

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6月号  
总第191期 每月1日出版 定价: ¥30

特别报道

攻克  
阿尔茨海默病

BEST  
SELLING

中国邮政发行业务报刊

[封面故事]

# 量子 蒸汽朋克

一些物理学家试图将量子物理、信息理论和热力学这三大领域结合起来，  
创造出“量子引擎”这样具有科幻色彩的新技术。

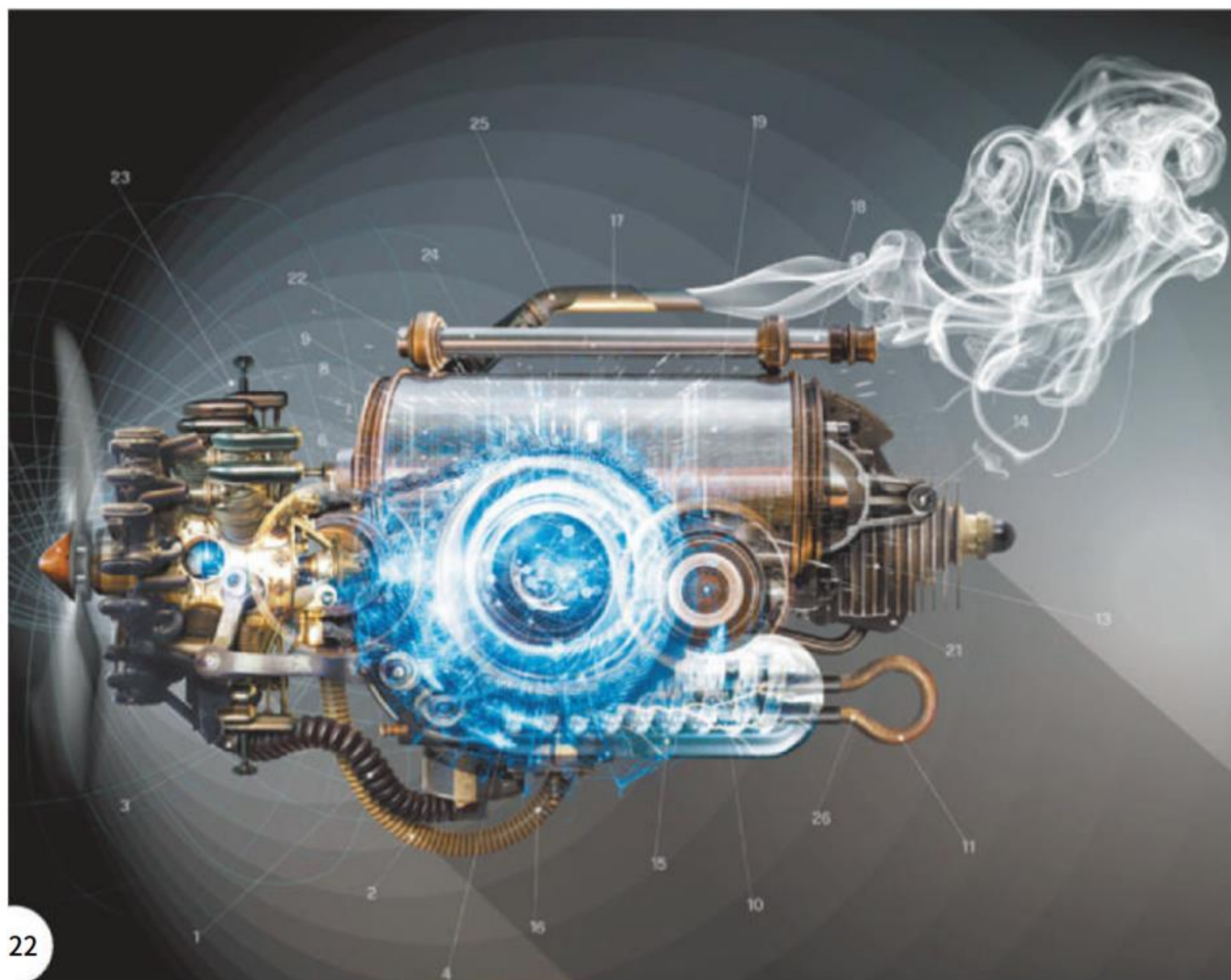
9 771673 515207



ISSN 1673-5153



绿色印刷产品



## 封面故事 COVER STORY

### 量子蒸汽朋克

就像幻想文学中的蒸汽朋克概念一样，一些物理学家也试图将量子物理、信息理论和热力学这三大领域结合起来，创造出“量子引擎”这样具有科幻色彩的新技术。这篇文章可能是新旧交汇的先声，也有可能如威尔斯和凡尔纳的小说一般，是对未来的预言。

#### 特别报道

#### SPECIAL REPORTS

## 28 攻克阿尔茨海默病

### 30 患者故事：阿尔茨海默病有多可怕

撰文 乔尔·舒尔金 (Joel Shurkin)

本文作者看着这种疾病带走了妻子，摧毁了他的家庭，而他什么也做不了。

### 32 阿尔茨海默病的理论困境

撰文 塔尼亚·刘易斯 (Tanya Lewis)

科学家一直针对  $\beta$ -淀粉样蛋白研究药物，但都未奏效。

### 34 为何女性风险更高

撰文 杰纳·平科特 (Jena Pincott)

雌激素水平下降，大脑的糖代谢效率降低，让更年期女性更易患上阿尔茨海默病。

### 40 空气污染：阿尔茨海默病诱因？

撰文 艾伦·拉普·谢尔 (Ellen Ruppel Shell)

空气中的颗粒物有可能进入大脑，给大脑造成损伤，增加患病风险。

### 46 下一代研究：5个新方向

撰文 肯尼思·S·科希克 (Kenneth S. Kosik)

这5个新方向的研究或许能催生真正有效的疗法。

#### 物理学 PHYSICS

### 52 玻姆力学将是终极理论？

撰文 沃德·斯特鲁伊 (Ward Struyve)

量子力学是现代物理学最大的成就之一，但它也存在着诸多问题。对此，最有潜力的解决方法之一就是德布罗意-玻姆理论，又称玻姆力学。但是，这一理论一经提出就受到广泛质疑，甚至德布罗意和玻姆本人都曾放弃过。如今，这一理论重新焕发了光彩，许多研究者试图将它与广义相对论和量子场论相统一，以完成“大一统理论”。

#### 材料学 MATERIALS

### 60 超冷材料：未来空调

撰文 林晓智 (XiaoZhi Lim)

一类超冷材料有望利用太阳能，为建筑降温。特定波长的光线可以穿过大气层，直接逃逸至太空中。利用这个特殊的性质，科学家开发出包括涂料、塑料、木材在内的一系列超冷材料。即使在阳光照射下，材料温度也比周围环境低  $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。因此，一些科学家希望利用这类材料，开发更加节能的下一代“空调”，甚至为整个地球降温。

#### 地质学 GEOLOGY

### 66 大塔穆：重塑海底火山理论

撰文 威廉·W·塞杰 (William W. Sager)

在很多人的印象中，耸立的火山是经过一次又一次的喷发，在岩浆不断向上堆叠的过程中形成的。当科学家在海底发现大塔穆火山时，也套用了同样的理论。但是，他们深入研究之后却发现，大塔穆火山并不是一层一层向上堆叠形成的，而对这座海底火山成因的探索，可能会改写我们对洋壳形成过程的认识。

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

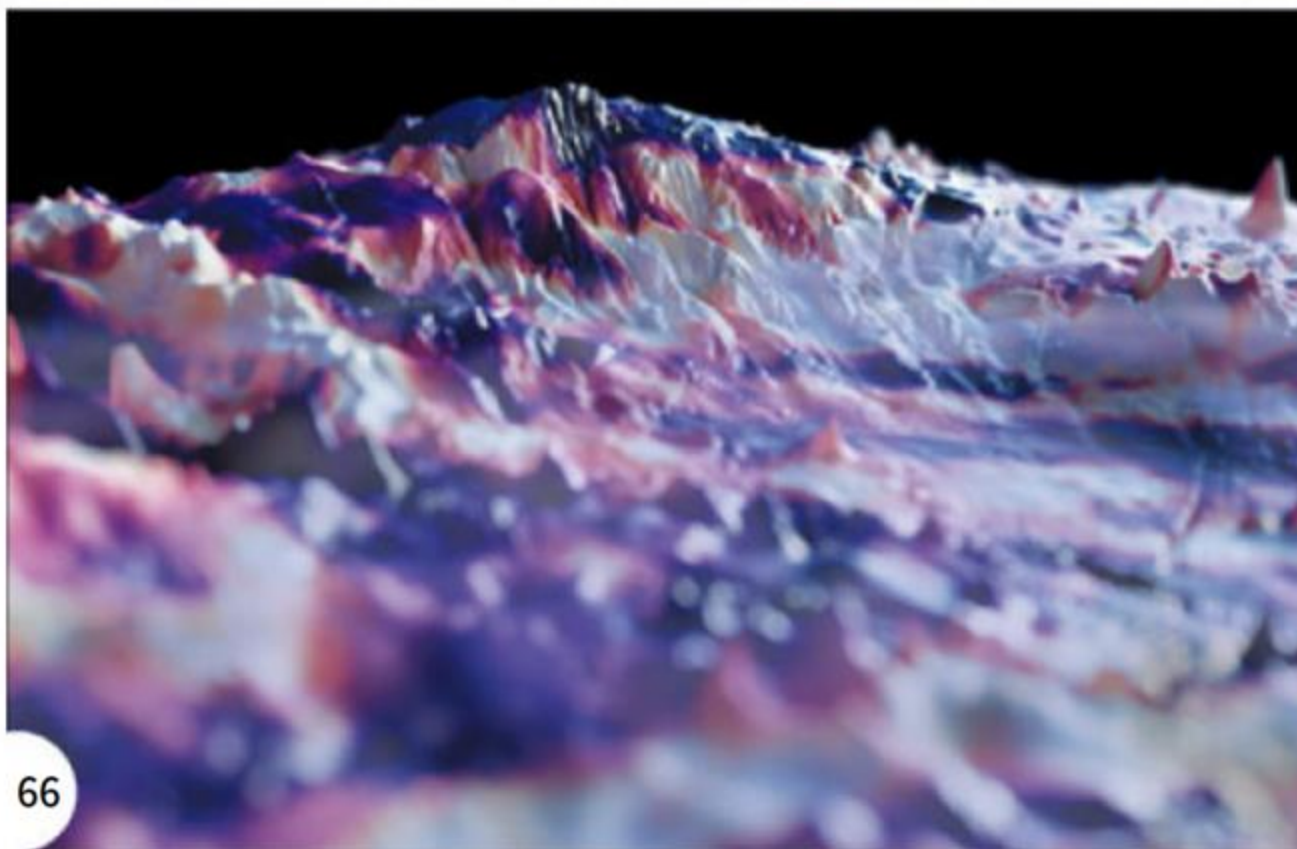
**56**元

包快递





28



66

## 环境 ENVIRONMENT

### 72 丛林里的冲突：谁来保护原住民

撰文 杰罗姆·刘易斯 (Jerome Lewis)

在刚果盆地的森林里，曾生活着无忧无虑的原始部落——巴雅卡-俾格米族人。数万年来，他们一直与森林和谐相处，互惠共生。然而在短短几十年间，一系列粗暴的生态保护和经济开发政策不仅导致森林日渐凋敝，还使大批俾格米族人流离失所。当初的环保者与开发者没能意识到，原住民才是大自然最好的保护者。

## 医学 MEDICINE

### 82 深空探索的32种风险

撰文 查尔斯·沃尔弗斯 (Charles Wohlforth) 阿曼达·亨德里克斯 (Amanda Hendrix)

美国航空航天局的研究显示，如果进入太空，人类至少需要面对32种危险，包括听力损伤、吸入有毒月尘、遭遇免疫系统问题、在失重情况下患上肾结石等。虽然科学界已经在尝试研究失重导致的体液减少、贫血、神经变化、肌肉萎缩和骨密度下降等问题，但到目前为止，进展十分有限。

## 医学 MEDICINE

### 88 抗抑郁药物突破困境？

本刊记者 杨心舟

近半个世纪，抗抑郁药物的研发都没有取得明显的新突破，就连抑郁症的病理机制都迷雾重重。好消息是，在最近两三年里，科学家对抑郁症机制有了更多了解，一些更有效的药物也开始涌现。

## 前沿 ADVANCES

### 12 穿透行星的地震波

美式英尺将被放弃

会使用“兴奋剂”的鱼

全球科技热点

热带土地影响物种灭绝

两美元检测水质

疫苗运输不再需要冷链？

一次叮咬传播17种疟原虫

野鸡为什么没有被驯化

裸鼹鼠为什么总是藏在地下

## 专栏 COLUMN

### 08 《科学美国人》国际版本速览

#### 时间晶体 TIME CRYSTAL

### 09 “够好了”与“更加好”

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek)

为了找到解决问题的最佳方案，科学家必须避免跌进“局部极值点”的陷阱。

### 10 全球学术期刊概览

#### 健康科学 THE SCIENCE OF HEALTH

### 92 器官捐献难题

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis)

一些危重病人在生命即将走到终点时，希望将自己的器官捐献出来，但器官捐献却面临一些法律和伦理上的问题。

#### 反重力思考 ANTI GRAVITY

### 93 为什么有人相信地球是扁平的

撰文 史蒂夫·米斯基 (Steve Mirsky)

在美国，不仅有人相信地球是扁平的，还有人认为恐龙是伪造的。

#### 科技投资 VENTURES

### 94 语音奇点

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush)

语音识别技术能达到100%的准确率吗？

#### 物理观察 OBSERVATION

### 95 最早的外星人猜想

撰文 凯莱布·A·沙夫 (Caleb A. Scharf)

我们是从什么时候开始谈论外星生命的？最早的文字资料来自公元前200年。

### 96 经典回眸 50,100&150 YEARS AGO

万物，献给对世界充满好奇的你！

# HOW IT WORKS

## 万物

## 2020年暑期征订启动



15 个国际版本，《How it works》独家授权，

畅销全球的青少年科学杂志，

涵盖宇宙太空、地球环境、工程机械、信息技术、建筑设计、考古发现、生物医学七大领域

酷炫的 3D 视觉，带你透视超级工程，解构未来科学！

超值优惠礼



《环球科学》2020全年  
定价360元（12期）

+



《环球科学》青少版 (How it works独家授权)  
2020全年定价360元（12期）



—原价：720元/年—

优惠价：

**428**元/年



全年包快递

扫码订阅



订阅热线：010-57458982

## 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

编辑部副主任 Deputy Editorial Director

吴非 Wu Fei

资深编辑 Senior Editor

罗凯 F. Leocas / 魏潇 Wei Xiao

编辑 Editor

杨心舟 Yang Xinzhou

助理编辑 Assistant Editor

石云雷 Shi Yunlei / 张琪 Zhang Qi

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 Lippei

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191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、移动端终端版、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·博乐 (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)  
马里兰大学帕克分校教授、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学教授

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研究组  
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 Fore-  
casting 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.

# 《环球科学》经典珍藏版

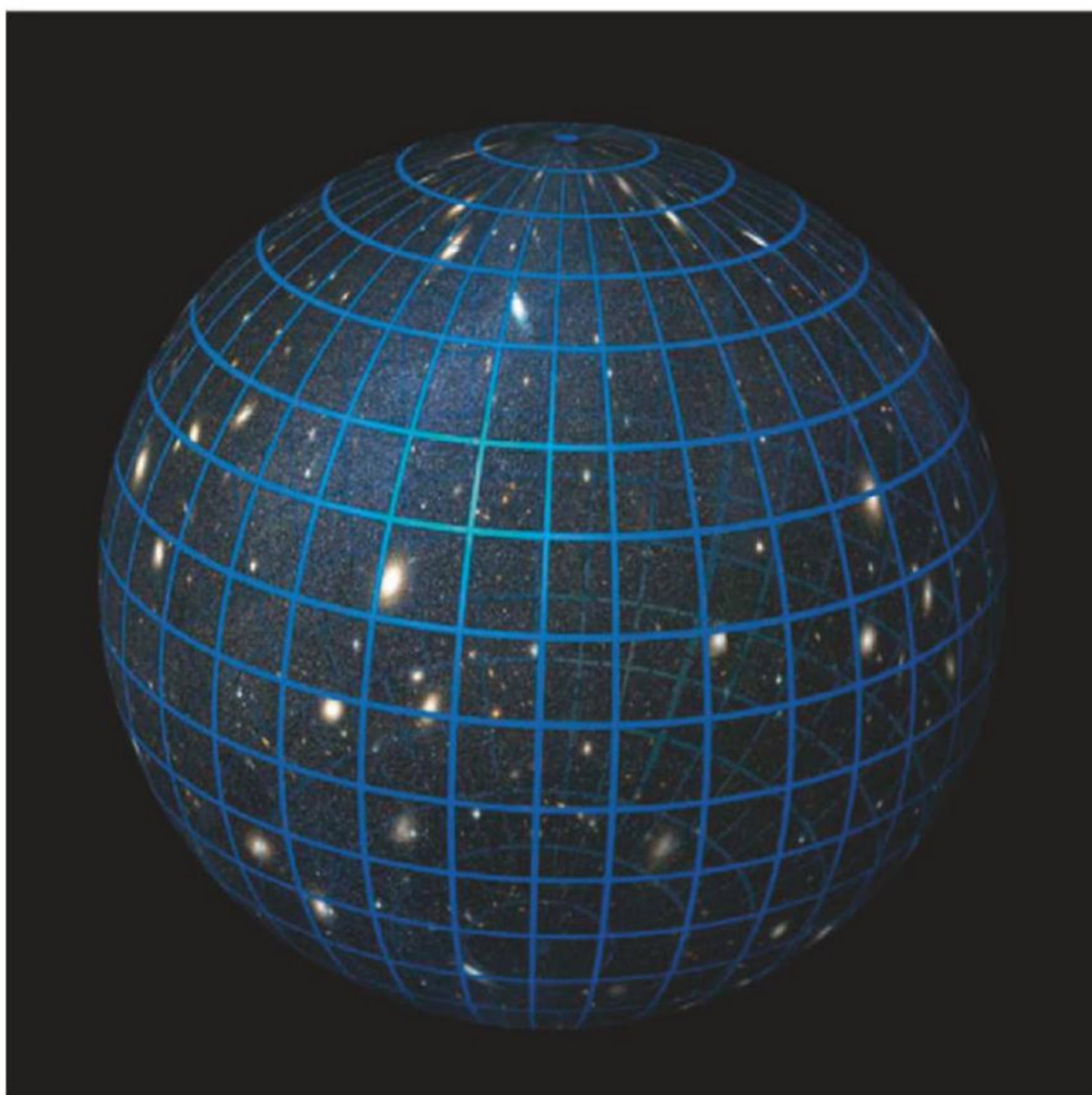
《环球科学》× 机械工业出版社 联合出品



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

## 宇宙是弯曲的？

宇宙是什么样子？目前的一个重要假说认为，宇宙是“平直”的，遵循欧几里得几何原则，也就是说，在这样的宇宙中，两条平行的直线永远不会相交，而且对于任何一个三角形来说，不管它们的角度怎样变化，三个角之和都等于 $180^\circ$ 。但是，一些物理学家最近对宇宙微波背景辐射进行分析后认为，宇宙可能并不是平直的，而是弯曲的，且曲率为正，就像球一样。因此，关于宇宙是什么样子，目前存在三种假说：平直的、封闭的（曲率为正）、开放的（曲率为负）。至于哪一种假说是正确的，答案可能会在今后几年揭晓：2022年，欧洲将会发射一颗名为EUCLID的空间探测卫星，它的主要任务便是绘制100亿光年内的星系图谱。通过研究大量的星系图谱，科学家或许能看出宇宙是什么样子。

德国版

## 沼泽变得越来越干燥

一个国际研究团队最近研究发现，随着气候变暖，全球很多地方的沼泽可能会失去越来越多的水分。这是因为沼泽周围长着很多苔藓，当温度升高，苔藓容易丧失水分，它们就需要从沼泽吸收更多的水分。这个研究团队在95个沼泽观测点都注意到了这样的现象。他们认为，随着沼泽的植物变得越来越干燥，发生火灾的可能性也会升高；而一旦发生火灾，沼泽地区就会向大气释放更多的二氧化碳，加剧气候变暖，形成恶性循环。而且，气候学家还有一个需要考虑的问题就是，很多气候模型在预测未来的气温变化趋势时，都忽略了沼泽的这种特征，因而之前得出的某些结果可能存在较大偏差。

科学美国人·健康与医学

## 为什么要接种 HPV 疫苗

HPV是最常见的性传播病原体之一。大部分时候，人体免疫系统就可以把它们清除掉，但是，一旦无法清除，它们就可能带来健康问题，比如让女性患上宫颈癌、阴道癌、外阴癌；让男性患上阴茎癌、口咽癌。美国每年有34 000个新增癌症病例都是由HPV引起的，而根据世界卫生组织的估计，HPV在全球每年会引起570 000例宫颈癌。通常HPV疫苗在11~12岁的青少年中最有效，因此，世界卫生组织和美国食品药品监督管理局最初建议26岁以下的人群应该接种HPV疫苗，但鉴于HPV可能造成的健康危害，美国食品药品监督管理局最近调整了相关建议，认为45岁以下的人群都应该接种HPV疫苗。

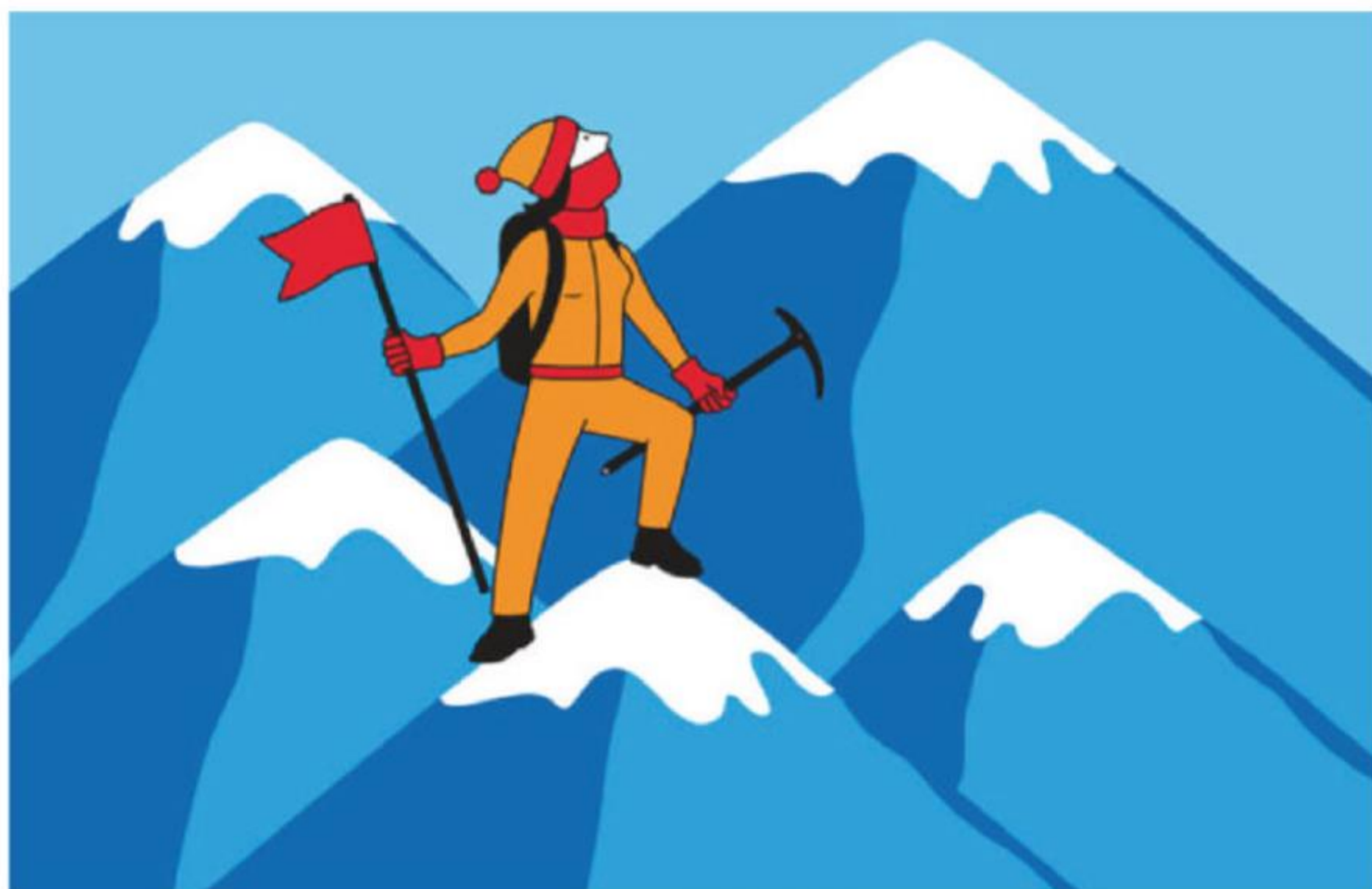
法国版

## 反中微子是暗物质？

宇宙大爆炸是一个广为人知的理论，它解释了宇宙的起源与演化。但是，这个理论无法解释的一个问题是，为什么宇宙是由物质构成的，而不是暗物质？或者，为什么宇宙里存在物质，而不是一个空荡荡的宇宙？这个问题已经让物理学家困惑了很多年，不过，日本的T2K实验团队最近可能发现了一些线索：研究人员发现，中微子和反中微子在行为上有着明显差异，而且反中微子有可能是组成暗物质的粒子。在此前很多年里，科学家一直在寻找暗物质的踪迹，但一直没有收获，如果T2K实验团队的这一猜测能被证实的话，无疑会是21世纪的物理学的重大突破，整个物理学也会进入新的发展阶段。



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。



## “够好了”与“更加好”

为了找到解决问题的最佳方案，科学家必须避免跌进“局部极值点”的陷阱。

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek) 翻译 胡风 梁丁当

假如一切可以从零开始，毫无疑问，我们应该使用公制单位而不是英寸和英尺，用十二进制而不是十进制，用德沃夏克键盘而不是QWERTY键盘（QWERTY键盘是指以QWERTY构成键盘字母区前6个字母的键盘；德沃夏克键盘采用了不同布局，将5个元音键和最常用的辅音键安排在键盘中间行）。但在这个世界的很多地方，英寸、十进制和QWERTY键盘已经成为了标准。人们围绕着这些标准形成了思维习惯，建造了配套设备。此时要做出改变是非常痛苦的。这些日常生活中的例子背后折射出的是一个深刻的问题——“局部极值”。这个问题如同一个幽灵，困扰着科学发展与人类生存。

为了理解什么是局部极值，让我们设想一个登山者，她尝试登上一段山脉的最高峰。无论她从哪里出发，只要遵循一个简单的模式——始终往上攀登，一段时间内，她总能越爬越高并到达一个顶峰。可这样的攀登模式却不一定能保证她登上整段山脉的最高峰。换句话说，她到达了一个局部最大值，但不一定是全局最大值。更高的山峰可能在别的地方，被山谷和山口隔开了。如果要去那儿，她必须先往下走，或许还要再绕点儿弯路，然后才能继续登高。

在物理及其应用中，人们经常遇到这样的情况，即需要探索一系列可能出现的结果。比如，我们已经知道了某些蛋白质中氨基酸的序列，然后想去确定蛋白质在内部张力下可能折叠成的形状。我们可以先猜一个形状，然后加一些小的变化，最后得到一个稳定的结构。但是，如果我们从一个截然不同的起点开始，答案可能全然不同。

在“疯牛病”和人类的库鲁病等疾病中，原本在正常情况下有用的蛋白质出现了构型的变异，从而导致蛋白斑块的形成，给细胞造成了损伤。如果从正常构型的蛋白质开始，这种变异是很难发生的。但只要出现了一个错误折叠的分子，它就可能作为模板产生另一个结构变异的分子。这种变异一旦形成就比较稳定，因为它是一个局部极值点。

对于生物演化或者人类社会来说，要脱离局部极值点是困难的。如果没有小行星的毁灭性碰撞，恐龙可能还在称霸地球，而哺乳动物仍然是被它们统治的夜行物种。如果没有欧洲黑死病的爆发，文艺复兴和整个现代文明都可能被严重推迟。

在我们个人的生活中，放弃一个舒适的局部最佳点可能是很痛苦的选择。如果我的生活已经够好了，我还需要再去考虑换工作、移民或者重返学校吗？伏尔泰 (Voltaire) 告诫我们：“最好是进步的敌人。”可是波斯诗人欧马尔·哈耶姆 (Omar Khayyam) 在诗里写道（摘自《鲁拜集》）：

啊，爱！你我应与命运同谋，  
理解这令人憔悴的万物之道，  
我们把它砸成碎片，然后，  
再按我们的心愿重新筑构！

心理学家告诉我们，通常随着年龄增长，人们会变得更加知足。对此，一个可能的解释是，当强烈改善生活的希望随着光阴逐渐逝去，人们也不再需要为由此带来的付出与风险而焦虑。似水流年间，诗人欧马尔的一腔热血渐渐褪化为伏尔泰的云淡风轻。■

# 全球学术期刊概览

领研网 [www.linkresearcher.com](http://www.linkresearcher.com)



DOI: 10.1111/gcb.15048

## 《全球变化生物学》

### “寿司寄生虫”数量惊人

美国华盛顿大学最近发布的一项研究显示，“寿司里的寄生虫”在过去40年里增加了283倍。研究团队收集了过去半个世纪（1967年至2017年间）发表的123篇论文数据，这些论文估计了世界各地不同物种中寄生虫的数量。经过分析，他们发现异尖线虫（*Anisakis*）的感染患病率在50年间大幅上升——从1978年平均每100个宿主只有不到一只寄生虫，到2015年每个被测宿主身上都有超过一只寄生虫。异尖线虫在鲸鱼的肠道中发育成长，通过鲸鱼的粪便传染给磷虾，然后沿着食物链向上移动到鱿鱼和凤尾鱼这样的小鱼，然后再到三文鱼、金枪鱼这样的大鱼，最后到人类。它们数量的持续上涨不仅影响了人类健康，更威胁着鲸鱼和海豚这些会被感染的自然宿主。



扫码收听英语原声论文解读



DOI: 10.1126/science.1195701

## 《科学》

### 想得越多，吃得越少

这是一个美食至上的时代：目之所及，皆欲食之。但如果你不想长胖，你就该花更多的时间在脑海中对食物进行构想。美国的一项研究表明，当你花越多的时间想象吃一样东西，你实际吃的就会越少。在脑海中想象好吃的食物听起来并不是个好主意，但如果这些想象并非一闪而过呢？如果你在想象中吃饱了会怎样呢？为了找出答案，科学家让一组自愿者在脑海中想象吃糖豆的情景，也就是一颗接一颗地吃完33颗。他们让另一组自愿者在脑海中想象另一种重复但又不会饱肚子的活动：往干衣机里投33枚硬币。然后科学家端出了一碗糖豆。不出所料，相比想象投币干洗的人，那些在脑海中已经“吃饱了”糖豆的人吃得更少。



扫码收听英语原声论文解读



DOI: 10.1037/a0018053

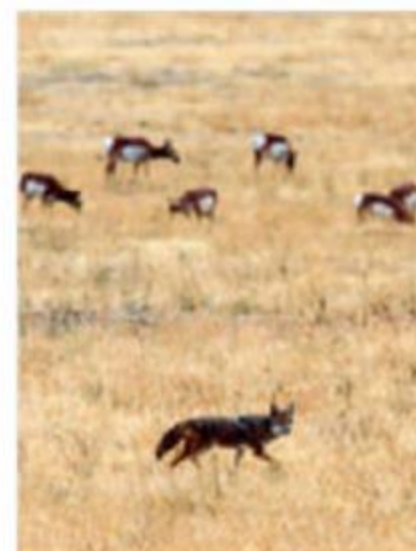
## 《心理学公报》

### 男生比女生更擅长数学吗？

即使很多研究都表明，数学能力没有性别之差，但人们普遍还是认为男生比女生更擅长数学。美国的研究人员对两项数学测试结果进行了分析，测试的对象覆盖了来自69个国家近50万名年龄在14岁到16岁之间的男生和女生，测试的范围从代数到几何，从数据分析到数字概念，他们发现综合所有国家的结果来看，性别差异可以忽略不计。但这项研究还发现了一个有趣的现象，那就是不同国家的结果可能大相径庭：数学能力的性别差异大，且男生更擅长数学的国家包括突尼斯和韩国；而女生更擅长数学的国家有约旦和巴林；但包括美国、瑞典和德国在内的大多数国家都没有显示出数学能力的性别差异。研究人员指出，不同国家女性的数学能力与她们的社会地位存在某种关联。



扫码收听英语原声论文解读



DOI: 10.1371/journal.pone.0228881

## 《公共科学图书馆·综合》

### 郊狼的最爱：垃圾、水果和宠物猫

郊狼可以在某些城市中活得十分惬意，它们获取食物时又有多大程度是依赖人类活动的呢？美国的研究团队用两种不同的方法来分析了郊狼的饮食：一是观察粪便中的毛发、牙齿、种子和骨头，这种方法几乎可以确定郊狼所吃的确切物种，但一般只包含了一顿饭的成分；二是测量郊狼胡须中不同碳同位素和氮同位素的比例。同位素分析能反映出更广泛时间跨度中的整体饮食情况，研究人员认为郊狼的胡须能体现几周甚至几个月的伙食，它能说明郊狼把哪些物质消化、吸收，并同化到自己的组织里了。结果发现，生活在农村的郊狼几乎只能吃天然食物，包括兔子、地鼠和人类后院掉落的水果；而在城市化地区，郊狼则依赖于人类提供的食物，包括宠物猫——大约20%的郊狼粪便中都有猫的身影。



扫码收听英语原声论文解读



DOI: 10.1136/bmj.m824

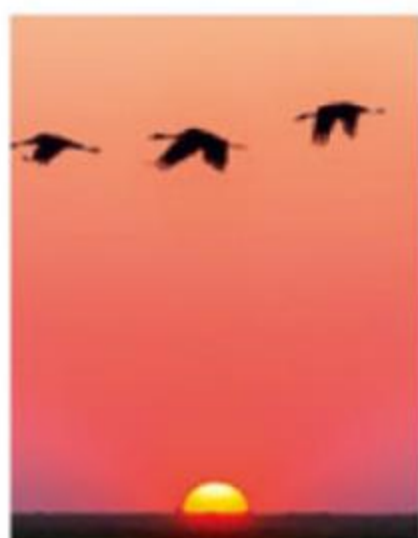
《英国医学杂志》

## 改吃钾盐,可减少心血管疾病

食盐一直是中国菜最重要的一味调料,但长期的高钠饮食会引发高血压、冠心病、中风等心血管疾病;在过去40年中,中国居民的平均钠摄入量居高不下,达到了世界卫生组织推荐摄入量的两倍。一项由澳大利亚、美国、中国和英国的合作研究估算了一项减钠策略的总体潜在效果,结果表明如果进行全国性干预,以含钾盐代替常规家庭食盐,每年可预防约46.1万例心血管疾病死亡,包括20.8万例中风死亡和17.5万例心脏病死亡;此外,每年还有望预防约74.3万次非致命性心血管事件,包括36.5万次中风和14.7次心梗,每年能减少的慢性肾病则约12万例。



扫码查看最新  
《英国医学杂志》  
论文导读



DOI: 10.1126/science.aay3821

《科学》

## 比起其他类日恒星,太阳过于平静

对许多恒星而言,我们观测到的亮度变化是由其内部磁活动导致的,太阳黑子就是一种非常强烈的磁活动,黑子数量会随时间周期性增减,太阳亮度也会随之变化。德国、韩国和澳大利亚的研究团队合作发现,太阳的磁活跃度明显低于其他类日恒星,这或许说明,太阳正要进入一个更为平静的阶段。研究团队结合了开普勒空间望远镜4年的光度观测数据与盖亚任务的天体测量数据,筛选出369颗类日恒星的光度变化率,并重建了约140年的太阳总辐照度数据,分析了太阳的变化情况。新的发现可能表明,只有像太阳这样不太活跃的恒星,才有可能拥有宜居的系外行星。



扫码查看最新  
《科学》论文导读



DOI: 10.1126/science.aaz7681

《科学》

## 超快速高温陶瓷烧结工艺

陶瓷具有耐高温、机械强度高、化学性能稳定的优点,是重要的电子器件和能源存储材料。但常规的陶瓷烧结往往需要高温长时间处理,让陶瓷材料的高通量筛选变得极为困难。来自美国马里兰大学的华人团队研发出了一种超快高温烧结工艺,整个过程仅1分钟左右,得到的陶瓷样品结构致密、性能优良。这项新研究有望推动新型陶瓷材料的跨越式发展,为能源、电子器件和环境等领域带来新的发展。



扫码查看最新  
《科学》论文导读

领研网·论文频道



1 200+ 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

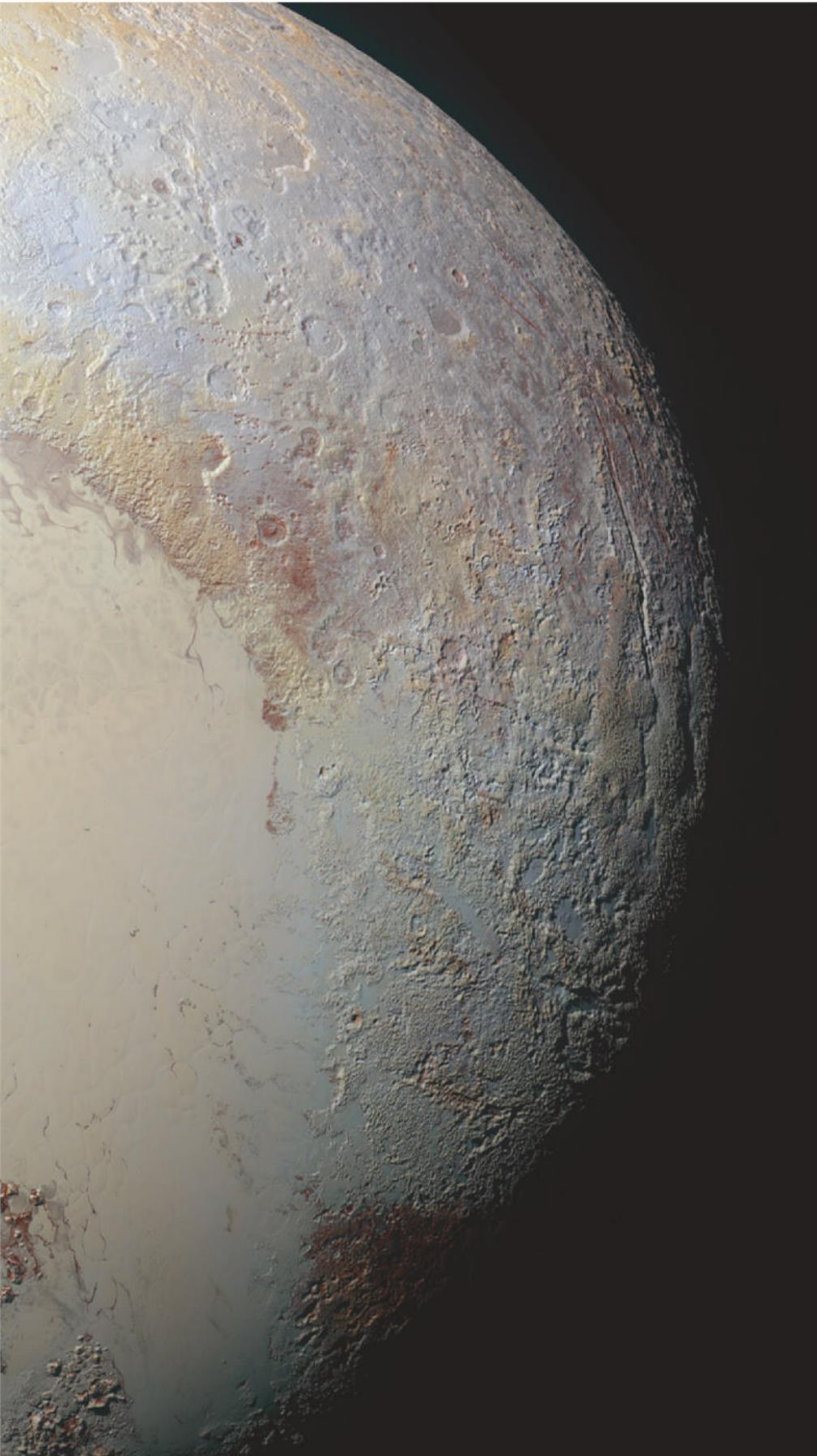
### 领研网

《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



汤博区心形区域的左半侧位于斯普特尼克平原，这片区域的形成或许是由于一次大型的撞击事件。



行星科学

# 穿透行星的地震波

撰文 罗宾·乔治·安德鲁斯 (Robin George Andrews) 翻译 董子晨曦

在冥王星上，有一个叫做汤博区 (Tombaugh Regio) 的心形区域，这片区域可谓是冥王星的“亮点”。2015年，当美国航空航天局 (NASA) 的“新视野”号 (New Horizon) 探测器飞越冥王星时，清晰地捕获了这片面积巨大、反射度又特别高的地质单元。

在汤博区的西面，是一片名为斯普特尼克平原 (Sputnik Planitia) 的盆地，周长近2000千米。这个盆地的独特形状吸引了行星地质学家的注意：这似乎是由一次古老的撞击事件塑造出的“碗状”区域，如今它已经被冰冷的固态氮气所覆盖，当温度在白天升高时，固态氮气还会变成氮气蒸汽，飘荡在盆地上空。

不过，“新视野”号并没有在冥王星的另一侧拍到高质量的图像。当它匆匆一瞥时，只在斯普特尼克平原所对应的另一侧发现了一片奇怪的区域。这里看上去非常杂乱，有各种土堆、深坑，以及如同锯齿裂缝般的结构。科学家不太清楚为什么会形成这样的特征，所以提出了各种不同的猜想，推测这片区域的起源。

最新的研究表明，塑造出斯普特尼克平原的那次冲击事件可能是罪魁祸首。当科学家重新模拟了当时的撞击事件后发现，这次事件产生的地

震波不仅影响了事件发生点附近的区域，甚至影响到了整个冥王星。更重要的是，无论是地震波的传播过程，还是那片特殊区域的形成过程，都可能与冥王星上一片深达150千米的液态海洋有关。

在今年3月的月球与行星科学会议（Lunar and Planetary Science Conference）上，科学家不仅提出了上述观点，还展示了相关的模型。詹姆斯·塔特尔·基恩（James Tuttle Keane，并未参与这项研究）是NASA喷气推进实验室的行星科学家，他认为，将撞击事件与超远距离以外的地质特征联系在一起，进而推测冥王星的内部结构“是一种特别新奇的想法”。

美国北加利福尼亚州立大学的行星地质学家保罗·波恩（Paul Byrne，并未参与这项研究）认为，如果模拟行星地震的方法确实站得住脚，或许还可以从冥王星的各种地质事件中挖掘出更多的秘密。不仅如此，这套理论框架或许还能扩展到各种冰封的行星和卫星上，包括太阳系中冰冻巨行星的各种卫星，以及隐藏在柯伊伯带（Kuiper Belt）中的无数冰冻巨兽。

美国杨百翰大学的行星科学家贾尼·雷德伯格（Jani Radebaugh，并未参与这项研究）认为，这项研究提醒我们，“新视野”号与冥王星“擦肩而过”的过程，在科学上具有无可估量的价值。

直到目前为止，冥王星的表层之下拥有一片液态海洋的观点依然只是一种猜想，还需要更多的证据证明它的存在。无论是在地球、月球甚至火星上，科学家都可以使用机器人探测地震波，进而利用地震波的反射、偏转和扭曲等特征分析传播地震波的介质，以此反推出星体的地下结构。但是，他们却无法在冥王星上使用这种

方法探测地层结构，因为科学家还无法在近期将机器人探测设备送往几十亿千米以外的冥王星上。

值得庆幸的是，在距离我们更近的水星上，依然藏着一丝验证上述猜想的希望。水星上有一片叫卡洛里斯盆地（Caloris Basin）的区域，是一个周长1500千米的撞击坑。巧合的是，在这个撞击坑的对侧，准确说是正对侧，也存在一片特殊的区域。这片区域也是由破碎的岩石堆积而成的，区域内的地形依然起伏不平。雷德伯格表示，“在水星上，这片区域的特征非常明显，可以说是独一无二的”。科学家长期认为，这片区域的形成与卡洛里斯盆地遭遇的暴力冲击有关。也许整个过程与冥王星上的那片区域类似，也就是，当卡洛里斯盆地遭遇重大的冲击事件后，才在盆地的正对面形成了一片起伏不平的地形。

基于这种推测，科学家提出一个问题：能不能通过重现冥王星上的地震找出答案？在模拟的过程中，他们使用了iSALE模型，这是一套能够模拟行星尺度冲击和重现冲击波物理特性的模型。艾登·登顿（Adeene Denton）是美国普渡大学的行星地质学家，同时也是这项研究的第一作者，他说：“（我们）可以让冥王星被轰击无数次。”

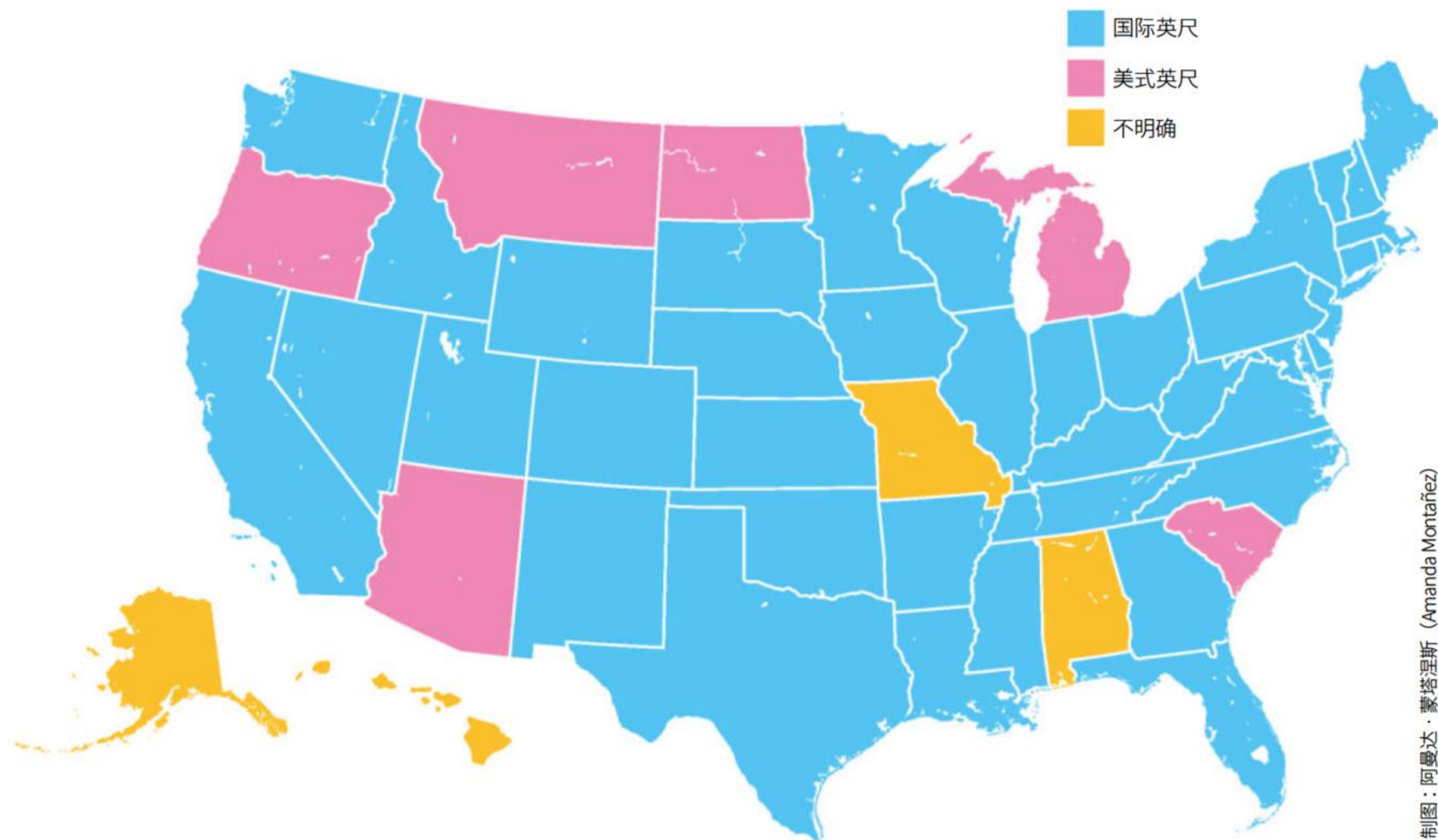
在无数次的模拟中，科学家找出了一种最能够体现冥王星特征的过程。这需要一个直径400千米的星体以每小时7000多千米的速度撞向这颗矮行星。在这个模型中，随着斯普特尼克平原的形成，巨大的冲击波开始席卷冥王星。随后，冲击波会演变成能够造成结构形变的应力波，而应力波的传播取决于传播介质中的声速。因此，应力波在冥王星的岩石核心间快速来回震荡，而在表面的冰壳中以

相对较慢的速度传播，对于夹在这两层中的150千米厚的液态水海洋而言，应力波的传播速度会更缓慢。

然而，在契合度最好的模拟中，冥王星的核心由蛇纹石组成的，这种岩石传播应力波的速度比其他可能的候选项更慢。此时，冥王星核心处的声速与海洋处的声速差异并不太大。这种奇特的现象就会造成一种更奇特的效果：与其他情况相比，当冲击产生巨大的能量时，还有很多能量通过液态海洋传播到事件发生点的正对侧。这就意味着，有更多的能量传到了斯普特尼克平原的正对侧，这些能量足以造成“新视野”号观察到的特征。

不过，相对于斯普特尼克平原这一侧，“新视野”号探测器并没有在冥王星的另一边获得同样清晰的信息，那里的图像分辨率并不高。换句话说，想要精细地挖掘背侧展示出的信息，并没有那么容易。基恩说，“当然，也有很多不同的方式都能形成我们所观察到的奇怪特征。”其中有一种影响范围比较大的可能性：当挥发性的甲烷冰、二氧化碳冰以及氮气冰在气相和固相之间不断相互转变时，逐渐蚕食了冥王星的地形。这种猜测可以解释我们所观察到的不同寻常的地形，包括斯普特尼克平原正对面那一片高低起伏的地形。最近，还有科学家开展了一项独立研究，他们分析了水星上卡洛里斯盆地正对侧的地形。研究认为，挥发性物质的变化方式确实也能形成那种高低起伏的地形。

不过，如果通过模拟确定的模型是正确的，就会为冥王星（以及其他冰冻星体）上可能存在地下海洋的猜想增加可信度。登顿表示，这些星体将不单单是冻透了的雪球，“它们可能更有意思，可能具有更丰富的地质历史。”



制图：阿曼达·蒙特涅斯 (Amanda Montañez)

地理学

## 美式英尺将被放弃

撰文 莱斯莉·内莫 (Leslie Nemo)  
翻译 杜永航

到2023年，美国的每一位土地测量员都将使用统一的“英尺”，也就是所谓的国际英尺 (international foot)。很长一段时间以来，美国的土地测量员使用两种不同的英尺计量方式，这取决于他们在哪个州，为谁工作。为了尽可能消除这其中的混乱，测量员将停止使用一种叫做美式英尺 (U.S. survey foot) 的计量方式。

可以说，这两种计量方式几乎一模一样，只不过存在0.999998的倍率关系，非常接近于1。但是，当距离过长时，这种细微的差别就会逐渐累加，甚至造成巨大的问题。

在全球定位系统 (GPS) 中，美

国的所有建筑都是用公制计数的。当进一步测绘或是需要提出建设计划时，测量员会将公制转换为英尺。如果他们用错了英尺的计量方式，工程师在定位或建设时就会找错地方。要知道，国际英尺与公制中的米恰好为0.3048倍的关系，而美式英尺则为0.30480061倍。

“简直一团混乱，”迈克尔·丹尼斯 (Michael Dennis) 说，他是美国大地测量局 (National Geodetic Survey, NGS) 的项目经理，主管这次计量单位的转换。从1959年开始，美国很多工程项目已经开始使用国际英尺，但是大地测量 (主要绘制土地边界和基础设施位置) 却会因为所属地区和主管单位的不同而使用其中不同的计量方式。

这意味着，如果在美国不同地区工作或者为不同单位工作，必须小心翼翼地确认应该使用哪种计量方式。最近，NGS做了一次调查，其中有

530位参与者。在接受调查的测量员中，有62%表示，这两种计量方式容易混淆，给他们的工作带来了麻烦。

美国亚利桑那州一位注册测量员布赖恩·费希尔 (Brian Fisher) 表示，在使用他人的测量数据时，经常会出现问题。在他的职业生涯中，已经看到上百次这样的问题了。幸运的是，他说：“在真正施工以前，都还不算是错。”丹尼斯表示此前就有一座建筑因为这个问题少建了一层。这座建筑在飞机跑道附近，由于设计和施工方使用了不同的英尺计量方式，建设进入后期他们才发现问题，为了解决高度限制，他们只能少修一层。

官方宣布，将在今年6月实施这次转变，在此之前公众依然有机会提出自己的意见。有人表达了支持；也有人认为这还是会造混淆，建议美国直接使用公制。但丹尼斯却说：“我们非常想让大家使用公制，但这又是另一场博弈了。”



# 中文杂志免费网站

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



(免费实时更新最快最全的中文杂志供您下载)

# 英文杂志实时更新网站

[www.pdf5.net](http://www.pdf5.net)

(与海外同步实时更新外文杂志、电子书、漫画、  
英文杂志合集供您下载)

更多精彩请关注我们微信公众号：

**读书亦行路**





动物学

# 会使用“兴奋剂”的鱼

撰文 普林亚克·伦瓦尔 (Priyanka Runwal)  
翻译 林清

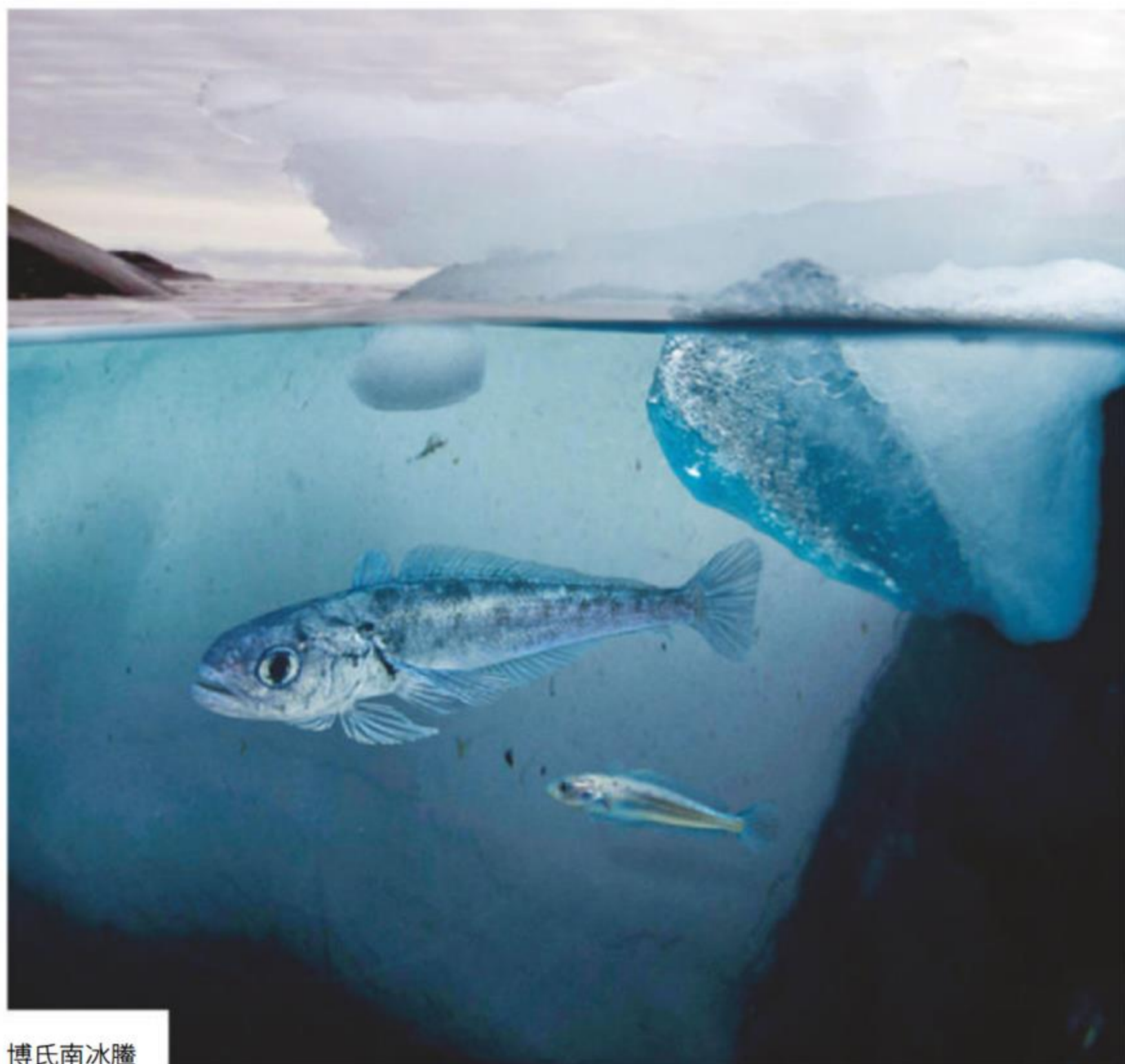
任何职业运动都会禁止运动员使用血液兴奋剂(blood doping)。比如,运动员可以通过注射药品增加红细胞数量,从而提高血液携氧能力,增加肌肉力量。

但是,许多动物天生就会使用“血液兴奋剂”。在需要体力支持时,猪、海鱼和潜水海豹等动物的血液携氧能力可以提高40%到60%。

最新研究表明,一种名为“博氏南冰鳕”(bald notothen)的南极鱼类可将自身血液携氧能力提高200%以上,以便让自己在冰冷的海水中也能保持积极的状态。

和大多数原产于南极洲的鱼类一样,博氏南冰鳕的血液中含有抗冻蛋白,可帮助自身抵御严寒。但这些蛋白质与红细胞结合时会使血液变得粘稠,难以循环。有些南极鱼类的适应方法非常独特,它们会尽可能降低血液中的红细胞。此时它们会一动不动地等待猎物,通过鳃和皮肤直接从水中吸收氧气。

然而,博氏南冰鳕在冰面下的游动非常积极,不仅会追逐磷虾和其他甲壳类动物,还需要小心躲避企鹅和海豹等猎食者。迈克尔·阿克塞尔松(Michael Axelsson)是瑞典哥德堡大学的心血管生理学家,同时也是这项研究的参与者之一。他说,要完成这类行为,“需要为肌肉提供(更多)的氧气”。相关研究发表在今年1月的《实验生物学杂志》(*Journal of*



博氏南冰鳕

*Experimental Biology*) 上。

科学家做了一项对比实验,分别让玻璃容器中的博氏南冰鳕处于放松和被塑料管“追逐”的两种状态,然后统计它们的红细胞数值。在静止时,博氏南冰鳕的红细胞值为9%,运动时红细胞值则为27%,这表明后者的血液携氧能力激增了207%。

阿克塞尔松表示:“我们还没见过其他鱼类的红细胞值会超过原来的2倍,或者在静止时,红细胞的值会降低得如此之低。”他解释说,这种低红细胞值可以减轻博氏南冰鳕心脏面临的压力。

研究人员还发现,博氏南冰鳕会在脾脏中储存红细胞。在需要时,脾脏会尽量收缩,重量可减少41%,以此将更多的红细胞注入血液。

美国加利福尼亚州斯克里普斯海洋研究所(Scripps Institution of Oceanography)的海洋生物学家杰

拉尔德·科伊曼(Gerald Kooyman,并未参与这项研究)对红细胞数值的巨大变化惊讶不已。

然而他也指出,这类动物的血细胞原本就比较少,所以用3倍的红细胞数来维持血液循环并没有想象中那么难。不过,当潜水威德尔海豹血液中的红细胞水平从40%提高到90%时,它的血液将难以泵出。

博氏南冰鳕也面临着对应的挑战,它需要权衡这种能力带来的得失。当科学家在这种鱼的主动脉上安装探针后,他们发现,活动频繁的个体血压会升高12%,心脏工作的强度也会增加30%。

博氏南冰鳕的心脏可以在安静时得到充分的休息,但当它们需要发力时,工作的强度就会明显增加。阿克塞尔松说,“因为需要更多的氧气,这些鱼不得不承担红细胞数量增加所带来的负担。”

简讯

## 全球科技热点

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

### 美国

在夏威夷大岛上，一位徒步的旅行者在莫纳罗亚火山附近发现了两枚尚未引爆的炸弹。这些炸弹是1935年埋下的，现已生锈。当初埋下这些炸弹的原因是，希望在火山喷发时改变熔岩的流动方向。

### 肯尼亚

一项长达20年的实验表明，经常被大象光顾的放牧区的碳储存量几乎是动物禁入区的2倍，这些地区的土壤营养水平也更高。

### 法国

研究人员在法国一个洞穴的顶部发现了长达1.25米的恐龙脚印，这些脚印很可能来自某种雷龙。不断变迁的地质过程不仅将海岸线上的脚印深埋地下，还让它出现在了500米深的洞穴的顶部。

### 德国

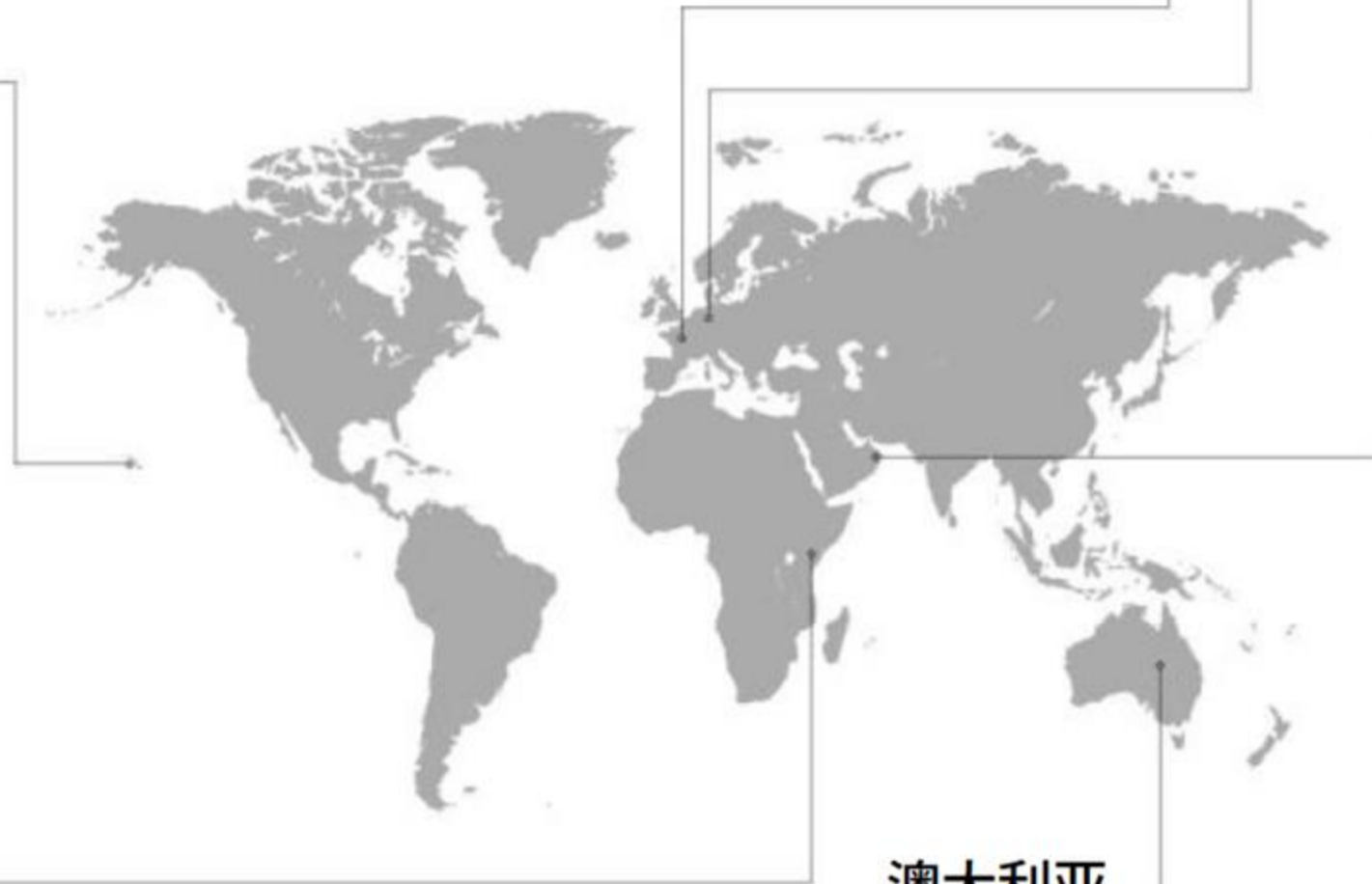
科学家在莱比锡的一个垃圾场中发现了一种土壤细菌，这种细菌可以分解垃圾中的聚氨酯。分解过程会释放出有毒的化学物质，但细菌却能正常存活。

### 阿曼

科学家根据一块7000万年前的软体动物化石上的生长轮判断，当时的地球自转速度更快，每年大约有372天。这种生物的栖息地曾经是一片浅海区，现在位于阿曼的一座山上。

### 澳大利亚

在澳大利亚公众拍摄的大量照片中，科学家发现了7种新的孔雀蜘蛛，其中一种的图案很像梵·高的作品《星空》。一直以来，孔雀蜘蛛都因腹部颜色鲜艳而闻名。



环境保护

## 热带土地影响物种灭绝

撰文 苏珊·科西尔 (Susan Cosier)  
翻译 鲁智元

气候变化和栖息地丧失是影响动植物生存的两大威胁，一项新的研究表明，控制这两个因素将有助于防止物种灭绝。研究发现，减少温室气体排放，同时保护更多的热带土地，可以将物种灭绝风险 (extinction risk) 降低一半以上。

来自非营利组织保护国际基金会 (Conservation International) 的研究员帕特里克·勒丹兹 (Patrick Roehrdanz, 这项研究的共同作者) 表示，此前科学家并没有计算过控制

气候变化和保护土地对物种多样性的综合效益。

在今年2月发表于《空间生态学》(Ecography) 的这项研究中，研究人员统计了在南美洲、非洲和亚洲的情况，分析了104 509种动植物在目前和未来的栖息地范围，除此之外还分析了185 160种动植物仅目前的栖息地范围。这是迄今为止最大规模的一项数据汇总研究。随后，他们需要通过计算机模型来预测这些物种在未来灭绝的风险。在模拟中，他们要选取的重要参数就是地球上有多少比例的热带土地受到了保护 (目前受保护的的比例约为17%)。

科学家计算出，如果30%的热带土地受到保护，并且温室气体排放量减少到一定水平 (与保持全球气温较工业化前上升不超过2°C的目标

一致)，物种灭绝的风险可能会降低50%以上。

这样的结果为联合国提供了有用的信息。联合国生物多样性公约 (U.N. Convention on Biological Diversity) 的主要目标是保护世界上的植物和动物，并在2030年之前保护地球上30%的陆地和海洋。正式的环境保护可以避免过度开发，拯救脆弱的生态系统，进而减轻气候变化的影响。

然而，该模型并未考虑不同物种之间以及与物种环境之间的相互作用。比如，蜂鸟可能会迁移到一个新的地方，但它需要的植物不会移动。不过，澳大利亚麦考瑞大学的生物学家蕾切尔·加拉格尔 (Rachael Gallagher, 并未参与这项研究) 表示，该论文“为那些呼吁在全球范围内扩大保护区的人提供了依据”。

工程学

## 两美元检测水质

撰文 雷切尔·努维尔 (Rachel Nuwer)  
翻译 赵欢

市政用水可能会受到电子废弃物或其他重金属的污染。然而，对于偏远社区而言，无论是搜集样品、保持其中化学成分的稳定，还是将样品运送到实验室做进一步检测，都是充满挑战的过程。

为了简化这一流程，美国麻省理工学院的机械工程师埃米莉·汉希塞尔 (Emily Hanhauser) 和同事发明了一种技术含量相对较低的简易搜集装置，制作成本不足两美元。

这套装置包含一个塑料把手，把手连着螺旋桨形状的聚合物网格，网格里有小袋子，袋子里装着可吸附重金属离子的树脂珠。将这套装置放在水中搅拌，取出后做吸干或风干处理，接着把聚合物网格浸泡在酸性溶液中，释放出的离子就可以在后期用于定量测试。

不同于存在潜在危害的污水样品，这种装置可以安全地邮递到可以做进一步检测的机构。

发明者还提到，利用这种装置，即便样品已经保存了2年以上，依然可以有效地检测样品中的成分。在今年3月发表于《环境科学与技术》(Environmental Science and Technology) 的论文中，研究者称，这套装置能准确地测定各种水样中铜、镍、铅、镉等成分的含量。



汉希塞尔认为，在最理想的情况下，最好能在水源附近完成详细的水质分析，完全不需要运输样品。

她还提到，虽然现在已经有一部分完成这种工作的工具，但无法检测含量极低的污染物，而且检测过程存在诸多的影响因素和变化，可能会影响检测结果。

目前，她所在的团队研发的这套

图片来源：Melanie Gonick/Massachusetts Institute of Technology

医学

## 疫苗运输不再需要冷链？

撰文 哈里尼·巴拉特 (Harini Barath)  
翻译 董子晨曦

或许，疫苗界很快就会迎来一场特殊的首秀。美国得克萨斯大学的制药专家玛丽亚·克罗伊 (Maria Croyle) 和同事开发了一种特殊的薄膜，能够在不用冰箱的情况下长期保存疫苗和其他生物类药物。这意味着，这种轻量级、可剥离的薄膜不仅可以取代储存疫苗的试管，还有可能取代为了保障疫苗药效而需要精心管理的冷藏运输链。薄膜可以通过邮件运输，并像其他物品一样直接储存在货架上。



从2007年开始，克罗伊的实验室就着手于研发这项技术。受到琥珀可以保存昆虫或其他生物DNA的启发，研究员希望开发类似的物质。克罗伊解释说，“薄膜是将大量糖类和少量盐类混合在一起，就像硬糖一样”。用这种方法保存的疫苗需要口服使用。对于不喜欢针头的人们而言，这又是一个好消息。

薄膜的成分需要根据每种不同的疫苗定制，并且还需要提供保护性的

覆膜。克罗伊说：“通过长期实验，我们了解到，要确保膜内的物质达到稳定，关键是让它和膜的所有成分充分混合。”要实现充分混合，只需要用价格便宜的标准混合设备就行，而且耗时很短。她还说：“我们希望做出发展中国家也能使用的材料。”

要保障接种的疫苗有效，就需要对疫苗运输过程中的冷链提出很高的要求（需要保持2°C~8°C），毕竟有时候的运输路程会超过数千千米。这会导致运输费用巨大，一旦遭遇干扰，疫苗还有失效的危险。

如果使用克罗伊的方案，可以保证活的病毒、细菌和抗体在室温环境（20°C）中存活数月。在今年3月的《科学进展》(Science Advance) 杂志刊登的一篇文章中，他们展示了一种埃博拉疫苗，在存储36个月后，疫

制图：托马斯·福克斯 (Thomas Fuchs)

装置，或许可以为那些地处偏远的社区或水井主（在美国，这些水井主有责任及时监控自家水井的水质变化）提供一种可行的方法，远距离运输大量的水质样品。

研究人员补充说，未来还会推出一个优化后的版本，这套新的装置或许可以用于检测那些体积更大的金属污染源。

西达尔塔·罗伊（Siddhartha Roy，并未参与这项研究）是美国弗吉尼亚理工大学的环境工程师，致力于研究美国密歇根州弗林特臭名昭著的饮用水污染问题。他说：“我觉得这会是一款不错的诊断工具，因为它成本低、金属回收率高，性能优于现场、离场测试。我相信优化后的装置将在未来某种特定的金属污染事件中发挥重要作用。”

苗依然能诱导免疫应答。科学家还发现，相比于传统的注射疫苗，封存在薄膜中的流感疫苗效果更好。美国匹兹堡大学的药物学家莉萨·罗恩（Lisa Rohan，并未参与这项研究）说道：“这项研究为疫苗行业验证了一个令人兴奋的早期概念。”

克罗伊认为，寻找临床试验的合作伙伴是目前他们最关心的问题。与此同时，研究团队还在继续探索薄膜的打包方法，希望让它们在最高40℃的环境中也能让疫苗保持稳定。

尺寸也是薄膜技术的优势所在，信封大的薄膜上就能存储超过500支剂量的疫苗，仅仅为等剂量传统疫苗的1/900。克罗伊表示，这项技术可以降低运输成本、增加存储效率。因此，能广泛地提高全球，尤其是中、低收入国家的免疫接种率。

## 医学

# 一次叮咬传播17种疟原虫

撰文 维维亚娜·卡利耶（Viviane Callier） 翻译 赵欢

2018年，全球约有2.28亿人感染疟疾。然而，疟原虫这种蚊媒寄生虫是如何传染给人类的？它们的耐药基因又是如何扩散的？

这些问题一直没得解决。不同的疟原虫在蚊子体内进行有性繁殖时会相互交换基因，由此产生的疟原虫通过蚊子叮咬感染人类。一项新的研究详细展示了疟原虫交换基因的过程。研究发现，被感染的人类宿主体内，所有的遗传多样性（高达17种疟原虫）都可能来自于一次叮咬。相关研究发表于今年1月的《细胞宿主与微生物》（*Cell Host and Microbe*）杂志。

疟原虫的生命周期一部分在人体内度过，一部分在蚊子体内度过，并进行繁殖、杂交、交换基因。到目前为止，研究疟原虫遗传多样性最有效的方法是将整只蚊子碾碎，再对混合物进行测序。新的方法可以使科学家获得更明确的信息，找出患者体内某种寄生虫是在某一只蚊子体内繁殖的产物，还是由不同蚊子分别引入的。

在马拉维，有一家服务周围村落的医院，研究人员从这家医院的患者中搜集了一批血液样品。随后，他们对感染者的血细胞中的寄生虫进行基因组测序。根据寄生虫的基因组，研究人员发现这次研究所涉及的几乎所有感染案例均来自于一次叮咬。

美国得克萨斯州生物医学研究所的寄生虫学家伊恩·奇思曼（Ian Cheeseman，研究的通讯作者）提到：“我们的研究覆盖了大量的感染人群，并对寄生虫进行了单细胞测序。这让我们第一次能在真正意义上了解人类感染疟疾的过程。有时，蚊子可能只叮咬了一次，但它所传播的（疟原虫）基因多样性却让人震惊。”

这项发现还与美国哈佛大学传染病研究员戴安·威尔特（Dyann Wirth，并未参与这项研究）基于早期研究得出的猜想一致。威尔特专门研究寄生虫，她认为奇思曼的这项研究工作是“一次重要的技术突破，将有助于人们更深一步了解疟原虫的传播与重组”。

这项技术还可指出感染的源头。华盛顿贝尔维尤疾病模型研究所（Institute for Disease Modeling in Bellevue）全球健康研究主任爱德华·文格尔（Edward Wenger，并未参与这项研究）解释道，在基本根除疟疾的区域中，如果还是出现了疟疾患者，通过研究血细胞样品就可以大致判断造成感染的蚊子是来自远方，还是当地的清除工作做得不够彻底。

这项技术还能帮助研究人员追踪疟原虫的耐药突变，而是在保证药效的过程中，发现和控制新增突变是一项重要的公共卫生策略。



现代野鸡

动物学

## 野鸡为什么没有被驯化

撰文 雷切尔·努维尔 (Rachel Nuwer) 翻译 林清

到目前为止，家鸡是地球上数量最多的鸟类，约为230亿只。最新研究表明，曾经还有另一个物种也是世界上“最受欢迎家禽”的有力竞争者。曾经，研究人员认为中国古代的鸟类遗骸来自最早的家鸡，但最新研究却表明，它们可能是野鸡的遗骸。研究还表明，野鸡曾经与人类生活在一起，这也为野鸡的早期驯化过程提供了线索。

劳卡斯·巴顿 (Loukas Barton) 是美国加利福尼亚州环境咨询机构杜德克 (Dudek) 的考古学家，同时也是这项研究的主要研究者。他表示：“我们很难找到鹿与狩猎采集者生活在一起的证据。但是，在这项研究中，我们似乎看到‘野生动物’生活在人类的生活圈中。”相关研究发表于今年2月的《科学报告》(Scientific Reports)。

在中国北方距今8000年的历史遗址上，发现了很多鸟骨、猪骨、狗骨以及农具。此前，大多数考古学家都认为，这些证据可以看作家鸡驯化的最早证据。但令许多人费解的是，家鸡的野生祖先一般被认为是红丛林野鸡 (red jungle fowl)，原本生活在1600千米外的东南亚，它是如何出现在中国北方的呢？2015年，研究人员提出这些遗骸可能属于中国北方的野鸡。

为得到明确的答案，巴顿和同事将目光投向了距今7500年的大地湾遗址 (位于甘肃省，属于新石器时代)，分析了其中8副鸟类的骨头。此前，它们一直被认为是家鸡的骨头。美国俄克拉荷马大学的研究人员通过两种不同的方法进行分析，其中包括对线粒体基因组进行测序，从遗传学上确认这些骨头来源于野鸡。

还有证据显示，这些野鸡主要以

人类种植的谷物为食，表明它们常年与人类生活在一起。这相当于人类驯化野鸡的第一步。巴顿说，这个过程很可能与早期家鸡的驯化过程类似：野生鸟类开始与人类密切互动，彼此间最终形成持久、相互依赖的关系。然而，真正的驯化意味着人工选择带来的物理或基因方面的变化。不过，当时的野鸡在基因上与现在的野鸡匹配度很高。从技术上来讲，中国发现的这些鸟类仍然是“野生的”。

中国山东大学的遗传学家董瑜 (Yu Dong, 并未参与这项研究) 认为，这些发现“非常重要”，为我们了解驯化史提供了重要见解。对于这项研究，她还有更多的好奇。比如，在新石器时代人们是否会主动欢迎野鸡。董瑜说：“如今，在很多田地的周围都会搭防护网，防止鸟类偷吃粮食。”

巴顿说，人类可能认为野鸡是很好的肉源。但是，无法持续产蛋却成为了野鸡的劣势，这也成为产蛋表现更为稳定的“家鸡”最终被驯化的原因。他还说，这也许解释了“为什么今天我们没有吃‘肯德基炸野鸡’。”

动物学

# 裸鼹鼠为什么总是藏在地下

本刊记者 石云雷

作为哺乳动物中的非常奇特的一员，裸鼹鼠不仅长相独特，它们的一系列生理特征也令科学家惊讶不已。最近，在发表于《当代生物学》(Current Biology)的研究中，科学家又发现了裸鼹鼠的一项奇异特性：作为唯一一种完全群居性的哺乳动物，它们挤在一起，是为了在高浓度的二氧化碳环境中生存。

裸鼹鼠全身褶皱的皮肤裸露在外，再加上突起的“龅牙”，使它的外貌极具特色。它的视力低下；对酸和辣引起的酸痛以及灼痛感，没有反应能力。如果上述特征还无法让你记忆深刻，那么裸鼹鼠的这些生理特性一定会让你羡慕。它们的寿命远超其他啮齿类动物，科学家至今尚未发现它们衰老的迹象。也就是说，裸鼹鼠并不符合预测哺乳动物死亡的冈珀茨(Gompertz)模型。

一些研究发现，裸鼹鼠的DNA修复能力极强，且伴侣蛋白(chaperones)含量高，能避免蛋白出现折叠错误。而裸鼹鼠体内透明质酸的含量也很高，能抑制细胞快速分裂、防止细胞过剩，抑制癌细胞的生长和扩散。因此，人们至今没有找到裸鼹鼠患癌症的证据。

裸鼹鼠的社会行为同样特殊，它们是唯一一种已知的完全群居性哺乳动物。类似于蚂蚁和蜜蜂的社会结构，裸鼹鼠的社群也包括裸鼹鼠王后、负责繁殖的雄性鼠以及工鼠。多达数百只的裸鼹鼠能同时在一个巨大的地下洞穴中生活。

看到这里，你是不是也提出了一

个疑问：在缺氧、空气流通不畅的地下环境中，如此密集的裸鼹鼠是如何生存下来的？对于人类而言，当我们严重缺氧时，会出现脑损伤甚至休克。科学家已经发现，裸鼹鼠能在高浓度的二氧化碳环境中生存，甚至在无氧的条件下也能存活18分钟之久。而最新的研究却显示，一种特殊的基因突变使裸鼹鼠不得不在二氧化碳浓度特别高的环境中。



在残酷的自然界，动物能通过基因突变和基因重组，实现物种演化以适应不同的环境。其中，基因突变是一个完全随机的过程。而裸鼹鼠的生活方式与绝大多数哺乳动物不同，也正是因为它们体内出现了这种罕见的基因突变。

非洲裸鼹鼠生活在东非沙漠中的地下洞穴中。研究人员发现，当它们远离群体，离洞穴口越近时，癫痫越容易发作。癫痫的出现通常是由于大脑中的神经元异常放电。通过检测非洲裸鼹鼠的基因组，研究人员发现一个名为R952H的基因变体，突变的位点位于22号外显子上。

这一基因在哺乳动物中是高度保守的，研究人员目前只在裸鼹鼠和少数人类中发现了突变。正常情况下，这一基因表达的钾离子-氯离子共转运体2(KCC2)主要负责在神经细胞膜表面跨膜转运氯离子。当上游神经元将抑制性的神经信号传递给下一个神经元时，神经突触前膜会释放神经递质GABA，并被突触后膜(下一个神经元上)的受体接收，这时KCC2转运体能将膜外的氯离子运输到膜内，抑制神经元的活动。

但是，在基因变体R952H产生的KCC2转运体中，有一个精氨酸(Arg)被组氨酸(His)替换。当神经抑制结束后，KCC2转运体不能将氯离子重新运输回膜外。随着时间的推移，氯离子无法排出，会在神经元内不断积累，这时神经递质GABA将无法再对下游神经元产生抑制作用。这可能会导致神经元异常放电，因此，在室温条件下导致裸鼹鼠癫痫发作。

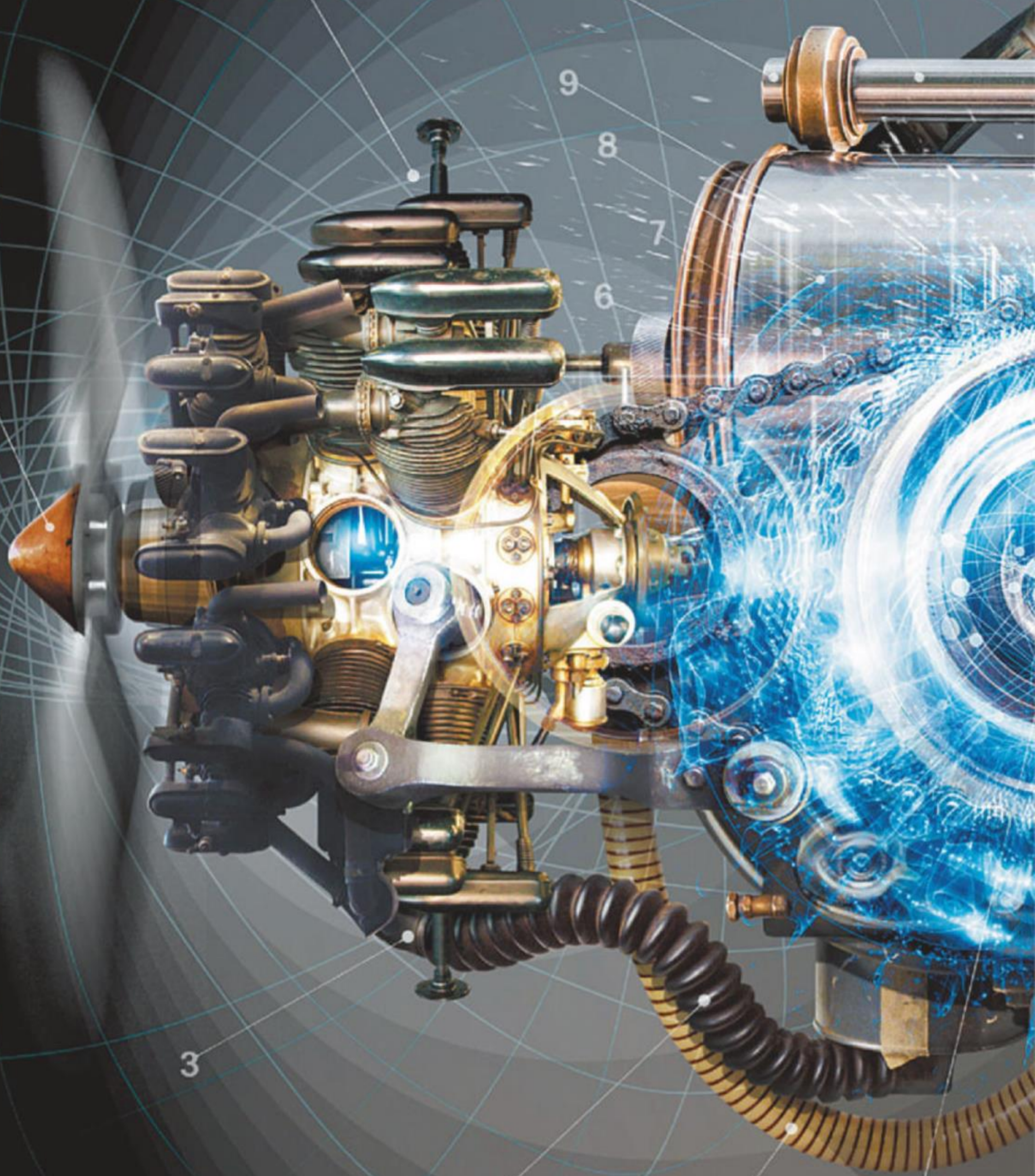
不过，当裸鼹鼠居住的地下洞穴时，氧气含量较低，二氧化碳的浓度却很高，这会让裸鼹鼠出现高碳酸血症。有趣的是，这种症状能够抑制鼹鼠体内的神经活动，抵消由KCC2转运体功能降低导致的神经元异常放电。因此，高浓度的二氧化碳环境能将裸鼹鼠的神经活动维持在一个稳定的状态。

研究人员表示，非洲裸鼹鼠大约在3500万年前开始演化。当这一关键基因出现突变后，使得裸鼹鼠无法生活在食物来源丰富的地表，于是它们演化出了类似蚂蚁和蜜蜂的群居性生活，并且实现了物种的延续和繁殖。尽管生活方式特殊、外表具有争议性和甚至几乎没有视力，但这并不妨碍它们在特定的环境中顽强地生存，并且寿命远长于其他啮齿类动物。

# 量子蒸汽朋克

过去一些年里，幻想文学中的蒸汽朋克把西方国家 19 世纪的时代背景与现代科技糅合，构建了一个独特的世界架构，而在物理学中，一个崭新分支也试图在今天的量子系统中复活 19 世纪的经典热力学，创造一些颇具未来感的技术，比如量子引擎。

撰文 妮科尔·云格·哈尔佩恩 (Nicole Yunger Halpern) 翻译 庞玮





17

19

18

14

13

21

26

11

15

10

16



英国伦敦。罗莎琳德 (Rosalind) 暗自庆幸偷了她老哥的黑外套出来，而没穿自己那件猩红色的外套。虽然在晚上，工厂里的烟尘已经消散了，但它们很快就会卷土重来。一阵声音突然响起，吓得她紧贴砖墙，顺着声音抬头看去，她不禁倒吸一口凉气。一个长方型的巨物正缓缓划过天际。暗夜遮蔽了细节，但不用看也知道，侧面肯定画了一把黄铜色的锁，那是麦拉特 (Mellator) 和他的飞艇。

欢迎来到蒸汽朋克的世界。这一设定在过去数十年间横扫文学、艺术和影视等各个领域。故事背景一般都在新兴的工厂、污浊的城市、工业革命时期的英格兰或美国的蛮荒西部之间切换，这些地方在现实中都是技术萌芽的温床。不过蒸汽朋克的角将色将这些发明发展成了超未来的技术，比如机器人和时光机。旧时代和新创造的糅合，酝酿出了一种浪漫和冒险的氛围，吸引着拥趸们腰围衬裙、头戴高帽，成群结队地出现在世界各地的蒸汽朋克大会上。

这些爱好者梦想着去未知的远方冒险。而今天的物理学家正在量子物理、信息理论和热力学这三个领域的交汇处探索未知。正如蒸汽朋克将科幻技术和维多利亚时代的背景交织在一起，一个我称为“量子蒸汽朋克”的全新领域正试图将 21 世纪的技术与 19 世纪的科学原理合二为一。

热力学主要研究功、热和热机效率，我们的目标是更新热力学定律，使其能满足最新的实验、技术及理论的要求。热力学诞生于蒸汽机推动工业革命之际，不过并未随着蒸汽机一起退出历史舞台，而是和信息学在越来越小的体系中逐步结合在一起。研究重点也从火车头变成了纳米引擎、活体细胞里的分子马达以及可能是最小的冰箱。我们的当务之急是弄清楚如何将热、功和平衡态这样的传统热力学概念引入到今天的量子系统中。

## 量子热力学

人类在 18 世纪用上了蒸汽机。然后，学者们就开始

妮科尔·云格·哈尔佩恩是哈佛大学的理论物理学家和原子、分子与光学物理理论研究所的博士后研究员。



琢磨用这样的机器从矿里向外泵水究竟效率如何。渐渐地，他们的研究从实用转向物理学的基本问题，例如为何时间总是单向流逝，而热力学就诞生于这类研究。

作为物理学的分支，热力学描述用温度、压强、体积和能量这样的宏观量，描述包含大量粒子的体系，如蒸汽。能量在这个过程中以两种形式传递：功和热。功是有秩序的能量，可以用于各种用途，如推磨的水轮。而热则是一种混沌的能量，来自粒子随机无序的运动。

热力学用一个名为“熵”的量来定量描述随机性。蒸汽罐中的每个粒子都具有位置和动量，所有粒子的位置和动量的集合则称为这罐蒸汽的微观状态。由于粒子数众多，比如蒸汽罐中可能包含  $10^{24}$  个粒子，所以我们无法确定其微观状态，想象一下要同时跟踪这些粒子是多么可怕的任务！但是，我们可以分析这团蒸汽处于这个或那个微观状态的概率，而“熵”就是对概率的定量化。根据热力学第二定律，一个封闭孤立的系统的熵不会减少，这正是让时间一去不复返的罪魁祸首。

但蒸汽机之于现代技术，正如高顶礼帽之于虚拟现实头罩，是风马牛不相及的东西。很多现代发明和实验都涉及非常小的复杂量子体系。量子理论是描述原子、电子以及其他构成物质的粒子的理论体系，这些粒子的行为方式与蒸汽罐、工厂和工人这样的宏观系统截然不同。例如，粒子能相互纠缠，表现出超强的关联，如果你测量两个纠缠粒子中的一个，另一个粒子就会立刻发生变化，哪怕两者相隔万里。利用纠缠，物理学家能用经典体系无法想象的方式来处理信息。如何将量子系统用于计算、通信、信息加密和改进测量的研究被统称为量子信息理论。该理论提供了非常有用的数学工具，可以帮助我们升级热力学。但这两个领域如何联系起来？

例如，量子计算机就是一个量子信息和热力学并重的系统。谷歌、IBM 等公司正致力于建造这样的机器，破解现有的加密算法，设计新的材料，让经典计算机望尘莫及。

### 精彩速览

与热和效率打交道的热力学诞生于工业革命之际。今天的科学家正试图更新热力学定律，以适应现代技术，尤其是量子计算机和量子通信技术。

诞生于 19 世纪的物理学定律和最新科技的融合，不禁让人想起蒸汽朋克作品中对维多利亚时代背景和科幻发明天马行空般的结合，这样的设想因此得名“量

子蒸汽朋克”。

量子蒸汽朋克的最新进展是提出了一种同时利用量子力学和热力学的微型引擎。

尽管量子计算机看上去和催生出热力学的热机毫无相似之处，但大多数量子计算系统都需要冷却至接近绝对零度，而冷却就是散热，这正是热力学的看家本领。

将热力学概念引入量子系统的努力始于 20 世纪中叶，当时约瑟夫·戈伊斯奇 (Joseph Geusic)、E·O·舒尔茨·迪布瓦 (E. O. Schulz DuBois) 和 H·E·德里克·斯科维尔 (H. E. Derrick Scovil) 首次提出了量子引擎概念。之后，耶路撒冷希伯来大学的龙尼·科斯洛夫 (Ronnie Kosloff) 和同事将量子引擎发展成了一个独立的研究领域。这个领域的另一位先驱是马朗·斯库利 (Marlan Scully)，他有一个绰号叫“量子牛仔”，因为他既是普林斯顿大学和德州农工大学的科学家，自己又在养牛。与之同时，理论物理学家吉安·保罗·贝雷塔 (Gian Paolo Beretta) 及稍后的埃利亚斯·于夫托普洛斯 (Elias Gyftopoulos)，还有更晚一些的乔治·哈索普洛斯 (George Hatsopoulos) 从量子的角度研究了时间箭头问题。塞特·劳埃德 (Seth Lloyd) 在 1998 年写的博士论文《黑洞、麦克斯韦妖及相干退失：复杂系统如何获得信息，又如何利用信息》则开创了一个新的时代，为量子热力学的研究奠定了很多重要思想。

### 贾金斯基等式

正如我们上文所见，熵在热力学、信息理论和量子理论中都扮演了重要角色。人们通常认为熵就是一个物理量，但实际上，在不同的数学结构中存在很多类型的熵，可用于不同的场合。最著名的熵包括路德维格·玻尔兹曼 (Ludwig Boltzmann) 和约西亚·威拉德·吉布斯 (Josiah Willard Gibbs) 于 19 世纪初引入热力学的熵；1948 年由贝尔实验室的克劳德·香农 (Claude Shannon) 引入信息论的熵；理论物理学家约翰·冯诺伊曼 (John von Neumann) 在 1932 年引入量子信息理论的熵。这些熵不仅衡量了无序度，也反映了我们在执行数据压缩这样的数据处理任务时能达到的效率。

为今天的小尺度量子系统寻找适用的全新的熵函数，是量子蒸汽朋克研究者需要完成的关键任务之一。假设我们通过某种渠道，利用量子纠缠现象来交换信息，那么这就会产生一个问题：这样的信息传递方式在效率上是否存在一个理论极限？答案就取决于这个系统的熵。

量子蒸汽朋克需要完成的另一个目标是建立理论物理学家所谓的源理论。这些理论指出了我们所有操作必须满足的限制条件，比如，热力学第一定律确保能量一定是守

恒的，你无法创造或消灭能量，只能将能量从一种形式转化成另一种形式，或在不同系统之间传递。物理学家通常会寻找一个存在限制的情况，例如一个温度不变的环境，然后依据源理论对系统进行数学建模，由此计算出完成某项任务所能达到的最佳效率。

要对热力学进行升级，我们需要关注的另一件事就是推导出所谓的涨落关联函数。根据热力学第二定律，一个封闭、孤立的系统内，熵是不会减少的。而涨落关联函数是热力学第二定律的扩展，可以描述小系统在强力作用下的行为，并告诉我们这些力做了多少功。

1996 年，如今在马里兰大学的克里斯托弗·贾金斯基 (Christopher Jarzynski) 证明了一个著名的涨落关联等式。热力学家称之为贾金斯基等式，不过他本人总是谦逊婉拒。实验物理学家可以利用这个等式测量一个小系统的热力学性质。比如，假设现在有一条 DNA 悬浮在水中，温度和周围环境相同。这条 DNA 链具有一定的自由能——简单地说就是能用于做功的能量。科学家可以用激光固定 DNA 的一端，然后拉伸另一端，这个过程会让 DNA 链的温度上升，拉伸一段时间之后，它又会回到环境温度，但自由能却已发生了变化。自由能的这种差异在化学、药物学及生物学中有重要应用。为了估算自由能的差异，我们可以反复拉伸这条 DNA 链，然后测量每次拉伸所需的功，并将结果代入贾金斯基等式，就能算出自由能差值。

我和贾金斯基都想弄清楚，如果要将自由能差值估算到某个特定精度，需要进行多少次测量？我们用小尺度信息理论计算了所需的测量次数，并提出了精度的估计方案。在近期的一些工作里，我和合作者的研究表明，对于小尺度热力学而言，涨落关联和新类型的熵是等同的，我们实现了这两种方法的相互阐释。而在英国、德国的研究人员进一步拓展、细化了相关研究。

### 量子引擎

正如经典热力学描述了热机的物理，我们在量子热力学上的工作也有助于量子引擎的实现。实验物理学家已经分别用光子、电子系统和超导量子比特（能永远持续下去的量子电流）制造出了量子引擎。

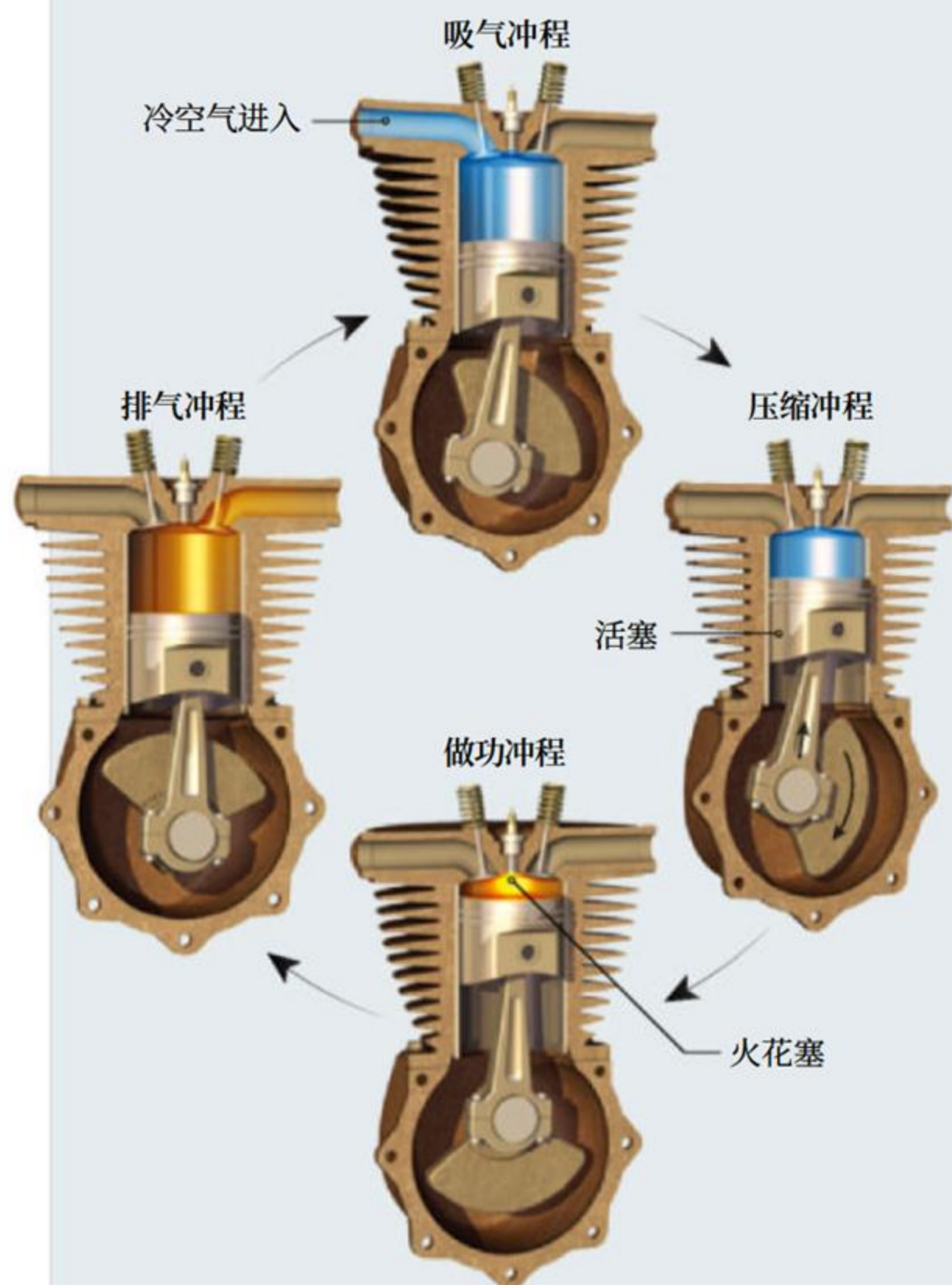
最近，我和马里兰大学的克里斯托弗·D·怀特 (Christopher D. White)、纽约城市大学的莎朗·戈帕拉克里希南 (Sarang Gopalakrishnan)，还有加州理工学院的吉尔·拉斐尔 (Gil Refael) 一起设计了一种新的量子引擎。作为理论物理学家，我们提出的引擎只是一个思想实验，

## 量子引擎与汽车引擎

热力学带来了蒸汽机和第一次工业革命。“量子蒸汽朋克”研究者则准备对热力学进行升级，使其适用于量子技术，创造出量子引擎。这里是量子引擎的一个方案：多体局域机动。虽然目前它仅是一个思想实验，但在不久的将来，这类量子引擎有望成为现实。正如汽车引擎通过四步完成一个循环，从而推动汽车前进，多体局域机动也是通过一个四步量子循环向外做功。

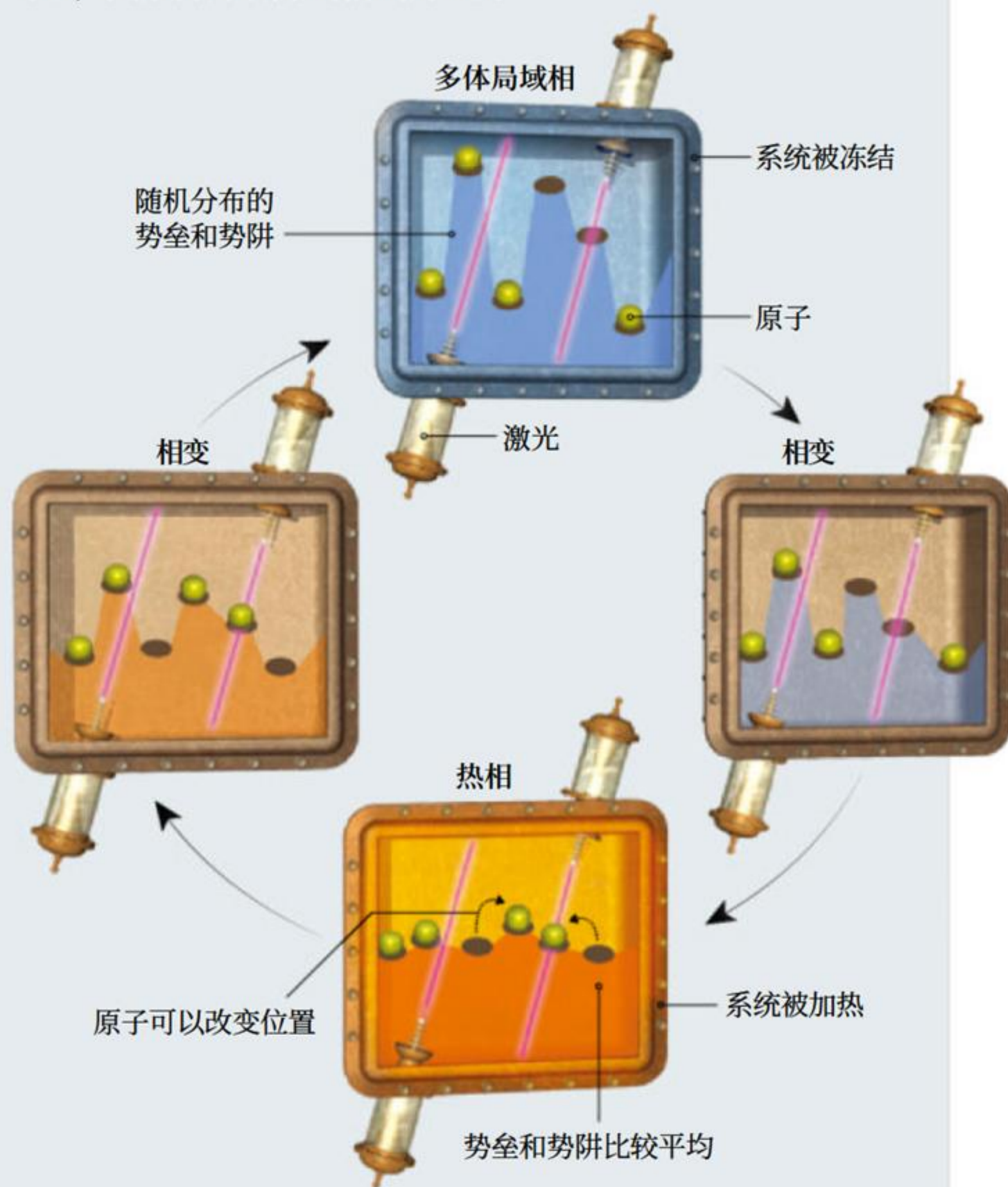
### 汽车引擎

汽车引擎吸入冷空气，通过四步循环排出热空气，同时向外做功，推动汽车前进。在吸气冲程中，引擎吸入冷空气，然后喷注汽油。在压缩冲程中，一个活塞在腔体里向上运动压缩油气混合物。接下来在做功冲程中，火花塞点燃油气混合物，将活塞向下推，驱动车轮。最后，在排气冲程中，热气被排出引擎。



### 多体局域机动

多体局域机动的运行也是一个四步循环，始于处在多体局域相的粒子。当环境中随机充斥着势垒和势阱时，粒子就会被“冻结”在某个区域，无法自由运动。接下来，我们通过调节激光设置，抹平这些随机势垒和势阱，就会让引擎进入热相，粒子可以自由运动，并从环境中吸收热量。最后，我们将引擎转变回初始的局域相。



不过我们也想过，在实验室里如何用当前的量子工具来制作量子引擎。比如，可以先把原子冷却，然后用激光囚禁、操控这些原子，就能将我们设计的方案变成现实。

在我们设计的引擎方案中，涉及到一种名为“多体局域”（MBL）的物相，就是一种跟我们熟悉的气体、液体和固体类似的物质状态。只有那些相互排斥，并在一个高低不平的随机势阱中慢慢游荡的量子粒子才有可能进入这种物相。多体局域相的关键之处在于“非平衡性”：它并

不处于热平衡状态。平衡态的粒子会迅速随机填满所有可能的空间，如果你让蒸汽在罐子里待上足够长的时间，诸如温度和体积之类的宏观性质就会稳定下来，几乎不再发生变化。

但是处于多体局域相的粒子不会像蒸汽粒子那样四处乱跑，而是呆在某个区域之内。在热力学中，非热平衡状态往往可以充当“源”。例如，汽车引擎就建立在冷热两种液体之上，这两种液体处于非平衡态，因为热的粒子位

于一个区域，而冷的粒子位于另一个区域，两者都没有填满整个空间。正如引擎利用这种液体的非平衡性来做功，我和合作者利用多体局域相粒子的非平衡性来打造我们称为“多体局域机动”的引擎。

汽车引擎经过四步完成一个循环，回到初始状态，同时将热量从热液体传递到冷液体，完成做功，从而推动汽车前进。多体局域机动也会经历一个四步循环：我们将粒子从分布在整个空间的热力学相转变至多体局域相，再变回热相。为了驱动引擎，我们通过操控激光设置，将囚禁粒子的势阱从平整光滑调节成高低崎岖。在每次驱动前，引擎在热相从热环境吸收热量，然后进入多体局域相，向冷环境释放热量。这四步循环可以简单分为：(1) 热相从热环境吸收热量；(2) 热相进入多体局域相；(3) 向冷环境释放热量；(4) 从多体局域相回到热相。

我们可以计算出多体局域机动的功率和效率，还可以拿计算结果与其他类型的引擎进行比较，来判断量子引擎是否具备优势。举个例子，有些细菌是用分子马达来驱动鞭毛或长鞭状尾巴，那么，我们的量子引擎与细菌的分子马达相比，哪个更强大呢？估算表明，多体局域机动的功率可以达到鞭毛的 10 倍。另一方面，我们的量子引擎与汽车引擎相比又如何？通过估算两者的功率密度，即单位体积输出的功率大小，我们发现汽车引擎在空间的使用上更有效率，大概是多体局域机动的 10 倍。

不过，多体局域相让我们的引擎具备四大优势。首先，引擎的尺度不受限，从 10 个粒子到无穷多个原子都可以。大型引擎的建造可以从 10 个粒子的迷你引擎开始，先建造足够多的迷你引擎，然后连成一串，逐一运转。对于热相引擎而言，这样做会造成引擎间的相互干扰，因为一台引擎的粒子可能会“游荡”到另一台引擎，但多体局域相保证了引擎的粒子不会随意移动，因此可以通过这种连接，实现更高的引擎密度，这也是多体局域机动的第二个优势。

如果你多运行几次量子引擎，你就会发现它的第三个优势。很多时候，引擎都是向外做功，但在个别循环中，却会反过来吸收功。与单纯在多体局域相内部往复相比，如果让引擎在多体局域相和热相之间往复，这种有害循环出现的次数会更少。不仅如此，多体局域相还可以让每次循环向外做的功更稳定，从而提高引擎的可靠性，这成为它的第四个优势。

我们在多体局域机动，至少在思想实验上的成功，意味着多体局域相也许有更多用武之地。比如，如果把上述循环反过来，量子引擎就会变成冰箱，可以将热从冷环境

向热环境输送。而量子系统要展现诸如纠缠等特性，恰好需要制冷。一个多体局域冰箱可以用来冷却多粒子量子系统。除此之外，科学家还提出利用多体局域相来存储能量。最近，我与合作者一起，尝试用另一套工具来实现多体局域引擎：磁场中的超导量子比特。材料科学与量子蒸汽朋克思想的碰撞一定会迸出新的火花。

## 对未来的预言

一个蒸汽朋克儿透过单眼镜片看向未来，他看到了什么？在量子理论、信息理论和热力学的交界处，一套数学和物理学工具正在成型。我们还试图用这套工具敲开其他领域的窗户：材料科学、化学、高能物理、光学等。

技术渴求应用。尽管相关实验已经开始并不断涌现，但大多数量子蒸汽朋克的工作目前仍停留在理论阶段。不过，正如热力学的发展推动了工业革命，量子热力学、小尺度热力学和信息热力学也会催生新的发明。几十年内，我们肯定无法坐上多体局域引擎汽车，但分子开关、太阳能采集和散热晶体管等小尺度技术都与热力学相关，它们将为理论的发展提供方向。

另一个挑战是如何统一量子蒸汽朋克中的各个方向——新的熵、源理论、涨落关联、量子热机，等等。这还只是该领域诸多工作和诸多新工具的一部分。如果能将这些来自各个方向的概念和成果综合起来，可能为量子热力学奠定坚实的理论基础。

热力学曾带着机油和沙砾的气味，让第一列火车喷吐着蒸汽穿过乡间，让第一艘远洋邮轮征服了海浪，让乘坐第一只热气球的人们惊叹于大地的广阔。量子信息科学也正在改变我们对计算、交流、加密和测量的理解。现在你读到的正是新旧交汇的先声，但也有可能如威尔斯和凡尔纳的小说一般，是对未来的预言。■

### 扩展阅读

Quantum Steampunk: Quantum Information, Thermodynamics, Their Intersection, and Applications Thereof across Physics. Nicole Yunger Halpern. Ph.D. dissertation, California Institute of Technology, 2018.

Quantum Engine Based on Many-Body Localization. Nicole Yunger Halpern et al. in Physical Review B, Vol. 99, No. 2, Article No. 024203; January 2019. <https://journals.aps.org/prb/pdf/10.1103/PhysRevB.99.024203>.

Perpetual Motion Machines. Stanley W. Angrist; ScientificAmerican.com, January 1, 1968.

The Long Arm of the Second Law. J. Miguel Rubí; ScientificAmerican.com, November 1, 2008.



THE FUTURE OF MEDICINE

# A NEW ERA FOR ALZHEIMER'S 攻克阿尔茨海默病

现在，是时候重新看待阿尔茨海默病了。100多年前，神经病理学家爱罗斯·阿尔茨海默（Alois Alzheimer）首次报告了一种疾病，后来人们便以他的名字给这种疾病命名——“阿尔茨海默病”（Alzheimer's disease）。然而，迄今为止，人类依旧没有找到有效的方案治愈这种疾病。

目前，全球已有4000万到5000万人饱受阿尔茨海默病或其他类型痴呆的折磨。尽管医生们尝试了许多药物，哪怕是仅仅针对某一种病因的药物，都毫无例外的以失败告终。如今，科学家提议，是时候抛弃过去的思维方式，发展全新的策略来应对阿尔茨海默病了。

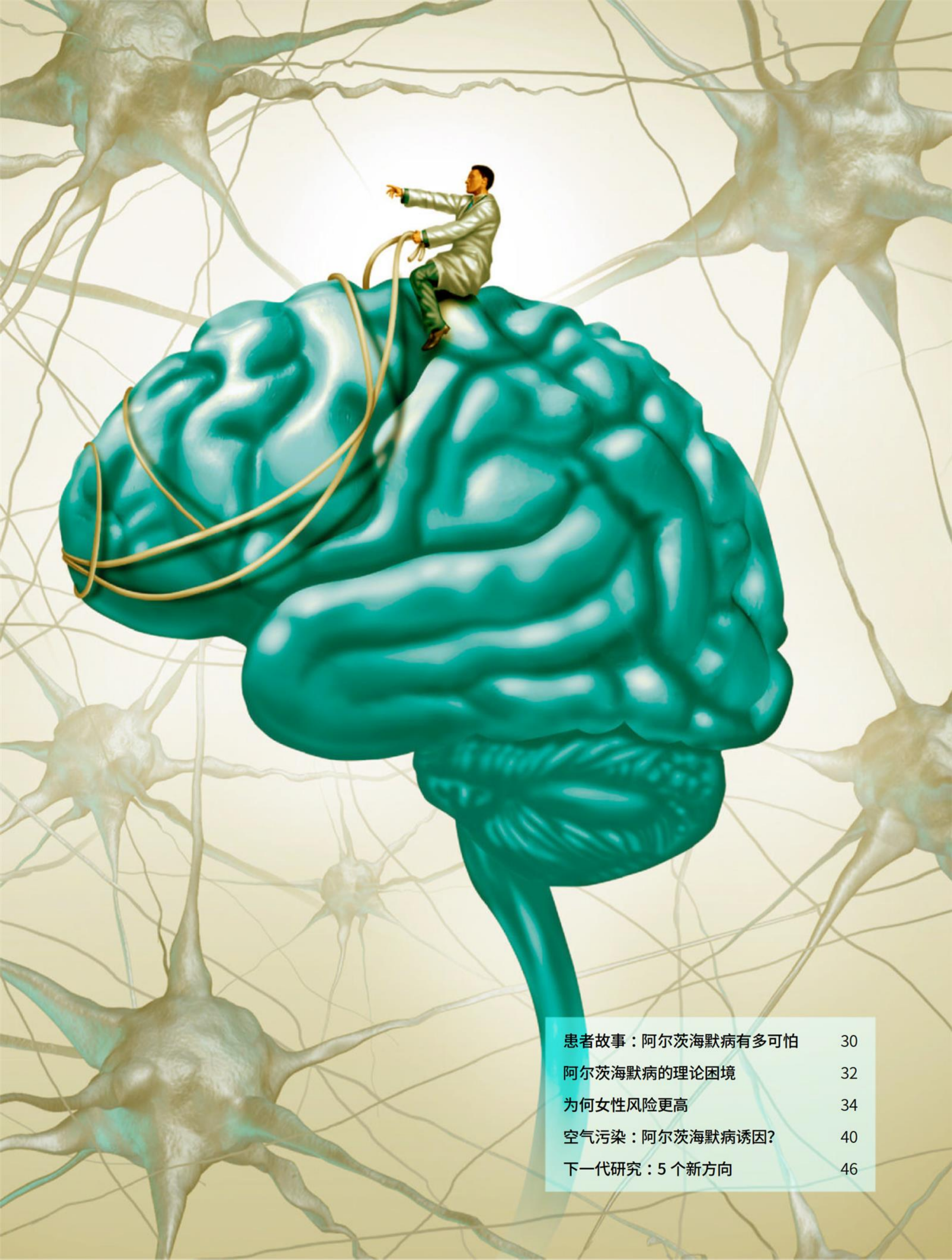
本专栏的最开始，我们呈现了一位男士记录的阿尔茨海默病如何夺走爱人的故事，以及疾病对他和他的家庭造成的巨大伤害。

接下来，我们重点关注了疾病发生的原因，这包括大脑本身及外部环境因素。此外，我们慎重讨论了“β-淀粉样蛋白假说”的合理性，科学家在研究药物的过程中，都以该假说作为理论依据。

相比于男性，女性具有更高的发病风险，科学家却常常忽略了对女性的研究。因此，我们的下一篇文章专注于雌激素、更年期对认知下降的影响。之后，我们报道了空气污染和阿尔茨海默病的显著相关性，探索了空气污染与大脑损伤之间的联系。

最后，我们介绍了5个曾经被忽略的相关研究领域，例如脑内的免疫反应研究。从这些角度入手，或许能为治疗阿尔茨海默病带来希望。

——乔希·费施曼（Josh Fischman）



患者故事：阿尔茨海默病有多可怕	30
阿尔茨海默病的理论困境	32
为何女性风险更高	34
空气污染：阿尔茨海默病诱因？	40
下一代研究：5个新方向	46

THE FUTURE OF MEDICINE  
A NEW ERA FOR ALZHEIMER'S

# THE DECEA

## 患者故事： 阿尔茨海默病有多可怕

阿尔茨海默病摧毁了作者妻子的记忆、生活，也毁了作者的家庭，而对这一切，他却无从阻止。

撰文 乔尔·舒尔金 (Joel Shurkin) 翻译 王瑜

我终于体会到，当所爱之人患上阿尔茨海默病时，她并不是唯一面临记忆困扰的人。患病前的爱人，快乐、阳光、充满生机与创造力；而患病之后，她甚至无法认出我来，只能躺在护理室的病床上，气息奄奄。

曾经的她，可以与我进行身心的沟通，分享世间的一切美好；患病后，简单到说话、去洗手间这样的事情都难以独立完成。面对一个灵魂已逝，徒留躯体的人，我们该如何生活？阿尔茨海默病裹挟着所有的难题朝我涌来。现在，我甚至很难回忆起妻子患病前的那些日子了。

我的妻子卡罗尔·霍华德 (Carol Howard) 是在六十多岁时被诊断为早发性阿尔茨海默病的。接下来，我慢慢地目睹了她的大脑病变、认知衰退、感觉消失，直到逝去的整个过程。

刚拿到诊断结果时，卡罗尔决定要努力与疾病斗争。她参与了两项潜在药物的临床试验——遗憾的是，全都失败了。最后，当我们认识到这种疾病不可治愈的时候，她只希望我能在她去世的时候为她大声哭泣了。她觉得很崩溃和愤怒，因为几十年来，科学家对阿尔茨海默病的研究并没给她带来希望——没有治疗方法，何谈治愈？

接下来的故事，我将告诉你卡罗尔原本的模样，后来又变得如何。她非常漂亮，有着夏季天空般蔚蓝清澈的眼眸；她平和友善，聪明伶俐，温文尔雅。我们初次相遇时，我正在加利福尼亚大学圣克鲁斯分校教书，那时她选修了我的科学传播课。她说话得体合宜，用词得当考究。

卡罗尔主修海洋生物学，曾写过一部非常有名的书，她在书中讲述了在读博士期间，她和两只大西洋宽吻海豚的故事。在圣克鲁斯山的红树林里，我们专心写作，度过了15年恬静的田园时光。后来，我们搬到了巴尔的摩，在约翰·霍普金斯大学彭博公共卫生学院动物实验替代中心工作。对她来说，这是一份完美的工作，她也非常热爱这份工作。

大约6年前，平静的生活被打破了。卡罗尔开始出现一些奇怪的症状，例如突发性昏厥以及性欲减退，甚至有天晚上，她忘记了如何下载文件而在办公电脑前哭泣。她也不再读书了，接下来，卡罗尔被确诊为阿尔茨海默病。

尽管卡罗尔仍然喜欢散步，但她却开始走失和迷路。为此，我在她身上安装了GPS定位仪——当她找不到回家的路时，我可以过来接她，或是邻居们也可以送她回家。

乔尔·舒尔金已经撰写了9本和科学以及科学史相关的书籍。他曾在斯坦福大学、阿拉斯加大学和加利福尼亚大学圣克鲁斯分校教授科学写作课程。



# SED LOVE

她曾跑到马路上大喊大叫，甚至在一次感恩节聚会上，她没穿衣服就跑出卧室，光着身子到了大街上。情况越来越糟，她会连续几个小时坐在起居室里，目光呆滞空洞。我依旧会和她聊天，跟她讲今天发生的事情，但不再奢求她能够听懂或者回应。家里虽有两人，我却时常感觉是孤身一人。

去年一月份，我摔伤了膝盖和肋骨，不得不住院治疗。我们的女儿汉娜（Hannah）非常清楚，我们俩都无法照顾卡罗尔了。因此，汉娜选了一个不错的养老院，用来照顾参加了医疗补助计划的母亲。我出院后，每周都会去探望卡罗尔两次，而她的状态却每况愈下：有一次，卡罗尔把我当成了她的父亲；还有两次，我甚至看到她极具攻击性地抗拒护理人员的帮助。我从未想过，这样的事情竟会发生在她的身上。

卡罗尔生前最后的画面，深深地刻在了我的脑海里，难以忘怀。那是2019年10月25日的中午，她握着汉娜和一个朋友的手，费力地微微起身，努力想表达什么，最终却只发出了一点声音，随后她无力地躺下去，永远地离开了我们。我轻轻合上她的眼睛，那天，距离她的70岁生日，以及我们结婚28年纪念日，只有一个月了。

卡罗尔的去逝还导致了我们的财务危机。由于医疗保障系统的不健全，对许多美国人来说，这个结局是注定的。我们不得不聘请律师来处理相关的法律问题（这要花费1.2万美元）。卡罗尔在养老院的支出为每年8万美元，如果想要获得马里兰州的医疗救助，我必须放弃自己的财产才能达到救助标准：辩护律师告诉我，我的银行存款需要少于2500美元，并且必须花光卡罗尔的退休基金，放

弃我们的房产，然后搬到公寓居住。这样的生活简直是糟透了。

我该如何怀念卡罗尔？她才去世不久，因此我对她的死亡必定会记忆深刻。我又该如何面对阿尔茨海默病带来的恐怖回忆？如何面对卡罗尔生前那无神的目光，用过的脏兮兮的尿布以及未说完的话？如何处理我空空如也的银行账户以及愤怒的情感？

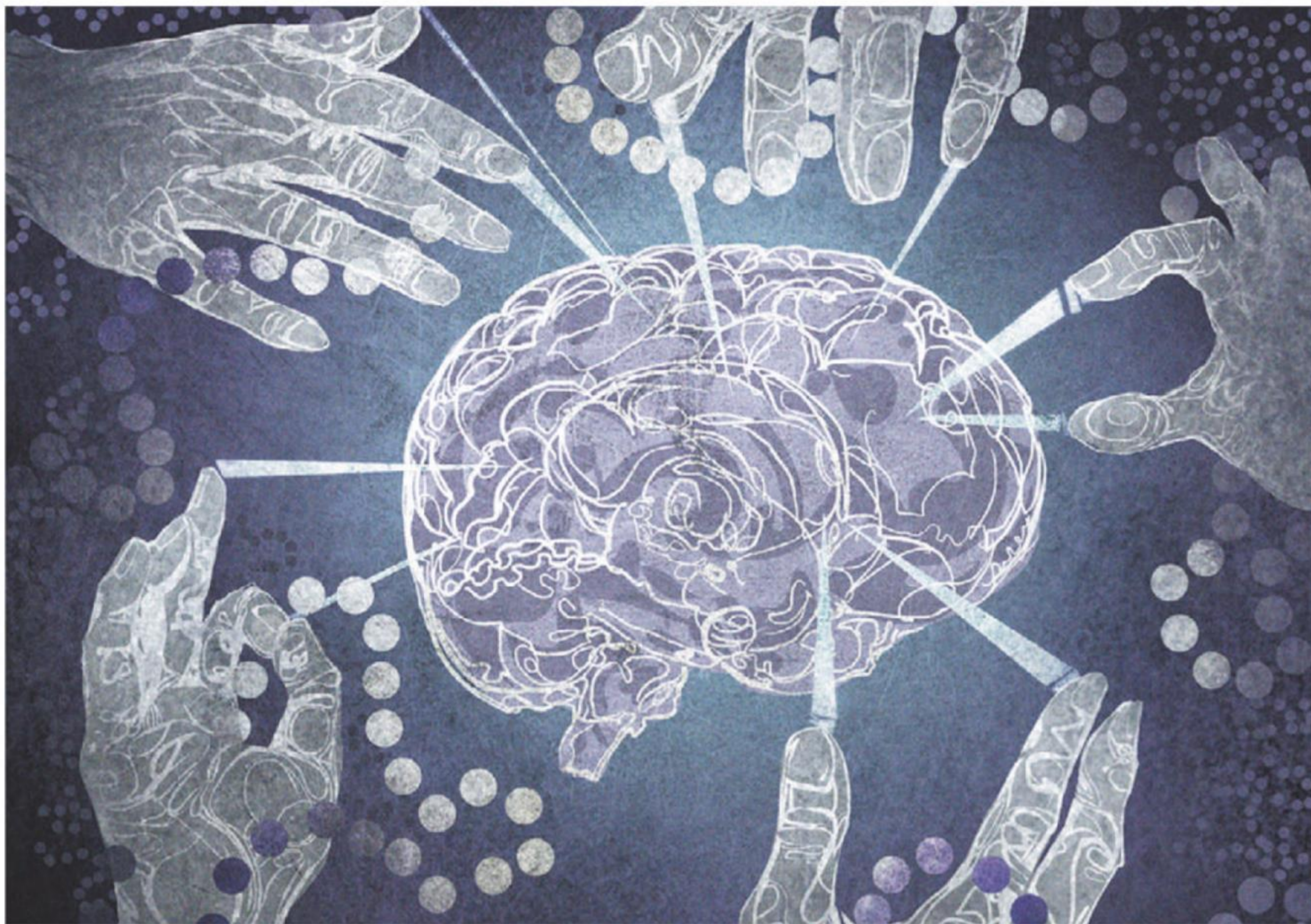
有一个画面我会永远记住：三年半前，那时卡罗尔的情况还没变得特别糟糕，全球最好的管弦乐团将在阿姆斯特丹演奏我最喜欢的音乐——古斯塔夫·马勒（Gustav Mahler）的《复活交响曲》，卡罗尔觉得我们必须得参加这场音乐会。

音乐会非常精彩。结束之后，我们牵手走过公园的草坪，光晕笼罩着城市，那么柔和。卡罗尔什么都没说，但我从她的脸上可以看到，卡罗尔沉浸于音乐中，此时此刻，她比以往任何时候都更加理解马勒隐藏在音乐中的含义，马勒的音乐已经走进了卡罗尔的内心。科学家指出，欣赏音乐是阿尔茨海默病患者最后能做的事情之一了，因为在其他功能丧失后，大脑对音乐的处理能力依旧可以保留一段时间。

那晚是我们最后一次享受夫妻生活，也是我最后一次拥有过去的卡罗尔——那个充满生机、聪慧、漂亮的卡罗尔，有着夏日蔚蓝天空般清澈眼眸的卡罗尔。我永远不会忘记你。■

本文译者 王瑜是中国科学院上海营养与健康所的博士研究生。主要研究方向是肿瘤免疫调控。





# 阿尔茨海默病的理论困境

目前，治疗阿尔茨海默病的一个主导性理论正接受着严苛的审视，甚至遭到质疑。

撰文 塔尼亚·刘易斯 (Tanya Lewis) 翻译 张维阳

2019年3月，制药巨头渤健 (Biogen) 终止了阿尔茨海默病药物 aducanumab 的两项大型临床试验，因为该药物没有显示出改善患者记忆的能力。然而几个月后，事情却出现了惊人的反转。该公司和合作的日本制药厂卫材 (Eisai) 表示，他们将请求美国食品及药品管理局 (FDA) 批准这一药物上市。渤健公司称，一项新的分析显示，在其中一项试验的高剂量组中，药物能溶解少数患者大脑中的  $\beta$ -淀粉样蛋白斑块，让他们从治疗中获益。

反复无常的实验结论，以及其他一系列清除  $\beta$ -淀粉样蛋白的药物的失败，让该领域的专家开始对针对  $\beta$ -淀粉样蛋白斑块进行治疗的前景产生了分歧。长期以来， $\beta$ -淀粉

样蛋白斑块一直被认为是治疗阿尔茨海默的首选靶点。

在反思  $\beta$ -淀粉样蛋白假说的科学家中，一部分人在最初参与提出了这一假说。遗传学家约翰·哈迪 (John Hardy) 说：“我想说的是，这一假说有它的理论基础，但并不牢固。”20多年前，他参与发表了支持这一学说的遗传学研究，现在就职于伦敦大学学院神经科学研究所，并承担了一项分子神经科学项目。他表示：“我们在1998年提出的观点不够成熟，且过于简化了。有很多问题悬而未决。我们曾以为那些问题在几年内就能被解决，但20年过去了，它们还没有被解决。”尽管如此，其他一些专家还在维护  $\beta$ -淀粉样蛋白假说，他们仍认为该假说是一种

可靠的解释，靶向这种蛋白治疗阿尔茨海默病才是正道。

淀粉样前体蛋白 (APP) 被  $\beta$ - 分泌酶和  $\gamma$ - 分泌酶剪切，形成  $\beta$ - 淀粉样蛋白。正常情况下， $\beta$ - 淀粉样蛋白碎片会继续被降解。但在阿尔茨海默病患者体内， $\beta$ - 淀粉样蛋白会在神经元周围聚集，另一种 tau 蛋白的缠结也会在这些细胞内形成。这些改变最终会导致神经细胞死亡、大脑退化。基于这个发现，一些科学家开始怀疑， $\beta$ - 淀粉样蛋白真的是治疗阿尔茨海默病的靶点吗？对于携带该疾病特定遗传性状的人，他们至少在 3 个基因（1 个淀粉样前体蛋白的编码基因和 2 个构成  $\gamma$ - 分泌酶中早老素的基因）中，有 1 个基因突变。这些携带者的大脑细胞无法有效清除  $\beta$ - 淀粉样蛋白。其他证据来自于唐氏综合征患者，这些患者体内多了一条 21 号染色体（含有合成 APP 的基因），因而产生了过多的  $\beta$ - 淀粉样蛋白。这些患者在 50 岁时出现痴呆症的风险较高。根据这些发现，科学家推测  $\beta$ - 淀粉样蛋白清除机制出错，是导致阿尔茨海默病的罪魁祸首。

但大量药物研发的失败案例，也让一些研究者开始重新考虑单独针对  $\beta$ - 淀粉样蛋白的治疗效果。 $\beta$ - 淀粉样蛋白常常在症状出现前数年就已经开始累积，但并不是所有出现这一病理过程的人都会得病。2020 年 2 月，两种针对  $\beta$ - 淀粉样蛋白的药物——礼来的 solanezumab 和罗氏的 gantenerumab——治疗早发性遗传型阿尔茨海默病的临床试验都以失败告终，这种基因型的阿尔茨海默病被认为与  $\beta$ - 淀粉样蛋白的代谢直接相关。

包括美国衰老研究院资助的阿尔茨海默病合作研究项目在内，一系列研究都表明， $\beta$ - 淀粉样蛋白的聚集只是一个复杂的级联相互作用的一部分。加利福尼亚大学圣迭戈分校的临床神经科学家霍华德·费尔德曼 (Howard Feldman) 是该项目的负责人，他说：“我们针对  $\beta$ - 淀粉样蛋白治疗的经验，都清晰地表明了这一点：单一针对  $\beta$ - 淀粉样蛋白的疗法，似乎很难阻止这种疾病的发展。”费尔德曼还表示，虽然这个假说很好地解释了遗传因素导致的早发性阿尔茨海默病，但晚发性阿尔茨海默病或许包含了更多因素，所以仅针对  $\beta$ - 淀粉样蛋白的疗法不太可能奏效。

哥伦比亚大学的卡伦·达夫 (Karen Duff) 等研究者更倾向于认为，tau 蛋白缠结在疾病形成中发挥的作用等于甚至大于  $\beta$ - 淀粉样蛋白。其中一个原因是，相比于  $\beta$ - 淀粉样蛋白，tau 蛋白的病理程度与认知障碍的严重程度更加密切相关。

另一些科学家认为炎症或者血脑屏障缺陷，或许在这

一疾病的发展中起到决定性作用。但费尔德曼提到，目前针对 tau 蛋白和炎症的药物，都没有展现出治疗效果。他认为联合应用多种疗法或许是最好的办法：“单一疗法可能永远都不足以解决除遗传型（早发性）之外的阿尔茨海默病。”

此外，还有一些不同的观点。近年来，哈迪和同事开始关注损伤应答反应出错导致的晚发性阿尔茨海默病和其他神经退行性疾病。他们认为早期  $\beta$ - 淀粉样蛋白累积可能会损伤神经细胞的细胞膜，如果小胶质细胞无法移除这些被损坏的膜蛋白，细胞膜将无法充分清除  $\beta$ - 淀粉样蛋白，进而导致新一轮损伤。近期的几项基因组测序研究支持了这种观点。哈迪说，大部分在晚发性阿尔茨海默病中被鉴定为风险因子的基因，都参与了小胶质细胞代谢，其中一些基因编码的蛋白能协助构建、修复细胞膜。

仍有一些科学家相信  $\beta$ - 淀粉样蛋白在这一疾病中发挥主要作用，因为一些研究揭示， $\beta$ - 淀粉样蛋白的聚集与症状的严重程度相关。“在我看来，这个假说很棒而且非常有活力，”华盛顿大学圣路易斯分校医学院的神经系主任戴维·霍尔茨曼 (David Holtzman) 说，“毫无疑问，研究表明  $\beta$ - 淀粉样蛋白在这种疾病中具有重要作用。问题在于，它何时能成为一种治疗手段呢？”

虽然相比于数十年前，哈迪对这一理论的怀疑加深了，但他仍然认为这种假说的背后有强大的数据支持，而  $\beta$ - 淀粉样蛋白相关药物的临床试验之所以结果不佳，是因为给药时机远落后于疾病的发展进程。他说：“如果我突然心脏病发作，他汀类或许是对症的药物，但这时使用就为时已晚了。”最终，医生或许能检测基因、血液或脑脊液中的生物标志物，预测出哪些人有患阿尔茨海默病的风险，这也很有可能使患者在症状出现前获得治疗。

其他一些科学家表示， $\beta$ - 淀粉样蛋白真正的重要性或许是可以用作一种生物标志物。“我认为  $\beta$ - 淀粉样蛋白是一种十分重要的标志物，可以帮助我们了解患病风险，以及能在什么阶段诊断出这一疾病，”得克萨斯大学达拉斯分校的行为和脑科学主任丹妮丝·帕克 (Denise Park) 说，“我认为它是当下最好的生物标志物。”

放眼未来，阿尔茨海默病领域的科学家似乎不会放弃  $\beta$ - 淀粉样蛋白假说。但经历了这么长时间，科学家开始放宽眼界，去关注更多生理过程，以应对这种摧毁人类心智和记忆的疾病。■



杰纳·平科特是一位自由职业的科普作家作家，撰写书籍《孕味魔方：古怪而有趣的孕期那些事》(Do Chocolate Lovers Have Sweeter Babies?: The Surprising Science of Pregnancy)。

## THE FUTURE OF MEDICINE A NEW ERA FOR ALZHEIMER'S

# 为何女性风险更高

一些研究发现，当女性进入更年期时，由于雌激素的减少，她们大脑会处于一个脆弱阶段，而这会增加她们患阿尔茨海默病的风险。

撰文 杰纳·平科特 (Jena Pincott) 翻译 刘宏丽

**索**菲 (Sophie, 化名) 告诉我她的记忆力是如何开始衰退的：她出现在办公室准备工作，却忘记了自己原本和客户有一个早餐会；大脑里一片空白，完全想不起邻居们的名字；她进入一个房间，却丝毫记不起自己为什么会在那里。索菲是一名50岁出头的律师，她已经进入更年期，经常会出现潮热和夜间盗汗等现象。但索菲的健忘似乎与这些现象无关，那她的大脑到底怎么了？

莉萨·莫斯科尼 (Lisa Mosconi) 是韦尔康奈尔妇女大脑倡议组织 (Weill Cornell Women's Brain Initiative) 的主任以及韦尔康奈尔医学院阿尔茨海默病预防中心副主任，她可能知道这是怎么回事。她已经分析了数千例进入更年期的女性患者的正电子发射断层扫描 (positron-emission tomography, PET) 图像，并且观察了她们大脑的新陈代谢速率随时间的变化。莫斯科尼说：“在绝经前，女性大脑的能量很高。”她向我展示了一张年轻女性大脑的PET图像，上面有许多反映高水平葡萄糖代谢的亮红色和橙色斑点，显示出大脑的神经元活动。

当女性处于围绝经期（更年期之前的一段过渡时期）时，她们大脑中的葡萄糖代谢速率会减慢10%~15%或更多，扫描结果也发生了变化：亮红色和橙色斑点会更多地

被黄色和绿色斑点取代，这表明大脑摄取的糖份减少，新陈代谢速率降低。莫斯科尼说：“绝经后，女性大脑中的葡萄糖代谢速率会下降20%~30%，有时会更好。”在她向我展示的最后一张扫描结果图中，绿色斑点很清晰地占领了大部分区域。

在年轻女性的大脑中，雌激素是主要的新陈代谢调节因子，负责从葡萄糖转运、摄取到分解产能的全部代谢过程。莫斯科尼的PET结果证明，更年期（通常在45~55岁之间）女性体内雌激素水平的下降，会导致她们的大脑出现“生物能量危机”。在这段超过7年的过渡时期，高达60%的女性会出现更年期相关的认知障碍，包括一阵阵的记忆力混乱、注意力分散和健忘。神经突触的形成需要能量，但随着大脑中雌激素水平和葡萄糖代谢能力的降



插图：盖伦·达拉 (Galen Dara)

低，神经元之间新的神经突触的形成速度会随之下降。

幸运的是，这种损伤只是暂时的。随着大脑产生补偿机制，并利用其他来源的能量，她们的情况会好转，认知能力也能恢复。2009年的一项研究指出，刚绝经的女性的认知测试得分和过渡阶段之前一样好，但在数十年后，其中约1/5的人被诊断为阿尔茨海默病。莫斯科尼等人认为，在美国的360万阿尔茨海默病女性患者中，更年期可能是认知能力下降的一个临界点。

尽管对阿尔茨海默病女性患者开展研究已经是当务之急，但在涉及女性特有的患病风险因素、症状、预防和对治疗的反应时，仍有太多问题没有答案。为什么在美国当女性到达65岁时，就有1/5的可能性患上这种疾病，而同年龄的男性比例却只为1/9？女性健康研究协会（Society for Women's Health Research，位于华盛顿特区的一家非营利机构）的一个专家小组在2018年的一份分析报告中指出，美国女性的平均寿命比男性长5年，但“长寿并不能完全解释女性更高的阿尔茨海默病发病率和终生风险。”为什么携带载脂蛋白E（ApoE）的e4基因变体（ApoE4，会增加患阿尔茨海默病的风险）的女性往往比男性携带者在更年轻时患上阿尔茨海默病？是什么样的生理特征和生活经历让女性更加脆弱？

更年期假说认为女性在更年期时雌激素水平下降，会使大脑在将来面对损害时更加脆弱，这或许可以为上述问题给出答案。如果莫斯科尼等人是对的，包括索菲在内，经历这一过渡时期的女性将能受益于生活方式干预，以及存在争议但具有预防效果的激素疗法。

### 失去雌激素

在描述绝经女性体内雌激素下降、PET图中主要为绿色斑块时，亚利桑那大学脑科学创新中心主任罗伯塔·迪亚斯·布林顿（Roberta Diaz Brinton）表示：“大脑进入了饥饿模式。”她解释说，在大脑生物供能中，雌激素拥有广泛的功能。作为一种信号分子，雌激素在整个大脑中到处都有受体，它可以调节线粒体为神经元和神经元间连接的形成提供能量。雌激素能激活促使神经突触发挥功能的酶，还能促进葡萄糖从血管转运到大脑、从大脑运输到神经元，以及支持和保护神经元的神经胶质细胞。

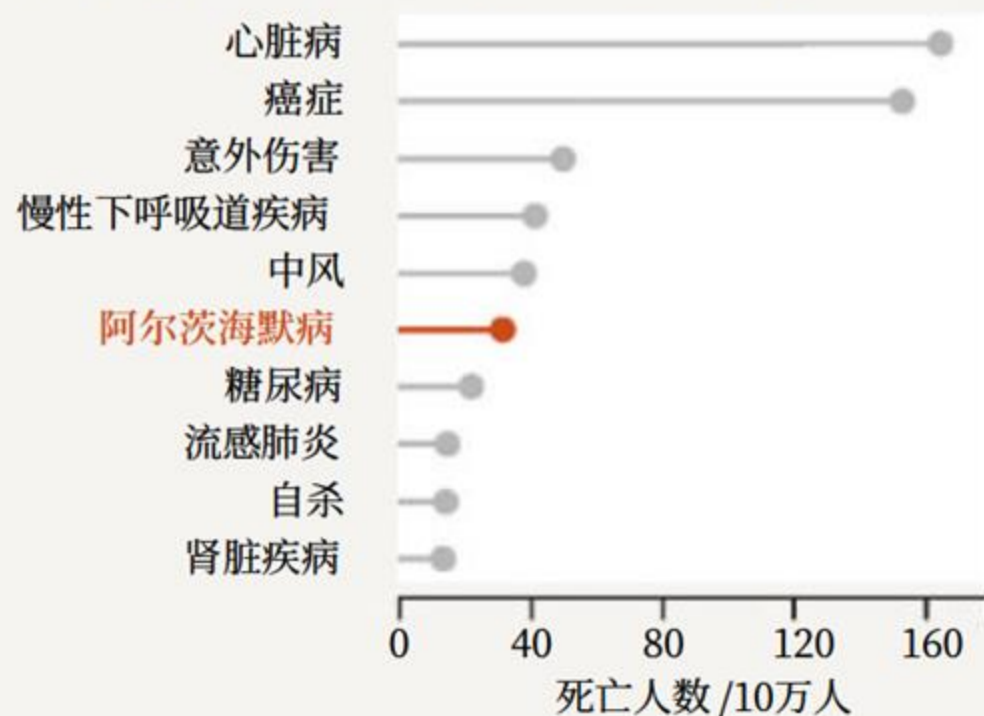
布林顿对老年雌性小鼠的研究显示，随着雌激素水平下降和葡萄糖代谢速率减慢，为了适应这样的改变，大脑会使用酮体供能。酮体是由脂肪酸产生的物质，在这种情况下，酮体来自白质（包括保护神经元的髓鞘）。而这种

## 阿尔茨海默病的负担

### 死亡原因

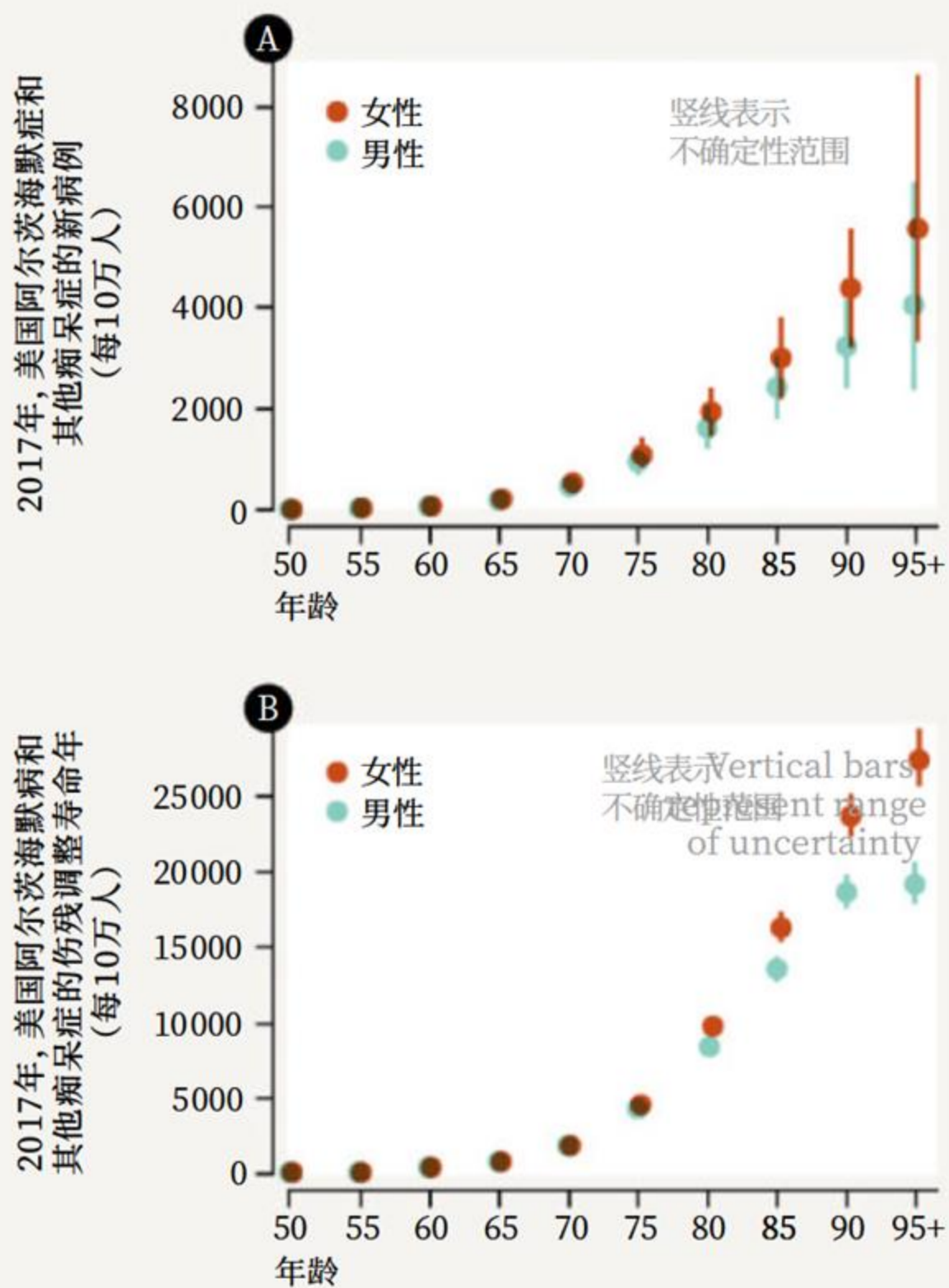
在美国，阿尔茨海默病是第6大死因。专家指出，由于死亡原因通常根据直接死因判断，如患者死于肺炎而不是潜在的痴呆症，因此阿尔茨海默病导致的死亡率可能被低估了。

2017年，美国的10大主要死因（年龄调整后的死亡率）



### 性别差异

根据华盛顿大学健康指标与评估研究所（IHME）的估计，美国女性患阿尔茨海默病的比例高于男性。从50岁开始一直到95岁，在新诊断的病例中，女性患者越来越多。用疾病导致丧失生活能力或早死的年数（基于平均寿命）来衡量疾病时，女性和男性之间的差异同样在逐渐增加。



资料来源：“Mortality in the United States, 2017,” By Sherry L. Murphy et al. National Center for Health Statistics Data Brief, No. 328, November 2018 (leading causes of death); Global Burden of Disease Collaborative Network—Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Population and Fertility 1950–2017. Institute for Health Metrics and Evaluation, 2018 (gender differences)

制图：珍·克里斯琴森 (Jen Christiansen)

转变在本质上是一种自我蚕食行为，在一定程度上会出现在女性体内。那些更多地依赖酮体为大脑供能的人，可能会面临更严重的白质退化和更高的痴呆风险。

有时，大脑供能不足和  $\beta$ -淀粉样蛋白沉积或斑块的形成会同时发生。这些有时会在一些功能正常的大脑中出现的现象，一定会出现在阿尔茨海默病患者中。这些斑块会干扰突触信号的传递。在阿尔茨海默病患者的大脑中， $\beta$ -淀粉样蛋白通常伴随 tau 蛋白一起出现。tau 蛋白是一种缠结蛋白，在细胞中会缠绕住细胞核，通过阻断营养物质运输杀死细胞。此外，低水平的雌激素会增加血脑屏障的通透性，使大脑暴露在潜在的毒素或感染中。这些毒素或感染可引起攻击性的免疫反应，释放出的蛋白质会导致新的淀粉样蛋白斑块和缠结形成。

莫斯科尼说，相比于四五十岁女性的大脑，同年龄段男性的大脑并没有出现明显的老化，出现  $\beta$ -淀粉样蛋白斑块的比例也更低。一种解释是，睾酮和雌激素一样，具有保护神经的作用。男性在该年龄段时，体内的睾酮水平不会像女性的雌激素一样急剧下降。这种差异可能有助于解释，为什么男性患阿尔茨海默病的概率较低。莫斯科尼解释说，女性的阿尔茨海默病病理发展可能比男性更早，但由于大脑的补偿功能良好，往往在疾病发展到更晚阶段才被诊断出来。2019 年的一项研究发现，对于 PET 图像中同样显示有阿尔茨海默病生物标志物的男性与女性，女性在语言测试中的表现更优秀。如果这个结果具有性别差异，那么当干预更加有效时，这种疾病就可以更早地被检测出来。

为了进一步明确患病风险较高的女性，研究人员已经开始研究阿尔茨海默病与一生暴露在雌激素环境的时间的联系。科学家用“生育期”（女性第一次月经和最后一次月经之间的时间跨度）来衡量雌激素的暴露时间。一项对凯撒医疗集团（Kaiser Permanente）医疗保健联盟的 15 754 名女性成员的大规模研究发现，生育期为 21~34 年的女性患痴呆症的概率比生育期为 39~44 年的女性高 26%。这一结果表明，月经期开始较晚或结束较早的女性患阿尔茨海默病的风险更高。

然而，还有很多因素能影响女性的雌激素暴露时间，但它们对阿尔茨海默病的影响并没有得到充分的研究。例如，孕妇在怀孕期间，循环系统中的雌激素水平会急剧上升，但在分娩后雌激素水平降低，并在未来几年内一直低于未怀孕时期。一些研究试图将女性生育次数与阿尔茨海默病的患病风险联系起来，但得到的是矛盾的结果。全世

界有超过 1 亿女性服用避孕药来抑制卵巢激素的分泌，然而令人震惊的是，对于避孕药对痴呆症风险的长期影响，我们还知之甚少。

## 激素疗法

索菲在青春期时就开始服用避孕药，但她从未生育过。她表示，在围绝经期的最后一年，她的记忆力衰退达到了顶峰。她经常会在一小时内经历 3 次以上的潮热，这一频率和严重程度与加剧白质损失、增加大脑中葡萄糖代谢失调和晚年患痴呆症的潜在风险有关。索菲的医生给她开了一种新的药物：雌激素-孕激素复方片（孕激素可以保护子宫）。索菲说，这个药物的效果“不可思议”：她的潮热消失了，而且重新想起了早餐会议。

为了大脑的健康，似乎每个更年期女性都应该接受激素治疗，但实际情况要更加复杂。21 世纪初，美国国家心肺血液研究所报告了来自女性健康倡议研究和辅助记忆研究的结果。结果显示，激素疗法（包含雌激素和孕激素）与乳腺癌、中风、心脏病和血栓的风险增加有关，令人惊讶的是，激素疗法使用者的痴呆症发病率高出一倍。此后，调查人员发现了研究中的缺陷：女性使用的处方药共轭马雌激素（半合成药物）对神经的保护作用，不如现在常用的  $17\beta$ -雌二醇效果好；还有一个更大的问题是，女性开始接受激素疗法治疗时，年龄都达到了 65 岁或以上。

女性服用第一粒激素药丸（或是使用乳膏或贴片）的年龄，正好是布林顿所说的“雌激素偏向于在健康细胞中发挥作用”的时间。如果神经元是健康的，它们会对雌激素产生反应。但如果神经元老化或缺乏雌激素刺激的时间过长，会导致相关的信号通路退化以及受体功能失调，进而丧失对雌激素的反应。在这种情况下，补充雌激素甚至会加剧神经退化。布林顿说，要让激素疗法产生有益而非有害的作用，女性必须在关键窗口期内开始服药，通常是停经后的 5 年内。

一些观察性研究通过测试使用激素疗法至少 10 年的患者，检验了关键窗口期假说。其中，一项在犹他州开展的研究指出，在更年期开始的 5 年内，使用这种疗法能使阿尔茨海默病的患病风险降低 30%；而在芬兰的一项近期研究中，该疗法却使患病风险增加了 9%~17%，且开始使用的年龄并不会影响患病风险。我们应该相信哪个结果？研究人员也不清楚。尽管他们认为激素疗法对许多绝经初期的女性是安全有效的，但由于多种因素使问题复杂化，他们在预防痴呆症上仍然缺乏共识。莫斯科尼说：“我们

还需要更多的临床试验，尤其是针对那些从围绝经期就开始激素治疗的女性。”那些围绝经期症状极其严重的女性，如索菲，可能无法自然地适应雌激素的缺失。对于她们来说，激素疗法或可以预防向更年期过渡期间的神经退行性损伤。

索菲谈到激素疗法时说：“我不敢离开它。”她觉得这让她免于陷入记忆衰退的恶性循环，也让她不会像她慈祥、意志坚强的祖母一样，因为患上阿尔茨海默病而变得思维

每个人，尤其是处于四五十岁的女性，都应该“知道自己患病的风险”，包括ApoE基因状态、代谢特征、血液生化指标甚至是大脑扫描图谱，尤其是在性别特异性的图像标记物出现时。

混乱和多疑。然而，索菲还没有检测ApoE4基因，所以不清楚是否会患上这种疾病，并且也没有研究能证实激素疗法的确有助于阻止该疾病的形成。那么，有更好的方法来预防阿尔茨海默病吗？

### 脆弱的更年期

更年期不会导致阿尔茨海默病。布林顿说，它更像是一扇脆弱的“窗户”，尤其是对于有潜在风险的女性。在最开始，它与阿尔茨海默病的联系并不明显。女性绝经的平均年龄为51岁，而诊断出阿尔茨海默病的平均年龄为70~75岁，两者之间存在20多年的差距。但是，这一疾病的前驱阶段（从出现β-淀粉样蛋白等病理特征到全面认知障碍），大约也会持续20年。“这也许只是时间上的巧合，”布林顿说，“但我不这么认为。”

在脑部扫描之外，有没有可能在女性还健康时，就更早地预测出她们患阿尔茨海默病的风险？在一项发表于2016年的研究中，布林顿等人将500名健康的绝经后女性分为3组，分别是代谢最佳组、高血压临界组和代谢健康临界组。在语言记忆测试中，只有代谢健康临界组的得分明显更低。

严格来说，这些受试者的代谢指标仍在正常范围内，但有迹象表明她们的身体状况正朝着不健康的方向发展。例如，在这一组中，30%的女性血糖水平接近患前驱糖尿

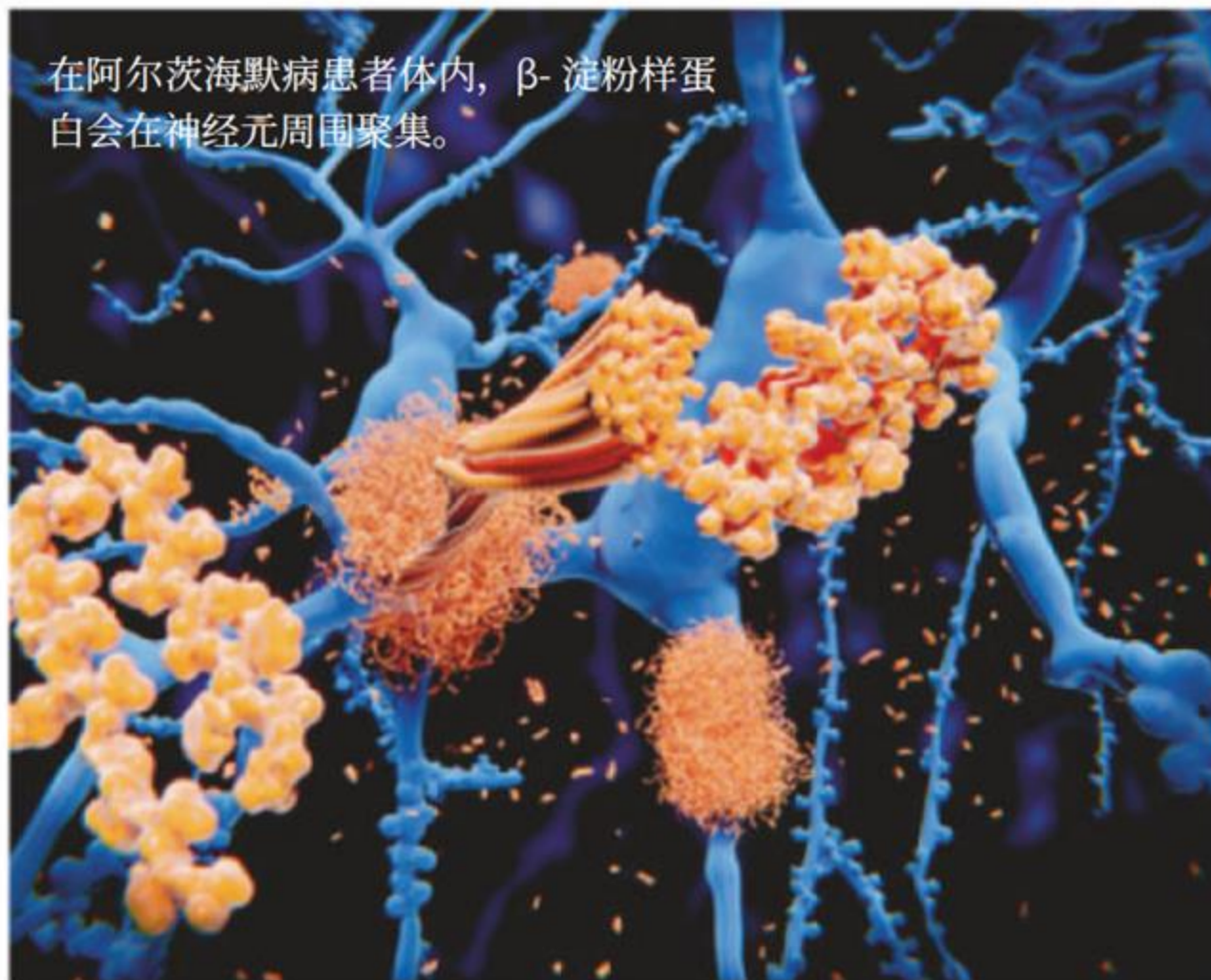
病的阈值，而这种情况与认知障碍有关。进食后，胰岛素能帮助葡萄糖进入细胞供能，但前驱糖尿病患者体内的细胞会抵抗胰岛素。脑细胞开始抵抗胰岛素时，会吸收但无法利用葡萄糖，再加上绝经期葡萄糖代谢速率减慢，可能导致神经退行性疾病。对许多处于过渡阶段的女性来说，前驱糖尿病是患II型糖尿病的开端，而后者几乎使患阿尔茨海默病的风险增加一倍。超过80%的阿尔茨海默病患者出现了胰岛素抵抗。

一旦认为更年期会改变女性全身的生理状态，我们很容易看到一系列复杂的因素如何引发阿尔茨海默病，以及为什么控制这些因素是预防的关键。雌激素对心血管系统的健康效益包括胆固醇调节，它可以提高“好的”高密度脂蛋白(HDL)胆固醇水平，并降低“坏的”低密度脂蛋白(LDL)胆固醇水平，后者会导致脂肪和蜡样沉积物在动

脉中堆积。ApoE基因能介导胆固醇的新陈代谢并将其输送到神经元，但ApoE4变体携带者的血液中LDL胆固醇水平较高，常常伴随动脉硬化。当他们体内的炎症反应使这些沉积物散开时，还可能导致“无症状性中风”，这又将会使患阿尔茨海默病和其他类型的痴呆症的风险增加一倍以上。

睡眠在大脑的新陈代谢的调节（如增强对胰岛素的敏感性）中也起到关键作用。睡眠不足对女性，尤其是处于更年期女性的影响更加严重。在正常休息的夜晚，神经胶质细胞会将大脑中的β-淀粉样蛋白和tau蛋白排出。但睡眠不足会破坏这个过程，这些蛋白质在大脑中堆积并形成斑块。这会导致睡眠支离破碎，损害神经细胞的葡萄糖代谢，而这又会进一步干扰睡眠。因此，大脑进入这个危险的循环后，会加速神经退化的进程。同样，ApoE4变体携带者清除或降解斑块和缠结的能力降低，因此患病风险增加。

压力也能改变更年期中的临界点。一项长达35年的追踪研究发现，压力持续超过一个月，或者女性在四五十岁时遭受更多的压力，在40年后患阿尔茨海默病的可能性就越大。除了压力，女性比男性更有可能患上抑郁症，这几乎会使痴呆症风险翻倍。不出意料的是，携带ApoE4的女性不仅具有最高的阿尔茨海默病遗传风险，她们患抑郁症的机率也是未携带ApoE4者的4倍。这可能是因为β-



淀粉样斑块增加的大脑区域参与了情绪调节。

### 预防与新疗法

2019年，布林顿等人发表了关于代谢标志物研究的后续结果，并将ApoE基因的状态作为一个新变量。携带ApoE4基因单拷贝的人约占美国总人口的25%，这些人更容易患上阿尔茨海默病，约占所有病例的40%。女性携带者比男性携带者发病更早，通常在65~75岁之间，这可能是由于丧失了雌激素对神经的保护作用。携带者体内的LDL胆固醇含量更高、β-淀粉样斑块和tau蛋白缠结更多，而且海马体体积减小、大脑中的神经连接明显减少。进入更年期后，大脑的葡萄糖代谢下降，携带ApoE4等位基因的女性可能更多地依赖大脑的酮体作为辅助燃料。

与布林顿之前的研究一样，新陈代谢状况不佳的一组在一些认知测试中得分较低。但这次的分析揭示了，携带ApoE4基因是这一组表现不佳的主要原因。在这些携带者体内，高胆固醇和由不良代谢带来的其他健康影响，会加剧ApoE4的负面影响，导致早期认知能力的下降。然而，对这些携带者采用激素治疗干预后，他们的代谢状况会得到改善，同时在某些认知测验中的得分也会提高。

但布林顿认为携带ApoE4基因只是“敲响了警钟”，而不是“宣判死刑”：许多携带ApoE4基因的女性并没有患上阿尔茨海默病。在她的研究中，最佳代谢健康组在认知测试中得分最高，这其中就包括该基因的携带者。这些女性以及健康的非携带者能否更好地弥补更年期的“生物能量危机”？她们的健康状况能抵消其他风险因素吗？

根据2017年《柳叶刀》杂志的一篇报告，至少三分之一的阿尔茨海默病病例与糖尿病、肥胖、不良饮食和其

他可预防或治疗的因素有关。布林顿总结说：“关键的信息是维持新陈代谢健康，可以维持认知健康”。莫斯科尼对这一观点表示赞同，“我们无法改变染色体性别、年龄或携带的基因变体，但可以改变代谢的健康状况，从而降低患病风险。”她说，每个人，尤其是处于四五十岁的女性，都应该“知道自己患病的风险”，包括ApoE基因状态、代谢特征、血液生化指标甚至是大脑扫描图谱，尤其是在性别特异性的图像标记物出现时。她说：“出于预防，我希望脑部扫描将成为所有中年女性（和男性）临床检查的一部分，就像我们需要检查乳房和子宫一样。”“预防”，这个曾经很少与阿尔茨海默病联系在一起的词汇，已经成为我们信奉的准则。

激素疗法是否应该被纳入治疗方案，仍存在争议。但布林顿说，包括基因测试和数据分析的精准医疗已经应用于激素疗法，医生可能很快就会根据一些风险生物标志物，如ApoE基因状态、生育史、更年期症状等因素，给出精确的治疗方案。而新形式的激素疗法正在研发中。威斯康星大学密尔沃基分校的神经科学家卡伦·弗里克（Karyn Frick）等人开发了一款“精简”版本的17β-雌二醇，它被认为可以降低和标准激素疗法相关的乳腺癌风险。该药物尚未进行临床试验，但在初步的小鼠研究中已显现出效果。弗里克说：“它的作用就像记忆增强剂。”

还有一些阿尔茨海默病病例是无法预防的，对此，布林顿实验室正在开发一款以异戊烷醇为原料，名为Allo的药物。异戊烷醇是一种天然存在的类固醇，它可以刺激新的神经元形成。在阿尔茨海默病小鼠模型中，Allo逆转了小鼠认知缺陷，使它们恢复了学习和记忆能力。在I期临床试验中，这款药物不仅使轻度痴呆症患者海马区的灰质体积再生，还能减轻脑部炎症。布林顿说，该药物治疗ApoE4携带者的II期临床试验，计划于今年晚些时间启动。这一试验由美国衰老研究所资助。

2016年，美国国立卫生研究院（NIH）开始要求其资助的研究将性别作为一个生物学变量。由于阿尔茨海默病的病程发展缓慢，这也意味着，这些研究需要经过多年时间，才能使更年期过渡期的女性受益。

与此同时，预防仍然必不可少，特别是对于中年女性。建议包括：以植物为主的低糖、低反式脂肪和低饱和脂肪饮食，体育锻炼，减轻自身压力，以及每晚7小时的睡眠（清理β-淀粉样蛋白和tau蛋白）。布林顿说：“女性总是优先照顾别人，并把自己放在最后，但女性更需要重视自己的健康问题。”



## THE FUTURE OF MEDICINE A NEW ERA FOR ALZHEIMER'S

艾伦·拉普·谢尔是一名科学记者，主要关注科学、经济和社会。她最近的书籍《职业：风云变化时代中，工作和它的未来》(The Job: Work and Its Future)。



# 空气污染： 阿尔茨海默病诱因？

汽车尾气，以及通过其他方式排放到空气中的微小颗粒物可能与阿尔茨海默病密切相关。那些居住在空气污染物密集地区的人，更有可能患上阿尔茨海默病。

撰文 艾伦·拉普·谢尔 (Ellen Ruppel Shell) 翻译 陈宾凡

**我** 来到墨西哥城的第一天就感到很难熬，城市里的雾很浓，我在回旅馆房间爬楼梯的时候甚至喘不过气。我知道这次旅程会面对高海拔和稀薄的空气，所以我已经做好了会头痛的准备，但面对污浊的空气、充血的眼睛和灼烧的肺时，我却毫无防备。1992年，墨西哥城被联合国评为世界上污染最严重的大城市，而因此开展的“更好的墨西哥城”(Greater Mexico City)项目则试图努力整顿城市，清理污染。在某种程度上，这个项目取得了成效：墨西哥城建造了长长的自行车道和郁郁葱葱的公园，这都是这座城市值得自豪的地方。

然而，我们只要看到那模糊的地平线时，就会发现这些努力还远远不够。多数日子里，该地区空气中的煤烟颗粒物水平和其他污染物的浓度远超世界卫生组织设定的标准。墨西哥城中拥堵着960多万辆汽车，竖立着约5万个烟囱，这些污染源使城市里弥漫着一种有毒的气味，损害着人们的肺部和心脏。现在，许多科学家都认为这种污染也会损害大脑。

2018年的一项研究发现，一些墨西哥居民在三四十岁时，大脑中就存在阿尔茨海默病的典型病变，这比正常情况下能检测到这种病变的时间提早了几十年，而这种过早的病变与他们长期暴露在糟糕的空气中有关。主导这项研究的科学家来自墨西哥和美国的研究机构，他们在婴幼儿中也曾发现了类似的早期损伤。

除了墨西哥城，科学家在其他地区也发现了空气污染



插图：盖伦·达拉 (Galen Dara)

与阿尔茨海默病的相关性。就在几年前，哈佛大学的一个研究团队发布了一项数据，这项数据涉及的受试者人数高达 1000 万，均为 65 岁及 65 岁以上的人群，他们居住在美国东北部的 50 个不同城市。在这项研究中，科学家发现，暴露于特定的空气污染物中，与阿尔茨海默病等神经退行性疾病有很强的相关性。而其他国家，比如英国和瑞典也得到了类似的结果。

美国得克萨斯大学圣安东尼奥分校的神经生物学家乔

血脑屏障能阻止有毒物质从血液进入大脑。科学家曾认为，由于血脑屏障的保护，大脑能够免受类似的损伤。不幸的是，现在有可信的证据表明，PM 2.5 确实能通过两条途径进入大脑。

治·佩里 (George Perry) 是《阿尔茨海默病杂志》(*Journal of Alzheimer's Disease*) 的主编，他表示“空气污染与阿尔茨海默病的联系已经成为这个领域最热门的研究方向之一。”在这个领域里，科学家花了几十年的时间从基因层面寻找致病原因，很多人都认为一种叫做  $\beta$ -淀粉样蛋白在大脑中的积累是导致阿尔茨海默病的主要原因。然而，现在许多科学家开始认为，空气污染可能也是阿尔茨海默病的主要诱因。美国加利福尼亚大学欧文分校的毒理学家、环境毒素专家北泽政司 (Masashi Kitazawa) 也认同这个观点。“在阿尔茨海默病中，对基因的研究至关重要，并且多年以来大家都想弄清楚基因在阿尔茨海默病中起到了什么作用，”他说，“但在过去三四年里，将空气污染与认知能力下降联系起来的论文数量激增。”研究人员估计，与认知能力下降相关的老年疾病中，约 40% 到 65% 的风险与非遗传因素有关，比如生活方式以及暴露在有害的环境中。并且，空气污染是主要因素之一。

我们的关注点主要集中在空气中充满有毒物质的液滴或固体颗粒上，这些颗粒的直径约为人类头发直径的 1/30 (即 PM 2.5)。这些细小的颗粒物通常来自汽车和卡车的刹车、燃烧石油和天然气的发电厂，以及燃烧的煤炭或木材。这些微小的颗粒物会被人们吸入肺部深处，并迅速进入血液。科学家已经证明，当 PM 2.5 以这种方式进入人体时，可能严重破坏呼吸系统和心血管系统，导致癌症、心脏病

发作、中风和过早死亡。

血脑屏障是大脑血管中紧密排列的细胞网络，能阻止有毒物质从血液进入大脑组织。科学家曾认为，由于血脑屏障的保护，大脑能够免受类似的损伤。不幸的是，现在有可信的证据表明，PM 2.5 确实能通过两条途径进入大脑。首先，这些颗粒物可以改变血脑屏障本身，使其更容易被污染物渗透。第二，这些颗粒物可以完全绕过这个屏障，从鼻子进入嗅觉神经，然后到达大脑中被称为“嗅球”的部分。事实证明，大脑与其他任何器官一样，都无法免受空气污染的残酷攻击。

### 损伤大脑

最早发现空气污染与大脑疾病之间的关系的科学家是美国蒙大拿大学的内科医生和神经病理学家莉莉安·卡尔德龙-加西杜埃尼亚斯 (Lilian Calderón-Garcidueñas)，

而现在的很多研究都建立在莉莉安的研究基础上。莉莉安出生于墨西哥城附近的一个小镇，并在那里长大。几十年来，她一直在研究墨西哥城污浊、低质量的空气对人体健康的影响。

本世纪初，她在墨西哥城污染最严重的区域找到了 40 条流浪狗，并对它们进行了研究。结果发现，这些狗的大脑中存在阿尔茨海默病一样的病理特征，这一结果也让她决定，调查这个区域的居民是否也收到了类似的影响。而此后的研究显示，在这一区域，就连儿童和年仅 11 个月的婴儿的大脑中也出现了与阿尔茨海默病相关的蛋白质，这让她感到非常惊恐。她在 2008 年写道：“暴露于空气污染中，应该被认为是阿尔茨海默病的一个风险因素，特别是那些在遗传上本来就容易患病的人更应该注意这个风险因素。”

莉莉安的结论也得到了其他科学家的证实。美国波士顿大学公共卫生学院副教授詹妮佛·乌夫 (Jennifer Weuve) 带领一个研究团队，开展了美国历史上首批探索空气污染和脑部疾病关系的研究之一，并于 2012 年公布了结果。“关于大脑疾病和空气污染之间的关系，我们找到了两条线索。”她说。首先是空气污染会对心血管系统产生影响，例如引起心脏病发作和中风。而大脑恰好非常依赖于血液循环来维持工作，因此这自然引起了人们对大脑也会受到空气污染影响的担忧。第二条线索则比较微妙，

# WHAT IS AVAXHOME?

# AVAXHOME-

the biggest Internet portal,  
providing you various content:  
brand new books, trending movies,  
fresh magazines, hot games,  
recent software, latest music releases.

Unlimited satisfaction one low price

Cheap constant access to piping hot media

Protect your downloadings from Big brother

Safer, than torrent-trackers

18 years of seamless operation and our users' satisfaction

All languages

Brand new content

One site



**AVXLIVE** **ICU**

AvaxHome - Your End Place

We have everything for all of your needs. Just open <https://avxlive.icu>

毒理学家曾选取了一些动物，让它们暴露在含有大量悬浮颗粒物的空气中，结果发现这些颗粒物进入了动物的大脑。其中一些颗粒物含有已知的神经毒素，如锰元素，我们知道这对大脑来说是一个很严重的坏消息。

此后，空气颗粒物会影响大脑健康的流行病学证据越来越多。2018年，《英国医学杂志》(BMJ)发表了一项研究，研究对象是13.1万名伦敦居民，年龄在50岁至79岁。经过8年的观察，研究人员发现，那些接触空气污染最多的人群最有可能发生认知能力下降和记忆衰退，阿尔茨海默病和PM2.5之间的联系尤其紧密。同时，一项针对中国台湾地区近10万名居民的研究也发现了类似的结果。瑞典的研究人员也发现，空气污染甚至会增加阿尔茨海默病在没有致病基因的人群中的发病率。

加拿大多伦多大学的科学家曾开展了一项涉及加拿大安大略省660万人的研究，他们发现那些住在主干道50米以内（该区域PM2.5的水平非常高）的人群比居住在距离同一条道路200米以上的人，患阿尔茨海默病的可能性要高出12%。

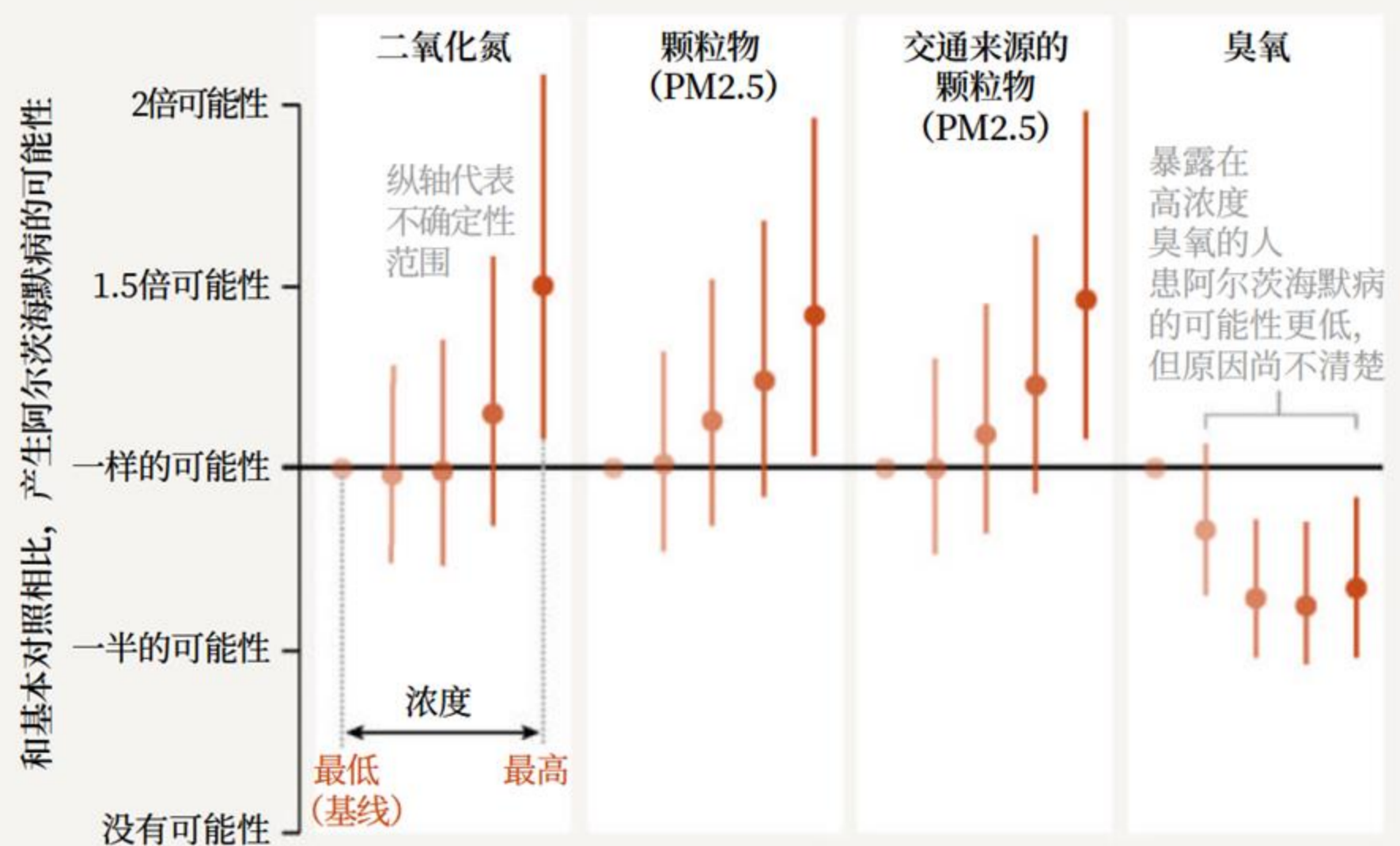
### 从空气到大脑

当然，流行病学研究有其局限性。让人类在数月或数年的时间内有意识地将自己暴露于被污染的空气中是不道德的。这种限制使对照实验难以开展，比如想要排除空气污染以外可能导致阿尔茨海默病的因素就会很难。

“在理想情况下，每个人都会戴上空气污染监测器，这样我们就可以获取他们暴露在空气中的实时数据，”乌夫说，“然而事实上这是无法做到的。所以我们和其他专家一起建立了预测模型。但是，这远远不够。就阿尔茨海默病而言，只有慢性和长期的污染暴露会产生影响，我们甚至没有全球范围内的阿尔茨海默病患者的登记资料，更

## 低质量空气损伤大脑

2005–2013年间，科学家研究了伦敦地区13.1万名居民（年龄50~79岁）的健康状况和生活状况。在研究开始前，这些居民都没有确诊阿尔茨海默病。研究根据特定的空气污染物制备了一张图表，并按照暴露水平把居民分成了5个组。与二氧化氮暴露水平最低的一组相比，暴露水平较高的两组居民患阿尔茨海默病的风险更高。此外，PM2.5暴露水平较高的三组居民，患病风险也有所升高。即使将吸烟、年龄和性别等因素考虑进来，这些风险增加的趋势仍然存在。



不用说在患者患病之前对他们进行多年跟踪了。所以，我们很难确定这两者之间的因果关系。事实上，在一些空气污染极其严重的地区，可能病人还没有出现阿尔茨海默病，就已经死于心脏病等疾病了。

为了更好地研究因果关系，科学家开始利用动物模型，在生物学机制上来寻找认知能力下降与空气污染之间可能存在的联系。美国北达科他大学医学与健康科学学院生物医学系主任、神经生物学家科林·库姆斯 (Colin Combs) 是神经退行性疾病方面的专家，在2015年的一项实验中，他把颗粒物含量不一的污浊空气输送到一些遗传背景相同的小鼠笼子里。结果显示，空气污染颗粒物含量越多，那么小鼠就更容易发生大脑损伤。他说，“我们的发现支持了这样一个理论，即长期暴露于空气颗粒物中有可能改变大脑，并且还能够诱发阿尔茨海默病的早期病变或导致病情恶化。”2018年，据美国西奈山医学院的研究人员报道，被污染的空气中的重金属不仅能在数月内进入小鼠的大脑，而且似乎还能激活某些可能引发神经退行性疾病和癌症的基因。

资料来源：“Are Noise and Air Pollution Related to the Incidence of Dementia?: A Cohort Study in London, England,” by Iain M. Carey et al., in BMJ Open, September 11, 2018



空气污染也可能直接与阿尔茨海默病相关的某些基因突变相互作用，加速高危人群的大脑和神经功能衰退。虽然不是所有晚发性阿尔茨海默病患者都携带了易感基因，但遗憾的是，大部分患者都会有这些基因突变，而遗传与环境相互作用后，会让疾病更容易发生。

美国南加利福尼亚大学的临床心理学家玛格丽特·加茨 (Margaret Gatz) 解释说，因为空气污染和其他因素对血管系统造成的损害会增加患阿尔茨海默病以及其他形式大脑疾病的风险，尤其是那些遗传上就容易患病的人风险会更高。她说：“有大量证据表明，对于携带载脂蛋白 E 基因 (ApoE) 的 ApoE4 变体的人来说，这些风险因素更危险。并且，由于各种原因，很多研究都集中探索遗传和阿尔茨海默病的关系，几乎忽略了生活方式和环境因素对疾病发展的影响。”

空气污染物中的有毒物质进入大脑，许多研究想法也认为这会和阿尔茨海默病相关的脑损伤有关。美国罗切斯

特大学医学中心的神经毒理学家德博拉·科里-斯莱奇塔 (Deborah Cory-Slechta) 说，无论是动物还是人类，这些污染物都会促使小胶质细胞释放细胞因子，而小胶质细胞是大脑的免疫哨兵，细胞因子则是调节免疫和炎症的信号分子。在正常情况下，这种反应可以保护大脑免受外来物质的入侵。但长期暴露在污染的空气中会导致这些细胞因子的过度分泌，引起神经细胞死亡和慢性炎症。“空气中的超细颗粒物似乎是影响该过程中最重要的因素。”德博拉说。

德博拉还指出，究竟是哪些的颗粒物起到了负面作用还很难确定：“首先，我们几乎没有关于这些颗粒物的历史数据，所以很难判断它们这些年来在环境中的相对水平。另一方面，颗粒物其实是由许多不同物质组成的，但我们却常常把它们看作一个整体，这让我们很难明确是颗粒物中的哪种或哪些物质造成了负面影响。”

化石燃料和其他来源的颗粒污染物中含有数百种物

质，从一些有毒气体分子，如二氧化硫和二氧化氮，到汽车刹车、轮胎和离合器排放的一些灰尘，都存在于空气中。德博拉表示，这些污染物往往会在大脑中积累很多年，这可能就是阿尔茨海默病是一种典型的老年疾病的原因。她补充说道，但我们仍然不知道到底是什么物质从空气中进入了大脑。目前，科学家还不清楚空气污染物中的所有物质是否都会进入大脑，以及这些物质在什么时候引起病变。我们所知道的是，铁、锌、铜和其他金属是大脑所需要的，但需求量是一定的。当大脑中的金属含量超过正常限度时会发生什么？我们知道，过多的铁会导致氧化应激和神经退化。而一些污染物，比如铝，在大脑中不会发挥关键作用，但会聚集在某处并引发炎症反应。德博拉认为应该更仔细地研究这个问题。不仅仅是金属，有机污染物也可能与神经退行性疾病有关。

有机污染物中有一类是脂多糖，这是一种大分子物质，在废物处理工厂的细菌会释放许多脂多糖。科学家发现，这些分子可以附着在微粒上，人体吸入后会引起肺部的炎症反应。在动物研究中，脂多糖和其他有机物也被证明会引起炎症和大脑认知功能退化。

### 污染与记忆衰退

陈久全（音译，JIU-CHIUAN CHEN）是美国南加利福尼亚大学的内科医生和流行病学家，专门研究大脑和空气污染物。他说，尽管目前还不明确到底是哪些空气污染物对大脑健康产生了影响，但科学界一致认同的是，空气污染物的混合物显然会造成脑损伤和认知衰退问题。

陈久全和合作者去年在《大脑》(Brain) 杂志上发表了一项研究成果，他们发现，污染中的细颗粒物、大脑结构的变化和老年女性的健忘症之间存在明显相关性。他们使用神经成像技术和认知测试来检测受试者大脑产生的改变与记忆能力，并构建了一个包含两种来源的环境空气质量数据的数学模型。

陈久全说：“我们发现，接触污染物最多的女性，她们的情景记忆能力会更早出现下降。”情景记忆是长期记忆的一种，包括对以前的经历、事件发生的时间和地点以及相关情绪的记忆。陈久全在这些女性身上发现的记忆能力衰退是发生在她们确诊阿尔茨海默病之前，并且与受试者的心血管状况无关。阿尔茨海默病的其他研究已经证实，情景记忆能力衰退的人在以后的生活中患上阿尔茨海默病的风险非常高。

现在，已经有超过 10 项研究表明，老年人暴露于空

气污染中与阿尔茨海默病的发生存在相关性，并且证据相当令人信服。但年轻时暴露于空气污染是否也是导致阿尔茨海默病的因素之一，科学家仍然不确定。一些毒理学家开展的研究，让年幼的实验动物暴露于空气污染中，并观察它们的病理变化，结果发现微小颗粒物可能可以加速  $\beta$ -淀粉样蛋白的沉积过程。不过，科学家目前还不确定这是否会发生在人类身上。这一过程可能与遗传因素有关，也就是说，有些人可能比其他人更容易受到空气污染的影响。有些人可能特别易感，并可能面临更大的风险。在我们的研究中，还没有足够的力量来解决这个问题，但我相信我们未来可以获得解决问题的答案。

### 如何降低风险？

目前，全球仍有数百万人要面对这种令人恐怖的疾病，但这些针对空气污染开展的研究也带来了鼓舞人心的好消息。数名科学家都表示，人们可以采取实际行动来减少患阿尔茨海默病的风险。到现在为止，大多数药物都无法真正治疗阿尔茨海默病。美国乔治·华盛顿大学的流行病学家梅琳达·鲍尔 (Melinda Power) 说，她的研究重点是找到那些会导致认知能力下降，但可修正的风险因素。她说：“减少环境和生活方式的一些风险因素，预防阿尔茨海默病的发生可能是我们最好的选择。”空气污染或许就是非常关键的一种因素。

为什么我们需要更严格地控制空气质量？来自这些研究的发现就是最好的证据。美国密歇根大学的流行病学家凯莉·巴库斯基 (Kelly Bakulski) 说。“这是一个充满希望的领域。与我们身体内部的基因不同，我们能够控制外界的环境因素。因此，清除空气中的这些污染物不仅能带走疾病，还可以带来很多积极的影响。”

而且，简单改变我们的生活方式就能够获得好处。“研究证明，适当的运动就可以降低患阿尔茨海默病的风险。”巴库斯基说，这是因为运动增加了流向大脑的血流量，而且还能增加脑源性神经营养因子的水平，这些因子能维持脑细胞功能，促进脑细胞生长。

阿尔茨海默病的发生会带来的灾难性后果，所以，是时候采取严格的措施，来预防这种可怕的疾病了。“我们有办法做到这一点，”巴库斯基说，“考虑到不这样做的风险和后果，我们必须这样做。”

本文译者 陈宾凡是中国科学院上海药物研究所的博士研究生，研究方向为纳米制剂的肿瘤免疫治疗应用。



## THE FUTURE OF MEDICINE A NEW ERA FOR ALZHEIMER'S

肯尼思·S·科希克是临床医学科学家，曾领导了早发性阿尔茨海默病的重大研究项目。他的研究团队协助发现，大脑中的 tau 蛋白缠结是阿尔茨海默病形成的重要标志。他是加利福尼亚大学圣塔芭芭拉分校的神经学教授、神经科学研究所的联合主任。



# 下一代研究：5 个新方向

至今，我们还未能找到能够有效治疗阿尔茨海默病的方法。因此，是时候再次审视这种疾病背后的生物学原理了。在 5 个基础领域的新进展，或将为治疗阿尔茨海默病带来新的希望。

撰文 肯尼思·S·科希克 (Kenneth S. Kosik) 翻译 张维阳

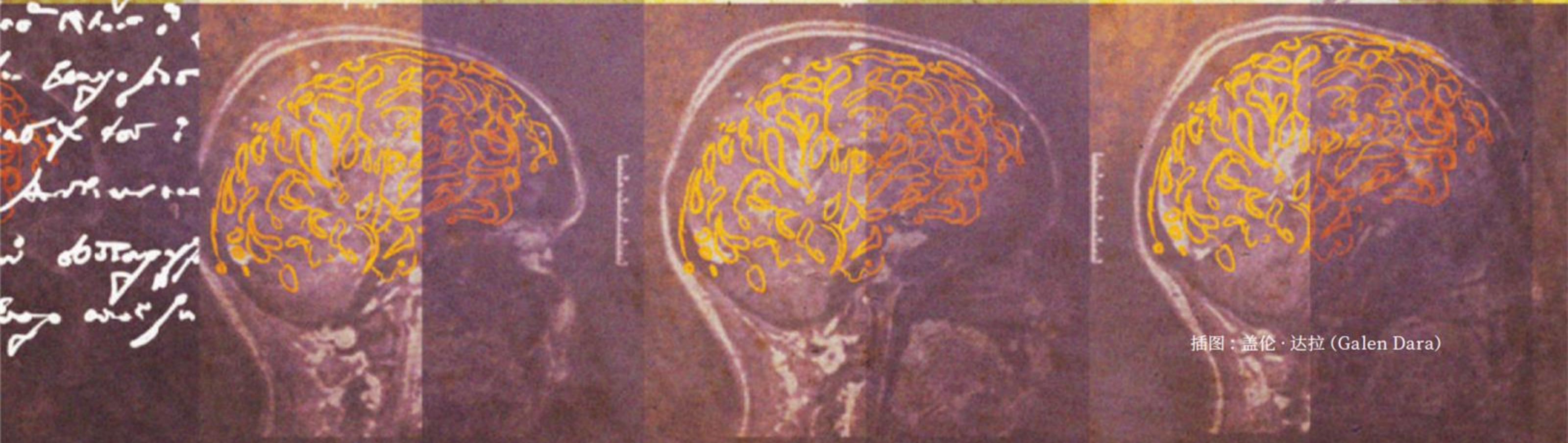
**寻** 找阿尔茨海默病有效疗法的道路虽然曲折艰辛，但障碍并不是根本性的。有关人性的诸多问题——如暴力、贪婪和偏狭——产生的原因复杂、令人费解，还充满了不确定性。但是，阿尔茨海默病在本质上只是一个细胞生物学问题，应该在我们能解决的范围内。因此，科学界可能已经有了一种还未经确认的治疗方法，只是它还在实验室的冰箱里，和无数化合物试管堆放在一起，等待进一步发掘；而治疗这一疾病的关键理论依据，或许就藏在大型数据库、临床记录、神经心理侧写、大脑影像研究、血液或脑脊液中的生物标志物、基因组、蛋白分析、神经元记录，或者动物和细胞培养模型中。

但是，我们一直在错过这些线索。在数十年的时间内，我们取得了不少发现，却很少深入思考这一疾病背后的生物学原理。而我们的研究工作只能在大量假设的基础上推进。其中，一种被称为  $\beta$ -淀粉样蛋白的蛋白片段发挥着决定性作用。大量研究数据认为  $\beta$ -淀粉样蛋白在阿尔茨海默病中具有重要作用，我们也已经开发了一些药物来降低患者大脑中这种蛋白碎片的浓度。然而总体来看，这些药物都无法遏制患者认知能力的丧失。

消除或抑制  $\beta$ -淀粉样蛋白，就能治愈阿尔茨海默病

吗？现在看来，这一结论似乎有点草率，尤其在对疾病的发生和发展缺少足够深入和全面认识的情况下。虽然我们的研究并没有完全走错方向，但之前的热情让我们忽略了其他的研究方向，甚至忽略了这种特殊疾病的根源。

现在，我们该回归基础性研究了。作为一名科学家，我从事阿尔茨海默病研究已经 30 年了，参与了一些大型研究项目，例如调查阿尔茨海默病高风险的家族、研究疾病的预防策略以及患者脑细胞的生理损伤。通过融合多个学科的研究，我和同事认为应当重新审视阿尔茨海默病的



插图：盖伦·达拉 (Galen Dara)

基础生理学和生物学机制，重新评估各大数据库的信息，以及重新整理我们忽视的实验室冰箱里的线索。通过这些手段，我们将建立疾病发展过程的理论和模型，并基于这些观点提出对抗这种疾病的全新策略。

目前，至少有 5 个有潜力产生重大成果的新兴研究方向。这些领域基于近几年的重大发现，将能拓展我们的知识范围。同时，我认为这些领域很有可能为发现有效的治疗方法，提供关键的理论依据。这些领域涉及的范围从脑细胞清除有害蛋白功能障碍，到炎症导致的大脑损伤和神经细胞间的电信号传递异常。这些致病因素在大脑中叠加，共同引发脑部疾病。无论是单独还是联合作用，它们可能都是由阿尔茨海默病造成严重大脑损伤的基础。

### 清除有害蛋白

在 20 世纪初期，包括阿洛伊斯·阿尔茨海默（Alois Alzheimer，阿尔茨海默病正是以他的名字命名）在内的数位神经病理学家描述了在因不同类型的痴呆症死亡的病人脑中，观察到的微观病变。现在我们已经知道，它们是由畸形蛋白聚集成的斑块。在阿尔茨海默病中，这些斑块由  $\beta$ -淀粉样蛋白碎片组成，它们存在于神经元之间。另外一些存在于神经元内部、由 tau 蛋白组成的斑块，被称为“神经原纤维缠结”。

然而，经过了一个多世纪，我们仍不知道为什么细胞无法清除这些异常斑块。在最初的生命出现时，细胞清除受损蛋白质的机制就已经存在了。那么在阿尔茨海默病中，哪里出错了？类似于癌症发展的核心问题是细胞增殖失控，上述问题也是阿尔茨海默病的核心问题。华盛顿大学和其他机构的研究人员在最近的研究中提出，异常的蛋白质可能会找到一些途径离开细胞，它们或许避开了细胞监测有害分子的系统。我们并不知道这是如何完成的，但弄清这一过程或将有助于理解阿尔茨海默病是如何形成、发展的。

细胞主要有两种清除异常蛋白的系统：泛素-蛋白酶体系统 (ubiquitin-proteasome system, UPS) 和自噬系统。在前一种系统中，蛋白质会插入管状的蛋白酶体结构中，被分解为可重新利用的组件；而在后者中，细胞会包裹异常的蛋白并将它们完全破坏。在神经元中，两种系统协作控制细胞信号传导结构，该结构由轴突、树突及突触等组成。在学习过程中，这些结构会增强或弱化。有时，神经元会将受损的蛋白质排出胞外，并由大脑中的一种免疫细胞——小胶质细胞消灭。

根据分子大小，异常蛋白会分别通过泛素化途径或自噬分解。蛋白酶体两端的开口呈窄小孔状，只能接受细小、长条状的蛋白链。蛋白酶体内部的酶可以将蛋白质降解为氨基酸，用于合成新的蛋白质。更大的蛋白分子比如蛋白斑块、衰老和错误折叠的蛋白，由于无法进入蛋白酶体，会被运送到自噬系统，由更强力的破坏性细胞器——溶酶体处理。

当阿尔茨海默病发生时，这些机制出现了故障，而 tau 蛋白斑块和淀粉样斑块留在脑细胞中，造成细胞损伤直至杀死细胞。所以，如果我们理解了这些系统的详细功能，就将掌握大量关于阿尔茨海默病理学信息。我们要详细研究在不同类型的神经元中，这些降解途径的具体差别，以及这些降解系统如何识别正常蛋白。蛋白质结构变形(如 tau 蛋白)并不是一步到位的。随着蛋白质保留突变、积累结构变形，它们会更易发生错误折叠，并通过一个多级过程逐步聚集成更复杂的结构。当蛋白质沿着这一路径出现错误时，细胞的监控系统会在什么时间点介入，并将它们识别为异常分子呢？深入了解这些过程，将使我们发现更具策略性的治疗和用药措施。

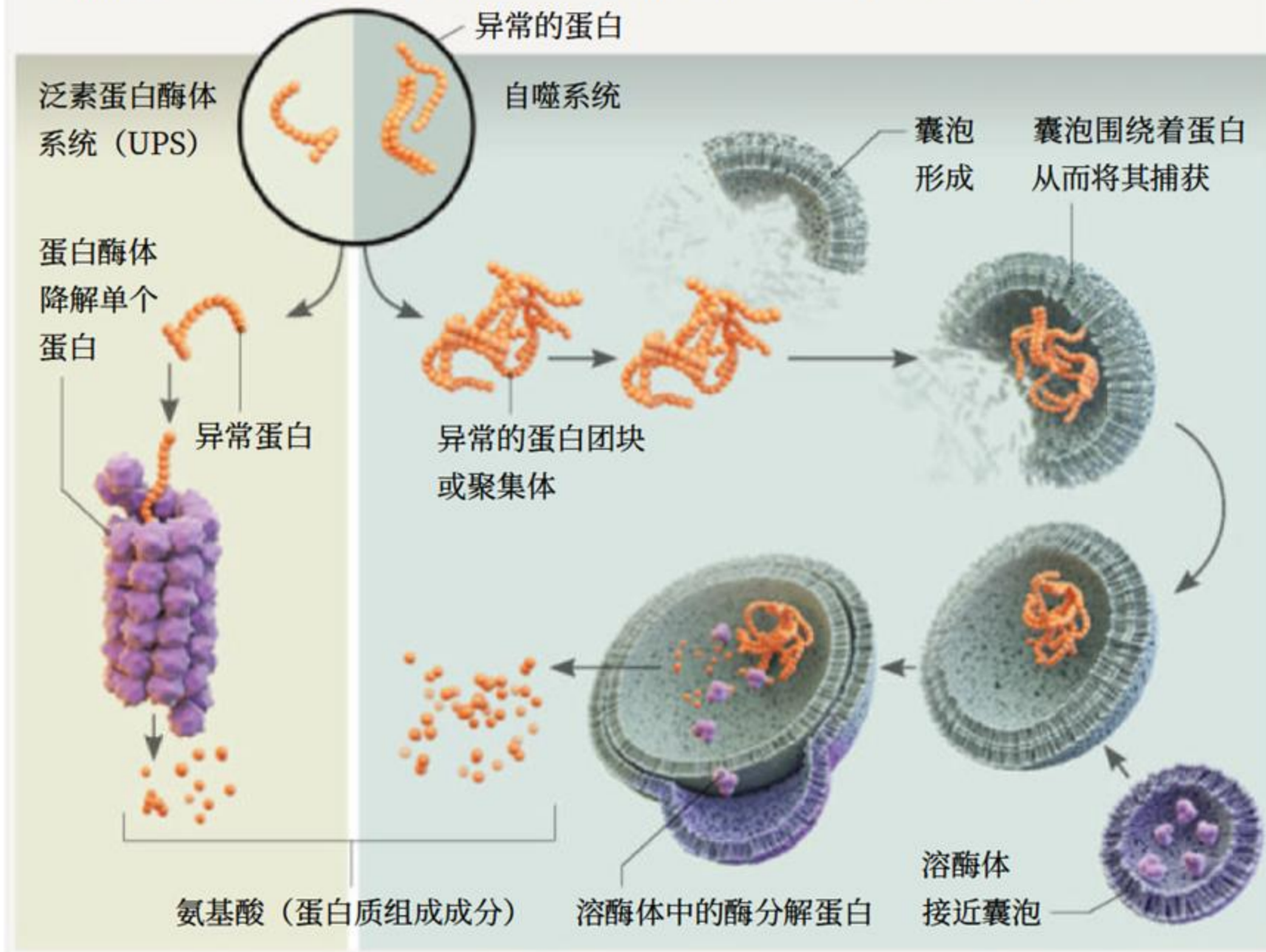
一项有趣的发现有助于理解 tau 蛋白是如何躲避清除系统的：它们能够通过一种转运系统转移到细胞间的空隙中，并被邻近的细胞吸收。但科学家还不清楚这种转运系统的运作目的。这是细胞之间正常的蛋白交换过程，还是细胞为摆脱毒性物质而吐出异常的 tau 蛋白？我们认为，在阿尔茨海默病发生时，细胞外至少有一些 tau 蛋白已经发生了错误折叠。原因在于，当这种 tau 蛋白进入相邻的细胞时，会形成一种异常的模式，细胞中的其他 tau 蛋白会根据这一模式转变为同样的异常形态。随着 tau 蛋白的进一步扩散，其他邻近细胞中的 tau 蛋白也会复制这种特殊形态。

基于这些观察，一些研究者猜测可以在这个时间点上，通过给予患者抗体来拦截、清除这些异常蛋白。但是，除非我们知道 tau 蛋白受损时精确的变形结构，否则这一方法将无法发挥作用，因为精确的蛋白质结构是设计高度特异性抗体的必要条件。

另一个有待解决的问题是，明确 tau 蛋白在复杂的细胞空隙的具体位置。更确切地说，tau 蛋白是否能穿过神经元的突触？突触间的缝隙很狭窄，抗体不易进入。或许更可行的策略是，了解 tau 蛋白如何排出细胞，以及明确邻近细胞表面的 tau 蛋白受体。我的研究团队最近的一些实验或能鉴别出一种这样的受体。

## 清除有害的蛋白

阿尔茨海默病的两种典型标志物是聚集性的 $\beta$ -淀粉样蛋白斑块和 tau 蛋白质缠结斑块。在这种疾病中，脑细胞中的清除系统常常无法清除这些异常的蛋白，科学家想要了解出现了哪些问题。细胞中通常含有两种蛋白清除系统：较小的蛋白能进入泛素-蛋白酶体系统，这一系统含有一个管状的细胞器（蛋白酶体），能将蛋白质切割成氨基酸。较大的蛋白团块或聚集体将通过自噬系统清除，在被囊泡包裹后，能被另一种细胞器（溶酶体）中的酶分解。



### 发现变形的蛋白质

最近阿尔茨海默病研究领域的一项重大进展是，细胞内异常 tau 蛋白形成神经原纤维缠结的原位成像，展现出了前所未有的结构细节。这张标志性的图像在 2017 年发表于《自然》杂志，展示了数千个 tau 蛋白分子紧密排列成“C”字构型。这个立体结构显现出的一些特征或许可以为设计一些小分子药物提供必要的信息。这些药物能嵌入异常蛋白的缝隙并将它们扯碎，阻断疾病发展。

然而，由于整个蛋白缠结的强度和其他多种原因，扯碎这些结构将是一个艰难的目标。一个更具希望的方向或许是，确定 tau 蛋白从常规的液态变成坚硬固态过程中的一系列微观事件。

物质从液态变成固态的过程属于相变。由于相变在疾病中可能发挥一定的作用，生物学家对活细胞中该过程的兴趣激增。物理化学家已经对油滴在水中凝结等相分离现象持续研究了多年。油和水都是液体，但它们仍能通过引力和斥力的平衡保持分离状态。相分离对活细胞是有利的，

它能够使同一类分子聚集在一起，有利于特定的细胞活动。例如，2018 年《科学》杂志的一篇文章表明，多种蛋白可以通过在基因附近聚集，调控基因的表达。像这样压缩结构的蛋白质虽然仍是以液态存在，但不会分散，而是通过弱物理作用力凝聚成液滴。这一构造使多种蛋白能够一同移动、行使生物功能，无需依赖消耗大量资源的生物膜。

一些蛋白（如 tau 蛋白）在液滴中会被紧密地包裹。在高浓度下，它们更容易聚集成缠结结构。以这种方式形成的蛋白液滴具有相同的性质，即内在无序性。不同于那些被限制在特定结构内的有序蛋白分子，它们呈现出丰富的形态差异。维持不同结构需要的能量并不相同。在一些情况下，一些内在无序蛋白以一种低能的状态折叠后，将无法再转变为其他结构，这会在根本上增加它们的结构强度，让它们更容易缠结在一起。

细胞也会将容易发生相变的分子包裹在应激颗粒、RNA 颗粒等非膜质细胞器中。当特定的蛋白和 RNA 被裹入这类细胞器时，它们会紧密地包裹在一起，但通常都会维持液态。然而，达到一定的密度时，它们就会倾向于结块，并发生相变成为固体。这样的转变使它们对大脑的伤害大大增加，且更难被细胞的清理系统清除。这就是我们为何需要更深入地理解触发这一过程的条件。

### 基因对疾病的影响

在患病人群中，3 个基因突变（APP、PSEN1 和 PSEN2）会导致一种罕见的家族性阿尔茨海默病，这种可怕的疾病在这样的家族中世代相传。但在大多数情况下，65 岁以上的阿尔茨海默患者体内并不存在这些基因突变。通过梳理数以万计的基因组数据，遗传学家发现了其他的 DNA 变化：超过 20 个基因变体会少量增加阿尔茨海默病的患病风险。其中影响最大的是 APOE 基因的一种变体，即 APOE4 变体。多个基因变体的叠加会使个人患病的可能性也随之增加。（由于一些基因变体与种族有关，因此

我们需要覆盖更多人种的数据，才能可靠地评估所有人种的基因风险。)

通过这些基因变体，我们可以探索基因组的一个微小变化如何增加阿尔茨海默病的患病风险。其中，更加常见且最令科学家感兴趣的是，小胶质细胞中的一些基因变体或其他突变的 DNA 片段。在 2019 年发表于《科学》的一项研究中，科学家仔细研究了小胶质细胞，在这些免疫细胞中找到了一个与阿尔茨海默病风险相关的 BIN1 基因的变体。正常情况下，该基因会参与这一过程，即小胶质细胞吞噬细胞外的潜在有害物质，并将它们转移到细胞内，从而保护周围的神经元。而这一基因的变体能影响小胶质细胞清除游离蛋白的效率。

无论是在小胶质细胞还是其他细胞中，一些基因变体也与年龄和性别有关。男性和女性会存在差异，例如，22 对常染色体和 X/Y 性染色体上的基因会出现不同的表达。这些基因变体可能与女性较高的阿尔茨海默病患病率有关。总体上，任何和阿尔茨海默病相关的基因变体，都可能分别以各自有限的方式，影响了个体处理  $\beta$ -淀粉样蛋白和 tau 蛋白累积的方式。我们需要明确这些影响产生的原因和机制。

### 减轻炎症反应

当大脑发现损伤来源，如  $\beta$ -淀粉样蛋白斑块或 tau 蛋白神经原纤维缠结时，会拉响警报并释放大量免疫性细胞因子和多种攻击性免疫细胞。这一免疫反应主要来源于小胶质细胞，在很大程度上，它会引发炎症反应，进而摧毁任何含有问题蛋白的细胞组织。这套固有的免疫系统与更精细的适应性免疫系统的运作机制并不相同。后者通过产生免疫细胞和抗体发挥作用，只对特定的入侵者，如细菌或病毒，发动小范围的精准攻击。

阿尔茨海默病的免疫反应由更广泛的天然免疫系统主导。当病灶的发展超过细胞自身处理这些碎片蛋白的能力时，更广泛的炎症反应就会介入其中。但不幸的是，这类炎症反应经常会攻击尚处健康状态的神经细胞。最近，加利福尼亚大学欧文分校的科学家发现，消除老年小鼠大脑内衰老的小胶质细胞，可促使大量全新的小胶质细胞重新产生，从而改善动物的空间记忆能力、逆转和年龄增长相关的神经元基因表达改变，促进新的神经元产生以及树突密度的增加。

或许随着大脑的自然衰老， $\beta$ -淀粉样蛋白和 tau 蛋白在这些低水平炎症的基础上，造成了大脑损伤。很多老年

人的炎症细胞因子（例如肿瘤坏死因子 TNF）水平均会升高，表明在生命的这个阶段，机体会一直处在一种轻微的炎症状态。个体间的衰老过程差异极大，这意味着不同个体的阿尔茨海默病形成过程以及造成的影响，也会存在一些差异。这种差异有时是由个体在免疫系统上的差异引起的。不同的人遗传获得的免疫系统相关基因可能截然不同。另外，在生命过程中，人类的免疫系统还会受到非遗传因素的影响。我们会暴露在不同的共生微生物中，如肠道菌群和在环境中接触到的病原微生物。综合这些因素，环境中的多种病原体以及基因差异，都会影响阿尔茨海默病的发展。

而研究者面临的挑战是，想要阻止炎症引起的脑损伤，就需要区分两种不同的免疫反应：一种被大脑用来对抗发育障碍和常规的衰老引发的退化，另一种则会加重阿尔茨海默病的病情。学界希望能够选择性地抑制由疾病导致的炎症，但直到现在，还没有发现精准的治疗方法。

### 干扰大脑中的电信号

大脑的本质是一个电学器官：它最明显的特征是能够以电信号的形式编码信息，并一般通过被称作神经递质的化学物质在神经元之间传递信息。科学家还没有充分研究阿尔茨海默病如何损坏脑细胞的信号传导通路，以及扰乱功能性记忆回路的形成。但随着检测大脑中结构性和功能性连接的技术迅速发展，我们能利用这些技术看到神经连接的精细细节。

其中一些研究进展利用了光遗传学，这一技术让科学家利用光激活动物大脑中特定的神经元。研究者能给予动物奖励性或恐吓性刺激，并检测哪些基因变得更活跃。这一技术已经取得了重大的研究成果，2020 年一篇发表在《科学》上的论文称，这种方法将使研究者能够观察并操控编码特定记忆信息（记忆印迹）的神经元。在最初的经历之后，仅仅通过光刺激特定的细胞，就能唤醒有关这一经历的记忆。如果我们能够找到驱动这些记忆连接形成的生物学基础，这将帮助我们理解阿尔茨海默病是如何破坏神经回路的。

今年，神经科学家取得了另一项新进展：他们发现小胶质细胞似乎可以通过清除正常连接的神经元，参与大脑消除记忆印记的过程。

我们还知道，参与阿尔茨海默病病理过程的一些蛋白会通过不同方式影响神经递质。例如，tau 蛋白会在产生兴奋性神经信号（释放谷氨酸神经递质）的神经元中积聚。

然而，另一些产生抑制性信号的神经元，使用  $\gamma$ -氨基丁酸 (GABA) 作为神经递质，它们受 tau 蛋白聚集的影响较小。但科学家还并不清楚这种细胞选择性的基础以及会导致的结果，因此仍需更深入的了解。科学家同样发现，活跃的神经元会增强 tau 蛋白的扩散，这可能是阿尔茨海默病谜团中另一个重要疑问。

阿尔茨海默病的发展进程不仅对不同类型的神经细胞影响不同，对于各个脑区的影响也不尽相同。例如，与记忆、情绪和睡眠相关的脑区受损严重，而与运动和感官相关的脑区受到的影响较轻。一项研究发现，我们走神时（即“默认状态”或“静息状态”）激活的脑区与  $\beta$ -淀粉样蛋白斑块最初开始沉积的位置相同。但是，我们下结论时必须保持谨慎，因为走神并不一定会引起  $\beta$ -淀粉样蛋白沉积。

此外，睡眠作为大脑的另一种电生理状态，逐渐被认为是阿尔茨海默病发展进程中的影响因素之一。在正常睡眠-清醒循环中， $\beta$ -淀粉样蛋白和 tau 蛋白的水平会发生波动，睡眠剥夺会显著增加  $\beta$ -淀粉样蛋白的产量，并降低对它们的清除速度。深度睡眠会唤醒脑脊液的节律性循

环，有助于从大脑中清除包括  $\beta$ -淀粉样蛋白在内的毒素。然而不幸的是，这种睡眠形式会随着衰老而减少。这些观察结果或将启发针对恢复深度睡眠的药理学研究。

## 新的研究思路

这些研究领域并未包含所有能彻底革新阿尔茨海默病研究的科学议题，一定还有更多相关的研究领域。但就像生物学自身一样，这 5 个研究领域相互交织，可以通过许多交融互通的方法进行研究。我希望，随着基础研究填补缺失的信息，尤其是可量化的信息，计算机建模研究者和理论学家将进入这一领域，帮助我们预测阿尔茨海默病的病理过程对脑神经回路和细胞通路的影响。同时，我也希望看到这样的预测促使研究者更加全面、系统地思考，并分享他们的建设性想法。这样我们才能联手消除对这种可怕疾病的知识盲区。

本文译者 张维阳是中国科学院深圳先进技术研究院的博士后，研究方向是天然药物的发现与生物合成。

## 更多有关阿尔茨海默病的文献及报道

这期特别报道中出现的研究文献和历史文章。

### 下一代研究：5个新方向

**Proinflammatory Cytokines, Aging, and Age-Related Diseases.** M. Michaud et al. in *Journal of the American Medical Directors Association*, Vol. 14, No. 12, pages 877–882; December 2013.

**Cryo-EM Structures of Tau Filaments from Alzheimer's Disease.** A.W.P. Fitzpatrick et al. in *Nature*, Vol. 547, pages 185–190; July 17, 2017.

**Memory Engrams: Recalling the Past and Imagining the Future.** Sheena A. Josselyn and Susumu Tonegawa in *Science*, Vol. 367, Article No. eaaw4325; January 3, 2020.

### From Our Archives

**New Strategy for Alzheimer's.** Howard M. Fillit; February 2019.

### 为何女性风险更高

**How Would We Combat Menopause as an Alzheimer's Risk Factor?** Lisa Mosconi and Roberta Diaz Brinton in *Expert Review of Neurotherapeutics*, Vol. 18, No. 9, pages 689–691; 2018.

**Understanding the Impact of Sex and Gender in Alzheimer's Disease: A Call to Action.** Rebecca A. Nebel et al. in *Alzheimer's & Dementia: The Journal of the Alzheimer's Association*, Vol. 14, No. 9, pages 1171–1183; September 2018.

**Estrogens and Memory: Basic Research and Clinical Implications.** Edited by Karyn Frick. Oxford University Press, 2020.

**The XX Brain: The Groundbreaking Science Empowering Women to Maximize Cognitive Health and Prevent Alzheimer's Disease.** Lisa Mosconi. Penguin Random House, 2020.

### From Our Archives

**Preventing Prions.** By Sonia Minikel Vallabh and Eric Vallabh Minikel; March 2020.

### 空气污染：阿尔茨海默病诱因？

**Alzheimer's Disease and Alpha-Synuclein Pathology in the Olfactory Bulbs of Infants, Children, Teens and Adults  $\leq$  40 Years in Metropolitan Mexico City: APOE4 Carriers at Higher Risk of Suicide Accelerate Their Olfactory Bulb Pathology.** L. Calderón-Garcidueñas et al. in *Environmental Research*, Vol. 166, pages 348–362; October 2018.

**Particulate Matter Air Pollution, Physical Activity and Systemic Inflammation in Taiwanese Adults.** Z. Zhang et al. in *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 221, No. 1, pages 41–47; January 2018.

**Particulate Matter and Episodic Memory Decline Mediated by Early Neuroanatomic Biomarkers of Alzheimer's Disease.** D. Younan et al. in *Brain*, Vol. 143, No. 1, pages 289–302; January 2020.

### FROM OUR ARCHIVES

**The Metabolism of Cities.** Abel Wolman; September 1965.

# CHASING THE GRAND UNIFIED THEORY

## 玻姆力学将是终极理论？

诞生于几十年前的德布罗意 - 玻姆理论悄然复苏，  
研究者正试图让它与广义相对论和量子场论相统一。

撰文 沃德·斯特鲁伊 (Ward Struyve) 翻译 戚译引

已经有实验证明，当液体表面有波扩散时，在液体表面弹跳的液滴与德布罗意 - 玻姆理论中粒子的行为非常相似。波会引导液滴的运动，使其表现出与量子力学中的粒子相似的行为。这一实验在经典体系中展示了量子体系的行为。





沃德·斯特鲁伊是比利时鲁汶大学逻辑与科学哲学中心和理论物理研究所的博士后研究员。



**量**子力学是现代物理学最大的成就之一，它能够解释和精确预测多种现象。但是，量子力学的诠释始终充满争议：目前仍不明确的是，量子理论如何解释物理世界的本质？有人可能会认为这不是理论需要解答的问题——理论只是用来解释实验结果的，而期待它揭露世界本质的尝试毫无意义。但这是一种目光极其短浅的看法，科学家真正追寻的是宇宙运行的方式，因此实验应当被视为理论发展的向导和对理论的检验，而不是理论的唯一目的。

然而，在试图理解用量子力学描述的世界时，我们遇到了巨大的困难。科学家为了克服这些困难做出了种种尝试，其中最有希望、可能也最简单的一种就是德布罗意-玻姆理论 (de Broglie-Bohm theory, 简称 dBB)，也被称为玻姆力学。该理论得名于法国物理学家路易·德布罗意 (Louis de Broglie) 和美国物理学家戴维·玻姆 (David Bohm)。德布罗意在 1924-1927 年间进行了这方面的开创性工作，随后，在 20 世纪 50 年代，玻姆进一步发展了这一理论。近年来，得益于对量子力学诠释的新的思考，它重新得到了重视和深入研究。

### 量子力学的困境

在探讨德布罗意-玻姆理论前，我们先来看看量子力学遇到了哪些问题。我们从一个简单而具有代表性的实验开始——杨氏双缝干涉实验。这个实验将电子束等粒子束投向一块不透明的屏幕，屏幕上两道相距很近的平行狭缝。粒子束穿过狭缝，并投射到第二块屏幕上，就会被探测到。我们可以逐个发射粒子，依次进行探测，那么随着实验次数的积累，就能观察到屏幕上粒子撞击点的分布。

如果我们在双缝实验中使用比电子更大的粒子，比如小弹珠，那么这些物体将以接近直线的轨迹前进，它们在

屏幕上的分布结果会呈现为两个点。然而，用电子等微观粒子进行的实验会呈现出截然不同的结果：屏幕上会出现条纹状的图案，粒子分布密集的区域（亮条纹）与分布稀疏的区域（暗条纹）间隔排列。

这就是干涉条纹，是波特有的现象。例如，如果水面上放置了一个障碍物，障碍物上有两个距离很近的开口，当水面泛起的涟漪穿过这两个开口时，也会出现相似的干涉条纹，具体表现为波浪振幅高的区域和振幅低的区域间隔排列。

量子力学是如何解释双缝干涉实验的？它将电子描述为一种波，在数学上用波函数表达。就像经典物理学中的波一样，电子波到达狭缝时，每个狭缝就成了一个产生次级波的源。这时，两道次级波相互干涉，就形成了干涉条纹。

但是，电子波与机械波的类比到此为止。尽管电子波像涟漪一样，到达屏幕时会扩散到一片较为广阔的区域，但电子仍然只会在屏幕上留下一个点，此时电子本身并不会扩散。为了解释探测结果为何会局限于一个点，量子力学假设波函数发生了瞬间坍缩。也就是说，当电子波到达探测屏的时候，它瞬间坍缩成了某种位置高度确定的东西。量子力学认为，这种坍缩是在测量时发生的，并且我们观察到的屏幕上落点的概率分布是确定的——由波在这个点

#### 精彩速览

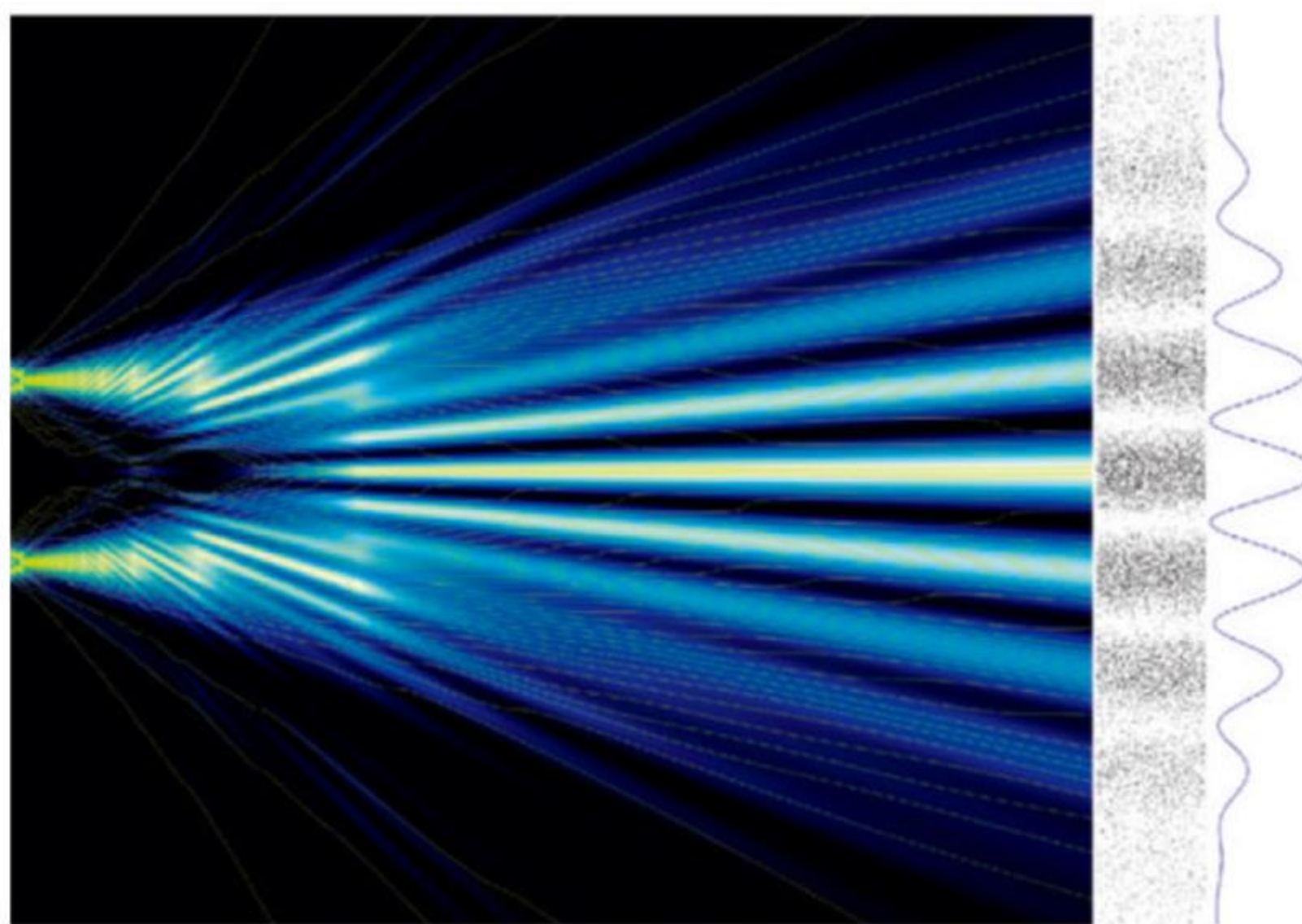
量子力学是现代物理学最伟大的成就之一，但目前仍不明确量子力学如何解释物理世界的本质。

在诸多量子力学的诠释中，德布罗意-玻姆理论具有很大的潜力。

近年来，这一理论重新得到了学界的重视，研究者试图将其与相对论和量子理论相统一。

## 电子的 杨氏双缝干涉实验

图中展示了不同位置上电子的概率分布（电子密集的地方为亮色，稀疏的地方为暗色），这些电子从左侧向右发射，穿过一块有两道相邻狭缝的屏幕（图像最左侧所示）。其中利用玻姆力学计算出的电子轨迹用黄色标注。在图像右侧，每个点对应一个电子撞击到探测屏的位置，曲线表示电子的密度。玻姆力学得出的概率分布预测结果和量子力学正统诠释完全相同，并且在观测实验中得到了很好的验证。



的振幅决定。对于屏幕上某个点来说，波在该点的振幅越大，波坍缩到这一点的概率也就越大。

因此，量子力学认为干涉图样的形成是一个时间过程，是随着电子落点的累积产生的。但这个解释存在一个问题：我们在上文中假设，坍缩是在电子抵达探测屏的瞬间发生的，但真的是这样吗？坍缩也可能发生在电子抵达探测屏之后，某个外部事件发生的时刻，例如当有人观察屏幕的时候。量子力学的正统诠释认为，坍缩是在测量时发生的。但是，究竟哪一个物理过程可以被称为“测量”？需要使用特定的测量仪器吗？人类观察者的存在是必要的吗？这个观察者是否需要具备足够的资历，例如拥有物理学博士学位？既然我们无法准确定义什么是测量，那么我们就无法得知坍缩具体发生在何时，对坍缩结果的预测也就变得模糊起来。

### 测量，一个棘手的问题

为了强调“测量”这个概念所带来的问题有多严重，1935年，奥地利物理学家埃尔温·薛定谔（Erwin Schrödinger）提出了著名的思想实验——“薛定谔的猫”。在这个实验中，一只猫被放进了箱子里，身边有一个放射性原子和一台装置。如果原子衰变，装置就会启动，释放一瓶致命的毒药。按照量子力学的正统诠释，此时在箱子中，猫的状态与原子的状态发生了耦合，猫-原子这个系统的波函数并不对应猫生或是死的某个确定状态，而是对应“活猫”与“死猫”的组合状态（即叠加态）。但是，

在波函数坍缩到生或死的确定状态之前，这只猫会感知到什么？坍缩是什么时候发生的？是在人类观察者打开箱子往里看的时候，系统才发生坍缩吗？

测量的定义并非是我们理解量子世界性质的过程中遇到的唯一障碍。另一个问题就是，量子力学中的波和物理学中其他的波（如电磁波）截然不同。这也是量子力学的一个奇异之处，物理学家也未必能意识到这点。经典体系的波在物理空间中传播，这是一个三维空间，其中会发生各种物理现象。但是，我们无法将量子力学中的波函数视为某个发生在三维物理空间中的波，尽管双缝实验可能会让人产生这样的错觉。

事实上，两个粒子并不能被视为在三维空间中分别传播的两道波，它们其实是六维（ $3 \times 2 = 6$ ）空间中的一道波。更普遍地说， $N$ 个微观粒子组成的系统并不能用 $N$ 道波进行描述，这个系统对应的只有一道波，在维度为 $3N$ 的空间中传播。这个世界与我们所熟悉的三维世界截然不同，物理现象发生的场所其实是这个多维度的位形空间，而观察者只能从自己所在的三维空间中观察。

### 导航波与点粒子

现在，我们来聊聊玻姆力学。这一理论认为，波函数并不是量子世界中唯一发挥作用的因素，还要考虑在三维物理空间中运动的点粒子。玻姆力学假设点粒子与经典力学中描述的一样，其位置在任何时刻都是确定的。同时，与量子力学的正统诠释一样，它的运动受导航波的引导，

## 在质疑中发展

爱因斯坦曾提出，光不仅可以被描述为一种波，也可以被描述为一种粒子。受到这一思想的启发，路易·德布罗意在 20 世纪 20 年代中期提出，粒子也可以表现出波的性质。其中，粒子的速度与波的性质有关，即  $v = \text{grad } S/m$ ， $m$  代表粒子的质量， $S$  代表波的相位，算符  $\text{grad}$  表示梯度向量。 $\text{grad } S$  是空间中由  $\partial S/\partial x$ 、 $\partial S/\partial y$  和  $\partial S/\partial z$  组成的矢量，这三项分别是粒子的矢量  $S$  相对于空间坐标轴  $x$ 、 $y$  和  $z$  的导数。这个矢量的方向垂直于波面，即相位相同的点构成的面。但是，他无法给出描述这道波随时间演化的方程。

薛定谔在 1925 年提出了这样一道方程，但这一方程仅考虑了波动。在解释确定位置的探测结果，例如杨氏双缝干涉实验时，这个方程就遇到了问题。为了解决这一点，德国物理学家马克斯·玻恩 (Max Born) 等人提出了“波函数坍缩”的概念。

同时，德布罗意并没有放弃。在薛定谔提出波动方程后不久，德布罗意意识到他的理论是可行的：正如他先前提出的那样，同时用波和粒子描述物质，其中粒子的速度由波函数决定。德布罗意在 1927 年在比利时布鲁塞尔召开的索尔维会议上发表了这个理论，与会者就此进行了深入讨论。奥地利物理学家沃尔夫冈·泡利 (Wolfgang Pauli) 对此提出了质疑，他要求德布罗意给出一个能证明这一理论的具体实验，但德布罗意没有给出令人信服的回答。

这一经历部分导致了德布罗意放弃了这个理论。一直到 20 世纪 50 年代初，这一理论都无人问津。后来，戴维·玻姆重新拾起了它，并对其进行了扩展。玻姆成功证明，在预测测量结果方面这一理论和量子力学的正统诠释是一致的。但是，许多物理学家仍然对这一理论怀有敌意。罗伯特·奥本海默 (Robert Oppenheimer) 是玻姆博士期间的导师，他的评论极有代表性，比如，“我们认为这是某种青春期的叛逆。”和“如果我们无法反驳玻姆，那么就只好无视他。”

这种反对的态度一直持续到近些年才有所缓和。尽管玻姆的工作促使德布罗意带领几个学生重新开始研究自己的理论，玻姆本人却从此放弃了这个理论。直到 20 世纪 80 年代，玻姆几个亲近的学生根据这一理论算出了双缝干涉实验中的粒子轨迹，学界才对这个理论重新产生了兴趣。



1927 年的索尔维会议群星璀璨，参会者包括路易·德布罗意、沃尔夫冈·泡利、埃尔温·薛定谔、阿尔伯特·爱因斯坦、保罗·狄拉克、维尔纳·海森堡、马克斯·玻恩等著名物理学家。

速度由导航波决定。而导航波的演变遵循薛定谔方程。

根据玻姆力学，无论是我们所看到的桌子、椅子，还是活着或死掉的猫，都是由粒子构成的实体，而不是波呈现的形态。事实上，导航波对我们来说是“隐形”的，它只作用于粒子的运动——就像在经典力学中，我们无法感知对物体施加的力，而只能观察到物体的运动一样。

在每一次双缝实验中，粒子源产生的粒子的波函数都是相同的，但它们的初始位置可能会有所不同。而我们所探测的是粒子的最终位置。德布罗意 - 玻姆理论认为，粒子的波函数不会在瞬间坍缩，而是会持续按照薛定谔方程演化。没有了波函数的坍缩，也就不存在测量的问题了。这是一种决定论的理论：某种结果出现的概率，取决于波函数初始位置的差异。

当实物粒子服从平衡分布 (equilibrium distribution) 的时候，就可以用计算解释干涉图样的形成。实物粒子会“典型地”符合平衡分布。(这有点像某个不与外界发生相互作用的密闭容器中，气体粒子会“典型地”均匀分布在容器中。) 此时，玻姆力学与量子理论正统诠释得出了相同的预测结果。既然如此，我们在讨论玻姆力学时一般就不需要费心计算粒子的真实轨迹，因为粒子的分布是通过量子理论的正统诠释计算得出的。

### 玻姆力学的优势

玻姆力学的发展现状如何？作为一个非相对论理论，玻姆力学已经得到了充分发展。许多科学家为此作出了贡献，尤其是玻姆的合作者们，例如克里斯·杜德尼 (Chris

## 薛定谔的猫

这是奥地利物理学家埃尔温·薛定谔在 1935 年提出的一项思想实验，其中阐述了量子力学中的一些观念所面临的问题。在这个实验中，一只猫被关在箱子里，旁边有一台装置，装置中有一个原子，它有两种可能的量子基态， $E_1$  和  $E_2$ 。当原子处于  $E_2$  态，装置会打开一瓶致命的毒药。

原子有可能处于  $E_1+E_2$  的叠加态，在这种情况下，量子力学定律表明猫的状态会与原子发生耦合，也处于存活和死亡的叠加态。但是，这样一种叠加态看起来是不可能的，或者说对于宏观系统来说是没有意义的——这里的猫就属于宏观系统。



Dewdney)、巴兹尔·希利 (Basil Hiley) 和彼得·霍兰 (Peter Holland)。从 20 世纪 90 年代起，德国慕尼黑大学的德特勒夫·迪尔 (Detlef Dürr)、美国罗格斯大学的谢尔登·戈尔茨坦 (Sheldon Goldstein) 和意大利热那亚大学的尼诺·赞吉 (Nino Zanghi) 也都带领团队进行了相关研究，他们同样发挥了重要的作用。这些重要的研究集中于探讨玻姆力学如何解释观察结果和正统量子力学中的公式、玻姆力学中经典的边界 (量子系统和经典物理空间的边界)，以及相同粒子的集合的性质等。

我在前文中提到，玻姆力学能够重复量子力学的预测。目前，量子力学的预测已经得到了实验的完美证明，当然，玻姆力学也能够很好地预测同样的结果。而它最常受到的批评之一就是只能重复，而无法提出新的预测。但是与量子力学不同的是，玻姆力学清晰地展现了一幅世界的图景，并且其中不存在测量定义的问题。

此外，对于实际计算而言，在玻姆力学中粒子轨迹的细节通常不太重要。例如在双缝干涉实验中，我们不必计算粒子的真实轨迹，也能预测出干涉图像——参考正统量子力学的计算结果就可以了。

但是对于其他的问题，例如从量子力学行为转变为经典力学行为的边界，我们需要建立明确的概念。在玻姆力学中，这个问题得到了很好的解答：当粒子 (或能够代表系统整体自由度的那个点，比如质心) 的轨迹非常接近于经典力学的预测时，就是经典力学适用的范围。

另一个量子力学的正统诠释难以解决的问题，就是如何测量跳出一个区域，或者说越过一道障碍所需的时间，因为这套理论中缺少时间对应的算符，只有位置算符。但是，在玻姆力学中，我们就可以直接讨论并解决这类问题。

在面对具体问题时，同一个理论的不同诠释能够提供不同的解决手段，这种情况很常见。量子力学中的玻姆力学和正统诠释正是如此。在过去 20 年中，我们也见证了玻姆力学的具体应用。

### 物理问题中的应用

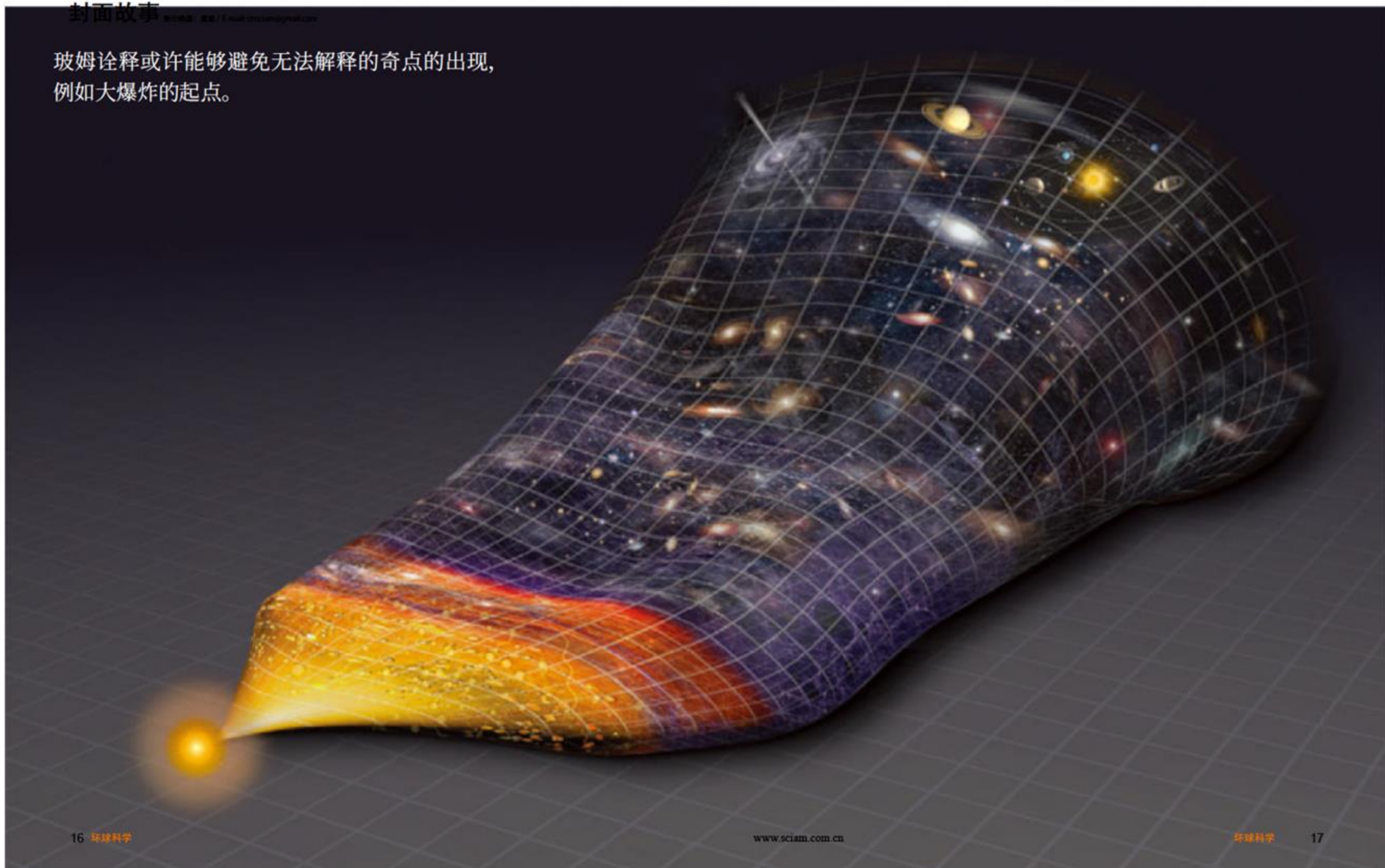
玻姆力学一个突出的应用案例，就是玻姆力学在量子化学中的应用，这个学科常常研究粒子数量较多的系统 (例如一个原子或分子中的电子)。这样的系统过于复杂，很难用数学方法精确描述。而玻姆力学提供了新的描述方法，甚至比正统量子力学的方法更高效。

玻姆力学的另一个应用就是构建量子体系与经典体系的相互作用模型，例如 (量子体系的) 粒子分布在固体表面上时。从原则上来说，这个表面应该用量子力学描述，但这在实际操作中难以实现，因此我们只能用经典物理学描述它。在 21 世纪初期，多位研究者证明在描述粒子与经典体系共同组成的系统时，联合使用经典物理学和玻姆力学计算出的模拟结果，会比只用量子力学得出的结果更加准确。其中最重要的几位研究者包括美国华盛顿大学的奥列格·普列兹多 (Oleg Prezhdo) 和克雷格·布鲁克斯比 (Craig Brooksby)，以及法国图卢兹第三大学的艾蒂安·然当斯佩热 (Étienne Gindensperger)、克里斯托夫·梅耶尔 (Christoph Meier) 和阿尔贝托·贝斯威克 (Alberto Beswick)。

我在前面说过，玻姆力学是一个非相对论理论，因此很有必要将它进一步扩展，以将爱因斯坦的狭义相对论纳入其中。正统量子力学已经花了很长时间来完成这个困难的任务，其成果就是量子场论，如今它为描述亚原子粒子

封面故事

玻姆诠释或许能够避免无法解释的奇点的出现，  
例如大爆炸的起点。



16 环球科学

www.sciam.com.cn

环球科学 17

及其相互作用提供了有效的框架。

量子场论与量子力学的一个本质区别，就在于量子场论所描述的粒子数量是不固定的，粒子可能会产生或湮灭。为了解释这两个过程，玻姆力学必须作出调整。其中，对于费米子（自旋为半整数的粒子，包括电子、质子、夸克等）的产生和湮灭，目前学界主要提出了两种不同的过程，一个由德特勒夫·迪尔、谢尔登·戈尔茨坦、罗德里奇·图姆卡（Roderich Tumulka）和尼诺·赞吉在2004年提出，另一个由塞缪尔·科林（Samuel Colin）和我在2007年提出。

而对于玻色子（自旋为整数的粒子，例如光子和希格斯玻色子），我们还没有找到一种自然引入这些粒子的方式。玻姆本人已经证明，玻色子很可能本质上无法被描述为粒子，而只能被描述为场，这些场与费米子的相互作用体现为玻色子的产生和湮灭。

量子场论的另一个重要之处就是，它整合了狭义相对论中的对称性假设（对称性解释了光速不变假设和相对性原理）。狭义相对论的另一个结果，就是证明不存在绝对的“同时”：两个事件对于一个观察者而言是同时发生的，对于另一个和前者发生相对运动的观察者来说就不是同时

发生的。

同时是相对的，如何将这一特性与非定域性结合起来呢？非定域性的含义是一个地点发生的事件可以瞬间影响另一个地点，这点非常棘手，但它是量子力学的基本原理之一。不过，在哪一个参考系里这种影响才算是瞬间发生的？是否存在一个特殊的参考系，不遵循相对论中的对称性？许多研究都试图解决这些困难的问题，但直到现在，也还没有令人满意的答案出现。从目前的证据看来，非定域性与相对论不是十分相容。值得注意的是，量子场论的各种诠释都没能很好地回答这个问题，无论是正统诠释还是玻姆理论。

### 量子引力理论的玻姆诠释

玻姆力学的另一个应用领域就是量子引力以及它在宇宙学中的影响，这也是我研究的重点。对量子引力的追寻是理论物理中最基本的问题之一。根据爱因斯坦的广义相对论，引力对应的是时空的弯曲，但是这一理论描述时空相互作用的方式来源于经典力学，而非量子力学。什么能使物质不服从量子定律？时空自身（即引力）是否必须服从量子定律？如果是的话，它服从其中哪些定律？

## 非定域性

北爱尔兰物理学家约翰·贝尔 (John Bell) 对量子力学很感兴趣, 他也是德布罗意-玻姆理论的热情支持者。但是, 这一理论表现出了非定域性的特征, 这令他很困扰。这个特征确实很麻烦, 因为我们通常认为自然界必须是定域性的, 也就是说任何物理效应都无法以比光更快的速度传递。

贝尔曾尝试修订这一理论, 让它表现出定域性, 但他没有成功。与之相反的是, 他证明了这是不可能实现的。他在 1964 年证明, 如果量子力学的一些预测是正确的, 那么量子力学就无法表现出定域性。正统量子力学就是非定域性的, 玻姆力学也是如此。在自然界, 相距甚远的系统之间可能会表现出一定的关联, 这让所有的定域性理论都无法解释。贝尔的研究也证明, 所有成功描述自然的理论都注定是非定域性的。

物理学家提出了多种不同的量子引力理论, 例如正则量子引力、圈量子引力以及弦论。正则量子引力的建构过程, 就是把通常用于将经典场 (如电磁场) 转换成量子场的方法应用于广义相对论。这一理论中的波方程称为惠勒-德威特方程 (又叫 W-D 方程), 但它存在数学上的缺陷, 并且看起来是无法克服的。因此, 除了整合广义相对论中的对称性, 我们还需要简化模型, 从而获得一个更加完善的理论。

圈量子引力理论也是将相对论量子化后得到的, 但过程中涉及了不同的变量。这一理论也产生了一种 W-D 方程。圈量子引力理论和正则量子引力理论的重要区别在于, 圈量子引力理论中的时空是离散的, 而非连续的。而弦论则认为物质的基本单位不是点粒子, 而是一维的弦。这一理论没有将相对论量子化, 它其实是一种统一所有已知相互作用的尝试。

目前还没有实验或观测证据能判断这 3 种理论孰优孰劣。并且, 很难判断正则量子引力或圈量子引力预测了什么。首先, 它们都继承了非相对论量子力学中的测量问题, 当我们尝试将量子引力应用于宇宙学时, 这个问题就会变得格外棘手。事实上, 在这种情况下, 研究的系统是整个宇宙, 因此不存在从外部进行测量的观察者。并且, 宇宙只有一个, 而不存在多个宇宙的集合, 那么此时不同结果的出现概率就变得毫无意义了。

## 宇宙的演化

在测量问题之外还存在一个时间问题。根据 W-D 方程, 宇宙的波函数不随时间改变。那么, 宇宙的演化过程要如何用这个方程描述? 如果宇宙在膨胀或收缩, 这个过程又该如何用这个方程描述呢?

从 20 世纪 90 年代起, 荷兰物理学家杰伦·芬克 (Jeroen Vink)、巴西物理学家纳尔逊·平托-内托 (Nelson Pinto-Neto) 等多位研究者提出了正则量子引力理论的玻姆诠释。我自己也在 2017 年提出了一个圈量子引力理论的玻姆诠释。这些理论都描述了时空的结构, 但是时空的变形和演化都由波函数决定。并且在这些理论中, 即使波函数是固定的, 但时空仍然在随时间变形。

通常情况下, 玻姆力学描述的时空与广义相对论存在差异。例如, 玻姆诠释有可能避免时空中无法解释的奇点的出现, 例如大爆炸的起点或大收缩 (Big Crunch, 与大爆炸相反的过程) 的终点。此外, 多位研究者还认为, 我们有可能借助玻姆诠释论证暗能量不存在。暗能量是一种性质未知的能量, 它或许能解释宇宙为何加速膨胀。如果暗能量不存在的论证成立, 则宇宙加速膨胀可能只能由宇宙量子力学解释。我和鲁汶大学的同事蒂博·德玛尔雷尔 (Thibaut Demaerel)、克里斯蒂安·梅斯 (Christian Maes) 已经证明, 一个简化的结合了玻姆力学的正则量子引力模型, 可以在不引入暗能量的前提下得到宇宙加速膨胀的结果。

无论是在宇宙学还是量子理论中, 玻姆力学都为我们指出了一些有趣而充满希望的研究方向。量子理论通常无法为宇宙学家提供明确的预测, 但量子引力的玻姆诠释或许能提供新的预测, 例如预测宇宙微波背景辐射的温度涨落。整个宇宙都沐浴在这种微弱的辐射之下, 但它的来源仍然未知。■

### 扩展阅读

- X. Oriols et J. Mompart (éd.), *Applied Bohmian Mechanics*, Jenny Stanford Publishing (2e édition), 2019.
- F. Laloë, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique?*, CNRS Éditions/EDP Sciences (2e édition), 2017.
- T. Norsen, *Foundations of Quantum Mechanics: An Exploration of the Physical Meaning of Quantum Theory*, Springer, 2017.
- J. Bricmont, *Quantum Sens and Nonsense*, Springer, 2017, traduction française à paraître chez Odile Jacob, 2020.
- W. Struyve, *Pilot-wave approaches to quantum field theory*, J. Phys. Conf. Ser., vol. 306, article 012047, 2011.
- D. Dürr et S. Teufel, *Bohmian Mechanics*, Springer, 2009.

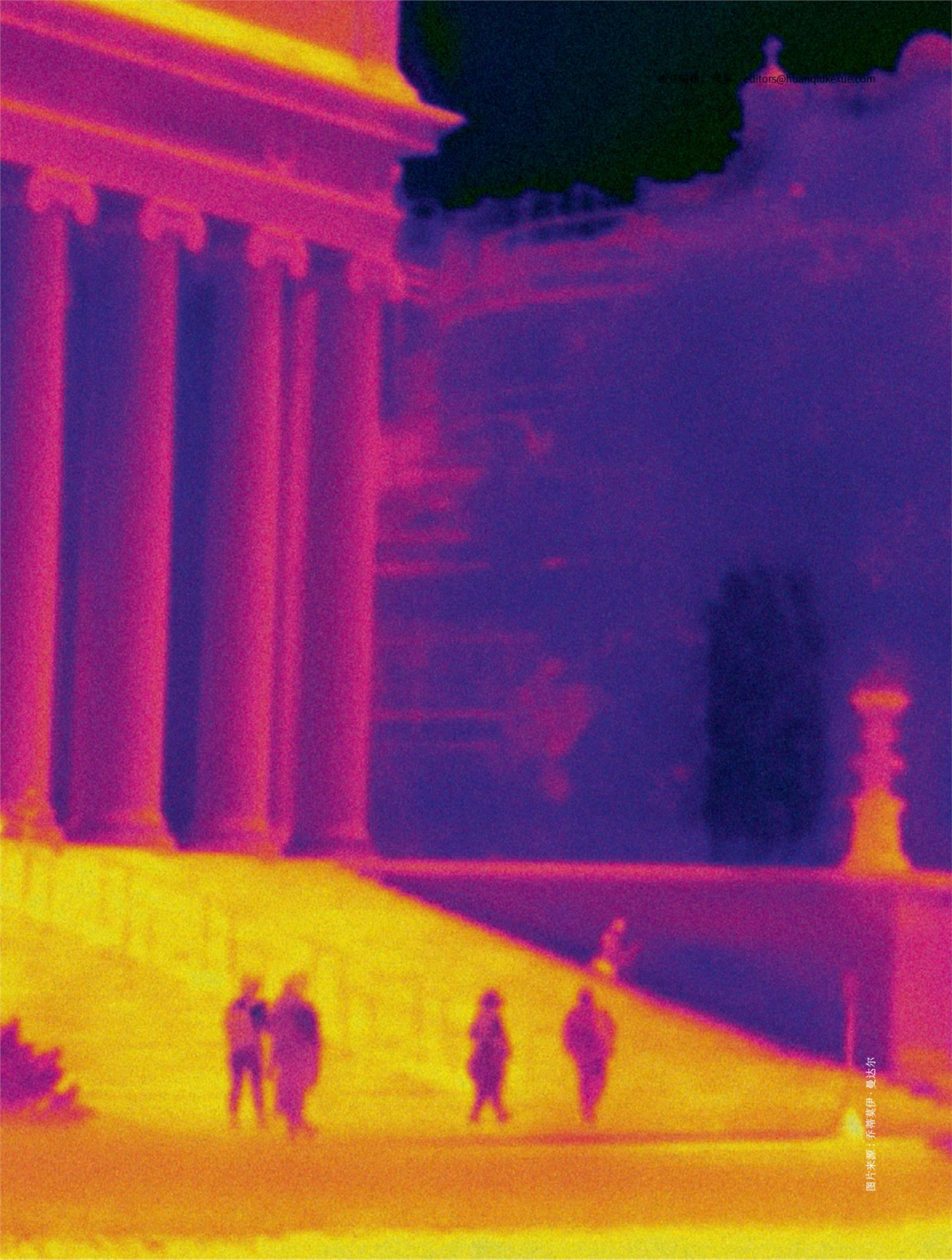
# The Supercool Materials That Send Heat to Space

## 超冷材料：未来空调

科学家相继开发出可以在阳光直射下保持凉爽的涂料、塑料甚至木材，但它们能在多大程度上取代耗电量巨大的空调，仍是未知数。

撰文 林晓智 (XiaoZhi Lim) 翻译 高宏

在哥伦比亚大学，一块覆盖了超冷涂层的面板的热成像。





**当** 商人霍华德·比斯拉(Howard Bisla)受命拯救当地一家濒临倒闭的商店时，他首先考虑的问题之一是减少能源消耗。2018年6月，他找到加利福尼亚州萨克拉门托市的电力供应商讨论照明升级问题。供应商有个与众不同的新主意：安装一套实验性的制冷系统，这样即使在炙热的阳光下，太阳能板也能在不消耗能源的情况下，保持比周围环境更低的温度。

现在，铝制的平板就安放在这家商店的屋顶上，它们的表面上涂了一层薄薄的制冷膜。这些面板与地面形成一定的角度，对着天空。在阳光的照射下，它们将下方管道中的液体冷却，而这些液体将流入商店，为商店降温。加上全新的照明系统，这些措施将电费降低了15%。“即使在炎热的夏天，这些平板也能保持凉爽。”比斯拉说。

这些面板来自斯坦福大学研究团队的一项发现。2014年，这些研究人员宣布，他们创造了一种在阳光直射下，比周围环境更冷的材料。范山辉和阿斯瓦特·拉曼(Aaswath Raman)是研究团队的两名成员，他们与同事伊莱·戈尔茨坦(Eli Goldstein)一同创立了初创公司SkyCool Systems，并为比斯拉提供制冷面板。此后，他们和其他研究人员又制造了大量制冷材料，包括薄膜、涂料和经处理的木材，它们能在高温下保持凉爽。

### 被动辐射制冷

这些材料都依赖于增强一种自然散热效应——被动辐射制冷(passive radiative cooling)。地球上的生命、建筑物和其他物体都在散发热量，但像毯子一样的大气层吸收了大部分热量并将其反射回来。然而，波长在8~13微米的红外线不会被大气层捕获，而是径直离开地球，逃逸到寒冷的外层空间。早在20世纪60年代，科学家就试图对这一现象加以利用。但是，显著的被动辐射制冷效应只在夜间出现，因为在白天，阳光沐浴在我们身上的热能比我们送到太空的要多得多。

这种新材料就像镜子和白色涂料一样能反射广谱的光，同时，它们能高效吸收关键的8~13微米波长的光，然后辐射出去。当这些材料朝向天空时，红外线可以直接穿过大气层进入太空。这样，这些材料就具备了成为散热器的潜力——它们可以持续释放热量，并且热量不会返



加利福尼亚州萨克拉门托一家商店的屋顶上安装了超冷面板。

回。因此，它们可以辐射出足够的热量，使温度始终比周围的空气低几度。研究表明，在炎热干燥的地方，温差可能超过10°C。亚利桑那州立大学城市气候研究中心主任戴维·赛勒(David Sailor)称其为超冷材料(supercool materials)。

超冷材料的支持者认为，这些材料不仅可以节省电费，还可以在全球变暖的背景下，降低对高能耗的冰箱和空调的需求。澳大利亚新南威尔士大学的马泰奥斯·圣莫里斯(Mattheos Santamouris)说：“我相信在4~5年内，白天的辐射制冷系统将成为建筑的首选技术。”他自己也在致力于改进这种材料：“它将是未来的空调。”

一些研究人员甚至提出，这些材料可能成为地球工程策略的一部分，以帮助地球散热，应对全球气温上升。“与其试图阻止来自太阳的热量，我们是否可以让地球释放更多的热量？”加利福尼亚大学戴维斯分校的物理学家杰里米·芒迪(Jeremy Munday)问道。

#### 精彩速览

一些材料可以通过一种名为被动辐射制冷的效应，向太空辐射波长8~13微米的红外线。

利用这一效应，科学家陆续开发出能够在阳光直射下，保持温度比周围环境更低的超冷材料。

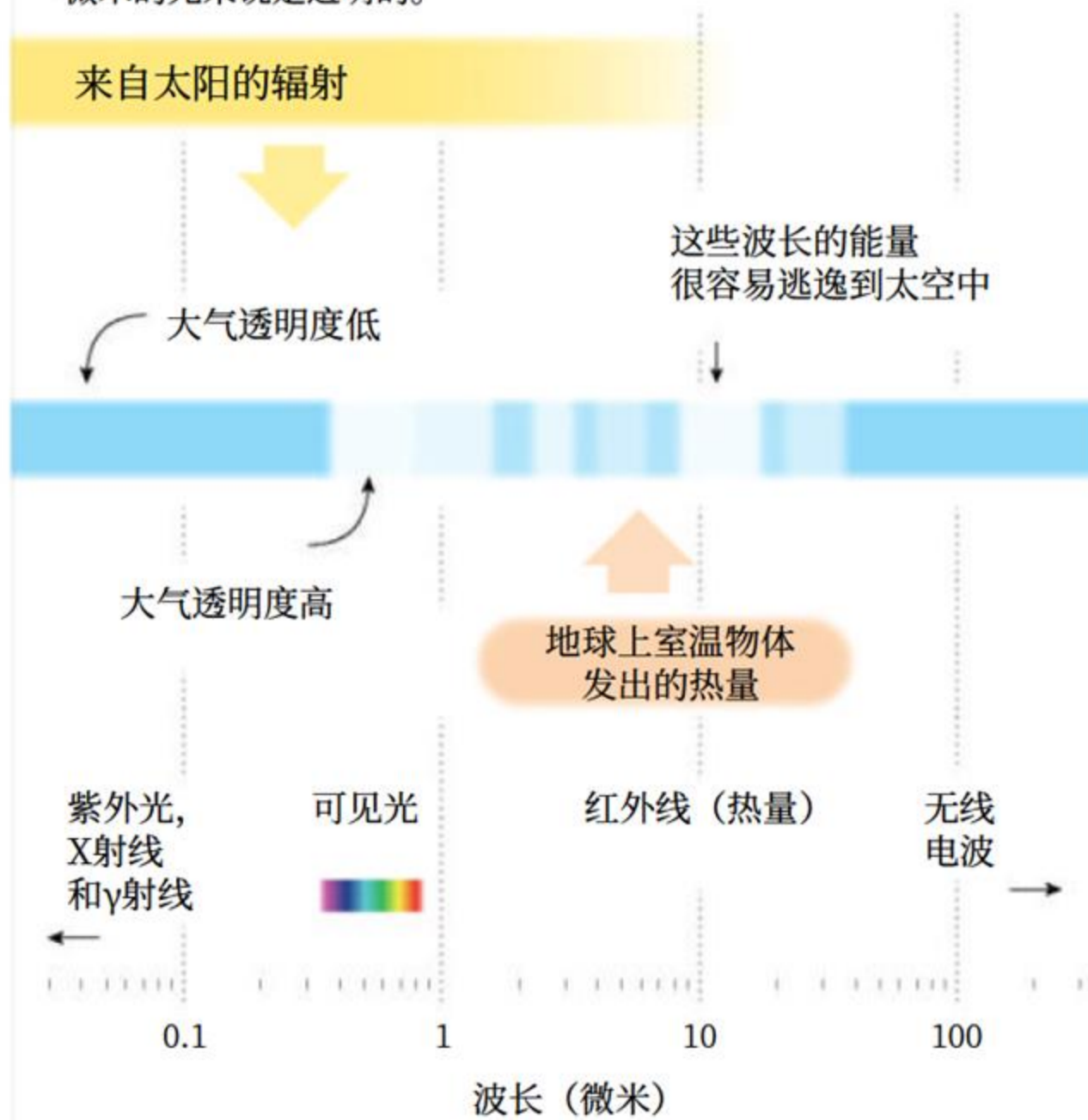
一些初创企业正试图实现这些超冷材料的商业化，但在产品正式推出之前，科学家仍需应对一些挑战。

## 保持凉爽

即使在阳光直射的情况下，超冷材料也比周围环境更冷，因为它们释放的热量可以穿过大气层进入太空。

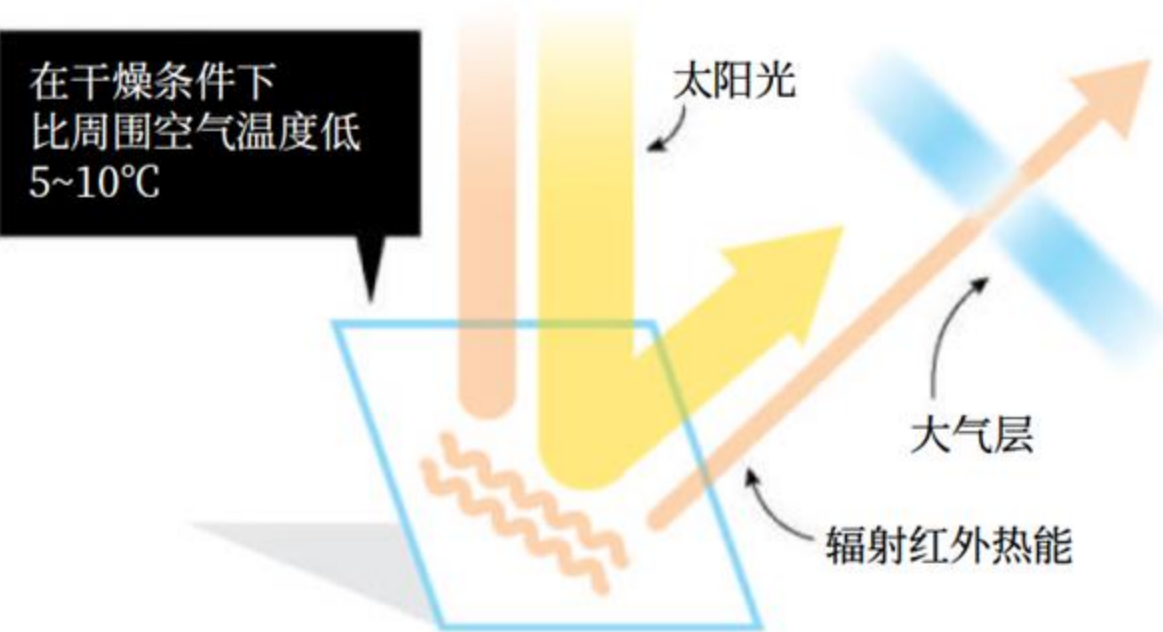
### 透明的大气

像毯子一样的大气层吸收了大部分的红外波段，但对波长 8~13 微米的光来说是透明的。



### 反射和辐射

超冷材料对光线的反射能力非常强（甚至比白色涂料还强）。它们也吸收波长在 8~13 微米之间的红外光，然后辐射到太空中。



但许多科学家对这类想法持谨慎态度。到目前为止，对于能够节省多少电能的理论估计，只是基于短时间内测试的小样本数据。这种材料在不同气候和地点下工作的能力还没有得到广泛验证。在干燥气候和晴朗天气下，材料的降温效果最好；当天气多云或潮湿时，水蒸气会阻挡红外线辐射。因此，这种超冷材料可能无法在所有的天气条件下使用，或是适用于所有建筑。

另一个未知因素是消费者是否会接受这个想法。赛勒强调，即使是将破旧的屋顶用反光的白色材料简单地替换，从而实现降温的方法也没有被房屋主人广泛采用。但他的模型显示，使用超冷涂料节省的能源，是使用白色屋顶时的两倍。他说：“这可能会改变行业规则。”

## 在阳光下制冷

2012 年，拉曼正在跟随范山辉攻读材料学博士学位，他的课题是捕获太阳能。这时，拉曼从文献中无意间发现了关于被动辐射制冷的研究，这是一种他从未听说过的效应。意识到没有人探讨过如何在阳光直射下应用这种效应后，他研究了要想克服太阳能的加热效应，材料需要哪些光学性质。这类材料需要能够反射波长 200 纳米~2.5 微米的太阳光，比反射率达 94% 的白色涂料更加高效；同时，它对至关重要的 8~13 微米波长的光有接近 100% 的吸收和辐射效率。

拉曼和范山辉认为，所有这些性质都可以通过纳米级的材料工程来实现。创造出的材料结构尺寸比穿过材料的光的波长更短时，就能增强对某些波长的吸收和辐射作用，同时抑制另一些波长。

该团队于 2013 年提出了在材料表面蚀刻图案的想法。随后，他们向美国能源部高级能源研究计划署（Advanced Research Projects Agency-Energy，简称 ARPA-E）提交了一份研究申请书，以期获得研究经费。

霍华德·布兰茨（Howard Branz）时任 ARPA-E 项目主管，现在是科罗拉多大学博尔德分校的技术顾问，他回忆道：“我（看到研究申请后）的第一想法是，‘哇，我真的很期待有人能实现这个想法。’我们已经看到很多夜间辐射制冷的设计，但要在充足的日照下实现这一点还是相当令人吃惊的。”

布兰茨批给了研究人员 40 万美元的经费和一年的研究期限。在如此短的时间内，斯坦福团队决定简化设计，并尝试用更熟悉的方式对材料分层。为了实现高反射率，研究人员交替使用了 4 层薄层材料，分别是具有强折射能力的二氧化钛层和弱折射能力的二氧化硅或玻璃。这是光学工程中常用的方案，可以通过光波经过不同层时的干涉提高反射率。为了放大红外辐射，他们使用了相同的原理，在上面叠放了 3 层更厚的相同材料。

在室外测试中，即使在每平方米 850 瓦的阳光直射下，材料也保持比环境温度低 5°C。（在晴朗天气时的海平面高度，阳光直射强度可达每平米 1000 瓦左右。）

测试取得成功之后，ARPA-E 资助了更多超冷材料研究项目。其中一个项目由科罗拉多大学博尔德分校的尹晓波和杨荣贵领导，他们希望大规模生产这类材料，因而选择使用廉价的塑料和玻璃。他们选择的玻璃球直径为几微米，从而能强烈辐射 8~13 微米范围的光。他们将玻璃球嵌入 50 微米厚的透明聚甲基戊烯（polymethylpentene，一种在一些实验室设备和炊具中使用的塑料）薄膜，在背面加上反光的银，就足以制造出超冷材料。通过精密卷绕对位技术，薄膜的生产速度可达每分钟 5 米。

事实证明，不仅仅是某些特殊材料，许多普通材料在特定的结构下都会表现出超冷的特性。2018 年，哥伦比亚大学和阿贡国家实验室 (Argonne National Laboratory) 的研究人员报告了一种超冷涂料，这是一种可喷涂的聚合物。团队成员杨元解释说，大量聚合物的化学键（例如碳原子之间，或是碳与氟原子之间）在拉伸、松弛时，能自然地发出 8~13 微米范围的红外线。而研究的关键在于，如何增强聚合物反射阳光的能力。

杨元的学生乔蒂莫伊·曼达尔 (Jyotirmoy Mandal，现在是加利福尼亚大学洛杉矶分校拉曼实验室的博士后研究员) 用丙酮和少量的水溶解了氟化聚合物前体。这种混合物可以喷到材料表面上，形成均匀的聚合物涂层，其中分布着微小的水滴。挥发性的丙酮首先干燥，然后是水滴，留下充满空气的孔隙。杨元说，最终，内部有孔隙的白色涂层可以反射阳光。

2019 年 5 月，科罗拉多大学博尔德分校的研究小组与马里兰大学帕克分校的胡良兵和李恬共同发明了一种超冷木材。李恬说，和聚合物一样，木材的化学键能释放出“恰到好处”的红外辐射。研究团队使用化学手段去除了—种名为木质素的刚性成分，并压缩木材使其纤维素排列整齐，从而增强木材的反射率和红外辐射能力。

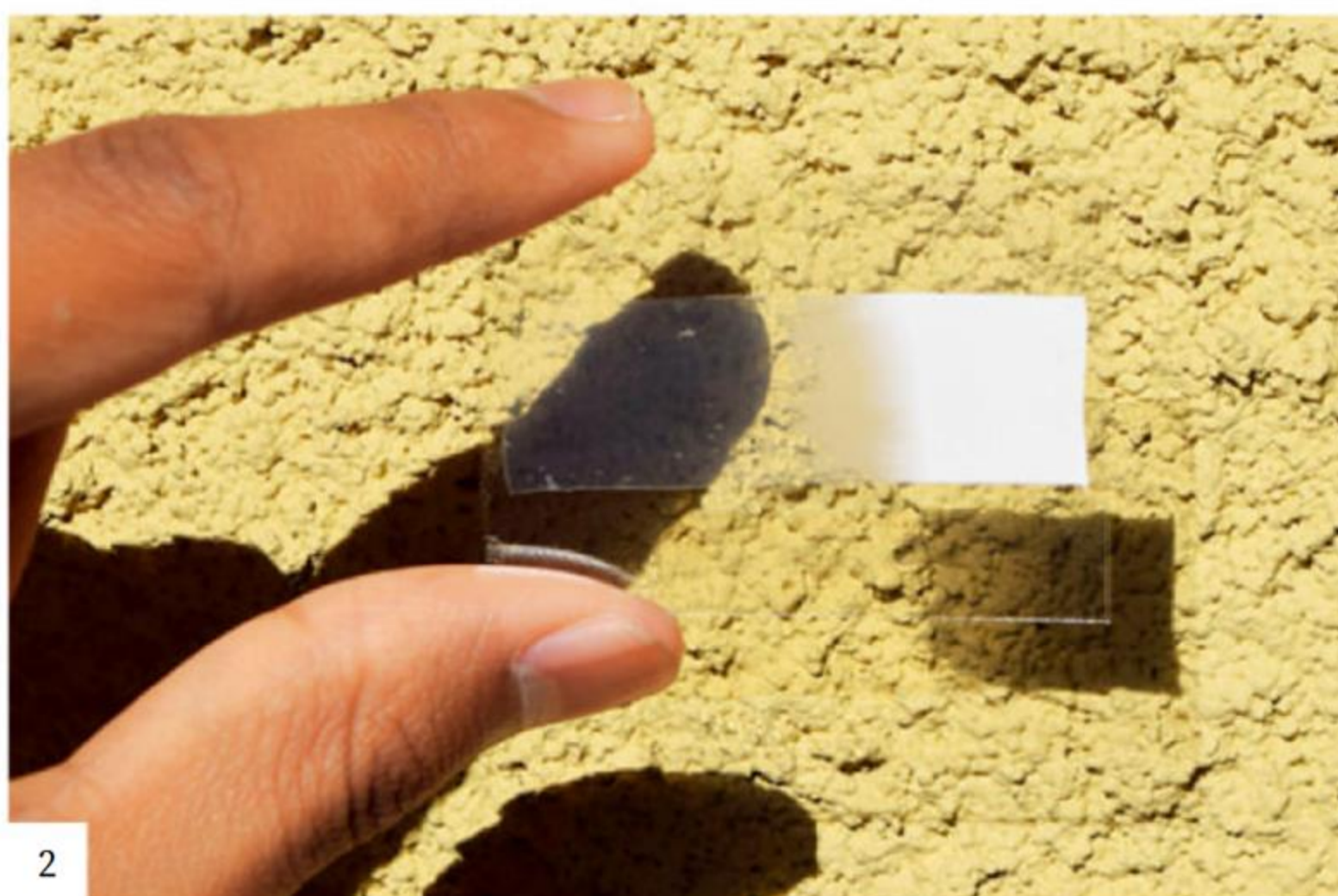
科学家还用聚二甲基硅氧烷 (polydimethylsiloxane，简称 PDMS) 制成了超冷薄膜，他们将 PDMS 喷到反光的基底上。PDMS 是一种高分子有机硅化合物，广泛存在于润滑油、护发素和橡皮泥等产品中。2019 年 8 月，威斯康辛大学麦迪逊分校的余宗福和纽约州立大学布法罗分校的甘巧强发现，铝制薄膜喷涂上 100 微米厚的 PDMS 层后，在晴朗的中午放置在校园的停车场时，温度比周围的空气低 11°C。

## 走向市场

这些团队几乎都为他们的发明申请了专利，现在正努



1



2

天然木材 (左) 与经处理的可隔热木材 (右) (1)。一种多孔的白色涂料可用于在夏天给建筑物降温。被酒精浸湿时，它会变透明，并吸收热量 (左侧)，从而在冬季给建筑增温 (2)。

力实现商业化。甘巧强正与工业界伙伴合作将 PDMS- 铝薄膜商业化。哥伦比亚大学已将其超冷涂料授权给纽约的初创企业 MetaRE，该企业由曼达尔和杨元在哥伦比亚大学的合作者余南方创办。该公司首席执行官阿普丽尔·田 (April Tian) 说，MetaRE 也在与工业界合作，开发用于屋顶的涂料，并拓展在冷藏运输、储存和纺织领域的应用。她表示，该产品与传统涂料相比“极具竞争力”。

其他初创企业也在强调他们的产品可以节省多少电力。范山辉和拉曼已经为 SkyCool System 的制冷面板开发了一套专用系统。2017 年，他们预测，在炎热干燥的拉斯维加斯，该系统可以将建筑物在夏季用于制冷而消耗的电量减少 21%。拉曼说，这些制冷面板将在 3~5 年内收回成本。

尹晓波和杨荣贵在博尔德创建了一家名为 Radi-Cool 的公司，将这种内置玻璃球的塑料商业化。2019 年 1 月，他们报告说，将这种材料与商业建筑中的水冷系统结合起来，可以将菲尼克斯、迈阿密和休斯顿夏季用于制冷的耗电量降低 32%~45%。与此同时，胡良兵已经将这种超冷木材授权给马里兰州的 InventWood 公司，胡良兵也是该公司的联合创始人。他预测，这将为美国 16 个城市节省 20%~35% 的用于制冷的能源。

但是，研究减缓气候变化的布达佩斯中欧大学环境科学家黛安娜·于尔格-沃尔绍茨 (Diana ürge-Vorsatz) 警告说，这些基于实验和模型作出的评估仍然存在局限性，无法推及城市中的整栋建筑。尹晓波补充说，实际的节能效果和超冷材料的经济效益将取决于建筑物的结构、位置和天气条件。

地理位置是最大的障碍。密歇根州立大学的机械工程师詹姆斯·克劳斯纳 (James Klausner) 说：“在一些特定的地理位置，空气不够干燥，因此超冷材料无法正常工作。”克劳斯纳曾在布兰茨之后担任 ARPA-E 项目主管，并批准资助了该领域的一些研究项目。他说，地理位置问题并不会令人太过苦恼，因为在效果好的干旱地区，比如美国西南部或者是中东国家，对空调的需求其实更强烈。

另一项挑战是，辐射制冷系统可能会增加冬季的取暖成本。为了解决这个问题，圣莫里斯正试图在超冷材料上引入一层液体。当温度降到足够低时，这种材料就会冻结。一旦液体凝固，辐射就无法再逃逸到太空中，从而阻断制冷效果。

2019 年 10 月，曼达尔和杨元报告了另一种阻止过度降温的方法。如果他们使用异丙醇填充聚合物涂层的孔隙，涂层就会捕捉热量而不是释放热量。而当空气吹过孔隙使其干燥，就能逆转这一效应。

还有一个问题：这些材料只有在将辐射直接释放至寒冷的外太空时，才能达到超级降温效果，但在城市环境中，建筑物、人和其他物体可能会成为障碍物，吸收热量并将热量重新散出去。目前性能最好的材料以大约 100 瓦 / 平方米的效率散热。甘巧强和余宗福希望将散热效率翻倍，为此，他们计划将薄膜垂直于屋顶，从而从两个表面同时散热。但这将需要在薄膜周围放置能够将辐射反射到天空的材料。

研究人员也在寻找提高材料制冷能力的其他手段。2019 年 10 月，麻省理工学院的伊芙琳·王 (Evelyn Wang) 和同事发现，用轻质绝缘气凝胶覆盖辐射制冷膜后，

在智利干燥的阿塔卡马沙漠的正午，这样的膜结构温度比周围环境低 13°C；相比之下，没有气凝胶的情况下温差只有 1.7°C。她说，气凝胶的概念也可以用在其他超冷材料上。

将超冷材料用于地球工程以减缓全球变暖的梦想似乎遥不可及，而且从实际的角度来看也不太可能实现。2019 年 9 月，芒迪通过粗略的计算表明，如果用现有材料覆盖 1%~2% 的地球表面，就可以平衡当前上升的温度，这些材料在白天以大约 100 瓦 / 平方米的效率辐射能量。但是，德国波茨坦先进可持续研究所的气候科学家马克·劳伦斯 (Mark Lawrence) 认为，即使经过几十年的发展，太阳能电池板都没有达到这样的覆盖水平，因而这项新兴技术似乎不可能及时发挥作用。此外，与其他的地球工程提案一样，芒迪承认降水模式和当地气候的干扰可能会导致意想不到的后果。对此，于尔格-沃尔绍茨也表示同意。

拉曼认为，被动辐射制冷依然有很多好处，例如帮助避免太阳能电池板在温度上升时效率下降。尹晓波说，即使他们使用可再生能源而不是化石燃料，发电和转换过程也会产生无用的热量，他强调说：“这是唯一一种能收集所有废弃的热能，并将其倾倒入太空的技术。”

## 更多用途？

这些能向太空释放热量的材料可能会有意想不到的应用，例如使得白天从大气中获取水变得更容易。在夜晚，物体表面的热量被夜空吸收后，水蒸气在表面凝结成露珠，几个世纪前的人们就开始利用这一现象捕捉水分。余宗福和甘乔强发现，涂有聚二甲基硅氧烷的铝薄膜不仅能保持凉爽，还能促进水蒸气在白天凝结。这两位科学家在布法罗成立了一家名为 Sunny Clean Water 的公司，将该设备商业化。

不同于只能在白天发电的太阳能面板，超冷材料与其周围环境之间的温差也可用于夜间发电。2019 年 8 月，拉曼和范山辉在夜间利用这样的装置产生了每平方米几毫瓦的电流。这表明，在夜间至少是有可能制造足够的电力来驱动一个小型 LED 灯的。布兰茨说，这是一次令人兴奋的概念验证，但太阳能电池板产生的电能可以储存在电池中、产生更大的电流，所以目前还不清楚这个想法是否有实际应用前景。■

本文作者 林晓智是一名自由职业的科学记者，现居美国马萨诸塞州。

本文译者 高宏是大连海事大学物理系教授。


大塔穆火山隐藏在 2000 米的海水之下，  
图中不同颜色的条带代表着火山的磁异常特征，  
它或许可以揭示大塔穆火山神秘的形成过程。  
(题图中垂直方向的地形差异增大了 25 倍)

# MASSIF REDO

## 大塔穆： 重塑海底火山理论

科学家一直认为海底火山也和陆地火山一样，但对大塔穆火山的深入研究却发现，它们的形成过程，或许会改写我们对部分洋壳形成过程的认识。

撰文 威廉·W·塞杰 (William W. Sager) 翻译 程孙雪子



威廉·W·塞杰是美国休斯顿大学的地球物理学教授，曾经参与过46次海洋地理探险，是大塔穆火山的命名人。



**虽**然我们刚刚躲过的一场来自西伯利亚的风暴，但它的余波仍在海上肆虐。巨大、黑暗的海浪将我们的科考船颠簸得左右摇晃。这艘海洋调查船名为“福克”号（The Falkor），长83米，重量超过2000吨。我就坐在主甲板上的科学实验室里，努力不让咖啡洒在海底地形图上。那是2015年10月中旬，当时我们正在日本以东1600千米左右的太平洋上，我盯着一幅已经查看过无数次的海底地形图。图上显示，在大塔穆（Tamu Massif，一座古老而又巨大的海底火山）的周围出现了一些平行的条带。这些不同的条带分别指示各自的磁场方向，有的为正，有的为反。有意思的是，图上显示的规律发生了一些变化，这种模式与我们之前认识的不同。而模式的变化又恰好与大塔穆火山的喷发方式有关。

一道海浪突然击中了“福克”号，随之而来的一声巨响在我脑海中回荡，非常震撼。就在这时，我忽然意识到自己错过了什么。我已经研究这座火山长达 20 年，不仅为这座火山命名，还发表了无数的论文解释它的形成过程。所以，这次的震撼感只有部分源于顿悟的喜悦，其他部分则像霍默·辛普森（Homer Simpson，美剧《辛普森一家》中的一个形象）一样，觉得自己笨死了。毕竟，过去关于这座火山的任何想法，可能都是错误的——无论是我自己的理论，还是其他所有人发表过的观点。

大塔穆火山十分特别，宽约 430 千米，长约 600 千米，覆盖的面积与美国新墨西哥州相近。总的来说，它的体积比夏威夷岛上的莫纳罗亚火山（Mauna Loa）大 50 倍以上，地形上却十分平坦。从中心处向外延伸的斜坡只有 1° 左右。然而，典型的海底火山坡度在 5° 到 10° 之间。整个大塔穆火山就好比在一个完整的足球场上铺上一层灰色的防水布，中心只用 60 厘米高的木棍撑起来。

大塔穆火山相当于沙茨基隆起（Shatsky Rise）的主峰，而沙茨基隆起是地球上最大的洋底高原之一，但峰顶距离海平面还有 1980 米。大多数洋底高原都由玄武岩构成，这说明从地幔中向上涌起了大量岩浆，在穿过洋壳后，这些岩浆会在海水的压力下向周围蔓延。尽管大塔穆火山的形状看起来也反映出了这种喷发过程，但从 2015 年以来的数据却显示，事实并非如此。

当然，提出全新的见解也就意味着挑战过去的观念。对于数十座类似的巨型海底火山如何形成了 5% 以上的洋底面积，传统的观点可能并不准确。事实上，我们发现了一种全新的火山。

尽管我对重新书写部分海底洋壳形成的过程十分着迷，但我也必须接受一个沉重的现实：曾经被冠以“地球上最大盾形火山”的大塔穆火山，可能无法再使用这个头衔了。

### 异常的磁场条带

大塔穆火山大约是在 1.45 亿年前出现的，在随后的数百万年间逐渐发展成型。在这段时间内，地球的磁场曾以不规律的时间间隔反转了多次，不断形成的新洋壳也记

录下了磁场的反转过程，形成了不同的磁场条带。

1993 年，我发表了第一篇关于大塔穆火山磁场变化的论文。当时我在美国得克萨斯州农工大学（Texas A&M University）任职，所以将火山命名为“大塔穆”（Tamu Massif，TAMU 为得州农工大学的缩写，而 Massif 在法语中是“大”的意思）。在那篇文章中，我得出了这样的结论：这类火山形成于短时间内的一次巨型喷发事件，一团直径达数百千米的巨大岩浆从地幔升起，随后向海底四周蔓延。大规模的喷发导致炽热的玄武岩顺着堆积的斜坡倾泻而下，形成一层分布范围广阔却只是微微拱起的新地层。后续的喷发也不断像之前一样添加更多的地层，产生一种类似多层蛋糕的结构，最古老的玄武岩层位于底部，而最年轻的则位于顶部。地面上的盾形火山通常都是这样形成的。对于世界上最大的几处洋底高原，很多专家也提出了类似的看法，如翁通爪哇海台和南印度洋的凯尔盖朗海台（Kerguelen Plateau）。

随后，我们针对大塔穆火山展开了很多科考项目，不仅进一步绘制了相关的地图信息，还采集了大量玄武岩的样品。2013 年，我和同事在《自然·地球科学》（*Nature Geoscience*）上发表了一篇论文，指出大塔穆火山是座巨大的盾形火山。很快就有媒体跟进这项研究，宣称科学家发现了“世界上最大的盾形火山”。

这种用“最”字描述科学发现的方式，总让我觉得有些不安。我试图告诉记者，我们并没有发现大塔穆火山（发现大塔穆火山是 20 世纪早期的事了），而且世界上还有更大的海底高原。与此同时，还有一件更重要的事也困扰着我：对于像多层蛋糕那样形成的广阔盾形火山而言，它显示出的磁场条带规律却很奇怪。

如果你能戴上一副可以显示地壳磁性的眼镜，那么当你从太空俯视太平洋洋底时，就会看到各处都遍布着平行的条带。但在火山附近，你会看到巨大的泼溅痕迹，因为从中心涌出的熔岩会干扰平行的图案。目前我们还没有这样的眼镜，所以只好在海上收集地磁场的数据。在“福克”号顿悟的那一瞬间也与此有关，因为我清楚地看到一条宽阔而连续的磁性条带穿过了大塔穆火山。

大塔穆火山形成于一个三联点，也就是三个板块相互

#### 精彩速览

来自太平洋洋底的最新磁场数据表明，巨型大塔穆火山的形成过程可能并不是之前科学界普遍认为的那样。

大塔穆火山的形成过程与板块的分离和岩浆的不断填充有关，而不是像火山那样喷发堆积。目前来看，还有数十座洋底火山也是形成于类似

的方式，这为多出海底巨型的地貌特征提供了全新的解释。

## 反转的磁场

在研究大塔穆火山的形成过程时，磁场信息为科学家提供了关键的线索。地球的磁场会以不规律的时间间隔发生磁极反转。每次改变都会在洋底的岩石中留下线索。大塔穆火山是在 1.5 亿到 1.44 亿年前开始形成的，在不断扩张的过程中，火山本身和火山周围都留下了很多条方向不同的磁极带。



连接的地方，有点像三个巨大的楔形的顶点交汇于一个点。当其中两个板块向外扩张时，它们的边界就会形成一条裂缝。岩浆从下涌出，填满扩张时留下的空隙，随后凝结成坚固的玄武岩。随着板块逐渐远离中心，已经凝固的岩层将继续被撕裂，继续远离原来的位置，全新的岩浆又会填充全新的空隙。

这个过程周而复始，不断重复。因此，大塔穆火山根本不是像多层蛋糕那样构建起来的，相反，更像是一整块蛋糕从水平方向被拉开，再用新的蛋糕填充中间形成的裂缝。这块蛋糕会持续地被推开，源源不断的新蛋糕也会持续地填充新的裂缝。依此类推。如果新蛋糕条带交替使用巧克力和香草蛋糕，随着时间推移，就会形成条纹状的图案。在大塔穆火山，正向和反向的磁性条带恰好就对应了这样的规律。

然而，这种解释有两个物理方面的问题。大塔穆火山东南象限的条带逆时针旋转了 90°。回想起来，这背后的原因其实很明显。随着大塔穆火山的喷发，东北方向的一部分板块破裂并发生了移动，导致三联点附近的一段旋转了 90°。这部分恰好就是大塔穆火山形成的地方。意识到大塔穆火山背部的条带是因为在扩张过程中出现的磁异常后，我发现自己之前简直笨死了。

第二个问题在于，如果单层蛋糕模型是对的，那么每个新形成的蛋糕条带都应该与现有的蛋糕具有相同的高度。但是，大塔穆火山的中部最厚。我认为，之所以会形成这样的结构，是因为有段时间中心处的岩浆增加了，形成了更高的洋壳。

目前，我和同事已经收集了很多洋底数据，以及从玄武岩中钻取的岩芯样本，也许它们能帮助我们说服其他科学家，让他们相信我们的解释是正确的。对于大塔穆火山的全新观点，或许会彻底改变科学界对洋底高原形成方式的认识。此外，我们还研究了其他几处洋底高原，获得了大量磁性数据，可以用来描绘磁性地图。以上的研究和观察均表明，很多高原都是以类似的方式形成的。这也意味着，此前科学界普遍认同的猜想可能是错误的，洋底高原并不是玄武岩的熔岩流形成的巨型盾形火山。

大塔穆火山不是经典假说所描述的盾形火山，这很重要吗？为什么我们之前会提出错误的猜想？我们之所以弄错，是因为海底火山隐藏在数千米的海水之下，我们只能通过碎片化的数据来拼凑可能的事实。科学家一直试图了解事物形成和发展的过程，这也是我们追求的目标。最新的发现否定了自己先前的认识，这也是符合科学的可证伪精神的。当我们将大塔穆火山的形成过程有了全新的认识，我们可以说：“我们终于知道真相了！”这可能不像“世界最大”之类的标题那样吸引人的眼球，但我们去更为此感到欣喜。

### 扩展阅读

An Immense Shield Volcano within the Shatsky Rise Oceanic Plateau, Northwest Pacific Ocean. William W. Sager et al. in *Nature Geoscience*, Vol. 6, pages 976–981; November 2013.

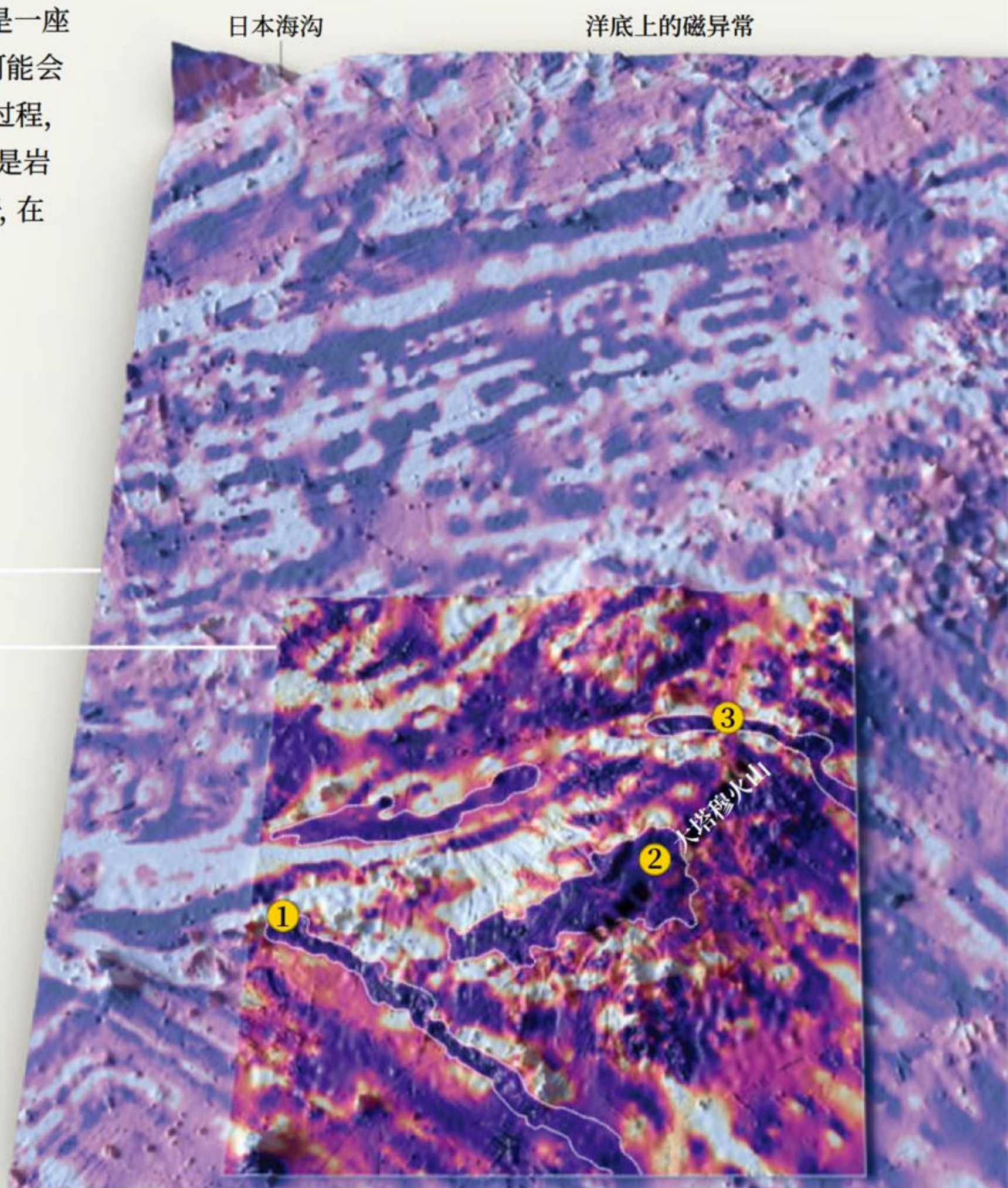
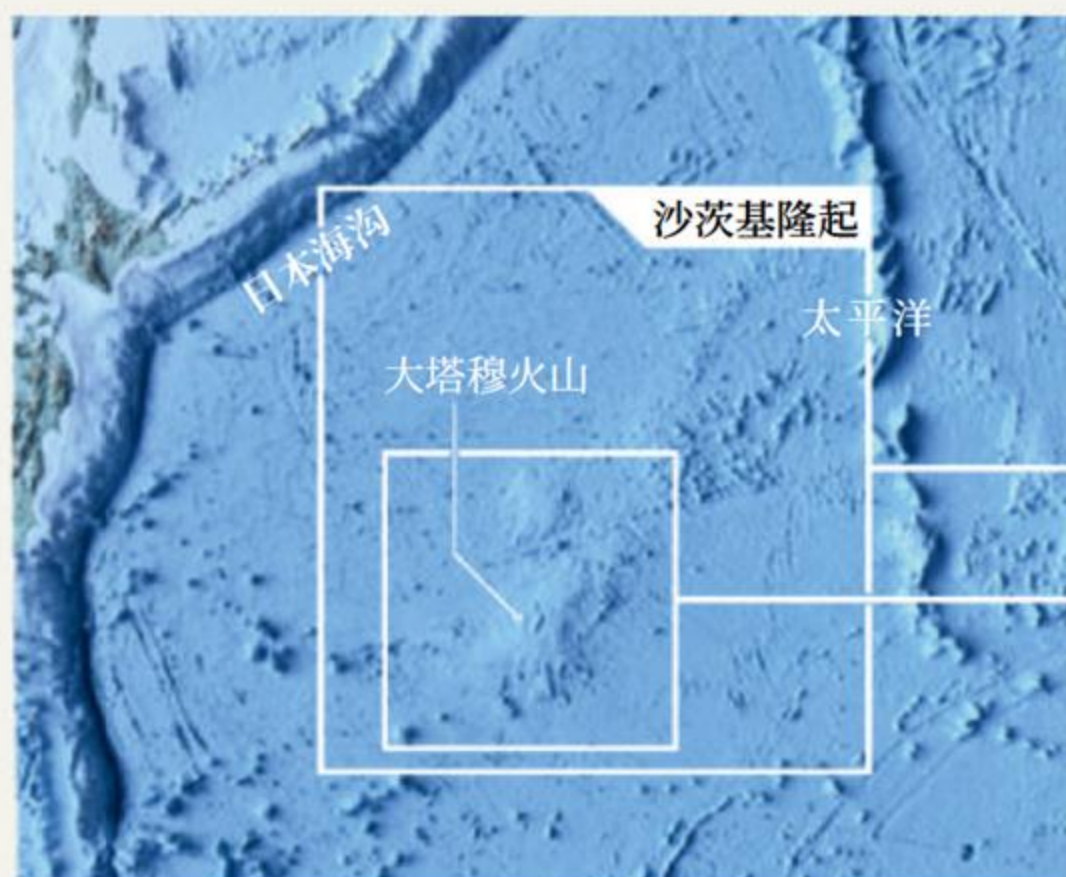
Oceanic Plateau Formation by Seafloor Spreading Implied by Tamu Massif Magnetic Anomalies. William W. Sager et al. in *Nature Geoscience*, Vol. 12, pages 661–666; August 2019.

The Secrets of Supervolcanoes. Ilya N. Bindeman; June 2006.



## 重新认识大塔穆

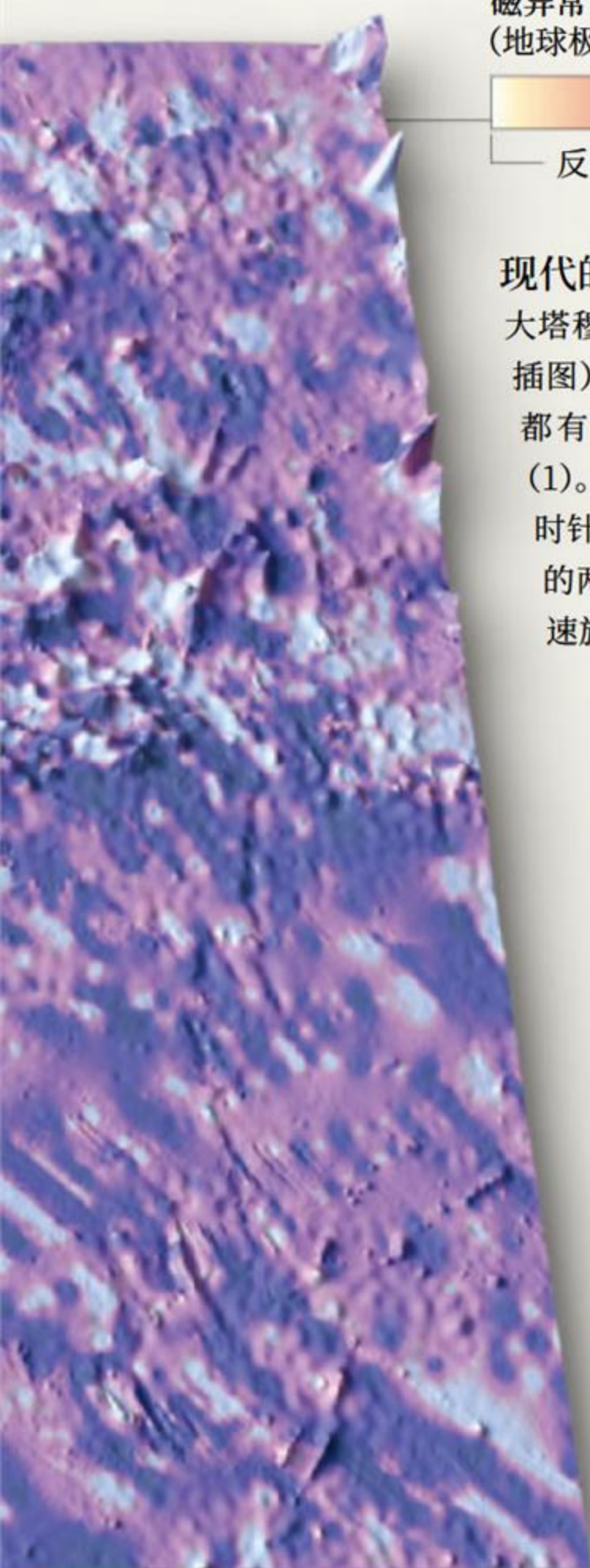
多年来，科学家一直认为太平洋底部的大塔穆火山是一座经典的盾形火山。但是，观察穿过它的磁性条带后，却可能会推翻原有的观点。最近，科学家研究了大塔穆火山的形成过程，分析了在数百万年间相关板块移动的数据。他们发现，这是岩浆活动创造的一种新型火山，就像一块蛋糕逐渐被推开，在旁边继续形成新的蛋糕那样，而不是一层一层往上叠。



### 火山的磁极条带是怎么形成的？

大约 1.49 亿年前，太平洋底的三个板块在一个三联点 (1) 处裂开，大塔穆火山就在附近开始形成。不断加宽的裂缝被新地壳填充。大约 1.48 亿年前，当大塔穆火山正在形成时，三联点跳到了东北方，而太平洋 - 法拉龙板块 (Pacific-Farallon Plate) 边界的一部分洋脊发生逆时针旋转，成为太平洋 - 伊奘诺尊洋脊 (Pacific-Izanagi Ridge) 的一部分 (2)。这也导致了大塔穆火山条带的旋转。到 1.44 亿年前，在火山停止喷发后，由于伊奘诺尊板块 (Izanagi Plate) 向远迁移 (3)，三联点再次发生移动。火山背部的宽条带说明，大部分喷发都发生在一段反极期中。





磁异常  
(地球极性的功能)

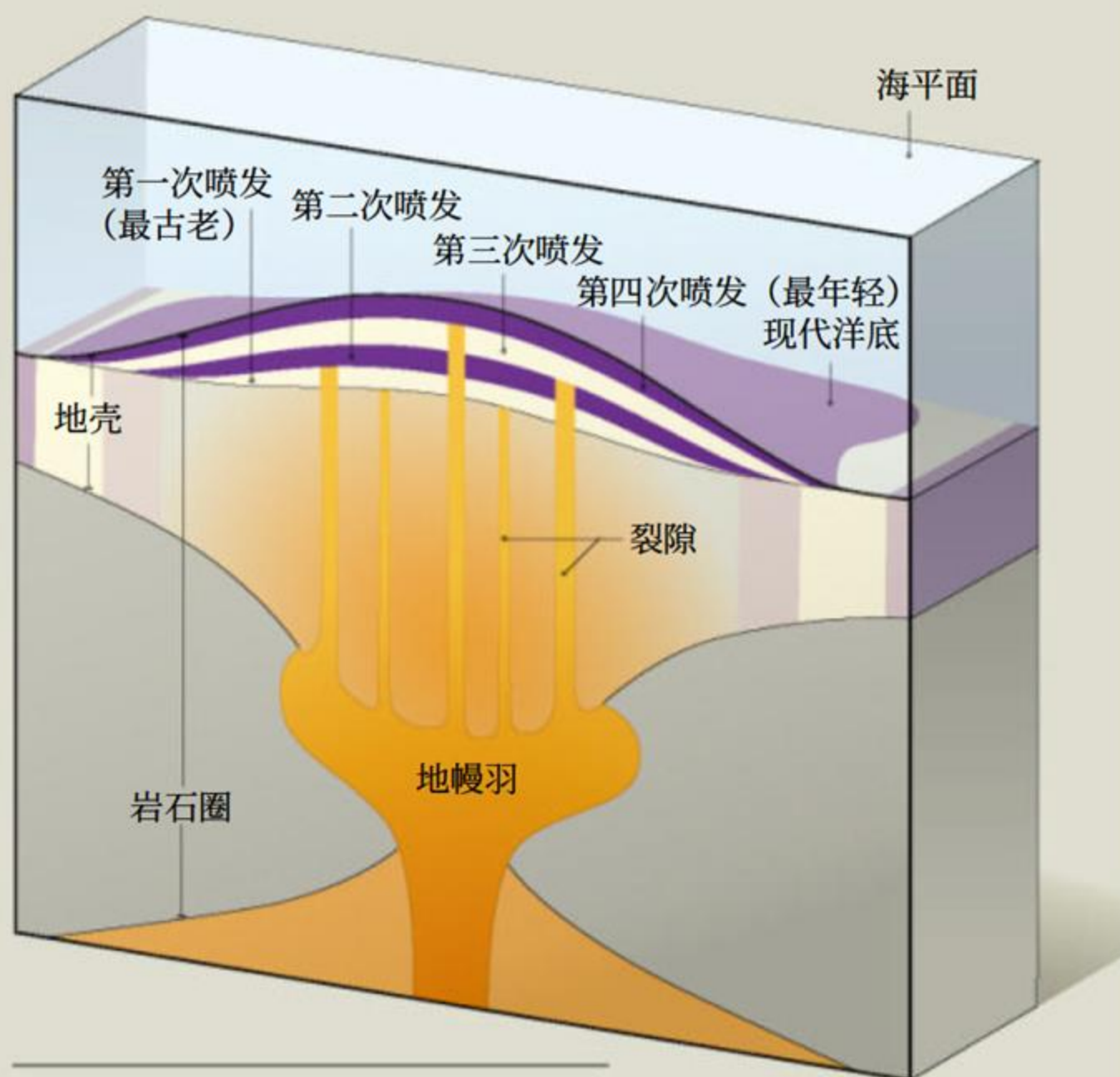


### 现代的洋底

大塔穆火山周围的洋底磁性特征图(见插图)显示,火山较矮一半的东西两侧都有平行的条带,从西北到东南走向(1)。不过中央火山上的条带(2)却逆时针旋转了约90°,宽度约为其他条带的两倍,因为火山形成于板块正在快速旋转分离的时期。

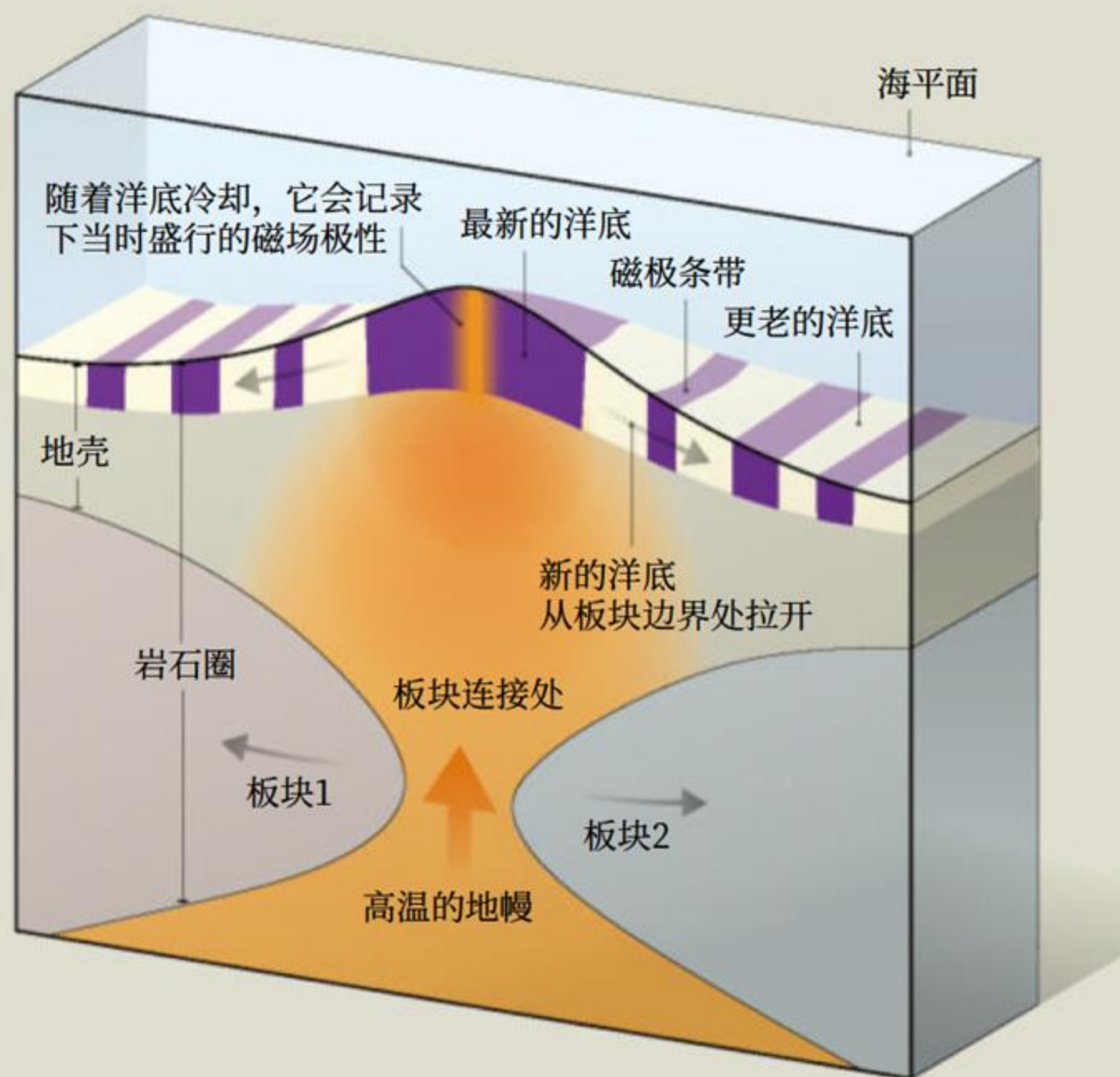
### 经典假说：多层蛋糕理论

一座盾形火山(过去对大塔穆火山的认识)的形成过程就像多层蛋糕。高温的地幔上升,从下部将周围更冷的岩石圈融化。炽热的岩浆从地幔羽沿着竖直的裂缝向上移动,穿过洋壳并喷发,在洋底蔓延,冷却后形成一个低矮的穹顶。随着时间推移,后续的喷发形成更新的熔岩层,像多层蛋糕那样一点点建造火山锥体。



### 新假说：单块蛋糕理论

板块分离时会把岩石圈和地壳拉扯开,沿边界打开一条裂缝,就像把一块蛋糕从中间切下,然后向两侧水平分开。炽热的岩浆涌出,填满裂缝,并固结成为洋底。随着板块继续分离,它们会撕开新的洋底,再产生一条裂缝,由更新的岩浆充填。这个过程不断重复,每当新的岩石冷却,都会保留当时的磁场特征,从而慢慢产生不同的磁极条带。



制图：克雷格·泰勒 (Craig Taylor)

1997年，在刚果盆地西北部的一个新露营地，巴雅卡-俾格米族人格旺洁（Gwanjenje）选定了新家的位置。狩猎采集者会进行季节性迁徙，妇女用篮子背着她们的全部家当。



# 丛林里的冲突： 谁来保护原住民

巴雅卡人曾在刚果盆地繁衍生息了数万年，但索求无度的工业文明和粗暴的生态保护工作却在短短几十年内将他们驱逐出自己的家园。

撰文 杰罗姆·刘易斯 (Jerome Lewis) 翻译 谭威 审校 高丙中

杰尔姆·刘易斯是英国伦敦大学学院人类学副教授、可持续发展人类学研究中心 (Center for the Anthropology of Sustainability) 主任、激进公民科学 (ExCiteS) 研究组联席主任。2019年,他发起了“丰富的多样性”(Flourishing Diversity) 运动,旨在倡导大家了解原住民保护生物多样性的能力和方法。



一片漆黑中,我们在森林的空地上簇拥而坐,共同高歌。我们每个人都吟唱着不同的旋律,这些悦耳的声音交织在一起,组成了一首动人的和声。歌声越大,韵律越是和谐、美妙。随着时间的流逝,我们仿佛也融为了一体,如入无我之境。

巴雅卡 (BaYaKa) 人相信,这样的奇妙场景会吸引森林之灵。它们会像点点星光般在我们周围飘荡,越来越近,越来越近,在我们的和声中低语,随后又消失在丛林里。在场的人为这场景所倾倒,不由得连声赞叹:“Njoor!”(哎呀!)“Bisengo!”(快乐至极!)“To bonal!”(就是这种感觉!)

这时,你会觉得自己就是森林,你的意识连结了周围的树木、动物和人。在上世纪90年代,当我在刚果(布)俾格米族(Pygmis)的巴雅卡游群中做博士阶段的研究课题时,这种与万物共鸣的体验深深打动了我。巴雅卡人认为,在这样的仪式里,他们可以直接与森林交流,表达他们对森林的在乎,巩固彼此之间深厚而友好的关系。正如我的朋友埃梅卡(Emeka)所说:“巴雅卡人爱森林,就像爱自己的身体一样。”

巴雅卡人在狩猎和采集时会严格遵守一套规则。比如,他们采摘野山药时不会伤害其继续生长的能力,捕猎时尽量不猎杀怀孕的动物。几千年来,他们和刚果盆地其他俾格米族游群的这种生活方式,使森林得以生生不息。这不仅造福了他们自己,也滋养了森林中的万物。在巴雅卡人的“词典”里,没有饥荒这个词。有一天傍晚,当我试着



生活在刚果盆地各处的俾格米族游群有着相似的丛林生活之道。比如,他们会举行独特的仪式,以及住在用叶子和藤本植物搭成的圆顶小屋里。图中是1997年,因戈约(Ingoyo)选定了新的住址,正把树叶铺在她小屋的屋顶上面。

向埃梅卡和其他围坐在火堆旁的巴雅卡伙伴们解释,在一些地方甚至会有人饿死时,他们完全不信。

也是在上世纪90年代,世界银行(World Bank)等国际机构与各国政府和环保组织合作,开始在刚果盆地实施可持续发展的模式。他们在热带雨林中开辟了一大块区域,专门用于伐木和其他经济活动,同时在其他区域建立了生态保护区,作为野生动物的栖息地。基于19世纪诞生于美国的“没有接触,就没有伤害”的环境政策理念,地方政府禁止俾格米族人进入野生动物保护区。

自那以后,随着刚果(布)国内和国际市场对森林无止境的攫取,我眼睁睁看着原本遍布大象、大猩猩、黑猩

精彩速览

俾格米族在刚果盆地生活了数万年,他们在狩猎采集过程中会遵守特定的规则,与森林互惠共生。然而,一系列粗暴的环保开发政策一边向采掘业

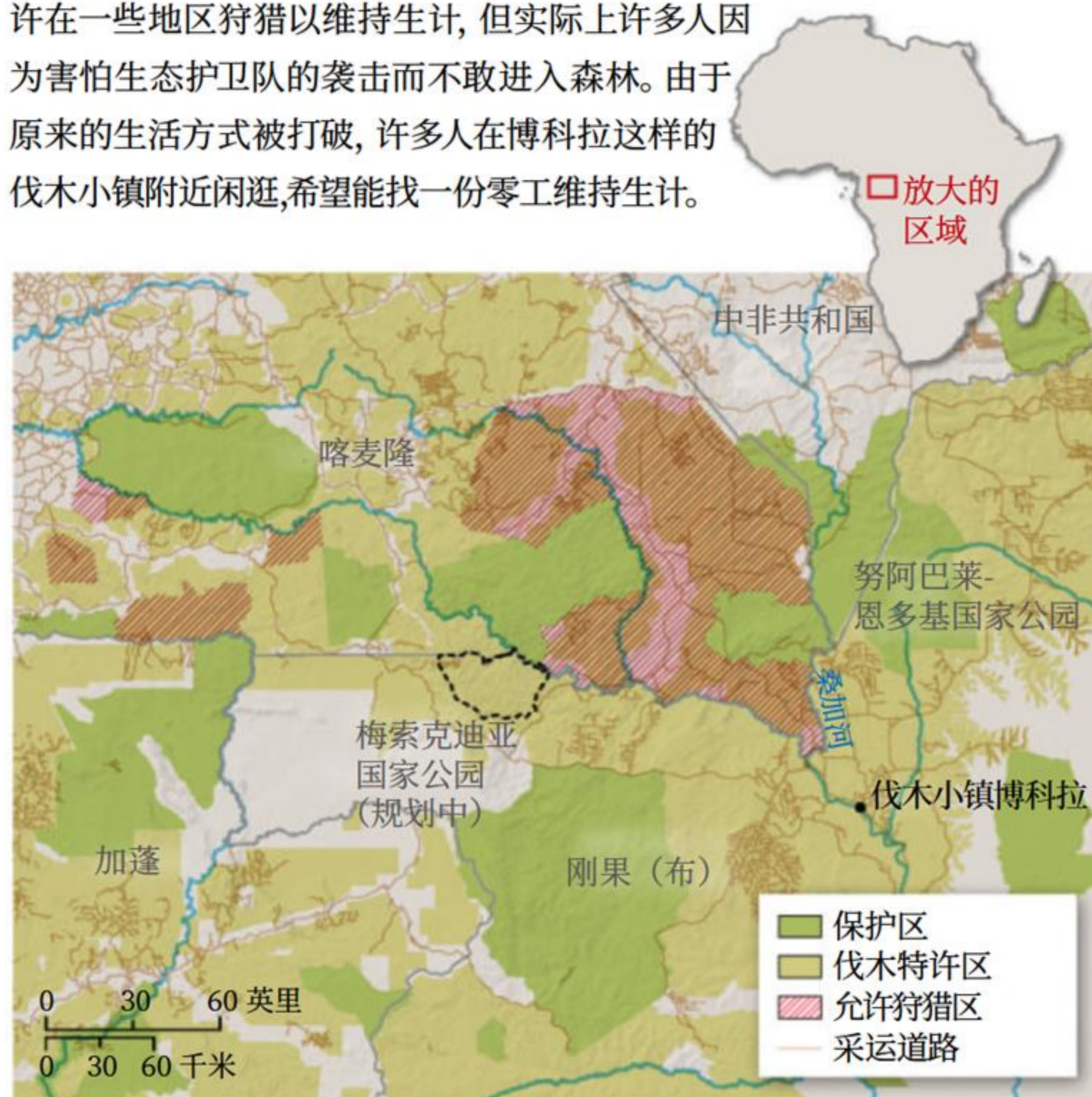
开放森林,一边规划大片保护区,这不仅导致森林日渐凋敝,还使大批俾格米族人流离失所。如今,越来越多的人意识到,原住民才是大自然

最好的保护者,因此许多有关机构希望能帮助原住民保护自己的家园。



## 刚果盆地的发展

自 20 世纪 90 年代以来，国际机构、环保组织和地方政府将刚果盆地划分为伐木区或其他特许经营区以及野生动物保护区。俾格米族人的确被允许在一些地区狩猎以维持生计，但实际上许多人因为害怕生态护卫队的袭击而不敢进入森林。由于原来的生活方式被打破，许多人在博科拉这样的伐木小镇附近闲逛，希望能找一份零工维持生计。



数据来源：Global Forest Watch (protected areas, logging concessions, logging roads); Survival International (trophy hunting areas); World Wildlife Fund (Messok Dja)

猩、野猪、猴子和羚羊的繁盛森林退化成了疏林。2002-2011 年，非洲中部地区大象的种群数量下降了 60% 以上，而且仍在减少。曾经充满活力、丰衣足食的巴雅卡人，如今却只能做零工讨生活，饱受抑郁、酗酒和营养不良之苦。他们蜗居在原来领地的边缘，还会遭受所谓“生态护卫队”的恐吓，以及外来闯入者的剥削和侵害。巴雅卡人曾在刚果盆地繁衍生息了数万年，却在短短几十年内，不得不屈服于工业文明对自然资源的索求和粗暴的保护方式——他们的保护方式就是将原住民从他们的家园内驱逐出去。

2019 年，联合国生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 (IPBES) 的一份报告指出，原住民维系自己家园生物多样性的能力几乎无人能媲美。而且，现存 80% 的陆地生物，都生活在由原住民或本土族群维护的 65% 的陆地上。认识到这一现实后，一种新的生态保护模式出现了。

在巴雅卡人的帮助下，我发起了“激进公民科学”

摄影：妮可·刘易斯 (Nico Lewis)

(Extreme Citizen Science, ExCiteS) 计划。这项计划旨在帮助当地人将他们的自然财富和面临的威胁都绘制成图，并与外界分享他们的生态学知识。事实证明，我们在刚果盆地设计的工具和方法在世界其他地方也都非常适用。柬埔寨白朗森林 (Prey Lang forest) 的社区网络使用了我们最新版本的地图绘制应用 Sapelli，并大获成功。这个组织因此获得了 2015 年联合国著名的赤道奖 (Equator Prize)、2017 年耶鲁国际热带林务员协会创新奖 (Yale International Society for Tropical Foresters Innovation)，以及 2019 全球能源奖 (Energy Globe Award 2019)。

### 巴雅卡人的生活

1994 年，独木舟停在了刚果盆地西北部的桑加河岸边，我和妻子英格丽德 (Ingrid)、3 岁的儿子南多 (Nando) 忐忑地下了船。迎接我们的是笑容满面的埃梅卡，这个三十多岁的男人魅力十足，是在此扎营的 40 多位俾格米族人



森林为巴雅卡的孩子提供了所有的玩具。  
比如，孩子们喜欢在植物藤蔓做成的秋千上玩耍。

中的一员。从东边的乌干达、卢旺达、布隆迪，到西边的大西洋沿岸，俾格米族人的狩猎采集游群分布在刚果盆地各处。他们讲着不同的语言，总人口可达30万~100万。DNA研究表明，至少在5.5万年以前，他们的祖先就已经开始在这里生活了。

尽管存在一些语言和地区差异，但不同群体的生活方式却非常相似：他们都住在用叶子和藤本植物搭建而成的圆顶小屋里，使用相似的狩猎或采蜜工具，并且都会用独特的吟唱方式与森林“交流”。在之后的三年里，我们一家、埃梅卡、他的妻子曼布拉（Mambula）和这个大家庭里的其他成员一起在丛林深处穿梭了数千千米，他们生气勃勃、人人平等的生活方式让我们印象深刻。这些伙伴教会我们如何像真正的狩猎采集者一样生活：如何穿越广阔的沼泽，如何利用大象的足迹导航，如何猎捕野生动物，如何采集果实、块茎、可食用的树叶和当季的昆虫，如何在森林溪流中筑坝捕鱼以及如何与“森林之灵”嬉戏。

巴雅卡人的经济活动基于这样一个原则：如果你想要别人的东西，就直接向他（她）要。生活在这样一个互惠

共享的经济体中，就像生活在一个商品免费的地方。即便是出力不多的老幼病残，也依然可以从带回营地的“战利品”中分一杯羹。

巴雅卡人强烈反对拥有自然的观念。埃梅卡告诉我：“造物主孔巴（Komba）创造了森林，滋养着万物”。在一次狩猎中，埃梅卡和我在一群银背大猩猩附近扎了营，它们闻到了我们烧柴火的烟味，便开始咆哮，想要吓唬我们。埃梅卡怒不可遏，呵斥这些家伙想把森林据为己有——他认为这片森林应该是所有生灵共享的。还有一次，我的朋友图巴（Tuba）指着他的小儿子说：“你瞧，森林馈赠的食物喂养了他，使他茁壮成长。”实际上，巴雅卡人把自己视为森林的化身、森林的一部分，他们无法想象出售任何一片森林，就像我无法出售自己的拇指或脚一样。

秉持着同样的理念，巴雅卡人认为只要人人都遵守规则，森林里的资源是取之不尽，用之不竭的。他们认为，资源的匮乏或稀缺并非由于大自然无力滋养万物，而是因为人们不懂得分享，因此导致了社会的不和谐。他们有一套被称为Ekila的制度用以保证物产充足：如果一片林地

枯木凋零，巴雅卡人便会封林，禁止人们在这块土地上狩猎采集。而当林地恢复生机后，禁令也随之解除。狩猎到动物后，营地里每个人都可以分到一份，但人们必须怀着敬意处理这些动物尸体。他们还认为，森林关爱这里的栖居者，渴望听到他们欢快的声音，所以与森林分享歌声和欢笑能使它变得慷慨。巴雅卡人这些重要的社会制度不仅保证了物产的丰饶，还能在集体中营造欢乐的气氛。

那时，我们享受着在森林中漫游的悠闲时光。我们吃野生的食物，无忧无虑地在林中漫步。我们会一起舞蹈，一起在吟唱的和声中与“森林之灵”交融，一连几天甚至几周。30年前，人类学家科林·特恩布尔（Colin Turnbull）在描写1000千米之外，生活在刚果盆地东北部的班布提（BaMbuti）-俾格米族人时这样写道：“俾格米族人在森林中找到了生活的真谛，这使得他们在充满艰辛和困难的生活面前依然幸福快乐。”我的巴雅卡伙伴亦是如此。

但幸福生活的背后却有麻烦在酝酿。1993年，为了保护大象、紫羚羊、黑猩猩和大猩猩，国际野生生物保护学会（Wildlife Conservation Society, WCS）与世界银行合作，在刚果（布）建立了努阿巴莱-恩多基国家公园（Nouabalé-Ndoki National Park）。这个公园地处刚果（布）与中非共和国的交界，占地4000平方千米。由于俾格米族几乎没有留下任何生活痕迹，刚果（布）当局和国际野生生物保护学会的科学家便声称此地无人居住。当森林巡逻队在保护区内逮到狩猎采集者时，便会将他们驱逐出去。结果，当地的巴雅卡氏族不得不搬离他们世代生存的大片森林，并与他们在中非共和国境内生存的亲属分离。

这个国家公园的边界位于埃梅卡所在游群的栖息之地以北约150千米处，因此我们并没有直接感受到公园所带来的冲击。但是，我们当时正处于广阔的“缓冲带”内，当地政府在保护区附近规划了大片的伐木特许区，其中就包括我们所在的地方。于是，这片生机勃勃、物种丰富的森林日渐凋敝。

### 沙比利树与毛毛虫

我还记得那是在1994年，我们偶然发现了一条采运道路（用于运输木材的林道），我的巴雅卡同伴抱怨脚下的路硬邦邦的，一路上烈日炎炎，没有树荫，还有一群苍蝇嗡嗡地飞舞着，让人心烦。当第一辆伐木车轰隆隆地驶过时，妇女们作鸟兽散，逃至丛林深处，仿佛一头水牛在追赶她们一样，我和埃梅卡还笑了起来。随着时间的流逝，

一条条道路在森林中纵横交错，为开采山珍野味和其他林产品提供了便利。

枝繁叶茂的沙比利树（Sapele，学名为筒状非洲楝，*Entandrophragma cylindricum*）尤其受伐木公司的青睐。这种木材防水、强度高、抗虫害，在阳光照射下还会呈现闪闪发亮的美丽纹理，是国际市场上畅销的木材。但沙比利树对俾格米族的生活也至关重要。有一次，在长途跋涉60千米后，我的双脚酸痛得厉害，埃梅卡从附近的沙比利树上切下了一块菱形的树皮。这种树皮含有一种很有效的镇痛抗菌成分，埃梅卡切下树皮后，把树皮内侧朝上，放在篝火上烤，以加热其中的油脂。随后，他把树皮放在地上，让我把双脚搁在上面。顿时，我感到神清气爽，疲乏渐失。我还常看到身患疟疾的巴雅卡小孩，将沙比利树皮浸泡在沸水里，靠吸入蒸汽来退烧。

最重要的是，那些高大的沙比利树的树冠远高于森林中的其他树木。在雨季来临之前，这些树会吸引成群结队的蝴蝶在树叶上产卵。这些卵很快就会孵化成毛毛虫，在树下密密麻麻铺满一地。对俾格米族人来说，这些毛毛虫就像从天而降的宝物，这不仅是因为它们美味可口且富含营养，还因为它们出现的时机恰到好处：雨季到来后，小水坑中的动物们纷纷离开，俾格米族人就更难捕捉到猎物了，这时他们就可以捡拾这种毛毛虫充饥。“当打猎变得困难时，造物主孔巴就会将这些毛毛虫馈赠给人们，让人们填饱肚子。”埃梅卡这样告诉我的时候，我们正围坐在滚烫的火堆旁，烧烤串成一串的毛毛虫，尽情享受这鲜嫩肥美的佳肴。

当伐木工砍伐巴雅卡人世代享用的“毛毛虫树”时，巴雅卡人的确非常难过，但骨子里的分享精神又使他们觉得，自己不应当提出反对。曾有巴雅卡人这样说过：“森林里树木丛生，我们用之不竭，我们可以把其中一些分享给别人。”

1997年，刚果（布）内战爆发后，我和家人就离开了，但我仍会定期前往该地收集研究资料。2000年，战乱结束后，财政困难的刚果（布）政府向伐木者开放了所有森林。伐木公司修建了许多道路，将他们的足迹延伸到森林更深处。到了2003年时，当地木材的年产量比上世纪90年代增加了一倍以上，达到了130多万立方米，并且这个数字还在持续增长。

环保人士注意到这一变化后，开始向刚果盆地的伐木公司施压，要求它们遵守森林管理委员会（Forest Stewardship Council, FSC）的指导方针。该方针要求伐



木公司遵守国家法律，尽量减少对自然环境的影响，避开那些生态价值高的地区（如黑猩猩活动密集的区域），并尊重劳动者和森林原住民的权利。桑加河畔的伐木小镇博科拉（Pokola）就是跨国公司刚果（布）木材工业公司（Congolaise Industrielle des Bois, CIB）的基地，这家公司向 FSC 提出申请，希望在 1.3 万平方千米的森林中进行商业伐木，而巴雅卡人就住这片森林里。

在我看来，无论能否得到 FSC 的认证，这家公司可能都会继续砍伐林木，这次申请反而是一个保护俾格米族权利和资源的好机会。我曾研究过，当弱势群体的领地面临开发时，应该如何保证他们事前知情且同意。当时 CIB 聘请了热带森林信托基金（Tropical Forest Trust, 现名蚯蚓基金会，Earthworm，是一个非政府组织）协助处理 FSC 认证中所涉及的社会问题，而该信托基金请我做顾问，并委托我搭建一个系统平台，以让居住在 CIB 特许经营区内的俾格米族人决定是否允许 CIB 在他们的领地上伐木。

当我与 CIB 的管理者讨论沙比利树的社会和经济价值时，他们担心自己砍树的需求会与居住在特许经营区内的一万多名巴雅卡人发生冲突，这将导致他们无法获得 FSC 的资格认证。然而在营地，埃梅卡和其他人向我解释道，只有那些很高的沙比利树（树冠明显高于普通树木）才是毛毛虫的栖息地。巴雅卡人要求伐木者不得破坏这些树木，还要避开天然的泉眼、祖先的坟墓、药用树木和一些其他的重要资源。

我向 CIB 的管理者建议，让他们支持巴雅卡人绘制这些地方的地图。让我欣慰的是，他们答应了。英格丽德是公共卫生部门的工作人员，她设计了一套图标以帮助巴雅卡的医者理解移动药房里的药品标签，这个移动药房是她和巴雅卡人一同建立的，用于治疗寄生虫病、疟疾和其他疾病，这给了我一个灵感。我联系了一家名为 Helveta 的软件公司，这家公司当时正在开发用于追踪稀有原材料（比如我们这个案例中的硬木）供应链的工具。我们在配有 GPS 的平板电脑上，设计了一个图形化的界面。当一个巴雅卡人见到想要保护的资源时，比如一棵高大的沙比利树，只需在屏幕上简单按一下“毛毛虫”图标便能标记它的位置。

这种标记方式有助于打破语言和文化上的隔阂。对比巴雅卡人绘制的地图与伐木者要砍伐的树木分布后，伐木业者发现他们仍然可以砍伐足够的树木来获取利润。我与狩猎采集者和公司管理者一起设计了一套工作流程，来确定不同的巴雅卡群体允许伐木者采集他们森林家园内的哪些资源。例如，由于巴雅卡男性和女性对不同资源的珍视



1



2

程度不一样，我会带着整个巴雅卡家庭一起去绘制地图。2006 年，CIB 成为了刚果盆地第一家获得 FSC 资格认证的大型伐木公司。随后，这一地区的其他公司也纷纷效仿，通过努力保护俾格米族人的权利来获得 FSC 的资格认证。

### 保护还是伤害

可随着岁月的流逝，我眼睁睁看着之前的这些努力付诸东流。忙碌的公司职员不可避免地开始怠慢测绘工作。他们要么在工作中偷懒（比如只带一个巴雅卡人去绘制地图），要么忽视设备的问题。尽管如此，俾格米族人标记的重要资源还是在很大程度上得到了保护。然而，如果狩猎采集者，或是作为他们与外部世界的中介的我，当初预

摄影：妮可·刘易斯 (Nico Lewis)



见到了伐木活动未来的连带影响，俾格米族人也许不会同意这些开发活动。

以前如果有人想进入森林，就必须有俾格米族人做向导。然而采运道路网络为偷猎者进入原始森林提供了便利，俾格米族人拿他们也没辙。为给消费者提供野味，这些偷猎者利用新修的道路在丛林中大规模猎杀野生动物。利润丰厚的野味贸易还催生了组织严密的偷猎网络，甚至常有军人、警察等在暗中推波助澜。此外，在森林深处拔地而起的伐木营地，吸引了来自周边地区的班图族（Bantu）村民，他们来到这里为伐木工人提供饮食和其他服务。随之而来的是日益扩大的棚户区，每个棚户区都住了数百人，他们中的很多人也开始猎杀野生动物。

来自世界自然基金会（WWF）、国际野生生物保护学会和其他机构的环保人士对此深感担忧，于是他们雇佣了一群被称为“生态护卫队”（eco-guard）的人员来监管这些盗猎野生动物的犯罪活动，但却无意中催生了一个他们驾驭不了的民兵组织。许多护卫队员开始监守自盗，有时还会与偷猎者沆瀣一气。如果发现俾格米族人拥有野兽的肉，即便这是他们合法猎杀的，护卫队员依然会对他们拳脚相向。

2010年前后，环保组织开始同伐木公司合作，在与保护区接壤的特许经营区内对偷猎行为进行监管，并由伐



3

2019年12月，为了哀悼刚过世的姐姐，巴雅卡老人恩盖谢（Ngeshe）和恩圭尼耶（Ngwenye）在额头涂上了白色的黏土（1）。由于无法再在森林中生活，如今他们大多住在以前的伐木营地附近。基奥（Keyo）和她的朋友坐在废弃的机械上（2）。在附近的一片“神圣树林”，现年60多岁的埃梅卡向我们解释巴雅卡人是如何爱护森林的（3）。

木业者对生态护卫队扣押的违禁品（如野生动物）数量进行审计。然而，由于无力对付势力庞大的非法野生动物贸易网，生态护卫队便开始找狩猎采集者和村民这样的“软柿子”捏。尽管从法律上来说，当地人是可以传统的方法猎杀一些野生动物来维持生计，但生态护卫队却会将他们拥有的任何野兽肉都视作偷猎的罪证，并借此恐吓、折磨和殴打他们。

正如联合国土著人民权利特别报告员维多利亚·托利-科尔普斯（Victoria Tauli-Corpuz）所描述的那样，面对日益猖獗的盗猎活动，野生动物保护者的反应却是大规模扩张堡垒般的生态保护区。世界自然基金会、国际野生动物保护学会和其他环保组织，将现有的国家公园连成跨越国境的“生态保护景观”（conservation landscape）。例如占地7500平方千米、流经三国的桑加跨三国保护区（Sangha Trinational）便包含了之前的努阿巴莱-恩多基国家公园。一些机构和环保组织还经常与采掘业者达成合作，在没有得到原住民同意的情况下，继续在刚果盆地规划开发新的保护区。

今年3月，联合国开发计划署（U.N. Development Program）的调查人员报告说，刚果盆地西北部的巴卡（Baka）-俾格米族人声称，世界自然基金会监管的生态护卫队不分青红皂白地暴力威胁、侮辱和恐吓他们，还将他们从拟建的梅索克迪亚国家公园（Messok Dja National Park）内驱赶了出去。研究人员控诉道：“巴卡人传统的狩猎活动如今却被定为了犯罪。”

## 抑郁、饥饿和酗酒

如今，几乎所有的森林都被划为了保护区或伐木特许区，俾格米族的狩猎采集生活被完全打乱。巴雅卡人如今也无法寄情于森林之中，失去了往日的朝气。埃梅卡的哥哥蒙恩巴（Mongemba）是残疾人士，他说：“以前真是太好了，太好了！（过去）我们这里的每一个人都有蜂蜜吃！野山药多到你拿不动。可现在全完了，全完了！除了悲伤，什么都没留下！我们饥肠辘辘，担惊受怕！孩子们再也不敢到森林里去了。”埃梅卡45岁的祖母梅银嘉（Maindja）解释道：“如果我们在丛林中漫步，就会被生态护卫队逮捕。这就是为什么我们不再栖居于森林里。如今，我们只能待在村子里，不能回到自己的森林家园。祖先们的智慧就这样消失了。”

许多巴雅卡人不敢像过去那样在森林里安家。为生计所迫，他们只能在伐木区或农耕的村子里徘徊，找些农活、零工或家务活做。大多数的男人都不敢再去打猎了。巴雅卡男性的文化和社会价值在历史上一直依赖于他们通过狩猎带回肉食来养家糊口，可如今他们却无能为力，男人的自尊心因此崩塌了。他们现在只能做底层的苦力，报酬通常也只是些非法蒸馏的酒，这使许多男人变成了酒鬼，并带来了各种各样的心理、社会和经济问题。不少巴雅卡妇女惨遭家暴，生活在伐木营地周围的人还常常遭受外来闯入者的性侵害。

在俾格米族人看来，他们的森林家园变成了一堆自然资产，被外来者以神秘的方式攫取利润。所谓的“可持续发展”一边向采掘业开放森林来满足全球的资源需求，一边用军事化管理的保护区来抵消破坏，但在这个过程中，这些俾格米族人被忽视了。伐木业的从业者认为，砍伐森林是一种“发展”的形式。但问题是，栖居于森林的原住民却几乎没有从中获益。环保人士想减少伐木、道路和市场压力对濒危物种造成的伤害，但最终却只对狩猎采集者施加了严厉的狩猎限制，并导致他们被生态护卫队暴力相待。但在俾格米族人的生存经验中，大象、豹子、大猩猩和黑猩猩是他们的森林伙伴，造成这些动物濒危的罪魁祸首恰恰是这些外来的闯入者。

他们这样认为是有道理的。2013年，据斯特林大学（University of Stirling）的菲奥娜·梅塞尔斯（Fiona Maisels）和同事们估计，刚果盆地的大象数量已经下降到了2000年时的约1/3。西部低地大猩猩（学名 *Gorilla gorilla gorilla*）的数量也在急剧下降。另外，美国鱼类和野生动物管理局（Fish and Wildlife Service）的报告称，在

刚果盆地的森林中，每年大约有500万吨的野生动物被猎杀，造成了当地许多物种的灭绝。而联合国环境规划署（U.N. Environment Program）的数据显示，到2010年，在刚果（布）的邻国刚果（金）的许多国家公园里，80%的大型哺乳动物已经消失。

狩猎采集者和环保人士之间的脱节，归根结底源于他们的理念冲突。在巴雅卡人看来，富足丰饶乃是万物的自然状态，公平分享确保了自然的富饶。他们认为森林是有



生命的，狩猎采集者遵循特定的禁忌，通过祭祀、仪式和歌舞与森林维系着互助互爱的关系。直到最近森林生态被破坏前，这里丰富的生物多样性恰恰证明了这种森林管理方法是长期有效的。与此相反，一些环保人士和发展专家是全球经济体系的代表，这种体系将大自然物化和商品化，并让与森林无关的人来决定资源的分配，造成了许多物种日渐濒危。

## 新的生态保护模式

近年来，一种新的保护模式正在世界各地生根发芽。研究人员、社会活动家和其他人士逐渐认识到，原住民才是大自然最好的保护者，因此他们应该得到帮助。

我在刚果盆地的经历促使英国伦敦大学学院（University College London）成立了ExCiteS研究组。此后，我们开发了一款手机应用 Sapelli，用于统计重要的自然资源的分布、偷猎者的活动踪迹和其他相关信息。我们开发的 Geokey 则是一个数据存储系统，社区地图（Community Maps）可以用于查看特定的数据。我们还开发了一套工

刚果盆地的森林为世界各地提供硬木。2019年，锯材和原木堆放在伐木小镇博科拉附近的桑加河岸，准备顺流而下运送出去（1）。一辆满载木材的卡车正在等待穿越桑加河的渡船（2）。



2

作方法，可以在了解原住民和其他社区想法和需求的基础上与他们合作，一起设计项目。这些工具可以帮助原住民采集数据、监测生态变化和可能存在的危机，并决定如何应对它们，如何与外界通力合作。

在纳米比亚，Ju/'hoan San 族人可以利用这套系统，记录相邻的外族人非法驱赶牛群到他们所保护的水池里的行为，因为他们的猎物要依靠这些水池生存。同时，他们还会记录野生动物种群的数量。在肯尼亚，马赛马拉地区的马赛族人（Maasai）为他们使用的野生药用植物正日渐濒危而感到担忧，为了弄清楚原因，他们记录了将近 123 种药用植物的现状。他们发现，药用植物被破坏在很大程度上源于激增的旅游营地。现在，马赛族人准备将调查范围扩展到整个茅（Mau）森林。最棒的一个项目是丹麦哥本哈根大学（University of Copenhagen）的一个研究组与柬埔寨白朗族合作，阻止非法伐木。志愿者用 Sapelli 应用对非法伐木活动进行拍照和地理标记，并没收他们的工具。在当地管理者的支持下，他们制止了所有未经授权的非非法伐木活动。

事实上，世界上许多地区丰富的生物多样性，得益于成百上千年栖居在此地的原住民的维护。这些原住民也是坚定的环保卫士，因为当环境退化时，他们的损失最大。

2019年12月，当我最近一次来到刚果盆地时，埃梅卡说：“我们是森林的守护者。我们一直栖居于此，呵护着森林。自古以来，我们捕猎动物以喂养我们的孩子。但是，如今这些生态护卫队阻扰我们，不让我们回到自己的森林家园。但是，如今我们的家园、我们的世界被毁了。这是个天大的麻烦。我们希望能好好地生活。各位，把这个问题解决了吧，这样我们才能重拾快乐！”。

**本文译者** 谭威是北京大学人类学博士生，主要研究方向是撒哈拉以南非洲的基础设施与城市化，以及全球南方人口的跨国流动。

**本文审校** 高丙中是北京大学社会学系教授、博士生导师，是《中国民俗概论》（北京大学出版社，2009年）一书的作者。

#### 扩展阅读

**Managing Abundance, Not Chasing Scarcity: The Real Challenge for the 21st Century.** Jerome Lewis in *Radical Anthropology*, Vol. 6, No. 2, pages 11-19; 2008.

**The Anthropology of Sustainability: Beyond Development and Progress.** Edited by Marc Brightman and Jerome Lewis. Palgrave, 2017.

**Flourishing Diversity: Learning from Indigenous Wisdom Traditions.** Jerome Lewis. *Flourishing Diversity Series*, 2019. [www.flourishingdiversity.com/report](http://www.flourishingdiversity.com/report)

**Cornered by PAs: Adopting Rights-Based Approaches to Enable Cost-Effective Conservation and Climate Action.** Vicky Tauli-Corpuz et al. in *World Development*, Vol. 130, Article No. 104923; June 2020.

**Sacred Groves.** Madhav Gadgil; December 2018.

# 深空探索的 32 种危险

美国航空航天局的研究显示，人类至少需要面对 32 种航天风险，但是，现在我们只能勉强应对其中的少数几个。

撰文 查尔斯·沃尔弗斯 (Charles Wohlforth) 阿曼达·亨德里克斯 (Amanda Hendrix)

翻译 李虎



在美国得克萨斯州的加尔维斯敦，当地不得不因为2008年9月中旬发生的那场飓风紧急撤离市民。此时，希瑟·阿楚莱塔（Heather Archuletta）已经在当地一家医院卧床7周。她的脚部被略微抬高，身体与水平面成6°，以此模拟失重的影响。她面庞肿胀，鼻窦长期充血，眼泪会不由自主地流下来。她后背的剧痛已经逐渐消失，但脖子仍然僵硬，手臂也变得虚弱无力。实验开始时，希瑟在网络上开了一个个人账户，她也因此获得了一些关注，接受了世界各地新闻媒体的采访。她解释说，她将和其他几名年轻的受试者一起接受挑战，在医院里头朝下生活90天。他们将用便盆当厕所，躺在一张特制的轮床上，在一块帷幕后淋浴（此时仍然头朝下）。这短短的淋浴时间是整个项目唯一提供隐私保护的时间。当然，美国航空航天局（NASA）将向每位参与者支付约1.7万美元的费用。

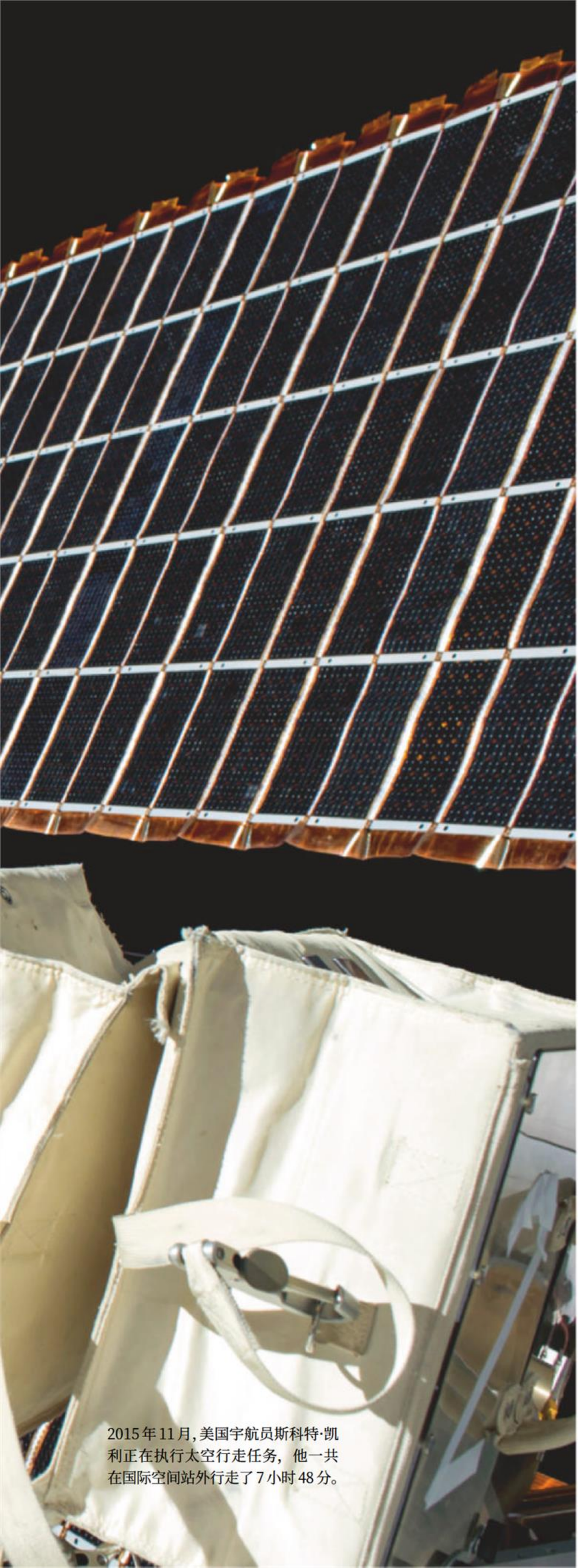
### 零重力挑战

希瑟一直开玩笑说自己是一个“懒人”，但作为一名马拉松运动员，她牺牲了生命中的一大块时间一直卧床实验，忍受着巨大的痛苦和对健康的损害（还可能无法完全恢复）。公众关注并未持续很长时间，媒体很快就遗忘了希瑟。但她认为，在床上躺3个月是值得的，因为这有助于人们前往火星。

然后，飓风艾克来袭，毁掉了那个梦想——至少暂时毁掉了。这也让失重的危害表现得更加明显。我们的生理构造是垂直运转的，我们的循环系统不断地工作，将血液从脚部向上输送至头部，我们的骨骼和肌肉，通过不断克服阻力来维持功能。

按美国航空航天局的实验设计，受试者走下病床需要3天时间，然后是2周的康复期，从而恢复他们的正常能力。但飓风艾克的威胁迫在眉睫，希瑟和2个月来一起卧床的新朋友们要在短短3小时内“站起来”。

医院的撤离一片混乱，人声鼎沸，“枕头航员们”挣扎着站起来，他们头晕目眩、虚弱无力、腿脚肿胀，动起来犹如刀割。一直以来，希瑟的视力无法完全恢复，她开



2015年11月，美国宇航员斯科特·凯利正在执行太空行走任务，他一共在国际空间站外行走了7小时48分。

始永久地戴上眼镜（尽管这可能是一个巧合，因为她已经38岁了）。5周后，希瑟回到家里，清晨的疼痛一直持续着，而且她仍然无法连续地跑步。

她在博客上写道：“最糟的是疲倦，实际上，‘疲倦’绝不能形容这种感觉……这是一种我未曾经历过的疲惫，即使在流感发作时也没感到这么累。我睡得很沉，并时常小睡一下，但我还是会被困倦和肌无力的双重袭击所压倒。我非常虚弱，有时候我只能尽快地坐下或躺下。我的健身目标是让头脑和身体变得比以前更强壮，但有时疲劳会影响我的决心……我只是试着让这种情况不要一发生就持续好几个小时！”

失重会导致体液减少、贫血、神经变化、肌肉萎缩、骨密度下降，有氧适能也会随之下降。大多数宇航员在着陆时感觉身体像果冻一样，难以保持平衡，无法运动自如，就像“枕头航天员”一样。重新应对重力会使大脑一片混乱。水手们在长途航行之后，有时也会有类似的感觉，

航天回程会伴随极度口渴。宇航员通常会快速大量饮水，以此恢复体液量。但是，克服贫血（意味着产生更多的红细胞）需要4至6周时间。重建肌肉强度可能需要更长时间。恢复骨密度则更慢。在地球上，骨骼不断地抵抗重力，通过撞击增强其力量——跑步会强筋健骨。在失重情况下，骨骼每月失去1%的质量。

失重一段时间后返回地球，身体需要2倍的时间来重建骨骼，因此，为期半年的宇宙航行，需要地面上一年的时间来恢复。而一些在太空停留太久的人，将永远无法恢复他们的骨密度或肌肉量。

宇航员兼飞行外科医生的迈克·巴若特（Mike Barratt）说，半年之后再次踏上地球，他感觉步履艰难，就像贴在一起的磁铁一般沉重。但适应往往是单向性的：登天容易，落地难。

巴若特说，到达国际空间站后，最令人惊奇的是目睹他和同事们如何适应那里的零重力环境。恶心和头痛持续数天（与希瑟卧床时遭受的症状一样）后才有所改观。在太空，静脉和动脉变得更容易渗透，这使得循环系统能向组织输送液体。脾脏会破坏红细胞，减少血容量。当胸腔内的器官向上飘浮到新位置，关节不必承重，身体的形态会发生变化。

宇航员个子长高，腰围缩小，胸部扩大。此时，大脑是最灵活的，它在一个没有上下的三维世界里将自己重新编程，去创造属于自己的参考系。

巴若特说：“我们似乎变成了外星人，在6至8周后，

你开始感觉自己像天上的超人。你从生理上变成了一种适应零重力的三维导航生物，并能在空间站高效地工作。谁会想到人类能做到这个？要知道，在把第一个人送入零重力的太空之前，人们曾认真考虑过他们还能不能呼吸、消化，做些简单事情，如小便等。那些问题其实只是冰山一角，并且我们做得都挺不错。不过，你的身体发生了所有这些变化，甚至在零重力下能更好地运行，这些事实还是非常令人惊讶。”

国际空间站本身就像一座实验室，用于了解长途宇宙航行对人体的影响。多年反复研究取得的主要成就之一，就是解决了宇航员返回地面时把他们逼得发疯的身体功能失调问题。现在，每一位美国宇航员每天都在跑步机、自行车和抗阻装置上锻炼2小时。这一锻炼程序，模拟了保持骨骼和肌肉的形状所需要的阻力和压力。这使他们骨骼重建的速度，等于其溶解速度。

尽管锻炼需要投入大量时间、精力，但宇航员们似乎乐此不疲。巴若特认为，太空游客可能永远也受不了这样的锻炼制度，因为这里的周运动量超过了大多数运动员备战马拉松的周运动量。

此外，加尔维斯顿的卧床研究小组还试用了一些设备，包括受试者平躺时也可以使用的跑步机和深蹲机。该项目的领导人罗尼塔·克伦威尔（Ronita Cromwell）说，这些装置需要更小巧紧凑些，要能装进一艘前往月球或火星的飞船。“枕头航天员们”已经帮助解决了这些问题，其他国家处于类似设施中的受试者也是如此。在德国，有一个巨大的离心机来改变重力。在俄罗斯，受试者被包裹在一只水床般的“子宫”里，以完全剥夺其感官能力。

### 32种航天风险

但是，这些项目只解决了美国航空航天局人类研究项目正在研究的32种航天风险中的少数几个。这些风险范围很广，包括因火箭飞行造成的听力损伤、登月时接触到进入月球着陆器的有毒月尘、免疫系统问题（可能与宇航员经常患皮疹有关）和肾结石（失重状态下形成肾结石，部分原因是骨骼溶解钙质析出）等。有些问题尚无现成的解决方案。这些最难解决的问题，阻碍了人们前往另一颗星球。

巴若特一口气说出了前5种风险，似乎它们总是在他脑海里翻来覆去：骨骼和肌肉受损、辐射、心理问题、自主医疗服务、视力受损。没有一个问题得到彻底解决，有一些问题还在研究过程中恶化了。2009年，巴若特自己



美国宇航员斯科特·凯利和特里·弗茨（Terry Virts）正在国际空间站中执行任务。

的眼睛就出现了视觉问题。

巴若特在国际空间站中工作时，注意到自己视力正在弱化。这种现象其实很常见，美国航空航天局很久以前，就开始让在地球上不用戴眼镜的宇航员备上眼镜。此前并没有太多人研究这个问题。

“我和鲍勃·施斯科（Bob Thirsk）都注意到，我们需要稍微增加眼镜度数，才方便执行规程。我们都是医生，所以我们互相检查了对方的眼睛，并且的确看到细微的视神经水肿。”也就是说，巴若特和加拿大宇航员施斯科的视神经和眼球交会处发生了水肿。不久，美国航空航天局运送了更多相关成像设备，希望查明到底发生了什么。果然，借助成像设备，宇航员在空间医学研究方面有了几十年来最大的发现。

“当我们彼此做超声波检测时，取得了重要的发现，”巴若特说，“无疑，在我的脑腔中发生了一件大事情。”图像显示，他的视神经已经肿胀到正常大小的2倍，眼球都被压扁了。其他科学家在随后的跟进研究中观察了许多宇航员，发现他们每个人都存在眼部压迫问题的迹象，这是到过太空的人的独特标记。大多数宇航员没有出现椎间盘水肿，即使出现了水肿，回到地球后也都恢复了，但是

60% 经过长期飞行的宇航员都有报告称“视力下降或出现视觉盲点”。

这个问题很复杂，并且没有得到完全理解。首要原因似乎是失重导致大脑中液压不断增加，同时飞船中二氧化碳的高浓度现象也加剧了问题的发展（二氧化碳会使血管松弛）。太空医生克里斯琴·奥托（Christian Otto）解释，在地球上，若液压过大且没有得到治疗，患者最终会损失视神经纤维，因为肿胀会阻碍葡萄糖和氧气进入细胞。但克里斯琴说，根据在太空中通常的肿胀程度，超过6个月后，神经细胞就会逐渐死亡。大多数国际空间站的宇航员每次只飞行6个月。在为期一年的任务中，宇航员们将面临更大风险，而执行为期3年的火星任务，可能导致部分宇航员失明。

美国航空航天局虽然尚未完全理解这一问题，但已在寻找解决方案。宇航员斯科特·凯利（Scott Kelly）在国际空间站生活一年后，于2016年3月返回地球，其间穿着俄罗斯的一条真空驱动（vacuum-powered）裤，希望能克服视觉问题。这条奇妙的裤子被认为能让血液流到身体的下半部分，但这并非长久之计。长年累月飞行的宇航员，可能需要人工重力。



作为人类研究项目的负责人，巴若特召开了一场专题研讨会，恢复了“如何使飞船旋转，产生类似重力的离心力”的研究。但这项工作并不简单，在过去的15年里，研究进展不大。

巴若特认为，只需些许重力，就足以保护视觉神经，在开展月球或火星之旅时，视觉神经就不至于受损。但这件事我们无法确定。卧床研究从未遇到国际空间站上的视觉问题。克伦威尔小组在加尔维斯顿开始进行低重力研究，

恒星发生超新星爆炸时，将物质以接近光速抛入宇宙。这些高能重粒子是太空怪物，它们使地球成为一座人类难以离开的岛屿。大气层保护我们的安全，因为我们头顶的大气层相当于10米厚的水，足以吸收这些冲击。

把那些躺在床上的受试者，放置在一个脚稍微低于头部的角度。为了验证“只需些许重力”这种观点，她的团队再造了相当于月球的重力（地球重力的1/6），施加在被试者的肌肉和骨骼上。但是科学家不确定此时体液的流动是否与太空中一致，因为没有来自月球或其他低重力环境的数据可以进行比较。后来，奥巴马总统取消了登月计划，这项研究也就随之被取消了。

### 辐射隐藏的问题

“我们并不清楚长期的影响是什么，因为，被改变的是那些相当关键的生理构造——你的大脑和视神经，”巴若特说，“我们并非机械地知道发生着什么，而且如果不认真研究，新发现并不会自动跳出来。所以，宇宙航行可能产生长期的视力变化，或脑白质变性和认知问题吗？我们不知道，因为我们还未研究。”

恒星发生超新星爆炸时，将物质以接近光速抛入宇宙。这些来自银河系宇宙射线（GCRs）中的少量辐射，包含了恒星内部所形成的较重元素——人们称之为高能重粒子（HZE particles），主要是碳、氧、硅、铁。一颗铁原子核（被剥离电子的铁原子）是一个超级离子化器（superionizer），它带26个正电荷，能从途经的原子中吸收电子，击碎活细胞和其他物质的分子。

按照这种速度，当它与其他物质碰撞时，重离子也会

释放出巨大的物理冲击力。据测算，高能重粒子（单个原子核）具有的能量，相当于美国职业棒球大联盟比赛中，投出的一颗快球的能量。

这些高能重粒子是太空怪物，它们使地球成为一座人类难以离开的岛屿。大气层保护我们的安全，因为我们头顶的大气层相当于10米厚的水，足以吸收这些冲击。纯粹是物理学决定了阻止这些重粒子所需的物质质量——没有捷径。

科学家研究发现氢的效果最好，这就是为什么水是有效的，也是为什么聚乙烯塑料是有效的——因为这种材料中每个碳原子都带有两个氢原子。但是，阻止重粒子所需要的物质质量，对于任何可预见的空间飞行器来说都是不实际的。2米厚的水足以阻挡约一半的银河系宇宙辐射，然而，1立方米的水重达1000千克。

在早期，对宇航员来说，更危险的似乎是来自太阳的辐射威胁，因为这种辐射的剂量很大。1972年8月，“阿波罗16号”已返回地球，人们正准备发射“阿波罗17号”，这时，一次强大的太阳耀斑以致命强度的质子风暴袭击了月球。如果宇航员还在月球表面，他们就死定了。但若处于绕轨运行的指挥舱内，他们会在风暴中幸存下来，部分原因是会受到飞船铝合金外墙的保护，辐射剂量可能导致疾病，伴有呕吐、疲劳、红细胞数量减少等症状，但不致命（尽管他们在晚年罹患癌症的风险会上升）。

人们日益关注银河系宇宙射线，是在“阿波罗”任务期间：当时宇航员们完全暴露于高能重粒子（或大离子击中他们的飞船而爆发出松散的原子喷雾时，释放出的次生辐射）。他们在黑暗中看到了闪光。仔细研究表明，国际空间站获得的高能重粒子，相当于在深空的1/3，这些闪光是由单个离子穿透宇航员的视神经引起的。

没有人知道，在地球保护范围之外，如果宇航员执行长达多年的火星任务，会发生什么。但是，弗兰西斯·库奇诺塔（Francis Cucinotta）是这方面的行家，他知道的几乎比任何人都多。弗兰克认为美国航空航天局的领导们还没有领会到这一点，包括前任局长查尔斯·博尔登（Charles Bolden）。弗兰克说：“你仍然会听到博尔登先生说：‘我们需要找到合适的屏蔽材料。’不知什么人、用什么方式告诉了他，问题在于他们所使用的材料。这种材

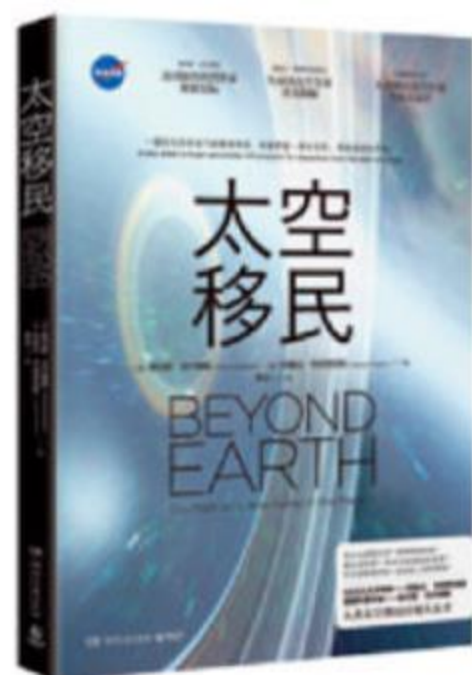
料我们已经用了三四十年了。除非他们可以发射大得多的载荷，否则这些材料根本就不是解决问题的真正方法。”

随着坏消息不断累积，美国航空航天局请求国家科学院更改当前的安全标准，为宇宙探索在“道德伦理”方面亮起绿灯。2013年，医学研究所的一个专家小组开会讨论，如果宇航员签署“知情同意书”并知道他们将身处的境地，则宇航局是否可以指派其进行风险较高或不明的探索任务——如果任务危险系数不明，那么风险等级本质上没有上限。为期3年的火星任务在宇航局可接受的风险范围之外。在32项航天飞行健康问题的矩阵中，火星任务将构成9项“不可接受的风险”和6项“不明风险”。

巴若特说：“必须有人愿意承担这些风险，当事情进展不顺的时候，必须有一个项目和一群人，准备面对并接受严重的后果，而不是让它迟滞、阻止我们，导致我们止步不前。”但是弗兰克还说：“有些人视宇航员为英雄和烈士。但也有一些人认为他们不过是卡车司机，负责运输科学器材而已。因此有各种各样的对比，也有人把宇航员比作消防员或士兵，但是消防员和士兵的死亡率远远低于他们。”这个问题非常主观，但问题却真实存在。

现在，美国的SLS（space launch system）项目正在推进，人类或许很快就可以去火星。美国航空航天局甚至可以想办法采取一些措施忽略目前的致癌风险限制。项目规划人手头上有几种可选措施，将风险控制在目前可接受的范围内：一是挑选在遗传上不易罹患癌症的宇航员；二是在太阳黑子活跃期开始任务，因为太阳极大期在某种程度上可以减少银河系宇宙辐射；三是缩短任务周期。

但如果仅仅是为了登上火星，这样做是否值得？如此冒险和艰难的任务，不应该仅仅是为了完成而完成。任务的成功，应该给我们带来新视野，即下一个目标。要想稳稳当地登上火星，为未来的进一步发展留有余地，并拥有一个清晰的未来视野，就要进行更多的工作，并且要从基本知识开始。



本文编辑自查尔斯·沃尔弗斯和阿曼达·亨德里克斯撰写的《太空移民》。书中不仅谈及了为什么我们需要看重太空移民问题，同时还深入地探讨了在准备太空移民的过程中，人类会面临的各种挑战，比如，来自航天器设计方面的挑战，比如，来自健康方面的挑战。但是，正如作者提到的，在星际探索时，没有危险，就不会有奇迹，没有梦想，也就没有了希望。

### 《逛动物园是件正经事》

作者：花蚀 出版：商务印书馆



如今，越来越多的娱乐活动出现在人们的面前，逛动物园这件事似乎逐渐淡出了人们的视线。大部分时候，只有家长带着自己的小孩前去认识一下园里有哪些不同的动物。当花蚀用4个月的时间走遍中国56座动物园以后，他写出了一本精彩的书，同时也借机重新唤起了读者对动物园的向往。这里谈到的，不仅是各地不同的动物，同时也包含它们最生动的生活方式，以及在动物园中，应该如何保障它们应得的动物福利。



### 《素数的阴谋》

作者：托马斯·林 译者：张旭成

出版：中信出版集团 / 鹦鹉螺



托马斯·林曾在《纽约时报》就职，不久前，他创立了在线发表的刊物《量子》，主要报道科学的发展进程。这本书是《量子》杂志中一些文章的合集，所有文章都围绕着科学的桂冠“数学”展开，更准确地说，其中大部分文章都是围绕着桂冠上最闪光的一个角度“素数”展开。在阅读后，你也许会感到很惊讶，因为这个看似微小的切入点却引出了世界上最优美、最疯狂、也最激动人心的一系列数学新思，当然也引爆了人们对于我们所处的世界的认识。



### 《幽灵粒子》

作者：小柴昌俊 译者：逸宁

出版：人民邮电出版社 / 图灵新知



1987年，小柴昌俊领导的实验室团队利用神冈探测器观察到了世界首例来自超新星的中微子。到2002年，他又因在“中微子天文”方面做出的杰出贡献获得了诺贝尔物理学奖。在这本书中，你可以看到一位诺奖主如何以第一视角讲述粒子物理领域中的里程碑事件。当然，作者融入的个人经历也是这本小书的亮点之一。你可能无法从这本书中获得粒子物理发展的全貌，但却一定能够看到中微子研究过程中的关键性转变。





# 抗抑郁药物突破困境？

很多科学家仍然在探索抑郁症的可能机制和应对方法，他们“正在挖掘更多的东西”。

本刊记者 杨心舟

**1991**年，安德鲁·所罗门（Andrew Soloman）永远失去了自己的母亲，感情上也遭遇了挫折。为了从接二连三的打击中恢复过来，他决定投身于各种各样的社会活动，以此来摆脱自己的负面情绪。就在他认为自己已经扛过这段艰难的日子时，所罗门却感到身体上开始有些不对劲。母亲去世3年后，所罗门突然对任何事情都失去了兴趣。根据他的自述，他每天都会在自己的房间中发呆，房间里安静到他能听到自己心脏跳动的声音。躺在床上时，所罗门会一直盯着电话答录机上闪烁的红点。看着小红点一闪一闪的时候，时间就像静止了一般。当他回过神来，窗外的阳光已经消失了，街边的路灯也不知什么时候亮了起来。

在过去的日子里，所罗门其实非常期待看到答录机上的红点闪烁，每次看到有信息提示时，他会飞快地点开录音，因为这说明有朋友想和他聊点什么，比如约他一同出游又或者是有聚会邀请。但现在，他没有去听录音的冲动，也不会期待电话那头有什么好事情。所罗门一般会选择长时间地呆在昏暗的房间中，等他意识到自己饿了的时候，才会去煮一点速食类食物。那些他曾喜欢做的事情再也无法激发他的热情，他也无法找到做这些事情的意义。

由于整日躺在床上，所罗门的手臂出现了轻微中风的症状。有一天，他想打电话向其他人求助，但却迟迟无法做出实际行动。就在那时，他的电话响了，来电的是他的父亲。父亲在电话中告诉所罗门，“你不能再这样下去，你得做出改变。”第二天，所罗门起床后，终于决定去医院寻求帮助。经过心理测评后，医生告诉他，他患上了抑郁症。

抱着要治好抑郁症的决心，所罗门接受了定期前往医院进行心理咨询的建议，并且服用一些常规的抗抑郁药物，比如盐酸氟西汀。在长达数年的斗争中，通过规律作息、按时运动和服药，以及定期进行心理疏导，所罗门挺了过来，他不再被这种阴郁感所包围，而是回到了曾经最爱的社交活动中，甚至还投身到了抗抑郁的研究中，并且将自身的经历讲述给其他抑郁症患者，激励他们对抗抑郁症。

### 增长的患病率

所罗门能够摆脱抑郁症，是幸运的。根据美国国立精神卫生研究院（NIMH）的数据，在美国，像所罗门一样遭受抑郁症困扰的人可能超过 1600 万，抑郁症发病率高达 6.7%，也就是说每 100 个美国人中大约有 7 个人会患上抑郁症。而抑郁症及其造成的精神障碍也让许多人不仅要忍受生理上的病痛，还面临着精神上的折磨。

近些年，抑郁症的发展体现出了两个趋势。一是，青少年中的发病率在提高，抑郁症已经成为影响该群体健康的主要因素之一。美国疾病控制与预防中心（CDC）在 2016 年发布的一份报告中指出，11% 的美国青少年（0~17 岁）会经历一次严重的抑郁期，而这一数字比 10 年前提升了 2%。

二是，抑郁症的发病率在性别上具有明显差异，女性患抑郁症的几率大约是男性的 1.7 倍。这种差异与男女本身倾向于应对和需要应对的因素有很大联系，“用专业的语言来说，女性展现出的一般是内化症状，而男性则是外化症状，”加拿大渥太华大学的神经科学家保罗·阿尔伯

特（Paul Albert）解释说。举例来说，女性对人际关系和内心想法更敏感，而男性则要更看重外在因素，比如目前的职业状况和目标的实现情况。而由内部产生的情感变化更易影响大脑的生理过程，因此女性更容易遭受抑郁症的困扰。

还有一个最重要的原因是，女性更容易受到激素紊乱的影响，在不同的时期可能产生不同类型的抑郁症，比如产后抑郁、绝经后抑郁。在接受《环球科学》采访时，阿尔伯特表示，之所以会有这种现象，主要是因为卵巢激素在特定时期的分泌量容易发生波动。

雌激素循环容易受到干扰也是女性更容易患抑郁症的原因。科学家在一些灵长类动物实验中发现，与卵巢功能正常的猴子相比，刚经历绝经、雌激素分泌紊乱的猴子的大脑中，5-羟色胺的浓度会显著下降，海马体的体积也会减小，这些都是和抑郁症相关的神经机制。这些结果也说明，雌激素可能有助于女性对抗抑郁症。在这方面，男性则要幸运得多。男性产生的睾酮进入大脑后，会被转化成雌激素。而男性的睾酮水平总体上比较稳定，因此他们大脑中的雌激素水平也比较稳定，因此从这一方面来说，男性相对不易患上抑郁症。

### 致病因素

20 世纪初，有关抑郁症的分类和成因曾有过较大的争议，当时以德国大脑病理学家埃米尔·克雷珀林（Emil Kraepelin）为首的一派认为抑郁症是一种神经疾病，而奥地利心理学家西格蒙德·弗洛伊德（Sigmund Freud）和他的支持者则认为，人们的愤怒和失落感导致了抑郁症。

由于存在两种明显不同的分类方式，让抑郁症的诊断存在诸多不便和困难。到了上世纪 60 年代，马丁·罗思（Martin Roth）结合了这两种思想，在临床上将抑郁症分成了多个亚型，包括从轻微症状到严重精神障碍的多种级别。在这种分类方式下，抑郁症被归为“内源性”和“反应性”两大类，前者包括感染、免疫系统紊乱或者躯体疾病引起的情绪波动，后者则更多涉及压力障碍和情感挫折带来的情绪低迷。这样的分类方式被医学界采纳并沿用至今，成为了常规的抑郁症诊断标准。

现代医学在发展过程中也将抑郁症分为了重度抑郁症（Major Depressive Disorder）和双相情感障碍（Bipolar Disorder），后者除了常规的抑郁症状还会伴随躁狂症，是一种更加复杂的疾病分类，临床诊断的难度也要更大。

而在寻找抑郁症致病原因的道路上，多数研究者倾向

于将抑郁症的发病归因于环境和外界因素，例如长期经历慢性压力或者发生过一些具有负面影响的事件。许多抑郁症患者在发病前，都会经历超过自身承受能力，对精神系统具有严重打击的事件，这些事件也在心理学上被称为出口事件（exit event）和非意愿事件（undesirable event），其中最常见就类似于所罗门遇到的亲人逝世或离婚等情感危机。

另外，诸如社交孤立、失业、经济危机等事件也会影响个人情绪。而一些已经患有其他疾病的病人更是属于抑郁症的易感群体，例如癌症患者在接受长期的药物治疗后，体内的免疫系统会出现紊乱，而生理上经历的所有难以忍受的慢性疼痛都可能击溃病人的心理防线，最终演变成抑郁症。

除了环境的影响，科学家发现，如果家族史上有人患抑郁症，那么这个家族的后代会更容易患上抑郁症。但是，这种遗传性似乎并不遵循常规的遗传规律，换句话说，就是并没有哪一个主要的基因和抑郁症风险相关。这也是攻克抑郁症的难点所在——无法找到直接的基因靶标。

### 关键的奖励系统

从神经机制来看，抑郁症和大脑特定区域出现功能障碍有着密切关系，尤其是大脑奖励系统出现问题时，就可能产生抑郁症。埃里克·内斯特勒（Eric Nestler）是美国西奈山伊坎医学院的精神疾病专家，领导着一个专门研究抑郁症的实验室。他在接受《环球科学》采访时说：“大脑奖励系统就像是我们的情绪处理中心，许多抑郁症症状，如缺乏快感、缺乏动力、缺乏食欲都可能是奖励系统出现了异常。”内斯特勒一直试图弄清楚成瘾和抑郁症发生时，大脑经历了哪些变化。在他看来，成瘾和抑郁症一样，都是大脑奖励系统出现异常的结果，只是前者是被过度激活了，而后者是过于失活和疲乏了。

其实从演化上来看，其他动物的大脑中，也存在类似奖励系统的神经机制，甚至果蝇和蠕虫都有。“这是一套演化了近 20 亿年的神经系统，”内斯特勒说。在人类大脑中，与奖励相关的关键脑区包括伏隔核（NAc）和中脑腹侧被盖区（VTA）。VTA 中存在大量多巴胺神经元，这个区域的神经活动能影响多巴胺的分泌，而多巴胺是大脑奖励系统的关键因素。此外，VTA 也连接着伏隔核，形成了 VTA-NAc 通路，因此这一条通路也极大地影响着积极情绪的释放。

一些抑郁症的表现确实可以与奖励系统和 VTA-NAc

通路联系到一起，因为这条通路出现功能障碍，会让人失去激情，做事也没有动力，并且变得焦虑。“但这不是唯一的答案，前额皮层和海马体与抑郁症的症状也存在关联。这两个和认知有关的脑区，也可能引起患者的记忆受损、情绪低迷和无助感。”内斯特勒解释说，抑郁症和很多脑区都有关系，目前科学界还无法将抑郁症和特定脑区联系在一起。“抑郁症不像阿尔茨海默病、帕金森病或者亨廷顿病，这些疾病的产生都和特定脑区出现病变有关。”不仅如此，这几种神经退行性疾病还有一些关键的标志基因，而在抑郁症中，目前还没有发现非常明确的致病基因。

除了 VTA-NAc 通路之外，5-羟色胺这种神经递质可能也与抑郁症密切相关。上世纪 50 年代，在一项探究异丙烟肼治疗结核病的效果的试验中，医生发现，那些表现出抑郁症症状的结核病患者经过治疗后，抑郁症状也得到了明显改善。在后续的研究中，科学家发现异丙烟肼能抑制单胺氧化酶的功能，而 5-羟色胺、多巴胺都属于单胺，这意味着，如果服用异丙烟肼（阻止单胺氧化酶把 5-羟色胺转变为其他物质），就能提升大脑中的 5-羟色胺。

而就在那几年，相继有研究显示，5-羟色胺的前体 5-羟色氨酸能够提升实验动物大脑中 5-羟色胺的浓度，并且也能起到抗抑郁的效果。因此，一些科学家认为，抑郁症的出现可能与 5-羟色胺缺乏有关，并且开始针对这一点，研发抗抑郁药物。

从上世纪 60 年代到本世纪初，是抗抑郁药开发的黄金时代，诞生了许多这类药物，比如早期的单胺氧化酶抑制剂（MAOI）、三环类抗抑郁药（TCA，阻断血清素的再吸收过程），后来的 5-羟色胺重吸收抑制剂（SSRI，如西酞普兰和艾司西酞普兰），以及现在比较常用的由美国礼来公司研发的盐酸氟西汀（Prozac）。而这些药物的一个共同点就是，尽可能让大脑中的 5-羟色胺保持在较高的水平。

### 更多药物

但是，黄金时代过后，抗抑郁药物的研发却陷入了窘境。就像 Eric 所说，抑郁症很难和某个脑区联系到一起，而针对 5-羟色胺的药物也无法做到一劳永逸。并且，上述药物也不是对所有人都有效。根据美国国立卫生研究院（NIH）的数据，大约 100 个人里，目前只有 20 个人能够通过服用药物改善症状，这也是抗抑郁药物面临的最大困境。“最关键的是，这些抗抑郁药基本已经使用了 50 年，但在作用机制方面却没有本质上的改变。”耶鲁大学抑郁



埃里克·内斯特勒（Eric Nestler）是美国西奈山伊坎医学院的精神疾病专家，领导着一个专门研究抑郁症的实验室。

症研究计划主任杰勒德·圣阿科拉（Gerard Sanacora）在接受《环球科学》采访时说道。

内斯特勒在数十年的抑郁症研究中也发现了这一现象，“大多数人尝试的第一种药物都基本没用，你得反复地寻找能真正有用的药物，”内斯特勒表示，“我们确实需要一些全新机制的药物来拯救更多抑郁症患者。”而且，尽管这些抗抑郁药物对一些抑郁症患者有效，但科学界目前其实并不清楚它们是怎样起效的。

当然，这并不是说在过去 50 年中，科学家在抗抑郁药物的研究方面没有丝毫进展——兴起于上世纪 70 年代的新型麻醉剂氯胺酮目前是被寄予厚望的潜在药物。从目前的研究来看，氯胺酮有着迅速而持久的抗抑郁效果，可以说是近 50 年来精神病学领域最重要的发现之一。但在很长时间内，科学家都没有找到氯胺酮的具体作用脑区和机制，直到最近两年才有了一些关键发现。

2018 年，浙江大学的胡海岚在《自然》杂志上发表文章，对氯胺酮的抗抑郁机制进行了阐述。她和同事发现，一个名为外侧缰核（LHb）的脑区很可能是抑郁症的关键靶标，而氯胺酮就能作用于这个脑区。LHb 部分连接着处理情绪信息的边缘系统，其中包括大脑的奖赏中心。不过，LHb 的功能却与奖赏中心相反，它执行的是“反奖励”功能，或者说，它是大脑中的“失望中心”。

以小鼠试验为例。在迷宫中寻找食物时，如果小鼠在终点找到了食物，那么它的奖赏中心就会发挥作用，让小

鼠感到愉悦；反过来，如果小鼠没有找到食物，那么 LHb 就会响应，传达出失望的情绪，体现出预期没有实现的失落感。胡海岚和同事发现，易患抑郁症的小鼠的 LHb 脑区明显更活跃，会抑制正常的愉悦情绪。“与正常小鼠相比，抑郁症小鼠的 LHb 会如同机关枪一样，给下游脑区发送很多信号，”胡海岚说道。这就意味着，LHb 的放电模式失常很可能是导致抑郁症的根源。在大脑内，神经细胞上的 NMDA 受体在神经元放电过程中起到了很大作用，这个受体被激活时能引起钙流入神经元促发放电。氯胺酮恰好能够抑制谷氨酸 NMDA 受体的活性，因此氯胺酮能让不正常的放电过程恢复到正常水平。

而值得一提的是，将氯胺酮注射到 LHb 后，小鼠的抑郁症状很快就能得到改善——一小时内就能起效，这比现有所有药物的起效时间都短。“这意味着，氯胺酮可能是通过调节 LHb 的放电模式来发挥作用的。而且，它只需要作用于这一个脑区，就具有抗抑郁效果。”胡海岚解释道。另外，与常规的盐酸氟西汀相比，氯胺酮几乎没有什么副作用。

因为起效快，而且没什么副作用，很多制药公司都看好氯胺酮。去年，在经历了数十年的空窗期后，美国食品及药品管理局（FDA）终于批准了一种全新药物 esketamine，而这种药物的主要成分就是氯胺酮。值得一提的是，esketamine 是通过鼻腔喷雾来给药，而不需要患者口服药片。“esketamine 是过去 50 年里真正意义上的全新的抗抑郁药，”圣阿科拉说道。不同于以往药物针对的单胺系统，esketamine 完全就是针对谷氨酸系统起作用，“大约有 60%~80% 的脑细胞会使用谷氨酸作为化学信使分子，这意味将有更多人能够在更广泛的意义上从药物受益。”

除了氯胺酮，圣阿科拉也在开发更多针对谷氨酸递质系统的药物，比如 Lanicemine 已经在几年前通过了临床 II 期试验。在试验中，Lanicemine 同样能提供持久的抗抑郁效果。圣阿科拉乐观地认为，“未来的抗抑郁药物将会更多，许多有潜力的药物正在被发掘出来。”

在一些最新的研究中，一些转录因子也成为科学家关注的对象。转录因子会结合到基因的调节区域来调控基因表达，内斯特勒说：“我们已经发现一种转录因子能够调节药物成瘾和抑郁症，研发针对这类转录因子的药物，同样有望针对性地治疗抑郁症。”

现在，内斯特勒和很多科学家仍然在探索抑郁症的可能机制和应对方法，他们“正在挖掘更多的东西”。■



## 器官捐献难题

终末期的病患应该如何面对器官捐献？

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis) 翻译 贾明月

当弗雷德·吉利斯 (Fred Gillis) 站在冰面上，手握冰球棍，但不知道为什么总是打不到球时，他意识到自己的身体出现了问题。随后几个月，吉利斯的手臂持续变弱，很快，刷牙都需要用两只手才能完成，清理餐桌时他甚至无法举起一个盘子。

2015年，52岁的吉利斯确证自己患上了肌萎缩性脊髓侧索硬化症 (amyotrophic lateral sclerosis, ALS)，这是一种致命的运动神经元疾病，也叫卢·格里克病 (Lou Gehrig's disease)。他的妻子拉娜·格雷瓜尔 (Lana Gregoire) 回忆道，“他最抗拒的死亡方式就是这种。”

吉利斯和格雷瓜尔都在加拿大执法部门工作，他们关于死亡的看法很实际，也很熟悉死亡。“我们会使用这三个词描述死亡，首先你要‘接受’，然后要‘适应’，接着要变得‘平静’。”作为一个全心服务公众的人，吉利斯主动参与了ALS的研究，还为研究筹集资金，他由此获得了平静。当加拿大颁布了一项新的法案后，他还获得了一次新的机会，让临终也变得更更有意义。2016年6月，加拿大成为世界上第六个允许医学辅助死亡 (MAID) 的国家，以此帮助终末期病患结束痛苦。器官捐献组织也在开发指南，希望选择MAID

克劳迪娅·沃利斯是《科学美国人·精神》前主编。



的患者可以制定计划捐献器官。

吉利斯并不喜欢“安乐死法案”，但当他得知自己可以把MAID和器官捐献计划结合起来时，“他欣喜若狂，”格雷瓜尔说。把安乐死和器官捐献结合起来，听上去很合逻辑，但这种做法在伦理上存在瑕疵，并没有广泛应用。2017年，荷兰成为第一个发布这种临床操作指南的国家。荷兰建立了一个关键的伦理原则：寻求MAID的决定必须先于器官捐献计划，并且与后者分开进行，这样，患者才能在没有捐献压力的情况下做出重大的选择。

在加拿大，每个省都有各自的器官捐献组织，其中只有一部分在与MAID患者合作。最近一期《新英格兰医学杂志》报道了其中3个组织与第一批30名MAID捐献者合作的经验。在加拿大，研究者考察了56名被认为符合条件的患者，其中30名患者最终捐献了总计74个救命的器官。

“我们从这些患者获得的反馈是，他们希望获知这种机会，并且希望自己做决定。”加拿大安大略省延龄草生命遗泽网络 (Trillium Gift of Life Network) 首席医疗官安德鲁·希利 (Andrew Healey) 说，他也是上述报告的作者之一。“不管是同意捐献还是不同意，患者都会很自然地说出自己的意愿。”他说，在其他允许安乐死的国家，一般来说，提出捐赠的必须是患者本人。

在美国，有9个州加上华盛顿特区许可MAID，但MAID并未与器官捐献绑定在一起。当然，任何晚期病患都可以指定自己的器官用于捐献，但是由于死亡来得太慢，这种计划往往会落空，美国威斯康星大学医学与公共卫生学院的移植外科医生乔舒亚·麦兹里奇 (Joshua Mezrich) 说。即使患者在使用生命支持设备，并且决定停止设备，器官还是有30%的概率因血压下降、循环慢慢停止而无法使用。麦兹里奇动情地描述了一位名叫韦恩·本德 (Wayne Bender) 的ALS患者，他生前希望捐献一颗肾脏，并希望死后捐献更多器官。但是，一样也没成功。医院的法律专家因担心本德死于肾脏捐献而否决了捐肾的计划——如果因捐献器官而死亡，会违反《死亡捐献者条例》 (Dead Donor Rule)，这是器官移植的根本原则。而本德的死亡过程又太慢，他的器官无法在他去世后得以利用。

有些专家提出了一个“临终捐献”的概念，这让本德考虑的肾脏捐献得以实现，但这种做法的道德和法律地位仍然模糊。不过，MAID之后的捐献会很顺利，因为患者接受静脉注射安乐死药物后死亡过程很迅速。弗雷德·吉利斯死于2018年4月，去世时捐献了两颗肾脏，以及肺和肝。■

# 为什么有人相信地球是扁平的

在美国，不仅有人相信地球是扁平的，还有人认为恐龙是伪造的。

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪

今年2月22日，外号“疯子”的迈克·休斯 (Mike Hughes) 操控的自制蒸汽火箭在起飞后不久坠毁，休斯当场身亡。休斯之所以出名，是因为他坚信“地球是平的”，是一位地球扁平论者。他还加入了一个人数不断增长的组织，成员们都不接受地球是圆的这一事实。这次致命的发射对休斯来说，只是常见的鲁莽行为，并不是为了给“地球扁平论”搜集数据。不过，在Space.com网站的报道中，还是引用了他在2017年的一部纪录片中说过的话：“我要在这个地方建造我自己的火箭，我要亲眼见证我们生活的这个世界是什么形状。”

无论如何，休斯的死让他们的信仰短暂地登上了新闻媒体，也使我挖出了去年对迈克尔·马歇尔 (Michael Marshall) 的一篇访问。马歇尔是“良好思维学社” (Good Thinking Society) 的项目主任，这家英国学社有一个愚公



制图：马特·科林斯 (Matt Collins)

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。



移山式的使命：“激发好奇的心灵，促进理智的探索”。关于为什么有人会相信地球是平的，马歇尔也成为了一名专家。

“确实有人认为地球是碟子形状的。”马歇尔说，“不过地球扁平论还有别的形式……比如有些人相信大地是一块无限的平面，朝着各个方向伸展……当我在2013年第一次接触地球扁平运动时，曾有过一场相当喧嚣的辩论。”与会者在会议上争执不下，还有些与会者其实相信地球是圆的，他们来参加会议是觉得和“地球扁平论者”掺和一下挺有意思。但结果证明并不像他们想的那样。

马歇尔介绍说：“掺和这个会议的人在辩论中插话说，可是那些从太空中拍摄的地球照片呢？还有轮船从地平线上消失的现象怎么解释呢？他们不知道，‘地球扁平论者’一早就想过这些问题了。”不仅想过，还提出了具有说服力但未必正确的答复。“结果‘地球扁平论者’赢得了辩论……并在赢了之后招募到了更多信徒。”

到2016年，又有几条网络视频火上浇油。马歇尔说，那些视频的内容非常直接：“证据一：地平线看上去是平的。证据二：即便你爬上一座高山，地平线看起来仍是平的。证据三：水无法在弯曲的表面上附着，总会流淌成平面，所以水是不可能附着在一个球体上的。然而这些都是过于简化的论证。”

视频网站的推荐算法也推波助澜，将关于“地球扁平论”相关的视频推荐给了其他信徒。马歇尔这样做了介绍：“比如你正在观看一个否认登月的视频，这时网站就会说‘我看你对否认登月有点兴趣，那你或许也想了解一下地球扁平论。’接着，地球扁平论的视频就浮现出来等待你去点击。一旦有人点进去，就会巩固这个链接。”就这样，地球扁平论这个离奇而又自带幽默的信念，就成为了马歇尔所谓的“阴谋论生态系统”的一部分。

马歇尔说：“我去过一场阴谋论的研讨会，十分令我吃惊的是，关于地球扁平论的材料竟是那样少。”比如，他旁听了一个阴谋论者关于世界新秩序的一场报告。“报告还指出了为什么恐龙是伪造的。”

不必惊讶，除了地球扁平论，反疫苗材料和其他可怕的健康信息也在会上流传。马歇尔回忆，会上的一个主讲人告诉听众：“有一个办法可以治好所有的病，包括艾滋病，那就是把你自己的尿液喝下去或是注射到体内。”我还以为，就算一个人不知道希腊数学家埃拉托色尼在2000多年之前就精确估算了地球的周长（由此证明了大地是球形），他也会认为注射尿液是个比尿还臭的主意。我还是高估他们了。■





## 语音奇点

现有的语音识别软件，可能永远无法达到 100% 的准确率。

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush) 翻译 赵剑琳

回首 2010 年，马特·汤普森 (Matt Thompson) 在美国国家公共广播网 (NPR) 的一篇评论文章中预言：“在不远的将来，自动语音转录技术将变得快捷、好用，而且是免费的。”他将那一时刻称为“语音奇点”，巧妙地借用了发明家雷·库兹韦尔 (Ray Kurzweil) 的“奇点理论”——后者认为我们的意识有朝一日可以上传到电脑上。汤普森还预言，可靠的自动语音识别 (ASR) 软件将会改变记者的工作，更不用说律师、销售人员和听力障碍者了，所有处理语言说和写的从业人员都会受到影响。

汤普森的预言曾令我十分激动，我迫切希望有一种技术能把我从令人疲倦的整理采访记录的工作中解脱出来。不过，虽然他在广播领域有着辉煌的职业生涯，而且还在继续（他目前担任 NPR 调查报道中心的主任，负责《揭秘》节目等），但他预言的“语音奇点”似乎遥不可期。

不过，我们显然已经取得了重大的进展。大量初创企业，

韦德·劳什是播客 Soonish 的主持人和制作人，也是播客 Hub&Spoke 的联合创始人。他还是多个纸刊、网页新闻和广播机构的自由撰稿人。



例如 Otter、Temi 和 Trint，开始提供在线服务。用户可以上传数字音频文件，在几分钟后就能获得语音转录的文本。在我担任音频制作人时，几乎每一天都在使用这些服务。服务软件生成文本的速度在提升，而所需的费用也在不断降低，这确实令人欢喜鼓舞。

但文本的准确率却是另一回事。2016 年，微软研究院的一个团队宣布，他们的机器学习算法经过训练后，将标准语料库的录音转换成文本的准确率高达 94%。在微软的测试实验中，这一软件几乎能和专业的转录员做得一样好，大量媒体也开始称赞语音识别软件与人类“平起平坐”的时代已经到来。

但事实上，最后 6% 的准确率才是真正的难题所在。一个更惨痛的教训的是：校对一份准确率为 94% 的文本耗费的时间，几乎和直接手动转录原始录音所耗费的时间相差无几。而在这一次突破的 4 年后，Temi 等服务软件仍没能将准确率提高至 95% 以上，而且只能处理音质清晰、没有口音的语音。

准确率为何如此重要？举一个例子，越来越多的音频制作者在发布播客时会遵循着网络的易用性规范，附带一份文本版本，但是，如果文本里的文字每隔 20 个单词就出现一处错误，那肯定没人愿意看。再考虑一下，如果像 Alexa、Bixby、Cortana、Google Assistant 和 Siri 这样的语音助手能够正确识别它们接收到的每一个问题或指令，能给人们节省多少时间？

ASR 软件可能永远无法达到 100% 的准确率。毕竟人们说话未必总是十分流利，即使是使用母语。语言中也有太多需要结合上下文才能理解的同音异义词。（语音转录服务曾将“iOS”识别为“Ayahuasca”。）

但我所期望的是，这些语音服务还能提升 1%~2% 的准确率。在机器学习领域，为了减少算法错误率，一个至关重要的方法是提供更多高质量的训练数据。因此，大多文本转录服务商都会采用不侵犯隐私的方式搜集更多的数据。举例来说，每一次我修订由 Trint 或是 Sonix 转录的文本时，我都在生成一份验证过的符合原始录音的新数据，这可以用于提升算法模型的质量。如果这能让今后的错误率变得更低，我很乐于让这些企业使用这些数据。

显然，增加训练数据是实现“语音奇点”的方法之一。随着我们和机器对话的数量增多，我们产生的音频数量也会与日俱增，可靠的语音转录技术将不再是奢侈的幻想或是遥遥无期的目标，它必然会实现。■

# 最早的外星人猜想

我们是从什么时候开始谈论外星生命的？

撰文 凯莱布·A·沙夫 (Caleb A. Scharf) 翻译 高宏

在今天这个时代，我们在非常认真地寻找地球之外的生命迹象，所以思考一下“地外生命”这个概念本身的历史是很有趣的，这并不是打发时间的无聊之举。我们思考自然世界的方式，以及我们提出问题的方式，总是会被我们先入为主的偏见和推测所影响。更好地理解这些倾向可以帮助我们避开明显的陷阱。

此外，关于外星生命这个概念的历史本身就非常引人入胜。根据记载，最早提到外星生命的文字材料之一是公元200年由萨莫萨塔 (Samosata, 在土耳其东部) 的卢西恩 (Lucian) 所写，他可能是一位作家和修辞学专家。他的作品当中，有一本小说，叫《真实的故事》(True Story)，详细讲述了一次月球之旅以及在那里发现的大量生命。在卢西恩的小说中，月球上的生命包括三头秃鹰、长着翅膀的草鸟、流着奶的人类，以及大象大小的跳蚤。

很明显，这个故事是虚构的，卢西恩也没有掩饰这是一个幻想。事实上，他在一定程度上讨论了一些哲学观点，即什么是真理的，如何判断真理等。

这是已知最早的关于外星生命的“科幻故事”。有趣的是，在18世纪末到19世纪初，在天文学家威廉·赫歇尔 (William Herschel) 的推波助澜下，一些人认为太阳上也可能存在生命，这个说法甚至广为流传。赫歇尔应该不是在写科幻小说，他真的怀疑在一个假想的固体表面上，



凯莱布·A·沙夫是哥伦比亚大学天体生物学教授，撰写过100多篇天文学和天体物理学论文或科普文章。



可能有生物存在于太阳上。

月球一直是一个很好的“孵化器”，“孕育”了很多关于外星生命的想法。比如在10世纪，日本的一个传说“卡古雅公主的故事”就讲述了这位公主在一场天堂战争中被月球人送到了地球上。这个故事中，外星生命是以人类的形式出现的。

另一个有趣的现象是，从古代开始，人们就倾向于假设外星生命会像我们一样，或者认为外星人与人类完全不同。尽管出现了这种分裂，但在18世纪到19世纪之间，人们对地外生命的想象只与人类的形态稍有出入，例如伏尔泰这样的作家在他的微型小说《微型巨人》(Micromégas) 中描写了来自土星的外星人，尽管有1800多米高，但基本上还是人类模样。

直到达尔文的演化论横空出世，人们才开始把外星生命想象成与起源环境相关的生物。到目前为止，任何非人类的东西，比如卢西恩描述的野兽，往往比任意想象的“奇幻角色”更普遍地出现在科幻或幻想类故事中。

法国天文学家卡米尔·弗拉马利翁 (Camille Flammarion) 是一个拥有前卫思想的思想家。1864年，他写了一本名叫《真实的和想象的世界》(Real and Imaginary Worlds) 的书，并在1887年，创作了一幅名为《流明》(Lumen) 的虚构作品。在其中，他合成了在许多方面都有当时科学思想基础的外星生命。例如有感知的植物，它们的消化系统和呼吸系统是结合在一起的；像美人鱼一样的生物在玫瑰色的海洋中游泳；像人类一样的生物，脚后跟有多余的脚趾，头上有一个圆锥形的耳朵。

总之，我们关于外星生命的想法在历史上有许多趣闻轶事。但最惊人的事实之一是，虽然我们已经思考这些事情很长时间了，但是，我们一直在努力将我们的想象力与“合理的”生物学机理结合起来，而不只是转向我们在地球上所知道的那些已存在的生命形态。

演化是一个惊人的“发明者”。我们可能会观察一个行星的环境，并提出生命可以采取的演化策略，但除了基本的功能（例如利用阳光，或利用氧化和还原化学机制）可以预测之外，猜测生命将要经历的演化过程是极其困难的。

换句话说，如果我们发现了外星生命，无论是显微镜下的微生物，还是几百米高的庞然大物，首要的一条是：它们可能会非常非常奇怪。■

本文译者 高宏是大连海事大学物理系教授。



## 1970年6月

### 基因开关

基因是如何接受控制的? 所有细胞都能打开或关闭自身的

基因, 例如, 一个细菌或许会用到不同的酶, 以此消化新环境中的新食物。另外, 当一个简单的病毒在经历生命周期时, 它的基因也会先后开关, 顺序发挥作用, 以此指挥不同的生物化学事件。当更加复杂的有机体从卵细胞开始发育时, 它们的细胞需要调控(打开或关闭)数千个不同的基因, 这种调控可能会一直持续, 贯穿有机体的整个生命周期。

当然, 这种调控需要许多精确的动作来配合。在过去十年中, 研究人员已经用专业的术语描述了这样的一

种调控机制: 有一种名为“阻遏子”(repressors)的分子, 它可以对特定的基因进行调控。

——马克·普塔什尼 (Mark Ptashne) 和沃特·吉尔伯特 (Walter Gilbert)



## 1870年6月

### 机器时代

单单是胜家缝纫机公司这一家公司, 每天就能产出500台

缝纫机。如今, 工厂全天开动, 日夜不休地进行着生产工作, 而机器则源源不断地从生产线诞生。

### 线条勾勒的美

这是美国匹兹堡市的阿勒格尼桥。我们相信, 下面的说法传达了工程师和建筑师的普遍观感: 作为本期版画的题材, 这座桥梁是北美大陆上同类建筑中极其优雅的一座。当你从某个角度观看它时, 其轮廓之优美是任何其他桥梁所无法比拟的。这座美丽的大桥在1860年设计并且建造, 设计师为已故的约翰·A·罗布林 (John A. Roebling)。

第六大街上的这座桥梁于1892年拆除, 原地建起了一座更加结实的大桥, 用来承载现代交通。



1870年: 约翰·A·罗布林设计的这座优雅桥梁充分利用了铁质建筑材料。

### 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



## 1920年6月

### 放大声音

安装在美国芝加哥体育场的那套扩音电话系统已经有近十年

的历史了。它的开发工作大多是在纽约最繁忙嘈杂的一条滨水街道上完成的。在嘈杂的人群和卡车撞击石质路面的喧嚣声中, 卡车司机惊讶地听到了一种奇怪的声响。它似乎就在众人的耳边, 正郑重而清晰地背诵着一段韵文, “希克里, 迪克里, 码头里, 老鼠跑进时钟里”。那只喇叭位于高高的实验室大楼的顶部, 这些卡车司机很难看见它, 也猜不出现在正在开展一项扩音测试。在将来, 这套系统会用于宣布美国总统候选人提名。■

### 传奇故事



### 桥梁: 一项“文明的指标”

在很大程度上, 架设桥梁跨越天然障碍的工程技术体现了人类满足未来旅行需求的能力。在英国, 一些沼泽上方就有新石器时代建起的木栈道, 可以追溯到大约6000年前。后来木材让位于石材, 接着又被钢铁所取代。19世纪晚期, 当工厂用贝塞麦炼钢法生产出了便宜的钢铁, 便开启了桥梁建设的新时代: 优雅的钢质桥身跨越了越来越远的距离。在1921年11月的一篇文章指出, 桥梁标志着“人类建造技艺的进步, 而建造技艺可认为是人类文明与文化的一项指标”。如今, 最长的桥梁(丹昆特大桥)长达164千米, 它跨越了运河、稻田和湖泊, 托举起京沪高铁的轨道。

# 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)



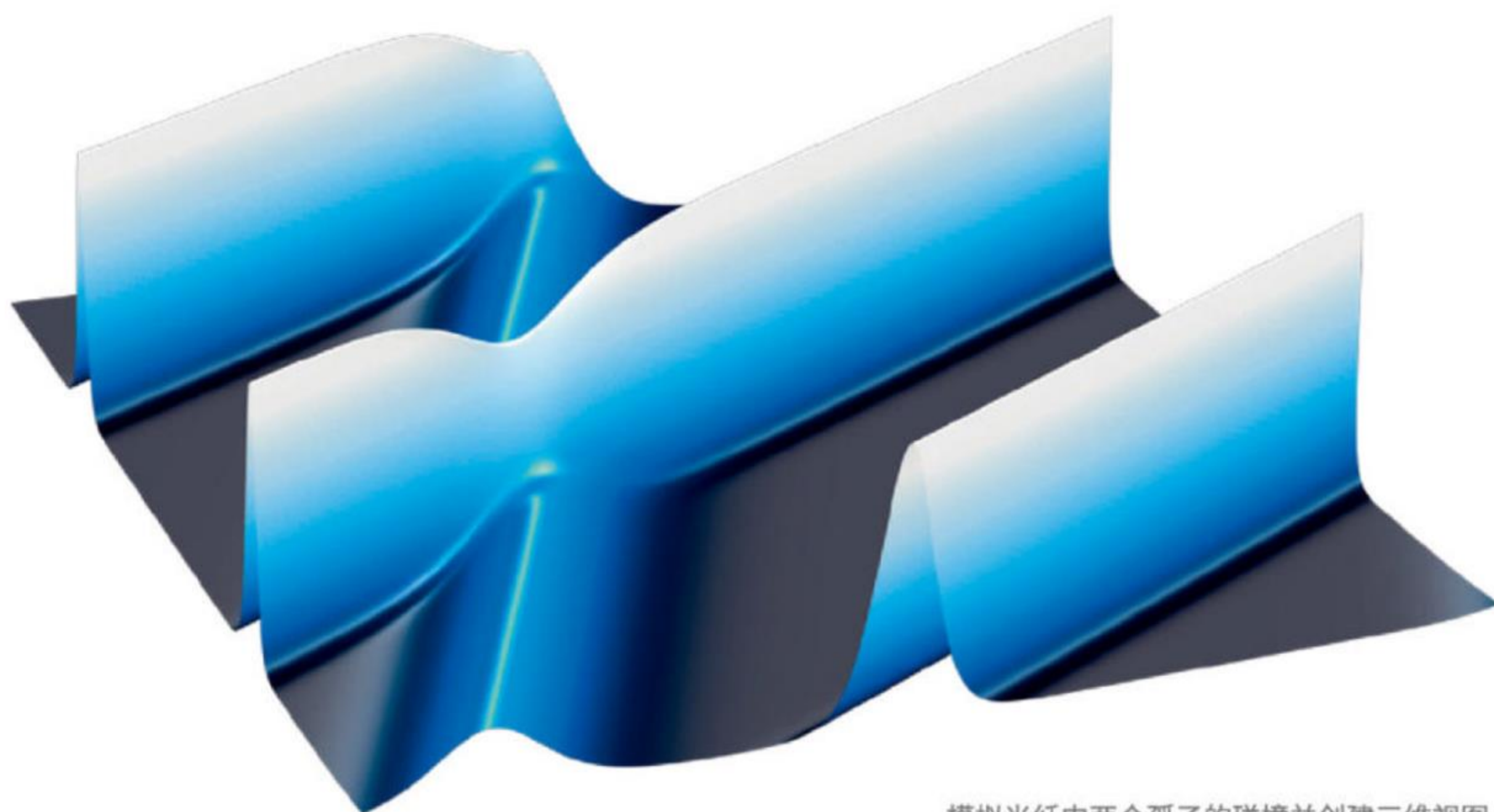
热点话题 | 在线课堂 | 专家问答 | 视频音频  
汇集海内外优质科普资源 构建多元化立体传播

关注“互动科普”公众号  
获取更多精彩内容



 互动科普  
hudongkepu.com

# 借助仿真探究光纤中的孤子



模拟光纤中两个孤子的碰撞并创建三维视图。



扫描二维码，关注  
COMSOL 微信公众号

科学家于 19 世纪在运河中发现了一个似乎会永远传播的波。这种被称为“孤子”的波，在光通信领域有着广泛的应用。COMSOL 多物理场仿真软件的出现，使工程师可以高效地研究光孤子通信技术。

了解 COMSOL Multiphysics® 多物理场仿真软件在更多工程、制造和科学研究中的应用，请访问：

[cn.comsol.com/c/aghf](http://cn.comsol.com/c/aghf)