘制被破坏区域的地图，帮助救援人员找到可能的幸存者。现在，研究人员开发了一套新的系统，可以让无人机自动分析画面，确定被发现的人是否还活着。对于自动识别系统而言，这是一次重大的飞跃。

“我们希望借助计算机视觉，找到与呼吸节奏有关的人体细微变化，”

南澳大利亚大学传感器系统研究员，也是这项研究的负责人贾万·查尔 (Javaan Chahl) 表示。相关研究发表在2019年10月的《遥感》(Remote Sensing) 杂志上。

这套系统使用机器学习，事先对30秒的人体视频进行分析，测量起伏最明显的胸部区域的反射光变化，随后系统会判断光线强度的变化是否与呼吸动作一致。研究人员在9名受试者身上测试了这套系统，其中有8名真人和1名人形模具。

查尔表示，虽然实验中的受试者是直接平躺在地面上的，但是即便幸存者被瓦砾掩盖（只要有部分可见），系统仍然能够识别。在识别生

命体征时，以往的设备主要测量皮肤颜色的细微变化，这种变化可以指示是否血液流动。但是，只有脉搏上方的皮肤会有这种细微变化，这意味着无人机必须在更近的地方盘旋。

莉萨·帕克斯 (Lisa Parks, 并未参与这项研究) 就职于麻省理工学院，她说：“这项实验的条件过于理想化，人体以静止的姿势躺着，无人机在4~8米的空中巡回拍摄。”帕克斯指出，在实际的灾后救援中，可能存在风、雨和温度变化的干扰，如果有水流，也会影响这套系统识别反射光。她说：“如果没有在一个更真实的场景中测试，就无法知道这套系统是否真的适用于灾后环境。”

医学

## 追踪流行病起源

撰文 雷切尔·努尔 (Rachel Nuwer) 翻译 施烽

在2005年和2006年，在南非一家农村医院就诊的53名患者被确诊患有广泛耐药结核菌 (XDR-TB)。事实证明，这种细菌完全不受抗生素影响，最终导致其中52名患者死亡。

夸祖鲁-纳塔尔省 (KwaZulu-Natal) 出现的这场流行病大暴发，是迄今为止规模最大的XDR-TB事件。目前，该省近80%的结核感染都是由耐药菌引起的。2019年10月，《美国科学院院刊》(PNAS) 发表了一篇论文，揭示了这种致命菌株的起源。它

最早出现在400千米外的地区，比首次记录在案的病例早了10多年。发表这项研究的科学家表示，用多学科工具集可以分析这种毒株起源，当然，这套工具也可以在早期识别其他的耐药病原体，从而阻止它们进一步传播。

“本质上，这种病菌和许多其他病原体一样，需要一段时间才能形成，”哥伦比亚大学流行病学专家、这篇论文的通讯作者巴伦·马泰马 (Barun Mathema) 表示，“只要专心研究，就可以及时发现这些突变，并且采取行动。”

马泰马和同事对来自夸祖鲁-纳塔尔省的结核病患者做了基因测序工作，分析了其中300多个基因组，大部分样品都产自2011年到2014年间。他们发现，其中78%的样本与图格拉弗里护理研究组织的菌株有遗传

关系。系统发育重建 (Phylogenetic reconstruction，一种用来推断演化史的统计学方法) 揭示了菌株突变出现和扩大的时间节点。此外，科学家还建立了细菌蛋白质结构的3D模型，以此明确每种突变如何帮助病菌建立抗药性和适应能力。

他们了解到，该菌株发生过3次重要突变，第一次是在上世纪80年代初，最后一次是在1993年前后。20世纪90年代中期，南非艾滋病流行，出现了大量免疫系统缺陷的人群，这些人群助长了细菌的传播。从相关的GPS数据中，研究人员查看了样本的地理分布。在使用群体遗传学和地理空间建模后，确定了遗传变化是如何从一个地方传播到另一个地方的。他们发现，该菌株起源于距离图格拉弗里很远的地方，并沿着当地繁忙的旅

心理学

## 机器人应该隐藏身份吗

撰文 马修·赫特森 (Matthew Hutson) 翻译 鲁智元

人工智能产品越来越擅长伪装成真人，因此人们频繁陷入困境，搞不清楚自己是在与真人还是与机器交谈。例如，AI生成的语音可以提供电话订餐服务，聊天机器人会在线回答消费者的问题。但是，使用这些产品的过程却算不上高效。一项最新的研究显示，人机交互中的透明度和合作程度会呈现出此消彼长的现象。

这项研究采用了一种简单但微妙的游戏：参与者两两配对，同时做出一系列决定，他们可以选择合作或背



叛搭档。长远来讲，保持合作对双方都更有利，但是人们总有一种为了在短期内获得更多积分而背叛搭档的冲动。有研究显示，人们更倾向于不信任机器人。但是，在实验中使用基于人工智能算法的“搭档”时，它会做出比人类更合理的决策，以此促进与人类的合作。科学家想知道，如果机器人在游戏中暴露自己的真实身份，结果会怎么样。

该团队预设，当人们知道与自己

交手的对象是机器人后，能够接受机器人表现出的合作能力，最终克服自己对机器人的不信任感。随后，科学家开始实验，让机器人与超过150个人进行了50轮游戏。纽约大学阿布扎比分校的计算机科学家塔拉勒·拉赫万 (Talal Rahwan) 表示：“很遗憾，我们没有达到这个目标。无论机器人怎么做，人们只会固守偏见。”拉赫万是这篇论文的主要作者，他还表示，当机器人以公开身份参与这项游戏时，更难促成合作，即使机器人的策略明显对双方都更有利。相关论文发表在2019年11月的《自然·机器智能》杂志上。

在另外一项实验中，受试者提前被告知，“数据显示，如果人们把机器人当真人对待，结果会更好”。但是，提前告知并没改变游戏的最终结果。





潜水甲虫

游线路迁移。“所有这些因素加在一起，导致了当初的流行病大暴发，”马泰马说。

耐药性是日益严重的世界性问题。马泰马表示，如果能实时对病人身上采集的样本做全基因组测序，再结合多管齐下的分析方法，或许可以在突变引发紧急公共卫生事件前，发现它们。有很多地方（伦敦、纽约等）的公共卫生机构已经在小范围内进行全基因组测序工作了，但是由于资金、专业知识和能力等问题，这种方法还无法快速普及。

哈佛大学医学院生物医学信息学的研究员、肺科和重症监护医师马哈·法哈特（Maha Farhat，并未参与这项研究）表示：“行业内的很多人都认为事情应该朝着这个方向发展，但是这还需要公共卫生机构的资助。”

弗吉尼亚·迪格努姆（Virginia Dignum，并未参与这项研究）是瑞典于默奥大学人工智能社会和伦理研究组的负责人，她表示，这项研究探索了透明度和有效性之间的关系，但她还想看到更多不同于这篇论文实验场景的测试。

撰写这篇论文的科学家还表示，在公共领域中，如果想要掩饰机器人的身份，应当征询人们的同意，而且还不能在每次互动时才去征求同意，否则机器人就无法“充当真人”。不过，为了偶尔让机器人“充当真人”，就向人们索要全面许可，即使得到了许可，也会引起道德上的争议。迪格努姆表示，人们应当有权在与机器人互动后了解真相，但她也补充说，如果只是因为一个简单的问题给客服打电话，那她“只想得到问题的答案”。

生物学

## 潜水甲虫： 神秘的脊椎动物掠食者

撰文 桑德里娜·瑟斯特蒙（Sandrine Ceurstemont） 翻译 赵欢

在澳大利亚纽卡斯尔一个新的自然保护区里，丹麦奥胡斯大学的生态学家约塞·瓦尔迪兹（Jose Valdez）和团队释放了10 000只蝌蚪。为了避免那些饥肠辘辘的蛇、鸟和哺乳动物猎食这些蝌蚪，他们还用一个铁丝网将这个地区包围了起来。然而，他们只想到要防范体型较大的捕猎者，却忽视了潜水甲虫（俗称龙虱、水龟子）这类娇小的捕食者。

通常情况下，捕食者的体型比它们的猎物大，就像捕食昆虫的两栖动物。虽然已经有研究报告了捕食者比猎物体型小的案例（比如螳螂吃蜥蜴），但科学家还是认为这种现象比较罕见。然而瓦尔迪兹怀疑，科学家低估了昆虫的捕食行为。他提到：“研究表明，昆虫的捕食行为可能会产生很大的影响，特别是对于数量较少的濒危物种。”

在夜间的监视器上，瓦尔迪兹看到池塘中大约有12只成年甲虫围着一只蝌蚪，迅速将它大卸八块。他表示：“真让人震惊，这些甲虫竟能杀死一只比它们大得多的蝌蚪，手段如此凶残，速度如此之快！”

研究人员还注意到，某些潜水甲虫会把卵产在青蛙的卵囊中。甲虫似乎是看准了时机，待蝌蚪刚出生，幼虫就能吃掉这些蝌蚪。据报道，甲虫幼虫每小时会杀死3只蝌蚪，它们常常只吃到一半，就会立马去捕食附近的另一只蝌蚪。“以前这些行为都没有记录在案，”瓦尔迪兹说。在2019年12月的《昆虫学科学》（*Entomological Science*）和2019年8月的《澳大利亚动物学杂志》（*Australian Journal of Zoology*）上，他们详细介绍了相关研究。

由于昆虫很小，它们的捕食行为很容易被忽略，况且，昆虫通常是在夜间或者水下等难以观察的环境中发起攻击的。但这样的攻击正逐步浮出水面。最近的研究显示，螳螂经常吃小鸟；日本稻田里的巨型水螭会吃海龟、青蛙和蛇等脊椎动物。

一般情况下，科学家很难意识到昆虫的捕食行为对两栖动物数量的影响。国际自然保护联盟估计，至少有40%的两栖动物面临灭绝威胁。澳大利亚詹姆斯库克大学生态学家埃里克·诺德伯格（Eric Nordberg）提到，在保护两栖动物时，研究人员通常只关注栖息地丧失、物种入侵等环境因素。然而，还没有充分研究无脊椎动物对两栖动物的捕食现象。

接下来，瓦尔迪兹计划量化潜水甲虫捕食各种两栖动物的情况，分析昆虫肠道的内容物，用相机捕捉其更多的捕食行为。他表示：“我们终于开始认识到这些昆虫在塑造脊椎动物群落中的作用了。”



医学

## 没有副作用的止痛药

撰文 斯特凡妮·萨瑟兰 (Stephani Sutherland) 翻译 赵欢

阿片类药物可通过激活细胞上的特定受体蛋白，有效缓解疼痛。但是这些药物也会引起严重的副作用，比如足以致命的呼吸抑制问题。一项新的研究或许会为下一代阿片类药物提供灵感，让它在减缓疼痛的同时降低副作用的危险。

澳大利亚的科学家发现了一种特殊的多肽链，在某些方面它与阿片类药物有相似的地方。不过这种多肽链居然来自青霉菌，多少有点让人难以置信。一般情况下，能激活阿片受体蛋白，改变疼痛程度的多肽链，只会出现在脊椎动物的神经系统里，其他地方很难发现。麦克唐纳·克里斯蒂 (Macdonald Christie) 是悉尼大学的神经药学家，也是这项研究的主要作者。他提到，这种多肽链是在塔斯马尼亚岛上一个原始河口里发现的。在2019年10月的《美国科学院院报》(PNAS) 上，克里斯蒂详细报道了相

关研究。

阿片受体所在的家族控制了无数的脑功能，这些受体能利用G蛋白分子在相关细胞内发送信号。克里斯蒂表示，一直以来研究人员都认为，药物与阿片受体相互作用时只会激发或阻断G蛋白信号的传导。但是随着研究的深入，科学家发现阿片受体也可以与许多其他蛋白相互作用，影响细胞内的多种信号通路。

美国斯克里普斯研究所 (Scripps Research Institute) 的神经科学家劳拉·博恩 (Laura Bohn, 并未参与这项研究) 表示：“在研发大部分相关药物时，都是以打开或关闭G蛋白的通路为基础。这项研究却另辟蹊径，在改变G蛋白的功能以外，寻找到了新的方式。我们可以试图寻找和连通那些能满足我们需求的通路——现在我们的需求是减缓疼痛。当然，还要注意剂量，我们可不想看到新的药物成

瘾问题。”博恩在这个领域深耕多年，他的研究将吗啡（普通阿片类）的镇痛作用与激活G蛋白联系起来，并将吗啡呼吸抑制的现象与β抑制素联系起来。

克里斯蒂提到，大多数阿片类药物都能同时激活G蛋白信号和β抑制素。但研究人员发现，基于真菌肽创造的复合物——比洛芬 (bilorphan) ——则只会激活G蛋白。他补充说，“这是一个很重要的发现，因为制药公司一直都在努力开发一种不会激活β抑制素的阿片类化合物。”不过，博恩和克里斯蒂都认为，要找到没有副作用的药物，仅仅避免激活β抑制素信号还不够，这其中存在细微的差别。

研究人员在小鼠身上测试了比洛芬。但只有直接注射到脊髓后，小鼠的疼痛问题才会被减弱。这表明，比洛芬暂时无法穿过血脑屏障。未来，科学家需要设计一种以比洛芬为基础的化合物，它既可以进入大脑，又可以保留自身独特的性质。当然，最理想的情况是既能缓解疼痛，又不会出现抑制呼吸的作用。

## 简讯

## 全球科技热点

撰文 萨拉·卢因·弗雷泽 (Sarah Lewin Frasier)  
翻译 祝锦杰

## 美国

在加利福尼亚州近海地区，科学家利用能附着在皮肤上的吸盘式装置，首次测量了一条蓝鲸的心率。蓝鲸的心脏每分钟搏动2~37下，在潜水、捕食或贴近海面游戈等不同场景中，心率变化非常大。

## 巴西

卡廷加地区 (Caatinga region) 经历了相当久的干旱期。科学家在当地发现了一种名为 *Hymenaea cangaceira* 的树，它可以在干旱中让花朵分泌丰富的花蜜，以此吸引蝙蝠传粉。在一个完整旱季中，这样的树能分泌900升含有38种不同香味的花蜜。

## 秘鲁

纳斯卡线 (Nazca lines) 是一种在数千年前刻到秘鲁土地上的巨大线条，描绘了人类、动物和象征性符号。通过分析卫星和图像数据，研究人员发现了143条新的纳斯卡线。这项成果是由IBM的沃森人工智能系统识别发现的，其中包含一幅大约5米长的类人猿画像。

## 挪威

利用探地雷达，考古学家在一座现代化的农场之下发现了一条维京时代的古船。船身由一条废弃的沟渠包围，应该是古墓的陪葬品之一。

## 约旦

研究人员在古老的伊斯兰遗迹里发现了一尊长着两只角的雕像，这可能是迄今为止发现的最早的棋子。这件文物大约属于1300年前，与伊朗象棋中的“车”非常类似，而后者出现的时间大约比前者晚400年。

## 埃塞俄比亚

虽然在地球上许多非常严苛的环境中，微生物都能如鱼得水，但是科学家却没有在埃塞俄比亚宽干谷火山 (Dallol volcano) 附近的高温酸性水池中发现任何形式的生命。研究生命适应性的极限，有助于我们缩小在其他行星上搜寻类地生命的范围。

## 生物保护

## 遏制物种大灭绝

撰文 贾森·G·古德曼 (Jason G. Goldman)  
翻译 张哲

无论是科学家、环保组织还是政府，都想尽力遏制生物灭绝的大趋势。他们往往把精力放在国家公园、野生生物保护区等地。但是，目前有100万种生物面临灭绝风险，我们绝不能仅仅依靠这一种策略，特别是当气候变化使野生生物的处境变得更艰难的时候。

想要减缓物种大灭绝的速度，我们需要采用更有创造性的方法，让人类能与野生动植物和平共存。最近，一项新的研究调查了多个国家的原住

民自治区，发现了一些很有趣的现象。

“我们发现，从生物多样性的角度来看，原住民自治区至少能和保护区媲美”，加拿大卡尔顿大学的生物学家理查德·舒斯特 (Richard Schuster) 说。尽管原住民会在这里狩猎或搜寻食物，但在某些方面，原住民自治区表现得比自然公园或保护区还好。

舒斯特的团队分析了澳大利亚、巴西和加拿大的1.5万个区域。他们发现，在原住民自治或共治的区域中，鸟类、哺乳动物、两栖动物和爬行动物的物种多样性最好。而那些随机选择的、没有任何正式保护措施的地区，表现最差。对于濒危物种的整体丰富度而言，巴西和加拿大原住民自治区的得分比保护区还高。类似的情况包括很多案例，比如澳大利亚的濒危两

栖动物和爬行动物，巴西的哺乳动物，加拿大的鸟类和爬行动物。相关研究发表在2019年11月的《环境科学与政策》杂志上。

虽然这些国家的地理、气候和殖民史都不尽相同，但是最能反映物种多样性的替代指标，竟然是这个地区是否为原住民管理。舒斯特表示，“这相当令人惊奇”。他认为，这类地方的居民更有可能以可持续的方式狩猎、捕鱼和采食，并且会有计划地烧荒。美国加利福尼亚州立大学奇科分校的生态学家唐·汉金斯 (Don Hankins，未参与此研究) 也赞同舒斯特的看法。汉金斯本身就是普莱斯米沃克族 (Plains Miwok) 的原住民。汉金斯还说：“和国家公园相比，原住民自治区的人们和土地的联系更紧密，在使用土地时也会为其他生物考虑。”



寒鸦群

动物学

## 寒鸦如何有序飞行

撰文 哈里尼·巴拉特 (Harini Barath) 翻译 林清

一项新的研究发现，寒鸦会在两套群集行为间切换。

不论数量多少，飞往冬季栖息地的鸟群始终都能保持井然有序；而那些为了躲避捕食者聚在一起的寒鸦，当群体成员很少时会处于无组织状态，直到加入的成员达到一定规模，队伍就会突然变得有序。

漂浮的细菌，行进的蝗虫，鱼群和鸟群，这些都属于内聚单元 (cohesive unit)。英国埃克塞特大学研究认知演化的亚历克斯·桑顿 (Alex Thornton) 认为，当遵循相同规则的个体 (individual agent) 聚在一起时，就会出现这种现象。

他说：“我们已经习惯把动物有

序的集体行为看作是一种固定的物理现象，然而，当环境和目标发生变化时，动物却表现出它们可以根据环境改变规则的现象。这种想法非常新奇，也很令人兴奋。”相关研究发表在2019年11月的《自然·通讯》(Nature Communications) 上。

在英格兰康沃尔，研究人员使用4部同步高速摄像机，拍摄了成群结队的野生寒鸦，记录了它们的位置变化和运动轨迹。

在记录的16群寒鸦中，有6群是“过境鸦群”。在冬天时，这些寒鸦会在夜晚返回栖息地。无论群体中的成员数是多少，每只寒鸦都会根据相邻成员的情况调整自己的飞行轨迹，保

持有有序飞行。

为了改变那些混乱聚集在一起的群体，研究人员在寒鸦群的前方设置了一个机关。这个机关包含一只狐狸标本和一只能动的假鸟，被狐狸捉住的假鸟正拍着翅膀，发出警报。通常鸟儿会使用这类警报召集盟友，共同对抗捕食者。

此时，寒鸦会更换导航方式，追踪处于一定距离以内的伙伴。桑顿说：“有了这种规则，混乱中就出现了秩序。小型寒鸦群是无组织的，当寒鸦群的密度达到一定阈值，就突然出现了秩序，像气体变成液体一样。”他补充说，以前从未在鸟类身上观察到这些转变。

印度国家生物科学中心 (India's National Center for Biological Sciences) 研究生命系统自组织的沙希·索图帕利 (Shashi Thutupalli, 并未参与这项研究) 表示：“这项研究非常新奇，通过一种巧妙的方法，研究人员比较了同一物种处于不同环境时的行为。”索图帕利还想知道，鸟群中主动施加影响的成员是否会引导这些调整，以及其他物种中是否也存在类似的行为转变。

斯坦福大学的物理学家尼古拉斯·奥莱特 (Nicholas Ouellette) 表示：“我们的研究表明，在试图模拟生物系统中的集体行为时，外部环境不容忽视”。

奥莱特是这项研究的合作者，他认为，工程师或许可以根据这项研究，设计出能基于环境依赖反应 (context-dependent response) 的无人机集群。这种集群可以在执行消防、测量和搜救等任务时协同工作。奥莱特说：“你可以据此设计出更加灵活的系统，因为这个集群可以通过改变规则增强鲁棒性。”

生理学

# 蓝光有益保持生物节律

撰文 杨心舟

近年来，各类电子设备快速迭代，带有LED光源的电子设备也越来越受追捧。在睡前刷手机、打游戏或者看电子书，成了许多人排解白天焦虑的方式。然而在休闲的同时，这些屏幕所发出的蓝光也会不断被大脑接收和感知，并对身体的节律和生物钟造成影响。在一些文章的抨击下，许多人都将蓝光列入了黑名单。

但是，蓝光本质上只是自然光中的一部分，每天感受太阳的照射时，我们很自然会接收许多蓝光。自然光中的红光波长更长，携带能量更少；而蓝光波长更短，携带能量更多。因此眼睛长时间接触蓝光会接收更多的能量，更容易产生视疲劳。

蓝光除了让眼睛不舒服，也可能也会影响睡眠健康。2014年，一项发表于《美国科学院院刊》的研究就以电子书为例，分析了蓝光对睡眠的影响。该研究指出，在过去几十年间，人均睡眠时长和睡眠质量都在不断下降，造成了许多公共健康问题。与此同时，在研究附带的调查中，90%的人都表示每周总会有几天在睡前玩手机超过1个小时。但是，如果你认为蓝光有害而无益，那就错了。

在白天时，蓝光对人体非常有益，它能增强我们的注意力、反应力并且提升情绪。同时，蓝光对于自然的睡眠规律也有很重要的影响。因为在没有电力的时代，人类依靠光线来调控身体节律和生物钟。白天的光线让人保持清醒，而夜幕的光线变化让人意识到睡眠时间到了。

有研究显示，夜晚时接收大量

蓝光会对睡眠造成不良的影响。这项研究的统计发现，睡前2小时接受高剂量蓝光暴露的人，睡眠时期的脑电活动会产生异常，尤其是在第一个睡眠周期中（非快速动眼期的慢波会减少）。与此同时，作者还发现，持续接受蓝光信号的人，夜间褪黑素的量会显著下降，并且睡眠起始时间也会明显推迟。因此，他认为蓝光对睡眠节律的影响可能来自褪黑素。

尽管上述研究的结果显示蓝光会极大地影响睡眠节律，但近期发表在《当代生物学》上的研究却提出了一个全新的解释。研究人员认为，蓝光的影响其实没有想象中那么大，甚至晚上接收一点蓝光还对睡眠有帮助。

这项研究的主要作者蒂莫西·布朗（Timothy Brown）表示，黄昏的时候光线会变得黯淡，但与此同时光线却更蓝，大脑会感知这些光线特征的变化，并决定要保持清醒还是休息。这意味着，蓝光在夜晚仍然有价值。布朗认为，之前的研究可能在改变光颜色的同时改变了光照强度，才造成了影响睡眠的结果。

之所以想到这一点，是因为布朗

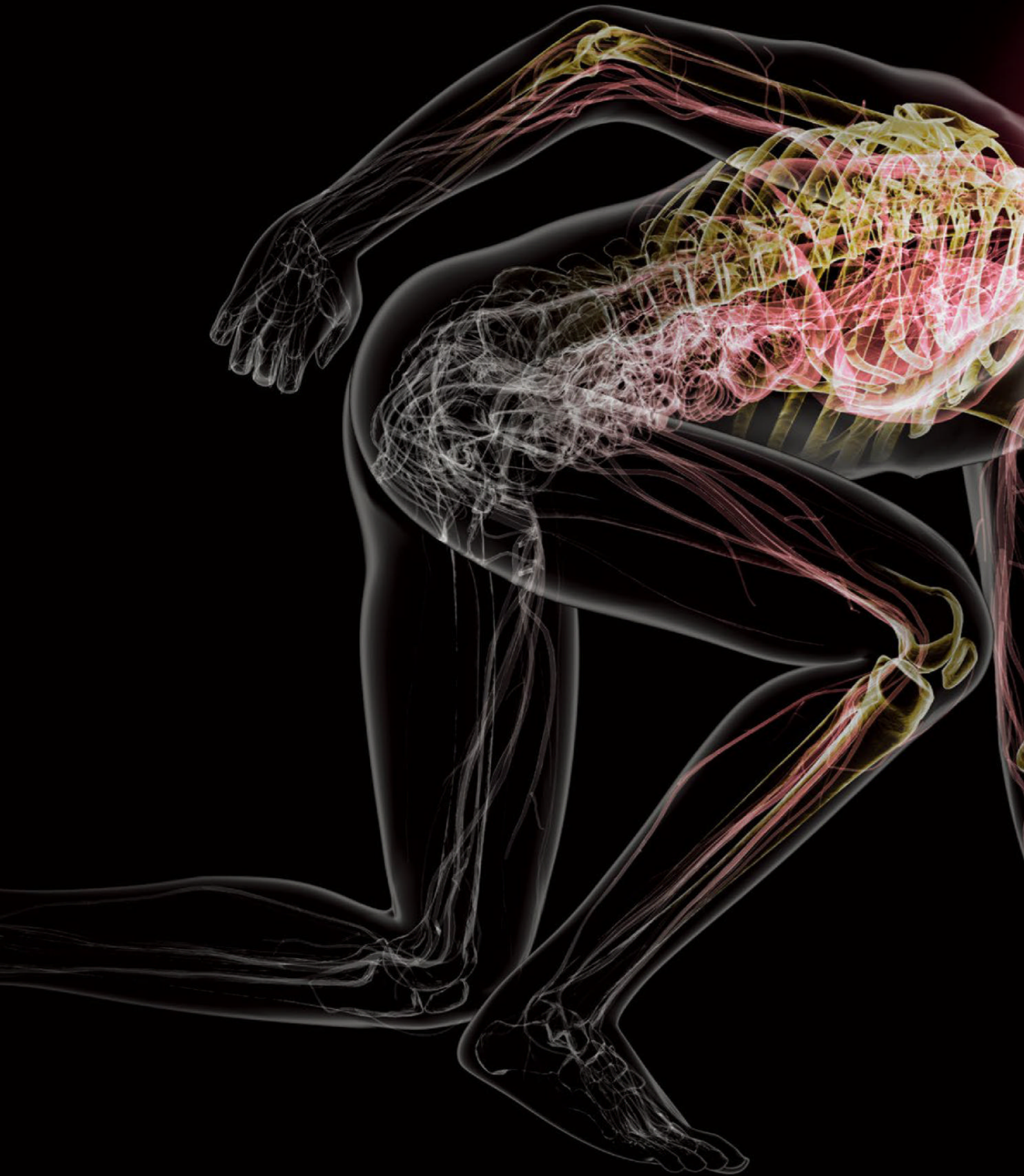
发现，由于大家普遍认为蓝光会影响健康，于是许多设备都提供了限制蓝光的功能。通常，设备会改变屏幕颜色，尤其是改成护眼的黄光。但是，这种改变使光线强度也发生了变化，可能会向大脑提供混乱的光线信息。

为了验证这种猜想，研究设计了一种能够在不改变光强情况下改变光线颜色的装置，并将小鼠置于了这种装置中。结果在同等光照强度下，接收蓝光照射的小鼠比接受黄光照射的小鼠生物钟要更加稳定，而且有更健康的睡眠节律和警觉性。

在发现该机制后，研究还挖掘了这一现象的原因。此时，一种被称作黑视蛋白的分子受到了布朗的关注。这是一种能够感受光线强度的蛋白，对光强非常敏感，而生物钟就是依托于这一蛋白来维持正常运行的。黑视蛋白有一个特征，对短波长的光检测能力更强，因此短波长的蓝光能对生物钟运作有更好的作用，而不是之前认为的黄光。而这些受到蓝光照射的小鼠，则在黑视蛋白的影响下，获得了更好的生物节律。

曼彻斯特大学的负责视觉研究的教授蒂姆·布朗（Tim Brown）表示，“以往我们都认为蓝光会对睡眠和生物钟造成更严重的影响，但实际上我们可能被误导了。在同等亮度时，蓝光比黄光的影响要小得多。”







# WHY YOUR BRAIN NEEDS EXERCISE

## 运动延缓衰老

人类在演化过程中的某些关键性转变，可以让我们通过运动延缓大脑的衰老。

撰文 戴维·A·赖希伦 (David A. Raichlen) 吉恩·E·亚历山大 (Gene E. Alexander)  
翻译 祝锦杰

**20** 世纪90年代，研究人员曾公布了一系列新发现，神经科学的基础理论几近因此被颠覆。此前，科学家一直相信大脑一旦发育成熟就会失去产生新神经元的能力。按照这种观点，人类在成年后只会不断失去神经元，而不会再生。可是，越来越多的证据显示，成年人的大脑仍然能够生成新的神经元。其中有一项小鼠实验尤其引人注目。科学家在实验中发现，只是让小鼠在轮子上跑步，就可以促进海马体（大脑中一处与记忆相关的结构）中的神经元再生。

这项研究发表后，许多研究人员纷纷跟进，他们证实运动不仅能促进神经元的生成，对人类大脑也有积极影响。这种正面影响在人类正常的衰老过程中表现得非常明显，因此，运动或许可以降低阿尔茨海默病和其他神经退行性疾病的患病风险。也因此，相关研究引出了一个非常关键的问题：为什么运动会对大脑产生影响？

体力活动有助于提高多种人体器官的机能，不过这里的“机能”往往与运动能力有关。举个例子，当你散步或者跑步的时候，肌肉的需氧量会增加。长期如此，你的心血管系统就会发生适应性改变：心脏的容量增大，新血管的形成速率增加。心血管系统发生改变的主要原因是为了应对锻炼给身体带来的负荷，增强身体的耐受力。那么，究竟是什么样的挑战，可以激发大脑产生适应性改变？

要回答这个问题，我们需要重新思考“运动”。人们通常会把散步或者跑步当成是一种不需要大脑参与的活动，认为那是身体“自动运行”的状态。可是，许多科学家（也包括我们）的研究表明，这种认识是错误的。相反，运动不仅是一种体力活动，同时也是一种认知活动。

事实上，体力活动与大脑健康之间的渊源可以追溯到数百万年前，这两者在人类作为一种物种诞生之初，就纠缠在一起了。如果我们能更明确地知道运动为什么可以影响大脑，以及如何影响，也许就可以利用与此相关的生理学机制，制定出全新的运动方案，帮助老年人提高认知能力——这就是我们正在推进的工作。

## 神经元再生

要弄清运动为什么对大脑有益，我们首先需要思考一些问题：哪些大脑结构和认知活动与运动的联系最紧密。20世纪90年代，弗雷德·盖奇（Fred Gage）和亨丽特·范布拉格（Henriette Van Praag）正好执掌索尔克生物研究所（Salk Institute for Biological Studies）。当他们提出跑步能促进小鼠海马体的神经元再生时，很多研究人员认为这种现象似乎与一种被称为“脑源性神经营养因子”（brain-derived neurotrophic factor, BDNF）的蛋白质有关。BDNF的合成发生在全身的各个部位，包括大脑，这种分子的作用是帮助新生神经元存活，促进它们的生长。

戴维·A·赖希伦是一名生物学教授，也是南加利福尼亚大学运动演化生物学实验室的负责人。赖希伦的研究重心是从演化生物学出发，解答与运动有关的生物力学和生理学问题。



吉恩·E·亚历山大是一名心理学和精神病学教授，也是亚利桑那大学大脑成像、行为和衰老实验室的负责人。亚历山大主要研究大脑的衰老过程，研究对象包括健康人以及那些受到神经退行性疾病折磨的患者。



索尔克生物研究所的团队以及来自其他研究所的研究团队又做了进一步的实验。他们证实，在啮齿动物中，运动会促进神经元再生，而这些动物在记忆测试中也表现得更好。这项研究结果非常引人注目，因为海马体的萎缩与记忆力的衰退密切相关，在健康成年人的正常衰老过程中，这种现象一直在发生。而对于阿尔茨海默病等神经退行性疾病的患者而言，这种变化则更加明显。在这项动物实验中，研究人员首次窥见了运动是如何对抗衰老的。

在紧随其后的实验中，研究人员开展了一系列针对人体的研究。结果与啮齿动物研究的结论类似，有氧运动能够促进人体BDNF的分泌，强化大脑关键区域内的关键结构（指尺寸大小和连接程度这两方面），其中就包括海马体。美国伊利诺伊大学香槟分校的柯克·埃里克森（Kirk Erickson）和亚瑟·克雷默（Arthur Kramer）主导过一项随机临床试验。他们的结果显示：坚持有氧运动12个月，就可以提高老年人体内BDNF的水平，增大海马体的体积，改善记忆力。

在其他研究人员的多项观察性研究中，也发现了运动和海马体之间的各种联系。比如，我们自己的团队就在2019年的《大脑成像与行为》（*Brain Imaging and Behavior*）杂志上发表过一项研究，其中涉及超过7000名英国中老年人。调查显示，在适量或激烈的体力活动上花费时间越多的个体，海马体的体积越大。虽然目前我们还不能断定这种体积上的差异究竟是由神经元再生导致的，还是其他形式的大脑重塑现象（比如加强已有神经元之间的连接）导致的，但总体而言，运动对大脑海马体以

### 精彩速览

如今，已有相当充分的证据显示，运动会对大脑产生积极的影响，尤其是对那些正在面临正常衰老过程的人们而言。

但是，科学家还没有完全弄清，为什么运动会对

大脑产生有利影响，以及具体的生理机制又是什么？

回溯在人类演化史上的关键事件，或许可以找到一定的线索。直立行走带来的认知挑战，刚好在“运动”和“大脑健康”之间建立起了重要的联系。

相比于那些不怎么需要认知参与的运动，对认知能力要求越高的运动，越有益于大脑健康。



及认知功能的益处显而易见。

有氧运动对大脑其他部位的益处也已经被研究人员发现，比如可以扩大前额叶皮质，进而提升执行力。认知功能中的一部分恰好是由前额叶皮质实现的，包括计划、决策和多重任务处理等。执行力与记忆力类似，都会随人体的自然衰老而逐渐衰退，而阿尔茨海默病患者表现出的问题更严重。科学家怀疑，在前额叶皮质和其他非海马体的大脑区域内，运动或许可以通过增加已有神经元之间的连接（而不是促进新神经元生成）的方式，促进相关区域的表现。

### 直立行走的连锁反应

越来越多的证据显示，有氧运动可以促进大脑健康，尤其是对老年人而言。接下来，研究人员需要弄清，体力活动具体是以什么方式影响认知功能，从而触发大脑的适应性改变。

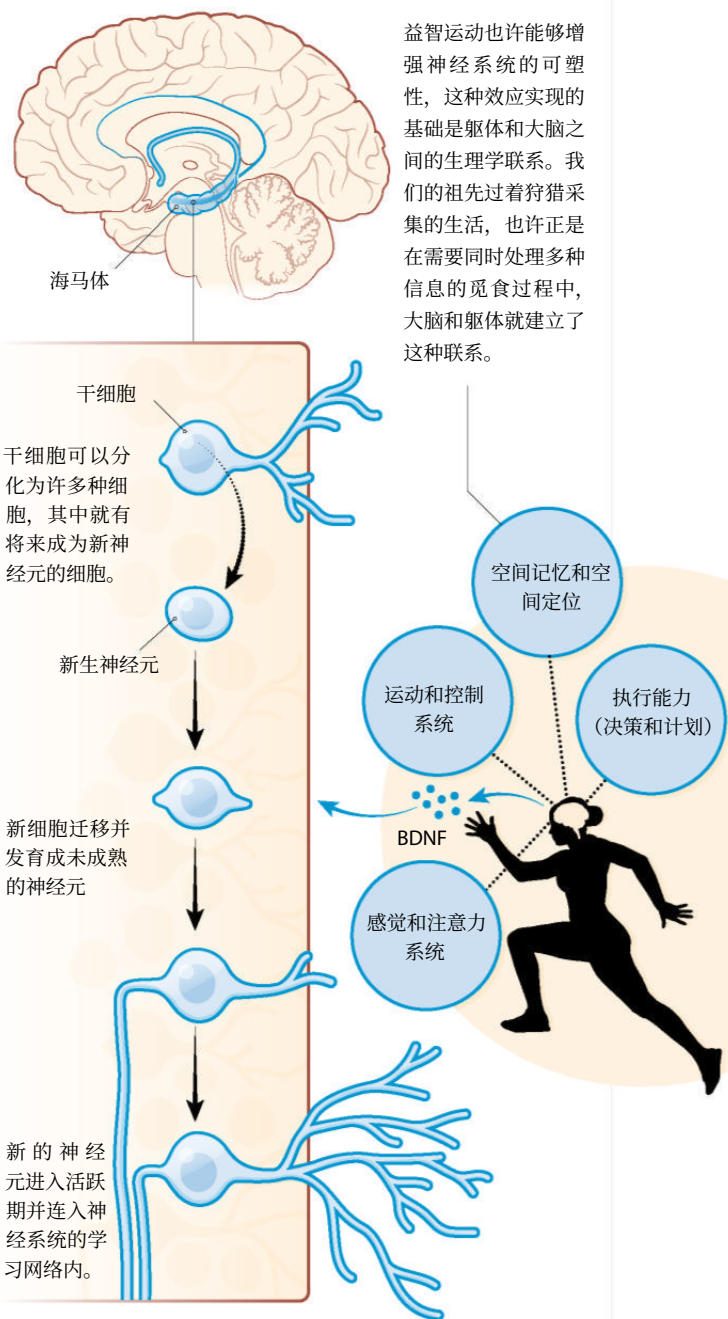
大约在 600 万到 700 万年前，我们与现今亲缘关系最近的物种（黑猩猩和倭黑猩猩等）走上了不同的道路，分化出了古人类（Hominins，包括现代人类的祖先以及与我们关系亲密但是已经灭绝的人种）。在分道扬镳的节点上，古人类演化出了许多解剖学和行为学上的适应性特征，这些适应性的改变使我们有别于其他灵长类动物。我们认为，有两种演化上的改变促成了运动和大脑功能之间的联系，直到今天，这些改变也对我们很有好处。

首先，我们的祖先行走的姿势发生了改变，从原来的四肢着地变成了上身正直，依靠两条后肢行走。两足行走意味着在很多情况下，我们的身体无法像其他类人猿一样手脚并用，有时还不得不凭借一条腿维持平衡。为了实现这一点，我们的大脑必须能够处理随之而来的大量信息：在身体运动的过程中，控制全身所有肌肉，做出恰当的动作以维持平衡。此外，在协调双足运动的同时，我们还要留意周遭环境里的障碍物。换句话说，单纯因为双足行走的姿势，我们的大脑就要接受比四足行走的祖先更繁杂的认知挑战。

其次，为了适应更高强度的有氧活动，古人类改变了自己的生活方式。化石证据显示，在人类演化的早期阶段，我们的祖先可能是一种主要食用植物，居住地点相对固定的两足类人猿。但是，大约在 200 万年前，不断变冷的气候让曾经适宜的栖息地不再宜居。此时，至少有一支人类祖先改变了觅食的方式，开启了一段四处狩猎采集的新生活。作为一种生存策略，狩猎采集几乎主导了人类

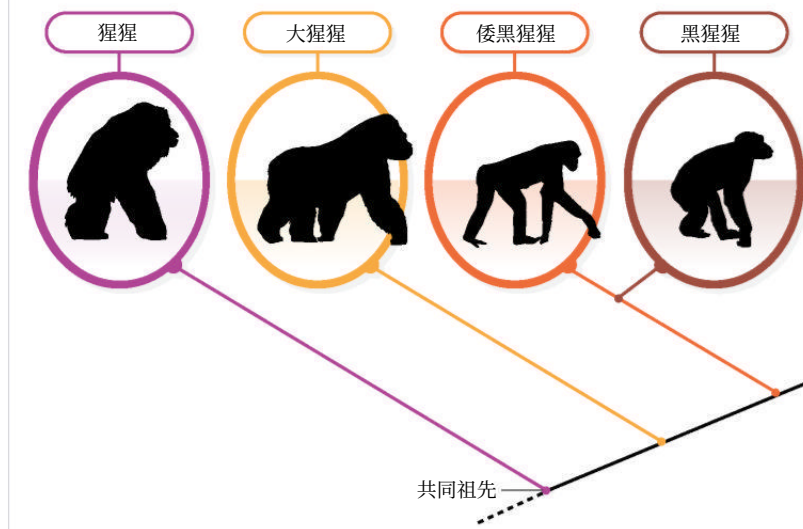
## 衰老大脑中的新生神经元

运动可以使成年人的大脑产生有益的变化，包括促进新神经元的生成以及增加已有神经元之间的连接。有一种理论认为，运动之所以能够提高神经系统的可塑性，是因为运动能够促进一种名为“脑源性神经营养因子”（BDNF）的蛋白质的分泌，这种蛋白质可以促进神经元生长，帮助神经元存活。目前的研究显示，在运动中额外加入认知训练能够增强这种效应。



## 两个关键变化

人类在演化上与黑猩猩和倭黑猩猩分道扬镳，已经是 600 万到 700 万年前的事情。在这段时间里，人类演化出了一系列独特的特征。益智运动对大脑的好处可能源于人类演化过程中的两个变化：直立行走和狩猎采集的生活方式。这两点使得我们比类人猿运动得更多，也让我们在应对随之而来的挑战时，把处理多任务的能力发挥到了极致。



### 两足运动

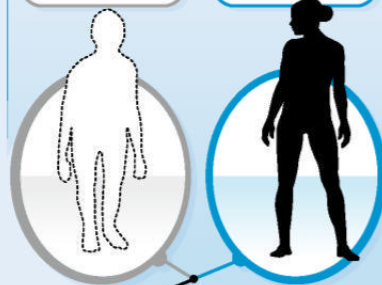
大约在 600 万到 700 万年前，人类的祖先抛弃了四肢着地的运动方式，转而依靠两条后肢，上身直立，开始像今天的我们一样跨步行走。从四肢到双腿行走的转变提高了平衡身体的难度，这给大脑的机能提出了更高的要求。

### 狩猎和采集

大约 200 万年前，我们的祖先采取了一种新的觅食方式，即狩猎动物和采集植物性食物。这种生活方式让我们的有氧运动量远远大于其他以植物为食的类人猿。不仅如此，在行动过程中，我们的大脑还要同时解决方方面面的难题。

直立人

智人



将近 200 万年的生活方式，直到大约一万年前的农耕和畜牧的出现，才逐渐宣告终结。赫尔曼·蓬策尔 (Herman Pontzer) 就职于杜克大学，布莱恩·伍德 (Brian Wood) 就职于加利福尼亚大学洛杉矶分校，这两位科学家和我们一起提出了一种假说：由于搜寻食物时需要跨越很长的路程，狩猎采集的生活方式需要让我们的祖先完成大量有氧活动，活动量可能比其他类人猿多得多。

经常性制定觅食路线和计划的生活方式，对大脑提出了越来越高的挑战。在远行前，我们的祖先必须调查周围的环境，明确自己所处的位置。这种在空间导航的能力恰好依赖海马体——那个能够从运动中获益，随着年龄增大又会萎缩的大脑结构。

除此以外，他们还需要动用来自视觉和听觉系统的感官信息，不断寻找与食物相关的线索。他们必须记住自己去过哪里、捕食或者采摘某种食物的恰当时机……在这种情况下，大脑会同时利用来自短期和长期记忆的信息，并在海马体、前额叶皮质以及其他结构的协助下，让人们得以完成诸如决策和规划路线等认知活动。祖先们还需要成

群结队地出动，此时，他们的大脑不仅需要维持身体平衡，保证空间导航，还需要处理同伴之间的对话。所有多任务的处理都涉及前额叶皮质，而这部分大脑结构也会随着年龄的增长而萎缩。

虽然导航和寻找食物是所有动物在觅食时都需要面对的问题，但是对于人类祖先来说，他们往往需要快速奔跑，去追捕猎物。而且在追捕过程中，移动距离也很远，他们可能会奔跑 20 千米以上。在高速奔跑的情况下，多重任务处理变得越来越困难，因此对信息处理效率的要求也就更高。从演化的角度来说，能够应对觅食途中和事后无数难题的大脑，是可以成功寻获食物的保证。但是，塑造和维护这样一颗大脑所需的生理资源——比如那些帮助神经元存活，促进神经元再生的物质——需要消耗身体大量的能量，这也意味着，如果不是经常使用这套认知系统，大脑的优势就将逐步退化。

2017 年，我们在《神经科学趋势》(Trends in Neurosciences) 杂志上发表了一篇论文，详细论述了以演化神经生物学视角看待运动和大脑的理论，这种联系对

今天的人类有深远的影响。在现代社会，我们不需要为了寻找食物和生存进行大量的有氧活动。与衰老相伴的大脑萎缩以及认知功能衰退，一定程度上可能与我们惯于久坐和缺乏运动的生活方式有关。

但是，单纯增加运动量并不能完全展现运动在延缓大脑机能衰退方面的作用。事实上，我们的理论认为，哪怕是已经保持大量有氧运动的人，也应该反思他们的运动方式。人类的确演化出了促进和维持大脑认知水平的机制，但是我们日常生活中的运动也许并不能完全激发这种潜能，因此无法维持大脑的优异表现。

回忆一下我们一般是如何进行有氧运动的。我们会去健身房，使用那里的固定器械。但是，在这种锻炼方式中，认知难度最高的事件，可能是决定在器械内置的屏幕上观看什么视频。不仅如此，健身房的器械还降低了维持平衡和调整速度的难度，而这两点（以及许多其他方面），都是在严酷的环境中觅食时必须克服的。

我们的祖先生活在一个很难预测周围危险的环境中，我们是不是也需要改变一下运动方式和内容呢？比如加入一些涉及认知能力的运动。这样一来，就可以让大脑面临更大的认知挑战，从而可以增强运动延缓认知衰退的效果，甚至可能改变神经退行性疾病（比如阿尔茨海默病）的发病进程。

## 运动+认知训练

事实上，越来越多的研究认为，相对于单纯的运动，伴有认知挑战的运动可以更好地维护大脑的功能。比如，在德国德累斯顿再生医疗中心（Center for Regenerative Therapies Dresden），格尔德·肯伯曼（Gerd Kempermann）和同事就通过比较海马体新生神经元的生长和存活状况证实了这一点。

他们将小鼠分为两组。一组小鼠只是运动，另一组则在运动后还会进入一个对认知能力有很多挑战的环境。他们随后发现，虽然运动本身对海马体的神经元有积极的影响，但是体力活动配合认知刺激的效果更好，促进了更多神经元的生成。这说明，在运动过程中或结束后使用大脑，更有利于神经元的存活。

除了我们以外，还有很多科学家也在拓展这方面的研究，并把关注重点从动物转到人类自身，相关研究成果非常令人振奋。比如，有研究人员就在尝试，让认知能力明显衰退的人同时接受运动和认知训练。纽约联合大学的凯·安德森-汉利（Cay Anderson-Hanley）在有轻度认

知缺陷（一种与阿尔茨海默病高度相关的症状）的受试者身上，测试了“运动+认知干预”手段的效果。要让结论更加可靠，我们当然还需要更多这样的试验，但就目前的结果来看，对于已经出现一定认知功能衰退的人，既做运动，也玩一些益智类的视频游戏，对缓解认知功能衰退有一定好处。

安德森-汉利和同事在一项针对健康成年人的研究里指出，与单纯的运动相比，既做运动，也玩一些益智类的视频游戏，能让外周血液中的BDNF水平更高。这项研究还证实了，运动之所以能改善大脑情况，就是BDNF在起作用。

另外，我们最近的研究显示，和那些健康但经常静坐的年轻人相比，经常在户外训练的大学生越野跑选手有些特殊，在他们的大脑中，与执行力相关的区域的神经连接更紧密。随着研究进一步推进，我们或许会在未来弄清楚，与那些在更简单的环境中训练的运动员相比（比如那些主要依靠跑步机的选手），越野跑选手表现出的这种差异是否依然存在。

还有很多信息需要我们进一步研究和发现。虽然现在提出“益智锻炼”的说法还为时过早，但我们至少可以肯定地说，在预防大脑机能随着年龄增长而衰退的行动中，运动扮演着非常重要的角色。美国卫生及公众服务部在发布的指南中建议，每人每周应当至少进行150分钟中等强度的有氧运动，或者至少75分钟的高强度运动（或者按均等比例混搭这两种运动方式）。达到或者超过建议的标准，将有助于身体健康，也可能有益于大脑健康。

接下来，临床试验将告诉我们更多与益智运动相关的信息。比如，什么样的脑力活动和体力活动可以更好地维护大脑健康；什么样的运动强度和多长的运动时间，才可以达到最好的效果。■

### 扩展阅读

**Exercise, APOE Genotype, and the Evolution of the Human Lifespan.** David A. Raichlen and Gene E. Alexander in *Trends in Neurosciences*, Vol. 37, No. 5, pages 247–255; May 2014.

**Adaptive Capacity: An Evolutionary Neuroscience Model Linking Exercise, Cognition, and Brain Health.** David A. Raichlen and Gene E. Alexander in *Trends in Neurosciences*, Vol. 40, No. 7, pages 408–421; July 2017.

**Differential Associations of Engagement in Physical Activity and Estimated Cardiorespiratory Fitness with Brain Volume in Middle-Aged to Older Adults.** David A. Raichlen et al. in *Brain Imaging and Behavior*. Published online June 17, 2019. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11682-019-00148-x>

**Evolved to Exercise.** Herman Pontzer; January 2019.

**Even if the Milky Way is teeming with spacefaring aliens, we should not be surprised that Earth remains unvisited.**

## **外星人尚未到来？**

到目前为止，人类尚未在地球上找到外星人留下的痕迹，但在一些科学家看来，这并不代表外星人不存在——就算外星人遍布银河系，我们也不必为地球至今未被造访过而感到惊讶。

撰文 凯莱布·沙夫 (Caleb Scharf) 翻译 谢懿





凯莱布·沙夫是哥伦比亚天体生物学中心的主任，著有《哥白尼情结》(The Copernicus Complex, 2014) 和《放大宇宙》(The Zoomable Universe, 2017) 等图书。他为《科学美国人》撰写“无界生命”博客，还创作了许多其他出版物。

# 1790

年1月15日，英国皇家海军“邦蒂”号的9名叛变船员、来自塔希提岛的18个成年人及1名婴儿登上了皮特凯恩群岛 (Pitcairn Islands)。这里地处南太平洋，离这座群岛最近的岛屿也在数百千米之外，堪称与世隔绝。

在14世纪，还有玻利尼西亚人在皮特凯恩群岛居住，但此后的几百年里，这个地方一直了无人烟，直至“邦蒂”号船员上岛。岛上的原住民可能存在了几个世纪，但由于自然资源枯竭，加上和其他岛屿的冲突导致贸易和补给被切断，皮特凯恩群岛上的居民逐渐消失了。这个至少看上去曾经宜居的地方最终变得没有人烟，直到1790年，“邦蒂”号船员抵达那里。此后，尽管皮特凯恩群岛有人看到过远处有船只经过，但直到18年后，才有另一艘船在这里靠岸。

皮特凯恩群岛的故事只是南太平洋上人口迁徙的一个极端案例。在波利尼西亚、密克罗尼西亚和美拉尼西亚，南太平洋数百万平方千米的海域中散布着数万座岛屿。其中许多只不过是岩石和珊瑚构成的凸起，即便是宜居的地方也并非总是有人居住。不过总体而言，对于在汪洋大海中穿行的人来说，它们是一大片潜在的文明定居地。

## “哈特的事实A”

地球上的环境与我们的宇宙环境有着惊人的相似之处。在银河系中，可能存在着约3000亿颗恒星。根据美国航空航天局开普勒望远镜对太阳系外行星的搜索，科学家估计，在银河系的星海，超过100亿颗小型岩质行星有着宜居的表面环境。就像地球上的岛屿，这些行星会产

生并维系生物系统，可以为任何想进行星际移民的物种提供落脚点。这正是最有趣的地方。

就像西欧人最终所意识到的，沿着几座岛屿，仅靠划小船，人类就能穿越数千千米宽的海域。同样，生命在银河系中的扩散不需要长久的驻留地，也无需相当长的时间（这里是指宇宙尺度上的时间）。

一个广为人知的故事是，美国物理学家恩里科·费米 (Enrico Fermi) 在1950年和一群年轻科学家吃午餐时，首先意识到了这一点。如故事所传说的，他问了在座的科学家一个问题：“你们就没有想过其他人都在哪儿？”这里的“其他人”指的是具有星际旅行能力的物种。费米的话多少有点被误解，所以随着时间的流逝，这个问题演变成了费米悖论：除非高技术文明濒临灭绝，否则目前他们应该散布于银河系的每个角落，但我们却从未发现他们的踪迹。费米以擅长在脑海中进行估算著称，他通过估算发现，不消百万年的时间（在宇宙尺度上，一百万年时间只能算是一瞬间），生命就会遍布在银河系各处。

1975年，美国天体物理学家迈克尔·哈特 (Michael Hart) 第一个对这个问题进行了真正的定量研究，提出了现在被称为“哈特的事实A” (Hart's fact A) 的观点：目前，地球上没有外星人。对于大多数头脑清醒的人来说，这是一个毋庸置疑的事实。

### 精彩速览

根据基本的推断，如果银河系中存在其他能实现星际旅行的文明，它们会以惊人的速度扩散至整个银河系。

然而，为什么我们还没有发现外星人造访地球的

任何确切证据？对这一谜题有诸多猜测，包括我们是唯一的生命、星际旅行不可能、外星人躲着我们，其实都基于不太合理的假设。

对地球目前这种情况最可能的解释是，星际移民

会一波一波地出现，而地球是一颗偏僻的行星，眼下又正好处于星际探索的低谷期。

正是基于这个事实，哈特得出结论，不管是过去还是现在，银河系都不存在其他的技术文明。就如费米最初的看法，这一结论的关键点在于，即便使用速度远小于光速的中等推进系统，穿越直径 10 万光年的银河系也仅需要相对较短的时间。

美国物理学家弗兰克·蒂普勒（Frank Tipler）也研究了这个问题。和哈特一样，他在 1980 年指出，在不到 100 万年的时间里，有意移民的外星人会遍布银河系。考虑到太阳系的年龄约为 45 亿年，银河系的年龄则至少有 100 亿年，外星生命有极其充足的时间来涉足银河系所有宜居的星球。

但关键在于，这些研究所探讨的生命扩散过程多少有些不同。哈特假设某个生物物种“亲自”去移民，而蒂普勒考虑的则是一群可自我复制的星际探测器不受控制的扩散：在大多数的移民过程中，恒星系统及其行星是宜居的；如果它们还不具备这样的条件，则可以充当发射去往新行星系统的基地。对于蒂普勒的可自我复制的机器人来说，扩散的主要限制因素是制造下一代机器人所需的能源和原材料。

### 更简单的解释

所以你看，关于外星生命，不同科学家的想法存在根本的差别，正是这种差别，凸显了探讨星际移民的巨大挑战。任何类似的研究中总是有大量重要的假设。一些是合理且易于证明的，但其他的则难以捉摸得多。例如，所有的理论都涉及对星际旅行所用技术的猜测。此外，当一个物种亲自远征而非派出机器人时，最根本的假设是生命能在任何形式的星际旅行中存活下来。

我们知道，哪怕以 10% 的光速飞行，都需要一些非常疯狂的技术，例如氢弹推进或者由激光驱动的光帆。此外，还需要防护星际气体原子对船体的侵蚀以及星际岩石对飞船的破坏。在以相对较高的速度飞行时，每一块石头的撞击都犹如一颗炸弹。以较低的速度行进时会更安全得多，但从一颗恒星去往另一颗恒星会耗时几百年甚至上千年，目前还不清楚在这一远超个体寿命的时间跨度上，如何能让船员健康地存活下来。

然而，争议最多的假设则事关星际移民的动机以及对文明寿命的假定。例如，如果某个外星物种对去往其他恒星根本就不感兴趣，银河系移民的整个想法就会不成立。这是美国天文学家卡尔·萨根（Carl Sagan）和威廉·纽曼（William Newman）在 1983 年所提出的一个论点，

以此来反驳地外文明研究中的唯我论方法。但如我的同事、天文学家贾森·赖特（Jason Wright）所指出的，这类观点本身就是一个“单一文化的谬论”。换句话说，这需要整个种族的行为完全一致，犹如仅有一个统一的思想。我们人类显然不符合这一条。即便银河系中大多数具有星际旅行能力的文明无意于星际移民，它们也不应该都反对把生命和技术扩散到数千亿个恒星系统中去。

事实上，科学家对费米悖论中的假定有过很多讨论，也提出过各种各样的答案。但这些答案鲜有可检验的。尽管有些想法相当直接，但其他的想法严格意义上说都属于科幻。例如，即便是对于一个高技术物种来说，获得高速星际飞行能力的成本也会非常高昂。在这一前提下，星际探索者的数量肯定不会太多，这也能解释“哈特的事实 A”。或者，如许多科学家所提出的，物种数量的增长并不会成为一个物种向外扩张的主要动力，尤其是那些能抑制贪婪的冲动，并能在自身的行星系统中可持续发展的物种。除了科学探索之外，最终的绿色革命也会消除这类物种去往外星的动力。

还有一些听上去更为不妙的观点，例如“大过滤器”的概念。这种观点认为，总是存在某种东西会制约某个物种，也许绿色革命不可避免地会失败，导致所有潜在技术文明内爆式灭绝。或者，从超新星爆发到银河系中心黑洞的爆发，自然灾害也许会定期地遏制银河系中的生命，使之无法扩散。

更加骇人的观点还有“动物园假说”。这个假说认为，外星人故意隔绝了人类。还有一些在我看来比较偏执的想法：虽然存在着其他文明，但由于对外星生物的恐惧，它们躲藏了起来，拒绝与其他物种通讯。

也许，有更加简单的方式来解释我们为什么还没有发现地外文明。答案也许就在我们的眼皮底下——这与南太平洋诸岛上，人类的生存随时间变化的情况有一定的相似性。不管是在地球上，还是在其他星球上，从稀有的宜居点前往另一个落脚点所需要的时间，都是由一些基本且普遍的因素决定的。

### 无法排除的可能

时间来到 2015 年。一天，我和美国罗切斯特大学的亚当·弗兰克（Adam Frank）在哥伦比亚大学校园附近共进午餐。如同费米在 65 年前的午餐一样，我们谈的是具有星际飞行能力的物种的本性。受到费米即兴心算的鼓舞，我们试图提出一种研究策略，尽可能不使用无事实根

## 如果银河系有外星人

为什么我们至今没有在银河系发现其他宇宙文明? 到目前位置, 最合理的猜测是, 其他文明是存在的, 只是和我们离得比较远。这种情况是可能存在的——如果星际旅行或移民是周期性的, 或者说一波一波地进行的话, 考虑到星际航行的速度以及每个文明可能存续的时间长度, 我们模拟了银河系内的星际移民的过程, 结果发现, 一些长期存在文明的行星系统是成群出现的。当然, 也有一些宜居的系统是分散、孤立存在的, 我们的世界可能就存在于某一个孤立的系统中。

这是计算机模型的一张快照

这个模型描述了 10 000 个宜居系统在 1000 万年里的星际探索情况, 模型的宽度为 464 光年 (不宜居的系统数量是宜居系统的 22 倍, 但这里没有显示不宜居的系统)。在这个尺度下, 恒星的运动就像是空气里的粒子一样, 相互之间的位置变化会让星际旅行变得更容易, 也可能会变得更难。在这个虚拟的宇宙空间中, 有一些文明发射的探测器以每秒 3000 千米的速度飞行, 这个速度是探测器周围的恒星的平均运行速度的 100 倍。同时, 这些恒星的分布密度也和我们所在的银河系区域类似。

● 每一个点都代表一个已经有文明定居或者宜居的行星系统当前所在的位置。

模拟结果显示, 共有 6948 个假想的行星系统曾有探测器造访, 但其中只有 403 个行星系统存在活跃的文明活动。还有 3052 个宜居系统始终没有探测器造访。这产生了 11 个星际“群岛”, 每个“群岛”都由至少 10 个有文明定居的系统组成, 每个系统都被标注了不同的颜色, 代表它们最初的来源。



其他占据了少量行星系统的文明, 这里用灰色圆点表示。●

颜色暗淡的点表示这里已经没有活跃的文明了。当前处于活跃状态的文明的周围, 会有一个半透明的圆环, 半径为 10 光年, 这个半径代表了任何一个文明可能的影响范围。

过去 100 万年 没有活跃的文明	定居在这里的文明 已于 50 万年前消失	目前还处于活跃状态的文明
----------------------	-------------------------	--------------



在我们的模拟中, 星际移民的目标只会针对 10 光年内的宜居星球, 目前不宜居的, 或者已经有其他文明看上的目标都不会在考虑范围内。行星系统之间的线条显示了成功的星际旅行和移民的方向: 这些线条并不代表实际的移民路线, 因为行星系统的相对位置是处于变化中的, 这里显示的是最终的模拟结果。

早前的  
移民方向

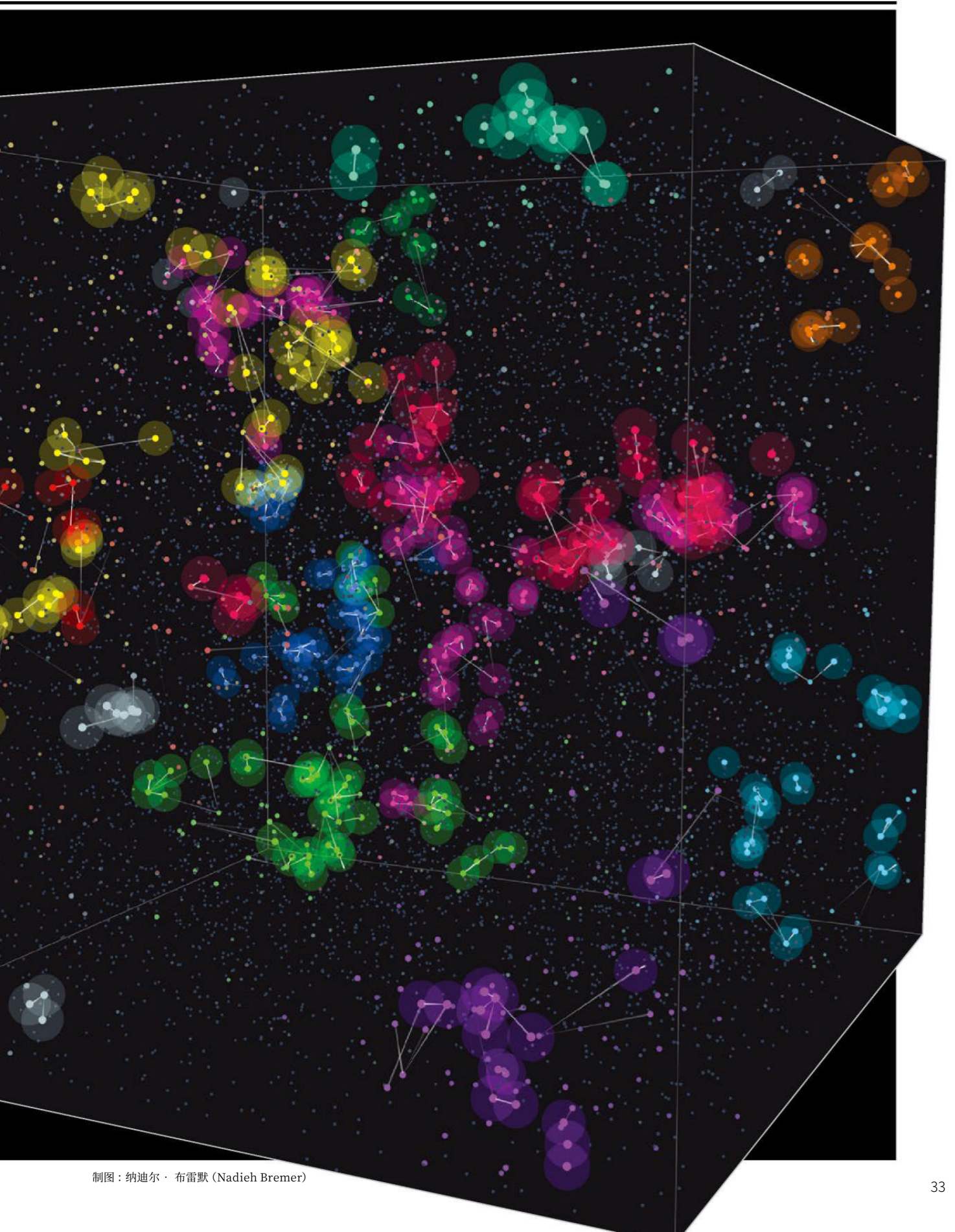
最近的  
移民方向



### 地球在哪儿?

这个模型是对银河系部分区域的近似模拟。太阳系可能位于其中任何尚未被殖民的区域内。在各个文明的迁移轨迹, 以及行星系统周围的恒星的映衬下, 有些区域显得空荡荡的, 而这些区域里的宜居行星, 可能暂时处于其他文明可及的范围之外。





制图：纳迪尔·布雷默 (Nadieh Bremer)



在银河系的星海里，超过 100 亿颗小型岩质行星有着宜居的表面环境。因此，按照本文作者的观点，如果人类文明的存续时间足够长的话，也许能等到外星文明造访的那一天。

据的假设，而是可以利用真实数据来检验或限定相关的假设。这个策略的核心是一个简单的想法，就像皮特凯恩群岛上短暂存在的居住者一样，星际探索或移民的浪潮也许在银河系中也是时起时落，而人类碰巧处于一个这样的低谷期。

这个想法可以解释“哈特的事实 A”，即没有证据能支持今天的地球上存在外星人。但是，如果我们可以弄清楚地球未曾有过外星人造访的确切时间跨度，那么是否可以给银河系是否存在外星人加上一个有意义的限制条件？也许很久很久以前外星人曾经来过地球，然后又走了。多年来，许多科学家都在讨论寻找外星人造访太阳系之后留下人造物的可能性。

但是，搜寻范围要多大才行？这很难说，但在地球上进行搜索，肯定是可行的。2018 年，我的另一个同事、美国航空航天局戈达德空间研究所的加文·施密特（Gavin Schmidt）以及亚当·弗兰克一起进行了一个重要的评估：我们能否确定，在现代人类之前，地球上曾存在过一个更早的工业文明。

这是一个很有意思的问题。和大多数行星科学家一样，施密特和弗兰克认为，时间其实很容易就能抹掉技术文明在地球上留下的所有痕迹。100 多万年后，唯一能留下的证据只会剩下同位素或地层化学中的异常，例如合成分子、塑料或者放射性沉降物等奇怪特征。化石遗迹和其他的古生物学印记需要特殊的形成条件，因此会十分罕见，无法告诉我们任何东西。

的确，现代人类的都市仅覆盖了地球表面约 1%，只为遥远未来的古生物学家提供了非常小的目标区域。施密特和弗兰克还得出结论，迄今没有人真正彻底地在地球上

寻找过非自然的迹象。那么，如果几百万年前存在一个规模和现代人类文明相当的工业文明的话，我们也许无从知晓。但这绝对不意味着曾经真的存在过工业文明，而仅仅表明，这一可能性无法被严格地排除。

### “银河群岛”

过去几年，在美国罗切斯特大学的乔纳森·卡罗尔-内伦班克（Jonathan Carroll-Nellenback）和宾夕法尼亚州立大学的贾森·赖特（Jason Wright）开展的一项研究中，我们研究了这些观点在更大的星系尺度上的意义。我们取得了一个关键进展：通过一系列计算机模拟，辅以传统的手工计算，我们建立起了一幅更加真实的图像，可以反映出物种会如何在星系中扩散。

如果拍摄一张太阳周围几百光年内恒星的图片，你就会发现它们的运动就像气体中的粒子。相对于空间中某个固定的点，某颗恒星会沿着随机的方向、以较快或较慢的速度运动。进一步放大到数千光年的尺度，你就会注意到宏观且整体的运动——恒星会以 2.3 亿年左右的周期绕银河系中心转动。越靠近银河系中心的恒星，周期越短。有一些高速运动的晕族星会钻进或钻出银盘面，它们是包围着银盘的球形恒星晕的成员。

这意味着，对于寻找合适恒星的文明来说，距离最近的恒星会随着时间的流逝发生显著的改变。我们的太阳系就是一个很好的例子。目前距离我们最近的恒星是 4.24 光年之外的比邻星，但约 1 万年后，它的距离会缩短到 3.5 光年，大大缩短了星际旅行的时间。如果能等上 3.7 万年的话，距离我们最近的恒星会变成一颗小型的红矮星罗斯 248，到地球的距离也只有 3 光年多一点。

为了对不断变化的“星图”建模，我们在模拟中构建了三维的“恒星盒子”，恒星在里面的运动轨迹类似于它们在银河系局部的真实运动。我们可以把其中一颗恒星看作某个文明当前所在的位置，然后开始模拟星际移民。这样的文明寿命是有限的，因此它也可能从一个恒星系统中消失。在具备向最近的恒星发射探测器或移民之前，一个文明也会存在等待期。所有这些因素都可以改变、调整，这样我们就可以研究它们对结果有什么影响。在大量的可能性之下，星际移民呈现出了一种自我扩散的形式，看起来有点乱糟糟。而这种形式的扩散速度是验证费米悖论的一些可能解释的关键。

我们的发现既简单又微妙。首先，银河系中类似中性气体的恒星运动意味着，即便是以每秒约 30 千米的速度运动，最慢的星际探测器也能在远小于 10 亿年的时间里，带着“移民先锋”贯穿银河系。这样的速度差不多是目前“旅行者”1 号朝太阳系外运动速度（每秒 17 千米）的两倍。如果考虑银河系自转或晕族恒星的其他运动，所需时间会进一步缩短。换句话说，就像费米所认为的，让银河系中充满生命并非难事。不过，到底该如何让银河系中充满生命却取决于宜居行星的数量，以及一个文明能在某颗行星上存在的时间跨度。

在极端情况下，通过削减可用行星的数量并把文明的寿命控制在 10 万年左右，可以很容易地让银河系变得毫无人烟。在另一个极端情况下，也可以很容易地调整参数，使得银河系中充满了星际移民者。事实上，如果宜居行星足够多，文明所能持续的平均时长其实无关紧要。如果它们能始终掌握星际旅行的技术，他们中就会有足够的人继续探索，最终足迹遍布银河系。

但在这两种极端情况之间，存在着最吸引人、可能也更真实的情况。当银河系中宜居行星出现的概率处于某个中间值时，有意思的事情就会发生。特别是，银河系某些区域中，宜居行星的数量可能会比较多，那么星际探访者就会一波又一波地不断造访这里，或反复向这里移民。这就像是一座群岛。而在这些行星系统周围，通常是广袤且无人的太空，其他行星不是太远，就是散布得过稀而无法移民。

“银河群岛”这种说法能解释地球的处境吗？也许真的可以。例如，如果典型的行星文明能延续 100 万年，并且如果仅有 3% 的恒星是真正宜居的，那么地球这样的行星大约会有 10% 的概率至少在过去的 100 万年内未被造访过。换句话说，我们很有可能处于银河系中一个相对孤

立的区域里。

反过来，这个理论也暗示，银河系中的其他地方可能存在星际物种，对它们来说，星际造访者可能司空见惯。这一情况并不是极端的假说，只需相当寻常的行星数量和银河系常见的恒星运动方式，这种情况就可能发生。虽然它还依赖于星际旅行可行性的假设以及某个物种真的进行星际旅行的概率，但其他这些因素都是可以调整的参数。随着对太阳系外行星认识的不断增加，诸如宜居行星的数量这样的一些因素已经为天文学家所知。其他一些因素，例如文明的寿命，则有待仔细的研究，因为我们也需要同对地球的可持续发展问题。

对我们而言，发现“星际群岛”或者正在扩散的“移民先锋”的可能性是存在的。不要把对地外文明的搜寻对准已知的单颗太阳系外行星，而是对准那些恒星分布有利于星际扩散或形成“群岛”的区域，这或许会是一种有趣的新策略。直到最近，我们对银河系中恒星的三维分布的认识依然有限，但欧洲空间局的盖亚卫星正在勘测 10 亿颗天体及其运动，由此也许可以找到我刚刚提到的那类探测热点。

然而，费米悖论或许根本就不存在。我和同事们的研究显示，对于一颗类似地球的宜居行星来说，没有证据表明曾有外星物种造访或移民其实是非常正常的现象。对于银河系，无论是根本不存在高技术文明，还是充满了星际探险家，都是很正常的。就像太平洋中的皮特凯恩群岛在 300 年里一直处于无人的状态，地球目前的情况或许也是这样。如同波利尼西亚人在岛上仅存在了几百年一样，真正的问题是，我们的文明能否会延续到星际移民潮到来的那一天。■

本文译者 谢懿在南京大学获得天文学博士学位，目前是南京大学天文与空间科学学院教授、江苏省天文学会理事，主要研究领域为相对论基本天文学。

#### 扩展阅读

**Interstellar Migration and the Human Experience.** Edited by Ben R. Finney and Eric M. Jones. University of California Press, 1985.

**The Great Silence: Science and Philosophy of Fermi's Paradox.** Milan M. Ćirković. Oxford University Press, 2018.

**The Fermi Paradox and the Aurora Effect: Exo-civilization Settlement, Expansion, and Steady States.** Jonathan Carroll-Nellenback et al. in *Astronomical Journal*, Vol. 158, No. 3, Article No. 117; September 2019.

**If There Are Aliens Out There, Where Are They?** Mario Livio and Joe Silk; *ScientificAmerican.com*, January 6, 2016.

**Starship Humanity.** Cameron M. Smith; *Scientific American Special Editions*, October 2016.

**Alone in the Milky Way.** John Gribbin; September 2018.

# 黑洞照片之后： EHT 的下一步

那道波长 1.3 毫米的信号，穿过浩渺的宇宙，为我们带来了关于黑洞的信息。学界花了二十多年才终于成功捕获它，看清黑洞的面貌，而这还仅仅是一个开始。

本刊记者 戚译引



## 精彩速览

在过去的十多年中，事件视界望远镜（EHT）合作组织对技术进行改进，将遍布世界各地的8台望远镜连接起来，形成一台地球大小的虚拟望远镜，终于第一次看清了黑洞的模样。

首张黑洞照片的诞生仅仅是一个开始。接下来，EHT计划制作黑洞动态视频，未来还可能借助空间望远镜进行观测。可以说，我们将迎来一个黑洞大发现的时代。

对于人类而言，视觉信息有着强大的力量。当伽利略将望远镜指向天空，地心说的根基便开始动摇；当列文虎克将显微镜对准水滴，微生物的世界首次向人类敞开。如今，事件视界望远镜（EHT）合作组织刚刚拍下黑洞的第一张照片，我们仍不知道前方有怎样的惊喜在等待。

尽管此前的天文观测已经拍到过黑洞周围的物质，计算机模拟图像也预测了黑洞可能的模样，直接观测黑洞仍然具备非凡的意义。“要想检验一个理论，你就得到这些极端的宇宙实验室去，”EHT发起者和首任主管、哈佛大学资深研究员谢泼德·多尔曼

（Sheperd Doeleman）说。

并且，这一技术的实现还意味着更多激动人心的可能。其他的黑洞是什么样子？我们何时能看到黑洞的动态视频？对黑洞内部进行观测有可能实现吗？多尔曼说：“重大发现能回答一些问题，但最好的总在前面——我们正处在一个黑洞研究新时代的开端。”

## “宇宙级的巧合”

事件视界望远镜团队的成立要从人马座A\*（Sgr A\*）说起。这是一个位于银河系中央，离我们约26 000光年，距离地球最近的超大质量黑洞。根据理论的预测，在观测黑洞时，

图片来源：© S. Otárola - ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

位于智利的阿塔卡马大型毫米波/亚毫米波阵列望远镜（ALMA）由66台天线组成（图中为部分天线）。



我们会看到一个阴影，被明亮的光芒环绕。阴影之内隐藏着黑洞真正的边界，即事件视界（event horizon），包括光线在内的任何物质一旦跨过边界，就无法从黑洞强大的引力场中逃脱。

从事件视界边沿逃逸出来的光线和其他波段的电磁波，就是天文学家研究黑洞的重要线索。在20世纪90年代，科学家已经在3.5毫米（mm）波长对Sgr A\*进行了观测，但是效果并不理想。因此从上世纪90年代末开始，多尔曼和同事希望将观测目标转向波长1.3mm的波，他说这是为了把握“宇宙级的巧合”。他解释，这样的亚毫米波由紧邻黑洞边缘的炽热气体发出，既不容易被这些炽热的气体散射，也不容易被银河系中较冷的气体散射，因而能够一路穿过广袤的宇宙抵达地球，被高海拔地区的望

远镜捕获。

望远镜的分辨率取决于观测波长和望远镜口径的比值。一台望远镜的观测波长越短，图像分辨率就越高。多尔曼团队利用设在夏威夷、亚利桑那州和加利福尼亚州的多台射电望远镜同时对同一目标进行观测，然后将数据汇总处理，这相当于得到了一台超大型望远镜。这是射电天文学中常用的观测手段，称为甚长基线干涉技术（VLBI）。

但是，改变观测波长意味着需要对设备进行重大改进。多尔曼说：“对于1.3mm波长，望远镜上原有的探测器的灵敏度不如3.5mm波长那么理想，因此我们需要开发一套全新的VLBI设备，以使用更快的速度、更大的带宽进行记录。”相关的电子设备和原子钟也需要进行升级。而且，项目中的一些望远镜此前不支持VLBI技术，研究团队需要到观测点安装相应的设备。

这一切努力在当时完全是一场冒险。多尔曼回忆：“在20世纪90年代，利用位于西班牙和法国的望远镜在1.3mm波长得到的测量结果中，阴影的特征非常不清晰，无法生成图像，也无法测量它的大小……当时我们都不清楚EHT项目是否可行。有人怀疑不值得朝这个方向继续努力，但也有人觉得我们应该再次尝试，看看能不能得到更精确的观测结果。”

到2008年，多尔曼团队终于完成了对Sgr A\*阴影的观测，结果完全符合理论预测。“当我第一次看到来自Sgr A\*的信号，我久久地盯着计算机屏幕，不敢相信看到了什么，”多尔曼回忆，“那是一个奇妙的发现时刻，我希望所有的科学家都能体验。”

直到这一刻，科学界才确信：对黑洞拍照完全可行。

## 逼近事件视界

EHT创建时只有大约20名成员，但可行性得到验证之后，项目迅速走上正轨，开始在全球范围内募集资金、组建团队。中国科学院上海天文台台长沈志强、副台长袁峰、课题组长路如森等中国科学家也带领团队参与了EHT项目。沈志强说，早在EHT国际合作形成之前，中国科学家就已开展了多方面具有国际影响力的相关工作，并与国际同行一起推动了这个合作项目的开展。他在写给《环球科学》记者的邮件中写道：“在此次M87\*黑洞成像合作中，来自中国大陆的16位科学家参与其中，我们参与了EHT望远镜观测时间申请，协助位于夏威夷的詹姆斯·克拉克·麦克斯韦望远镜（James Clerk Maxwell Telescope, JCMT）观测，还参与了EHT数据成像重建

和结果理论分析等工作，为捕获人类首张黑洞照片做出了积极的贡献。”

管理这样一个遍布全球的协作网络并非易事。多尔曼笑称：“科学家有点像猫，想做什么就一定会做什么……合作的诀窍就是让大家都往一个方向跑。”他们将继续锁定那道 1.3mm 波长的亚毫米波，而对于同样的观测波长，望远镜口径越大，分辨率就越高。EHT 主要使用了现有的 8 台望远镜，分别位于南极洲、智利（2 台）、墨西哥、美国亚利桑那州、美国夏威夷群岛（2 台）和西班牙。这些望远镜相互连接，构成了一台口径相当于地球大小的望远镜。这是另一个“宇宙级的巧合”，多尔曼说：“地球刚好这么大，这台地球大小的虚拟望远镜所实现的角分辨率，刚好能够解析出 5500 万光年之外的那个黑洞。”

这些望远镜并非专为观测黑洞而设计，因此也需要对它们进行一些改进。一个重要的步骤就是配置原子钟。原子钟依靠原子的跃迁计时，目前最好的原子钟能运行超过 1 亿年而误差小于一秒钟。它能让不同天文台的观测数据在时间上精确同步，从而真正合为一体。

设备准备就绪，观测工作逐步展开。EHT 全球联合观测于 2017 年 3 月到 5 月进行，中国上海的 65 米天马望远镜和新疆南山的 25 米射电望远镜作为东亚 VLBI 网成员，共同参与了密集的长毫米波 VLBI 协同观测，为最终的成像提供了辅助观测数据。直接的观测数据则来自 2017 年 4 月，全球的 8 台大型望远镜对 Sgr A\* 和另一个超大质量黑洞——位于室女座超巨椭圆星系 M87 中央的 M87\* 进行了 5 天观测。

来自世界各地的观测数据，被传送到美国麻省理工学院的海斯塔克天文台（Haystack Observatory）和位于德国的马普射电天文研究所（Max Planck Institute for Radio Astronomy）进行相关处理。尽管此前科学界已经对黑洞进行了间接观测和计算机模拟，但是谁也不知道黑洞究竟会是什么样子。为了尽可能避免误差，这些数据被分配给四个图像处理团队，每个团队独立生成一张照片，最后才将结果放在一起进行对比。他说：“看到多个相互独立的团队都生成了同样的‘光环’照片，这让我们更加确信眼前的景象是真实的。”

2019 年 4 月 10 日，M87\* 的照片终于面世。这张照片和先前的理论预测和图像模拟高度一致。多尔曼表示：“很少有一种理论预测能够得到如此有力的验证，这张照片与我们的预测高度吻合。”由于这项开创性的工作，EHT 合作组织的 347 位成员共同获得了 2020 年科学突破

奖基础物理学奖。首张黑洞照片也被《科学》等多家媒体评为 2019 年最重要的科学发现之一。

## EHT 的下一步

EHT 团队发布的首张黑洞照片属于 M87\*，关于 Sgr A\* 的数据还在处理中。多尔曼还指出：“看到（黑洞的）影像让我们得以在事件视界这个极端环境下检验我们的理论，包括引力理论，以及黑洞如何吞噬周围的物质。”

多尔曼笑称，大自然是仁慈的，让我们能够观测两个如此不同的黑洞。Sgr A\* 的质量远小于 M87\*，因此它吞噬物质的速度和规模都要小得多，进而形成较小的光环。多尔曼指出，黑洞会将一部分吞噬的物质喷射出去，在超大质量黑洞的南北两极形成强大的喷流，足以贯穿整个星系。通过这种方式，黑洞持续影响着星系的演化，因此理解它们如何吞噬物质非常重要。

为了回答这个问题，EHT 团队目前也在绘制 M87\* 周围的磁场分布。多尔曼介绍，目前理论对此有至少两类不同的预测。一类理论认为这里的磁场线是有序的，能够形成更强烈的喷流和更致密的积吸盘，这就是强磁盘模型（magnetically arrested disk model, MAD）；另一类理论认为磁场线是扰动的，会形成更加平缓的喷流，这就是标准正态演化模型（standard and normal evolution model, SANE）。

下一代 EHT（ngEHT）计划也已经于 2019 年 9 月宣布启动。多尔曼希望在 VLBI 阵列中加入约 10 台口径 6 米或 8 米的望远镜，对 1.3mm 到 0.87mm 波段进行同步观测，目标是在 2030 年之前得到第一个黑洞视频。

谈及望远镜的选址，多尔曼说：“我们希望把它们安装在高海拔地区，因为（靠近地表的）水蒸气会吸收一部分来自黑洞的射电信号。我们还希望新加入的望远镜离现有的望远镜远一些，以更好地填补数据空缺。我们还希望当地已经具备一些资源和基础设施，包括供水、供电和交通。”沈志强透露，由于西藏、青海、新疆等省份拥有较好的观测条件，目前中国也在考虑在这些地区建立自己的观测设备。

## “新时代的开端”

“我们正处在一个黑洞大发现新时代的开端，”多尔曼说。EHT 已经和美国激光干涉引力波天文台（LIGO）、欧洲处女座引力波探测器（Virgo）开展合作，对相对论进行更加细致的检验，更全面地揭露宇宙真相。LIGO 和



谢泼德·多尔曼是 EHT 发起者和首任主管。

Virgo 能够探测黑洞合并时发出的引力波信号，这些黑洞的质量只有太阳的几十倍，被认为是大型恒星坍缩的产物；相比之下，EHT 观测的目标质量能达到太阳的数百万甚至数十亿倍。这些差异巨大的黑洞将让科学家能够在更广的范围内检验物理学理论。多尔曼说：“广义相对论的适用范围似乎跨越了十个亿的数量级，我觉得这点非常有趣。”

在更远的未来，黑洞观测还将走进太空。由于 VLBI 网络的等效口径取决于望远镜之间的最大距离，而如今的 EHT 观测网络已经遍及地表，那么要想得到更大的望远镜，就需要将新的望远镜发射到太空。并且由于太空中没有大气层的阻碍，空间望远镜可以对更短的波长进行观测，从而实现更高的分辨率。包括 EHT 在内的许多团队已经开始进行模拟计算，探讨如何实施这一设想。

如果物理学继续往前推进，我们还将来到一个更加陌生的领域，例如黑洞的量子性质。“换言之，黑洞内部发生了什么？信息经过事件视界的时候会发什么？这些都是非常深刻的问题，科学家正在进行这方面的理论研究，”多尔曼说。这条道路或许将通往物理学的圣杯——万有引力和量子力学的统一，那是爱因斯坦和霍金都未能解决的问题。

这类大科学项目的溢出效应也非常值得期待，历史上最有名的案例便是万维网的诞生：蒂姆·伯纳斯-李（Tim Berners-Lee）最初只想让欧洲核子研究中心（CERN）的

各个实验室之间能够更高效地交流信息，最终却改变了世界。如今，随着各领域数据量和计算机算力的高速发展，普通的互联网已经难以满足一些大科学项目的需求，伯纳斯-李的故事可能还将再次上演。制作首张黑洞照片所需的观测数据非常多，如果使用网络传输，要花费数年时间才能传输完毕，因此 EHT 团队选择通过快递的方式，将装满数据的硬盘从世界各地寄到处理中心。将来随着观测波段的扩展和望远镜数量的增加，需要处理的数据还会越来越多。多尔曼说：“未来我们可能会使用高速互联网，或者卫星激光链路，把数据即时传送到一个中央处理设施。”他们也在考虑使用现有的商用云存储服务，在云端组装成一台巨大的虚拟超级计算机，从而更高效地分析和处理数据。

多尔曼说，在这样的项目中，年轻科学家的参与和跨越国界的合作都非常重要。EHT 团队中没有自上而下的传统组织架构，而是让年轻科学家担任重要工作。多尔曼说：“许多重要的想法和辛勤的工作，都来自于年轻的科学家。我感到他们确实给这个项目注入了大量的能量。我想，正是因为放手让他们大胆去做，我们才能有今天的成功。”

在下一代 EHT 合作项目中，中国科学家会扮演怎样的角色？沈志强表示：“中国的科学家也希望更积极地、更深入地参与到下一代 EHT 的全球合作中。尤其是通过在中国西部地区布局 EHT 望远镜，中国科学家或许会为黑洞视频的制作做出重要贡献。”

为了实现这样宏大的目标，或许还需要跨越时间。多尔曼说，研究黑洞让他感觉打破了时间的壁垒。先驱们写下的方程在今天的天文学家笔下仍然鲜活，在某种意义上，这些伟人正与我们并肩前行。他说：“我常常说，当史瓦西和爱因斯坦在身后督促着你，你可不想犯错。”

#### 扩展阅读

**First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation**, The Event Horizon Telescope Collaboration in *The Astrophysical Journal Letters*, 875:L2 (28pp), 2019 April 10

**Event-horizon-scale structure in the supermassive black hole candidate at the Galactic Centre, Sheperd S. Doeleman et al** in *Nature*, volume 455, pages78–80(2008)

**Metrics and Motivations for Earth-Space VLBI: Time-resolving Sgr A\* with the Event Horizon Telescope**, Palumbo, Daniel C. M. et al in *The Astrophysical Journal*, Volume 881, Issue 1, article id. 62, 13 pp. (2019).

**Simulations of imaging the event horizon of Sagittarius A\* from space**. Freek Roelofs et al. in *Astronomy & Astrophysics*, Volume 625, May 2019

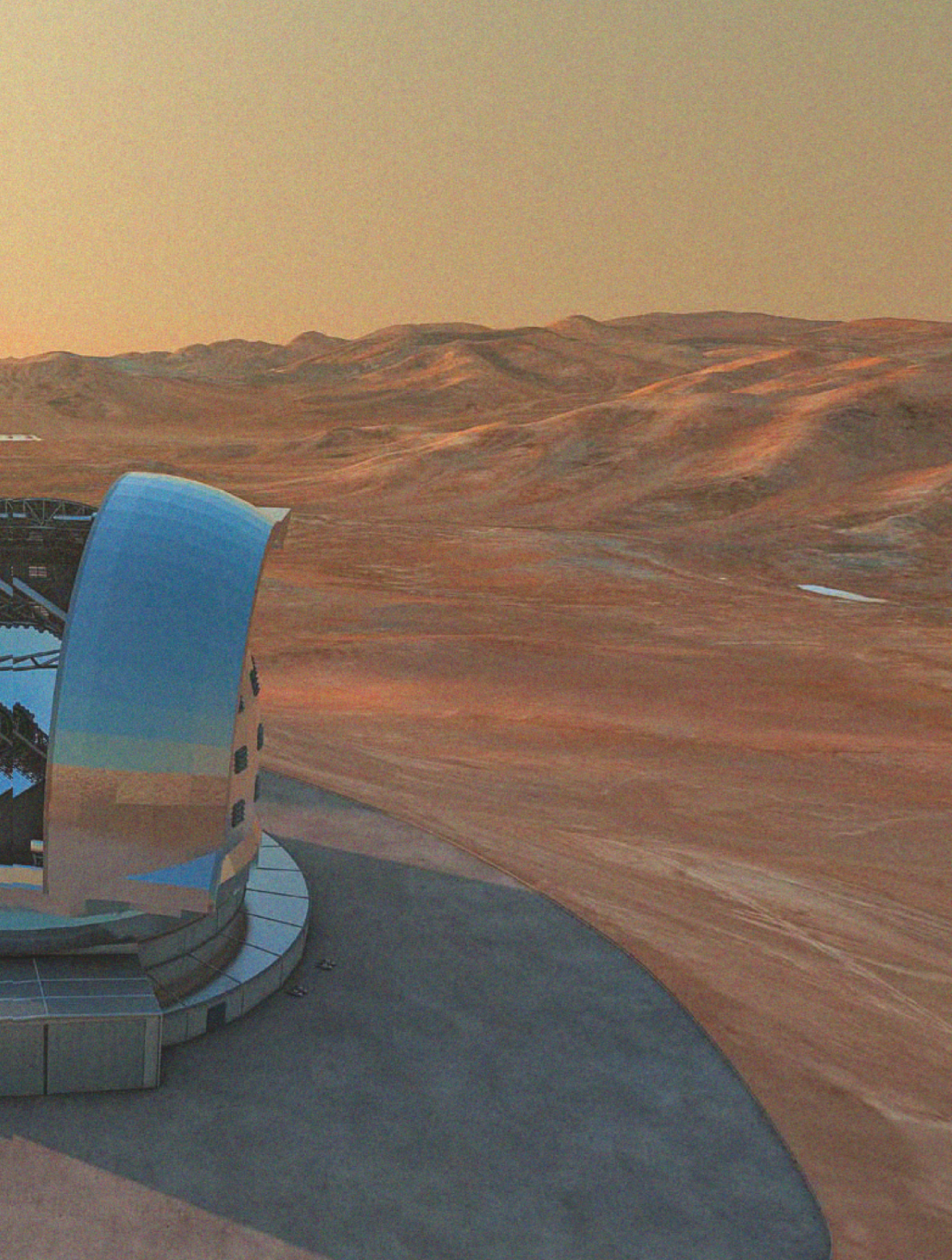
# 极大望远镜： 望向宇宙的地球之眼

仰望星空带来的突破性认知，让我们冲破枷锁，走进了科学时代。而我们越深入观察星空，就需要越精密的仪器。当地球上主镜面积最大的 E-ELT 问世时，我们或许又会迎来一个全新的时代。《科学美国人》西班牙版报道了南方天文台的最新进展。

撰文 哈维尔·巴尔科斯 (Xavier Barcons) 胡安·卡洛斯·冈萨雷斯·埃雷拉 (Juan Carlos González Herrera)  
奥古斯丁·桑切斯·拉韦加 (Agustín Sánchez Lavega) 翻译 王杰茜

夜幕降临：这是一幅用电脑成像技术创作的意境图，展示了在夕阳的余晖中熠熠发光的极大望远镜 (E-ELT)。





哈维尔·巴尔科斯是欧洲南方天文台  
总负责人。



胡安·卡洛斯·冈萨雷斯·埃雷拉是极大  
望远镜建筑工程的系统程序总工程师。



奥古斯丁·桑切斯·拉韦加是西班牙巴  
斯克大学应用物理学教授，极大望远镜  
科学团队成员。



**1610**年，伽利略用一块镜片直径只有几厘米的望远镜瞄准天空，第一次看见了木星的几颗卫星。这个里程碑式的举动，标志着我们开始把探索的目光瞄准宇宙深空，也意味着观测天文学的诞生。而研究宇宙所用的仪器，也将越来越强大、越来越精密。

此后，天文学成果层出不穷。在伽利略的重大发现问世3个世纪后，美国加利福尼亚州威尔逊山天文台（Mount Wilson Observatory）的一架望远镜开始投入使用，直径为2.5米。它的出现，让我们能够确定无数星系离地球有多远，同时，它也向我们证明了宇宙的浩瀚无垠。

20世纪50年代末，同样位于加利福尼亚州的帕罗马山天文台（Palomar Observatory）又投入了一架直径为5米的望远镜，它让我们发现了类行星和活动星系核的本质。如今，天文学家在探索可观测宇宙的边缘时，就需要运用到这些特性。2004年，位于智利的甚大望远镜（Very Large Telescope, VLT）拍摄到了第一张太阳系外行星的直接图像，它的直径已经达到8.2米。

之所以举上面的案例，是想说明建造的望远镜越大，我们对宇宙的理解也就越深。因此，20多年前，欧洲南方天文台（The European Southern Observatory, ESO）开始探索如何建造历史上最大的光学望远镜，也就是所谓的极大望远镜（European Extremely Large Telescope, E-ELT）。

这座巨型天文台计划修在智利的阿玛索内斯山上，于

2025年投入运行。除了拥有可以实现各种分析的先进仪器以外，E-ELT的特点还在于长达40米的主镜直径。要是对这个数字没有概念，可以想象一下3个篮球场的大小，因为这座望远镜的主镜镜面就有这么大。在天文学领域，如此庞大的望远镜史无前例，它的诞生意味着一次质的飞跃，同时也将成为当今世界上最大的光学望远镜。无论是夏威夷凯克天文台的两架望远镜，还是拉帕尔马的加那利大型望远镜（Gran Telescopio Canarias, GTC），镜面直径都在10米左右，这意味着它们的面积只有E-ELT主镜的十几分之一。

建造如此大规模的天文台非常具有挑战性。不过，就像科学家曾经建造突破性的天文望远镜一样（把镜面直径从2米提升到4米，后来从4米提升到8~10米），天文学领域本身的进步，让这项对技术和资金有巨大需求的难题变得可行。

为什么要完成这项飞跃？从科学的角度来说，是因为反射望远镜（E-ELT就属于这个类型）的主镜直径长度，决定了两项关键性能：能捕获到的光量和解析度。能捕获到的光量越多，望远镜就能观测到越细小、越遥远的物体；

#### 精彩速览

欧洲南方天文台的E-ELT已于智利开工建设。这架望远镜主镜的直径近40米，建成后将成为目前天文学领域最大的光学望远镜。

E-ELT将于2026年开始投入运行。毫秒秒级别的

解析度和巨大的镜面能让它看见极为细小且遥远的星体。天文学家还期待，它的观测能给天文学和天体物理学的各个领域带来革命性的进步。

如论如何，建造和运行一座体积如此庞大的望远

镜，都是极大的挑战。首先要解决镜面制造的难题；其次，还要对来自内部和外部的各种干扰进行修正。当然，还要处理来自大气层的干扰，这些都是十分棘手的问题。

最佳位置：极大望远镜伫立于智利境内阿塔卡马沙漠的阿玛索内斯山顶，海拔3000米，拥有极为优秀的大气质量。这幅航拍图片展示了天文台工程的近况。



解析度越高，就能分辨出天空中离得越近的星体。根据光学原理，镜面越大，光的捕捉度就越高，而且，镜面的解析度也与其半径成正比。因此，和加那利大型望远镜相比，E-ELT 在这两方面会分别高出 14 倍和 4 倍之多。

在电磁波谱上，E-ELT 能观测到可见光和近红外光，范围相当广泛。我们将观测这个电磁波段的天文学称作“光学天文学”，与观测其他波段的天文学，比如 X 射线天文学，或者射电天文学区别开来。光学天文学非常适合研究恒星和星系，因此，E-ELT 可以观测太阳系外行星的大气层，寻找生物活动的痕迹。此外，它还能确定遥远星系的构成及其成分。同时，E-ELT 可以观测到位于星系中央的超大质量黑洞和它的活动，并直接测量宇宙膨胀的加速度……E-ELT 能带给我们的科学成果将非常丰富，随着它的问世，从天文学到天文物理学的各个领域都将迎来翻天覆地的大变革。

### 欧洲的大型望远镜

几十年前，大型天文台的建设主要是以国际合作的形式开展的。因此，早在 50 多年前建立欧洲南方天文台时，欧洲就抢得了先机。如今，天文台由 16 个国家共同运行，经过半个多世纪的发展，全世界最领先的天文研究机构。这家天文台，管理着目前性能最强大的天文望远镜——甚大望远镜，它由 4 个镜面直径长达 8.2 米的望远镜组成，坐落在阿塔卡马沙漠上的帕瑞纳天文台。

在研究波长较长的电磁波方面，由欧洲（欧洲南方天文台）、美洲（美国及加拿大）、亚洲（日本、中国台湾地区及韩国）合作建立的阿塔卡马大型毫米及亚毫米波阵列（Atacama Large Millimeter Array, ALMA）是业内标杆级的存在。这架射电望远镜由 66 架天线构成，于 2013 年投入运行，是唯一一座能够用于研究冷宇宙（包括气体、星际尘埃、原行星盘等）的设备。因此，在争取稀缺的观察时间时，科学家还需要面对紧张的竞争。

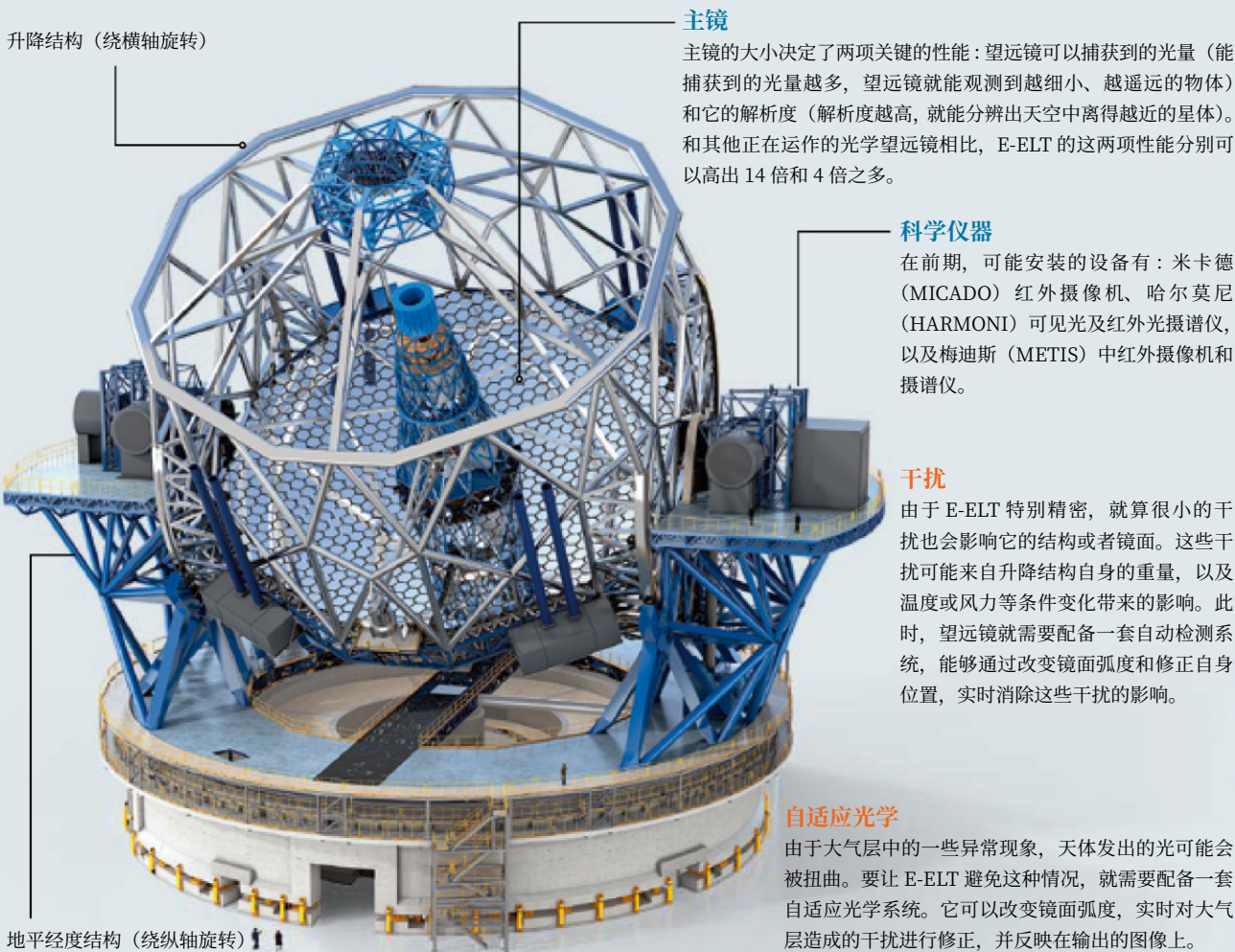
虽然 ALMA 很亮眼，但与光学望远镜的迭代并没有太大相通之处。事实上，目前存在三个建造大型望远镜的计划，镜面直径的设计标准都超过了 20 米。其中两个由美国机构主导研发，分别为巨型麦哲伦望远镜（Telescopio Gigante Magallanes, TGM）和三十米望远镜（Telescopio de Treinta Metros, TTM）。另一个则是最近由欧洲牵头建造的，也就是 E-ELT。

经过长时间的理论研究和设计，欧洲南方天文台决定采用主镜镜面直径为 39.3 米的设计方案，并于 2010 年将建造地址确定在海拔 3000 多米的阿玛索内斯山上。当初，智利政府曾将帕瑞纳天文台所在的一片区域划分给欧洲南方天文台，而这次建造的 E-ELT 恰好位于原本圈定的范围内。这里的大气质量极佳，帕瑞纳山也仅距离阿玛索内斯山 20 千米，因此，E-ELT 也并入了帕瑞纳天文台的管理中。

预计 E-ELT 的直接成本将超过 12 亿欧元，由欧洲南方天文台的成员国一同承担。不同于美国主导的项目，欧

## 直径40米的望远镜

E-ELT 的主要特点在于庞大的主镜镜面，直径可达 39.3 米。此外，天文台还配有各项科学仪器，可以从不同角度研究天体发出的光。由于工程规模巨大，在抵御内外因素对镜体观测造成的影响时，需要应对非常艰难的挑战。因为无论是望远镜本身，还是大气中产生的干扰，都会影响观测的质量。以下内容将展示防护穹顶之下的玄机，以及天文台的内部结构。



### 主镜

主镜的大小决定了两项关键的性能：望远镜可以捕获到的光量（能捕获到的光量越多，望远镜就能观测到越细小、越遥远的物体）和它的解析度（解析度越高，就能分辨出天空中离得越近的星体）。和其他正在运作的光学望远镜相比，E-ELT 的这两项性能分别可以高出 14 倍和 4 倍之多。

### 科学仪器

在前期，可能安装的设备有：米卡德 (MICADO) 红外摄像机、哈尔莫尼 (HARMONI) 可见光及红外光谱仪，以及梅迪斯 (METIS) 中红外摄像机和光谱仪。

### 干扰

由于 E-ELT 特别精密，就算很小的干扰也会影响它的结构或者镜面。这些干扰可能来自升降结构自身的重量，以及温度或风力等条件变化带来的影响。此时，望远镜就需要配备一套自动检测系统，能够通过改变镜面弧度和修正自身位置，实时消除这些干扰的影响。

### 自适应光学

由于大气层中的一些异常现象，天体发出的光可能会被扭曲。要让 E-ELT 避免这种情况，就需要配备一套自适应光学系统。它可以改变镜面弧度，实时对大气层造成的干扰进行修正，并反映在输出的图像上。

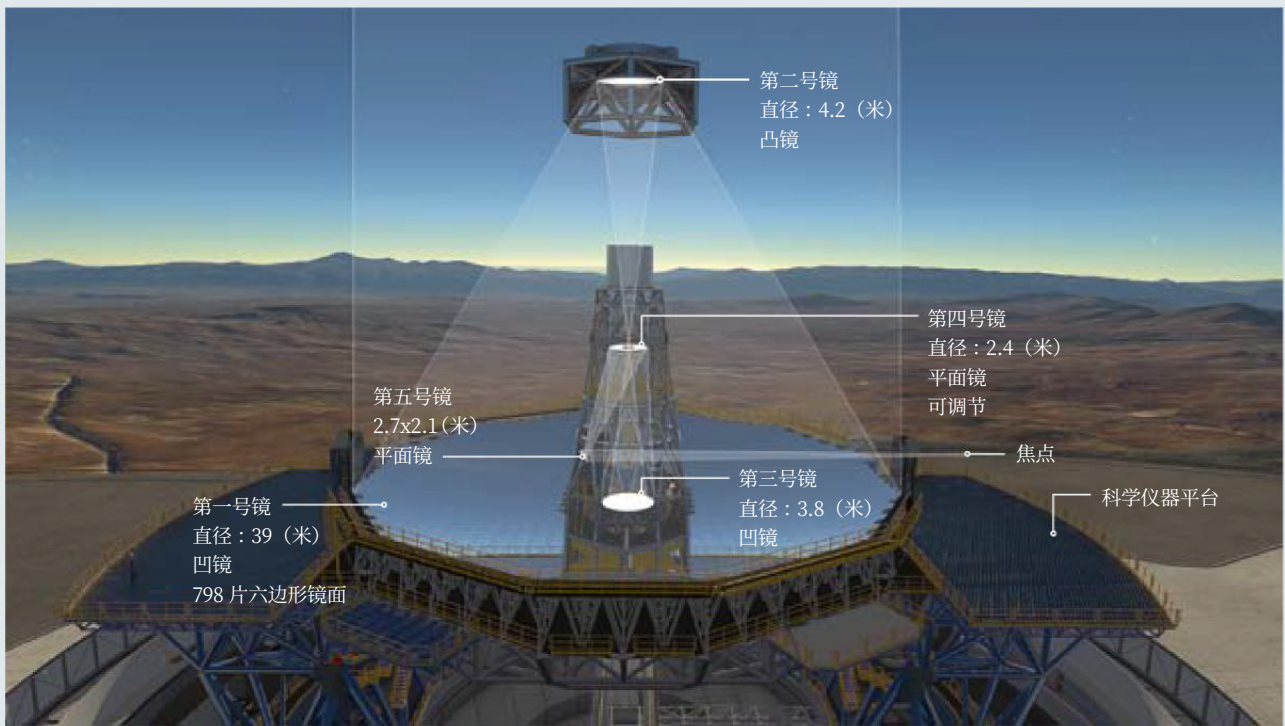
洲南方天文台决定，在保证 90% 资金到位之前不会启动项目具体的建造工作。2014 年底，资金筹备工作终于完成。2015 年，通往阿玛索内斯山的公路竣工。同年，山顶也挖掘平整，准备开始土建工作。挖掘项目于 2018 年完工。接下来，依次要修建的是地基及抗地震的阻尼装置，辅楼及穹顶，最后则是穹顶内的望远镜。

对于建造 E-ELT 而言，真正核心的部分是光学及机械系统模组，这将会是一项非常巨大的挑战。目前，欧洲南方天文台正在生产和调试各项零件，其中包括镜面、支架、执行装置和感应装置等等。预计将在 2025 年实现首次观

测，在此之后，还会添置各项主要仪器，保障从 2026 年起，可以正式进入科学研究阶段。

## 巨大的镜面

E-ELT 主要由望远镜、科学仪器和服务于前两者的基础设施构成。望远镜主要用于收集目标天体发出的可见光和红外光，6 面镜面（1 面主镜和 5 面辅镜）会处理收集到的光，使它能在焦点处成图。事实上，在镜面焦点处形成的图像直径约为 2 米，对应着天空中 10 角分的距离（相当于满月宽度的三分之一）。

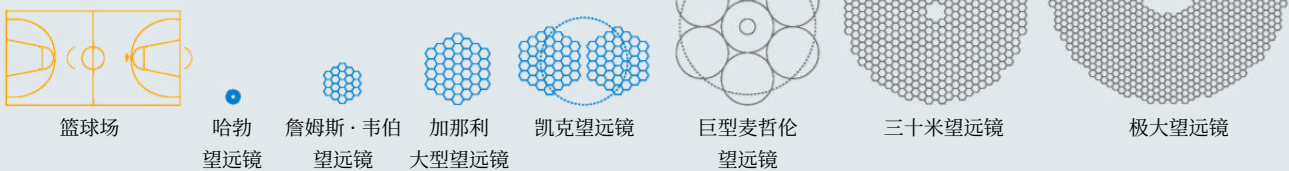


### 图像生成

在 E-ELT 中，一系列的镜体（总共 6 面）相互协作引导光线（阴影区）到焦点处，最终成像。以下示意图描绘了 5 面镜体的工作原理（从第一号镜到第五号镜）。最后一面镜体（第六号镜未在图中显示）位于科学仪器平台上，它的作用是将光束导入该平台上安装的分析仪。E-ELT 有两个这样的平台，每个都配备一面第六号镜。

### 新一代望远镜

在新一代的，号称要对天文学各个领域带来变革的大型光学望远镜中，E-ELT 是最大的一个。以下图像将展示一系列主要光学望远镜的主镜面，其中包括已经建成的（蓝色）以及计划中的（灰色）。



随后，各项科学仪器按自身的用途处理望远镜生成的图像，其中包括图像生成仪、光谱仪、日冕仪等等。为最大化天文台的效率，望远镜配置了 8 个主要观测系统，因此可以配合 8 种不同的仪器。虽然这些仪器不能同时使用，但整体效率已经非常高了。在天文台正常运行期间（通常为几十年），望远镜和基础服务设施基本不需要更新，但是这些仪器的使用寿命一般不会那么长，十年后就需要替换。有序迭代这些仪器，可以确保天文台一直处于科学研究的最前沿。

由于主镜面积巨大，E-ELT 能区分天空中仅相距 5 毫

角秒的天体。这意味着它的解析度要比人眼高 12 000 倍，比哈勃太空望远镜高 16 倍，而且比加那利大型望远镜还高 4 倍。在对光的收集能力方面，E-ELT 拥有 978 平方米的大镜面。对比三十米望远镜 655 平方米的镜面、巨型麦哲伦望远镜 368 平方米的镜面、加那利大型望远镜 74 平方米的镜面和哈勃望远镜的 4.5 平方米的镜面，E-ELT 简直就是庞然大物。

不过，随着主镜面积的增大，技术复杂度和成本也大幅飙升。正在运行的几大望远镜中，要么是使用镜面完整的主镜，比如帕瑞纳天文台的甚大望远镜（4 块主镜都是

## E-ELT将研究什么？

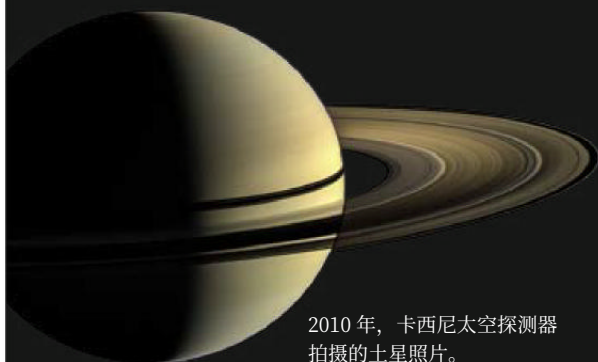
E-ELT 能非常详细地分析不同距离的天体。由于配备的仪器都是最尖端的，它的科学目标将涵盖许多方面，从太阳系、太阳系外行星大气层、原行星盘到遥远星系、黑洞、宇宙最初的星体，它都能应对。

### 太阳系

在现代天文学刚兴起时，我们还不能进入太空，也无法在太阳系中遨游，只能在地面进行天文研究。然而，地面望远镜的放大倍数又非常有限。不得不说，即便到现在，太阳系中丰富多样的星体也非常吸引天文学家的目光。它们变幻莫测又遥不可及，似乎有无限的秘密等待我们去探索。

研究在太阳系内存在时间较长且体积较小的天体，可以让我们明白太阳系的过去。这样的对象包括小行星、彗星和海王星外的柯伊伯带。在一些行星的卫星上，也在发生复杂而多样的变化，E-ELT 有能力追踪研究，并明确它们的性质。这其中最突出的要数土星的卫星——泰坦，它上面的甲烷云、甲烷湖和甲烷海都牵动着科学家的心；当然还有木星的卫星——埃欧，它上面有独特的活火山运动；以及木星的卫星——欧罗巴，它上的间歇泉和羽状水喷气非常有趣；另外还有土星的卫星——恩赛勒达斯，它也表现出极为有趣的活动，可能与天体生物学紧密相关。

另外，要想实地勘探天王星和海王星，可能要到 2030 年才能实现。在此之前，E-ELT 可以预先研究这两颗遥远的行星，观察它们的气象、气候、风力和大气。到目前为止，无论是哈勃望远镜，还是其他地面的大型光学望远镜，只能勉强完成部分上述研究，解析度也远远低于 E-ELT 能够达到的程度。

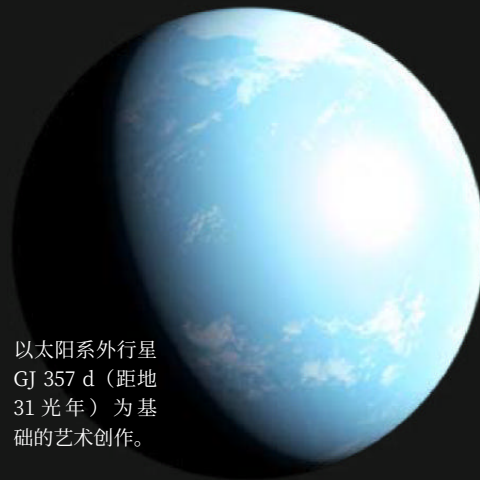


2010 年，卡西尼太空探测器拍摄的土星照片。

### 太阳系外行星

自 1995 年发现第一颗太阳系外行星至今，科学家已经累计发现了 4 000 多颗绕恒星旋转的行星。虽然它们形态各异，但我们只能了解它们的部分参数，比如运行轨道、质量和体积。不过，这也足以让我们推断它们到底是由岩石、气体还是冰川构成的。然而对于其他物理化学方面的性质，我们的认识还是非常稀少。可以说，针对一些大型的太阳系外行星，我们或许可以测量某些特殊的化学成分，或是它们大气层中某些气体的成分。

有了 E-ELT，我们可以深入研究无数太阳系外行星的物理化学性质。不过，更大的目标，或者说推动建造它最根本的理由，还是发现与地球相似的行星，特别是发现那些距离主恒星不远不近，温度适宜，且地表存在液态水的宜居行星。运用梅迪斯基的日冕技术（通过遮住恒星发出的光来观测行星的光），E-ELT 可以对分析太阳系外行星的大气层组成，并从光的反射和热量辐射的角度推断它们的地表温度。同时，E-ELT 还可以追踪体积较小行星上的水蒸气、氧气，以及其他可能标志着生物活动的气体，比如甲烷、氧化亚氮。可以说，寻找“生命痕迹”（臭氧、甲烷、叶绿素）将是 E-ELT 的几大主要目标之一。



以太阳系外行星 GJ 357 d（距地 31 光年）为基础的 artistic 创作。

以恒星 HD 21997 原行星盘（距地 235 光年）为基础的艺术创作。

### 行星系统

E-ELT 的另一个研究目标在于研究行星系统的组成。阿塔卡马大型毫米及亚毫米波阵列天文台已经清晰地观测到，年轻恒星周围的原行星盘结构。随着光谱和太空解析度的提升，E-ELT 能够区分盘内可以形成行星的物质与其他成分。而且，它还能够确定具体的运动形式，气体以及宇宙尘埃的分布，这对理解不同恒星周围的行星系统是如何形成的，有很大帮助。

&! "#\$%&'()\*+,-.#:;?@A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z [ \ ] ^ \_ ` a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z { | } ~ ¡ ¢ £ ¤ ¥ ¦ § ¨ © ª « ¬ ® ¯ ° ± ² ³ ´ µ ¶ · ¸ ¹ º » ¼ ½ ¾ ¿ À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ê Ë Ì Í Î Ï Ñ Ò Ó Ô Õ Ö × Ø Ù Ú Û Ü Ý Þ ß à á â ã



UGC 1810 星系（距地 3 亿光年）的照片，由哈勃太空望远镜拍摄。

### 遥远的宇宙

E-ELT 还配备了高解析度的光谱仪，它有助于分析离我们非常遥远的超新星发出的光。这些超新星大约是在宇宙诞生 10 亿至 60 亿年之间（科学家预估宇宙已经诞生 138 亿年了）爆发出了非常明亮的光线。因此，E-ELT 有机会研究这些星系早期的化学演变，以及星体形成的机制。

当然，比起 10 亿年而言，E-ELT 还能“看”见更遥远的过去。在观测微弱又遥远的光源时，它的能力独一无二，能够看到宇宙诞生 2 亿到 5 亿年时的样子。那时，整个宇宙中充满了早期恒星发出的光芒，氢发生电离，原星系诞生。目前，最先进的望远镜只能勉强探测到宇宙在诞生 5 亿年时的样子，这也是通过当时最明亮的一些恒星发出的光线确定的。

### 星系和黑洞

E-ELT 还有一个重要的研究目标。我们希望用它来解读星系的形成和演化过程。由于拥有极高的空间解析度，它允许我们分析银河系中心的黑洞，以及其他相互临近的星系。测量星系中心的恒星是如何运动的，研究巨型星体是如何生长的，以及分析在星系演变过程中，什么对它造成了影响，这些都是 E-ELT 可以完成的工作。

同时，它还可以研究星系最外层的部分。梅迪斯仪的近红外光谱器十分强大，能够分析数千个球状星团和在星系中像卫星一样旋转的“流星群”。此外，我们还希望 E-ELT 能够研究室女座星系团（距地 54 光年）和天炉座星系团（距地 62 光年）的化学变化及结构特征。

CL J1001，已知最遥远的星系团。根据它所在的距离计算，这张图片展示的是在宇宙诞生后 27 亿年的样子。

### 加速膨胀的宇宙

大约在 25 年前天文学家就发现，宇宙膨胀得越来越快。这项出人意料的成果正是天文学家通过观察某种超新星得出的结论。由于科学家可以获知超新星的真正光度，因此可以用它当标准烛光，计算光线到达地球的距离。这项发现建立在欧洲南方天文台的望远镜观测成果上，而它的发现者——萨尔·波尔马特（Saul Perlmutter）、亚当·里斯（Adam Riess）及布莱恩·施密特（Brian Schmidt）也因此赢得了 2011 年诺贝尔物理学奖。

对现代宇宙学而言，主要目标之一就是研究宇宙加速膨胀。E-ELT 可以精确测量出遥远星系各自远离的速度，因此，在比较不同时期的数据时，就能直接测量出宇宙膨胀的加速度。

一些由哈勃太空望远镜拍摄的照片，包含已知最遥远的星系，它们非常古老。

### 基础物理学

最后，E-ELT 建成后，还有可能为基础物理学中某些尚待解决的问题提供线索。其中包括：“精细结构常数”（这是一个可以决定在基本粒子之间电磁相互作用强度的量）；以及质子和电子的质量。科学家想知道，从宇宙诞生之初到现在，它们一直都非常稳定，还是会随着宇宙的演化持续变化。通过分析非常遥远的类星体发出的光，E-ELT 能够测量“精细结构常数”在千万分之一尺度上的变化。也就是说，E-ELT 可以分析这些数据是否会随距离的改变而改变。当我们知道这种距离与宇宙的年龄有关时，就能意识到，这也是在分析这些数据是否会随着宇宙年龄的变化而改变。

类星体 3C 273，它发出的 9/012 光要 25 亿年才能传到地球。

完整的单体)；要么使用拼接起来的主镜，比如凯克天文台的望远镜以及加那利大型望远镜（镜面可以被拆分成许多碎片）。

为了大幅增大镜面，E-ELT 也使用了可以拼接的镜面。因为当镜体面积大到一定程度后，要产出一块完整的镜面，基本无法在技术层面（从雕刻到打磨）实现。因此，科学家们只能选择生产出许多镜面碎片，将它们组装在一起。然而，要使零散的镜面达到科学观测的要求，特别是生成高质量图像的要求，最大的挑战在于如何将这些碎片组装起来，以此达到一整块镜面的效果。

在 E-ELT 中，主镜由 798 片六边形镜片贴边拼接而成。每一片镜面的边长为 1.44 米，各自装有 12 个感应装置和 3 个执行装置，可用于调整位置和其他机能。所有这些装置加在一起，构成了一个非常复杂的主镜系统。这些镜片在生产出来后，最大误差只有 20 纳米；相邻镜片之间的最大垂直距离，也只有几十纳米。这样的要求极为苛刻，费时费力，一共需要花费 6 年的时间。除了主镜之外，其它所有镜面都是整块的单体镜面，对它们的误差要求也同样严格，因此，在完成制造的过程中，克服了无数的困难。

### 克服干扰

可以说，在运行时 E-ELT 面临极大的挑战，其中最难的一点在于，镜体要在外部干扰和内部干扰同时存在的条件下，将六边型镜片都维持在正确的形态和角度。虽然每架望远镜都要对镜面进行调整，但是对于巨型望远镜来说，这一点确实非常难以实现。因为体积硕大，重力、风力和夜间的温度变化都可能引起外部干扰；另一方面，望远镜不同部件之间的热量差异，或来自结构内的振动也会引起内部干扰。

要捕捉到这些细微又复杂的干扰，我们必须先理解望

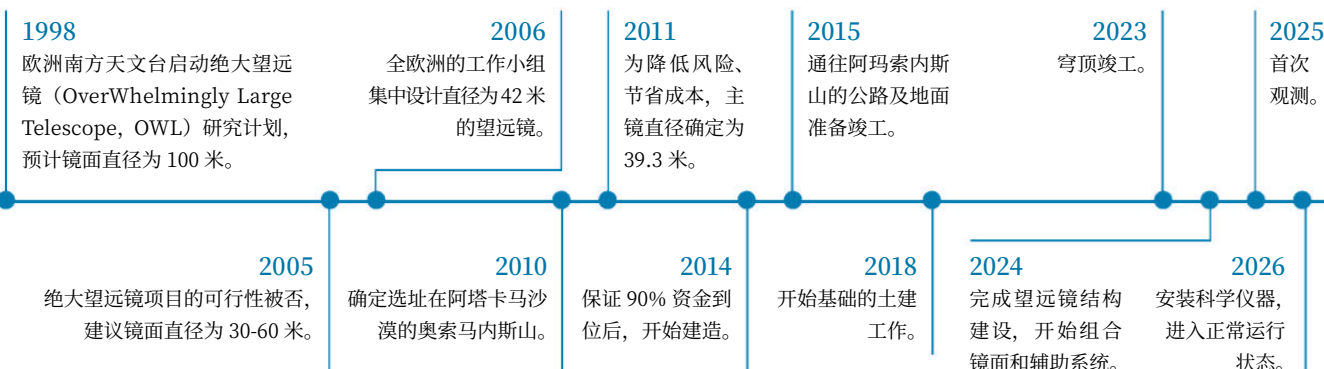
远镜的移动方式。当望远镜在观测天空中的星体时，整个设备的转动过程其实与火炮非常相似。“地平经度结构”绕纵轴旋转，“升降结构”绕横轴旋转。这样，望远镜只需几分钟就能迅速完成移动。不过，当望远镜指向天体进行观测时（通常需要几分钟到一个小时），我们就需要做一些额外的工作。此时，科研人员需要调整设备，抵消在观测期间来自地球自转的干扰。

由于升降结构的自重达 200 万千克，会让望远镜在竖直方向上发生明显形变，变形的程度也会随着高度的变化而变化。所有这些结构性的形变都会影响镜体，造成预设位置与实际位置之间的偏移。同时，由于镜体自重的关系，本身也会出现一些形变。如果不抵消这些形变产生的影响，望远镜指向的位置就会出现偏差，生成的焦点图像也会失真。

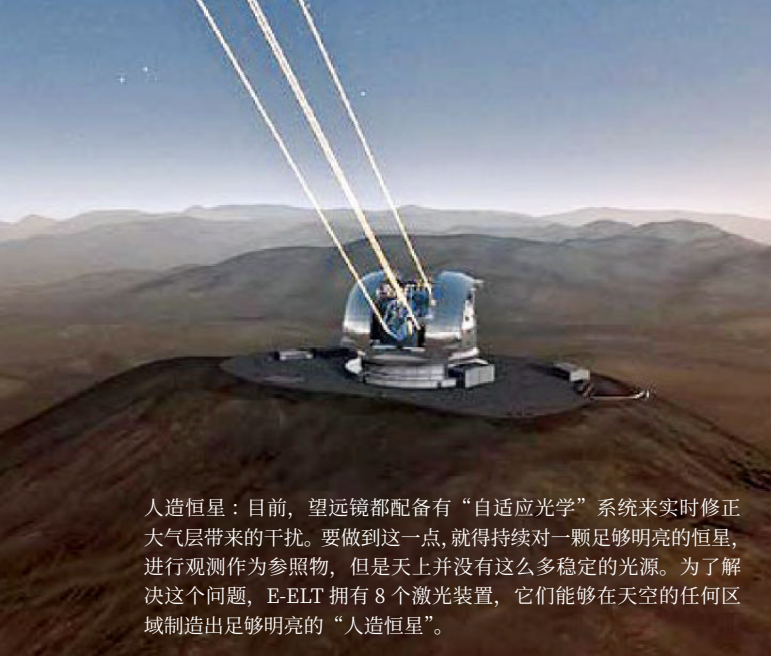
另外，夜间温差，以及望远镜各部分之间的温差，也会引起结构和镜面的热胀冷缩。这个问题也和重力一样，会影响望远镜的指向和图像质量。不仅如此，天文观测台一般都位于大气质量极佳的区域，这种地方通常容易起风，因此，风力的干扰也经常出现。最后，在支架结构上发生的震动也会造成干扰。比如，在水冷器上，或者在流体静力轴承上（用来支撑望远镜横纵轴）等等。这些装置都有可能产生震动。对镜面而言，这些震动的幅度可能很小，但频率却很高。

幸运的是，除了内部震动，以上提到的所有干扰都有修正的方法，可以将误差缩小到可接受的范围内。然而，要修正内部震动，只有尽量调整望远镜的一系列执行装置。这些装置都是以全自动的方式工作，通过摄像机持续拍摄参照用天体，并与标准图像比对，它们就可以实时调整，对失真的图像做出修正。可惜内部结构的震动频率太高，修正起来非常困难。因此，我们只能从源头下手，利用减

### E-ELT 时间表







人造恒星：目前，望远镜都配备有“自适应光学”系统来实时修正大气层带来的干扰。要做到这一点，就得持续对一颗足够明亮的恒星进行观测作为参照物，但是天上并没有这么多稳定的光源。为了解决这个问题，E-ELT 拥有 8 个激光装置，它们能够在天空的任何区域制造出足够明亮的“人造恒星”。

震装置等系统，尽可能防止或减弱震动的发生。

### 天空中的激光

除去以上提到的干扰因素，地球大气层的某些特性也不利于观测。由于大气层的温度分布并不均匀，天体发出的光线在到达望远镜之前会因为折光率的变化而发生扭曲。为了避免这种干扰，许多望远镜被投放到太空中进行观测，比如哈勃太空望远镜，以及即将发射的詹姆斯·韦伯望远镜。

但是，在地面上建立巨型高解析度望远镜的计划，并不会因为大气层的干扰而中断。科学家已经找到了一些解决办法，比如“自适应光学”技术。本质上来说，就是采用可以变形的镜面，从而消除大气层对光的扭曲。虽然这项技术已经很成熟，但是要在直径为 39.3 米的天文台望远镜上操作，还是很困难。E-ELT 就配备了一面可变形镜（也就是第四号镜），直径为 2.4 米，厚度却只有 2 毫米，上面安装了超过 5300 个执行装置。对完成整个 E-ELT 计划而言，制造这面镜体也是最大的挑战之一，当然，它也是整个计划最重要的组成部分之一。

早在 20 世纪中叶，自适应光学技术就已经诞生了，但是直到上世纪 90 年代计算方法获得巨大突破，它才开始应用于天文学领域。如今，它的应用领域已经扩展到眼科学，以及更新的细胞成像中。包括欧洲南方天文台在内，几乎所有天文台都在使用这项技术。比如，在帕瑞纳天文台的甚大望远镜中，就有一面专门执行这项技术的镜面，直径达 8.2 米。然而，在天空观测方面它的应用一直非常有限，因为必须使用一颗非常明亮的恒星作为参照物。好在近年来，人造激光恒星的出现打破了这个限制。

要让自适应光学系统运行起来，就得给用作参照的天

体连续拍照，并对照片进行处理。这样，执行装置才发挥作用，控制镜面变形。由于大气层变化非常迅速，控制系统的反应速度必须也得跟上。但是，这对作为参照的恒星有一定要求，必须得足够明亮，必须得在观测得过程中一直都出现对应的空域。为了解决这个问题，科学家用激光创造出了一种足够亮的人造恒星。科学家需要从地表向天空发射一束激光，当这束激光与地表 80 千米以上的钠原子层（一般为几千米厚）相遇时，就会产生一个非常明亮的光点，就像自然而稳定的恒星一样明亮。E-ELT 就配备了 8 个制造人造恒星的光束装置。

### 挑战和解决办法

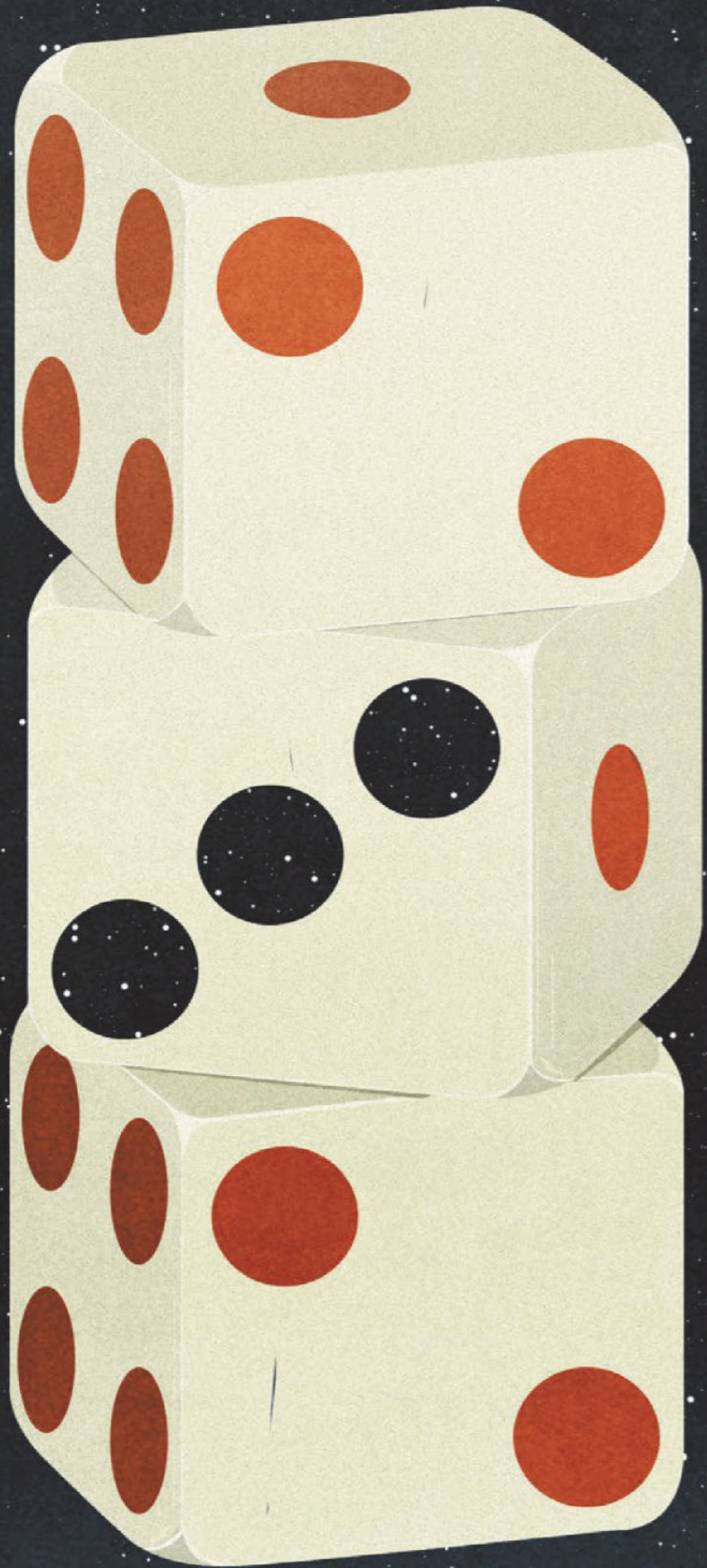
在望远镜的各个部件中，最大的挑战还是在于主镜，以及由 4 部分组成的自适应镜面。除了这些难题以外，要保持镜面随时都以正确的形态处于正确的位置上，就要对干扰进行修正，这也是整个项目最困难的部分。要获得一张没有误差的焦点图像，需要严格要求各项指标，不然，巨型望远镜就会失去它的优势。

在地球上建造这样一只巨眸有什么用？在初期，E-ELT 的成果很大程度上取决于各种仪器就位的顺序，因为不同仪器有不同的作用和价值。成果既可能是关于星系的，也可能是关于行星或是黑洞的。虽然我们现在只能畅想未来，但是一切皆有可能，说不定我们会惊讶地发现一套与日-地体系极其相似的系统，一颗和地球差不多的行星，在适宜的位置上围绕着一颗与太阳差不多的恒星旋转……

E-ELT 重约 3600 吨，是一架极其复杂的仪器，也会受到各种各样的干扰。它必须以几千分之一的精准度指向星体，才能给各领域的科学家提供质量极佳的图像。建造一架又大又精确的望远镜，意味着一次声势浩大的科技挑战赛，而这场大赛正处在它最激烈的阶段。

#### 扩展阅读

The science case for the European Extremely Large Telescope: The next step in mankind's quest for the universe. ESO, septiembre de 2010. disponible en [www.eso.org/public/products/books/book\\_0003](http://www.eso.org/public/products/books/book_0003) The E-ELT construction proposal. ESO, diciembre de 2011. disponible en [www.eso.org/public/products/books/book\\_0046](http://www.eso.org/public/products/books/book_0046) programa de construcción de telescopios gigantes en EE.UU.: [www.noao.edu/us-elt-program/overview.php](http://www.noao.edu/us-elt-program/overview.php) Los grandes telescopios del futuro. roberto Gilmozzi en IyC, julio de 2006. La carrera por el mayor refractor del mundo. Wolfgang Steinicke y Stefan Binnewies en IyC, enero de 2013. La guerra de los telescopios. Katie Worth en IyC, febrero de 2016.



制图：安德烈亚·乌奇尼 (Andrea Ucini)

乌尔巴西·辛哈是印度班加罗尔拉曼研究所的物理学家，同时也是加拿大滑铁卢量子计算研究所及多伦多大学量子信息与量子计算中心的研究员。她的主要研究方向是量子信息和量子计算实验。



# THE TRIPLE- SLIT

## 三维量子比特： 量子计算新可能

“三缝实验”揭示了量子力学的新秘密，也为高维量子计算铺平了道路。

撰文 乌尔巴西·辛哈 (Urbasi Sinha) 翻译 庞玮

### 精彩速览

“双缝实验”表明了光和物质同为粒子和波的本质，并演示了态叠加原理：粒子能同时处于多个状态和位置。

最近，科学家用三条狭缝而不是两条开展了多项实验。这个看似很小的改动揭示出使用态叠加原理进行计算时需要考虑的一

些新细节。

三缝实验有助于量子计算的实现，它提供了产生三维量子比特（而非通常的二维）的方法，可以帮我们将量子计算机缩小至实用体积。

“量子力学的所有秘密”皆寓于双缝实验之中，这是著名物理学家费曼的名言。这项开创性的实验最早由英国博物学家托马斯·杨（Thomas Young）于1801年完成：一束由光子构成的光穿过两条狭缝，射向屏幕，在屏幕上形成明暗条纹交错排列的“干涉图案”。这个结果让人感到疑惑，因为只有当光子表现得如同波而非粒子，才能通过波峰和波谷的相互增强和抵消形成上述图案。所以杨最初的实验结果似乎告诉人们光是一种波，而不是粒子。

果真如此吗？两百多年后，物理学家重复了杨的实验，只不过每次只用一个光子射向两条狭缝，干涉图案依然诡异地存在，好像这个光子自己在跟自己发生干涉。更为奇怪的是，如果你在狭缝边上放置一个探测器，记录每个光子究竟穿过了哪条狭缝，那么干涉图案就会消失不见，你会在屏幕上看到两条亮线，恰如粒子而非波穿过狭缝后会得到的标准结局，探测器似乎改变了光子的本质。

直到今天，双缝实验凭借其简洁的内在概念，仍然是最撩拨物理学家心弦的实验之一。它被多次重复，不仅用光子，还用物质粒子，结果都清晰地展现出量子力学本质上的神秘气息：无论是光，还是物质，实际上都既像粒子又像波，这被称为波粒二象性（wave-particle duality）。同时，这些实验还验证了态叠加原理：粒子可以同时处于多种状态，甚至同时处于不同位置。在双缝实验中，粒子不是非此即彼地穿过某一条狭缝，为了产生干涉，每个粒子都必须同时穿过两条狭缝。

尽管双缝实验几乎无人不知，但我们对这个实验的本质仍所知甚少。最近，我在印度班加罗罗拉曼研究所量子信息及计算实验室的研究团队，在微波波段进行了“三缝实验”：我们使用的不是两条狭缝，而是三条。这一改动貌似微乎其微，但结果却颇不平凡。理论层面上，我们的实验弄清了态叠加原理在此类情况下如何生效，并且对态叠加的基本理解做了一些颇为微妙的、新的补充。

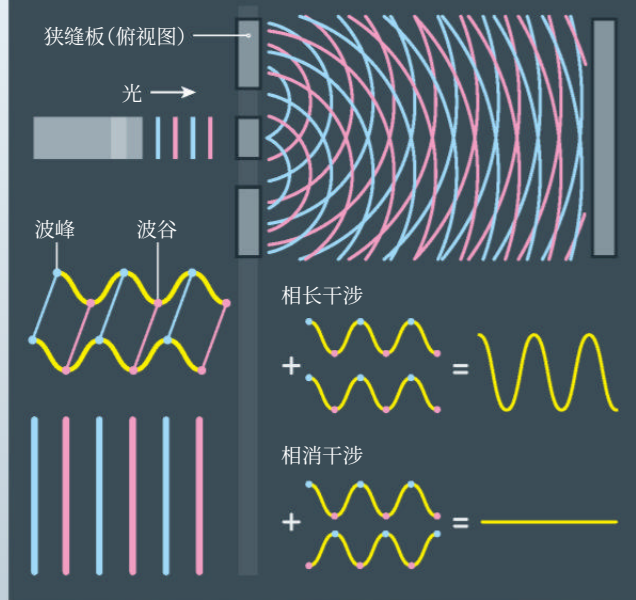
我们设计的三缝实验还为蓬勃发展的量子计算提供了令人欣喜的可能性。一旦能借助量子物理之力将量子计算机制造出来，它将彻底颠覆我们现有的运算能力。量子计算的一个核心挑战是如何增加一台量子计算机所能容纳的

## 狭缝实验

著名的双缝干涉实验确立了量子理论的两大基石：波粒二象性和态叠加原理。波粒二象性是指，物质和光都同时具有粒子和波动性，态叠加原理则表明粒子可以同时处于不同状态和位置。最近，科学家用三条狭缝而不是传统的两条狭缝进行了实验，打开了一扇探索新理论和新技术的大门。

### 干涉图案

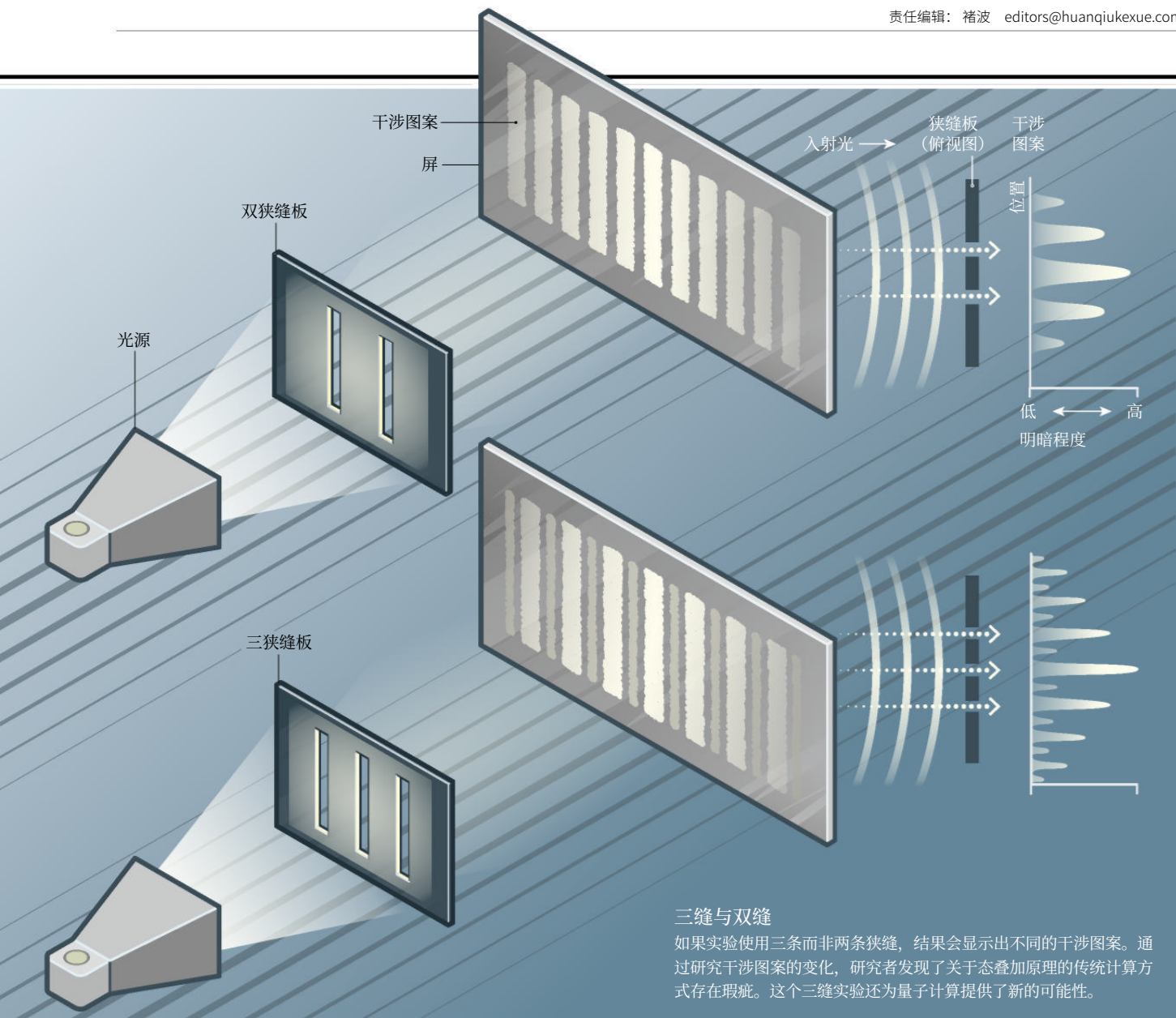
粒子像波一样穿过两条狭缝，产生两列子波。如果这两列子波的波峰到达屏上同一个位置，就相互增强。如果一列波的波峰和另一列波的波谷到达同一个位置，就会相互抵消。这样，屏幕上会形成一个明暗相间的“干涉图案”。



比特，即量子比特的数量，同时不破坏其叠加态，使得一个比特可以同时处于两种状态，这是量子计算超快速度的关键。目前，该领域内大多数研究者都致力于增加系统中量子比特的数量，我们实验室却尝试了另一种较少人问津的方法：用高维的“量子比特”来代替传统的二维比特。通过三缝系统，我们能创造出一个名为“量子众特”（qutrits）的三维量子比特。

## 态叠加原理

量子理论不仅用波来描述基本粒子，而且给出了波必须服从的方程，即波动方程，方程的解用希腊字母  $\Psi$  来表示。这些解代表粒子处于某个特定状态的概率幅（可以描述粒子的量子行为）。



### 三缝与双缝

如果实验使用三条而非两条狭缝，结果会显示出不同的干涉图案。通过研究干涉图案的变化，研究者发现了关于态叠加原理的传统计算方式存在瑕疵。这个三缝实验还为量子计算提供了新的可能性。

但是，我们的研究却揭示出，物理学家在双缝实验中处理波函数的传统方法存在一些瑕疵。假设现在有一个经典的双缝实验，两条狭缝分别被标记为 A 和 B，则当狭缝 A 单独打开时，系统波动方程的解可以记为  $\Psi_A$ ；当狭缝 B 单独打开时解可以记为  $\Psi_B$ 。那么如果两条狭缝都打开，结果会变成什么呢？通常，教科书中将此时的解写成  $\Psi_A + \Psi_B$ ，表示通过狭缝的粒子处于两个态的叠加之中。这确实体现了态叠加原理，但并不完整，原因很简单：同时打开两条狭缝，并不等同于分别打开一条狭缝。因为同时打开两条狭缝时，一个粒子会同时穿过这两条狭缝并与自己干涉，上述叠加态解中并未考虑这种情况。

已经有科学家建议，在方程中加入一些修正项来得到正确的结果，这个量被称为索尔金参数（Sorkin

parameter），因为它最初是由雪城大学的物理学家拉斐尔·索尔金（Rafael Sorkin）提出的。然而，大多数研究者都认为这个量小到可以忽略不计，而且实际上我们知道它不可能太大，否则早就应该被发现了。我们的三缝实验证明这个量确实存在，而且并不总是那么无关紧要。三条或更多狭缝的实验为我们提供了检验这个修正项的天然平台，因为用到的狭缝越多，它们之间的相互作用就越强，修正项就会越明显。

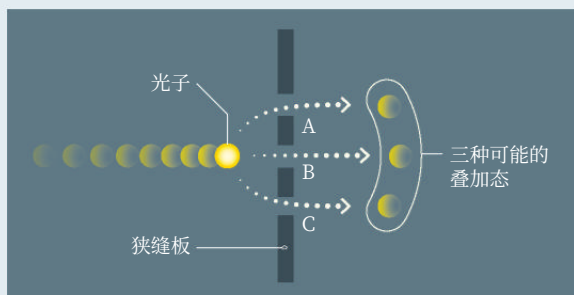
我在三缝实验上已经花了 10 年以上的时间。2010 年，我在《科学》杂志发表了第一篇相关论文。2014 年，我又和研究团队一起用微波尝试进行新的三缝实验，实验地点选在了印度卡纳塔克邦的高里比达努尔天文台。实际上，我们的实验是在天文台附近的一大片玉米地里开展的——

## 更少的量子比特 更强的量子计算

量子计算机的计算速度远超经典计算机。大多数量子比特都跟经典比特一样，具有 2 个可能态（基本态）。但是具有三个或更多基本态的量子比特能为计算带来极大优势。

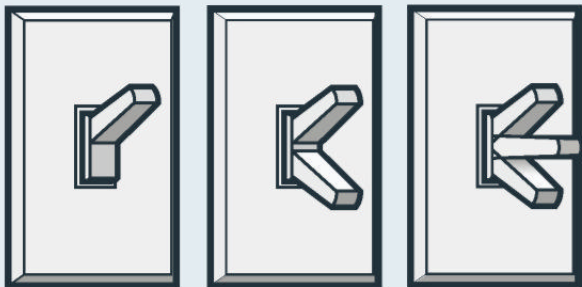
### 利用单个光子产生量子众特

当一个光子穿过狭缝板时，通过每条狭缝的概率相等。一个经典粒子只能穿过某条狭缝，但是一个量子粒子却可以同时穿过三条狭缝形成叠加态。这个处于叠加态的光子可用作具有三个基本态的“量子众态”。



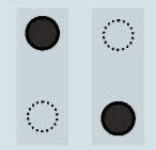
### 用量子众态进行量子计算

如果要建造一台具有一定数量的可能态的量子计算机，使用量子众特所需的比特数要少于二维的量子比特。这对量子计算机有益，因为量子比特越多，它们就越容易失去量子特性。



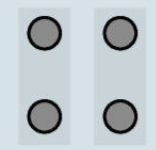
#### 比特

经典计算机中的一个比特有两个基本态，类似于开关。每个比特只能在这两个基本态中二选一，总可能态数为 2。



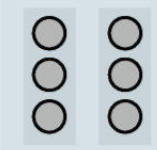
#### 量子比特

一个量子比特同样具有两个基本态，但是它可以同时处于这两个状态。可能态数为  $2^n$ ， $n$  为量子比特的数量。三个量子比特就有  $2^3=8$  个可能态。



#### 量子众特

一个量子众特具有三个基本态，总可能态数为  $3^n$ ，因此 2 个量子众态就有  $3^2=9$  个可能态。



我们在田里搭了一个帐篷做实验。尽管这个地点看上去与精密的物理实验毫无关系，但其实玉米能有效吸收环境中的杂散微波，减小实验所受的干扰。另外，帐篷这样的开放空间里没有太多会反射微波的墙壁及其他仪器。还有就是，这个偏僻的地点几乎没什么手机信号，没了这个污染源，我们可以在很大空间范围内进行实验。

我们的实验使用了两个喇叭天线，一个用来发射微波光子，另一个用来探测。两者之间放置了一块平板，上面有三条狭缝，每条 10 厘米宽，间距 13 厘米。为了与最初的狭缝实验保持一致，我们将探测天线安放在轨道上，以便检测干涉图案随位置的变化关系。实验结果表明，干涉图案与波动方程的假设解  $\Psi_A + \Psi_B$  并不一致，但是加上非零的索尔金参数之后就变得一致了。我们还将吸收材料放置在两条狭缝之间，隔绝光子在两条狭缝间的穿行，避免由此带来的狭缝间的相互作用。结果发现，在这种情况下索尔金参数的大小会随着阻隔材料的尺寸变化而改变，这意味着该参数确实代表了狭缝间的相互作用，并与相互作用的强度有关。这证明我们测量的修正项不是某个未知的系统误差，正是我们在寻找的东西。

我们的实验首次确证了索尔金参数这个修正项在经典微波波段的正确性，实验结果在 2018 年发表于《新物理学杂志》(New Journal of Physics)，并已促使一些教科书做出修订，因为这个结果直接影响了我们对基础物理的理解。不仅如此，该结果可能还有助于天文学家和天体物理学家更好地解读来自早期宇宙的信号——他们的研究需要用到分布在全球的射电天线阵列，而此前，他们会把不同天线接收到的信号加到一起。但现在我们知道，波动方程的解不等于单个解的叠加，因此一些计算也许要考虑索尔金参数，以进行修正。我们的发现也许最终能帮助科学家建立更好的误差模型用于此类观测。

## 量子众态

上述实验不仅具有理论意义，而且有潜在的应用价值，我们希望通过三缝实验，设计新的量子计算工具。

量子计算机利用态叠加原理这样的量子规律来实现经典计算机无法企及的运算速度。如果将经典计算机中的比特看作一个开关，那它要么处于“关”，要么处于“开”的状态（对应二进制中的 0 和 1）。而在量子世界中，一个开关则无需受此限制，它可以同时处于开关两个状态，因此在量子比特中，我们用处于“开”的概率和处于“关”的概率来定义一个态，这种两个态以一定概率组合正是态

叠加原理的核心。

参与构成叠加态的两个态被称为基本态。通常一个量子比特具有两个基本态， $n$  个量子比特就一共有  $2^n$  种可能状态，例如 2 个量子比特就有  $2^2=4$  种可能态。如果是  $n$  个经典比特，那么系统只能处于这  $2^n$  种可能状态之一，但是  $n$  个量子比特能同时处于  $2^n$  种状态。量子计算的威力来自巧妙设计的量子算法，能在运算过程中利用这种叠加态，实现指数倍于经典计算机的计算速度。

不过为了实现这一目标，我们需要足够多的量子比特，远远不止 2 个。在目前的量子计算领域，很多人追求的数量是 50 个量子比特，这意味着一共有 250 个可供操作的量子态，能够测试很多令人感兴趣的量子算法。最近，谷歌公司声称完成了这一里程碑式的成就，在一台具有 54 个量子比特的量子计算机上完成了随机抽样计算。不过，增加量子比特的数量并不像纸上谈兵那么容易，量子比特越多，系统就越容易失去具有量子特性的叠加态，塌缩成一个普通的经典比特。这是因为量子比特会受到外部环境的扰动而“退相干”。因此你想让越多的量子比特处于相干叠加态，系统就会越难长时间维持这一状态。这有些类似聚会，如果你在一间酒吧里放 10 个人，每个人都有足够的活动空间，不会相互干扰；如果你往里面塞 100 个人，必然挤成一团，迟早爆发冲突，量子比特也是如此。

与使用三个量子比特相比，我们可以使用两个量子众特，两者产生的可能量子态是差不多的。由此可知，与其费力增加座位，不如扩大房间，如果我们增加基本态的个数，就可以用更少的量子比特完成相同的任务。这正是研究高维量子系统的主要目标。

高维策略还有另一个优势：摆脱了二进制代码。比如一场足球赛，通常我们只想到两个结果：“赢”或“输”，这可以用两个量子态来表示，因此在量子世界中使用一个量子比特就足够了。但是，如果我们再加两个结果，比如说“弃权”和“平局”，那么一个量子比特就不足以描述所有结果，需要两个量子比特。但是在四态系统中，一个量子就够了，我们可以称其为“量子囚特”（ququad）。

对于相同的数据量，高维量子比特——或者称为量子多特（qudit）——只需要更小的系统就能满足计算需求。理论已经证明这个优势会给特定用途的量子计算机带来性能提升。例如，用所谓的量子密钥分配算法来实现无法被窃听的通信，通信双方可以用这种算法生成一个共享的密钥，只有他们能用这个密钥来解码信息。如果你能增加基态数量，提高量子比特的维度，生成的密钥在特定攻击下

就会更安全。除了增强密钥分发的安全性，量子多特还能保证产生的真随机数具有足够的随机性，这也有望在量子计算机中得到应用。

虽然好处不少，但量子多特系统也有弊端。实际上一个稳定的物理系统中不是所有基本态都容易获得，例如有时一个系统会偏向低能态，或者说基态（ground state），那么这时计算结果也会受此偏向性的影响。另一个不足之处在于，量子多特是一个较新的研究方向，缺乏相关的算法和工具支持。不过虽然有待解决的问题很多，但也正是这些开放的问题让这个领域保持着活力和潜力。

## 迈向量子计算机

接下来，如何从上述三缝实验得到一个可运行的量子众特系统？第一步是产生单光子。我们先将一束大功率激光照射到特殊的晶体材料上，此时每  $10^8$  到  $10^{10}$  个光子中，就会有一个通过名为下转换的过程变成两个低能光子，因为它们总是成对出现，所以只要用单光子探测器探测到其中一个光子，就暗示了另一个光子的存在。接下来我们可以用那个未被扰动的光子进行实验。

我的研究团队通过调控高能光子的性质，确保生成的低能光子对也具有相同的属性。然后，我们让高能光子穿过三狭缝装置，使其空间波函数带上三缝特征，继而它产生的低能光子对也有此特征，这使得两个低能光子进入一种“空间-二进制”叠加态，这个态是一个量子众态，三个狭缝的位置充当了三个基本态。

不过这样产生的量子众态离真正可用的量子计算机仍然有很远的距离。接下来。我们需要用这样的狭缝系统产生足够数量的量子众态，再将它们注入能进行“门操作”的器件之中，最后才能展开量子计算。这就是我们眼下关注的问题。我们必须设计出能完成上述任务的光学元件，还要将整个系统小型化，使之成为名副其实的可运行的量子计算系统。■

本文译者 庞玮在中山大学获得物理学博士学位，目前任教于广东工业大学，主要研究方向为凝聚态物理。

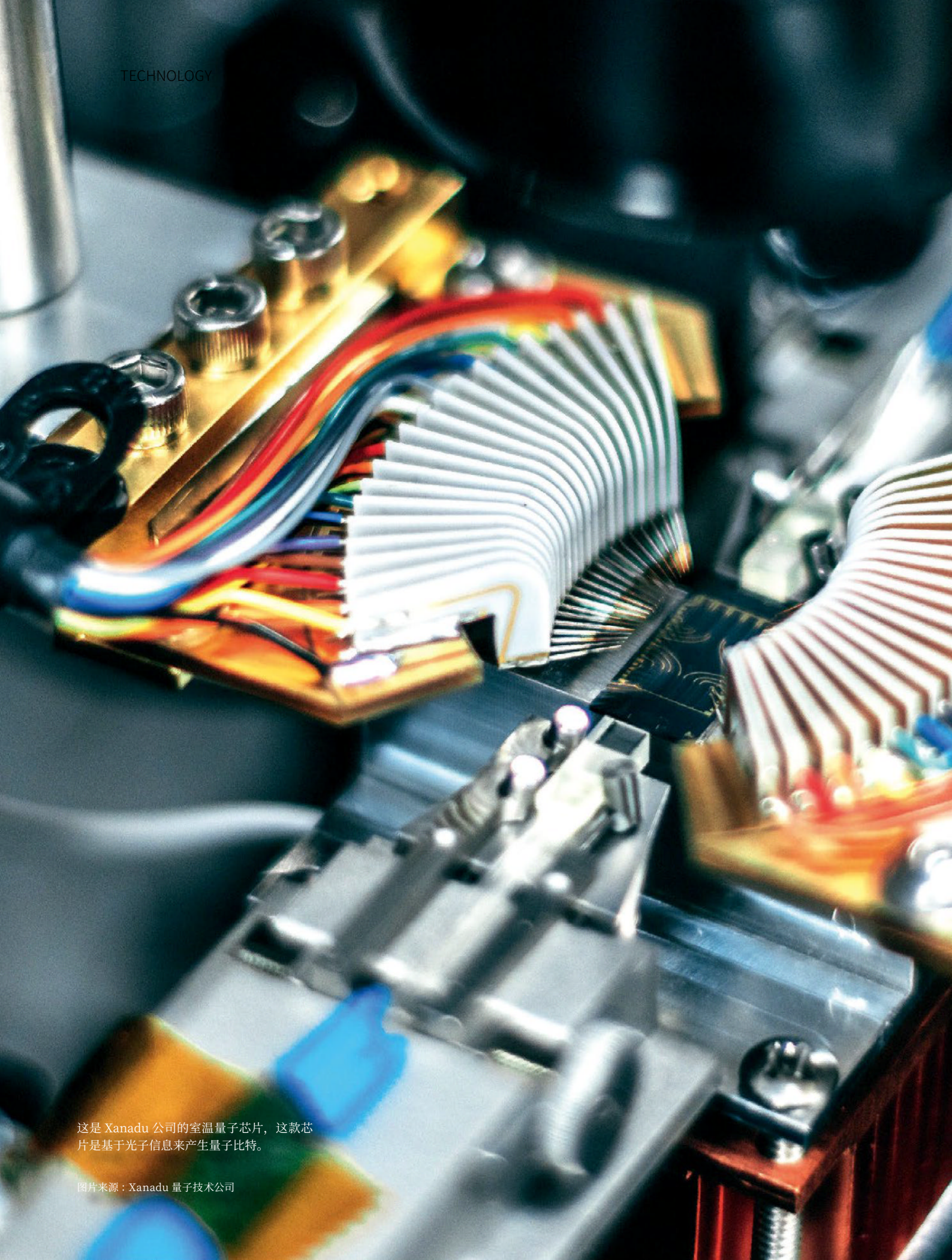
### 扩展阅读

**Ruling Out Multi-Order Interference in Quantum Mechanics.** Urbasi Sinha et al. in Science, Vol. 329, pages 418–421; July 23, 2010.

**Measuring the Deviation from the Superposition Principle in Interference Experiments.** G. Rengaraj et al. in New Journal of Physics, Vol. 20, Article No. 063049; June 2018.

**The Duality in Matter and Light.** Berthold-Georg Englert, Marlan O. Scully and Herbert Walther; December 1994.

TECHNOLOGY



这是 Xanadu 公司的室温量子芯片，这款芯片是基于光子信息来产生量子比特。

图片来源：Xanadu 量子技术公司



# 量子热潮： 资本和技术 的双重角逐

虽然量子技术还不够成熟，多用途量子计算机也还没有建成，但投资者们完全不在意，正向量子计算领域的初创公司投入大量资金。

撰文 伊丽莎白·吉布尼 (Elizabeth Gibney) 翻译 吴枫

**美**国物理学家罗伯特·舍尔科普夫 (Robert Schoelkopf) 对量子计算器件进行了超过15年的研究。在2015年，他认为是时候建造一台量子计算机了。这位物理学家和他的耶鲁大学同事开始积极向风险投资者宣传他们的初创公司“量子线路” (Quantum Circuits)，希望说服风险投资人向量子计算公司投资的时机已经成熟。两年内，他的团队吸引了1800万美元的投资。这足以建立一个专业实验室。这个实验室已经在2019年1月揭牌，坐落在耶鲁大学旁的一个科学园区内，雇佣了大约20位科学家和工程师。

舍尔科普夫对风险投资并不熟悉。但他不是唯一一位成功吸引到投资的量子物理学家。美国政府和大型科技公司很早之前就在支持量子方向的研究了，在过去几年更是宣布了几十亿美元的新投入。随着它们对量子计算支持力度的提升，其他投资者也开始急切地进入这个领域，以占抢先机。

根据《自然》杂志的分析，从2012年到2019年初，个人投资者在全世界至少注资了52家量子科技公司——其中很多是从大学衍生出来的。尽管其中有些投资金额没有公开，《自然》的分析还是给出了最近投资的大致规模。在2017年和2018年，各公司吸引了至少4.5亿美元的投资，是2015年和2016年的1.04亿美元的4倍以上。风投是资金的主要来源。硅谷的许多风投公司已经全面进入这个领域，“其他风投公司也紧盯着量子，”克里斯托弗·门罗（Christopher Monroe）介绍说。门罗是马里兰大学的一位物理学家，他在2015年参与创建了量子计算公司IonQ。

几乎没有人怀疑量子技术最终会带来有用甚至革命性的产品。除了政府的投入，上百个公司也争先恐后地冲进了这个领域，这包括很多大牌公司，比如IBM、谷歌、阿里巴巴、惠普、腾讯、百度和华为。它们正在各自开展研究。据报道，谷歌已经建造了一台量子计算机，在一个特定的问题上它大幅超越了迄今最好的经典计算机——即取得了“量子霸权”。利用量子技术的安全加密技术已经开始商用，商用产品还包括一些基于量子技术的传感、成像或精密测量产品。坐落于加拿大伯纳比（Burnaby）的D-Wave公司甚至已经在出售一种基于量子效应的计算机，但这些计算机只能解决一类特殊的优化问题。

但是，风险投资家们更倾向于投资他们认为能彻底改变整个游戏规则的技术，比如一台能解决迄今无法解决的问题的多用途量子计算机。对于投资者来说，现在每年投入这个领域的资金还不小——和2010年以前对人工智能的风险投资规模差不多。（到2018年，美国在人工智能方面的风险投资已经达到93亿美元。）但是对于一个不成熟的、没有多少实际产品的领域来说，这些投资还是相当可观的。有些软件公司已经在销售一些基于量子算法的软件，

虽然运行这些软件的硬件还不存在。

很多人担忧这最终会成为一个泡沫。道格·芬克（Doug Finke）说，“现在有太多炒作。”芬克是美国加利福尼亚州奥兰治县的一位计算机学家，他运营着一个追踪行业发展的网站——量子计算报告（Quantum Computing Report）。芬克介绍，量子技术已经有了很大的发展，但是能够进行多种计算的机器还只存在于几十年以后的未来，即使那时，编写能充分利用它们能力的算法也是很困难的。

有些风险投资者希望在5~10年内，通用量子计算技术能有大的突破。有些则希望有足够的进展以至于其他投资者会收购他们的公司。还有一些投资者希望科学家能为不完善的小型量子计算机（它们被造出来的时间可能更早）找到实际的应用。这些机器只能完成一些特定的任务，比如模拟某个量子化学反应或优化一个金融模型。它们的表现可能不如具有无限计算资源的经典计算机，但是依然是一个具有市场竞争力的产品。

美国科学院、工程院、医学院在2018年12月的一份联合报告中警告说，如果这些早期计算机产品不能尽快产生效益，这个领域可能会面临投资枯竭的“死亡之谷”。有些研究者担忧会出现“量子冬天”，类似于以前出现过的“人工智能冬天”，即狂热之后的平静。芬克说，现在有迹象表明，美国公司吸引私人投资的难度在增加，他在2019年追踪到的10起融资有7起是在美国之外。加拿大多伦多的量子计算公司Xanadu的创始人克里斯汀·威德布鲁克（Christian Weedbrook）说，“人们正在创造更多的价值，只是似乎也掺杂着很多炒作。”

## 向量子比特砸钱

量子技术已经改变了我们的日常生活。计算机、智能手机、医学成像、激光和超导全部来自二十世纪早期的科学革命。那时物理学家通过研究原子内部的运动建立了量子力学。但是今天的新一代量子技术更进了一步，它们操控的是以前没有利用过的通常很脆弱的量子现象。这包括叠加态（粒子在被测量以前同时处于几个量子态）和纠缠（不同量子系统的性质，比如粒子的自旋和极化，会神

### 精彩速览

过去近10年中，量子技术的快速发展引起了很多投资者的注意，这个领域也出现了很多融资案例，为了量子计算、量子通信等技术的发展带来了大量资金。

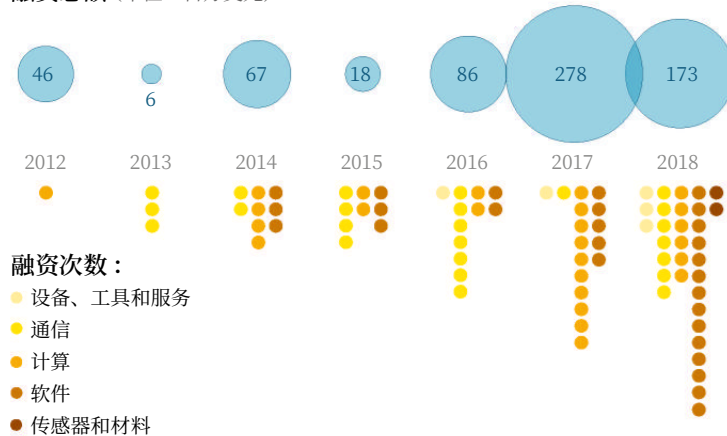
在目前的量子技术发展中，北美和中国处于相对领先的地位：中国在量子通信方面占据了主导地位，而北美则在量子计算方面领先。

但瓶颈依然存在：这个领域还缺少足够多的、优秀的量子工程师。

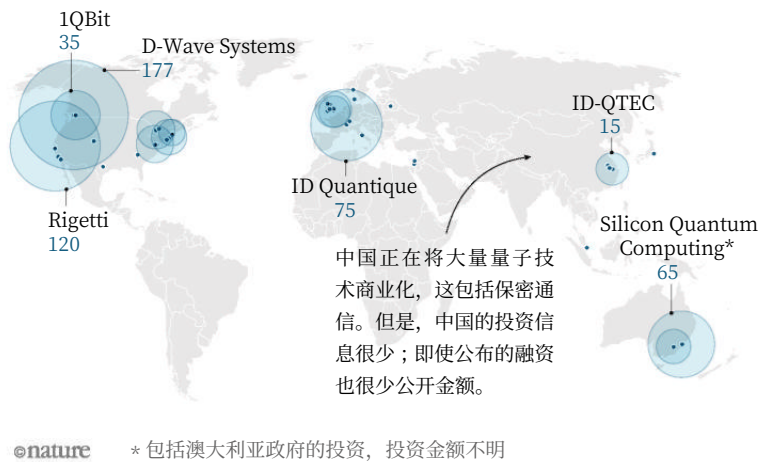
## 投向量子技术的资金

越来越多的量子技术公司从私人投资者那里募集资金，特别是在量子计算和量子软件领域。

融资总额（单位：百万美元）



2012-2018 年的融资案例（单位：百万美元）



冷却到几乎绝对零度的超导小环。这是研究得最深入的量子计算硬件，科技公司谷歌和 IBM 也是利用相同的技术。（大型科技公司应该也投入了巨额研究经费，但它们不对外公布具体数额，所以不包含在我们的分析里。）谷歌最大的量子计算机有 72 个量子比特，但是一台通用量子计算机大约需要 100 万个量子比特。门罗的公司利用了另一种发展了很久的技术：用磁场囚禁离子，然后用激光读出它们的量子态。

其他公司的硬件都还处于早期发展阶段，但是可能更容易实现大规模生产。克里斯托夫·尤尔恰克（Christophe Jurczak）说，这些公司正在受到更多的关注。尤尔恰克是 Quantonation 公司的创始人和管理合伙人，这是一家位于巴黎的风投公司，专注于投资“深物理”方面的初创公司。自 2017 年以来，开发基于光和硅的量子比特的公司已经吸引了几千万美元的风险投资。

一家基于美国加利福尼亚州帕洛阿尔托的公司 PsiQuantum，放言要在 8 年内超越所有竞争者，建造一台拥有上百万量子比特的计算机。这家公司的想法不同寻常：利用刻蚀在硅芯片上的光波导来产生量子比特。PsiQuantum 公司的 CEO 杰里米·奥布莱恩（Jeremy O'Brien）说，这个方法的优势是这些量子比特可以在现有的半导体工厂里制造。

秘地关联起来)。这些量子技术包括无法破解的加密方式、超灵敏的探测器件和新的成像方式。如果科学家最终能成功，最大的游戏规则改变者是通用量子计算机。利用很多纠缠的量子比特，这样的机器在进行某些计算时能比最好的经典计算机快很多，比如搜索和整数因子分解。门罗说，“有一大类问题只有量子计算机才能有效解决。”

为了分析这个领域的融资情况，《自然》参考了市场研究网站上发布的初创量子技术公司的细节、各种咨询报告和西雅图一家市场研究公司 PitchBook 提供的信息。

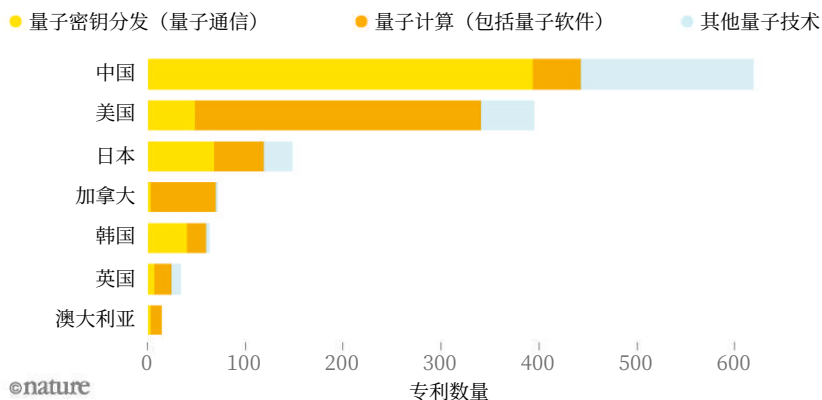
开发物理量子比特（量子计算的硬件）的公司吸引了绝大部分的风险投资。舍尔科普夫的公司的量子比特是被

2016 年，奥布莱恩放弃了他在英国布里斯托大学的永久教职，然后和他人共同创立了这家公司。尽管学术圈里很多人对此持质疑态度，但奥布莱恩说，从吸引到的投资来看，他的公司是量子公司中“领跑者之一”。这个公司大约雇佣了 100 名员工，这似乎意味着它已经吸引了大约几百万美元的投资，但是公司没有公开宣布具体金额。

量子软件公司也吸引了很多投资。从 2012 年到 2018 年，20 家这样的公司通过 28 次融资吸引了 1.1 亿美元的投资。这些公司正在发展算法，编写可以在量子计算机上运行的软件，来优化供应链或为新药开发模拟化学分子。投入量子软件开发的资金主要来自大公司的战略投资部

## 量子技术专利

通过统计 2012 年以来量子技术方面的专利申请情况, 分析结果表明, 中国在量子通信方面占据了主导地位, 而北美则在量子计算方面领先。



量子软件公司也吸引了很多投资。从2012年到2018年, 20家这样的公司通过28次融资吸引了1.1亿美元的投资。这些公司正在发展算法, 编写可以在量子计算机上运行的软件, 来优化供应链或为新药开发模拟一些化学分子。

门。马特·约翰逊 (Matt Johnson) 说, 这些公司投资初创公司, 既有发展技术的想法, 也有创造利润的需求。约翰逊是位于帕洛阿尔托的量子软件公司 QC Ware 的 CEO 和创始人之一。他的公司在 2018 年获得了 650 万美元的投资。约翰逊说, 完全追求利润的风投对他们不感兴趣。

几家初创软件公司都已经获得了上千万美元的投资, 包括位于美国马萨诸塞州剑桥市的 Zapata Computing 公司、加拿大温哥华的 1QBit 公司、英国的 Cambridge Quantum Computing 公司。QC Ware 的商业发展主管扬尼斯·耶姆弗罗斯 (Yianni Gamvros) 说, 尽管还没有人从量子算法中赚到钱, 但是有些风投公司愿意投资发展它们。他的公司已经与航天工业和金融界的机构签订了合同: 航天机构的计划总是向前看几十年; 而在金融界, 任何细小的优势都会带来巨大的利润。耶姆弗罗斯说, 他们公司正在开发的算法即使在初级的量子计算机上运行也可能解决这些行业最大的“瓶颈”问题。目前, 航天工业和金融界的公司仍然在感受人工智能对行业的冲击。“这些小的

投资或许会让它们为下一个可能的巨大冲击做好准备,” 耶姆弗罗斯说。计算不是唯一获得投资的量子技术。位于巴塞尔的瑞士初创公司 Qnami 在 2018 年获得了 13 万美元的投资, 这家公司想用人工金刚石中的单电子开发量子磁显微镜。至少还有两家公司也获得了少量私人投资来开发成像或传感技术。

量子通信也是一个热点领域, 但很难计算这个领域获得了多少投资。量子通信是利用纠缠的光子产生加密密码, 以保证数据传输的安全性。在这个领域, 有 13 家公司宣布了 27 次融资, 但是只有一半的案例公布了融资金额。这个领域的领跑者是中国的两家公司——位于安徽合肥的国盾量子 and 位于安徽芜湖的问天量子, 它们都没有公布获得了多少投资。在瑞士, 日内瓦的 ID Quantique 公司在 2007 年安装了一个短距离系统, 为当地的选举信息提供量子加密。现在, 中国的工程师正将量子通信全球化:

2014 年, 中国科学家安装了一条 2000 千米长的量子通信线缆, 现在他们仍在进一步发展这条线缆; 2016 年, 中国发射了第一颗量子通信卫星后, 目前正在建立一个量子通信卫星网络。如果量子计算机发展起来了, 并能够破解最好的经典加密算法, 那么量子加密可能是唯一能保证通信安全的办法。

### 投资地图

长期以来, 在吸引风险投资方面, 北美一直是世界的领跑者。《自然》的分析表明, 在针对量子技术的投资中, 北美仍占据了主导地位。但是, 投资热点区域不局限于硅谷。加拿大在 D-Wave 公司的带领下, 已经获得了 2.43 亿美元的投资, 其中 D-Wave 一家就获得了 1.77 亿美元的投资。尤尔恰克介绍, 滑铁卢和多伦多两个学术中心已经形成了支撑量子公司的完整生态环境, 这获益于公共和慈善投入、税收优惠和成功的孵化器。他说, “在那里, 你能感到活跃的气氛和各种联系。” Xanadu 公司的威德布鲁

克认为，美国对移民的打压让加拿大对有才能的量子物理学家更具吸引力。他说，“我们看到人才正在回流到加拿大，对我们来说这太棒了。”

《自然》的分析数据中，最大遗憾是没有来自中国的投资信息。英文媒体和西方市场研究机构很少涉及中国的融资，因此我们的分析可能会错过很多中国的融资信息。在我们的数据中，中国公司每 10 个成功的融资案例只有一个会公布具体的融资金额。中国科技大学的量子物理学家潘建伟说，中国的很多量子技术正在商业化。国盾量子公司就是基于他的实验室的成果在 2009 年创立的。

专利数量提供了另外一个可以度量中国活跃度的指标。欧盟在意大利伊斯普拉 (Ispra) 有一个联合研究中心，该中心的数据显示，在 2012 年和 2017 年之间，量子技术专利中有 43% 是由中国的公司和大学申请的。对于专利，中国“一直都非常积极，特别是在通信方面，”美国量子经济发展联盟的副主任西莉亚·默茨巴赫 (Celia Merzbacher) 说。

在世界的其他地方，私人投资总是追随研究热点——在澳大利亚、新加坡、英国和欧洲大陆都有零星的投资。欧洲的投资者大多不愿冒太多风险，而且他们的资金也不多。但是在 2018 年，欧盟发起了一个 10 亿欧元（大约 11 亿美元）的引领计划，以保证欧洲在基础研究上的实力会转变成商业成果。通过类似的公开研究计划，美国、英国、日本、瑞典、新加坡、加拿大和中国都在向量子技术领域投入几十亿美元的资金。

## 瓶颈与担忧

大多数创立了公司的大学教授，比如舍尔科普夫，依然保留了在大学里的职位，继续开展研究，以期在未来能获得更多突破。只有少数，比如 PsiQuantum 的奥布莱恩，完全离开了学术界。即使这样，量子技术公司的激增意味着现在的市场上没有多少合格的量子工程师可以供应给这些公司——这样一来，整个行业可能会把这类人才从大学校园“吸干”，人工智能领域就发生过类似的事情。威德布鲁克说，“我想我们正在走向一个令我们担忧的拐点。”更多的训练是必要的：美国特朗普在 2018 年 12 月签署了总经费为 12 亿美元的“美国量子计划” (National Quantum Initiative)，其中很大一部分经费就是用于培养量子相关的新一代人才。

同时，有些公司在技术方面夸下了海口，但实际上它们做不到，门罗说，“在这个领域，炒作的事情常有，很

多言辞一看就有些荒唐，但仍然有些公司通过这种方式获得了投资。”

科学家不愿具体指明哪些是炒作。但是，威德布鲁克指出，对量子软件公司的投资规模就有泡沫的迹象，这些公司基本没有物理设备和实验室的花费，但有些软件公司获得了上千万美元的投资。“获得的资金之多令人惊叹，所以这意味着这里有炒作。”威德布鲁克说。他的公司既发展量子硬件也发展软件。

但是，量子软件公司反驳说，高强度的研发，招聘优秀的人才，都需要很多资金。克里斯托弗·萨瓦 (Christopher Savoie) 说，他们这类公司必须要有足够的资金，支持公司两年以上的运营，而一个典型的投资周期就是两年。萨瓦是量子软件公司 Zapata Computing 的 CEO，这家公司在 2019 年获得了 2100 万美元的投资。他说，这是因为量子软件需要的硬件还不知道什么时候才会出现，公司需要资金把科学家从稳定的学术岗位吸引过来。

并不是所有人都对行业的发展充满担忧。奥布莱恩说，尽管风投公司和研究人员的交往受到各种风声的影响，但他还没有看到这导致了糟糕的决定。同时他认为，虽然量子物理可能看起来非常反直觉，但这些技术并不比其他技术更难理解。他说，“(量子物理) 确实很古怪和不合常理，但是晶体管里发生的事情同样古怪和不合常理。”

芬克说，如果 2019 年的数据显示美国私人对量子技术的投资慢下来了，那可能是由于担忧“量子冬天”或量子技术公司需要太长的时间才能盈利。他继续评论道，大量初创公司间的竞争可能也是一个影响因素。默茨巴赫认为，几乎任何一个高科技市场都经历过炒作期，她预期“令人应接不暇的报道和浮夸的宣传”会很快消失。有很多坚实的证据表明，量子技术的发展可以改变未来的游戏规则。她说，“这是一个时间问题，不是是否会发生的问题。”


舍尔科普夫说，有些公司许诺在较短时间内做出重大进展，这其实是不切实际的。但是，他又认为现在对通用量子计算机实现时间的估计过于悲观。他说，“你在十年前根本无法预言我们现在已经取得的进展。”硬件会有更多创新，软件将找到解决问题的更好方法。两者加在一起意味着，“我们将比人们的预期更快地发展出有用的量子计算机。” ■

本文作者 伊丽莎白·吉布尼是《自然》杂志的记者。

本文译者 吴飙是北京物理学学院量子材料科学中心的教授，他的研究方向是凝聚态理论物理。



摄影：蒂姆·弗拉赫 (Tim Flach)



# The Surprising Power of the Avian Mind

## 鸟类的惊人脑力

有些鸟类会使用工具，并且能在镜子中  
认出自己。它们如此小的大脑是如何完成如此壮举的呢？

撰文 奥努尔·京蒂尔金 (Onur Güntürkün)

翻译 贾海 审校 刘阳



奥努尔·京蒂尔金是德国波鸿鲁尔大学的生物心理学教授。他研究人类、鸽子和其他动物的认知神经科学。

在德国波鸿鲁尔大学（Ruhr University Bochum）的实验室里，我和同事把一只名为格蒂（Gertie）的喜鹊从笼子里取出，用一块布蒙住它的头，然后将一张黄色贴纸贴在它脖子处的黑色羽毛上，但格蒂看不到这张贴纸。然后，我们把它放进装有一面镜子的试验笼里，并在隔壁的房间通过监视器观察它的举动。格蒂看了眼镜子后，突然发了疯一般用力挠自己的脖子、在地板上蹭，试图把贴纸蹭掉。终于蹭掉贴纸后，它又对着镜子看了一眼，确认身上没有贴纸才冷静下来。在此之前，人们从未在鸟类中观察到这一现象。而当猿类做出这种行为时，科学家认为，它反映了猿类的自我认知能力。

当我们在 2006 年观察到上述现象时，我们在兴奋之余也意识到一个问题：如果我们错了呢？为什么格蒂不是因为感觉脖子上有异物，才想要取下贴纸？为此，我和赫尔穆特·普赖尔（Helmut Prior）、阿丽安·施瓦茨（Ariane Schwarz）做了进一步测试。这次，试验的其他变量保持一致，只是我们将贴纸的颜色换成了格蒂几乎分辨不出的黑色；而在另一项试验中，我们给它再次贴上黄色贴纸，但这次笼子里没有放置镜子。在这两种情况下，格蒂都没有试图蹭掉贴纸。只有当格蒂在镜子里看到羽毛上的标记时，才会出现扯标签的行为。在我们的测试中，其他几只喜鹊也有类似的行为，所以我们得出结论：喜鹊似乎知道，它们在镜子中看到的是自己。

除了人类，只有少数脑容量较大的哺乳动物（如黑猩猩、猩猩、印度象和宽吻海豚）在测试中表现出了类似的自我认知行为。但最近的研究却发现，包括喜鹊在内的鸦科动物和鹦鹉不仅能在镜子里认出自己，还具有许多复杂的认知能力。这些新发现动摇了一个世纪以来一直占主导地位的理论，即复杂认知能力的出现需要较大的大脑皮层。由于鸟类的大脑皮层较小，科学家一度认为，它们不应该

在自我识别或其他认知测试中表现出色。但过去 20 年对鸟类认知能力的研究表明，虽然鸟类和人类大脑的生理机能存在巨大差异，但经过数亿年的演化，两者形成了极其相似的认知能力，而这些认知能力正是高阶学习、自我意识和决策制定的基础。

### 多样的认知演化

要理解生物学家为什么会认为鸟类缺乏认知技能，必须追溯到 19 世纪末期路德维希·埃丁格（Ludwig Edinger）开展的神经解剖学实验。埃丁格是德国法兰克福大学的神经学家，一生致力于揭示脊椎动物的大脑和意识是如何演化的。他相信演化是一个循序渐进、从原始到复杂的过程，如从鱼类到两栖动物、爬行动物，再到鸟类和哺乳动物，认知水平应该呈上升趋势。

埃丁格发现，大脑的多数基本组成部分都是脊椎动物共有的，但脊椎动物的大脑似乎在演化中经历了重大改变，这可能是认知能力增强的原因。大脑主要由两个部分组成：大脑皮层和皮层下区。哺乳动物的大脑皮层由 6 层皮质结构组成，这也是哺乳动物形成认知的主要部位，另外还包含杏仁核和海马体。相比之下，皮层下区看起来像是一个均一的神经元模块，可以储存和激活之前学习的运动模式。但在鸟类中，情况却完全不同。有人在按照埃丁格的方案解剖鸟类大脑时，发现鸟类的大脑皮层与皮层下区非常相似。因此，埃丁格把鸟类的大部分大脑皮层误认为是皮层下区，并得出结论：鸟类有一个巨大的皮层下区，但大脑皮层却很小，因此它们的认知能力应该非常有限。

作为那个年代的杰出科学家，埃丁格的理论令人信服地解释了为什么哺乳动物在认知方面表现优秀。但现在看来，这是多么明显的错误！他关于鸟类的谬论流传了一个多世纪，直到 21 世纪初还在深刻影响着神经科学领域。

科学家曾认为鸟类大脑功能较弱的另一个原因是，鸟类大脑的质量远小于哺乳动物。鸵鸟的大脑是鸟类中最重

#### 精彩速览

鸦科动物、鹦鹉等鸟类展现出了复杂的认知能力，包括因果推理、思维灵活性、计划能力、社会认知和想象力。

这些认知能力令许多科学家感到惊讶。由于鸟类的大脑很小，所以科学家一度认为鸟类不应该具有这些认知能力。

鸟类通过高密度的神经元弥补了大脑质量的不足。鸟类和哺乳动物各自独立演化出相似的脑区和神经网络，用于发挥认知功能。





喜鹊可以认出镜中的自己，并蹭掉脖子上的标签。

的，达到 26 克，相比之下黑猩猩的大脑重约 400 克，人类的大脑约为 1300 克，而抹香鲸的大脑更是重达 9000 克。至少在灵长类动物中，大脑大小与认知能力相关。

人们认为鸟类的认知能力非常有限。但是，为什么喜鹊格蒂能通过镜像测试，把大多数哺乳动物甩在身后呢？要么是鸟类其实没有那么聪明，要么就是我们一直认为的“认知需要较大的大脑”的观点出错了。

### 会用工具的乌鸦

从生活在南太平洋的新喀鸦（New Caledonian crow）身上，科学家找到了线索。这种乌鸦主要通过树皮缝隙间找寻幼虫为生。1996 年，当时任职于新西兰梅西大学的加文·亨特（Gavin Hunt）报告说，新喀鸦能制造两种不同的工具来捕捉猎物。这些工具的制作过程非常复杂，亨特甚至将其与旧石器时代中期（30 万~4 万年前）人类制作的石器相比较。

有一些动物看上去会使用工具，但通过一定的测试，科学家发现其中大部分行为是先天的程序性反应，而不是对问题的认知评估。新西兰奥克兰大学的亚历克斯·泰勒（Alex Taylor）和德国马克斯·普朗克人类历史科学研究所的拉塞尔·格雷（Russel Gray）研究了新喀鸦使用工具的心理基础。他们的试验证明，这些乌鸦可以通过推理潜在的因果关系来解决一系列问题。它们能推测未看见的物体并预先制定计划，还能推断出观察到的事件之间的因果关系。

然而，乌鸦在理解自身行为的物理原理时，确实存在一些局限性。它们能通过物体在风中的摇摆方式来推断物体的重量，但有时却不能理解更重的物体在坠落时产生的冲击力更大。总的来说，新喀鸦具有大部分但并非全部的物理认知。

而它们的社会认知能力如何呢？乌鸦可以在一个团队中工作，但它们不明白如何利用与同伴的合作，也就是“社交工具”来加速完成一项任务。它们会观察其他乌鸦使用的工具，但在理解相关动作的顺序时会忽略一些关键细节。它们似乎是观察工具如何工作，然后根据记忆逆向推测如何制造这个工具，而不是直接向其他乌鸦学习。乌鸦虽然拥有非凡的物理认知能力，但并没有在社会交际中演化出相应的心理认知能力。这样的限制因素是新喀鸦特有的，还是也适用于其他鸟类？下面对渡鸦（raven）的测试给出了答案。

### 渡鸦的社会学

没有配偶或领地的年轻渡鸦会形成一个临时性群体，聚集在主要食物资源（例如动物尸体）的周围。当大型食肉动物看管着它们储藏的食物时，渡鸦会召集来其他成员，通过转移动物注意力的策略获取食物。而为了“防盗窃”，它们还会采取多种狡猾的策略来防止其他鸟类发现它们的食物储备点。同时，它们会观察其他鸟类，以便窃取任何未被看管的食物。处于繁殖期的渡鸦夫妇会保护其领地不受其他渡鸦侵犯。在这样的战斗中，无论是渡鸦夫妇还是

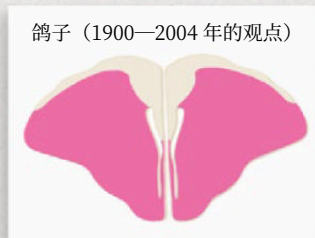
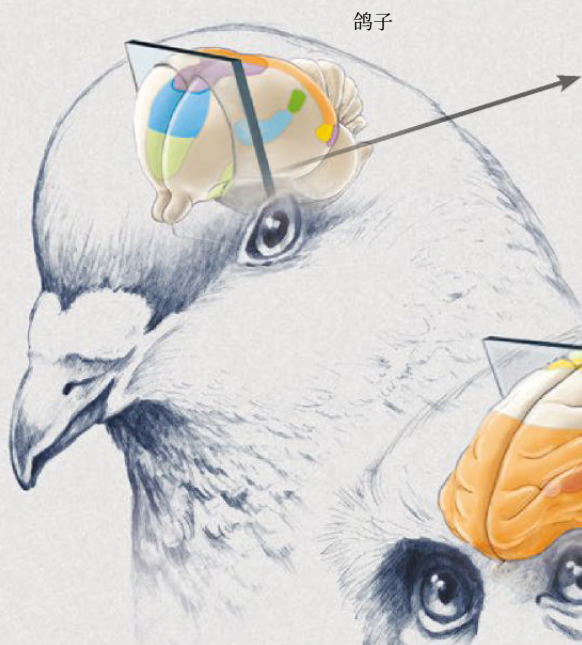
## 鸟的脑力

最初，鸟类袖珍的大脑让动物学家认为，它们根本不可能那么聪明。但现在，我们对鸟产生了全新的认识。科学家发现，它们演化出了一种结构不同于哺乳动物的神经组织，但产生的认知能力却与后者类似。

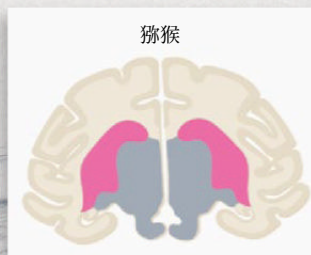
### 对鸟类大脑的认知转变

在2004年之前，人们一直认为鸟类大脑中只有一小块区域属于大脑皮层，因此鸟类不具有复杂的认知能力。在修正的观点中，鸟类大脑皮层占脑部面积的比例与猕猴相当。

○ 大脑皮层    ● 皮层下区    ● 其他区域



猕猴



人



#### 感觉系统

- 视觉通路 1
- 视觉通路 2
- 听觉
- 躯体感觉系统

#### 情绪 / 记忆系统

- 海马体
- 杏仁核

#### 前额叶 / 弓状皮质尾外侧区

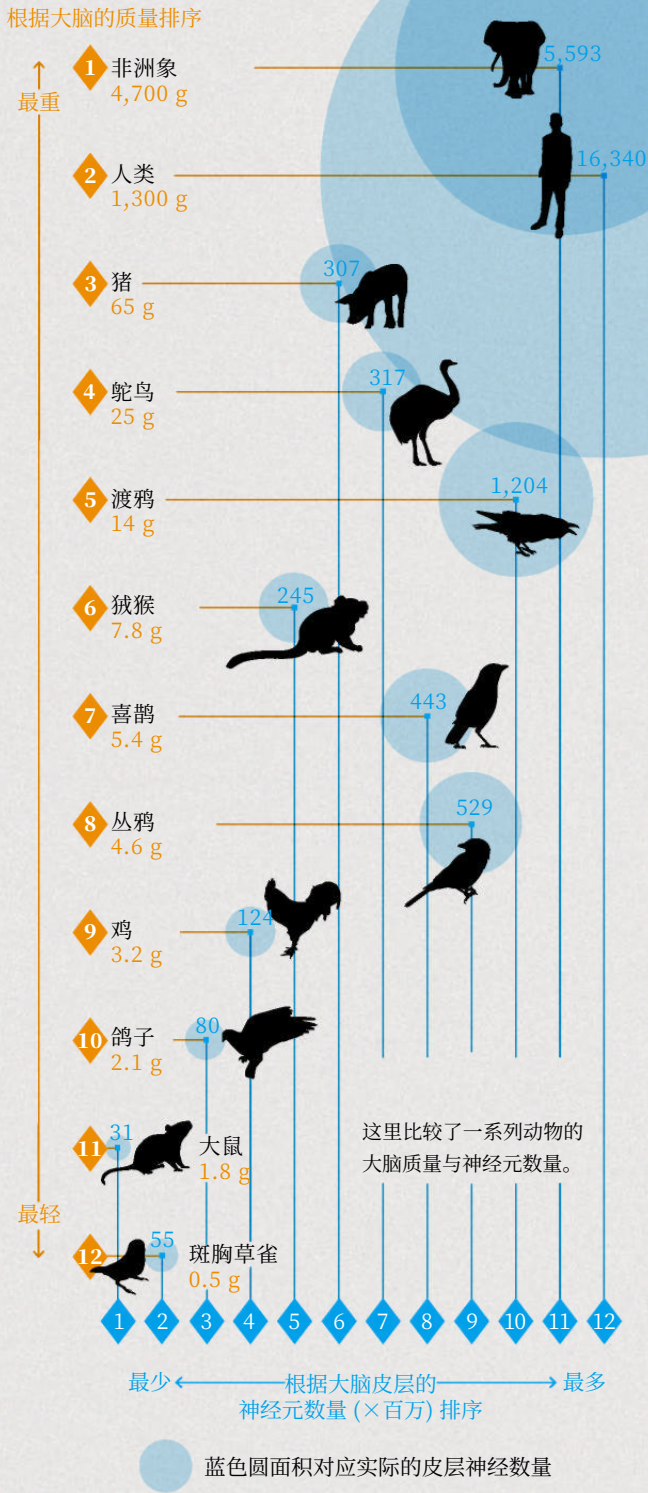
- 运动系统

### 鸟类的认知处理中心

鸟类的大脑具有与灵长类动物类似的感觉和认知处理中心，但在大脑中的相对位置并不相同。例如，鸟类感觉和边缘运动系统的整合中枢位于大脑后侧的弓状皮质尾外侧区，类似于灵长类动物大脑前端的前额叶皮质。

### 不同动物的大脑比较

鸟类是如何获得认知能力的？它们拥有的神经元数量的确比预期的要多，但与哺乳动物仍有差距。一个重要原因是，鸟类大脑中的神经元分布更密集，神经元间信号传递的距离较短。因而，较短的信号传递时间可以弥补神经元数量的不足。



制图：MSJONESNYC

非繁殖者，一旦拥有发达的社交网络，它们赢得竞争、保护食物的机会都将大得多。这些由奥地利维也纳大学的托马斯·布格尼亚尔 (Thomas Bugnyar)、美国佛蒙特大学的贝恩德·海因里希 (Bernd Heinrich) 等人领导的研究表明，渡鸦具有高度发达的社会策略。

所有这些活动的先决条件是，渡鸦能凭直觉理解其他鸟类所属的社交网络，以及日常遇到的任何个体的可能意图。在战斗中处于劣势时，它们会使用社交网络来帮助自己，如当同伴在附近时，它们会不断发出求救信号从而提醒同伴。但当其他渡鸦的同伴靠近时，它们会保持沉默。与其他渡鸦的联系越多，阶级地位就会越高，因此渡鸦会跟踪相互联系的同类，并对它们的联络采取侵略性的干预、破坏。这样，它们就可能阻止竞争者缔结新的盟友，进而提升自身的阶级地位。

其他场合也需要社交能力。当渡鸦出去追踪其他鸟类时，另一只渡鸦可能已经窥探到了它的食物藏匿点。渡鸦似乎能理解别人能看到或看不到的东西，甚至能评估其他鸟的知识水平，这就是所谓的心智理论。如果有必要，渡鸦会把潜在的窃贼带到一个空旷的地方，假装那里有储备的食物。与这些社交技能相辅相成的是渡鸦的高度自控能力，以及对于在与其他动物打交道时何时使用武力、何时退缩的深刻理解。

瑞典隆德大学的坎·卡巴达伊 (Can Kabadayi) 和马蒂亚斯·奥斯瓦特 (Mathias Osvath) 表示，渡鸦能够为未来的事情做好规划。例如，相比于可以立即得到的小奖赏，渡鸦更愿意选择一件工具 (例如一块石头)。有了这些工具，第二天它们就可以通过与其他鸟类的交易或直接使用工具来获得更大的回报。总之，渡鸦只有 14 克的大脑赋予它们各种复杂的认知能力。

### 鸚鵡和鸽子的智慧

新喀鸦和渡鸦只是鸦科动物拥有认知能力的两个例子。英国剑桥大学的尼古拉·克莱顿 (Nicola Clayton) 通过 20 年的研究发现，丛鸦 (scrub jay) 在多种复杂的认知测试中都表现出色。最重要的是，这种鸟类是除人类外，首个被证实能进行情景记忆的动物。情景记忆需要动物能回忆过往生活中的事件，并想象未来的任务。

事实上，一些鸚鵡可以达到除人类外其他灵长类动物的智力水平，如传奇的灰鸚鵡亚历克斯 (Alex)。美国哈佛大学的艾琳·佩珀伯格 (Irene Pepperberg) 和克莱顿一起开创了对鸚鵡和鸦科动物的认知研究，她们发现亚历

克斯能区分多达 8 种物体、动作和数字。研究人员还证实，亚历克斯能理解相对大小的概念、辨别物体是否存在，并找出物体个体属性的相似性和差异。亚历克斯甚至可以在数字任务中，应用“零”的概念进行简单的加法运算。

尽管这些研究令人印象深刻，但灵长类科学家提出了一个关键问题：相比于灵长类广泛的认知能力，这些鸟类的智慧是否仅仅局限于几个特定的认知领域呢？如果这是真的，那么鸦科动物和鹦鹉应该无法通过大量其他类型的认知测试。为了探究这个问题，我和布格尼亚尔寻找了关于灵长类动物的各种认知类型的研究，以及对鸦科和鹦鹉的类似研究。在收集、分析了 8 种复杂认知领域中所有已发表的相关研究后，我们得出结论：鸦科动物和鹦鹉的认知范围及水平都可以与其他灵长类动物相提并论。

众所周知，鸦科动物和鹦鹉都是聪明的鸟类，但其他鸟类，例如鸽子的认知能力又如何呢？喜鹊、新喀鸦和渡鸦的大脑质量分别约为 5.5 克、8 克和 14 克，而鸽子仅为 2 克，与大鼠的大脑质量相当。但即使是这些鸽子，也比人们此前猜测的更聪明。洛伦佐·冯·费森 (Lorenzo von Fersen) 和胡安·德利厄斯 (Juan Delius) 证明了鸽子可以记住 725 个抽象图形，并且会运用传递关系推理逻辑（例如已知 A 大于 B，B 大于 C，可以推出 A 大于 C）。

最近，我和新西兰奥塔哥大学的达米安·斯卡夫 (Damian Scarf)、迈克·科隆博 (Mike Colombo) 共同发现，鸽子可以学会判断 4 个字母的排列是否为一个英语单词。这 4 个字母包含一个元音字母和三个辅音字母。精通这项任务的鸽子在学习拼写策略后，能运用该策略区分新的单词和非单词集合。总的来说，鸽子在这些任务上的认知表现与鸦科动物和鹦鹉相似，但并非所有任务都是如此。因为相比于鸦科动物和鹦鹉，它们学习一项任务花费的时间更长，

并且需要接受更多训练才能掌握一项抽象规则。因此，尽管我们不能说所有鸟都像乌鸦或鹦鹉一样聪慧，但它们至少比以前认为的更聪明。

这些鸟类是如何利用只有少量大脑皮层的小脑袋，来完成不同类型的认知任务的？答案是，它们的大脑结构存在一种补偿机制。事实上，从 20 世纪 60 年代开始，加利

福尼亚大学圣迭戈分校的哈维·卡滕 (Harvey Karten) 就采用新方法开展了一系列研究，证实埃丁格在鸟类身上发现的所谓“皮层下区”中，绝大部分一定是大脑皮层。他指出，鸟类大脑中连接皮层与其他脑区的感觉和运动通路，与哺乳动物大脑皮层中的通路相同。2002 年，一支由神经科学家组成的国际评判小组评估了已有的研究证据后确认，鸟类的大脑皮层确实比之前认为的要大得多。

哺乳动物的大脑皮层并不完全是皮质，还包括海马体、部分杏仁核等。鸟类大脑皮层有多少类似于皮质，仍是一个有争议的问题。一些研究人员确信大多数鸟的大脑皮层与某些皮质层或皮质的细胞类型相似，但另一些研究人员则认为大多数鸟的大脑皮层只与杏仁核和其他非皮质的大脑皮层区域相似。需要强调的是，两种动物不同的大脑结构可以通过趋同演化 (convergent evolution) 发挥相同的功能。

哺乳动物前额皮质 (PFC) 在复杂认知的各个方面都起着关键作用。而在 20 世纪 80 年代初期，丹

麦哥本哈根大学的杰斯珀·莫根森 (Jesper Mogensen) 和伊万·迪瓦茨 (Ivan Divac) 报告称，鸽子大脑皮层后的一个区域与哺乳动物的前额皮质相似。利用这条关于鸟类认知神经基础的线索，我开展了一系列的研究。而这些研究确实可以证明，鸟类的弓状皮质尾外侧区 (NCL) 和人类的前额皮质一样，能处理传入的感觉信息，并向运动系统发出指令。与前额皮质一样，鸟类的弓状皮质尾外



鸟类的认知测试：正在标记颜色的灰鹦鹉 (1)；使用工具的乌鸦 (2)；一只展示记忆能力的丛鸦 (3)。

侧区在所有认知任务中也起着关键的作用，该区域的神经能编码认知功能，如作出决策、遵守试验规则以及在选择前评估各选项。

尽管弓状皮质尾外侧区和前额皮质具有高度相似性，但根据遗传学证据和它们在大脑中的位置（分别位于大脑皮层最后部和最前部），这两个区域不太可能起源于鸟类和哺乳动物的共同祖先。相反，它们可能曾经在哺乳动物和鸟类的早期祖先中发挥截然不同的功能，但通过 3 亿年的演化，它们殊途同归，都成为整合感觉输入和运动输出的脑区。在研究过程中，我经常想起《侏罗纪公园》中伊恩·马尔科姆（Ian Malcolm）博士的那句名言：“生命自有出路。”如果两个不同的动物各自迫切需要一个协调认知的脑区，那么它们都会独立演化出一个“前额叶区域”。

为了探索这两个区域如何产生相同的认知功能，我和英国帝国理工学院的默里·沙纳汉（Murray Shanahan）等人研究了鸽子大脑皮层中的连接组（即神经元的连接方式）是如何构建的。由于鸟类的大脑皮层似乎与人类的有着明显差异，我们发现会有不同的连接模式。在重建鸽子大脑的连接组后，我们得到了意料之外的结果：鸟类的大脑皮层网络中不同的区域具有不同的功能，这与哺乳动物惊人地相似。我们的结论是：如果两组动物在演化中发展出相似的心理机能，那么它们的脑区连接图也应该相似。

一个重要的难题仍然没有解决。考虑到鸟类的大脑质量很小，它们是如何拥有复杂的认知能力呢？为了找到答案，捷克查尔斯大学的塞韦伦·沃尔科维奇（Seweryn Olkowicz）和帕维尔·涅梅茨（Pavel Němec）、范德比尔特大学的苏珊娜·埃尔库拉诺·乌泽尔（Suzanaerculano Houzel）等人确认了 28 种鸟类的神经元数量。他们惊奇地发现，鸟类（特别是鸦科和鸚鵡）大脑包含的神经元数量是人们此前预期的两倍。因为这些“多出来”的神经元大多位于大脑皮层，因此鸦科动物和鸚鵡比一些大脑更大的猴子的计算能力更强。

虽然鸟类的神经元数量超出预期，但它们极小的大脑质量使得鸟类与同等认知水平的哺乳动物相比，在神经元数量上仍有一定的差距。例如，新西兰的啄羊鸚鵡（kea）的大脑皮层有 12.8 亿个神经元，渡鸦有 12 亿个神经元，而黑猩猩有 74 亿个神经元，但研究证明它们之间并不存在系统性的认知差异。

鸟类如何弥补神经元数量的差距？研究发现，由于鸟类大脑皮层中神经元密度大，这些神经元之间的距离较短。当信息在密集的神元间反复传递时，由于距离较短，信

号传递所需的时间也更短，因此，鸟类有可能获得时间上的优势。我和德国德累斯顿工业大学的萨拉·莱茨纳（Sara Letzner）、克里斯蒂安·贝斯特（Christian Beste）共同证明了鸽子在完成一项特定的认知任务时，比人类反应更快。在鸟类的大脑皮层中，密集的神经元提供了更快的信号传导速度，这弥补了它们神经元数量的不足。

## 鸟类认知的新视角

当全球科学家开始注意到鸟类非凡的认知能力时，“鸟脑”（birdbrain，意为“傻瓜”）这样的俚语就失去了科学依据。事实上，我们已经知道鸟类和哺乳动物的大脑比之前认为的更加相似。

在这些发现背后，一个更深层次的观点正变得清晰可见。要理解这一点，我们首先必须认识到，鸟类和哺乳动物都彼此独立地征服了几乎所有能维持脊椎动物生存的生态位，足迹遍布全球。这意味着，动物王国的这两个分支都成了“广幅种”（generalist species）——它们并不局限于某一种生态系统，而是几乎在任何地方都能生存。面对随时可能出现的新问题，要快速找到解决办法、战胜竞争者，它们必须具备较高的认知能力。因此，强大的选择压力让这两类脊椎动物形成了非常复杂的认知能力。

尽管大脑的皮层组织不同，但鸟类和哺乳动物演化出了相似的神经机制。两者都通过增加神经元数量来提高认知能力，其中哺乳动物通过扩大脑容量来做到这一点，而鸟类则增加了神经元密度。他们都形成了基本相似的大脑皮层连接网络，演化出具有相同生理、神经化学和功能特征的“前额叶区域”，并形成了相似的认知能力。鸟类和哺乳动物学习、记忆、遗忘、犯错、概括和决策的方式遵循相同的原理。只有在自然界为产生复杂认知的神经结构提供极为有限的自由度时，这种惊人的相似性才可能实现。鸟类和哺乳动物演化出相似的神经机制和思维方式，更像是殊途同归。■

**本文审校** 刘阳是中山大学生命科学学院的副教授、博士生导师，主要研究方向为鸟类的生态和适应性进化，特别是鸟类的繁殖和迁徙行为。

### 扩展阅读

**New Caledonian Crows Reason about Hidden Causal Agents.** Alex H. Taylor et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 109, No. 40, pages 16,389–16,391; October 2, 2012.

**Cognition without Cortex.** Onur Güntürkün and Thomas Bugnyar in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 20, No. 4, pages 291–303; April 1, 2016.



制图：布赖恩·斯托弗 (Brian Stauffer)

克劳迪娅·沃利斯是《科学美国人·精神》前主编，她也是《科学美国人》专栏“健康科学”的作者。



# UNBOUND FROM OPIOIDS

## 美国的阿片类药物危机

在美国，700 多万慢性痛患者正在服用着具有风险的止痛药。研究人员试图寻找更好的缓解疼痛的方法，帮助他们戒除阿片类止痛药，或消减其使用量。

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis) 翻译 张倩倩

### 精彩速览

在美国，社会各界要求大幅减少阿片类药物的使用量，但对于对数百万利用这种药物来缓解慢性痛的患者来说，这可能是一场灾难。

研究疼痛的科学家正在寻找各种方法，在不增加痛苦的情况下，帮助人们安全地减少阿片类药物的使用量。

这些方法包括各种社会心理支持以及非常缓慢地减少剂量。同时，科学家也在让患者尝试能够替代阿片类药物的其他药物。

**布** 雷特·穆奇诺 (Brett Muccino) 是一个身高 1.9 米、十分强壮的大个子，因此他很难相信自己会从汽车的挡风玻璃飞出去。“那是一件不值一提的小事，”他回忆道。1986 年那场毁灭性的车祸使他的脖子和背部下方的脊椎骨折，接下来的 34 年，他一直在与慢性痛斗争。由于长期依赖阿片类药物来缓解疼痛，他对这种药物又爱又恨。

在一个阳光明媚的秋日，穆奇诺戴着帽子，穿着夹克，参观了康涅狄格州的西黑文退伍军人医疗中心。他走走停停，穿过长长的走廊后停下来，把身体略微弯曲地靠在助行器上。对于这位已经退休的养老院运营总监来说，背部的旧伤并非导致他疼痛的唯一原因。由于越战期间接触过橙剂（落叶剂，其杂质为具有多种毒性的二噁英），他患上了糖尿病性神经病，常能感到脚和手传来刺骨的疼痛，有时还会感到麻木，丧失知觉。除此之外，他的人工膝盖周围还存在慢性感染。

几经辗转，如今 68 岁的穆奇诺才来到西黑文阿片类药物重新评估诊所 (West Haven's Opioid Reassessment Clinic) 就医。在此之前，他曾经经历 7 次脊椎手术，因为手术和理疗，他一次次增加阿片类药物的服用剂量。从 1990 年到 2000 年期间，医生将他的用药从短效的扑热息痛 (Percocet) 改为了每天服用 40 毫克的长效热门新药奥施康定 (OxyContin)。有几个月的时间，他需要服用两倍剂量，但就如他所说，“至少这样能让我重返工作岗位”，然而没有人告诉他这样用药会成瘾。外科医生在为他做背部手术之前会让他短时间停药，他回忆说：“毫无疑问，我会承受成瘾者突然戒毒时的那种痛苦。”由停药导致的痛苦会让他疼到尖叫，发抖和无法进食，不到 48 小时就需要进急诊室。恢复服用阿片类药物后，他开始四处购买药物来补充服用的剂量，后来又从一位医生那里购买药物，每天服用的奥施康定剂量高达 320 毫克。他也尝试过定期停药，但疼痛总会使停药不了了之。

到 2016 年夏天，穆奇诺被这个恶性循环快折磨死了。当最后一次背部手术使他稍有好转之后，他告诉医生：“我要摆脱这一切。”在他说这话时，时机刚好成熟。就在几年前，西黑文阿片类药物重新评估诊所成立了，这个诊所距离他家不到一个小时的车程。在诊所的帮助下，穆奇诺

学习了各种疼痛管理技术，并有了一套可以减轻疼痛和控制停药症状的药物治疗方案。随后，他开始了一个缓慢的、长达数月的逐步缩减奥施康定剂量的过程，直至最终实现停药目标。

穆奇诺的经历其实十分普遍，但是像他这样得到帮助的人却屈指可数。在美国，由于合法和非法使用阿片类药物引起的死亡人数从 2001 年的 9 489 人激增至 2017 年的 47 600 人，政府开始大范围限制阿片类止痛药的使用。美国的卫生机构、保险公司、医疗团体甚至药房都开始切断药物供应，并严格限制处方剂量，这导致 700 万至 1000 万慢性痛患者遭受极大的痛苦——这些患者通过服用阿片类止痛药缓解由纤维肌痛 (fibromyalgia)、脊髓损伤、手术伤口导致的慢性疼痛。

即使大多数人是由于过量服用非法药物 (尤其是芬太尼, fentanyl) 死亡，仍有三分之一以上的阿片类药物死亡案例与处方药有关，这一事实给政策制定者敲响警钟。2016 年，美国疾病控制与预防中心 (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) 发布了一项指南，提醒医生仅应将阿片类止痛药作为治疗慢性疼痛的最后手段，并规定每日的处方剂量不得超过 50 毫克吗啡当量 (MME，是一种换算各种阿片类药物剂量的方法)。美国各州也相继采取了行动，出台的相关政策或指南至少有 36 项，这在一定程度上限制了医生可以开出的阿片类药物剂量。而许多医生误认为 CDC 的指南是对剂量的硬性限制，即使对于长期使用者也是如此。《波士顿环球报》(Boston Globe) 的一项调查表明，截至 2017 年，将近 70% 的家庭医生减少了阿片类药物的处方剂量，近 10% 的医师完全停止给患者提供阿片类药物。

一些专家警告说，突然切断患者的药物供应是一种危险的做法，这可能会导致他们的疼痛加重，转为购买非法药物或自杀。美国斯坦福大学医学院的疼痛心理学家贝丝·达纳尔 (Beth Darnall) 说：“无论在医学上和心理上，这都给患者造成了严重的压力。”作为 92 位专家和倡导者中的一员，她于 2018 年 9 月向美国联邦疼痛管理工作组写了一封公开信，警告称“患者遭受痛苦和自杀案例的数量正在惊人地增加。”2019 年 4 月，CDC 和美国食品药品监督管理局 (FDA) 采取了一些行动来警告医生这些风险。

毫无疑问，完全停药的戒断疗法非常糟糕，但可悲的是，我们对于如何更好地减轻慢性疼痛患者对阿片类药物的依赖性还欠缺了解。一直以来，没有研究证明过长达数月或数年地使用这些功能强大的药物的合理性，而关于如





布雷特·穆奇诺接受治疗后，逐渐减少直至停止服用阿片类药物。

摄影：格兰特·德林 (Grant Delin)

何逆转药物依赖性的研究更是少之又少。但在美国联邦经费的推动下，科学家找到了明确的研究方向。早期研究发现，通过非常缓慢地减少长期用药者的剂量，同时结合另外一些方式，如个体化的密切关注和指导来缓解患者的疼痛，效果似乎最好，这也是穆奇诺接受的治疗方式。意料之外的是，一些研究表明，许多患者减少甚至停止服用药物后，由于嗜睡、精神模糊、便秘等副作用逐渐消失，他们感觉更好了。美国卫生与公共服务部（HHS）于2019

年10月发布了新的减量指南，认可了这种缓慢减药、医患协作和“以患者为中心”的疗法。

但针对这种疗法，科学家还需要研究一些基本问题，比如什么时候采用什么样的剂量比较合适？哪些患者需要减少阿片类药物的使用？当患者不愿意或害怕降低剂量时，如何处理问题是最好的？美国斯坦福大学疼痛医学部主任肖恩·麦基（Sean Mackey）说：“目前，社会影响最大的疼痛研究问题可能是，如何保障阿片类药物长期有

效且用药安全？事实上，我们还不知道。”但是，问题的答案迟早会出现，并帮助人们安全地脱离与阿片类药物的纠缠。

### 阿片类药物的吸引力

20世纪90年代中期，人们开始用阿片类药物治疗持续时间超过三个月的慢性痛。在那个时期，医学界普遍开始更加认真地对待疼痛，并把疼痛视为“第五个生命体征”（在血压、脉搏、呼吸频率和温度之后）。也是在这种条件下，奥施康定作为阿片类羟考酮药物的缓释制剂进入医药市场，而与这种药物同时出现的，还有一些长期安全性和非成瘾性的误导性声明——这些声明后来导致了很多诉讼，涉案金额高达数百万美元。在此之前，吗啡等天然鸦片制剂和羟考酮等合成阿片类药物主要用于治疗急性的短期疼痛、癌症和姑息治疗。根据CDC分析，美国阿片类药物的处方剂量在1999年至2010年间增长了三倍。

就慢性痛的治疗而言，阿片类药物曾被认为是标准疗法的替代方案，而且价格也便宜。彼时，治疗慢性痛的标准疗法包括跨学科的疼痛管理和康复计划，这需要一个庞大的团队来执行，包括心理学家、医生、理疗师、职业治疗师和其他专家，他们会在专门的诊所对患者进行长达几个星期的治疗。相比于药物，标准疗法更加耗时耗力，但这种方案能解决“生物社会心理”问题，即一个患者感觉到的疼痛，并非完全来自痛感神经发出的信号，还会受到情绪、性格、社交环境甚至对疼痛理解的影响。美国华盛顿大学疼痛缓解中心的精神科医生马克·沙利文（Mark Sullivan）指出：“如果你感受到的疼痛来自癌症的恶化，那么这种情况下的疼痛显然要比你在接受马拉松训练或者生孩子时的疼痛强烈得多。”

尽管在上世纪90年代，医生在短时间内会给患有严重背部疼痛和其他长期疼痛的患者开具了大量阿片类药物，但大多数研究仅跟踪观察了6周或更短时间来评估阿片类药物的效果。显然，在这么短的时间内，不足以在患者身上观察到需要数月 and 数月才能形成的生理和心理依赖。而且，随着人体对药物的适应，患者需要更大的剂量来缓解疼痛，但这样一来，会增加呼吸系统疾病、头晕的风险。过量用药的话，甚至可能有生命危险。

当时，还有一些医生缺乏相关的知识。20世纪90年代中期，研究阿片类药物的埃琳·克雷布斯（Erin Krebs）还在上医学院读书。她记得自己十分惊讶，也非常不解，为什么医生会把一个没有经过长期研究的药物长年累月地

## 哪些患者可以不用降低剂量？

尽管研究人员正在寻找更好的办法，帮助患者减少阿片类药物的使用量，但并不是每个人都可以或应该减少阿片类药物的剂量。CPC已明确指出，癌症患者或镰状细胞性贫血患者的疼痛症状，可以通过阿片类药物缓解。此外，医生和专家们通常不愿意打扰忍受着巨大疼痛的患者的生活，因为这些患者本身就像在刀尖上寻求平衡。顽固性疼痛治疗联盟的执行董事安德烈亚·安德森（Andrea Anderson）是疼痛患者的支持者，他讲述过很多极端患者的故事，比如一个遭受20分钟电击而幸存的患者和一个曾被火焰吞没的患者，这些患者需要依靠大量的阿片类药物来缓解疼痛，但他们不敢减少药物使用量。所以专家们一致赞成，不应该强迫任何一个患者减少阿片类药物剂量。

临床医生还发现，有一些患者服用阿片类药物的剂量比较稳定，他们可以在这样的状态下正常工作，照顾家人，而且始终没有加大剂量。美国西黑文阿片类药物重新评估诊所负责人威尔·贝克尔说：“一些患者多年来坚持使用15~20毫克吗啡等效剂量，并且他们的反应良好，”但他也承认，“我也看到过更多的患者没有坚持低剂量，而他们的状况很差。”

最棘手的问题在于一些使用高剂量阿片类药物的患者，他们一直在与疼痛斗争，生活质量也很差，但又不希望逐渐减少药物用量。通常这些患者的情况很复杂，其中包含多种生理或心理因素，因此很难弄清他们的疼痛中有多大部分是由基础的生理学问题引起的，以及还有多少是由药物的副作用或其他疾病引起的。美国斯坦福大学疼痛医学部门的负责人肖恩·麦基说：“这对于我们来说是‘灰色地带’。我们需要对每个患者采取个性化的治疗方法，并与他们进行协作。”

在逐渐减少药量的过程中，并不是所有的患者都能很好地适应这种改变，即使是缓慢而谨慎地降低剂量。现年53岁的退伍军人娜丁·哈格尔（Nadine Hagl）使用大剂量的扑热息痛（Percocet）多年后，被转诊至西黑文阿片类药物重新评估诊所。她的情况非常复杂。由于关节炎，她行走时不得不依靠拐杖。2014年，她进行了胃旁路手术，此后哈格尔的胃肠道



由于多种因素，娜丁·哈格尔会继续服用扑热息痛，但会减少剂量。

开始对非甾体类消炎止痛药（阿片类药物的替代药物）不耐受，而且她对丁丙诺啡（buprenorphine，减轻阿片类药物戒断症状的镇痛药物）也反应较差。除此之外，哈格尔还被确诊为创伤后应激障碍（PTSD），还是一位单身母亲，需要抚养患有自闭症谱系障碍（ASD）的儿子，因此她的社会心理也很复杂。在接受治疗时，哈格尔尽力尝试了多种阿片类药物的替代药物，但她的疼痛逐渐加剧。最终，医生不能不让她继续使用扑热息痛，并辅助使用一系列非药物疗法，但使用的剂量要比以前低，而且诊所也会对她的状况进行密切监测。

疼痛和成瘾专家认为，应细致监测长期服用阿片类药物的患者的副作用和滥用迹象。美国所有 50 个州均设有处方监测程序，临床医生能够检测到患者是否正在其他医生那里二次开药，把自己置于危险境地。

考虑到全美都要求减少阿片类药物的使用，长期服用这些药物的人数可能会继续减少。华盛顿大学的疼痛精神病学家马克·沙利文记得 30 年前自己刚进入该领域时，这些麻醉药物还很少使用。他表示：“我认为我们将回到当初的起点，就如我刚进入这个领域时的情况一样。当时，阿片类药物仅在特殊情况下才给患者短期或长期使用。”

开给患者。克雷布斯现在是美国明尼阿波利斯退伍军人医疗保健系统（Minneapolis VA Health Care System）的普通内科主任，她正在寻找方法以更安全的剂量，帮助长期服用阿片类药物的患者缓解疼痛。但她也在研究更基本的问题，即阿片类药物到底算不算治疗长期疼痛的有效选择。2019 年，克雷布斯发表的第一项随机试验中，她和同事直接比较了阿片类药物和非阿片类镇痛药的效果。这项试验的持续时间长达一年，克雷布斯的研究小组追踪了 240 位中度至重度背部或关节疼痛患者，测试了从流行的消炎药（如布洛芬）到缓解神经痛的药物（如加巴喷丁）。调查结果显示，从平均来看，服用非阿片类药物的患者较少感受到剧烈疼痛，副作用也较少。

此后，克雷布斯发现的进一步证据表明，阿片类药物可能并不适用于治疗慢性疼痛。在 2018 年的一场学术会议上，她展示了一项长期研究的初步结果。在这项研究中，她跟踪调查了 9 245 名服用阿片类药物长达 6 个月或更长时间的退伍军人，得到的数据令人震惊：只有 1/4 的退伍军人认为阿片类药物镇痛效果非常好或极好。另外，80.9% 的退伍军人表示，感觉到疼痛遍布全身，这种症状可能反映了一种可疑的副作用——疼痛综合征，这是由阿片类药物引起的痛觉过敏。克雷布斯说，“我最初只是非常惊讶。这些人真的病了，而我们还没有解决这些问题。”

## 缓慢降低剂量

在 HHS 出台了新的指南，敦促医生考虑逐渐减少剂量之后，最关键的问题也变成了如何做到这一点但又不会导致更多的患者感到痛苦和绝望，以及怎样才能真正帮助患者减轻疼痛。在理想条件下，患有顽固性痛苦的患者会到疼痛康复诊所就诊，而这些诊所拥有良好的记录，能帮助患者停用阿片类药物，转为使用其他疗法来缓解疼痛。但当医学界普遍接受阿片类药物时，许多类似的诊所关闭了，而到剩下的诊所治疗疼痛，费用通常很高。因此，人们正在寻找更便宜、更实用的方法。2018 年，达纳尔发表了一篇论文，率先给出了一种解决方案：根据每个人的情况，以非常缓慢的速度减少阿片类药物的使用剂量。

在一项发表于《美国医学会杂志·内科学》（*JAMA Internal Medicine*）、有 68 名患者参与的前期研究中，达纳尔开展了为期 4 个月的试验，共有 51 名患者完成了试验，这些患者服用阿片类药物的平均剂量几乎减半，而且疼痛并没有加剧。在这 4 个月中，这些患者都会领到一本参考书，社区医生也会给予指导。达纳尔说，在最初 4 周缓慢

减少剂量的过程尤为关键。在这段时间内，剂量减少的幅度不得超过 10%。

达纳尔解释说：“如果我们只是稍微减少剂量，患者在这一过程中会感到放松，会更信任为他们治疗的医生，并会增强对自己的信心。患者最担心的是疼痛加剧。”达纳尔强调，试验的目标不是要将剂量降为零，而是要达到他们的“最低舒适剂量”。她说，试验中有 4 名患者确实完全停用了阿片类药物，但“也有 4 人非但没有减少，还增加了阿片类药物的剂量”。另外，还有 17 名患者退出了

但针对这种疗法，科学家还需要研究一些基本问题，比如什么时候采用什么样的剂量比较合适？哪些患者需要减少阿片类药物的使用？当患者不愿意和害怕降低剂量时，如何处理问题是最好的？

试验。值得注意的是，在试验开始时，患者服用的阿片类药物剂量或服用时间，与试验中他们减少剂量时的表现没有相关性。

达纳尔急切想要确定，是否还有其他方法可以帮助更多患者逐渐减少阿片类药物的使用量。“以患者为中心的效应研究所”（Patient-Centered Outcomes Research Institute, PCORI）是一家非营利机构，在 2010 年由美国的《平价医疗法案》设立。在这家研究所的资助下，达纳尔正在开展一项名为 EMPOWER（通过有效疼痛管理和其他治疗方法摆脱阿片类药物）的试验，有 1365 名慢性疼痛患者参与其中，试验时间为一年。其中有 500 名患者不愿意减少阿片类药物的使用剂量，他们将作为对照组，按目前的剂量使用阿片类药物。其余患者会被随机分配到三个治疗小组。第一组将简单地重复达纳尔在初步研究中使用的治疗方法。第二组除了采用第一组的方案外，还会每周进行 8 次疼痛认知疗法（CBT, cognitive-behavioral therapy）。CBT 是一种短期的心理咨询，主要目标是改变患者的思维模式，从而影响患者的行为和感受。第三组还是遵循第一组的试验方案，另外每周增加 6 次关于“疼痛自我管理”的小组讨论会。

疼痛自我管理是一种低成本的干预措施，主要由受过训练的患者实施，但在逐渐减少阿片类药物剂量的情况下，

这种干预措施的效果如何，还从来没有研究过。这种方法由斯坦福大学的健康教育专家凯特·洛里格（Kate Lorig）提出，通过一系列高度结构化的活动、课程和讨论，为患者提供管理疼痛和恢复到健康生活的方式。在一个典型的疗程中，患者每周会制定“活动计划”，完成一些曾经因疼痛而避免去做的事情，如每天散步或清理壁橱，并报告他们的状况。患者要学着利用锻炼来让自己的臀部关节变得暖和，也要想出更好的方式与医生沟通。参与自我管理项目的患者表示，与能够理解慢性疼痛的人在一起，会感

受到鼓舞、支持和责任。患有严重脊椎狭窄的美国退休教师西尔维娅·诺米科斯（Sylvia Nomikos）参加了一次在纽约普莱森特维尔的自我管理研讨会，“当你意识到每个人都在同一条船上时，这会对你有所帮助。”两项有关这类干预措施的研究发现，参与者报告他们的疼痛、残疾、抑郁以及健康相关焦虑的次数在持续减少。

在这次 EMPOWER 项目中，达纳尔的研究小组将对比疼痛自我管理与费用更高的认知疗法的治疗效果。他们也会评估，在缓慢减少阿片类药物剂量的基础上，这两种方法是否都能改善患者的情况。在此过程中，他们还将收集患者使用大麻和大麻产品的数据，从而了解这些产品对减少阿片类药物剂量的影响。达纳尔说，开展这类研究是迫在眉睫的需求。无论采取哪种干预措施，如果试验结果均达到或超过其初步研究的结果，她都证明了一种安全、实用的减少阿片类药物使用量的方法，这种方法可以在世界各地的社区推广。

## 缓解减药症状

沙利文和克雷布斯等研究人员也在测试一些实用的、低成本的方法，以帮助疼痛患者减少对阿片类药物的依赖。如果成功，就可以扩大规模，帮到更多的患者。克雷布斯正在开展的一项大型试验由 PCORI 资助，其中有 500 名美国退伍军人将通过电话与药剂师合作，以优化药物治疗方案的安全性和有效性。而另外 500 名美国退伍军人将被分配到一个小组，由一个多学科团队（由医师、心理学家、药剂师或理疗师组成）负责治疗。这个团队的治疗方案不会依赖药物，而是会帮助患者实现个人目标，提高他们的生活质量，即便这样的方案无法治愈他们的疼痛。克雷布

斯和同事还会在研究中测试一款缓解停药症状的药物的有效性。

克雷布斯指出：“这项研究不需要任何人逐渐减少药物剂量，”但是接受高剂量阿片类药物的患者将被告知风险。对于选择逐渐减少阿片类药物使用量的患者，要么使用丁丙诺啡-纳洛酮（通用名是 Suboxone），要么不使用这种药物，这个选择是随机的。丁丙诺啡-纳洛酮包括了阿片类止痛药和阿片类药物阻滞剂，可缓解疼痛，减轻戒断症状，即便服用过量时，对患者的危害也相对较低。克雷布斯解释说：“我们知道这种药物可以治疗阿片类药物的成瘾问题，因此想知道它是否也能帮助患者治疗疼痛。”

为穆奇诺治疗慢性痛的西黑文阿片类药物重新评估诊所，就是克雷布斯的一个试验点。诊所负责人威尔·贝克尔（Will Becker）经常向包括穆奇诺在内的大约三分之二的患者提供丁丙诺啡-纳洛酮，以帮助他们减少阿片类药物的使用量。贝克尔认为，这种药物为多年来一直依赖阿片类药物的人们提供了较为舒适的减药途径。他还认为，为患者提供选择，在患者逐渐减药的过程中可以产生巨大的影响：“拥有选择权让他们更有动力。”

西黑文阿片类药物重新评估诊所使用的阿片类药物在逐渐减少。他们非常重视帮助患者实现个人目标，如有些患者可能想恢复工作，或者仅仅是早点起床。“我们试图达到 SMART 的目标：精细化（specific）、可测量化（measurable）、以行动为导向（action-oriented）、切合实际（realistic）和进行时间限制（time-bound），”贝克尔解释说，“这是患者可以重新实现的一个个目标，向着目标努力，可以帮助他们缓解痛苦。”

穆奇诺寻求治疗的一个主要目标是，他想和他的 7 个孙子度过快乐的时光。或者如他所说，“尽可能地睁着眼睛看着我的孙子们成长。”他为错过了自己孩子的童年而感到遗憾，“我每周工作 60~70 个小时，而且我服用的药物剂量很高。我一回到家就在沙发上昏睡过去了。”在贝克尔的监督下使用丁丙诺啡-纳洛酮，他或许能完全停止服用奥施康定。

少量的研究和临床试验表明，一旦患者摆脱了最初的恐惧，许多人在完全不使用阿片类药物或降低用量时，会感觉更好。美国斯坦福大学的麦基表示，基本的疼痛感并不一定会改变，但在低剂量使用阿片类药物时，我看到患者们感觉更有活力、警觉性更高、头脑更清晰。这大概是因为阿片类物质（包括人体自身分泌的）对多个系统都起到作用，包括作用于大脑中调节情绪和注意力的系统。“当

你用药物麻醉这些系统时，一段时间后就会变得麻木。”但仍然有少数患者的病情恶化，而疼痛专家十分担心这组患者，尤其是在这些患者面临减少剂量的压力时。他们指出，并不是每个患者都可以戒断阿片类药物或者降低剂量，也不是每个患者都应该如此。

## 药物之外

远离阿片类药物，将意味着几个趋势：一是医生一开始就建议患者不要使用这类药物；二是其他疗法需要容易获得，包括物理疗法和行为疗法；三是使用其他的非阿片类药物来对抗疼痛。2019 年发表的一项大型研究的结果表明，在 2012 年 7 月至 2017 年 12 月期间，患者首次使用阿片类药物的处方剂量下降了 54%。但较难的是改变医疗习惯和患者治疗慢性痛的期望。正如沙利文所言：“没有什么方法比给患者一些奥施康定更能让他们快乐。”他指出，其他疗法往往起效较慢，“它们会先使您感觉更糟，然后才感觉更好，中间还需要进行大量的工作，物理或行为疗法就是如此。”

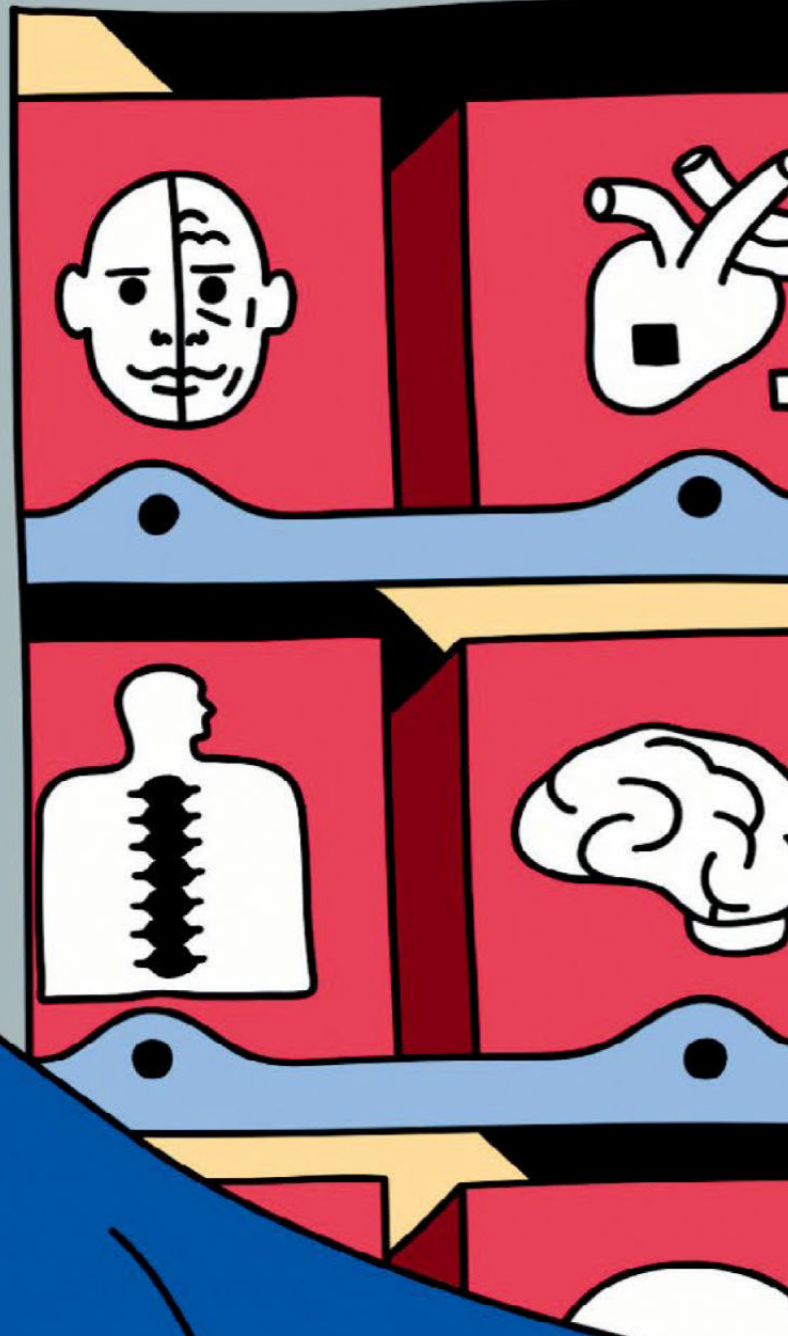
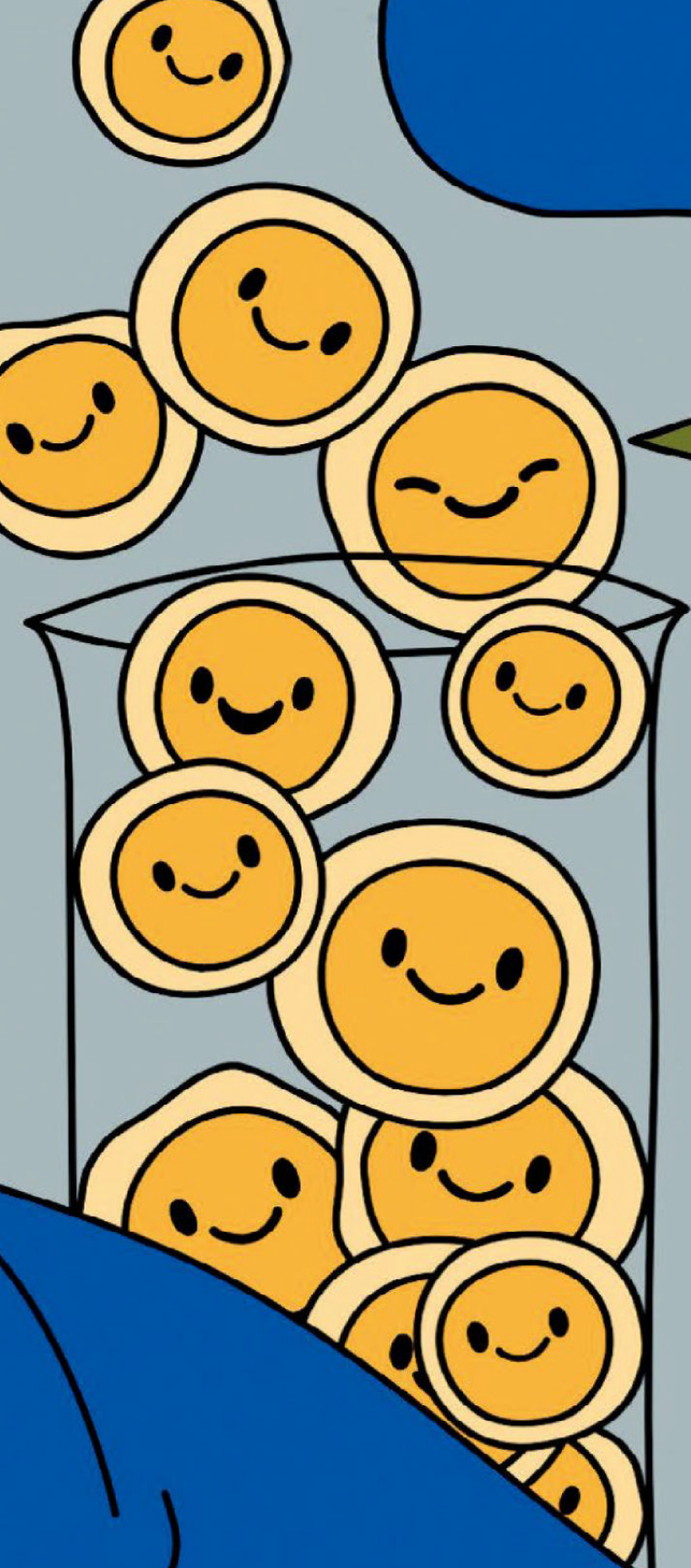
2018 年美国发布的一项报告指出，如果医生（尤其是基础保健医生）在评估和治疗疼痛方面得到更好的培训，这将对患者有所帮助。达纳尔表示，根据 2011 年的一项调查，在应对疼痛方面，美国医学生仅接受过了 4~12 个小时的培训。相比之下，兽医培训了 28 个小时。这份报告还指出，“以患者为主”将能更好地了解疼痛的复杂性及其处理方法。

穆奇诺已经了解了这一点。这些天，除了低剂量的丁丙诺啡-纳洛酮外，他还通过放松、分散注意力和行为学方法来控制疼痛。在家里，他通过耳塞听一些詹姆斯·泰勒（James Taylor）的歌曲，还会做一些拉伸和物理训练。他觉得自己很幸运，在他状况很糟糕时，他的家庭给了他很大的支持，“我会和孙子们一起玩，去兜风。除了吃药以外，我什么都会做。”■

### 扩展阅读

Effect of Opioid vs Nonopioid Medications on Pain-Related Function in Patients with Chronic Back Pain or Hip or Knee Osteoarthritis Pain—The SPACE Randomized Clinical Trial. Erin E. Krebs et al. in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 319, No. 9, pages 872–882; March 6, 2018. HHS Guide for Clinicians on the Appropriate Dosage Reduction or Discontinuation of Long-Term Opioid Analgesics. U.S. Department of Health and Human Services, October 2019. Available at [www.hhs.gov/opioids/treatment/clinicians-guide-opioid-dosage-reduction/index.html](http://www.hhs.gov/opioids/treatment/clinicians-guide-opioid-dosage-reduction/index.html) New Culprits in Chronic Pain. R. Douglas Fields; November 2009.

STEM



# CELLS

## 在争议中狂奔： 日本干细胞 疗法调查

日本为了将再生医学发展为人人可用的常规医疗手段，出台了多项支持性法案推动该产业发展。

但由于相关资质审核过于便捷，也让许多虚假诊疗手段随同出现。

撰文 戴维·齐拉诺斯基 (David Cyranoski)  
翻译 朱机

**埃**莱妮诊所 (Helene Clinic) 藏身于东京最时尚的地区, 诊所楼下是高级的法式甜品店, 旁边是美甲沙龙和珠宝店。诊所内聚集了许多参与干细胞疗法的患者, 在这里, 临床医生会将干细胞注入患者体内, 用于治疗心血管疾病。身着正装的接待员引领着前来寻求治疗的人们, 经过一排水族箱, 进入诊所的体检室。

在埃莱妮诊所, 治疗过程通常是这样的: 临床医生首先会从客户的耳后取皮肤做活体组织检查。接着, 他们会从客户的皮下脂肪采集干细胞, 然后进行培养, 让干细胞增殖, 之后通过静脉输注的方法将增殖后的干细胞输回客户体内。根据他们的说法, 这些干细胞会“归巢”到受损部位, 比如, 动脉粥样硬化症患者僵硬的动脉。

墙上的两张海报展示了干细胞疗法的不错效果, 这些研究往往得到了大型药企的支持, 并且研究结果也发表在顶尖科学期刊上。尽管这些数据并不能说明这家诊所提供的疗法效果如何, 却能营造出正规治疗的气氛。

随后, 记者联系了这家公司并提出了一系列问题, 而诊所的一名代表拒绝提供疗效证据以及治疗人数、治疗结果等信息, 并称公司会在未来的会议上宣布结果。这位代表申明, 埃莱妮诊所开展的治疗程序已经通过了法律审查并取得了批准, 而且没有患者出现不良反应。

类似于埃莱妮诊所这样向公众提供疗效未经证实的干细胞疗法的现象其实并不少见, 也非日本独有。从墨西哥到乌克兰, 从印度到澳大利亚, 全世界都开始出现这样的医疗机构。监管机构正在奋力跟上这一发展趋势: 在美国, 一大批诊所因为提供的干细胞疗法没有得到验证, 有些情况下甚至对人体有害而被官方取缔。然而在日本, 干细胞诊所的数量却在激增: 它是由政府最高层批准和推动的项目, 日本有一系列监管政策专门用于刺激干细胞相关产业的发展, 旨在让日本成为再生医学的全球领导者。

## 放宽监管

在出台这些监管法规几年后, 日本已有数百家诊所提

供超过 3700 种疗法, 其中许多疗法都是基于干细胞构建的, 目前还有一大波外国公司在日本开展相关业务。

然而, 有很多公司正在利用这些便捷的监管途径, 来让自己的疗法免于接受严格测试, 从而尽快推向市场。科学家表示, 采用这些疗法的人很有可能无法获得有效治疗。这类获批用于治疗严重疾病的细胞疗法往往没有坚实的科学基础, 并且至少已经出现了 4 起不良病例的报告, 包括一个死亡案例。许多提供新疗法的诊所坚称, 他们是在法律允许的范围内开展业务。而日本的政府官员也辩解称, 日本的管理体系比其他国家更安全, 因为他们会密切监督那些诊所提供的疗法。然而, 现有政策可能会给许多病患带来虚假的希望, 因为这些疗法并没有宣传的那样有效。

与此同时, 日本大胆尝试放宽监管的做法也渐渐对其他国家和地区产生了影响。例如, 中国台湾地区和印度开始效仿日本的监管方式, 而其他地区的监管机构则明显感受到了来自企业、患者等多方面的压力, 这些单位或个人都在要求监管机构简化批准程序。美国食品及药品管理局 (FDA) 生物评估与研究中心主任彼得·马克斯 (Peter Marks) 说: “如果同一产业, 在全球各地有着不同的监管标准, 那将造成真正的大问题。”

日本京都大学的心脏病专家由井芳树 (Yoshiki Yui) 对目前这种状况非常不满, 他认为日本的监管政策虽然让商业发展快速进步, 但目光短浅。“他们完全没有考虑这些疗法出了问题时会发生什么,” 由井说。

## 两项措施

日本首相安倍晋三在 2012 年 12 月上任后不久, 就承诺未来十年内会向再生医学领域投资 1100 亿日元 (约合 69 亿人民币)。就在安倍晋三上任之前的两个月, 京都大学的山中伸弥 (Shinya Yamanaka) 因为诱导多能干细胞的工作获得了诺贝尔生理学或医学奖, 因此官方对再生医学的行情积极看好。安倍晋三声称, 日本的再生医学研究是世界领先的, 但很可惜在临床应用上进展缓慢。他此后很快宣布出台两项措施, 希望改善局面。

措施之一是 2014 年通过的《再生医学安全性法案》(Act on the Safety of Regenerative Medicine, 简称 ASRM)。该法案提出, 想要推出细胞疗法的医院和诊所, 无需进行

### 精彩速览

近些年来, 日本再生医学领域发展速度名列全球首位。

许多声称拥有干细胞疗法的诊所也层出不穷, 但

其中的实际疗效却与宣传的有很大出入。

日本政府为了推动再生医学产业发展, 推出了两项便捷性法案, 让诊所资质的审核和注册更加迅速,

但由于放弃了对疗法效果的验证需求, 也造成了现在“骗人疗法”越来越多的后果。



## 日本的监管法案

日本在 2014 年出台了两项法案，为基于干细胞的疗法和其他类型的再生医学疗法投入使用提供快车道。《再生医学安全性法案》(ASRM) 允许公司将其疗法按以下 3 类风险中的一类进行注册。

### 快速通道分类

类别	要求	完成注册的疗法数量 (截至 2019 年 6 月)
第 3 类 (低风险)	使用来源于患者自身的细胞，使用功能与细胞原功能相似，例如激活免疫细胞用于抗癌。	3373
第 2 类 (中等风险)	使用来源于患者自身的细胞，使用功能与细胞原功能不同，例如使用源于脂肪的干细胞治疗动脉粥样硬化或肌萎缩性脊髓侧索硬化症。	337
第 1 类 (高风险)	使用胚胎干细胞、基因编辑细胞或他人细胞等风险较大的细胞进行治疗。	0

《药物与医疗器械法案》允许对经过一定临床试验的疗法给予有条件批准，让公司有机会在全日本范围内销售该疗法并获得保险赔付，但公司必须在最长为 7 年的期限内收集额外的数据证明其有效性。目前只有 3 款疗法获有条件批准进入市场。

### 有条件批准

疗法	目的
HeartSheet	使用来自骨骼肌的细胞产生组织薄片，用于愈合受损心肌。
Stemirac	使用来源于骨髓的干细胞尝试治疗脊髓损伤。
CLBS12	使用造血干细胞治疗严重的肢体缺血。

常规的临床试验来验证药物有效性，而只需表明其细胞生产设施具有日本厚生劳动省（日本负责医疗卫生和社会保障的主要部门）颁发的资质，并由厚生劳动省认证的独立委员会批准相关提案，医院就可以提供此类疗法了。

正因为这部法案，借着医疗旅游热，许多“骗子诊所”如雨后春笋般冒了出来。日本再生医学会的主要成员、眼科专家高桥政代（Masayo Takahashi）说，这一法案原本的意图是确保所有诊所都登记注册。高桥政代是日本政府再生医学咨询小组成员，她说：“这个政策是想先将所有人纳入监管框架，再逐步让法律变得更严格。”

但批评者认为，ASRM 的注册过程太过容易，这显

然具有误导性。道格·西普（Doug Sipp）在位于神户的日本文理化学研究所（RIKEN）研究监管政策，他认为这项法案积极的一面是让“行业变得更加透明”，会迫使“骗子诊所”必须达到一些基本标准。然而，这里存在的真正风险是，患者会把诊所登记注册当作“疗法有效”。

以 Avenue Cell 诊所为例，这是一家位于东京的诊所，看上去更像一个水疗中心，而不是医疗中心。诊所网站显著标明了该诊所提供的治疗已经获得了 ASRM 的批准。至少有 10 名患者为了治愈或减缓肌萎缩性脊髓侧索硬化症（ALS）接受了干细胞注射，将来源于脂肪的干细胞注入血液。

Avenue Cell 诊所的一名客服代表表示，50%~70% 的患者在接受治疗后病情会得到改善，每次治疗需要 150 万日元。他们建议受益者每隔一两个月接受一次治疗。这名客服说：“有些人负担得起这笔费用。”每年有约 1000 名客户在这家诊所因为各种症状接受治疗。

为了确认这些言论的真实性，《自然》杂志联系了 5 位研究 ALS 再生医学的科学家。但他们表示，没有可信的证据表明这类干细胞治疗有助于 ALS 患者的病情恢复，并且他们有多种理由认为，这种疗法是无效的。罗

伯特·巴洛赫（Robert Baloh）在洛杉矶的西达-赛奈再生医学研究所（Cedars-Sinai Regenerative Medicine Institute）研究 ALS，他说：“数百年来一直有江湖术士向患者兜售虚假疗法，而这种诊所提供的疗法也没什么不同。”

除了实验数据和有效性的问题外，负责审核这类疗法注册资格的委员会的资质和独立性也令人担忧。日本厚生劳动省要求这类委员会由 5~8 人组成，需包括细胞生物学、再生医学和细胞培养领域的专家。委员会还需听取律师、生物伦理学家和生物统计学家的意见。但是，对于委员会成员与诊所之间的利益关系，目前并没有严格的规定。

例如，埃莱妮诊所此前就由一个内部委员会批准了一

批疗法，包括一种动脉粥样硬化疗法。但该诊所的一名代表说，他们从未向患者提供该疗法。现在负责审核埃莱妮诊所治疗方案的是一个独立的第三方委员会。根据日本厚生劳动省的规定，埃莱妮诊所的内部委员会已于2019年3月解散。而给Avenue Cell诊所批准ALS和其他几种疗法的委员会，其中有一名成员是任职于该诊所的内科医生。对于此事，Avenue Cell诊所并未作出回应。

为了避免注册过程中的利益纠纷，日本厚生劳动省于2019年4月实行了新政策。但即使有完全独立的委员会，诊所依然可以四处寻找想要的答案。佐藤阳治(Yoji Sato)在位于川崎的日本国立医药品食品卫生研究所(NIH)担任再生和细胞医疗制品部部长，他还同时是两个委员会的成员。他说，“委员会过于随意”是一个大问题。

日本政府正在考虑增加其他措施，例如要求通过培训改善委员会系统。“委员会和一些医疗机构存在利益关系，治疗可能无效，这些都是我们目前面临的局限性，”佐藤说。

尽管如此，比起美国监管机构，佐藤认为日本的这套体系更好。他举了一个案例：美国佛罗里达州有两人接受了一项未经验证和批准的干细胞治疗后失明，FDA花费了4年时间，打了一场冗长的官司，终于阻止那家公司停止提供该疗法。而在日本，对于那些没有获取委员会批准的公司，“警察可以直接抓人，”佐藤说。

### 有条件批准

安倍政府在2014年实施的另一项重要政策是《药物与医疗器械法案》(Pharmaceutical and Medical Devices Act)。根据这项法案，一家公司的疗法如果获得“有条件批准”，就能在全日本范围开展治疗，而不仅限于一家诊所或一家医院，并且治疗的费用由保险系统支付。与ASRM不同的是，要获得有条件批准，该公司需要在小型临床试验中证明疗法的有效性。通过临床试验后，该公司可在最长7年的时间内销售这一疗法，同时收集更多的疗效数据，进一步证明其有效性。迄今只有3种疗法得到了有条件批准：一款用于治疗脊髓损伤，一款用于心脏病，另一款用于严重的肢体缺血。

但是，有条件批准所需的简化版临床试验在科学界引起了担忧。根据国际干细胞研究协会(International Society for Stem Cell Research)在2016年发布的一份报告，基于小型试验结果给予批准，有可能导致对疗效的评估放缓，“削弱公众和科学家对该领域科学标准的信任”。

据说，已经有人报告了上述法案引发的问题。一名不



2013年，日本首相安倍晋三(右)与干细胞生物学家山中伸弥(左)、时任RIKEN所长的野依良治(Ryoji Noyori)参观实验室。

愿透露姓名的慢性心脏病患者尝试了一种实验性疗法，医生利用从患者腿部提取的肌肉细胞培养了组织薄片，然后通过开胸手术将其放置在心脏的受损部位。HeartSheet就是一种基于该机制的疗法，已经在2015获得了有条件批准，用于治疗缺血性心脏病。尽管这位患者的心肌病属于其他类型，但泽芳树(Yoshiki Sawa)仍说，他是参加这项实验性治疗的合适人选。泽芳树是日本大阪大学的外科医生，同时也是HeartSheet疗法的创始人之一。

这名患者仍记得自己接受的是HeartSheet疗法。由于和自己患同类心肌疾病的患者几乎没有接受过这种新疗法，而且他也从未接受过心脏手术，他一开始对此还是有些担心，但他最终还是选择接受治疗。

这名患者说，术后他从未感到症状有所改善。接受治疗9个月后，他第一次出现了气短的现象。此后，他被确诊为心衰，入院治疗了一个月。出院后不到一个月，又再次入院。在接受HeartSheet疗法一年多以后，他被告知需要接受心脏移植。“医生表示我的病情正在恶化。”他说。

由于没有更多信息，现在还无法确定就是HeartSheet疗法导致了该男子的心衰。而且目前无法确定，这只是一个个案，还是存在其他原因。但这种不确定性也凸显了一部分干细胞疗法的问题。HeartSheet疗法获得有条件批准时，只有7名患者参与了临床试验。病人在接受新疗法时，可能遇到哪些不良反应，概率有多大，人们对此几乎一无所知。

泽芳树表示，在HeartSheet的临床试验中，如果按

照自然的疾病进程，参与试验的患者的心脏功能会不断退化。但接受 HeartSheet 疗法的 7 名患者中，有 5 人没有出现病情恶化，因此可以认为这种疗法起到了作用。然而，日本一项囊括了约 3500 人的研究显示，与那 7 位参与了试验的患者类似的严重心脏病患者，即使在有大幅干预的情况下，绝大部分患者的病情都会好转或保持稳定。

而日本厚生劳动省则一再坚持，再生医学的临床试验需要安慰剂对照。一款名为 STR01（又名 Stemirac）的脊髓损伤疗法在上市后遭到批评，厚生劳动省的一位代表在 2019 年 5 月辩称，为该疗法设置双盲实验“在试验设置层面是不可能的”，而假手术（排除手术过程对结果的影响）或安慰剂“会带来伦理问题”。

临床试验中的假手术是否会造造成潜在伤害、这对参与者是否公平，这些问题一直是生物伦理学家争论的对象。加拿大麦吉尔大学的生物伦理学家约翰逊·基梅尔曼（Jonathan Kimmelman）曾在临床试验政策上给过日本政府建议，他认为，有些假手术侵入性太强。因此，研究脊髓损伤干细胞疗法的医生们表示，针对这种情况，设立安慰剂对照的临床试验相对要更容易。

日本札幌医科大学的神经外科医生本望修（Osamu Honmou）是 STR01 的提出者，他曾提倡设立双盲、安慰剂对照试验，验证该疗法对卒中患者的有效性。根据本望修在 2016 年发表的一篇文章，他应该正在开展这类临床试验。不过，当《自然》杂志问他，为什么这类临床试验适用于治疗卒中引起的损伤却不适用于脊髓损伤时，本望修没有回应。厚生劳动省的代表表示，对于脊髓损伤的病患来说，假手术是不道德的，因为患者需要在特定的时间窗口接受治疗，治疗过晚可能导致疗效减弱。不过，这类争辩的前提是该手术治疗确实能起效。

日本的几位知名科学家告诉《自然》，STR01 不应该被批准用于治疗脊髓损伤。一些日本专家认为，在这类医学研究中，日本政府可能过于激进了。

### 山中伸弥的低调

尽管这套监管体系存在种种漏洞，日本还是在其他地区积极推动再生医学政策的实施，部分原因在于日本想确保其治疗市场稳定。根据厚生劳动省药品管理部门在 2019 年 5 月公布的一项 5 年计划，日本政府会资助一些扩展项目，旨在“宣传再生医学产品的日本监管模式，增强其他人对日本监管程序的信任，并将日本监管模式引入其他国家和地区”。

佐藤阳治认为，这些努力似乎已初见成效。韩国在 2019 年 8 月批准了一套与日本类似的体系；印度在 2015 年首次通过了一例再生医学有条件批准，在起决定作用的审议过程中参照了日本的体系。一些人希望英国也建立起类似的体系。“某些英国人非常热衷于采纳日本模式，”英国利物浦大学的干细胞生物学家帕特丽夏·默里（Patricia Murray）说。她认为，像日本那样放宽监管的做法“将让公司直接把虚假疗法卖给消费者”。

快速的发展步伐也给其他地区的监管机构带来了挑战。一些企业和患者群体，包括加利福尼亚再生医学研究所和美国哈特兰研究所，都在向 FDA 不断施压，希望 FDA 采取类似于日本的做法。

马克斯认为这是一个很大的问题，因为人们会拿日本的例子来对比，讽刺“FDA 就是什么也不批准”。2019 年 5 月，马克斯在巴尔的摩的一次记者会上回答了媒体的问题，他重申他们愿意看到新的治疗方法投入使用，“我们只是希望确认这些疗法是安全和有效的”。

RepliCel 公司的首席执行官李·巴克勒（Lee Buckler）认为，这种压力是有利的。RepliCel 是加拿大温哥华的一家再生医学公司。2016 年，RepliCel 将其焕肤产品授权给了总部位于东京的化妆品公司资生堂。巴克勒认为，渴望快速用上新型医疗产品的人们知道日本的情况，他们“希望加拿大也能变得和日本一样”。

日本的干细胞疗法产业发展得如此迅速，很大一部分原因就是他们在干细胞生物学和再生医学领域取得的成就，以及随之衍生出的自豪感。在这些著名人物中，山中伸弥无疑是最为突出的科学家之一，但他在放宽监管的问题上保持了相对低调的态度。

与日本其他地方迅速推进干细胞疗法的潮流相反，尽管山中伸弥负责的研究所致力于将干细胞治疗转化成临床疗法，但他却似乎不急于通过临床试验。“只要有条件，就应该考虑双盲对照，”他在接受采访时表示。尽管他明白有些细胞疗法很难做到这一点，但即便如此，“科学家应该竭尽全力保证临床试验尽量客观和科学”。

一些干细胞研究者表示，由于缺乏客观和科学的手段，人们很难分辨该相信什么、该信任谁。“这里有个问题，”高桥政代说，“法律是为本性善良的人制定的，但是有很多人不是好人。”她认为，“干细胞疗法将在 10 年内大显身手，因此我们现在能够容忍这些批评的声音。”



# 羞耻： 心理健康的 隐形杀手

羞耻是一种普遍的情绪体验，但研究发现，羞耻不仅不利于个人的心理健康，甚至会阻碍社会的发展。

撰文 安妮特·卡梅雷尔 (Annette Kämmerer) 翻译 戚译引



每个人都有“想找个地缝钻进去”的时刻，然而每个人的羞耻倾向却不尽相同。为什么有些人会更容易感到羞耻？这种感受是如何产生的？德国柏林自由大学（Free University of Berlin）的哲学家希尔格·兰德韦尔（Hilge Landweer）就指出，要让一个人感到羞耻，需要同时满足多个特定条件。

首先，当事人必须意识到自己已经违背了某种规则。另外，他或她还需要认同这一规则具有约束力，应当遵守，因为只有在这样的情况下逾越规则才会令人感到不适。当事人甚至只需要想象他人的评价即可，而不需要反对者在场。谈到羞耻，人们常常能想到这样一幅画面，某位家长质问孩子：“你好意思吗？”事实上，我们可能已经完全内化了这样的训诫，以至于童年时期父母对我们制定的规则和期望，在成年之后仍然持续影响着我们。

美国乔治梅森大学（George Mason University）的琼·坦尼（June Tangney）已经在这一领域开展了几十年的研究。容易感到羞耻的人格特质被称为羞耻倾向（shame-proneness），坦尼与美国休斯顿大学（University of Houston）的龙达·L·迪林（Ronda L. Dearing）等人合作开展了许多相关研究，他们发现具备这种特质的人往往还具备低自尊的特质（这意味着一定程度的自尊可能能够保护我们免于感到过度羞耻）。坦尼和迪林等研究者还发现，羞耻倾向也会增加一个人产生其他心理问题的风险。这种倾向与抑郁之间的关联尤其强烈：在一项大型荟萃分析中，研究者回顾了过往 108 项研究，其中共涉及超过 22 000 名志愿者。对这些研究的结果进行分析发现，羞耻倾向与抑郁之间存在明确相关性。

在 2009 年的一项研究中，当时就职于加拿大多伦多大学（University of Toronto）的塞拉·德鲁贝伊斯（Sera De Rubeis）和加拿大女王大学（Queen's University）的汤姆·霍伦斯坦（Tom Hollenstein）研究了这种人格特质对青少年抑郁症状的影响。这项研究对 140 名 11 ~ 16

岁之间的志愿者进行了调查，结果发现那些羞耻倾向较强的人也更有可能出现抑郁的症状。随后，美国贝勒大学（Baylor University）的托马斯·A·费尔古斯（Thomas A. Fergus）和同事在 2010 年指出，羞耻倾向也可能与焦虑障碍有关，例如社交焦虑障碍和广泛性焦虑障碍等。

2010 年，由瑞士伯尔尼大学（University of Bern）的乌尔里希·奥尔特（Ulrich Orth）领导的一个心理学团队开展了一项研究，调查了超过 2600 位 13 ~ 89 岁之间的志愿者，其中大多数人生活在美国。他们发现，男性和女性羞耻的表现有所不同。另外，年龄也可能影响着人们的羞耻倾向：青少年是最容易体验到这种感受的群体；到了中年时期，感到羞耻的倾向会不断减弱，直到 50 岁左右；最后在老年阶段，人们会再一次变得容易感到羞耻。在少年和青年阶段，人的自我认同仍未完全形成，并且这个年龄段的人群往往受到较高的期待，需要遵守所有外界规则，因为这将决定他们在社会中的定位。由于无法确定要如何应对这些期待，他们可能更容易感到羞耻。而到了中年时期，我们的人格多少变得稳定，外界规则的影响也减弱了。但进入老年阶段后，我们开始担心自己的身体机能和外貌会不断衰退，因此我们的自我意识再次增强。

## 羞耻与内疚

曾经有人猜测，人类之所以会感觉到羞耻，是因为这能给我们的祖先带来某些演化上的优势。例如这种情绪可能会鼓励个体遵守社会规范，争取得到认可，从而促进整个群体的发展。

但是坦尼和其他研究者认为，羞耻不利于人们在社会交往上做出合理的行为举动，反而是与羞耻感略显相似的内疚感，能够促使人们适应社会生活。人们常常将羞耻和内疚混为一谈，但它们其实并不是一回事。与羞耻不同，内疚发生在我们违背了道德、伦理准则，并为此批评自己的时候。其中的区别在于，感到羞耻的时候，我们会以消极的眼光看待自己（如“我干了件糟糕的事情！”）；而感觉到内疚时，我们消极看待的是一种特定的行为（如“我干了件糟糕的事情！”）。我们感到内疚，是因为自己的行为对他人造成了负面影响，并且我们认为自己应为此负责。

### 精彩速览

羞耻是我们普遍经历的一种感受，当一个人违反了自己认可的某种规则时，他就会产生羞耻感。但研究发现，羞耻对个人心理健康具有很大的破

坏力。具有羞耻倾向的人更容易产生心理问题，并且更不愿意在社会交往上做出合理的改变。但与之相似的内疚感，反而可以促使人们采取积

极行动，做出补偿。

因此对于违规的人，最好不要羞辱他们，而是要帮助他们理解自己对他人造成了怎样的伤害。



羞耻感会使我们无法直视对方的眼睛。

在 2005 年的一篇论文中，坦尼和合作者举了一个很好的例子：“假设一个有羞耻倾向的人前一晚喝得太多，第二天上班迟到，受到了批评。这个人可能会想，‘我真是个失败者，我就是无法打起精神按时上班’；而在同样的情境下，一个有内疚倾向的个体更可能会想，‘我为迟到感到非常抱歉，我给同事们带来了不便’。羞耻的感受令人痛苦、具有破坏力，它会打击一个人自我认同的核心，并且可能引发自我挫败，拒绝积极生活，从而造成恶性循环……相比之下，内疚感虽然也令人痛苦，却不像羞耻感那样具有破坏力，它可以促使个体做出积极的改变，来弥补过失。”

进一步来说，内疚表明一个人具有共情能力，这种特质非常重要，它代表一个人能否从他人的角度看问题，能否做出利他行为，以及能否建立良好的亲密关系。事实上，只有把自己放在他人的立场，我们才能意识到自己的行为对另一个人造成了痛苦或伤害，从而产生内疚的感受。无法共情的人也就无法感到内疚，幼儿往往就属于这种情况。内疚阻止我们伤害他人，鼓励我们建立符合共同利益的关系。当感到内疚的时候，我们将目光转向外部，设法逆转自己造成的伤害。而感到羞耻的时候，我们的注意力转向内部，这使得我们自己内心情绪翻涌，却更少地留意周围所发生的事情。

2015 年发表的一项研究清晰地指出了内疚与共情之间的联系。当时在澳大利亚乐卓伯大学 (La Trobe University) 的 马特·特雷比 (Matt Treeby) 和同事们率

先进行了一项研究，评估志愿者感到羞耻或内疚的倾向。他们让 363 名志愿者观看各种面部表情，判断一个人的情绪是生气、悲伤、快乐、恐惧、厌恶还是羞耻。实验证明，和有羞耻倾向的志愿者相比，有内疚倾向的志愿者观察得更加准确，能更好地识别他人的情绪。

当然，羞耻和内疚在某种程度上总是共存的。对许多人来说，内疚也能引发羞耻感，因为引发内疚的行为有时也违背了他们自我遵守的规范。随着我们进行不良行为的意愿的增强，不良行为目击者数量的增多，或受影响的个体对我们的重要性的增加，内疚感和羞耻感也就更容易同时出现。如果受害者排斥或指责了我们，我们的羞耻感也会增强。

### 羞耻感的来源

在《圣经》当中，裸体是羞耻的来源之一。比如，有一个章节这样描写亚当和夏娃：“当时夫妻二人赤身露体，并不羞耻。”而当他们违抗了上帝的命令，吃下智慧树的果实，这种感受就发生了改变，他们开始为在对方面前赤身裸体而感到羞耻：“他们二人的眼睛就明亮了，才知道自己是赤身露体，便拿无花果树的叶子为自己编织裙子。”

《圣经》中对裸体和羞耻感的诠释仍然深深影响着西方社会的规范和习俗，这些外界规范决定了我们要如何面对人的身体和性欲。对于一个人是否可以、能用何种方式、在什么场合、在谁面前赤裸身体，我们的观念也在不断地发生着变化，但违背规范的时候我们仍然会产生同样的羞耻感。

摆脱内疚感常常比克服羞耻容易一些，这一部分是因为我们的社会提供了许多赎罪的途径，比如道歉、支付罚款和坐牢等。但是羞耻感却能够持续很长时间：给别人道歉远比接纳自我要容易得多。

某些形式的内疚也会具备与羞耻倾向同样的破坏力，比如所谓“自由浮动的”内疚（即与具体事件无关），以及对不受自己控制的事件的内疚。不过整体看来，羞耻往往具有更大的破坏力。因此对于父母、教师、法官和其他人而言，如果能让破坏规矩的人改正自己的行为，更有利于社会，那么最好不要羞辱他们，而是要帮助他们理解自己的违规行为对他人造成了怎样的影响，并请他们为此采取行动，做出相应的补偿。

**本文作者** 安妮特·卡梅雷尔是德国海德堡大学心理学系的心理学家和名誉教授。她也是一名执业心理医生，并为年轻的心理医生提供指导。

# 2019年 《环球科学》最美科学阅读 TOP10

在结束21世纪10年代，进入20年代之际，《环球科学》将第六次发布“最美科学阅读”榜单。对于我们来说，这些作品的美，不仅在于它们精美的装帧、精彩的故事，还在于它们所传递精神之美和思维之美：《世纪的哭泣》这本书的作者调查过程中不幸感染HIV，但为了避免创作过程受到主观影响，他一直没让医生告知检测结果，直到提交书稿那一天，才被告知检测结果为HIV阳性；《全球科技通史》的作者则会告诉你，“能量”和“信息”是人类文明的基础和核心，而从这两个角度来审视人类的科技发展史，你会对人类200万年来的发展产生新的认识……现在，让我们一起来看看那些值得我们细细品味的“最美”科学图书。

「扫码回复“科学阅读”，查看更多图书」



## 2. 《追捕祝融星》

作者：托马斯·利文森

译者：高爽

出版：民主与建设出版社 / 后浪



这颗曾经被热捧的行星是物理学发展史中最好的注脚，它的“出现”和“消失”都同样精彩。

自从牛顿奠定经典力学理论以来，无数人将之奉为圭臬，即使发现水星的轨道偏离理论预言，也只是相信在更靠近太阳的地方，存在一颗干扰水星轨道的行星——祝融星。于是，无数的天文爱好者冒着眼被灼伤的风险，持续追寻这颗行星的踪迹。直到1915年，爱因斯坦顶着巨大的压力提出广义相对论，才为这场持续数百年的追寻划上句号。原来，祝融星根本不存在。在这场漫长的博弈中，理论和实践的冲突被摆在读者的眼前，科学家内心的矛盾和挣扎也纤毫毕现。

## 3. 《驯化》

作者：艾丽丝·罗伯茨

译者：李文涛

出版：读者出版社 / 新经典



今天，我们理所当然地享用现代农业、畜牧业带来的美味与营养，与家里的宠物狗嬉戏玩闹。但这一切是如何出现的？

在漫长的演化过程中，为了获取食物与劳动力，我们的祖先不断驯化新的动植物；与此同时，这些物种也在“驯化”并改变人类。本书中的10个经典案例，带领我们追根溯源，寻找物种驯化在全球留下的印迹，重建这些对现代社会影响深远的过程。从数万年的驯化史中，我们将重新审视：我们与其他物种的关系究竟是怎样的？人类如何与被驯化物种共同塑造今天的世界？现在，就让我们回到遥远的冰河时代，开始这段精彩纷呈的旅程。

## 1. 《世纪的哭泣》

作者：兰迪·希尔茨

译者：傅洁莹

出版：上海译文出版社



兰迪·希尔茨属于第一批意识到艾滋病问题的记者之一，可能也是第一位全职报道艾滋病的记者。为了完成这部作品，

希尔茨完成了大量调查和采访，回答了一个无数人都异常关心的问题：艾滋病，为什么会在美国流行？在书中，他用大量事实描述了人类在瘟疫面前的脆弱与无奈，也以精彩的细节呈现了人类在危机来临时迸发的勇气、进取和无私。希尔茨本人的经历，也给这部作品增添了传奇色彩：在采访调查过程中，他也感染了HIV，在书稿交给出版商的当天，他被告知检测结果为HIV阳性。服用抗艾滋病药物几年后，希尔茨在1994年死于艾滋病并发症。

## 4. 《宇宙地图》

作者：海伦·库尔图瓦

译者：温馨

出版：北京联合出版公司 / 联合低音



我们身处何处？对于这个有过无数答案的问题，天体物理学家海伦·库尔图瓦从前所未有的角度给出了新的诠释。

2014年，一张三维宇宙地图展示了银河系的家园——拉尼亚凯亚超星系团。这项充满神秘感与距离感的研究，在项目领导者之一库尔图瓦的笔下变得浅显易懂。他让我们亲临现场，参与这场跨越20年的宇宙地址搜寻之旅。虽然这个意为“无尽天堂”的巨大结构，限制了我们在宇宙中的位置，但也将我们的想象力送往更遥远的宇宙深处。当我们将目光投向这个直径5亿光年的超星系团时，另一场关于广阔宇宙的探险，也就开始了。



## 5. 《最后的数学问题》

作者：马里奥·利维奥

译者：黄征

出版：人民邮电出版社 / 图灵新知



什么是数学？数学作为一种人类思维的产物，为何能完美契合真实世界中的规律？这样的困惑由来已久。有观点认为，数学源于人类的大脑，是人类创造的思维游戏。但又有人说，数学是某种独立于人类认知的真实存在。即使今天，数学家、哲学家以及认知学家对此还存有分歧。在本书中，从毕达哥拉斯的“万物皆数”，到伽利略利对宇宙的开拓性探索，再到罗素的悖论，作者展示了数学在物理学、生物学、天文学，甚至人文科学中“无所不在，无所不能”的力量。在带你观察各位科学家如何思考数学的本质后，这本书将启发你得到自己的答案。

## 6. 《太空移民》

作者：查尔斯·沃尔弗斯

阿曼达·亨德里克斯

译者：李虎

出版：湖南文艺出版社 / 博集天卷



太空移民似乎是遥远的科学幻想，但它却是科学界不断追寻的目标。从航天器到火箭，从太空健康到食物供给，这本书涵盖了关于太空移民的一切。它讲述了历史：作者带领我们亲历那些航天史上的重要事件，体验关键时刻的屏息凝神，直面引人深思的失败与牺牲；也讲述了现状：我们将走进各国航天中心与实验室，看到那些或整装待发，或陷入困境的航天项目的进展；更讲述了未来：在泰坦星建立起太空文明的宏伟蓝图。这本书通过巧妙的架构，在每一个章节为我们展现了科学与科幻的交织、理性与感性的融合。

## 7. 《量子空间》

作者：吉姆·巴戈特

译者：齐师傍

出版：中信出版集团 / 鹦鹉螺



20世纪，物理学家提出了两个极为成功却互不相容的物理学理论——广义相对论和量子力学。如今，21世纪的科学家希望能用“量子引力理论”将两者和谐统一，以解释宇宙在微观尺度上的行为。如果说在通往这一理论的各种途径中，“弦论”是一条车水马龙的道路，那么“圈量子引力理论”就是一条人迹罕至的曲折小径。李·斯莫林和卡洛·罗韦利是这条艰难路途上的探索者，也是这个理论的领导者。本书围绕他们的经历，讲述了这场伟大冒险中的成功与失败、希望与失望，也讲述了圈量子引力的过去与未来，带我们探索解释世界的另一种可能。

## 8. 《全球科技简史》

作者：吴军

出版：中信出版集团 / 先见



人类从野蛮的原始社会走来，一步步走向农耕社会，跑向工业和电气社会，再飞奔进入互联网社会。世界的面貌也在一次次科技迭代中，愈发闪耀夺目，如今无数的人都在畅想科技可能带给我们的未来。纵观全局，人类的科技进程就像是一环扣一环地密切相关。科技的大爆发与方法论的建立、高等教育的发展以及科学理论的传播密切相关。而流淌在人类种族血液中的智慧、创新、合作和竞争，更是在为此推波助澜。作者说，现在的我们是幸运的，能了解宇宙时间、地球生命和人类文明的起点。而从这些起点再次出发，这本将以最本质的视角带你领略人类科技长河的波澜壮阔。

## 9. 《超凡》

作者：罗恩·胡珀

译者：高天羽

出版：广西师范大学出版社 / 理想国



人类的潜能有多大，就有多少值得赞叹的生命奇迹。高智商天才十多岁就能获得顶尖大学的专业学位；超强记忆者能将圆周率  $\pi$  背诵到小数点后 7 万位；超多语言者能学习高达六七十门语言，能深入理解至少有 50 门语言；F1 赛车手能在高速行驶的赛车，精神高度专注长达两小时；航海爱好者用两周的时间就能完成单人全球航行；更有患者在头部遭受严重破坏，身体 80% 的面积被烧伤后，存活了下来。我们总会有一个疑问，这些人惊人的天赋和能力，完全是由基因决定的吗？这本书以思考、行动和生存的多个角度，讲述了这些凸显人类极限和潜能的故事。

## 10. 《人类起源的故事》

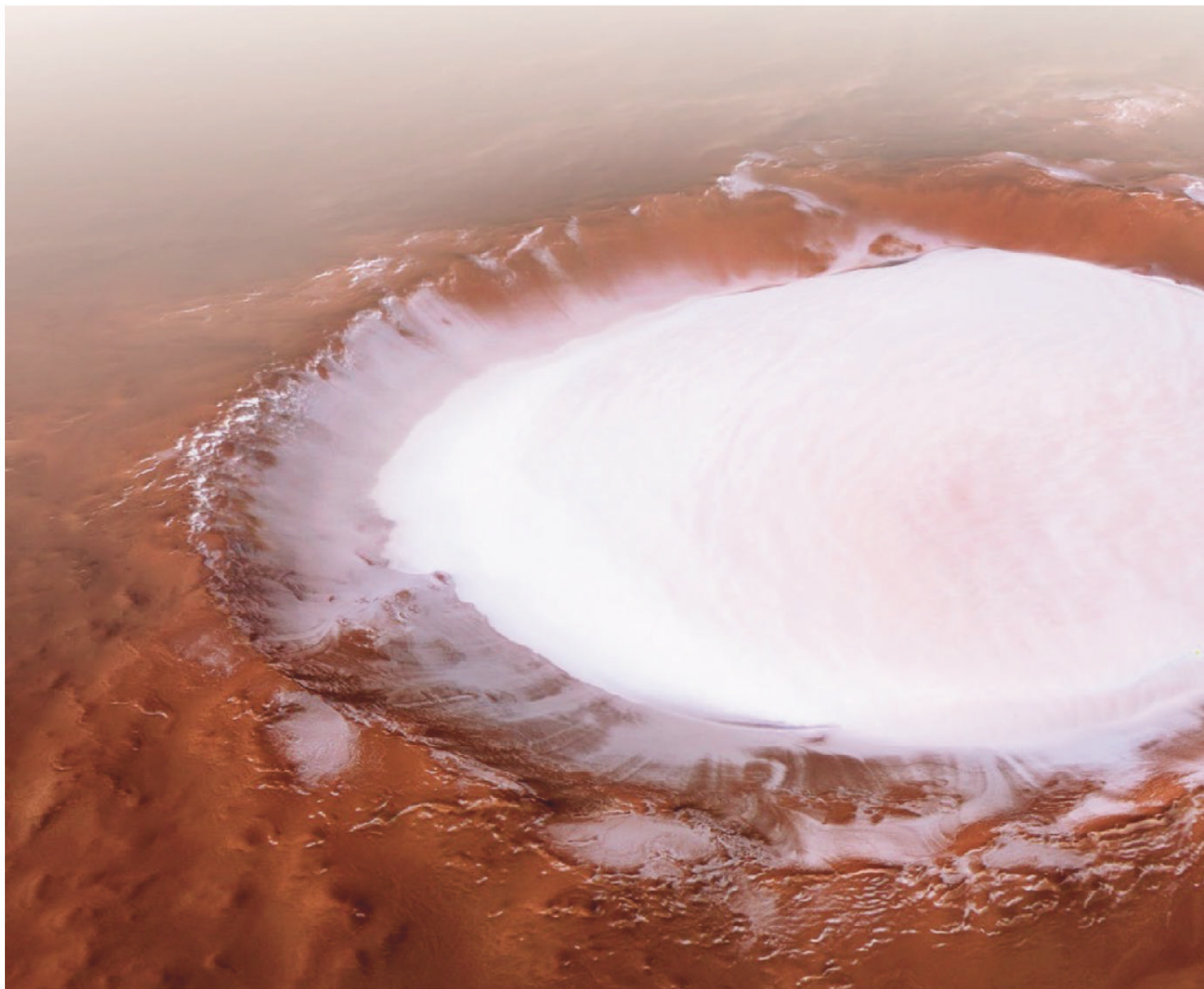
作者：大卫·赖克

译者：叶凯雄 胡正飞

出版：浙江人民出版社 / 湛庐文化



此前，古人类学家只有通过对比古人类残缺的化石遗迹拼凑零散的故事。但是，当科学家开始从古 DNA 的角度研究人类起源时，这种技术就以摧枯拉朽之势改变了我们对人类历史的看法。大卫·赖克恰好是这个过程的关键见证者，作为身处古 DNA 科研第一线的科学家，他层次分明地向我们展示了这项技术的价值。正是这项技术，清晰地阐明了健壮的尼安德特人是如何与非洲以外的人类祖先发生混血；预言了丹尼索瓦人的存在；当然，也还原出东亚人的祖先如何突破重重障碍向东迁徙，与沿途的古人类分支融合，逐渐形成今天仍然居住在亚洲的我们。



## 火星改造实验

通过全新的硅气凝胶系统，我们或许可能移居到火星。

撰文 罗宾·沃兹沃思 (Robin Wordsworth) 翻译 高宏

在行星科学领域，有一个近乎公开的秘密：大部分研究人员最初加入这个领域，是受到了美国科幻作家金·斯坦利·罗宾逊 (Kim Stanley Robinson) 在20世纪90年代的著作《火星三部曲》的激励。这本书描述了从殖民火星到最终将火星“地球化”等故事情节，在研究火星的学者中颇具影响力。

但在2019年，当我重新阅读这套科幻小说时，我注意到书中一些设想的情节仍然遥不可及。把第一个人送上火星，尚且需要漫长的努力，那就更不用说把火星改造成人类的居住地了。

许多严谨的科学方案试图将火星改造为类似地球的星球，但是这些方案都要求巨大的工业生产能力和还不切实际地设想火星上存在足够的二氧化碳。几年前，当我们开始考虑这个问题时，决定采取完全不同的思路。在研究火星的历史气候时，我们很快发现火星在历史上是一个间歇性宜居的星球。它与地球并不相似，是一个独特且完全不同的星球。所以，当我们思考如何让火星成为人类未来的宜居地时，应该更多地从火星上获取灵感。

火星上存在一种特别有趣的自然现象，被称作“固态温



科罗廖夫撞击坑 (Korolev crater) 位于火星北部，是一个完全由冰覆盖的撞击坑，直径为50.6米。图片由欧洲空间局 (ESA) 的火星快车号 (Mars Express) 拍摄。



罗宾·沃兹沃思是哈佛大学环境科学和工程学的副教授。

第一性原理理论，我们发现仅需2到3厘米厚的气凝胶材料布置在火星表面或不太高的地方，就可以隔绝大部分有害的紫外线，并使得火星表面维持足够藻类或蔬菜生长的温度。相比以前的方案，我们的方案从一个局部的区域逐渐展开，更有可能将火星改造成宜居地。

那下一步需要做些什么？虽然这个方案的基础物理部分已经十分完整，但是在如何利用这种方案建造一个真实的火星居住地，依旧有很多工作需要完成。首先硅气凝胶非常脆弱，要作为坚固的外部防护并且能控制内部的压力，它还需要改进，比如与其他材料混合。还有一个问题是，如何给火星上提供足够的硅气凝胶。由于硅气凝胶足够轻，因此可以从地球向火星运输，但是最好的方式还是能在火星上生产硅气凝胶。

硅气凝胶的一个标准制造方案包括一个高压的二氧化碳干燥流程，这些二氧化碳可以从火星大气中获取。值得注意的是，地球上的一些生命体（如玻璃海绵和硅藻浮游植物）能够高效制造纳米尺度的硅气凝胶。设想一下，火星上的生命体最终很有可能可以生产类似硅气凝胶的材料，形成一个可维持和适合居住的生态系统。

事实上，我们下一步计划提高在实验室的火星试验的规模和复杂度，并且在试验场地进行初步的试验。虽然火星非常独特，但地球上有一些不宜居住的地区与其十分相似，如智利的阿塔卡马沙漠和南极洲的麦克默多干谷区域。如果我们能在这些地区验证了方案的可行性，那在证明它在火星表面的可行性上，将能前进了一大步。

而火星改造的最大障碍将是“行星保护”：任何试图将转移生命到火星的计划，都必须避免污染已有生命的土地。相较于之前提出的对火星全球的地形改造方案，我们这种局部和可扩展性的方案更容易操控，但未来“行星保护”依然是一个需要详细考虑的问题。

要在其他行星上建造一个切实可行和自给自足的栖息地，我们还有很长的路要走。如果人类选择将火星改造为一个适合居住的星球，我们的研究将能提供了一个在未来几十年就可实现的可行方案，而不需要花费几个世纪的时间。这是非常值得激动的事情。👍

室效应” (solid-state greenhouse effect)，即每当火星进入夏季，其两极冰冠下的冰层都会被急剧地加热。这一现象出现在，当可见光传播到冰冠下绝热物质的内部时，由于能量被束缚，会产生急剧的加热效应。

受这一现象和几年前我给学习行星气候的研究生布置的一个问题的启发，我们开始研究在火星表面覆盖一层薄薄的透明固体材料，到底可以让火星产生多少热量。在试验中，我们使用了一种全新的硅气凝胶，这种特别的材料兼具极好的绝热性和低密度性（超过97%的成分为空气），而且对可见光近乎透明，这些特点使得它成为创建固态温室效应的理想材料。

美国航空航天局 (NASA) 已经将硅气凝胶用于火星探测器内部的隔热和其他项目。通过综合了实验数据、模型和

**本文译者** 高宏是大连海事大学的物理系教授，目前的研究兴趣包括聚变物理理论和模拟，复杂系统的同步动力学及其在自然、社会、哲学、经济、艺术等多领域交叉学科的应用。



## 人体内的细菌药剂师

肠道细菌可能不仅跟消化系统有关，还与我们服药的疗效有关。

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis) 翻译 贾明月

下次吃药时，想象一下，可能不是只有你在“吃药”，而最先吸收的那位也可能不是你。我们很多人都知道胃肠道里充满了细菌，多数时候它们与我们和平共处，帮我们分解食物、合成维生素、抵抗病菌、传递化学信号到脑部和免疫系统。但是，随着一个名字拗口的研究领域（药物微生物组学）的兴起，科学家发现，体内的这些微型居民还会加工我们吃下的药物，由此引发的结果也有好有坏。

以治疗帕金森病的主流药物左旋多巴为例。左旋多巴进入脑部后，会转化为多巴胺，这是帕金森病患者缺乏的一种神经递质。左旋多巴一般需要与卡比多巴配合使用，因为它可以阻止体内的酶在左旋多巴进入大脑前将其分解。不过，即便使用卡比多巴，在不同的患者之间，实际抵达大脑的左旋多巴剂量也存在很大差别。科学家一直不太清楚其中的原因。有证据表明，即便使用卡比多巴，某些肠道细菌也可以消化左旋多巴。2019年，一项发表于《科学》的研究表明，卡比多巴对这些细菌“完全无效”。当然，这些破坏性细菌的数量因人而异。论文通讯作者、哈佛大学化学教授艾米

克劳迪娅·沃利斯是《科学美国人·精神》前主编。



丽·巴尔斯库斯 (Emily Balskus) 表示：这也解释了同样都在服用左旋多巴，为什么有些患者的获益更小。

细菌还可以破坏经典的心脏类药物：地高辛。医生在很久之前就发现，大约10%的患者无法从这种药中获益，原因是大量药物（有时甚至超过一半）都会因为一种特殊的肠道细菌而失活，这种细菌的名字叫做迟缓埃格特菌 (*Eggerthella lenta*)。加利福尼亚大学旧金山分校的微生物学家彼得·特恩伯 (Peter Turnbaugh) 的最新研究表明，在迟缓埃格特菌中，只有特定几个菌株有这种能力。

此外，体内微生物也会帮助我们。柳氮磺胺吡啶是一种广泛用于类风湿性关节炎、克罗恩病和溃疡性结肠炎的药物。但是，如果缺乏肠道细菌，人体就无法将药物代谢成活性形式。对于多种磺胺类口服抗生素而言，也存在同样的情况。

另外，为人熟知的二甲双胍也与肠道细菌有关，这是一种用于治疗Ⅱ型糖尿病的一线药物。近期的研究表明，二甲双胍可以改变肠道细菌的组成，而这种改变会让二甲双胍变得更有效。巴尔斯库斯表示，具体机制仍然是个谜。

在这个新兴领域，最令人兴奋的工作要属伊立替康，这是一种用于治疗晚期结肠癌和胰腺癌的药物，一般与其他药物组合使用。伊立替康可以杀死肿瘤细胞，但会激起严重的腹泻和肠道损伤。因此，很多患者无法忍受足以治疗癌症的剂量——这种现象叫做剂量限制性毒性。北卡罗来纳大学教堂山分校的化学家马修·雷丁博 (Matthew Redinbo) 正在研究这种现象。为此，他追踪了很多肠杆菌科的细菌（这一科的成员包括沙门氏菌和大肠杆菌）。

伊立替康一般通过静脉给药，随血液循环到达肿瘤。随后，它会在肝脏中被加入一种单糖，以无害的方式向体外排出。不幸的是，细菌热爱糖类，在排出体外的过程中，胃肠道细菌会将伊立替康身上的糖吸收掉，使毒性药物重新活化，进而“撕碎胃肠道”。

雷丁博开发了一种可以阻止细菌吃掉糖的小分子，从而让药物能够无害地通过肠道。在动物试验中，这种小分子成功避免了它的胃肠道毒性。雷丁博希望可以在化疗患者中试验这种机制。Symberix是他和同事联合创立的一家公司，这家公司还在开发另一种药物。

我们知道，常见的止痛药（非甾体抗炎药，如布洛芬和萘普生）可能会导致的肠道不适和溃疡，这种现象同样是由那些喜欢糖类的细菌造成的。他们希望通过研发的药物预防这种现象。如果雷丁博和同事成功了，他们将开启一类药物的新大门，这类药物能够精准修饰细菌。■

史蒂夫·米尔斯基开始撰写反重力思考专栏时，一块典型的构造板块距离现在位置大约还有0.9米。他也是《科学美国人》播客 Science Talk 的主持人。



# 大鼠学会了开车

大鼠不仅能够开车，还觉得开车是件放松的事。

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪

在纽约等地铁的时候，可以用找老鼠的方法来打发时间，因为铁轨上经常会出现一两只。我偶尔也会在站台上发现褐家鼠，它们就这么站着，和其他疲惫的哺乳类动物一起。2015年，有一只勤奋的地铁鼠在网上火了，有人拍到它正拖着一整块披萨往楼梯下走。

但是当你离开大城市，小汽车就成了主要的交通工具。这就是为什么在美国弗吉尼亚州的里士满，老鼠们学会了开车。好吧，这么说不算完全准确，里士满的公共交通系统还没有到逼着啮齿类操作方向盘的地步。实际上，为它们量身定做的小车根本就没有方向盘。但是，说那里的老鼠可以开车是没错的，而且是为了科学。

里士满大学的研究人员制作了一种他们称为“ROV”的东西，你可能认为它代表“是吗？真的是”（Really? Oh, Very），但其实它是“啮齿类操作车辆”（Rodent-Operated Vehicle）的缩写。制作ROV的材料是一只不到5升容量的透明塑料餐盒，以及一些可以在市场上随意买到的机器人组件。司机可以向外看，外面的人也可以把司机看得清清楚楚。

当然了，你不可能告诉一只大鼠把ROV开出来转一圈。

于是科学家在车内底部的一块铝板上连了一节电池。他们还在电池的另一极连了一根铜丝，把铜丝弄弯后，拗成插入车内前部的几根细杆。当一只大鼠后腿踩上铝板，前足搭上铜丝，它就闭合了一个可以驱动汽车行驶的回路。这样，赛车鼠就可以上路了。

2019年10月，研究人员将相关成果发表在《行为脑研究》（*Behavioural Brain Research*）杂志上。文中提到，“在这种动物5个月大时，就可以训练它们驾驶了”。这个年龄看起来很小，但是雄性性成熟的时间是在6周左右，如果按美国人首次驾车的年龄来算，它们已经要经过漫无尽头的等待才能开车了。

通过改变前爪在铜丝上的位置，大鼠很快就学会了驾驶这辆迷你车。显然，大鼠学会了开车，但却没法通过书面测试，对它们而言，写一张违停罚单可能比停车还难。对于这些毛茸茸的司机，学习开车的动力是为了得到奖赏：果脆圈（Froot Loops）。这是大鼠和实验人员都喜欢的食物。成功驾驶的大鼠会得到一小块果脆圈，它们的“教练”肯定也不时地往自己的嘴里扔几块。现在，我们已经可以在网上看到这些毛茸茸的司机开车的视频了。说实话，我在佛罗里达购物中心的停车场上见过开得更差的。

为什么要搞这么麻烦的研究？让老鼠快乐地跑迷宫赢得食物不好吗？答案就在这项研究的标题里：《丰富环境使啮齿类动物更快掌握驾驶技术》（*Enriched Environment Exposure Accelerates Rodent Driving Skills*）。丰富环境是指，相对于标准环境，在生存资源和社交刺激方面更加复杂多样的环境。其实大多数人类开车也是为了收集食物（一种生存资源），或者赚钱，但赚钱也是为了收集食物。

在实验室的安排中，有一部分大鼠是在“丰富环境”中长大的，它们的大脑接收了许多刺激。另一些则是在“标准环境”中长大的。比起他们忧郁的同类，那些在高档社区中长大的大鼠能更快学会驾驶，维持驾驶技能的时间也更长。

正如研究者在文中所说：“复杂的驾驶任务可以看作人机互动的一个模型，这些互动包括驾驶汽车，或是操纵其他技术设备。”这么说，著名赛车手戴尔·恩哈特（Dale Earnhart）也可以成为研究“学习和技能获得模型”的对象。

研究还有另一项发现：在分析两种激素水平的比例后，科学家发现，大鼠似乎觉得驾驶能令它们放松。当然了，它们是在受控的条件驾驶的，而不是在工作日下午5点穿行在拥挤的城市里。如果是那种环境，这些聪明的大鼠就会知道乘区间列车才是更放松的选择了。🐭



R·普莱斯顿·梅森任职于美国布列根和妇女医院心血管科和哈佛大学医学院。他也是 Elucida Research 生物技术公司的总裁和联合创始人。



## 鱼油保健品有用吗

迄今为止，所有关于鱼油保健品的研究都显示，服用鱼油没有显示出任何明显超出其他标准疗法的临床效果。

撰文 R·普莱斯顿·梅森 (R. Preston Mason) 翻译 赵剑琳

在长达几十年的时间里，鱼油一直被宣传可能减少心血管疾病，但在实际健康效益上的缺乏表明，消费者购买这些保健品是在浪费他们的钱。

在美国，每38秒就有一个人因心血管疾病而死亡。更糟糕的是，心血管疾病导致死亡的人数在连续多年下降后，从2011年开始呈现明显的增长趋势。中风、心脏病和其他心血管疾病为大量的患者带来了巨大的痛苦和医保负担。

这些数据十分令人不安，特别是考虑到大约1900万美国人每个月都在服用鱼油。很多人希望鱼油能预防心脏疾病，尽管没有可靠的证据能证明这些保健品（也称为omega-3脂肪酸保健品）具有这种健康效益作用，甚至还有可能会导致严重的后果。迄今为止，所有关于鱼油保健品的研究都显示，服用鱼油没有显示出任何明显超出其他标准疗法的临床效果。

由于被频繁灌输规律性服用鱼油可以预防心脏疾病的观念，消费者似乎已将其奉为真理，但是这一观念并没有获得科学证实。鱼油经过几十年“可能有效”的宣传后，仍缺少实际的效果证明，因此我得出了这样的判断：消费者为降低心血管疾病风险而购买鱼油保健品是在浪费金钱。

2019年7月9日，著名医学期刊《内科科学年鉴》(Annals of Internal Medicine) 刊登了一份有关所有保健品效应的研究结果的综述性报告，其中共测试了24种声称可以预防心血管疾病的保健品和食物的治疗效果。研究人员评估了9个系统性的检测试验和4个随机的对照试验，共涵盖了277项测试和高达992 129名参与者。结果表明，几乎没有营养保健品或饮食干预措施能够预防心血管疾病，其中一些甚至有害无益。研究还特别指出，Omega-3制剂与降低心肌梗死和冠心病的风险之间只存在“低确定性”关系。

由于美国食品及药品管理局 (FDA) 将膳食补充剂如鱼油等列为与处方药品不同的分类，这些保健品不需要经过FDA严格的测试和审查。不像处方药或某些非处方药

(OTC)，这些保健品的有效性和安全性并没有经过安慰剂对照的临床试验，但大部分都能上市。以鱼油保健品为例，它们的外包装常有一些标签暗示对心血管健康有益，但却无法治疗任何病症。

这项研究还只是日趋增长的证实鱼油保健品缺乏健康效益的研究之一。其他研究还发现常见的鱼油保健品存在omega-3含量达不到标称、含量不稳定和纯度不可控的问题，其中还有可能存在大量的饱和脂肪或腐坏的油脂。

除了患者对鱼油保健品的效果和安全性感到迷惑之外，一项由美国菲尔莱狄更斯大学 (Fairleigh Dickinson University) 民意调查部门进行的调查表明，在给患者推荐过omega-3制剂的医生和药剂师中，有85%的人错误地以为omega-3制剂是FDA批准的非处方药。还有30%的药剂师和22%的医生错误地认为omega-3处方药和omega-3保健品有着类似的成分和效果。而正是因为如此，才有如此多的患者认为omega-3保健品具有预防和治疗心血管疾病的效果。

为了抑制由心脏疾病导致的死亡人数的增加，心血管疾病风险的患者以及他们的医疗提供方，都需要基于研究依据来评估所使用或推荐患者使用的保健品的健康效益。另外，鱼油保健品应受到与处方药相同程度的严格审查，特别是在消费者或患者服用它们预防或治疗心血管疾病的情况下。

正如美国斯克利普斯科技转化研究所的阿米特巴·C·潘德 (Amitabh C. Pandey) 和埃里克·J·托普尔 (Eric J. Topol) 在《内科科学年鉴》那篇报告的评论中所说：“我们有理由对所有保健品的指导性和推荐性内容都慎之又慎。”



《科学美国人》创刊时，是一份4版、黑白印刷的周报。



1845年8月28日

# 封面与时代

2020年是《科学美国人》创刊175周年。这175年来，《科学美国人》封面上的变化，不仅反映了科学的发展，也透视了全球出版业的变迁。

撰文 珍·克里斯琴森 (Jen Christiansen)  
制图 尼古拉斯·鲁若 (Nicholas Rougeux)  
翻译 褚波

1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

自1845年创刊以来，《科学美国人》一直在跟踪出版行业的技术进步，有些甚至还是以封面故事的形式报道的，比如1969年5月，我们的封面故事就是数字排版技术。其他技术对出版的影响，可以从《科学美国人》封面色彩的变化体现出来。

《科学美国人》创刊最初的近80年里，一直是以周报的形式出版，每期都是黑白印刷（偶尔会有一点其他色彩），但在1917年，《科学美国人》开始使用轮转胶印机印刷封面，而这种印刷可以印出油画般的封面。因而在1921年，《科学美国人》从周报变成了杂志（月刊）。但在1931年，因为美国经济处于大萧条时期，所以《科学美国人》为了节省成本，又短暂地把封面改成了两色印刷。

1948年，《科学美国人》的封面再度发生变化，全彩印刷回归，每期封面上都会有一幅彩色图片置于纯色背景上面。1952年，封面的纯色背景固定为白色。在此后的52年里，封面一直沿用这种形式。到了20世纪末，由于桌面排版技术和软件的出现，《科学美国人》的封面设计进行了更多尝试：图片开始摆脱白色背景的限制，并采用了精美的艺术插画，引领了当时的封面设计潮流。

1921年11月，《科学美国人》转变为月刊，图表上每月一根水平条代表每月只出版一期。每一格里的五色小方块代表每期刊用在封面上的颜色，最左的小方块代表最常用的颜色，最右的则代表不那么常用的颜色。



1921年11月



1932年5月



1942年1月

1948年5月，《科学美国人》重新设计了封面样式：标志性的方块图片放在纯色背景上，“Scientific American”放在了封面左上部。在随后40多年里，《科学美国人》一直坚持这种设计方式，期间仅有一些微调。



1948年5月



1969年5月

在20世纪90年代，桌面排版技术的出现让封面设计更加方便，因此《科学美国人》设计了一些让人惊艳的封面图片。



1997年3月





## 1970年

### 微电子时代

自1948年晶体管问世以来,电子设备的体积,几乎每5年就会缩小到原来的十分之一。之所以想把电子电路微型化,是因为当时美国的弹道导弹项目有这样的需求。然而在微电子技术开发出来以后,它很快就用到了商业计算机上。目前看来,未来会出现一种不可避免的趋势:微电子电路将很快被用于不同的领域和环境,无论住宅、办公室、学校还是公路上……这些应用将会对我们的日常生活产生深远的影响。



## 1920年

### 发射火箭

在谈起自己发明的一种探索极高层大气的设备时,美国克拉克大学的罗伯特·H·戈达德博士(Robert H. Goddard)随口提到,只要赋予这部设备足够的动力,就有可



能把它开向月球。为了达到探索极高层大气的目标,戈达德博士确实将向天空发射了探测设备,可以收集许多具有气象学价值的数。但是戈达德博士并不会向月球发射探测设备,这件事只能由别人来做了。

### 冷藏用冰块

为了加快切割天然冰块的速度,有人发明了一种用汽油驱动的锯子(如图所示)。这把锯子包含一台汽车发动机和一把圆锯。锯子由后面的操作员推动,提供向前的动力。这把移动式锯子能将冰切割成边长6米的方块。随后,切割好的冰块会顺着水流引向另外四把圆锯,进一步切割成尺寸更小的冰块。



## 1870年

### 潜水工程师

在水下工程中,没有哪一项的个人风险比潜水还大,其中最关键的要数操作过程。稍有不慎,就面临死亡的危险。如今,这门技艺已经有了一定的进步,潜水装备也得到了进一步的改善。潜水员已经可以下潜到30米的深度了。目前,全美国大约有30名职业潜水员,每年的平均死亡数为4人。

### 绿色印刷 保护环境 爱护健康

亲爱的读者朋友:

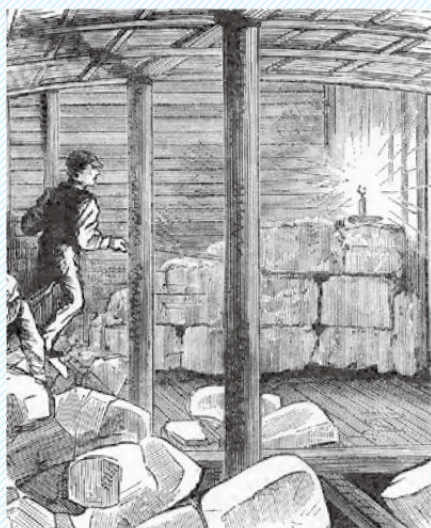
本书已入选“北京市绿色印刷工程——优秀出版物绿色印刷示范项目”。它采用绿色印刷标准印制,在封底印有“绿色印刷产品”标志。

按照国家环境标准(HJ2503-2011)《环境标志产品技术要求 印刷 第一部分:平版印刷》,本书选用环保型纸张、油墨、胶水等原辅材料,生产过程注重节能减排,印刷产品符合人体健康要求。

选择绿色印刷图书,畅享环保健康阅读!

北京市绿色印刷工程

## 《科学美国人》创刊175周年



1877年,从纽约开往利物浦的一艘蒸汽船上,堆积的冰块正在给一批鲜肉降温。



## 175年来的科技奇迹

在1848年的《科学美国人》上,曾发表过这样的一条观点:“到目前这个时代为止……人类不停地在寻找更好的制冷手段。”

19世纪,人们在冬季时收割冰块,以此保障家中和运输过程中食物的新鲜程度。早在1756年,就有人展示过“人造冷气”,然而直到20世纪前,这都是一项复杂的技术,有时还有危险,用途十分有限。到1909年,“无论是农村人还是城市人,日常饮食都因为冷气技术的应用而发生了巨大的改变。”1928年后,化学奇迹氟利昂(其实也不能算奇迹,它在1987年就被禁售并替代了)使家庭冰箱取代了“冰盒”(icebox)。另外,冷气还促进了生产效率,提高了人类生活的舒适度。在《科学美国人》1933年的一篇文章中,威利斯·开利(Willis Carrier)称赞说:“我们已经能够掌控周围的空气条件了。”

给周围的空气降温(二月份时还得增温)需要投入能量,也会增加碳排放。但是技术进步会帮助我们逐步降低能耗。另外,这项技术也一直在帮助我们减少粮食浪费的情况。



封面故事 COVER STORY

# 数字化科普传播平台

## 交互式科普互动方式

# 让科学无界

[www.hudongkepu.com](http://www.hudongkepu.com)



热点话题 | 在线课堂 | 专家问答 | 视频音频

汇集海内外优质科普资源 构建多元化立体传播