

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3月号 总第185期
每月1日出版
定价：¥30



大脑的精密地图

大脑中的一系列地图，不仅能帮助我们识别所处的空间位置、前进的方向，还能让我们区分复杂的社会关系、发展社交网络。

PLUS

捕食细菌的细菌

或许，这种捕食细菌的细菌会成为对抗耐药菌的强力武器。

宇宙的第一个分子

天文学家利用SOFIA望远镜，找到了星云NGC 7027中的氨合氢离子。

飞机为何能飞起来

现在，连科学家也不得不承认，“这个问题没有简单的答案”。



绿色印刷产品



CONTENTS | 目录

2020年3月号



封面故事 COVER STORY

大脑的精密地图

当我们走进任一物理空间时，大脑的不同脑区、功能各异的细胞就会开始协作，绘制一幅精密的地图。这幅认知地图不仅能让你分辨现实所处的位置，判断与目的地的远近，甚至还能延伸至抽象的社会关系。利用这幅最复杂的地图，个体能够随时获取快速通道的方向，并且认识自己的社交地位，发展社交网络。

22

生物学 BIOLOGY

28 捕食细菌的细菌

撰文 斯特凡·雅凯 (Stéphan Jacquet) 雅德·伊兹丁 (Jade Ezzedine)
上世纪 60 年代，一位德国生物学家发现了一种奇怪的细菌，它们会附在其他细菌上，甚至钻进这些细菌的细胞里，取食细胞内的物质。很长时间内，这种会捕食其他细菌的细菌都没有得到科学家的重视，但随着耐药菌的日渐壮大，科学家看到了一种可能性：也许，这种捕食细菌的细菌会成为对抗耐药菌的强力武器。

医学 MEDICINE

38 AI能取代医生吗

撰文 萨拉·里尔登 (Sara Reardon)
在医学领域，AI 已经吸引了足够多的目光：对于某些疾病，AI 的诊断正确率已经不低于人类医生。但是，AI 同样面临很多问题，在不同的地方，面对不同的患者群体，AI 的诊断准确率就可能发生变化。最关键的问题是，在很多时候，科学家并不知道 AI 是如何做出诊断的。也许，人工智能结合人类医生的经验，才是更好的解决方案。

天文学 ASTRONOMY

44 宇宙的第一个分子

撰文 瑞安·C·福滕伯里 (Ryan C. Fortenberry)
数十年前，天文学家就推测宇宙中的第一个分子是由氦原子和质子形成的氦氢离子 (HeH^+)。但这一理论一直缺乏观察数据，关键在于 HeH^+ 几乎转瞬即逝，只存于类似早期宇宙的环境中。不过最近，天文学家利用 SOFIA 望远镜，找到了存在于星云 NGC 7027 中的 HeH^+ ，这一发现不仅能帮助人类理解早期宇宙的化学进程，或许还能解释有机生命的出现。

物理学 PHYSICS

52 飞机为何能飞起来

撰文 埃德·里吉斯 (Ed Regis)
飞机为何能飞起来？当飞机以极高的速度移动时，机翼上方的空气压力会比下方的压力低，因而会产生升力，让飞机飞起来。这是到今天为止都颇受认可的一种理论。但是，这种理论无法解释机翼上方的低压是如何形成的。除此之外，其他理论同样只能部分解释飞机为何能够飞起来。科学家也不得不承认，“这个问题没有简单的答案”。

军事 MILITARY

60 当机器人踏上战场

撰文 诺埃尔·夏基 (Noel Sharkey)
目前，一些国家正在开发，甚至已经在部署自主武器系统，包括由计算机算法控制的坦克、飞船和舰艇。这些武器拥有自主选择攻击目标和时间的能力，因而拥有前所未有的战斗能力。但是，自主武器系统的出现，也给人类未来蒙上了一层阴影。如果这类武器成为主流，一旦武器系统判断错误，或者被黑客操纵，那么就有可能引起毁灭性的全面战争，甚至可能摧毁人类文明。

能源 ENERGY

66 氢能再次崛起？

撰文 彼得·费尔利 (Peter Fairley)
欧盟委员会计划在 2050 年实现净零碳排放，而可再生氢能恰好是这项计划的核心工程。但是，当电动汽车抢走氢能燃料电池的“绿色光环”，氢能本身也存在易泄漏、易爆炸的问题时，这种曾经被寄予厚望的能源形式，真的可以担当大任么？随着电解槽技术的升级，氢存储和燃烧技术的更新，事情正在发生有利的转变。

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



CONTENTS | 目录

2020年3月号



60



74

演化 EVOLUTION

74 文明的诞生

撰文 弗朗切斯科·德里科 (Francesco d'Errico) 卢纳·希基 (Lounès Chikhi)

直至上世纪 90 年代, 仍有许多学者认为, 人类在 5 万年前突然获得了认知能力, 随后才产生了拥有复杂的语言和符号系统的人类文明。然而, 最近的考古发现显示, 人类文明真正的演化过程要复杂得多。古人类学家甚至无法判断, 认知能力的突然提高和人类文明的出现, 是否与智人物种的形成过程有关。

医学 MEDICINE

84 赛场上的疼痛、伤病与死亡

撰文 大卫·爱普斯坦 (David Epstein)

当运动员身处竞技场时, 需要面对高强度的运动压力, 身体也经受着非同一般的挑战。那些在普通人身上不那么有害的基因突变, 却可能给运动员带来病痛甚至伤亡。造成肥厚型心肌病的突变就是其中非常重要的案例, 这种突变是年轻人群猝死的原因, 更是年轻运动员猝死的首要原因。而且, 带来伤病和疼痛的突变, 还不止这一点。

对话 DIALOG

88 谢诺夫斯基: 人工智能的下一阶段

本刊记者 吴非

30 多年前, 特伦斯·谢诺夫斯基的发明让神经网络走向舞台中心, 奠定了人工智能的发展方向; 现在, 这位已经功成名就的“深度学习先驱”正在向自然界学习, 思索如何让人工智能走向下一个阶段。

前沿 ADVANCES

- 12 用光纤监测地震
- 镂空纳米粒子
- 野火对生物有益?
- 红薯的预警信号
- 白噪声能优化听力?
- 抗生素加剧环境变化?
- 量子互联网更进一步
- 全球科技热点
- 重绘南极大陆地形图
- 重新构想未来

专栏 COLUMN

08 《科学美国人》国际版本速览

时间晶体 TIME CRYSTAL

09 探寻外星科技的迹象

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek)

在遥远的星球上, 大气与温度的异常变化或许是存在外星生命的第一条线索。

10 全球学术期刊概览

健康科学 THE SCIENCE OF HEALTH

92 药物比心脏手术更实用?

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis)

对某些最常见的心脏问题来说, 药物是替代手术的可靠方案。

反重力思考 ANTI GRAVITY

93 昆虫浩劫

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)

各种户外灯光都会对昆虫造成致命的威胁。

科技投资 VENTURES

94 AR时代要来了?

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush)

所有人都能用 AR 进行工作、学习和娱乐的时代, 似乎已经近在眼前。

数据 DATA

95 人造肉营养分析

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

与普通的牛肉汉堡相比, 人造肉汉堡的优势在哪里?

96 经典回眸 50,100&150 YEARS AGO

2020年《环球科学》 国际科学夏令营招募



扫描二维码
填写报名表



扫描二维码
查看详细行程

德国、美国，“科学梦想季”即将开启！



010-57101895
18610619968



美国 NASA

NASA 航空航天科技夏令营

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

时间：2020年7月30日至8月12日

地点：亨茨维尔、洛杉矶

招生对象：10-17岁优秀中小学生，对航空航天领域有浓厚兴趣



德国哥廷根大学

访问 www.huanqikexue.com,

点击“品牌活动”-“科学营”

查看更多信息

XLAB 国际科学夏令营

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

时间：2020年7月（日期待定） 地点：哥廷根、慕尼黑

招生对象：16-23岁优秀青年学生，热爱科学实验，英文熟练

环球科学 SCIENTIFIC AMERICAN

COPYRIGHT 版权

2020年3月1日出版 总第185期

主管单位 Authorities in Charge

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

主办单位 Sponsor

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

出版单位 Published By

《环球科学》杂志社有限公司
GLOBAL SCIENCE MAGAZINES Co. Ltd

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

社长 / 总编辑 Editor-in-chief

陈宗周 Chen Zongzhou

出版人 Publisher

刘芳 Liu Fang

编辑中心 EDITORIAL DEPARTMENT

执行主编 Executive Editor

褚波 Wave Chu

资深编辑 Senior Editor

吴兰 Wu Lan / 罗凯 F. Leocas

吴非 Wu Fei / 魏潇 Wei Xiao

编辑 Editor

龚聪 Gong Cong / 杨心舟 Yang Xinzhou

助理编辑 Assistant Editor

石云雷 Shi Yunlei

记者 Chief Reporter

方行苇 Fang Xingwei

特约记者 Contributing Reporter

陈耕石 Chen Gengshi / 吴好好 Wu Haohao

颜磊 Yan Lei / 杜立配 Du Lipai

网站 Website

袁雪 Yuan Xue

设计部 Art & Design

视觉总监 Visual Director

封雪英 Feng Xueying

编辑部热线: 010-85325871

新媒体合作: 010-85321181

运营中心 OPERATING DEPARTMENT

发行部 Circulation Department

发行热线 010-57439192

市场部 Marketing Department

市场热线 010-57101895

广告部 Advertising Department

广告热线: 010-85325810

读者服务部 Reader Service

晶晶 Jingjing 010-57458982

国际标准刊号: ISSN 1673-5153

国内统一刊号: CN11-5480/N 总期号: 总第185期

发行单位: 北京报刊发行局

全国各地邮局均可订阅 邮发代号: 80-498

广告经营许可证号: 京朝工商广字第8144号

印刷单位: 北京利丰雅高长城印刷有限公司

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

北京市绿色印刷工程

——优秀青少年读物绿色印刷示范项目

顾问委员会

中国顾问委员会

周光召 杨振宁 (以下按姓氏笔画)

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

全球顾问委员会

莱斯利·C·艾洛 (Leslie C. Aiello)
温纳·格伦人类学研究基金会主席

罗杰·宾汉姆 (Roger Bingham)
科学网络 (The Science Network) 联合创始人、负责人

G·史蒂文·博尔 (G. Steven Burrill)
美国博乐集团CEO

亚瑟·卡普兰 (Arthur Caplan)
纽约大学Langone医学中心医学伦理学
人口健康系主任

乔治·M·丘奇 (George M. Church)
哈佛医学院计算遗传学中心主任

丽塔·科尔韦尔 (Rita Colwell)
马里兰州帕克分校教授、约翰斯·霍普
金斯大学公共卫生学院教授

德鲁·恩迪 (Drew Endy)
斯坦福大学生物工程教授

埃德·费尔顿 (Ed Felten)
普林斯顿大学信息技术政策中心主任

凯格厄姆·J·加布里埃尔
(Kaigham J. Gabriel)
摩托罗拉移动公司副总裁

哈罗德·加纳 (Harold Garner)
弗吉尼亚理工学院生物信息学研究所
教授、医疗信息系统部门负责人

迈克尔·S·加扎尼加 (Michael S. Gazzaniga)
加利福尼亚大学圣巴巴拉分校Sage心
智研究中心主任

戴维·J·格罗斯 (David J. Gross)
2004年诺贝尔物理学奖得主、加利福
尼亚大学圣巴巴拉分校卡夫利理论物理
研究所教授、常任理事

莱内·维斯特高·哈乌 (Lene Vestergaard Hau)
哈佛大学物理与应用物理系教授

丹尼·希利斯 (Danny Hillis)
Applied Minds公司主席

维诺德·科斯拉 (Vinod Khosla)
科斯拉风险投资公司合伙人

克里斯托夫·科赫 (Christof Koch)
艾伦脑科学研究所CSO

丹尼尔·M·卡门 (Daniel M. Kammen)
加利福尼亚大学伯克利分校可再生能源
及新能源实验室主任、能源与资源研
究组特聘教授

劳伦斯·M·克劳斯 (Lawrence M. Krauss)
亚利桑那州立大学宇宙学家、起源项目
负责人

莫顿·L·克林格巴赫 (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、剑桥大学天文科学
研究所宇宙学和天体物理学教授

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

美国加利福尼亚大学圣迭戈分校大脑与
认知中心主任

丽莎·兰道尔 (Lisa Randall)
美国哈佛大学物理学教授

约翰·里根沃德 (John Reganold)
美国华盛顿州立大学土壤科学和农业生
态学终身教授

杰弗里·D·萨克斯 (Jeffrey D. Sachs)
美国哥伦比亚大学地球研究所所长

尤金妮亚·斯科特 (Eugenie Scott)
美国国家科学教育中心执行主任

特里·诺斯基 (Terry Sejnowski)
美国索尔克生物学研究所计算神经生
物学实验室教授、负责人

迈克尔·舍默 (Michael Shermer)
《怀疑论》杂志出版人

迈克尔·施耐德 (Michael Snyder)
斯坦福大学医学院遗传学教授

迈克尔·E·韦伯 (Michael E. Weber)
清洁能源孵化器负责人、美国得克萨斯
大学奥斯汀分校机械工程系副教授

史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg)
1979年诺贝尔物理学奖得主、美国得克
萨斯大学奥斯汀分校物理系理论研究所
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

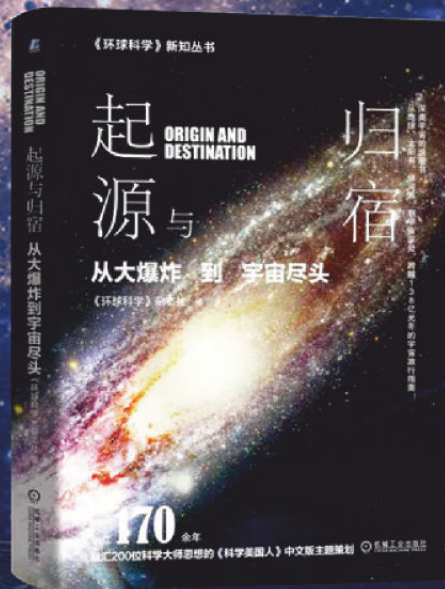


SCIENTIFIC AMERICAN
Established 1845

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

耐药菌危机

现在，我们已经知道，很多细菌都可以发展出对抗抗生素的能力，而且这种现象相当普遍，甚至成为了全球性的卫生难题。耐药菌的出现，与人们过度使用和不合理地使用抗生素有非常密切的关系。《科学美国人》意大利版的这篇文章，报道了耐药菌在欧洲的发展情况，描绘了一幅让人担忧的图景。比如在意大利，感染耐药菌之后，患者的死亡率在1/3左右。希腊的情况也不乐观，耐药菌对公共卫生的威胁也很大。其他欧洲国家也或多或少地面临这种情况。而且，感染耐药菌后，治疗费用也要比感染普通细菌高得多。尤其是在意大利，治疗耐药菌感染的费用是欧盟其他国家平均费用的两倍。因此，制定新的措施，阻止耐药菌的扩散和细菌耐药性的发展，已经迫在眉睫。

法国版

温度感知之谜

假如家里的温度是20°C。我们光着脚，先在客厅的木地板上走一圈，然后又去浴室里的瓷砖上走一下。相较而言，你肯定会觉得浴室里的温度更低吧？为什么我们对温度的感知会出现这种差别？科学家认为，这与两个因素有关，一是热量在我们的脚与不同地板之间的传递存在差异，二是我们的皮肤在感知不同物体表面的温度时，也存在差异。在热力学上，我们的皮肤的吸热系数大概是1500单位，而木地板大约为500单位，因此，皮肤与木地板的接触点上，温度约为32°C。与木地板相比，瓷砖的吸热系数要高不少，因此，当皮肤与瓷砖接触时，接触点上的温度就会更低，我们就会觉得更凉。

德国版

基因驱动技术

基因驱动技术是指，向某个物种引入“优势基因”，同时结合基因编辑技术，让这个“优势基因”迅速在物种内扩散开来，赋予物种新的特性。这种技术的应用，可以完全改变，甚至摧毁某个物种。比较典型的例子就是对蚊子的改造。由于一些蚊子会携带疟原虫，造成疟疾的传播，因此，科学家可以对蚊子的相关基因进行编辑，让经过基因编辑的蚊子无法携带疟原虫。在这个过程中，科学家还会在编辑后的基因附近，“安装”一个基因编辑系统，让子代蚊子的基因都以编辑后的基因为模板进行复制。这样，经过几代的发展后，编辑后的基因将在蚊群中占主导地位，所有蚊子都无法携带疟原虫了。

中国台湾版

人类何时学会跳舞？

在几千年，甚至几万年前前的洞穴壁画上，考古学家都曾发现与跳舞相关的画作。但是，考古学家没有明确证据可以证明更早的古人类也可以跳舞。不过最近，日本京都大学灵长类研究所的科学家发现，猩猩不需特别教导，也不需给予食物奖赏，就会自发地“闻歌起舞”。在这项研究中，科学家一开始是在实验室重复播放钢琴曲给一只母猩猩听，并把苹果作为奖励，教它学习跳舞。没想到，一个有意思的现象发生了：当母猩猩努力学舞时，隔壁房间的小猩猩（母猩猩的儿子）却自发随乐音摇摆身体，而且一再重复“舞蹈动作”，而非随机乱晃。这一现象或许暗示，人类祖先早就学会跳舞了。

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。



探寻外星科技的迹象

在遥远的星球上，大气与温度的异常变化或许是存在外星生命的第一条线索。

撰文 弗兰克·维尔切克 (Frank Wilczek) 翻译 胡风 梁丁当

通过探索系外行星，人们迄今已在太阳系外发现了4000多颗行星。对天文学家来说，探寻系外行星的最大挑战在于他们要找寻的并不是天空中最大、最亮或者最不寻常的那些星体。由于行星具有相对较小的质量和能量，它们比其环绕的恒星暗淡许多，所以很难辨认。但是，天文学家们已经攻克了这个难题。

目前，系外行星天文学发展了很多新技术。通过这些技术，天文学家可以搜索到更多的系外行星，并为我们提供关于这些行星的详细信息：不仅仅是它们的质量和大小，还包括它们的温度及大气成分。大气对于外星生命的探寻尤其重要，因为大气可能会受到生化过程的影响——正是通过这个过程，地球生物的光合作用产生了地球大气中的几乎所有氧气。在天体生物学领域——即研究地球外生命的学科，寻找生命的迹象是一个核心课题。

相比之下，人们较少关注另一个更令人瞩目的可能性：外星科技。未来的系外行星探索能否发现太阳系以外的先进技术的证据？这些证据又会以怎样的形式呈现呢？

如果一颗行星上诞生了一种技术先进的文明，他们或许会想移民到附近的其他星球，来让自身的生存环境多元化，就像埃隆·马斯克 (Elon Musk) 和杰夫·贝索斯 (Jeff Bezos) 等人大力倡导我们地球人所做的那样。为了让这些殖民星球适合大规模居住，可能需要重新改造它们的大气构成，使其与原来的星球相似。这些克隆系外行星会具有无法用其他原因解释的相似的大气，或许是外星科技存在的一个迹象。

还有一种可能性，外星文明会有意地利用温室效应来升高行星的温度。水蒸气和二氧化碳的积累会产生温室效应。失控的温室效应导致金星变成了“地狱星球”，也造成了众所周知的地球气候变暖。而一个先进的外星文明能够以一种可控的方式利用温室效应，提高冰冷星球的温度，让液态水能够正常存在，从而有利于生命的形成。又或者，这个文明可以改造大气，从而产生冷却效应。所以，

在探索系外行星的过程中，我们可能会发现这两种“非自然”形成的大气。

如果一颗系外行星呈现出异常的高温，这或许表明它正在使用人造能源。这可能是以核裂变或核聚变为动力的制造业造成的，也可能是因为存在类似于戴森球的结构。

戴森球是以物理学家弗里曼·戴森 (Freeman Dyson) 的姓名来命名的一个假想结构：即在恒星的外围制造一个由太阳能电池板组成的巨型装置，来截获恒星发出的大部分能量并将能量传给行星。

搜寻地外文明计划 (SETI) 所采用的传统策略是寻找外星先进文明发射的信号。但这是一种低效的策略，因为几乎所有潜在的信号都可能被我们的检测器漏掉。而系外天文学的发展为我们提供了另一种思路。想与外界联系的外星人可能通过其太阳系内的异常情况来吸引系外行星天文学家的目光，从而有效引起其他文明对其母星的注意。

这或许才是在宇宙中进行沟通的最实用的方法，也可能是比较有效地寻找外星生命的方法。■

全球学术期刊概览



领研网 www.linkresearcher.com



DOI: 10.1016/j.jcub.2012.11.058

《当代生物学》

聪明的孔雀鱼拥有更少的后代

不同动物间的对比表明，脑容量越大，智力就越高，但它们消耗的能量也越多，还会导致许多其他后果。如今，科学家也观察到了同一物种中不同脑容量的影响。瑞典的研究

人员对孔雀鱼进行了研究，他们将48条孔雀鱼分为两组，经过快速的改良培育后，第一组鱼的脑容量比第二组大9%。当所有的孔雀鱼接受学习测试时，脑容量大的孔雀鱼表现得更好。但是更大的脑容量也有不利的一面：这些更聪明的鱼内脏却更小；此外，脑容量大的孔雀鱼后代数量也少了19%。研究人员认为，为了给它们较大的大脑提供能量，这些聪明鱼做出的牺牲可能是进化上的劣势。



扫码收听英语
原声论文解读



DOI: 10.1037/a0037323

《实验心理学》

与陌生人交谈使人快乐

在踏入地铁、登上飞机或进入候诊室时，你可能会避免与任何乘客或病人聊天。但与我们的认知相反的是，如果与一个完全陌生的人搭讪，反而会更快乐。在一项研究中，来自芝加哥的一组通勤者被要求在火

车上与陌生人交谈，另一组则被要求安静地独自坐着，第三组通勤者只需要做他们通常做的事情。结果发现，与陌生人聊天的受试者感觉这段经历最愉快，而独处的受试者则感觉最不愉快。那么，尽管我们是社交动物，喜欢社交活动，但我们还是会避免与陌生人聊天，这是为什么呢？根据一项后续研究结果，这是由于我们错误地认为陌生人不想和我们说话。



扫码收听英语
原声论文解读



DOI: 10.1080/01973533.2019.1654866

《基础与应用社会心理学》

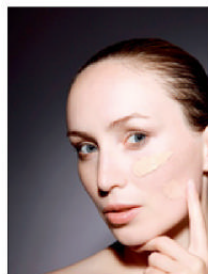
恶心感让人们难以接受再生饮用水

你愿意去喝曾经冲过马桶的水吗？当然，是在净化之后。气候在变暖，易干旱的地区数量也在持续上升，因此，将废水循环再生成再生水将成为必要之举。但即使再生水在净化后达到

的标准与商业瓶装水相同甚至更高，阻止人们接受再生水的主要障碍始终是恶心感。美国的研究人员在一项实验中让一些受试者观看宣传节约用水的短视频；在另一项实验中添加了一则视频，解释了为什么除去了所有污物的再生水还是会让人恶心。然而，两个视频对激发人们饮用再生水的意愿都没产生强烈影响，人们也不太愿意签名支持饮用再生水。研究人员表示，恶心感是一种如此强有力的核心反应，一旦产生这种强烈的情绪，仅仅提供更多信息不会真正有效果，因为恶心感并不是一种理性的反馈。



扫码收听英语
原声论文解读



DOI: 10.1016/j.jaad.2013.12.007

《美国皮肤病学会杂志》

相比健康，我们可能更看重美貌

哪种说法更能鼓励年轻人使用防晒霜：防晒霜有助于预防皮肤癌，还是防晒霜能让你保持青春美貌？为了找到结果，研究人员募集了50名

高校生观看视频，这些学生每周使用防晒霜的平均次数不到一次。一半的高中生观看的视频强调的是不用防晒霜将带来的健康后果，即一生只要有一次严重晒伤，患黑色素瘤的几率就会变大。而另一半人观看的视频则强调了阳光对外貌的影响：皱纹、暗斑、肤色不均、皮肤下垂以及皮肤粗糙，都是皮肤损伤的表现。6周后，前一组高中生并没有改变自己的习惯，但是后一组学生开始每周三次涂抹大量的防晒霜。该研究确实有一个局限性：年轻人的倾向很难被改变，所以相比健康，他们可能总是更看重美貌。然而研究人员说，同时综合健康和美容信息的公益广告或许恰好能鼓励更年长的人改变生活习惯。



扫码收听英语
原声论文解读



DOI: 10.1016/S1470-2045(08)70153-0

肌肉不仅能让身形体态更美观，同时也维持着积极的健康代谢。对于癌症患者来说，肌肉含量的高低可能会导致抵御癌症和预后效果上的差异。加拿大的研究人员对2115例呼吸道或胃肠道实体瘤患者进行分析，结果发现肌肉减少症患者中，47%出现了较差的功能状态，并发症较多；而在非肌肉减少症患者中，26%出现了较差的功能状态；肌肉减少症患者的中位生存期更短，生活质量也更差。研究人员认为，通过饮食干预提升肌肉质量，可以改善癌症患者的治疗及预后情况。

《柳叶刀·肿瘤学》

肌肉有助于对抗癌症



扫码查看最新
《柳叶刀·肿瘤学》
论文导读



DOI: 10.1038/s41586-019-1853-4

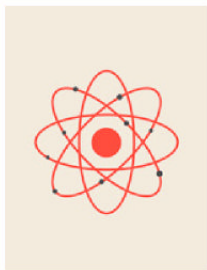
迄今为止，科学家已经发现了冰的18种三维冰相，但对于冰在二维极限下是否能独立存在的问题，一直存在很大争议。来自中国科学院物理研究所、北京大学和美国内布拉斯加大学林肯分校的中国科学家团队合作，首次在实验上证实了冰在二维极限下也可以稳定存在，并将其命名为“二维冰I相”。研究人员通过精确控制温度和水压，在疏水的金衬底上成功生长出了一种单晶二维冰，且结构非常稳定，与衬底相互作用很弱，是一种本征的二维冰结构。

《自然》

首次在实验上证实二维冰的存在



扫码查看最新
《自然》论文导读



DOI: 10.1038/s41586-019-1927-3

作为宇宙中最丰富的元素，氢常以气态的形式存在，相比气态氢，固态氢的性质则要复杂得多。早在80多年前就有物理学家作出预测，在极端高压的条件下存在可以导电的金属氢，但一直以来，固态分子氢究竟如何能转变为金属氢的问题一直悬而未决。法国的一项新研究发现了迄今为止能证明金属氢存在的最有力证据，研究团队利用可以承受极高压强的环形金刚石压砧，对氢施加压力，发现在温度为80K、压强为425GPa（4250亿帕斯卡）时，氢的反射率急剧增加，研究人员认为这种不连续的可逆变化正是氢转变为金属态的有力证据。

《自然》

金属氢存在的最有力证据



扫码查看最新
《自然》论文导读

领研网·论文频道



1 000+ 种
各学科优质期刊



20 000+ 篇
中文论文导读



50+ 家
出版方、国内外研究
机构合作精选



30 000 000+ 次
学术界传播及曝光

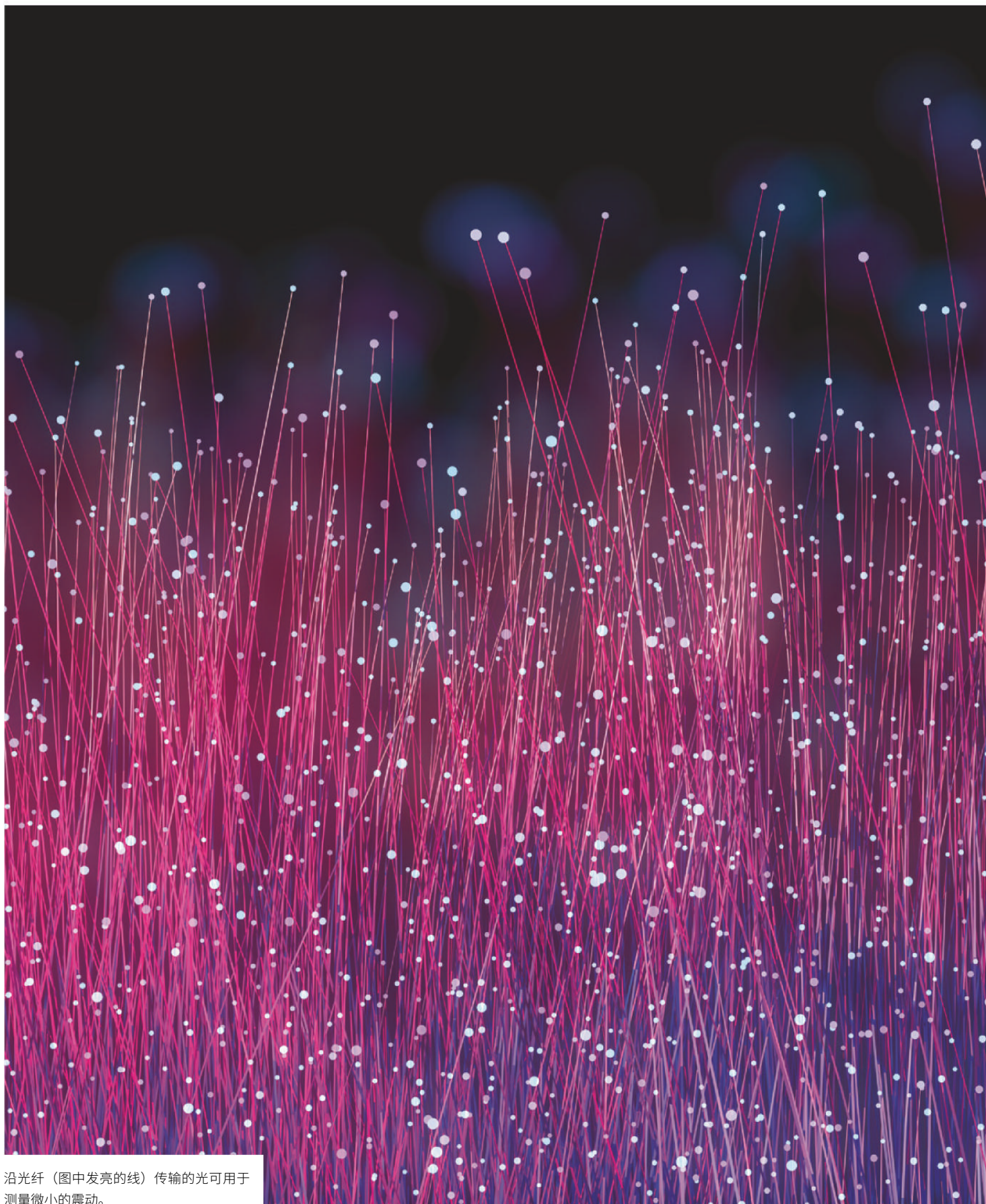


扫描二维码
订阅科学 60 秒
与最新论文

领研网

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

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



沿光纤（图中发亮的线）传输的光可用于测量微小的震动。



地质学

用光纤 监测地震

撰文 香农·霍尔 (Shannon Hall)
翻译 张哲

塞莱斯特·拉贝兹 (Celeste Labeledz) 听到了一声巨响，就好像是从冰层里传来的滚滚雷声。地震发生时她正在美国阿拉斯加的塔库冰川 (Taku Glacier)，这里被积雪覆盖，四周都是耸立的高山。

此次地震是由冰川突然运动引发的。她赶紧在笔记本上记下了时间。拉贝兹是加州理工学院的一名研究生，她正在铺设一套光缆，今后可用于研究地震——这是一种很有潜力的新方法，正在深刻地改变地质学及其相关领域。

当信息以脉冲光的形式在光缆中传输时，大部分光都会很安分地沿着比头发丝还细的光纤前进。不过，如果光纤中存在缺陷，部分光线会在被散射后向光源方向折回。

当光缆因为地震、卡车经过引发震动等因素被拉伸或弯曲时，散射也会表现出不同的特征。因此，科学家可以通过检测散射光的强度变化，量化震动的强度。这种技术被称作分布式声波传感 (distributed acoustic sensing, 简称 DAS)，在十多年前由

石油行业率先研发。

目前，这项技术也开始应用于学术研究。美国劳伦斯伯克利国家实验室（Lawrence Berkeley National Laboratory）的地球物理学家乔纳森·阿霍富兰克林（Jonathan Ajo-Franklin）表示，“过去几年，DAS技术越来越流行”。

2019年12月，有很多使用过这项技术的科学家参与了美国地球物理学会（American Geophysical Union）举办的一场研讨会，他们用这项技术测绘冰川，检测雷暴，研究深海。

DAS技术的第一个优势在于，用这项技术铺设的光缆可长达数千米，每条光缆都相当于由数千个传感器组成的网络，能记录周围数米内的数据。与之相对，传统的地震仪只能以单点的形式记录地表移动（在测绘地球内部时，这也是非常棘手的主要问题之一）。比如，1980年，圣海伦火山在猛烈喷发前就不停地发出轰鸣声。由于附近只有一台地震仪，科学家甚至无法确定当时的震动是不是由逐渐苏醒的火山引发的。

“这就好比街上的路灯，”劳伦斯伯克利国家实验室地球和行星科学方向的研究生纳撒尼尔·林赛（Nathaniel Lindsey）说，“如果路灯数量不足，就无法照亮整座火山。”

这套技术的第二个优势在于，它已经遍布全球。尽管在塔库冰川之类的地区需要铺设新的光缆，但是，城市、海底等大部分地区都已经铺上光缆了。一部分光缆目前还未启用，部分改造后即可使用。

这一切都要归功于20世纪90年代互联网的蓬勃发展。当时，通信公司铺设了大量光缆，其中还没用上的那部分被称作暗光缆。于是，科学家只需在这些光缆的一端连上“询问器”

（interrogator，会朝光缆的另一端发出一束激光，并检测散射后的光强变化），一个新的地震波检测网络就搭建好了。

朱铁源（Tieyuan Zhu）是美国宾夕法尼亚州立大学的地球物理学家，去年他改装了学校现有的光纤网络，试图测定校园地面下的微弱震动。在一个雷雨交加的夜晚，他惊喜地在数据中发现了多处波动。尽管在很早之前科学家就已经知道，当空中发出巨响时，气体分子的震动也会引起地表震动，但是没人知道这项新技术是否能检测到这样的“雷震”。

当朱铁源把自己的监测结果与NASA的数据同步后，他们获得了非常明确的答案，“雷震”确实可以被监测。朱铁源说：“我认为，这项技术拥有让城市获得全方位预警的巨大潜力。它不仅可以监测地震，还可以监测山体滑坡、海啸等地质灾害，以及天气变化。”

还有科学家在更偏远的地方测试这套系统。2019年11月，林赛以第一作者的身份在《科学》（*Science*）杂志发表了一篇论文。研究者将一台询问机连在了一条20千米长的光缆上。这条光缆连接着蒙特雷湾（Monterey Bay）外海床上的科研仪器，原本是用来传输仪器数据的。当时这些设施正处于维护状态，因此科学家恰好有机会使用这些光缆检测沿途的震动。

他们仅用了4天就绘制出了多处水下断裂带，还检测到了由海浪引发的海床震动。对海床进行更详细的测绘，有助于科学家更好地预测地震和海底火山——这些现象都有可能引发致命的海啸。

在塔库冰川，拉贝兹和同事用一条光缆改造出了3000个地震传感器。

早期结果表明，这套系统连续运行5小时，检测到了100次冰震，其中大多数很可能是融水胀破冰川中的裂缝造成的。

詹中文（Zhongwen Zhan）是拉贝兹的导师，也是加州理工学院的地震学家。他希望，有朝一日能在格陵兰岛或南极铺设永久光缆，帮助研究人员收集相关信息，更好地理解气候变化引发的冰川融化对海平面上升造成的影响。

不仅如此，詹中文还想利用近1000千米的暗光缆，在加利福尼亚州搭建相当于上百万个传感器的监测网络。在帕萨迪纳市（Pasadena），他已经将37千米的暗光缆改造成了永久性的地震监测网络。此后，他还打算在加利福尼亚州的其他城市开展同样的工作。

这套网络收集的数据可以反映城市基础设施的牢固程度，并且在地震开始时立即向市民发出警报。目前，科学家还无法预测地震，但是，能够更深入认识那些可能会引发大地震的前兆地震，也是非常有价值的。

罗伯特·梅勒斯（Robert Mellores，未参与这项研究）是美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室的地震学家，他表示：“任何有助于准确理解地震启动和形成的数据，都有可能彻底改变地震预测的现状。”

值得注意的是，这种方法会收集到海量的数据。一条光缆一天就能产生10TB的数据，也就是说，只需100天就会增加到1PB。然而，负责收集全世界所有地震数据的国际地震数据库，容量也不到1PB。

在科学家把光缆铺设到更遥远的地区前，他们或许得先找个合适的解决方案，以此存储和分享这么庞大的数据量。

工程学

镂空纳米粒子

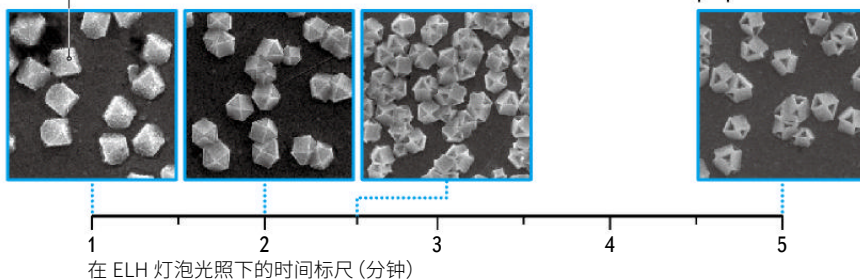
撰文 勒托·萨普纳 (Leto Sapunar)

翻译 罗广桢

美国圣路易斯华盛顿大学的研究人员首次利用光镂空雕刻纳米粒子，在微尺度下成功制备了中空的氧化亚铜晶体。相关研究发表在2019年9月的《材料化学》(Chemistry of Materials) 杂志。论文的通讯作者、化学家布赖斯·萨德勒 (Bryce Sadtler) 表示，这项研究的应用前景很广阔，可以用于开发低价高效的固碳反应催化剂，还可以促进显微成像等技术的发展。

萨德勒表示，这种光镂空工艺不仅需要可见光源，还对反应体系（溶液）的pH（碱性）和电位有严格的要求。氧化亚铜微晶所带电子在光照射下被激发，与铜离子结合后形成铜原

氧化亚铜微晶体



子。新形成的铜原子不再与氧气成键结合，而是跳跃到晶体表面形成一层金属铜外壳，阻断晶体的部分区域与外界溶液的接触。

氧化亚铜的多面晶体结构决定了它表面各处的溶解行为有所不同：一些面的原子结构有利于长出保护层。而那些“裸露”在外的表面会快速溶解，最终形成表面几何形态规整的中空壳层结构。这与“钻石的切割方式”有着异曲同工之妙，因为可选择的方式都有限。在钻石加工中，切割必须沿着晶面的方向。

萨德勒表示，中空晶体表面积大、形状特殊，它的价值不止于提高固碳反应的效果，在别的领域也有作用。例如，目前的显微成像技术可以很好地分辨出固体的晶态材料，但是对于生物分子的识别就显得吃力。按照萨德勒的说法，如果用这种中空材料能将血样或者尿样中的有机分子包围起来，就有可能增强信号，从而识别原来难以探测的分子。研究人员还扩大了研究范围，发现铁和锰氧化物等物质的光反应强度也很大，这一发现有望用于氢燃料电池技术的研发。

图片来源：Chu Qin

动物学

野火对生物有益？

撰文 贾森·G·戈德曼 (Jason G. Goldman)

翻译 郝豪

在加利福尼亚州的内华达山脉生态系统中，蝙蝠已经适应了偶尔面临的大火。但是，一个世纪以来的灭火政策已经使这一地区长时间缺乏山火。这使森林密度变得更高，林下植被更厚。扎克·斯蒂尔 (Zack Steel) 是加利福尼亚大学伯克利分校的生态学家，在加利福尼亚大学戴维斯分校攻读研究生期间做过相关研究，他说：

“我们想了解山火数量的变化如何影响蝙蝠的生物多样性。”

斯蒂尔和同事在内华达山脉的6个地点部署了麦克风阵列，展开了一场持续3年的观察。这套系统可以识别蝙蝠发出的声响，计算蝙蝠数量。其中3个地点近期发生过火灾，另外3个地点未发生过山火。

这片森林中有17种蝙蝠。研究表明，有8种经常出现在没有发生过火灾的区域，11种经常出现在发生过火灾的区域（一些物种会同时出现在这两个区域）。斯蒂尔说：“我们认为，喜欢开阔栖息地的物种更能从火灾中受益，而喜欢密集栖息地的物种则更喜欢没有发生过火灾的区域。但是，

即便是喜欢密集栖息地的物种，也会很频繁地出现在发生过火灾的区域。”

研究人员写道，让没有发生过火灾的区域与以不同程度燃烧过的地区相结合，可能是最理想的情况，他们将这种现象称为“火烧多样性” (pyrodiversity)。相关研究发表在2019年12月的《科学报告》(Scientific Reports) 上。

康涅狄格大学的生物学家安德鲁·斯蒂尔曼 (Andrew Stillman, 并未参与这项研究) 说：“火灾后，栖息地会发生很大的变化，许多物种也会以不同的方式受益。总体来说，生态环境变得更加多样化，这对生物景观来说是件好事。”

生物学

红薯的预警信号

撰文 普林亚克·伦瓦尔 (Priyanka Runwal)
翻译 祝锦杰

有一种红薯，一旦它的叶片受到虫子啃咬，就会释放刺鼻的化学信号，促使叶片（无论是同一株植物上的还是周围同种植株上的）合成防御性蛋白质，从而让叶肉变得难以消化。最近，一项新的研究持续追踪了这种气味预警系统，相关内容发表于2019年11月的《科学报告》(Scientific Reports)。

阿克塞尔·米特霍夫 (Axel Mit-

höfer) 是德国马克斯·普朗克化学生态学研究所的植物生态学家，也是这篇论文的共同作者之一。他说：“这种红薯的防御反应非常迅速。”在其他种类的植物中，也存在化学预警现象。通常，预警信号会让邻近的植株进入防御状态，但只有当叶片真的被啃咬后才会合成防御性物质。但是，这种红薯的叶片在附近的叶片被啃咬时，立马就会合成防御性物质。

为了实验，米特霍夫和同事把毛虫放到了两种不同的红薯上：一种是抗虫能力很好的红薯品种台农57 (TN57)号；另一种则是TN66号 (TN57号的近亲品种)，它的抗虫能力较差。两者均为中国台湾出产的品种。在受到毛虫攻击后，两种红薯都“呼出”

了至少40种化学物质，但是，TN57叶片释放的DMNT（在植物的防御反应中常见的一种信号物质）是TN66的近2倍。

在另一个密闭的玻璃罩中，放着一株TN57，研究人员预先用镊子扎破了它的叶片。随后，研究人员又把一株健康的TN57放入了密闭的玻璃罩中。在不到24小时的时间里，两株植物未受伤的叶片中均出现了高浓度的贮藏蛋白 (sporamin)。

贮藏蛋白是一种大量存在于红薯块茎中的蛋白质，它能让没有被煮熟的块茎难以消化。而当研究人员向玻璃罩内释放人工合成的DMNT时，即便植株完整健康，叶片也会迅速合成贮藏蛋白。

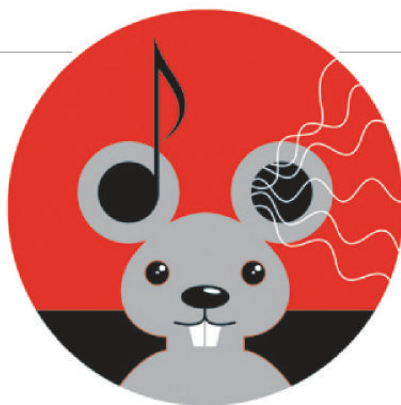
生物学

白噪声能优化听力?

撰文 吉利恩·克雷默 (Jillian Kramer)
翻译 马晓彤

科学家经常在人工的无声环境中测试听觉处理过程。但是，现实生活中常常伴随着一系列的背景声，比如键盘敲击声、闲聊声和汽车的喇叭声等。最近，研究人员们试图在一定的背景声，特别是相对平稳静态的白噪声环境中研究听觉处理过程。

瑞士巴塞尔大学 (University of Basel) 的神经科学家塔尼亚·里纳尔迪·巴尔卡特 (Tania Rinaldi Barkat) 表示，实验的结果与预期的相反，白噪声非但没有干扰小鼠的听力，反而使它们更容易区分相似的音调 (声音的频率)。相关研究发表在2019年11



月的《细胞快报》(Cell Reports) 上，巴尔卡特是这篇文章的通讯作者。

区分钢琴键盘两端的音符很容易，但对于相邻的两个键，即使最敏锐的耳朵也有可能难以分辨。这取决于听觉通道处理最简单的声音，也就是纯频率音 (pure frequency tones) 的方式：相近的神经元会对相近的音调做出响应，但是每个神经元都有自己响应程度最高的特定频率。而某个神经元对不同音调的响应程度，则构成了调谐曲线 (tuning curve)。

研究人员发现，播放白噪声会使小鼠大脑中神经元的调谐曲线变窄。

巴尔卡特说：“简单地说，当我们以某种强度持续播放白噪音时，如果加入了一个新的音调，神经元对这个声音的响应会降低。”因此，当能够区分某一频率的神经元数量减少时，大脑反而可以更好地区分相似的声音，因为相邻干扰的情况减少了。

为测定小鼠是否可以区分两个相近的音调，研究人员使用了一种行为测试法。

在测试中，啮齿动物会对某一特定频率作出反应。研究发现，小鼠与人类相似，可以轻松区分差异较大的音调，但难以区分相近的音调。而当研究人员把相似的音调混入白噪声时，小鼠能够更好地将两者区分开来。随后，研究人员做了进一步的研究，观察了在播放白噪音时，小鼠听觉皮层的神经活动。此外，他们还通过直接刺激某些神经元的方式，实现了与白噪声相似的作用。



物理学

量子互联网更进一步

本刊记者 吴非

如今量子通信因其无与伦比的安全性备受关注，但在技术层面，远距离的传输却面临大量挑战。其中之一，是减少光纤中的信号损耗，提升传输距离。在一项发表于《自然》杂志的研究中，中国科学技术大学潘建伟团队首次让由50千米光纤相连的两个量子存储器实现了纠缠，不仅大幅刷新了此前的纪录，也为构建基于量子中继的量子互联网奠定了重要基础。

根据量子力学理论，两个处于纠缠态的粒子无论相距多远，都可以保持一种“幽灵般的超距作用”——两个粒子的状态密切相关，只要测定其中一个粒子，就能获知另一个粒子在此刻的状态。这样的性质在通信领域有着诱人的应用场景——一旦有黑客试图对粒子进行测量，量子态就会不可避免地改变。

尽管量子纠缠理论上不存在距离限制，但在实际技术层面，实现远距离的传输却面临众多挑战。2017年，潘建伟团队曾利用“墨子号”量子通信卫星，在相距1200千米的青海德令哈基站和云南丽江高美古基站之间，

实现纠缠态光子的传输，创下量子纠缠传输距离的纪录。不过，通过卫星进行的纠缠态光子传输损耗很大：墨子号每秒发射的600万对纠缠态光子中，只有一对可以被地面基站接收到。而且，卫星传输更适用于大尺度的覆盖，而城市间的量子通信，则需要基于地面的量子通信网络。

在此之前，包括潘建伟团队在内的研究团队已经通过光纤构建出城域量子通信网络，但由于光纤中的损耗不可避免，这样直接点对点的量子通信方式，距离会受到限制。因此，要实现更远距离的量子通信，就必须在途中建立“驿站”。

这样的“驿站”就是量子中继器。量子中继器的核心思想，是将远距离点对点传输转换为分段传输。在两个节点分别产生原子与光子的纠缠后，光子通过光纤分别传输至中间节点，也就是量子中继器。这时，在量子中继器中对两端的光子进行干涉，再进行分发，以此实现两个相距更远的节点的量子纠缠。因此，这种思路有望大幅拓展安全通信距离。

“卫星传输更适用于广域大尺度覆盖，以及无法铺设光纤的场合，”论文的第一作者包小辉教授在接受《环球科学》采访时说，“而基于量子存储的量子中继主要适用于光纤地面网络，实现城域及城际覆盖。”

然而，实现这一想法的难度颇高。此前，最远的光纤量子中继仅有1.3千米。这是2015年时，荷兰代尔夫特理工大学的研究人员取得的突破性进展。他们在校园内相距1.3千米的地方，首次验证了实现远距离量子纠缠的可行性。

限制纠缠光子传输距离的一个重要因素，就是光子在光纤中的严重损耗。如果经过50千米的光纤传输，信号将衰减至最初的十亿亿分之一。这样的损耗程度，显然是量子通信无法接受的。

为了减少光子在光纤中的损耗，在这项最新研究中，潘建伟团队采用了一系列巧妙的手段。例如，存储器的光波原本在795纳米的近红外光，而研究团队将光波长转换成1342纳米的通信波段，大幅降低了光纤中的光子损耗程度。这时，在50千米的光纤中，相较于波长转换之前，衰减程度减少了足足16个数量级。

此外，研究者使用了一种环形腔增强技术来制备纠缠原子和光子，从

简讯

全球科技热点

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

多米尼加共和国

拉卡雷塔水下国家公园将原地收容一艘于1725年沉没的船，以及船上的手工艺品（以及复制品），以供游人参观。之所以这么做，是因为当水下的文物被打捞出水后，报废速度往往比在水中更快。

希腊

在现今无人居住的赫里西岛上，考古学家发掘出了一些金子、宝石和琉璃。出土地点曾是克里特文明的一座巨大建筑。该建筑距今大约3500年，是用骨螺制造紫色染料的场所。

格陵兰岛

当科学家用计算机模拟一条之前已经探明的冰下岩洞时，他们发现其中可能存在一条长约1600千米的地下河，从格陵兰岛中部一直延伸到北部海岸。

英国

在英国中部一处被水淹没的洼地中，研究人员发现了一批特殊的古物，其中包括已经有1700年历史的鸡蛋。在出土过程中，一些鸡蛋破裂，发出了硫臭味。不过还有一枚鸡蛋保存完整，这也是唯一一枚来自罗马统治时期的完好的鸡蛋。

澳大利亚

为了挽救悉尼港濒危的海马种群，科学家在水族馆内建造了一个蟹笼样的“海马旅馆”，用于人工繁殖小海马，并作为放归自然的训练场所。

南极洲

科学家试验了一种长约一米的轮状探测器，它可以下潜至南极冰层下方的水域，实时传输海水深处的影像。这种“冰下探索浮力漫游车” (Buoyant Rover for Under-Ice Exploration, BRUIE) 可能在未来用于探测各种被冰层覆盖的洋面，比如木卫二。

而将量子光源的亮度提高了一个数量级，大幅提升传输效率。

在中科大的实验室中，研究团队开始了这项实验。他们在实验室内设置了两个量子存储器，每个存储器中含有铷原子团。利用这项装置，分别在两个存储器中建立起光子与原子团的纠缠。用激光照向铷原子团后，产生的光子与原子团形成纠缠。随后，光子分别沿着两条光纤传输，并在11千米外的合肥软件园中的中继器里汇合，进行干涉测量。

研究团队首先利用双光子干涉，实现了22千米的纠缠光子传输。这一结果已经大幅刷新了此前的纪录。在此基础上，研究团队更进一步，利用难度更高的单光子干涉进行量子纠缠传输。相较于双光子方案，“单光子方案的实验难度更高一些，因为它要

求光子相位同步，”包小辉表示，“但由于只需要探测单个光子，因此单光子干涉的纠缠速率更高，理论上允许的通信距离更远。”

为实现远程单光子干涉，团队设计了双重相位锁定方案，并成功实现50千米的量子传输。相较于2015年的研究，除了传输距离的提升，纠缠概率、量子链路效率、纠缠时间等指标也都得到了显著提升。包小辉指出，纠缠概率的变化尤为关键：相较于2015年的研究，这项最新研究的纠缠概率高了近5个数量级，大幅提升了量子纠缠分发的能力。

这项研究通过一系列全新的设计，有效解决了光纤传输中信号衰减的难题，为构建基于量子中继的量子互联网奠定了重要基础。

不过，这项实验距离最终的目标

仍有相当的距离。2015年研究的领导者罗纳德·汉森 (Ronald Hanson) 在接受《科学》杂志采访时表示，这项实验是发展量子中继器的重要一步，但距离真正的中继器，仍有大量提升空间。例如目前的铷原子团还无法维持长时间的量子态，以满足多链路的需求。此外，这项实验中两个量子存储器的实际距离只有不到1米，只是通过长距离的光纤连接。将两个节点的距离拉远后，实验难度将进一步增加。

包小辉表示：“量子互联网按发展程度可分为量子密钥网络、量子存储网络、量子计算网络三个阶段。将这一工作拓展至真正远距离的双节点实验后，将有望以此为基础开展量子中继等研究，并构建量子存储网络的原型系统。”

地理学

重绘南极大陆地形图

撰文 安妮·斯尼德 (Annie Sneed) 翻译 赵欢

随着全球气候变暖，南极洲哪些地方的冰川会消失，消失速度有多快，海平面会因此上升多少？为了回答这些问题，科学家必须尽可能多地了解这片辽阔的大陆，而精确地测量冰层下的地形，仍然面临不小的挑战。南极洲基岩的等高线有助于确定冰川的接地线特征（即地面上的冰川与在海上漂浮的冰架之间的过渡界线），如果接地线向内陆移动，意味着冰川会失去更多的冰。2019年12月，研究人员在《自然-

地球科学》(Nature Geoscience) 杂志上发布了一份新的基岩地形图，这份地图综合了多种数据来源，包括机载雷达、卫星、地震和积雪数据等。随后，研究人员将原来由雷达测得的地形图数据与最新的地形图数据做了

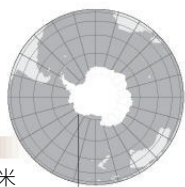
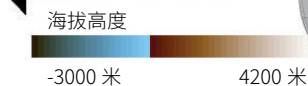
对比，他们发现了一些差异显著的地方。例如，对于部分地区而言，原来的地形图将基岩错误高估了2000米。马蒂厄·莫利根 (Mathieu Morlighem) 是加利福尼亚大学尔湾分校的地质学家，同时也是这项研究的负责人。他认为，在南极大陆的不同地区，冰川融化的情况喜忧参半，“在南极西部，情况并不乐观；而在南极东部，情况显得更复杂。”英国布里斯托大学的冰川学家乔纳森·班贝尔 (Jonathan Bamber，并未参与这项研究) 认为，这项研究填补了有关南极大陆基岩地形的重要知识空缺，“使我们能更好地预测和模拟海平面上升的情况。”

对比，他们发现了一些差异显著的地方。例如，对于部分地区而言，原来的地形图将基岩错误高估了2000米。

马蒂厄·莫利根 (Mathieu Morlighem) 是加利福尼亚大学尔湾分校的地质学家，同时也是这项研究的负责人。他认为，在南极大陆的不同地区，冰川融化的情况喜忧参半，“在南极西部，情况并不乐观；而在南极东部，情况显得更复杂。”英国布里斯托大学的冰川学家乔纳森·班贝尔 (Jonathan Bamber，并未参与这项研究) 认为，这项研究填补了有关南极大陆基岩地形的重要知识空缺，“使我们能更好地预测和模拟海平面上升的情况。”

研究人员在登曼冰川发现了一个惊人的现象：在海平面 3500 米以下，还有一片巨大的峡谷。这片幽深的峡谷应该是地球陆地上最深的地方了。研究人员还发现，冰川下面的基岩都朝着内陆方向向下倾斜，这可不是个好消息，会使区域内的冰川变得“非常脆弱”。因为随着接地线向内陆退缩，接地线上覆盖的冰层越来越厚，最终导致大规模的冰川融化，冰川接地线也有可能进一步大幅退缩。仅仅是这一片区域，就有可能使全球海平面上升 1.5 米左右。

冰层之下

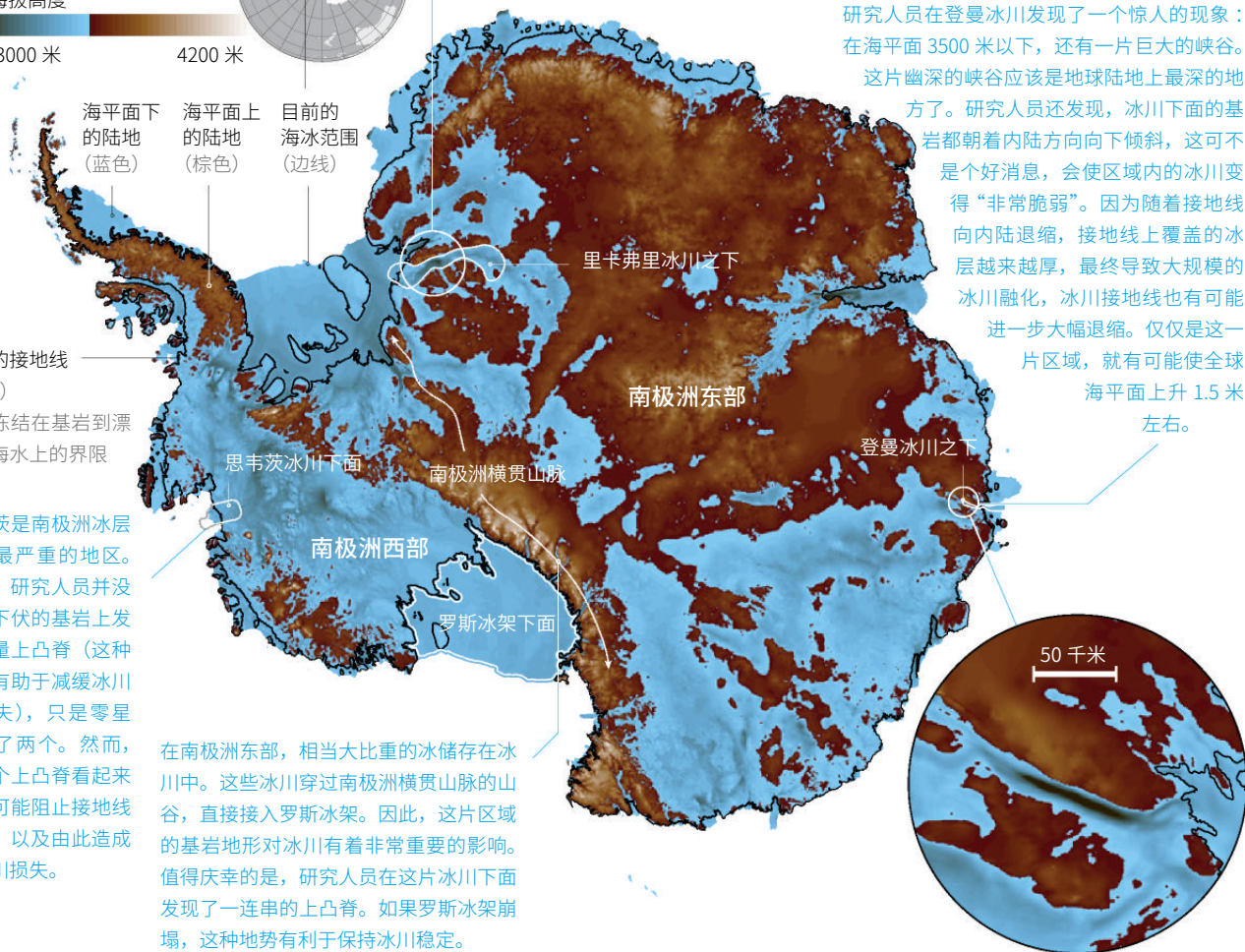


海平面下的陆地 (蓝色)
海平面上的陆地 (棕色)
目前的海冰范围 (边线)

目前的接地线 (黑色)
冰从冻结在基岩到漂浮在海面上的界限

思韦茨是南极洲冰层损失最严重的地区。目前，研究人员并没有在下伏的基岩上发现大量上凸脊（这种脊部有助于减缓冰川的损失），只是零星发现了两个。然而，这两个上凸脊看起来不太可能阻止接地线退缩，以及由此造成的冰川损失。

在南极洲东部，相当大比重的冰储存在冰川中。这些冰川穿过南极洲横贯山脉的山谷，直接接入罗斯冰架。因此，这片区域的基岩地形对冰川有着非常重要的影响。值得庆幸的是，研究人员在这片冰川下面发现了一连串的上凸脊。如果罗斯冰架崩塌，这种地势有利于保持冰川稳定。



制图：凯蒂·皮克 (Katie Peek)

资料来源：“DEEP GLACIAL TROUGHS AND STABILIZING RIDGES UNVEILED BENEATH THE MARGINS OF THE ANTARCTIC ICE SHEET,” BY MATHIEU MORLIGHEM ET AL., IN NATURE GEOSCIENCE, DECEMBER 12, 2019

物理学

重新构想未来

撰文 李·比林斯 (Lee Billings) 翻译 林清

40年前，美国公共广播公司 (PBS) 的经典系列节目《宇宙》(Cosmos) 首次亮相。已故天文学家卡尔·萨根 (Carl Sagan, 在节目中担任解说人) 与妻子安·德鲁扬 (Ann Druyan) 和史蒂文·索特 (Steven Soter) 共同制作了这档节目。节目内容涉及宇宙中生命的历史、现状和未来，观点非常具有洞察力。

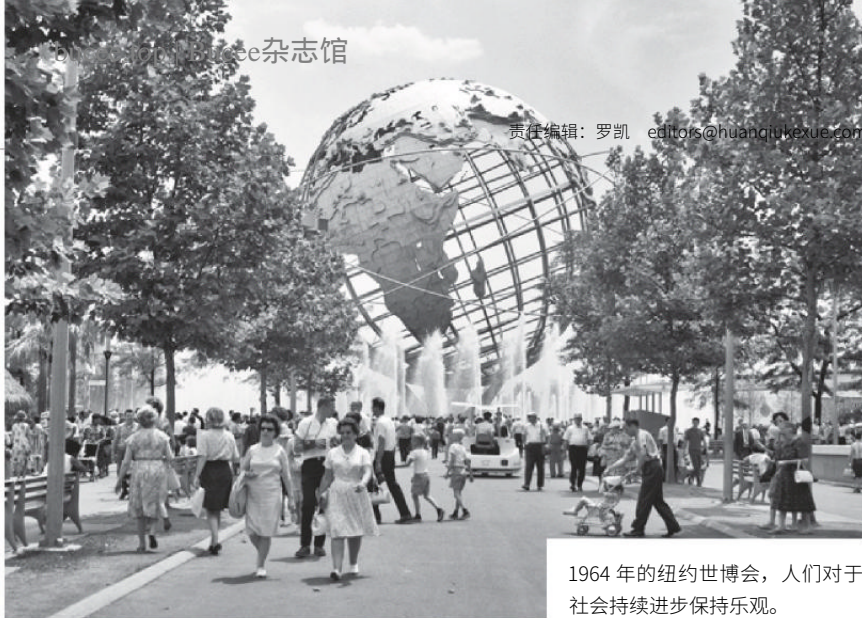
萨根的遗作正在历经一场现代化的重塑。自2014年起，德鲁扬开始担任《宇宙》的执行制片人、编剧和导演，天体物理学家尼尔·德格拉斯·泰森 (Neil DeGrasse Tyson) 则作为主持人出镜。到2020年3月，《宇宙：潜在的新世界》的第三季即将开播，德鲁扬的新书也会在近期出版。为此，《科学美国人》专门采访了德鲁扬。

《科学美国人》：最新一季的《宇宙：潜在的新世界》会给我们带来哪些惊喜？

德鲁扬：新一季的节目展示了一个充满希望的未来，同时也深思了爱因斯坦在1939年纽约世博会开幕式上的那句名言。他说的大意是，只有当科学理念渗透到人们的意识中，才有可能像艺术一样完成它的使命。看到这句话时，我意识到这就是《宇宙》最初的使命：把科学的内在含义带给每个人。

本季内容的制作一直处于气候变化的阴影下。如今，文明社会似乎还没有意识到这些威胁可能会摧毁它，而我感觉自己也是其中一员。

有一个办法或许可以唤醒人们：



1964年的纽约世博会，人们对于社会持续进步保持乐观。

让大家看到，如果我们以科学的时间尺度进行思考，并且以智慧和有远见的方式运用科技，未来会变成什么样。这个未来不是收到下一份资产负债表时，也不是下一个季度，不是下一次美国大选时，而是在1000年以后。大家可以想象一下，到时候会怎样？

《科学美国人》：以那种方式运用科学意味着什么？

德鲁扬：对我而言，科学是体现人类自尊的少数场合之一，因为科学是一种机制，它告诉我们，“我们是人类，会自我欺骗和相互欺骗。所以，让我们创建一个系统，在这个系统中，我们不用在意我们到底有多相信一事物，如果它不是真的，我们总会在某一刻识破它。”如果不面对和拥抱现实，我们又能拥有什么样的幸福和自尊呢？

《科学美国人》：《宇宙：潜在的新世界》将探索哪些“潜在的新世界”？

德鲁扬：我们会从人类自己的历史一直探索到失落的世界。

比如，伟大的城市摩亨朱-达罗 (Mohenjo-Daro, 位于现在的巴基斯坦)，在几千年前这里就拥有辉煌的文明，拥有室内管道系统。我们试图让它重现生机。

当然，除了太阳系的行星，我们也会探寻系外行星 (exoplanets) 上可能存在的世界。

我们也会探索内心世界。例如，我们非常着迷于人类大脑的“连接组” (connectome) 计划。这个概念就像我们绘制人类基因组一样，可以绘制个人所有的想法、联想、记忆和创意。想象一下，如果我们把它放到星际探测器上，会发生些什么！

我们也会关注微观世界，更深入地观察这个地球上其他生物的交流方式。比如，在蜜蜂的社会中，它们是通过摆尾舞 (waggle dancing) 达成共识的。而我们则生活在另一个用符号语言交流的社会中，我们还可以幻想来自其他外星文明的信息。

《科学美国人》：你梦想中的未来是什么样的？

德鲁扬：我想通过《宇宙》中的第13集，创造一个真实可信的未来之梦。我们会前往2039年的世博会……

在这个场景中，我最引为豪的是纽约港的一座新雕像，它是由大气中的二氧化碳组成，只是这些二氧化碳已经被改造成了碳酸钙，也就是我们常说的灰岩。它就像自由女神像一样，只不过是一棵汇集了各种不同生物的生命之树。



THE BRAIN'S SOCIAL ROAD MAPS

大脑的 精密地图

科学家发现大脑中存在一系列地图，不仅能帮助我们识别空间和通道，还能让我们区分复杂的社会地位和关系。

撰文 马修·舍费尔 (Matthew Schaffer) 达妮埃拉·席勒 (Daniela Schiller) 翻译 刘炳煜 顾勇

从大鼠到人类，所有动物在两个地理位置之间走动时，是如何凭直觉找到一条捷径的呢？这个问题现在已经有了部分答案，因为科学家在动物大脑中发现了一种认知地图，这种地图可以帮助动物根据所处的外部环境在大脑中建立起一个内在模型，从而规划出最优的路径（也就是常说的“捷径”）。但是大脑中的认知地图并不仅仅能用于追踪空间物理位置，对于很多心理过程，包括记忆、想象、推理以及抽象论证等也非常重要。最令人兴奋的是，近年来逐渐出现的许多证据表明，认知地图可能在追踪社会关系的动态发展中起着重要作用，这些社会关系包括个体之间的亲近程度，以及他们在整个群体中的等级地位。

精彩速览

在物理空间中，人类和其他动物是怎样挑选合适路径的？已经有科学家发现，动物的大脑会根据外部环境建立内在模型，这种模型就像一张认知地图，可以帮助个

体挑选路径。

认知地图可能对许多认知过程都有重要作用，比如记忆、参考比较以及决策推理。科学家还发现，一些认知地图能够表

征个体的社会关系，比如个体与个体之间的关系远近，又或者是个体所处的社会等级。

封面故事 | COVER STORY

我们经常被告知，生活中没有捷径。但是大脑（甚至大鼠的大脑）的连接方式却完全忽视了这条忠告，确切地说，大脑完全可以作为一个始终在寻求捷径的机器的典范。

1948年，美国加利福尼亚大学伯克利分校的爱德华·托蒙（Edward Tolman）首次提出，大脑拥有寻找替代路线的能力。托蒙做了一个不同寻常的实验。一只饥饿的大鼠需要穿过一个没有任何装饰的圆形平台，然后进入一条完全黑暗的狭窄过道。进入通道后，大鼠需要先左转一次，连续右转两次，最后进入一个被照亮的狭长地带的尽头，在那里有一杯可口的食物在等待着它。在这个实验中，大鼠在通道中来回穿梭了一次又一次，一共重复了四天。

可是第五天的时候，当这只大鼠再像往常一样快速径直穿过圆形平台时它撞到了一堵墙。经过短暂的迷惑和思考后，大鼠开始寻找是否有另外的通路。结果它发现，一夜之间，原来的圆形平台突然布满了通道：在它面前，一共有十八条排成辐射状的道路可供选择，每一条道路都从平台边缘伸出，就像原来唯一的那条狭长通道一样。大鼠在几条不同道路上进行了一番探索之后，最终选择了第六号道路，一路跑到尽头，而这正是通向食物的正确道路。

尽管第五天的实验环境发生了剧烈的变化，但是在没有任何经验的情况下，大鼠最终还是找到了通向食物的那条正确道路。当时很多研究动物学习的科学家都认为，大鼠走迷宫的行为涉及了大脑从受到刺激到作出反应的整个过程：即当环境中某种刺激能够促使大脑作出反应时，参与这个过程的神经连接会得到加强。

从这种观点来看，大脑的工作方式就像一个电话交换机，它只负责维持那些它认为可靠的从感觉器官拨过来的“电话”信号和大脑发送到肌肉的信号之间的连接。但是，“交换机”观点并不能解释大鼠在未走过特定路径的情况下就能迅速地找到“捷径”，从而做出正确选择的行为。而走“捷径”及相关现象其实更加支持另一种观点：在学习的过程中，大鼠的大脑中建立起了一张地图。托蒙就是这种观点的支持者，他将这种地图定义为“认知地图”。

托蒙认为，大脑并不只是会建立刺激和反应之间的直接关联。事实上，这样的关联通常是十分脆弱的，会随着环境的变化而失去意义。托蒙那项研究之后的几十年里，心理学家发现了更多的证据，支持了大脑会建立、存储和使用认知地图的观点。

空间地图

第一个关于认知地图神经基础的研究线索出现在 20

马修·舍费尔在美国西奈山伊坎医学院的神经科学中心攻读博士学位，他主要研究人类大脑中关于社会认知的神经机制。

达妮埃拉·席勒是美国西奈山伊坎医学院神经科学中心和精神中心的副教授，主要研究情绪控制的神经机制。



世纪 70 年代。英国伦敦大学学院的约翰·欧基夫（John O'Keefe）和他的学生乔纳森·道斯特罗斯基（Jonathan Dostrovsky）在研究小鼠的海马体时发现了一类特殊的神经元，当小鼠处于环境中的某个特定位置时，这种神经元就会变得更加活跃（放电活动）。其中，一些神经元会在小鼠处于某个特定位置时放电，而另一些神经元则会在小鼠走到下一个特定位置时才放电，所以这些细胞就像在实时追踪动物在空间中的物理位置。通过将这些“位置细胞”的放电顺序整合到一起，科学家就可以还原出动物在环境中的整个行动轨迹。在这之后的几十年中，科学家陆续在其他动物（包括人类）的大脑内证明了位置细胞的存在，也相继发现了其他种类的细胞，每一种细胞都参与表征空间物理位置。

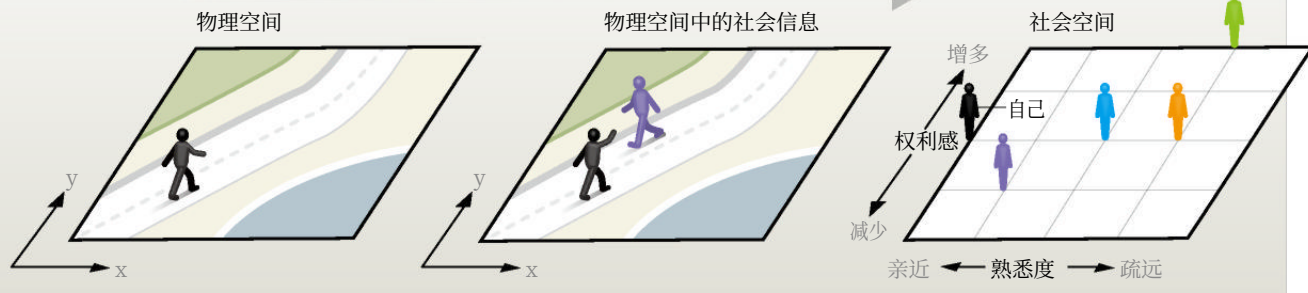
2005 年左右，在与海马体邻近的一个脑区——内嗅皮层，爱德华·莫泽（Edvard Moser）和梅-布里特·莫泽（May-Britt Moser），两位都曾在欧基夫的实验室做过博士后研究员）领导的研究队伍发现了与海马体位置细胞极其相似而又非常不同的细胞种类。相似点在于，这些细胞也是在动物处于特定的空间物理位置时放电。但与位置细胞不同的是，每一个位置细胞只编码空间中一个特定位置，而新发现的这种细胞可以在多个位置放电，而且放电模式很有规律——如果把动物的行动轨迹分割成无数个等边三角形，那么这些细胞总是会在动物走到等边三角形的顶点时放电，因此研究人员把它们命名为“网格细胞”。

对于创建这样一个地图来说，拥有大量而广泛的信息是十分有用的，而海马-内嗅系统编码了其中的大部分的信息。另外，还有其他一些细胞也在定位中起着重要作用。比如，“奖励”细胞会根据环境信息，编码与位置相关的奖励机制，为动物的空间探索提供线索和方向；还有一些细胞则可以追踪动物的前进速度和方向，就像大脑中的速度仪和指南针，可以计算出动物在环境中探索时完整的行进过程；还有一类的细胞可以标明周围环境中的路标位置，这可以为动物的行进轨迹提供校正参考；另外，有一类细胞会在动物接近地图边缘时放电。

从现实走向抽象

认知地图能压缩大量感知数据, 简化地表征外部世界, 这种方式让我们可以在现实物理空间中寻找合适的路径, 快速抵达目的地 (左图)。这样的认知地图能同时表征时间和空间关系, 甚至还能表征人们的社会关系: 我们在道路上认出另一个体 (中图), 甚至在一个更复杂的空间中与其他个体互动时表现出亲疏关系 (右图), 这在神经元层面都有相应的反馈。

不断增加的背景



当然, 海马 - 内嗅系统不仅仅是地图制作者, 这幅地图的作用也不只是定位个体的空间位置。动物会根据自身计划来使用空间地图, 比如当大鼠或小鼠走到一个熟悉的迷宫的分岔路口时, 它会停下来, 此时, 代表不同选择的位置细胞会活跃起来, 帮助它们作出判断。

此外, 人类也有相似的机制。有科学家做过这类研究, 他们让志愿者在虚拟现实环境中进行空间探索, 同时, 他们会用功能性核磁共振设备扫描志愿者的大脑。成像结果表明, 志愿者在做空间计划时, 海马体的一些神经元会活跃起来, 例如思考和规划路线。

我们在睡眠时也会进行空间计划。在睡眠过程中, 位置细胞也会活跃起来, 并按照一定顺序放电, “回放”过去或者模拟未来我们可能进入的空间。如果没有了这种模拟空间的能力, 那么在我们决定做出某种行为之前, 就必须要将真实世界的所有可能选项全部实地考察一遍, 这样我们就成为了完全的经验主义者, 只能基于直接观测做出相应的决策。与之不同的是, 睡眠过程中的模拟行为让我们拥有了无需直接经历就可以展望各种可能性的能力。

时间地图

时间和空间是密不可分的。如果不借用描述空间的词汇, 我们就很难谈论时间。比如, 我们会常使用这些句子: “经过” 一段时间, “走过” 这些年, 又或者 “向前” 展望五周, “往后” 回顾十个月。而负责空间位置的海马 - 内嗅系统同样也负责追踪时间经历。美国波士顿大学的霍华德·艾肯鲍姆 (Howard Eichenbaum) 和同事近期的研究表明, 海马 - 内嗅系统的神经元编码了动物经历的时间

进程。相关的时间细胞会在连续的时间点放电, 但是它们并不是简单地像钟表一样追踪时间, 而是编码一系列的时间场景。例如, 当一个任务的时间长度发生变化时, 这些神经元的放电时长会延长或者缩短。有一些时间细胞也能编码空间, 在大脑中, 空间和时间维度可能被结合在一起。

1953 年, 为了缓解癫痫病情, 美国患者亨利·莫莱森 (Henry Molaison) 大脑双侧的海马体都在手术中被切除了。这个手术成功地缓解了莫莱森的癫痫症状, 成为了脑科学史上最著名的案例之一。

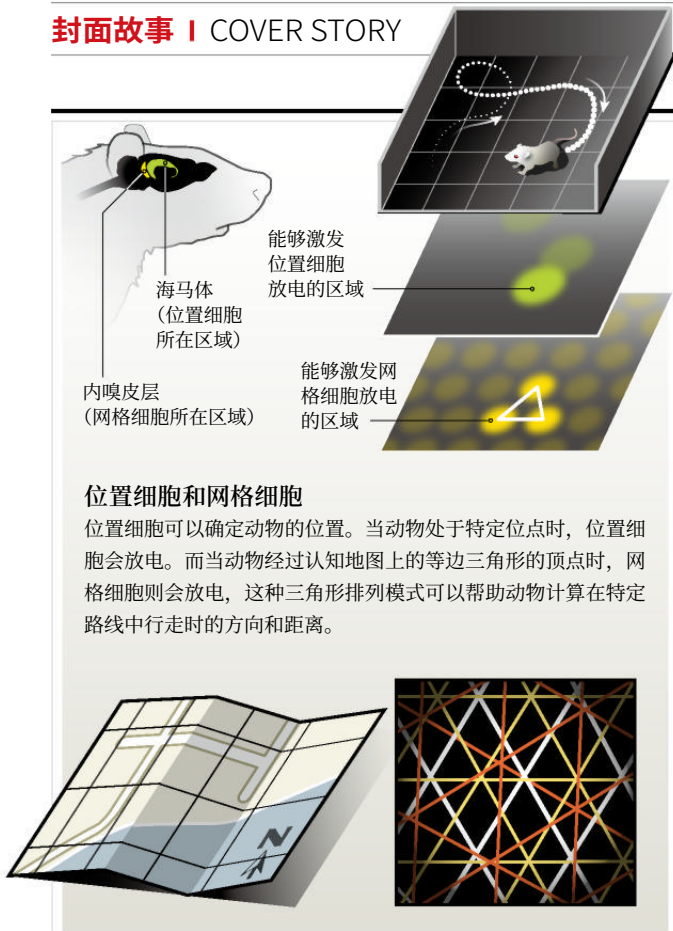
不过, 莫莱森可以记住在他手术之前的大部分经历, 包括他认识的人, 以及对于文化和政治事件的记忆。但他在手术之后的时间里, 形成类似记忆的能力却荡然无存。即使是这样, 他的某些特定的学习和记忆能力依然不受影响, 只要有足够的练习, 他仍然可以学会一些新技能。但是, 他对于新的人、事实以及事件的记忆能力却完全消失了。

从莫莱森的案例中, 神经生物学家了解到, 海马体对于情景记忆的形成十分重要, 而情景记忆包括记录事实和事件。此后, 很多科学家都在研究海马体在情景记忆中的功能, 而对海马体 “制定地图” 的功能的研究也几乎是平行。

另外, 莫莱森的例子还表明, 不同的神经系统编码了不同类型的记忆, 海马体在形成和储存新的情景记忆中起到了至关重要的作用。这些发现为我们了解空间和时间导航的神经机制提供了线索, 并且说明情景记忆和空间探索都涉及认知地图的形成和使用。

当然, 真实世界十分复杂, 认知地图并不是它的精确反映。认知地图其实仅反映了一些关联——不同位置之间的距离和方向, 以及在哪个位置存在什么东西。地图将真

封面故事 | COVER STORY



位置细胞和网格细胞

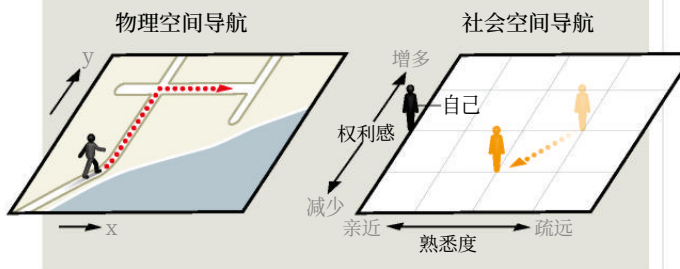
位置细胞可以确定动物的位置。当动物处于特定位点时，位置细胞会放电。而当动物经过认知地图上的等边三角形的顶点时，网格细胞则会放电，这种三角形排列模式可以帮助动物计算在特定路线中行走时的方向和距离。

认知地图
既现实又抽象

通过追踪记忆中每一个个体在社会网络中所处的位置，大脑形成了朋友或者敌人这样的印象。研究认为，个体通过记忆建立自己在群体中的社会等级，认知地图也能阐明个体与其他个体之间的社会关系。

从现实物理地图到抽象社会地图

向右转然后继续前行，就可以到达目的地，这种创建现实环境地图的过程是位置细胞和网格细胞的任务。同时，大脑可能也在利用这些细胞建立社会环境地图，例如个体和另一个个体关系走得越近，那么相对的给人的等级差异感就会要更小。



实世界中的大量信息进行压缩，成为一个简单却又高效灵活的空间导航。我们之前提到的细胞类型（位置细胞、网格细胞、边界细胞等）可能可以将这些相关的元素整合起来，形成一个内在的认知地图，其他脑区可以读取这个地图，进而指导个体在环境中的行动。

德国马普人类认知和脑科学研究所的克里斯蒂安·德勒雷尔 (Christian Doeller) 和英国伦敦大学学院尼尔·伯吉斯 (Neil Burgess) 的工作曾第一次表明，人类在虚拟迷宫中进行空间探索时，内嗅皮层会有类似网格细胞那样的表现。这种网格状的组织形式对于理解现实和抽象情况都十分高效，它使得位置或者概念之间的联系更具预测性，让人们可以更快地根据这些关系进行推理。像构思、类比、模式化观念，甚至是创造力的某些方面都可能依赖于这样的推导过程。

社会关系地图

从现实物理空间到抽象概念的研究，让我们最终走向一个推论：大脑是怎样展示人际关系或社会关系的。“个体”这个概念浓缩了很多不同的信息，当我们看到一个人的照片或者听到、看到这个名字时，编码这个“个体”的海马细胞都会激活，开始放电，尽管每次的具体细节可

能是不同的。例如 2005 年，美国加利福尼亚大学洛杉矶分校的伊扎克·弗里德 (Itzhak Fried) 和同事在癫痫病人的海马体上，发现了著名的“詹妮弗·安妮斯顿神经元” (Jennifer Aniston neuron)，这些细胞对安妮斯顿的照片、名字和声音都很敏感，遇到这些信息时会产生强烈的反应，因此，弗里德认为这些海马细胞负责编码特定个体的相关概念，而不是表征某种具体的细节特征。

而还有一些海马细胞可以追踪社会场景中个体在物理空间中的位置，这些细胞被称为“社会位置细胞”。以色列希伯来大学的戴维·奥默 (David Omer) 以及同事设计了一个实验，让一群蝙蝠在一个三维的迷宫中飞行、探索，寻找食物 (这也是它们的奖励)。同时，另一群蝙蝠则在一旁观察这些飞行的同伴。这群蝙蝠的任务是观察并向正在飞行探索的蝙蝠学习，这样它们就可以在接下来的任务中，模仿同伴的飞行路线，飞向食物所在地以获得奖励。结果显示，蝙蝠的海马细胞在两种情况下都会放电：一是处于静止观察状态下，看到其他蝙蝠飞到某个特定位置时；二是当它们自己飞行到这些位置时。

海马体某些区域 (例如 CA1 和 CA2) 的神经环路对这样的社会记忆有很重要的作用。对这些区域进行电刺激，或者抑制神经元的活动，可以增强或降低动物识别其他个

图片来源：“SCIENTIFIC BACKGROUND: THE BRAIN'S NAVIGATIONAL PLACE AND GRID CELL SYSTEM,” BY OLE KIEHN AND HANS MORRISBERG, WITH ILLUSTRATIONS BY MATTIAS KARLEN. NOBELPRIZE.ORG; “Navigating Social Space,” By Matthew Schafer and Daniela Schiller, In Neuron, vol. 100; October 24, 2018

体的能力。在人类中，海马体受损通常不影响人们对某个人脸部的记忆，但是，这个人的脸部和他的行为之间的关联会被破坏，进而丢失。这说明，海马体并不是简单地记录了一张脸或者其他的个体特征，而是将不同的社会特征联系到了一起。

除了识别特征，海马体活动也可以用于追踪社会等级关系。具体体现在我们应对不同社会等级的人时所做出的行为，比如老板和同事的需求往往会得到不同的对待，这是因为他们具有不同的社会地位。人们在描绘社会等级关系时，也会使用空间维度的比喻：个体可能都会倾向于“向上爬”，提高自己的社会地位，或者“看低”地位不如他们的人。在整个社会空间中，人与人之间的关系就好比一些几何坐标，这些坐标由个体之间的等级关系和从属关系所决定。

我们实验室近年来对这些想法进行了探索。结果表明，就像物理空间一样，海马体将社会信息组织成了地图一样的形式。为了验证这一假设，我们让志愿者参与一个角色扮演游戏，他们在其中与卡通角色进行交互，做出决策，同时研究人员会扫描他们的大脑。

在游戏中，志愿者刚刚搬家到一个新的小镇，需要与游戏场景中的虚拟角色接触，以获取工作或者找到住所。玩家会决定如何对待这些给定的角色。比如，他可以通过命令其他个体的方式来展示自己的地位和力量，也可以服从来自其他个体的命令。在动作交互中，他们可以决定做出哪个姿态——给出一个拥抱或者保持一定的距离。

利用这些决策信息，我们在一个特定地图上描绘出了人物之间的关系。其中，坐标代表了他们的力量和社会隶属关系。我们会画直线或者向量来表示每一个玩家和游戏虚拟人物之间的每一次交互，通过这种方式，我们用社会空间中的轨迹图来绘制玩家在虚拟小镇中不断建立和发展的人际关系，并计算了这些社会向量之间的角度和长度。

为了追踪产生特定信息的神经元信号，我们将每位玩家做出每一次决策的向量角度和长度，同他的大脑活动联系起来一起。结果发现，海马体的神经元负责追踪玩家与每个虚拟角色之间决策的关系，并且神经活动的强度能够反映玩家自身在游戏中的社会技能。这些发现表明，通过编码多维空间中点与点之间的关系，海马体就像监控物理空间位置一样，也监控着人际社会关系的动态发展。

关于大脑的社会地图，还有很多问题尚未解决。这个系统与大脑的其他区域是如何相互作用的？例如，在关于角色扮演游戏的研究中，我们发现，后扣带回皮层——

个也会编码空间信息的区域，可以衡量相关社会关系对等的向量长度，这个区域的作用就像一个“社会距离”的测量杆。另外，在其他一些区域，科学家发现了类似网格细胞发出的信号，这些脑区与海马-内嗅系统相互连接，而且倾向于同时工作，这意味着这些有着共同功能的脑区组成了一个网络。

随着研究的不断增多，大脑地图在医学诊断中的重要性也不断攀升。大脑地图上的缺陷是否可以解释精神异常？此外，这些研究还能带来另一种可能，这样的大脑地图可以启发人工智能的相关研究，帮助科学家构建更加智能化的机器。

我们可以用同一个地图系统进行空间和时间探索，也可以用来推导、记忆、想象甚至是处理社会关系，这表明我们对这个世界进行建模的能力或许就是让我们能不断学习并具有适应能力的原因。这个世界中充满了现实和抽象关系，城市街道的道路地图和充满相关概念的认知地图则帮助我们理解这个世界。大脑可以提取、组织和存储相关的信息，将一个熟悉街道上新开的咖啡店很容易地放到一个已经存在的空间地图中。新概念也很容易与旧观点相关联。一个新相识的个体也可以重塑我们的社会关系空间。

这种“内在地图”可以让我们通过自己的大脑模拟各种可能性，进而做出预测。我们可以很容易找到最好的问题解决方案，也就是找到“捷径”。这个系统同样可以让我们在交通堵塞时找到一条迂回道路或者快捷通道。现在，我们才刚刚开始发现这个系统的各种各样的性质和能力。认知地图，这个存在于我们大脑中的心智地图，不仅可以帮助我们在现实的物理空间中找到捷径，还能让我们对生命本身进行探索。■

本文译者 顾勇是中科院神经科学研究所的研究员，主要从事空间感知机制的研究。

刘炳煜是中科院神经科学研究所的博士研究生。

扩展阅读

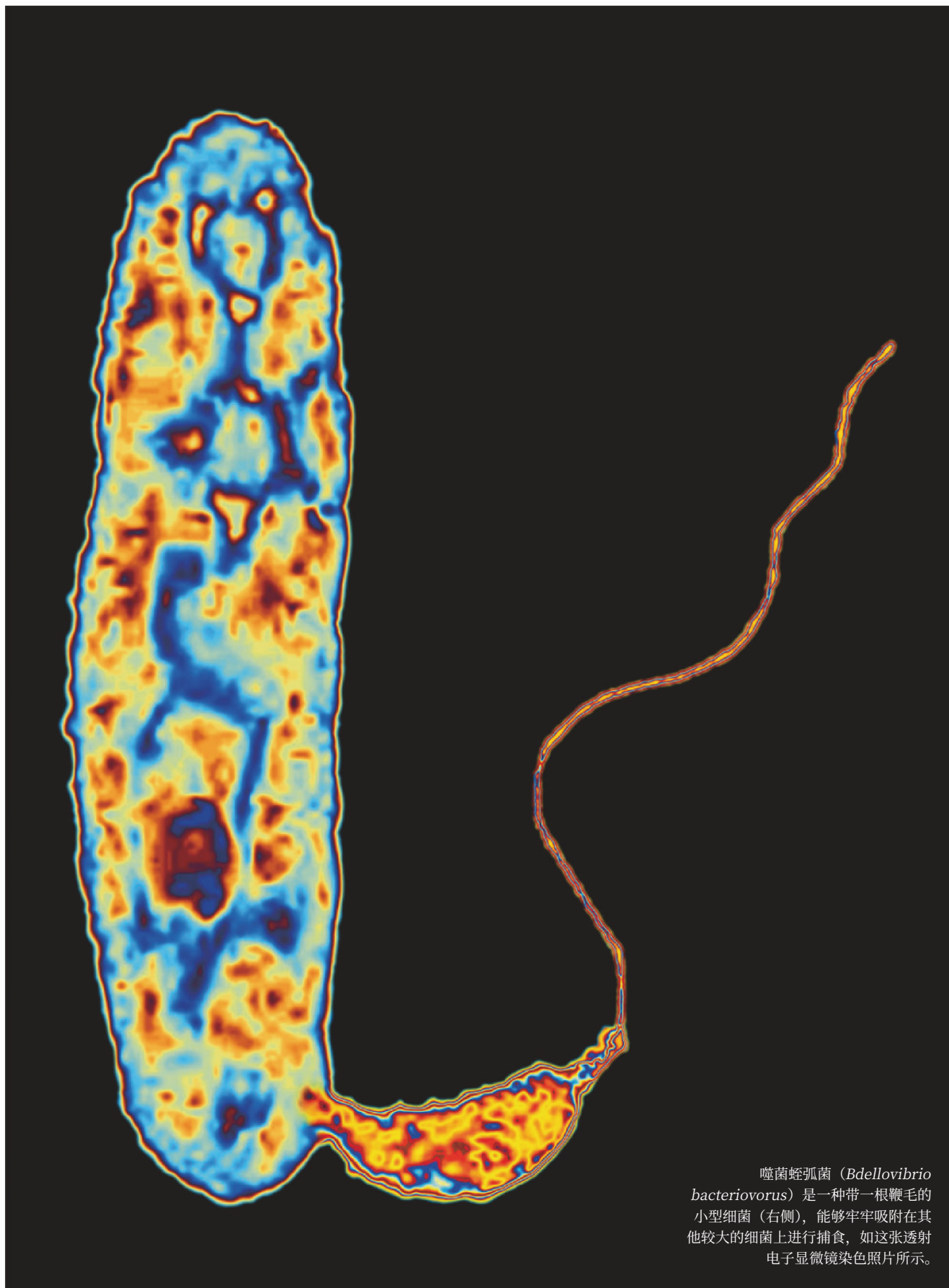
Social Place-Cells in the Bat Hippocampus. David B. Omer et al. in *Science*, Vol. 359, pages 218–224; January 12, 2018.

Navigating Social Space. Matthew Schafer and Daniela Schiller in *Neuron*, Vol. 100, No. 2, pages 476–489; October 24, 2018.

What Is a Cognitive Map? Organizing Knowledge for Flexible Behavior. Timothy E. J. Behrens et al. in *Neuron*, Vol. 100, No. 2, pages 490–509; October 24, 2018.

Navigating Cognition: Spatial Codes for Human Thinking. Jacob L. S. Bellmund et al. in *Science*, Vol. 362, Article No. eaat6766; November 9, 2018.

Where Am I? Where Am I Going? May-Britt Moser and Edvard I. Moser; January 2016.



BACTERIAL PREDATOR

捕食细菌的细菌

在大型山地湖泊的深处和其他一些环境中，一些细菌以同类为食，而且胃口不小。这些掠食者被称为蛭弧菌及类似细菌（BALO），未来它们或许能够取代抗生素。

撰文 斯特凡·雅凯 (Stéphan Jacquet) 雅德·伊兹丁 (Jade Ezzedine) 翻译 戚译引

在 西欧最大的湖泊——日内瓦湖深处，发生了一场可怕的屠杀。无处可逃的受害者是一种水生细菌——浮游 β -变形菌 (*Limnohabitans planktonicus*)，其尺寸不超过2微米。而它的捕食者也是一种细菌，“个头”要小一些，属于吞菌弧菌属 (*Peredibacter*)，喜欢捕食自己的近亲。 β -变形菌以周围的浮游植物释放出的有机物质为食，它们完全没有察觉到异样。必须指出，丛林法则在微生物的世界同样适用。

水生细菌在生态系统中发挥着关键作用，但这不能让它们免于被贪婪的捕食者或寄生虫当成猎物的命运。在过去 30 年中，对噬菌体（即以细菌为食的病毒）的研究发现，噬菌体在淡水环境中调控着细菌的数量和物种多样性；而对于其他的捕食者，例如有鞭毛的单细胞生物、纤毛虫或后生动物中的某些浮游动物，生物学家也非常了解它们。对于那些以自己的同胞为食的生物，我们仍然所知甚少，直到最近仍然将它们视为一个群体，共同点是能够调控细菌种群。一些细菌被重新分组，称为蛭弧菌及类似细菌 (BALO)。

近年来，借助测序、基因编辑、生物信息学和显微成像技术，我们开始更好地理解这些细菌和它们的生态影响。它们或许将成为水产养殖中对抗抗生素耐药菌的有力武器，还有望在农业和医学中发挥作用。

幸运地发现

在科学中，意外有时会成为创新的重要推动因素。阿基米德浮力定律、放射性、青霉素和 DNA 等科学进展都是意外发现的结果。蛭弧菌及类似细菌的发现也是如此。1962 年的一天，也就是玛丽莲·梦露 (Marilyn Monroe) 去世和纳尔逊·曼德拉 (Nelson Mandela) 被捕的那年，德国生物学家海因茨·施托尔普 (Heinz Stolp) 在柏林细菌研究所进行一项实验，想要分离出特异性攻击丁香假单胞菌菜豆致病种 (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*) 的噬菌体，这类细菌能引发菜豆晕疫病。在实验过程中，施托尔普要用过滤器过滤出不含细菌的样本。有一次，过滤器不够用了，他只好用玻璃过滤器代替。这些过滤器的孔洞更大，大于普通过滤器的孔洞直径 (0.2 毫米) 的物质仍然能够通过。

检测噬菌体的方法之一就是利用培养皿观察，这就是“噬菌体空斑实验”——如果细菌被病毒感染，那么菌落中会很快出现空斑。施托尔普将样本放在培养皿中进行培养，准备第二天用来进行空斑实验。但是这一次，他没有观察到任何空斑。按理说，施托尔普应该清理这些培养皿，但是他又将其保存了两天。出人意料的事发生了：培养皿中出现了迟来的空斑！施托尔普困惑不已，将空斑部分放

到显微镜下观察。他看到了一副令他难以置信的景象：一些细菌气势汹汹地攻击其他的细菌，直到将其摧毁。那是会捕食细菌的细菌！

1963 年，对这些细菌进行了分离和研究之后，施托尔普与合作者、加利福尼亚大学戴维斯分校的莫蒂默·斯塔尔 (Mortimer Starr) 将其命名为蛭弧菌 (*Bdellovibrio*)，这个名字来自于希腊语 “Bdella” 和 “vibrio”，前者意为水蛭 (蛭弧菌会吸附在猎物身上，吮吸细胞内容物，与水蛭吸血的行为相似)，后者用于描述这些微生物如同逗号一般的外形。在施托尔普发现第一种蛭弧菌之后，又有多个研究团队发现了类似的多种微生物，它们最终被统称为 BALO。直到 2000 年前后，这个领域仍然非常隐秘，在 1972 年到 1980 年间只有大约二十篇关于 BALO 的论文发表，研究课题也七零八落。但是在 2000 年后，每年发表的相关论文就有 10~20 篇，并且大都关注噬菌蛭弧菌 (*Bdellovibrio bacteriovorus*)。2017 年，关于这种细菌的论文数量就达到了三十多篇。事实上，由于抗生素对于多重耐药菌已经无能为力，科学家开始寻找抗生素的替代方案，BALO 和噬菌体便进入了他们的视线，被视为一种强大的潜在抗菌剂。

微小的捕食者

BALO 属于革兰氏阴性菌，也就是说它们具备双层细胞膜。它们还拥有一根鞭毛，不吸附在猎物身上的时候，它们的行动相当灵活。事实上，这个捕食者每秒能移动 160 微米，相对于它的身材来说可是个不错的成绩——这种微小的生物长 0.5 到 2.5 微米、宽 0.2 到 1 微米，比长约 3 微米的大肠杆菌 (*Escherichia coli*) 还要小。但是小并不意味着没有攻击性。恰恰相反，BALO 是毫无疑问的捕食者，能够攻击多种多样的宿主，无论对方有怎样的生理特征、尺寸多大、属于什么谱系。这点和噬菌体截然相反，噬菌体通常只攻击特定的宿主。因此，大块头的猎物并不会把 BALO 吓倒，而且某些 BALO 感染较大细菌的速度要比感染较小的细菌更快。

BALO 最初在泥土中被发现，随后又被证实存在于多种不同的水体中，它们几乎无处不在，身影遍及海洋、河

精彩速览

蛭弧菌及类似细菌体型较小，它们会大量捕食其他细菌。
独捕食。

近年来，我们发现蛭弧菌在环境中无处不在，并确认它们在生态中发挥着重要的调控作用。

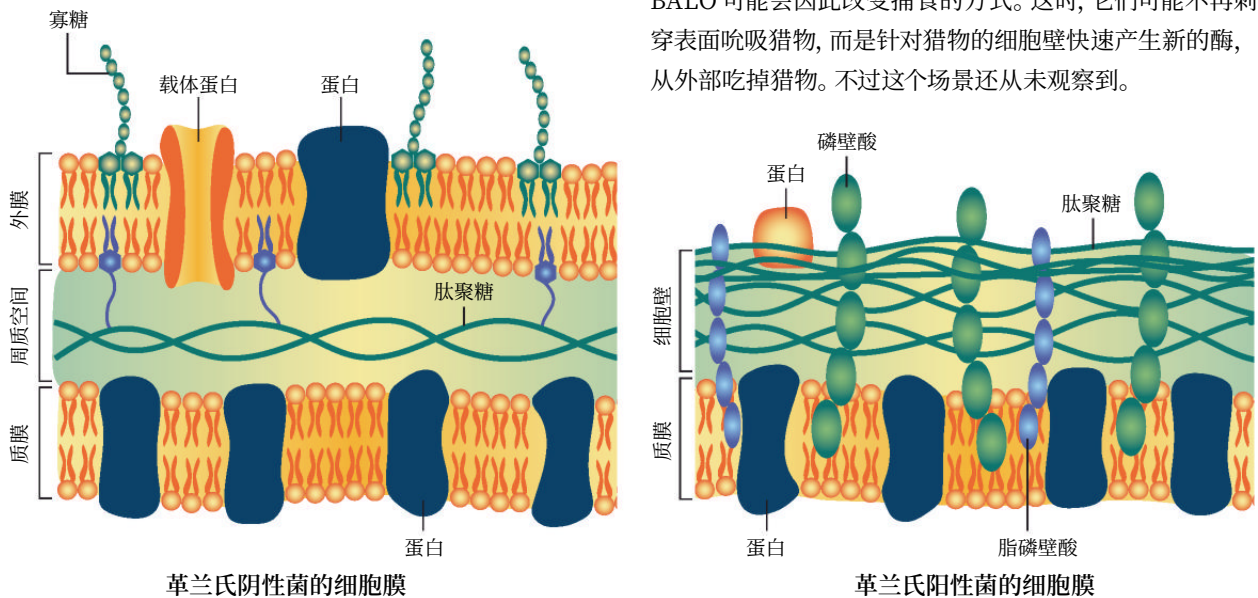
这类细菌可能有很多应用，其中最值得关注的就是可以应对致病菌的抗生素耐药性。

革兰氏阴性菌

BALO 属于革兰氏阴性菌，并且它们的猎物也是革兰氏阴性菌。这是为什么？答案仍不明朗。革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌之间的划分不代表它们功能之间的差异，也不构成一种分类标准，而是根据革兰氏染色法。这种方法得名于它的发明者、丹麦微生物学家汉斯·克里斯蒂安·革兰 (Hans Christian Gram, 1853-1938)。对细菌细胞膜进行染色后，革兰氏阴性菌呈粉色，革兰氏阳性菌呈紫色。如今我们得知，这两种颜色分别对应了细菌外壳的两种不同结构，而某些抗生素可能对其中一种结构效果更好。革兰氏阴性菌 (左图) 具有双层细胞膜，分为三个部分。位于细菌表面的是外膜，由磷脂和一些独特的蛋白质构成，主要是载体蛋白。革兰氏阳性菌 (右图) 没有这层外膜。革兰氏阴性菌的周质起到了细胞壁的作用，这是一层肽聚糖，比革兰氏阳性菌的外壳更薄，主要用来存储酶和营养物质。最后，两种细菌都具备质膜，它与外膜非常相似，但包含许多其他复杂的蛋白质，在细菌的新陈代谢中发挥着关键作用。

至于为什么 BALO 偏爱捕食革兰氏阴性菌，一种假说认为它们能够识别外膜上的成分，甚至能识别周质中的成分。该假说还推测，在接触到潜在猎物的时候，捕食者表面的生物聚合物能够识别细菌表面上某些特定的糖链，这种糖链只分布在革兰氏阴性菌的表面。但是也有人指出，在一些特定的实验室条件下，如果周围只有革兰氏阳性菌，某些 BALO 也会取食它们。

BALO 可能会因此改变捕食的方式。这时，它们可能不再刺穿表面吮吸猎物，而是针对猎物的细胞壁快速产生新的酶，从外部吃掉猎物。不过这个场景还从未观察到。



流、湖泊、水产养殖场、污水处理厂、灌溉用水、多种土壤、稻田、根际，甚至动物的粪便。不过就数量而言，它们远远不足以主宰自己的生存空间，只能勉强被分子生物学的常规技术检测出来。

乍看之下，BALO 的行为有点像寄生虫。寄生虫生活在其他生物体内或体表，最终会杀死宿主。但是研究 BALO 的专家更倾向于将它们定义为捕食者，因为它们会很快杀死猎物。但是，与大型捕食者相反，大多数 BALO 并不会在光天化日下吃掉猎物。有的 BALO 会留在猎物体外 (附生)，但大多数 BALO 会将猎物当成一个稳定的微环境，钻进猎物体内取食营养物质 (内寄生)。这种方式能让 BALO 免于受到环境变化的影响，还可以躲避噬菌体

的攻击。一旦在宿主体内繁殖成功，后代 BALO 就会摧毁宿主的外壳，进入环境中，准备侵占新的宿主，开始下一个生命周期。

孤独的狩猎

从遗传上讲，BALO 并不是一个类群，因此，这类细菌的分类主要根据它们的行为方式，而不是遗传特征。事实上，BALO 独特的形态学特征和狩猎策略使其区别于其他具有捕食行为的细菌，成为一个独特的群体。首先，它们是“必然的”捕食者，也就是说它们无法在没有猎物的环境中生存。尽管如此，许多不同的团队也在实验室里观察到，如果提供一个没有猎物但是营养非常充足的环境，

某些类型的 BALO 也能从环境中摄取营养。

其次，BALO 的捕食和增殖方式是一个非常特殊的特征，即单独进行，发生在猎物体表或体内。对于内寄生的 BALO，为了完成生命周期，它会将猎物完全占为己有。事实上，BALO 一旦感染宿主，就会立即释放信号（通过某种特殊分子），阻止任何其他细菌感染同一个宿主。不过，据说在实验室里，研究人员也曾观察到多重感染，但这是在 BALO 数量远大于猎物数量的情况下发生的。此时附生的 BALO 则更加“乐于分享”，多个 BALO 可以附着在同一个猎物的表面上，同时吸取其中的内容物。其他的捕食者，例如粘细菌 (*Myxobacteria*) 或溶杆菌 (*Lysobacter*)，则更加随意一些，它们只有在营养物质匮乏的情况下才会攻击其他细菌，并采用一种群体捕食策略。另外，对 BALO 的 DNA 分析结果显示，它们与其他有捕食行为的细菌之间有着明显的区别。

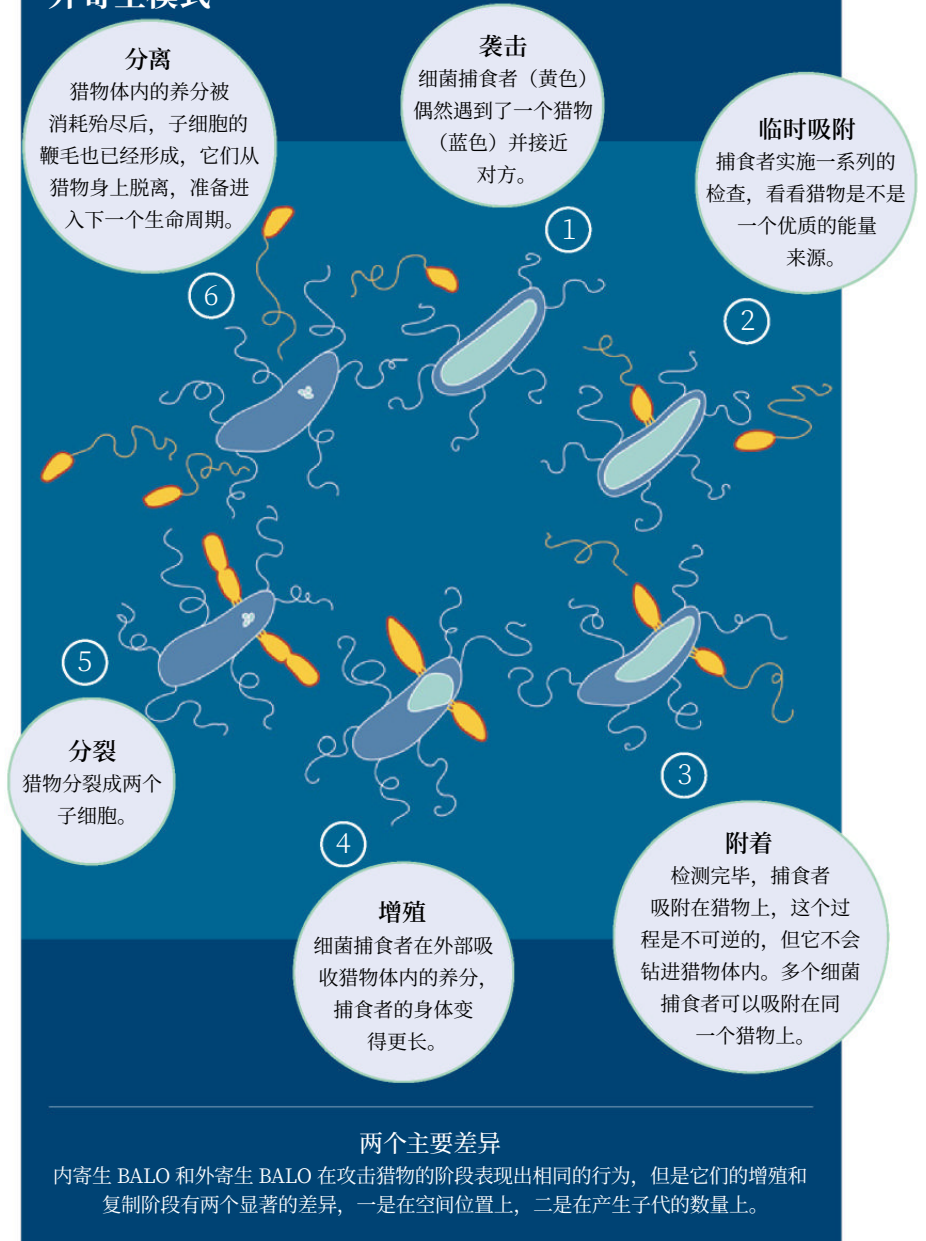
不挑食的 BALO

在猎物的选择方面，大多数研究证实 BALO 更喜爱捕食革兰氏阴性菌。如果提供选择的话，它们会先吃掉在自己的生存环境中经常遇到的细菌。它们的猎物多种多样，有的是感染植物、动物或人类的病原体，有的是共生细菌。几年前，罗马大学的塞雷娜·斯基帕 (Serena Schippa) 团队观察到一个新现象：BALO 中的噬菌蛭弧菌成功攻击并吃掉了革兰氏阳性菌。噬菌蛭弧菌通常进行内寄生，但是面对金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 这样的革兰氏阳性菌，它们设法适应了新的菜单。在大约二十个小时内，它们就改变了策略，选择进行外寄生（也就是附在宿主表面）。吃掉金黄色葡萄球菌所必需的时间就像一场潜伏，在这期间捕食者合成了一套新的

BALO的生命周期

BALO 有两种不同的生命周期。斯塔尔吞菌弧菌 (*Peredibacter starrii*)、噬菌蛭弧菌 (*Bdellovibrio bacteriovorus*) 等细菌拥有内寄生生命周期，也就是说它们的生命周期发生在宿主的体内；而外生蛭弧菌 (*Bdellovibrio exovorus*) 拥有外寄生生命周期，宿主留在猎物的体外。这两种生命周期的时长都在三个半小时到四小时之间。

外寄生模式



水解酶，以作用于革兰氏阳性菌的细胞壁。更加令人惊讶的是，噬菌蛭弧菌还能食用死去的细菌，只要它们的细胞内容物是完好的。

内寄生模式

溶解

后代长出鞭毛，并产生水解酶。这些酶快速作用于细菌的细胞壁，将其摧毁。子细胞释放出来，进入一个新的生命周期。

分裂

子细胞分裂。

隔膜生成

在同一时间，纤维状的细胞被分割成多个同样大小的细胞。

资源耗尽

BALO 继续增殖，直到猎物体内只剩下废物。

延长

在吸收营养物质的同时，捕食者变长了，变成纤维状。

袭击

细菌捕食者（黄色）沿着水流和漩涡运动，偶然碰到了一个猎物（蓝色）。鞭毛的运动无疑能够帮助它靠近猎物。

临时吸附

捕食者实施一系列的检查，看看猎物是不是一个优质的能量来源。

入侵

检测完毕，捕食者附着在猎物上，借助酶穿透细胞壁。在这个过程中锚蛋白（红色轮廓）被激活，它能保护捕食者不被自身产生的酶分解。

占领

捕食者抛弃鞭毛，从开口处钻进猎物体内，然后封闭开口（黑色）。接下来，它将宿主变成一个稳定而不受其他猎物攻击的结构，称为蛭质体。

增殖

捕食者细菌分泌一系列的酶，将猎物体内的成分（有机物、DNA、RNA、蛋白质……）水解，然后吸收水解产物，进行增殖。



不断变化的分类

细菌的分类不断发生着变化, 在过去十年中, BALO 的分类也经历了多次修订。如今, 为了鉴定细菌, 了解它们的亲缘关系, 主要的手段是研究 16S 核糖体 RNA, 这是核糖体中的一个次级单位, 参与合成细胞中的蛋白质。这段 RNA 有一个好处, 它出现在所有的细菌中, 拥有在演化上非常保守的分子结构, 也就是说它的演化非常缓慢。我们首先要提取出细菌中的 16S 核糖体 RNA; 接下来对 RNA 进行 PCR 扩增(即聚合酶链式反应), 扩增产物就可以用来测序了。测序结果将用于与基准序列进行对比。为了定义两个细菌属于同一个“物种”, 它们的 16S 核糖体 RNA 的序列相似度要大于 97%, 甚至大于 99%。

根据这样的分析, 我们可以发现 BALO 构成了一个并系群: 在系统发生树中, 它们并不是各自所在的分支上独有的物种。它们的最后一个共同祖先也是其他细菌的共同祖先。事实上, 它们属于两个不同的纲。第一个是 Oligoflexia 纲, 包含 BALO 的 5 个科, 每个科包含一个或多个物种, 这个纲里同时也包含许多其他的细菌。例如, 嗜盐噬菌弧菌科(*Halobacteriovoraceae*) 通常生活在高盐环境中, 其中有两个物种, *Halobacteriovorax marinus* 和 *H. litoralis*。第二个纲中只包含 *Micavibrio* 一个属, 其中有两个物种 *M. aeruginosavorus* 和 *M. admirantus*。

BALO 的“饮食习惯”在不同种类之间是不同的。有的算是杂食者, 可选择的猎物多种多样; 有的只食用某一类猎物。还有的 BALO 属于“通才”, 有时候杂食, 有时候专精, 它们会根据周围的环境调整自己的行为。后一种 BALO 算是竞争中的赢家吗? 不一定。这种捕食策略固然提供了一种无可否认的优势, 令细菌的行动更不容易受到竞争的限制, 从而主导整个 BALO 种群, 但是, 这种捕食策略的效率也相对较低, 在面对同一种目标的时候, 专门攻击这种猎物的 BALO 通常能比“通吃型”的 BALO 吃得更快。因此, BALO 的种群分布随着环境中的猎物种类而变化。

这些特征让 BALO 能够更好地适应环境, 这也解释了它们为什么能够生活在所有自然和人造的媒介中。由于 BALO 普遍存在, 又对整个细菌种群起到调控作用, 因此它们成了生态系统中重要的调控者。尤其在水生环境中, 它们对异养细菌(无法进行光合作用的细菌)产生的影响是不可忽视的。

不可忽视的调控者

异养生物在整个生态系统的食物网中发挥着核心作用。它们吸收和利用浮游植物释放到环境中的有机物质, 随后又成为鞭毛虫和纤毛虫等原生动物(一类单细胞生物)的美餐。原生动物又将这些能量传送到更高层级的食物网中。

上世纪 70 年代到 80 年代, 美国加利福尼亚大学圣迭戈分校的法鲁克·阿扎姆(Farooq Azam)和丹麦哥本哈根大学的汤姆·芬切尔(Tom Fenchel)最先发现了 BALO。接下来, 他们研究了这类细菌在碳和营养物质的循环中扮演着怎样的角色。这种“微生物循环”对生态体

系有着重要影响, 循环中的一切变化都会体现在更高层级的食物网中。长久以来, 科学界认为噬菌体和原生动物是杀死细菌的主要原因, 它们维系着水生生态系统中的微生物群落的更新。以前的研究还认为, 病毒才是地球上数量最多的生物, 某些研究还显示在一毫升海水中就含有 10^5 到 10^9 个病毒颗粒。

2014 年, 一项发现改变了这些观念。美国麻省理工学院的史蒂文·比勒(Steven Biller)和同事证明, 细胞外膜囊泡在海洋生态系统中的丰富程度远远超出我们的想象, 这些囊泡的直径为 50 到 200 纳米, 主要是由三大类生物产生的, 即古细菌、细菌和真核生物。不过在显微镜下, 这些囊泡很容易和没有尾巴的病毒混淆。

从那以后, 病毒的数量和它们对细菌种群的影响就显得不那么重要了。受到重视的除了噬菌体和原生生物之外, 还有捕食其他细菌的细菌, 尤其是 BALO。一些研究者猜测, 尽管 BALO 的数量和噬菌体相比不占优势, 但它们在调控细菌种群方面同样高效, 在一些特定情况下甚至可能更加高效, 因为噬菌体只会攻击一类猎物。

近年来, 随着细菌对抗生素产生耐药性, BALO 和噬菌体被寄予厚望, 被认为有望在多种应用场景下遏制细菌的生长, 例如用来对抗感染人类、动物或农作物的致病菌。

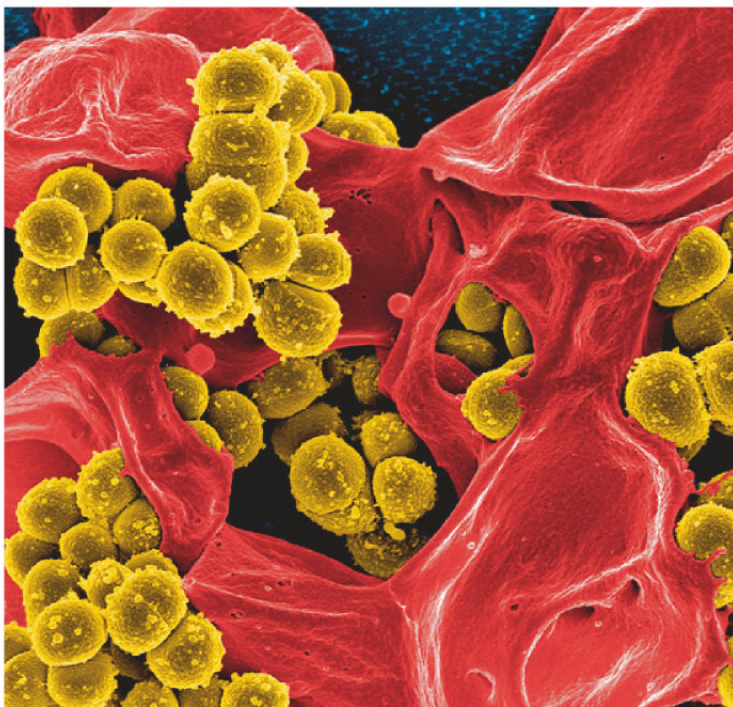
对抗耐药菌

事实上, 对于人类而言, 在医院中发生的感染(医源性感染)有 30% 都是由革兰氏阴性菌造成的。在重症监护室里, 这类细菌的致病性和致死率也非常高, 因为这里的许多患者已经感染了对抗生素有耐药性的菌株。据欧

其他的细菌捕食者

除了蛭弧菌之外，已知的具有捕食行为的细菌还有十多种，例如一些变形菌 (*Proteobacteria*) 和绿弯菌 (*Chloroflexi*)。这些细菌捕食者的共同之处在于具备分解猎物身上聚合物的能力。例如，粘着剑菌 (*Ensifer adhaerens*) 是一种土壤细菌，大部分时候它会在豆科植物的根部和茎形成固定氮元素的根瘤。但是如果环境中营养匮乏，它也会表现出捕食行为。另一种土壤细菌也是如此，当环境中的铜浓度不够高，使钩虫贪铜菌 (*Cupriavidus necator*) 的增殖受到限制，这种细菌也会变成捕食者。而溶杆菌属 (*Lysobacter*) 的捕食行为与前两者都不同，它们使用一种“狼群战术”进行捕食。但是它们和蛭弧菌不同的是，当捕食者和猎物接触的时候，无法观察到任何附着在猎物上的结构，或者说无法确定。对于粘细菌 (*Myxobacteria*) 而言，捕食行为也是群体进行，它们结成大群移动，直到偶然遇到猎物。

捕食过程分为两步：首先，细菌围攻猎物，使其变得虚弱；其次，细菌主要依靠细胞分裂产生子代，子代将猎物包围在有限的空间中，将其吞噬。当营养物质稀缺的时候，粘细菌会伸出一条几十微米长的隐藏结构，这有助于它们的生存。



一些金黄色葡萄球菌已经发展出了多重耐药的能力，并且这种病菌的感染经常发生在医院里，已经成为了人们健康的一大威胁。

洲疾病预防控制中心统计，2015年欧洲发生了接近70万起耐药菌导致的感染，其中33000人死亡。在动物中，法国等一些欧洲国家在2005年之后减少了兽用抗生素的使用，但是《机构间抗生素消费和耐药性分析报告（第二版）》(JIACRA II) 显示，国家之间仍然存在巨大的差异。局势仍然令人担忧，病菌产生对某些抗生素的耐药性与药物在动物中的使用有关，例如喹诺酮类抗生素，而这类抗生物素常用于治疗人类的沙门氏菌或弯曲杆菌感染。寻求抗生素的替代方案势在必行。

如今，多个实验表明BALO有望用于治疗人类和动物的疾病。以囊性纤维化为例，这是一种致命的遗传疾病，细菌会逐渐侵占患者的内呼吸道，引发炎症，最终破坏组织，摧毁患者的呼吸功能。而科学家已经在健康人的肺部菌群中发现了噬菌蛭弧菌，这表明BALO能在这样的环境中生存，并且它不会危害人体。2014年，斯基帕的团队进行了一项实验，检验BALO能否捕食感染囊性纤维化患者的两种主要的细菌——铜绿假单胞菌 (*Pseudomonas*

aeruginosa，属于革兰氏阴性菌) 和金黄色葡萄球菌 (革兰氏阳性菌)。研究团队从患者体内提取出这些细菌进行培养，然后检验BALO的捕食情况。在24小时后，尽管噬菌蛭弧菌表现出更偏好革兰氏阴性菌的倾向，但是对于两种细菌，它都破坏了超过70%的生物膜。因此，在肺部感染的早期就接种噬菌蛭弧菌可能有助于控制这种慢性感染的发展。

用蛭弧菌对抗牙周炎？

BALO还提供了一种对抗牙周炎的方案，这是一种由多种微生物造成的感染性疾病，表现为支撑牙齿的组织（即牙周）发炎。引发牙周炎的是多种革兰氏阴性菌，例如牙龈卟啉单胞菌 (*Porphyromonas gingivalis*) 和伴放线放线杆菌 (*Aggregatibacter actinomycetemcomitans*)，它们分布在一片被称为牙菌斑的复杂的生物膜中。

治疗牙周炎需要清除这层生物膜，一种经典的疗法就是使用抗生素，但是这种方法已经变得越来越复杂，经常

BALO的潜在应用

可以预见, BALO 将在多个领域中作为生物活性剂得到应用。



egende xxxxxx xxxx xxxx xxxx xxx
xxxxxxx xx xxxxx xxxx xx xxxx

无法见效。比利时鲁汶大学的威姆·托格赫尔斯 (Wim Teughels) 于 2011 年证明, 在体外培养中, BALO 的多种菌株能够攻击牙菌斑中的 6 种致病菌, 并且无论这些致病菌是单独培养, 还是与牙菌斑中的革兰氏阳性菌混合培养 (BALO 不捕食这些细菌), BALO 都能使致病菌的种群规模显著缩小。

当然, 还需要在更接近口腔环境的条件下进行补充实验, 一个重要原因就是牙菌斑中的致病菌是厌氧菌, 而 BALO 需要氧气才能存活。2019 年, 意大利天主教圣心大学的罗密欧·帕蒂尼 (Romeo Patini) 和同事证明, 在厌氧环境下 BALO 生长缓慢, 不足以有效清除某些致病菌。

在斑马鱼幼体身上进行的活体实验表明, BALO 中的噬菌蛭弧菌可能有助于消灭宋内氏志贺氏菌 (*Shigella sonnei*) 的一种对链霉素和羧苄西林都有耐药性的菌株。志贺氏菌属于革兰氏阴性菌, 是引发痢疾的病原体之一。

世界卫生组织的数据显示, 志贺氏菌每年造成超过一百万人死亡, 主要影响发展中国家。

2017 年, 伦敦帝国理工学院的亚历山德拉·威利斯 (Alexandra Willis) 和同事证明, 斑马鱼幼体的菱脑 (大脑后方的一个部位) 感染福氏志贺氏菌 (*Shigella flexneri*) 后, 在这个部位注射噬菌蛭弧菌能够将幼体的生存率提升 35%, 这表明噬菌蛭弧菌能够与免疫系统协同作用。在消灭福氏志贺氏菌后, 免疫系统也会将噬菌蛭弧菌清除。斑马鱼的免疫系统与人类有许多相似之处, 不知道这一策略会不会也适用于人类呢?

保护虾养殖业

除了人类之外, 水产养殖业也受到了耐药菌的困扰。南美白对虾养殖产业受到的影响尤其严重, 弧菌属 (*Vibrio*) 中的副溶血弧菌 (*V. parahaemolyticus*)、霍乱

图片来源: Assya Paloma

被低估的囊泡

自从 20 世纪 60 年代起, 科学家就观察到细菌和真核细胞(即包含细胞核的细胞)会释放出由膜构成的囊泡。此后我们还了解到古细菌也是如此, 这是生命的第三个界。也就是说, 这种机制在演化过程中是非常保守的。这种行为远比我们想象的更加普遍: 2014 年, 美国麻省理工学院的斯蒂芬·比勒和同事证明, 蓝细菌中的原绿球藻(*Prochlorococcus*)在自然环境中能够产生数量惊人的囊泡。

囊泡是由细胞膜构成的微小封闭结构, 它们可能被释放到外界环境中, 也可能参与细胞内部的物质运输。囊泡的形状、大小、内容物和功能多种多样(例如抵抗某些感染, 提供抗病毒保护, 释放毒性因子, 参与遗传物质运输, 实现微生物之间的通讯, 充当诱饵, 为单细胞生物提供食物, 等等), 它们形成的机制也各不相同。

在自然环境中, 它们能够和细胞相互作用, 甚至可能会错误识别水中的病毒, 并与之相互作用。事实上, 囊泡的大小接近(直径在 40 到 230 纳米之间), 有时会大量聚集(每毫升液体中超过 10^6 个囊泡)。这样看来, 可能水生病毒的数量比我们所设想的要少一些, 它们对生态系统的影响也没那么大, 而替代它们的位置的应该是捕食细菌的细菌。

弧菌(*V.cholerae*)以及其他几种病菌会引发大规模传染病, 有时甚至会导致 90% 的产量损失。这些细菌造成的感染不一定能用抗生素治疗。南美白对虾在美洲和亚洲的多个国家有淡水饲养, 尤其在中国, 水产养殖业每年产出 30 万吨用于食用的虾。

对于这个问题, BALO 同样提供了有吸引力的解决方案。2015 年, 上海海洋大学的曹海鹏和同事们在培养皿中加入噬菌蛭弧菌, 成功清除了弧菌属的 6 个不同的致病菌株。并且, BALO 无疑能够提供保护作用, 让虾免受弧菌感染: 在活体实验中, 研究团队发现 BALO 使虾的生存率提升了 60% 以上。

此外, 从人类或动物细胞的培养结果看来, 这些细菌捕食者似乎是无害的, 没有任何疾病与 BALO 有关, 或由 BALO 感染导致。与其他细菌或噬菌体疗法中使用的噬菌体相比, BALO 只会引发微弱的免疫反应, 并且目前为止没有发现病菌会对 BALO 产生永久的耐受性。

尽管拥有巨大的潜力和吸引力, BALO 仍然只得到了

很少的研究。仅在 2018 年一年中, PubMed 上关于葡萄球菌属(*Staphylococcus*)的论文就有 6900 篇, BALO 的相关论文则少得多。不过毫无疑问, 这些细菌捕食者将在不久的将来得到重视, 它们的潜在应用多种多样。而且, 为了更好地理解 BALO 在自然环境中所扮演的角色, 我们还要进行许多研究。

阿尔卑斯山脉周边的 BALO

如今, 新的高通量测序技术和生物信息学技术让我们得以了解细菌的多样性, 以及它们与环境的相互作用。

我们在 2017 年末启动了一个相关项目, 以研究 BALO 在多种水生生态系统中的多样性、结构、数量和角色。我们的第一批结果看起来很有希望。

我们发现某些 BALO 在阿尔卑斯山脉周边湖泊中非常丰富。吞菌弧菌科(*Peredibacteraceae*)的数量最高占到细菌总数的 7%, 其中以斯塔尔吞菌弧菌为主; 我们分析的另外两个科, 蛭弧菌科(*Bdellovibrionaceae*)和噬菌弧菌科(*Bacteriovoracaceae*), 则占比很少。不过, 这三个科在水体中的分布非常不同, 吞菌弧菌科分布在靠近水面的区域, 而蛭弧菌科和噬菌弧菌科在深水区域更多。这意味着它们拥有不同的生存策略吗? 还是说它们占据了不同的生态位? 未来将告诉我们答案。不过有一件事是肯定的: 下次你在日内瓦湖畅游的时候, 你一定会用全新的眼光看待它。■

本文作者 斯特凡·雅凯是法国国家农业研究院(INRA)阿尔卑斯淡水食物网与生态系统研究中心研究主任。

雅德·伊兹丁是法国国家农业研究院(INRA)阿尔卑斯淡水食物网与生态系统研究中心博士后研究员。

扩展阅读

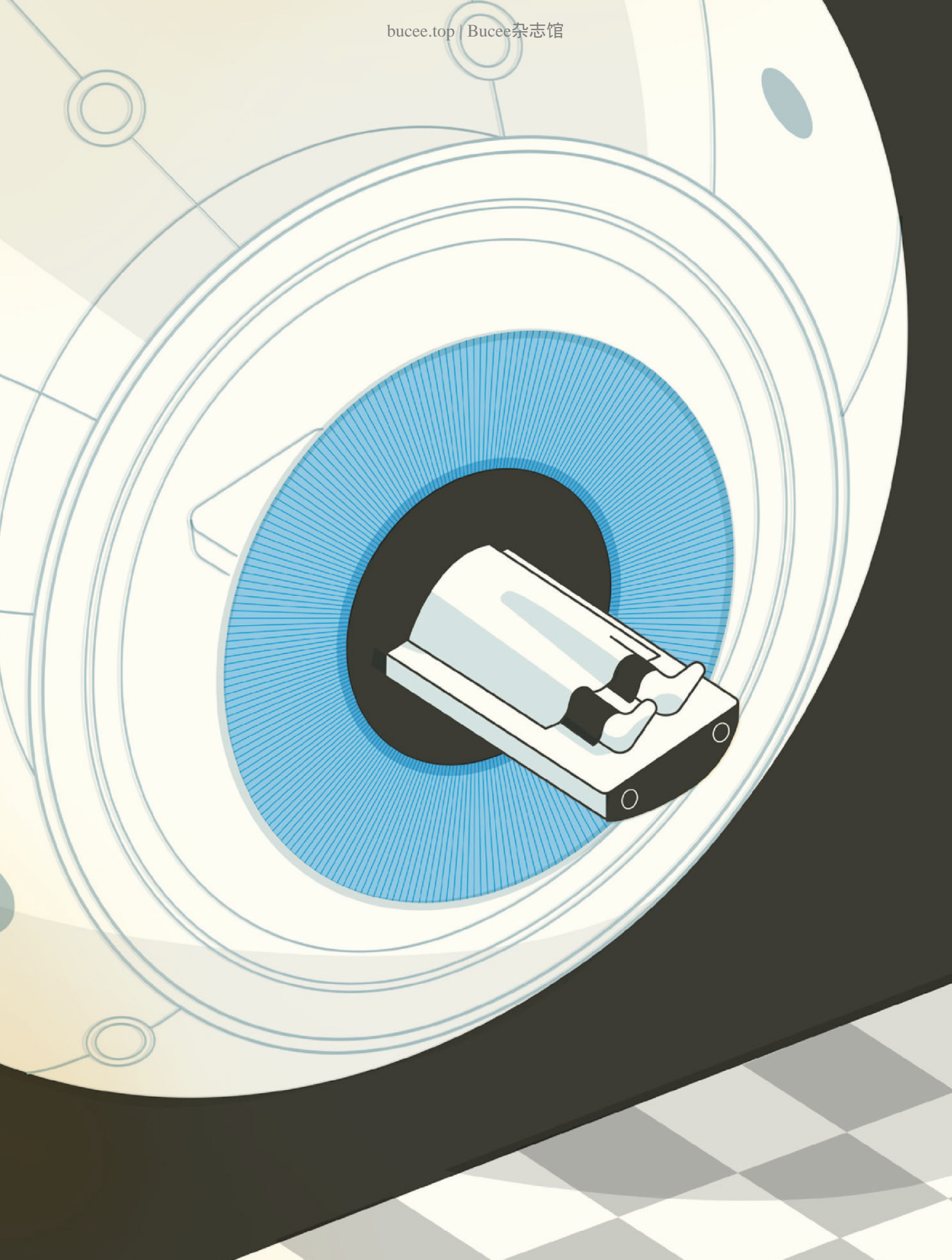
J. A. Ezzedine et S. Jacquet, *Bactéries prédatrices : zoom sur les Bdellovibrio et organismes apparentés (BALOs)*, N3AF, vol. 2, 2019.

B. Paix et al., *Diversity, dynamics and distribution of Bdellovibrio and like organisms in peri-alpine lakes*, Applied and Environmental Microbiology, vol. 85, article 02494-18, 2019.

S. Jacquet et C. Depecker, *Les virus, piliers de la vie marine*, Pour la Science Hors-Série n° 104, pp. 36-43, 2019.

E. Jurkevitch et Y. Davidov, *Phylogenetic diversity and evolution of predatory prokaryotes*, dans E. Jurkevitch (éd.), *Predatory Prokaryotes* – Biology, Ecology and Evolution, Springer, 2006.

F. Azam et al., *The ecological role of water-column microbes in the sea*, Marine Ecology Progress Series, vol. 10, pp. 257-263, 1983.



RISE OF ROBOT RADIOLOGO- GISTS

AI 能取代医生吗

目前，一些人工智能系统能以类似人类医生的水平分析医学影像，并做出诊断。未来，它们能够取代人类医生吗？

撰文 萨拉·里尔登 (Sara Reardon) 翻译 管心宇

雷 吉娜·巴尔齐莱 (Regina Barzilay) 在步入40岁后不久, 做了一次常规乳房X线检查。医学影像显示, 她的乳房组织有一系列复杂的白色斑点。这些标记可能是正常的, 也可能是癌性的, 即使是最出色的放射科医生也常常难以确认这些白点到底是不是病变组织。她的医生认为, 这些斑点不会立即产生问题。事后看来, 她说: “我已经得了癌症, 而他们并没有看到。”

两年后, 巴尔齐莱做了第二次乳房检查: 一次胸部核磁共振和一次活检, 所有检测结果仍然很模糊, 而且还互相矛盾。最终, 她于2014年被诊断为乳腺癌。整个诊断过程让巴尔齐莱极其沮丧。她想知道, “为什么三次检测会有三个不同的结果?”

巴尔齐莱接受了治疗, 目前康复得很好。但她仍然感到后怕, 因为乳房成像的不确定性可能会延误治疗。“我意识到目前的技术在保护我们的健康方面还存在多大的漏洞,” 她说, 所以她决定改变自己的职业路径, “我必须这么做。”

作为麻省理工学院的计算机科学家, 巴尔齐莱此前从来没有做过医学健康领域的研究。她原本的研究方向是将机器学习技术用于自然语言处理, 但她决定开拓新的研究方向, 和放射科医生合作开发机器学习算法, 利用计算机出色的视觉分析能力来发现乳房影像中人眼可能错过的疾病征兆。

在接下来的4年里, 研究团队给计算机提供了32 000张不同年龄的女性的乳房影像, 以及她们在五年内是否被诊断出癌症的信息, 教会计算机程序如何分析乳房影像。随后, 研究团队用计算机程序来为另外3800名患者做诊断, 测试程序的诊断正确率。她们开发的算法发表在去年5月的《放射学》(Radiology) 杂志上。这一算法在预测癌症(或者预测没有患癌症)方面明显比临床上通用的方法更准确。当巴尔齐莱的团队把巴尔齐莱在2012年拍摄的乳房影像输入程序后, 程序预测, 她5年内患乳腺癌的风险高于98%的患者, 而当时, 她的医生排除了她患乳腺癌的可能性。

人工智能算法不仅能发现人眼看不到的小细节, 还能找到解释医学影像的全新方法, 其中有些方法人类也不能理解。无数研究人员、创业公司和设计人工智能算法的医

学成像设备生产商, 希望可以在缺少放射科医生的发展中国家和偏远地区提高诊断的精确度, 缩短诊断所需时间, 提供更好的医疗服务。他们也希望人工智能算法可以发现生物学和疾病之间的新联系, 甚至预测病人的死亡时间。

人工智能正迅速进入临床领域, 医生既为它能减少工作量而感到兴奋, 也同样担心在和机器的竞争中丢掉工作。算法还带来了前所未有的新问题: 如何管理一个一直在学习和变化的机器? 如果算法出现了诊断错误, 责任在谁? 虽然如此, 很多医生还是对人工智能程序的未来感到兴奋。“如果我们可以充分审核这些模型, 并更加理解这些模型的工作原理, 它们就可以提升所有医疗机构的服务水平,” 斯坦福大学的放射科医生马修·伦格伦 (Matthew Lungren) 表示。

“非常热门的领域”

让计算机读取医学影像不是一个新想法。在上世纪90年代, 放射科医生就开始用计算机辅助诊断 (computer-assisted diagnosis, 简称CAD) 软件发现乳腺中的肿瘤。这项在当时被誉为革命性技术的软件, 很快就被医疗机构使用。但是医生发现, 相比当时已有的技术, CAD会耗费更多时间, 使用难度也更大。而且根据一些研究, 使用CAD的诊所和没使用CAD的诊所相比, 错误诊断更多。美国托马斯杰斐逊大学的放射科医生维贾伊·拉奥 (Vijay Rao) 表示, CAD的失败让很多医生开始怀疑计算机辅助诊断技术。

然而, 在过去10年, 脸部识别之类的计算机视觉技术, 在人们生活中, 以及在医疗中的应用出现了跳跃式的发展。这可能主要得益于深度学习技术的发展。通过这种技术, 只要给计算机提供一个图片数据集, 它就可以找到图片之间的联系, 最终形成一个相关性网络。例如对于医学影像,

精彩速览

人工智能正迅速进入临床领域, 医生既为它能减少工作量而感到兴奋, 也同样担心在和机器的竞争中丢掉工作。

但是, 人工智能在医疗领域的应用仍然面对很多问题, 比如对于人工智能系统的运作方式, 有时候就连开发人员也不清楚, 由此也会带来一个伦理问题——

如果诊断出错, 导致医疗事故, 这是谁的责任?

也许, 人工智能结合人类医生的经验、对病人的了解, 才是更好的解决方案。



虽然在某些条件下，AI 系统的诊断准确率可以和人类医生的水平相当，但是 AI 算法仍然有很多不确定性，如果环境或训练数据发生变化，AI 的诊断准确率就可能下降。

我们可以先给计算机提供确诊患者的影像，然后让计算机通过深度学习，自主分析这些影像都有的，但在健康人的影像上却没有的特征。

人工智能技术在放射领域的研究和应用进展迅速。“去年，我参加的所有大型会议的主题都是人工智能和成像技术。很明显，这是一个非常热门的主题，”拉奥表示。他也是北美放射学会（Radiological Society of North America）的前任主席。

美国食品及药品管理局（FDA）表示，目前没法提供医学领域的人工智能产品列表。但斯克里斯普研究所（Scripps Research Institute，位于加利福尼亚州拉荷亚）的数字医学专家埃里克·托波尔（Eric Topol）估计，FDA 每个月都会批准不止一个医学影像算法。市场情报公司 Reaction Data 于 2018 年发布的一份调查表明，84% 的美国放射诊所已使用或计划使用人工智能算法。在中国，这一领域的进展尤其迅速，中国已有超过 100 家开发医疗保健人工智能应用的公司。

“现在是进入市场的诱人时机，”以色列特拉维夫的创业公司 Aidoc 的首席执行官埃拉德·瓦拉赫（Elad Walach）表示。Aidoc 公司开发算法来分析 CT 扫描中的异常情况，并让医生优先治疗出现异常的患者。Aidoc 公司还跟踪了医生使用程序的频率以及他们得出结论的时间。“最初，医生们很怀疑，但是两个月后，他们习惯了这款程序并且非常信任它，”瓦拉赫表示。

节省时间对于挽救患者来说至关重要。最近一项针对

肺塌陷的胸部 X 射线研究发现，放射科医生将他们 60% 以上的扫描标记为高优先级，这说明他们可能需要花费很多时间来处理不严重的病例，然后才能处理真正紧急的病例。“每位和我聊过的医生都有患者因为肺塌陷而去世，”GE 医疗（GE Healthcare）的副总裁和总经理卡利·约德（Karley Yoder）表示。GE 医疗是最顶尖的医疗成像设备制造厂商之一。去年 9 月，FDA 批准了一套人工智能工具，这套工具将嵌入到 GE 的扫描仪中，并可以自动标记出最紧急的病例。

因为计算机可以处理大量数据，所以计算机可以执行超出人类能力的分析任务。例如，谷歌正在利用自己的计算能力来开发人工智能算法，将二维的肺部 CT 图像构建为三维图像，并查看整个结构以确定是否存在癌症。相比之下，放射科医生必须自己观察这些图像，并在脑子里重建出三维结构。

黑盒问题

人工智能算法也许可以揭示生物学特征与患者预后之间的全新联系。《美国医学会杂志开放网络》（*JAMA Network Open*）在 2019 年发表的一篇文章中，报告了一个利用 85 000 张 X 光片训练出的深度学习算法，这些 X 光片来自两项持续跟踪病人超过 12 年的临床试验。论文中的深度学习算法对每位患者在试验期间的死亡风险进行了评分。研究人员发现，人工智能标记为高风险类别的人中有 53% 会在 12 年内死亡，而标记为低风险的患者的死亡率仅为 4%。而且，算法并没有给出谁会死亡或有关死亡原因的信息。美国麻省总医院（Massachusetts General Hospital）的首席研究员、放射科医生迈克尔·卢（Michael Lu）说，如果能与医生的评估及遗传等数据源结合，这一算法可能是评估患者健康状况的有用工具。

为了理解算法的工作原理，研究人员找到了图像中被算法纳入评估的区域。有些区域（例如腰围或女性的乳房结构）被纳入评估是说得通的，因为这些区域确实和某些疾病有关。但是，算法还检查了肩胛骨下方的区域，这里没有已知的医学意义。卢猜想，一个人灵活性较差，可能是寿命较短的一个预测因素。患者在进行胸部 X 光检查时，通常需要抱住机器，而健康状况较差的人如果不能将手臂完全围绕在机器上，肩膀的位置可能会不同。卢说：“算法并不像我以前想的那样从最底层的原理预测，它们的预测方式可能是不可理解的。”

计算机与人类思维方式之间的脱节被称为黑盒问题：

计算机在人类无法进入的隐蔽空间运作。对于这是否会给医学成像带来问题，专家们存在分歧。一方面，如果算法能够持续改善医生的工作和患者的健康状况，那么医生就不必知道其工作原理。毕竟，研究人员仍然不完全了解许多药物的机理。

但不能否认的是，黑盒问题的存在，可能会让医生难以理解人工智能的诊断结果。例如，西奈山伊坎医学院 (Icahn School of Medicine at Mount Sinai) 的研究人员

即使人工智能算法的结论有医学意义，从法律的角度来看，“黑盒子”仍然存在许多问题。如果人工智能诊断错误，则很难确定是医生的责任还是算法的责任。

就对他们开发的深度学习算法感到疑惑，因为在西奈山伊坎医学院，这套算法识别肺炎患者 X 射线影像的准确率达到 90% 以上，但在其他机构，准确率却会大幅降低。他们最终发现，该算法不仅分析图像，还评估了每个机构出现肺炎的几率。但是，研究人员既没想到人工智能会这么做，也不想让它这么做。

诸如此类的混杂因素使塞缪尔·芬利森 (Samuel Finlayson) 感到担忧，他在哈佛大学医学院研究机器学习的生物医学应用。他指出，人工智能经过某些数据集的训练以后，可以产生让开发人员意想不到的偏差。例如，在急诊室或深夜拍摄的影像和在常规检测中拍摄的影像相比，前者被诊断为病人的概率更大。算法还有可能学会观察伤疤或者植入性医疗器械 (说明此前可能存在健康问题)，并假定不存在这些特征的人没有得病。另外，医疗机构标记图像的方法也会让人工智能算法产生混乱，让算法无法正常分析其他机构通过不同系统标记出的图片数据。芬利森表示“如果你只是用一个时间、一个医院中的一组人群的影像来训练算法，这说明你没有意识到算法会考虑数千个细微因素，如果其中任何因素出现了变化，你的算法得出的结论可能就不准了。”

芬利森说，解决方案是用来自多个地方和不同人群的数据训练算法，然后在不进行任何修改的情况下对新的患者人群进行测试。但是，很少有算法以这种方式进行测试。根据托波尔最近发表在《自然·医学》(Nature Medicine) 上的综述文章，在数十项声称人工智能的性

能优于放射科医生的研究中，只有少数几项研究用不同的人群训练和测试算法。美国杜克大学的计算机科学家辛西娅·鲁丁 (Cynthia Rudin) 说：“算法非常非常脆弱。如果使用训练所用的图片数据集之外的图片，算法可能就没法做出准确诊断。”

随着研究人员意识到这一问题，他们开始通过新的实验开展更多的测试研究。巴尔齐莱的团队最近在瑞典卡罗林斯卡学院 (Karolinska Institute)，利用 10 000 张扫描影像测试了自己的人工智能算法，结果发现算法的诊断准确率和在美国一样好。研究团队正在与其他医院合作，在更多的患者群体中进行测试。

算法的变化

即使人工智能算法的结论有医学意义，从法律的角度来看，“黑盒子”仍然存在许多问题。如果人工智能诊断错误，则很难确定是医生的责任还是算法的责任。美国密歇根大学健康法专家尼科尔森·普莱斯 (Nicholson Price) 说：“医疗服务过程中会发生很多糟糕的事情，而你不一定知道为什么会发生这些事。”如果人工智能系统让医生做出不正确的诊断，医生可能说不清楚原因，而关于检测方法的数据很可能是受到严格保护的商业秘密。

医疗人工智能系统还是太新了，还没有接受医学失职诉讼的考验，所以现在还不清楚法院会如何判断责任归属，以及需要什么样的透明度。

开发人工智能系统的公司都倾向于搭建“黑盒算法”，这种做法让鲁丁感到沮丧。问题源自一个事实：大多数医学算法都在改编其他图像分析领域的深度学习工具。她坚持认为：“没有理由认为，我们做不出一个可解释的机器人。然而，对研究医学数据来说，从零开始搭建一个透明的算法要比改编一个已有的‘黑盒算法’难得多。”所以，鲁丁怀疑大多数研究人员先运行算法，再去理解算法如何得出结论。

鲁丁正在开发透明的人工智能算法，该算法可以分析可能存在肿瘤的乳房影像，并不断告知研究人员自己在做什么。但是，她的研究因缺乏训练算法的图像而受阻。鲁丁说，公开可用的图像往往标注得很不好，或是用目前不再使用的旧设备拍摄的。而缺少了足够庞大的、多样的数据集，算法往往会选择一些不太明晰的因素。

人工智能算法从经验中学习的能力，以及黑盒子特性，也给监管机构带来了挑战。与药物不同，机器学习算法会随着时间的流逝而不断变化和改进，因为它们可以获得更多的患者数据。由于算法从很多种不同类型的输入数据中提取含义，因此看似无害的更改（例如医院部署的新IT系统）可能会突然破坏人工智能程序。托波尔说：“机器可能像人类一样生病，并且可能感染恶意软件。当你需要处理一个人的生命问题时，你不能相信算法。”

去年四月，FDA提出了一套指导原则，用于管理随着时间推移而变化的算法。指导原则的内容包括期望人工智能系统的开发商密切关注算法的变化，以确保算法可以继续按设计方案工作。如果发现意想不到的变化，可能需要重新评估算法的诊断准确率，并需要通知政府机构。政府机构还要求公司详细说明他们预计算法会如何改变，以及如何管理算法的改变。

机器会取代医生吗？

人工智能的局限性应该会让那些担心被机器抢走工作的放射科医生放心。2012年，技术风险投资家、Sun Microsystems的联合创始人维诺德·科斯拉（Vinod Khosla）预测算法将取代80%的医生，这一观点震惊了医学界。最近，他声称10年后还在工作的放射科医生相当于在“杀人”。拉奥说，这样的言论在放射学领域引起了恐慌和强烈反对，“我认为炒作创造了很多有害影响。”

但这样的担忧确实产生了真实影响。2015年，美国只86%的放射科职位招到了人，而往年是94%，尽管最近几年这一数据有所回升。而根据2018年针对322名加拿大医学学生的调研，68%的人相信人工智能会降低医疗领域对放射科医生的需求。

尽管如此，大多数专家和人工智能开发商仍然不认为人工智能会很快取代人类医生。瓦拉赫表示，“人工智能很擅长解决一件事”，但人体的生物学机理很复杂，“你通常需要人类医生，他们不止在一件事上做得很好。”换句话说，即使算法能够更好地诊断特定疾病，但如果能结合医生的经验，以及他们对患者个人经历的了解，那么这样的诊断方法就可以带来更好的结果。

因为人工智能可以很好地执行单项任务，所以可以让放射科医生免于繁琐的工作，也让他们有更多的时间与患者互动。

不过，拉奥等人仍然相信，人工智能算法在未来几年会让放射科医生接受的训练和使用的工具（包括他们的日

常工作）发生巨大的变化。“人工智能不会取代放射科医生，但使用人工智能的放射科医生会取代不用人工智能的放射科医生，”斯坦福大学的放射科医生柯蒂斯·朗洛茨（Curtis Langlotz）表示。

但也有一些例外。2018年，FDA批准了首个无需医生查看医学影像即可做出医疗决定的算法。美国IDx Technology公司开发了这款可以检测视网膜图片并发现糖尿病性视网膜病变的算法。根据这家公司提供的数据，算法的诊断准确率高达87%。迈克尔·阿布拉莫夫（Michael Abramoff）表示，因为没有医生参与决策，所以公司对任何医疗错误都会承担法律责任。

从短期来看，人工智能算法更可能帮助医生而不是取代他们。例如，在发展中国家工作的医生可能无法使用与美国或欧洲的主要医疗机构相同类型的扫描仪，也没有训练有素、能解释扫描内容的放射科医生。伦格伦表示，随着医学变得更加专业化，更依赖图像分析，富裕和贫困地区提供的医疗服务的差异会越来越大。人工智能系统可能是弥补这一差距的较好办法，而且成本更低，甚至在手机上就能运行程序。

伦格伦正在开发一种工具，可以让医生用手机拍摄X光胶片（并非标准的数字扫描），并在手机照片上运行一种算法来检测结核病等问题。他说：“这么做并没有取代任何医生。”许多发展中国家根本没有放射科医生。“我们正为非放射科医生提供专业能力，赋予他们新的能力。”

拉奥表示，人工智能的另一个短期目标可能是检查病历，从而确定患者是否需要扫描。许多医学经济学家认为，成像技术已被滥用。仅在美国，每年会进行超过8000万次CT扫描。尽管这些海量数据对研究人员训练算法很有帮助，但扫描的费用却异常高昂，并且可能使患者暴露于不必要的辐射中。朗洛茨补充说，类似地，未来的算法可以在患者仍在扫描仪中的时候，就开始分析图片并预测最终结果，从而减少获得优质图像所需的时间和患者接受的辐射量。

巴尔齐莱说，当人工智能可以作为医生的合作伙伴，并敏锐地发现医生无法独自发现或解决的问题之后，才能发挥最大的作用。她指出：“如果存在一种方便且可描述的模式，人类肯定已经发现了。”但根据她第一手的经历，事实并非如此。■

本文作者 萨拉·里尔登曾获得分子生物学硕士学位，她是《自然》杂志的记者，现居于美国蒙大拿州博兹曼市。



first molecule in the universe

宇宙的第一个分子

数十年前，天体化学家就在理论上证实氦合氢离子（ HeH^+ ）是早期宇宙中第一个出现的分子。2019年，他们终于在太空中检测到这一神秘的分子，并确证了氦合氢离子开启了宇宙中的化学反应，最终促使生命出现。

撰文 瑞安·C·福滕伯里 (Ryan C. Fortenberry) 翻译 石丹枫

精彩速览

天体化学家从与地球温度和压力相差极大的太空中，寻找和研究化学分子。太空中的许多化合物与我们熟悉的化合物并不相同，其中一些甚至是未知的。

最终，科学家发现了一个很早以前就存在于理论中的分子——氦合氢离子（ HeH^+ ），它被认为是宇宙形成的第一个化合物。

最近，该领域的一些突破正在改变我们对天体化学的理解。研究人员开始鉴定出数十年前发现的星际弥散带 (DIB) 对应的太空分子。

宇宙早期最先出现的“原子”还不是真正的原子，而是尚未找到外层电子的原子核。其中，氢原子拥有最简单的原子核，即一个没有外层电子的裸露质子。在大爆炸形成宇宙的初期，由于能量极其不稳定，宇宙中的一切物质时刻都在相互撞击。质子和中子由于经常碰撞，形成了一些较大的原子核，如氦核（1个质子和1个中子）和氦核（2个质子和2个中子）。由于原子对应的元素类型取决于含有的质子数量，质子和中子虽然形成多种其他形式的排列，但都只是氢、氦和微量的锂以及它们的多种同位素。



瑞安·C·福滕伯里是美国密西西比大学物理化学助理教授，也是美国航空航天局（NASA）的科学家。他利用量子化学模型预测各种分子如何吸收光波，帮助天文学家观测太空中的分子。

在三种原子核中，氦率先开始形成了“真正”的原子。原子需要同时拥有原子核和电子。为什么第一个得到电子的原子核是氦核，而不是氢核或锂核呢？氦是元素周期表中的第一个“稀有气体”元素，也第一个最外层电子轨道中具有完整电子数的原子。在实验室中，如果我们要转移氦原子中的电子，需要的能量将远大于转移任何其他元素中的电子。另外，转移氦原子的第2个电子所需的能量是第1个电子的2倍以上。早期宇宙中，在氢核开始捕捉电子之前，甚至在有足够的锂核捕获电子之前，氦核就找到了能充满外层电子云的2个电子。

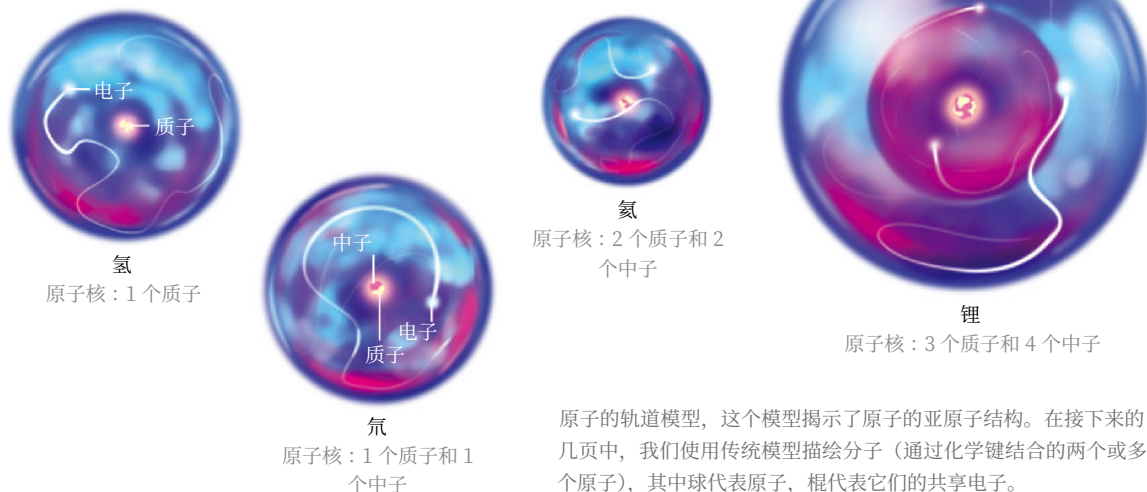
当时，宇宙中其他物质仍然主要由孤立的质子组成。由于没有电子，质子的行为开始受到影响。它们开始减慢运动速度，并寻找带相反电荷的电子来形成电中性。但是，由于单个质子捕获自由电子比较困难，因此质子转向寻找一些已有电子的氦原子。尽管氦原子不愿共享电子，但氦核不断碰撞氦原子产生的压力，最终导致一些氦原子

与质子共享了电子。至此，宇宙中的第一个化学键形成了。由氦原子和氢质子形成的新化合物称为氦合氢离子（ HeH^+ ），这是宇宙中的第一个分子。

氦是第一个形成化学键的元素，对于这个结论我们不免会感到惊讶。氦元素与其他元素形成化学键的可能性最小，因为氦是一种稀有气体元素，具有完整的最外层电子数。但在早期宇宙中，氦是唯一能给出电子并形成化学键的元素。

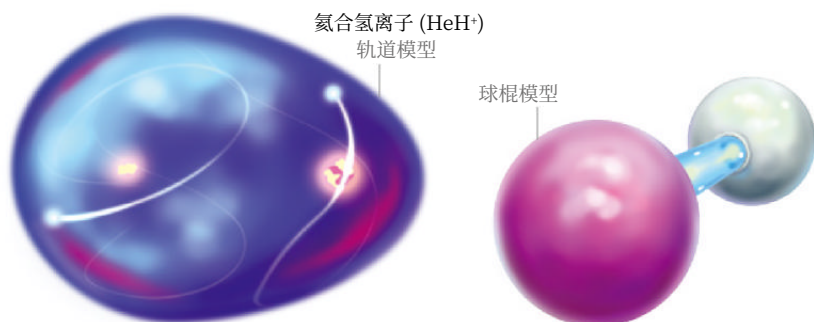
数十年来，早期宇宙中存在 HeH^+ 这一猜想一直具有坚实的理论基础，但缺乏观察数据。除了在实验室，地球上的其他地方都无法形成 HeH^+ ，而科学家也没有在太空中发现这种分子。但就在2019年，天文学家宣布他们在一颗晚期恒星（白矮星）形成的星云中，首次观察到 HeH^+ 。这项历经了40年的搜寻终于获得了成功，也为早期宇宙的演化增加了新的关键组成部分。

迄今为止，科学家已经在太空中发现了200



原子的轨道模型，这个模型揭示了原子的亚原子结构。在接下来的几页中，我们使用传统模型描绘分子（通过化学键结合的两个或多个原子），其中球代表原子，棍代表它们的共享电子。

多种分子，现在 HeH^+ 也被列入太空分子名单。科学家对地球以外太空化学（天体化学）的研究旨在发现太空中存在的各种分子，探索它们的形成方式和演化过程，从而为天体物理学提供帮助。许多太空分子在地球上都很常见，包括水、氨和甲醛。但还有一些分子在地球上十分罕见，例如

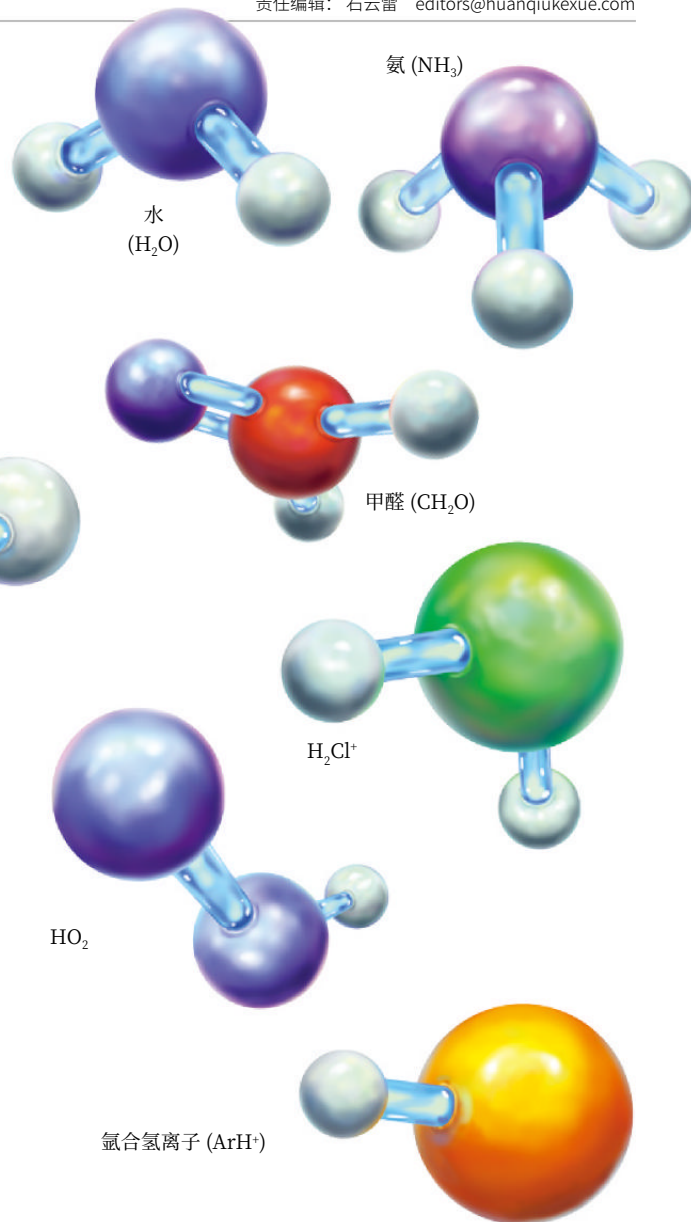


盐酸分子与一个质子结合形成的 H_2Cl^+ ，以及过氧化氢失去一个氢原子形成的 HO_2 。科学家已观察到的宇宙分子包括带电分子、含有不成对电子的分子和原子特殊排列的常见分子，以及由惰性元素组成的分子，例如 ArH^+ 和新观察到的 HeH^+ 。

大多数化学研究都致力于让人类生活的世界更安全、高效和健康，但天体化学主要致力于研究各种分子最基本的特性。这一学科有助于定义真正的化学键形成，分子保持完整性的时间以及为什么某些化合物的存在比其他化合物更普遍。通过研究与地球相比非常陌生的太空环境（与地球的温度、压力，以及与我们常见的化学成分都非常不同的环境）中的化学，天体化学家能找到一些不常见的分子，这些分子或许会挑战我们对原子间相互作用的认识，帮助我们更深刻地理解化学。最终，他们希望了解太阳系行星中的这些成分是如何通过化学过程形成的，生命又是怎样出现的。

HeH^+ 在哪里？

1925年，在美国加利福尼亚大学伯克利分校的一个实验室里，T·R·霍格内斯（T. R. Hogness，后来参与了曼哈顿计划）和E·G·伦恩（E. G. Lunn，当时是一位讲师）发现，真空中的电弧会使混合的氦气和氢气形成多种不同形式



的离子。他们通过现在已经很普遍，但在当时还很先进的质谱仪，测量了这些离子的质荷比。测量结果表明，离子的质荷比为5，但这种离子几乎转瞬即逝，这说明，他们测量的对象只可能是 HeH^+ 。不过， HeH^+ 很难用于研究，因为即便在霍格内斯和伦恩的实验室中，严格控制的条件下，也很难让这种罕见的气体分子存在足够长的时间。

在早期宇宙中， HeH^+ 甚至会更不稳定。另一个原子最轻微的接触，都有可能使它释放质子。因为在分子中，氦给出了两个电子，而氢不提供电子。这个不均衡的化学键（配位键）比一般的共价键更弱。在共价键中，两个原子对电子的贡献更加平均。

美国明尼苏达大学的约翰·布莱克（John H.

Black) 在 1978 年率先提出一种猜想: HeH^+ 仍可能存在于太空。布莱克认为, 由垂死的恒星抛出的充满能量的行星状星云, 是观测这种分子的理想场所。在这些星云中的中性氢原子周围, 通常还会存在一层稀薄的带电氦原子。氦原子对电子的强烈需求, 会驱使它从氢原子中借用一个电子, 并与氢原子形成化学键。因此, 从 20 世纪 70 年代后期开始, 天文学家便一直与化学家合作, 从宇宙边缘到巨型恒星等多种环境中寻找 HeH^+ 。但由于数十年的搜寻一无所获, 一些人开始怀疑, HeH^+ 真的是宇宙最初的化学反应的产物吗? 氦原子真的能与质子结合吗? 因为早期宇宙中并不存在可以形成化学键的其他元素, 这种结合方式似乎是必定存在的。但如果是这样, HeH^+ 可能存在于哪里呢?

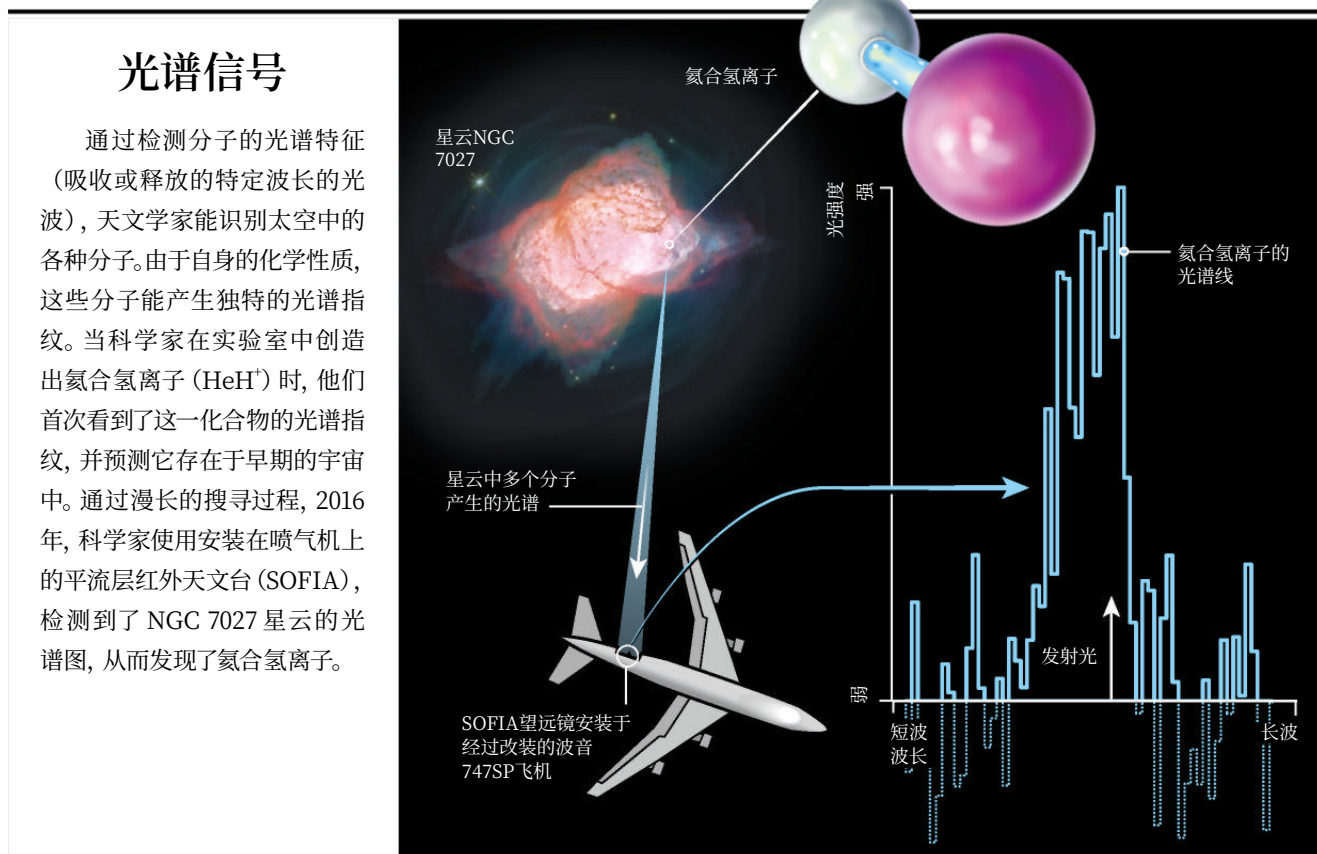
HeH^+ 的光谱指纹

虽然天体化学家没有发现 HeH^+ , 但意外发现了许多其他的分子, 其中一些分子甚至无法鉴别出具体的原子组成。1919 年, 玛丽·利·赫格尔

(Mary Lea Heger) 利用美国加利福尼亚州的利克天文台观测一个双星系统中两个恒星的运动时, 发现了一些奇怪的现象。

由于特定的原子和电子排列形式, 每个分子能以独特的形式吸收光波。当天文学家用不同波长的入射光照射分子时, 每个分子的“吸收特征”就是各自的光谱指纹(该过程称为光谱学)。赫格尔观察到双星系统中的恒星在绕质量中心运行时, 它们的外周大气的特征光谱波长会发生偏移(多普勒效应)。

但赫格尔发现, 部分光谱指纹并不会因为恒星的移动而改变。随后, 她观测了另一个双星系统, 也观察到了相同的现象。随后的研究表明, 利用望远镜观察单颗恒星, 还会观察到不会随恒星运动而改变的光谱指纹。这段特定的光谱指纹并非来自恒星周围的分子, 而是来自在恒星间广阔的寒冷区域中的分子。最惊人的是, 所有恒星甚至星系都能观测到基本相同的光谱指纹, 这一特征性的星际弥散带(DIB)似乎无处不在。科学家搜寻了所有记录在案的光谱特征, 包括地球上的各

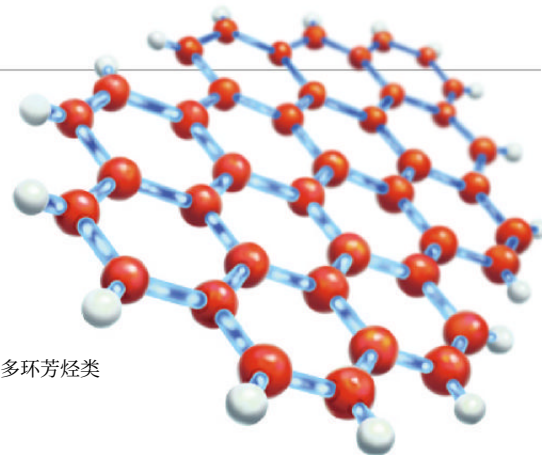


图片来源: Hubble, NASA, ESA, Processing by Judy Schmidt (nebula); SOURCE: "Astrophysical detection of the helium hydride ion HeH^+ ", by Rolf Gusten et al., in Nature, Vol. 568, April 2019 (spectrum)

种分子、实验室新合成的分子以及利用无线电望远镜观察到的太空分子，但没有一个分子的光谱指纹能与这条星际弥散带匹配，这意味着它对应着全新的分子。

美国哈佛大学已故的天文学先驱之一威廉·克伦佩雷尔 (William Klemperer) 曾经提出，这条星际弥散带可能来自三硫阴离子 (S_3^-)。当假设被证实错误时，他沮丧地表示：“失去科学声誉最好的方法，就是推测星际弥散带对应的化学物质。”在数十年的时间内，出现了许多有关星际弥散带来源的假设，但它们最终均被证明是错误的。这个问题也成为了光谱学领域遗留时间最长的难题。

其中一个著名的假设是，多环芳烃类化合物 (PAH) 是产生星际弥散带的分子。多环芳烃化合物 (碳原子呈六边形排列) 是煤烟、沥青和石墨的主要成分。它们不太可能与其他分子发生反应，但会粘附这些分子上。在天体化学家看来，多种多环芳烃化合物的结构非常相似，因此它们的光谱指纹会一起出现。寻找单个多环芳烃化合物的特征光谱就像在梵高著名画作《星夜》(Starry Night) 上分辨每一次落笔的痕迹，但其中许多部分都包藏在完整的画中。星际弥散带似乎也是由多种化合物的光谱混合形成，那么可以用多环芳烃类解释星际弥散带的组成吗？

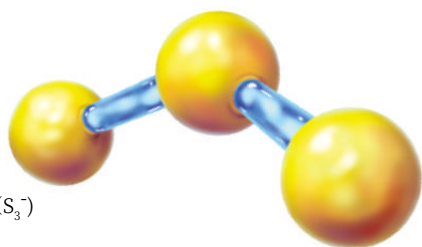
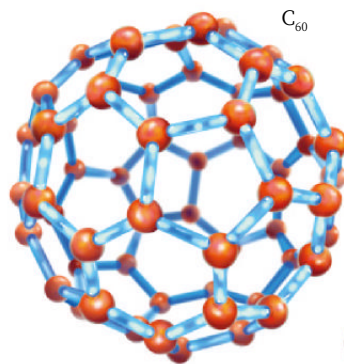
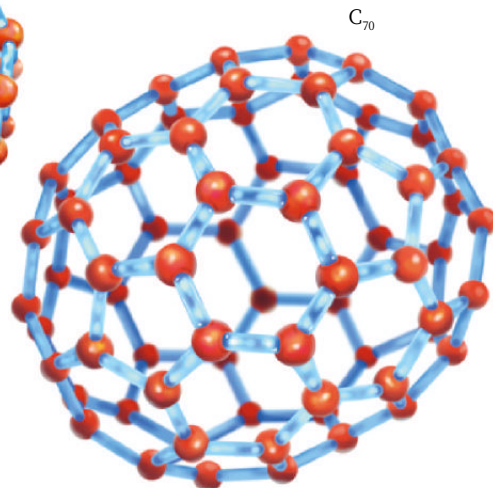


多环芳烃类

替铝，进行了类似的实验，并获得了一个最奇怪的分子——富勒烯 (C_{60})。在这个分子中，60 个碳原子排列成了类似足球的形状。

克罗托、柯尔和斯莫利因为发现富勒烯分子，获得了 1996 年的诺贝尔化学奖。克罗托深信，太空中也存在富勒烯分子，并且很可能产生了星际弥散带中一部分的光谱指纹。虽然只有少数人相信他，但他和同事们继续开展了研究。2010 年，也就是在发现富勒烯的 25 年之后，他们在天鹅座 (Cygnus) 的行星状星云 Tc1 的红外光谱中观察到了 C_{60} 和 C_{70} 。但是，他们还不能确定这两个分子是否与星际弥散带的可见光谱有关——尽管管理论上是如此，但还缺乏佐证的实验数据。

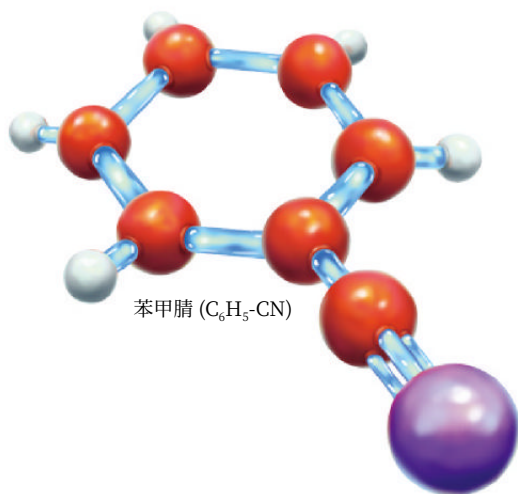
终于在 2015 年，科学家在实验室中捕捉到富勒烯阳离子 C_{60}^+ ，并准确测量了它的近红外光谱。结果显示，该分子的两条吸收谱线与已知的星际弥散带光谱是一致的。后来，研究人员发现该分子的光谱指纹与星际弥散带中的 4 条或 5 条谱线一致。在 2019 年，由美国航空航天局 (NASA)

三硫阴离子 (S_3^-) C_{60}  C_{70}

自 20 世纪 70 年代以来，类似的想法不断在天体化学领域涌现，其中一个实验彻底改变了我们对碳原子的看法。上世纪 80 年代，哈里·克罗托 (Harry Kroto) 在英国萨塞克斯大学工作，他所在的研究团队正在探测太空中的新分子。当时，莱斯大学的化学家罗伯特·F·柯尔 (Robert F. Curl) 和理查德·E·斯莫利 (Richard E. Smalley) 通过烧蚀铝的表面，发现了各种新的铝分子簇。当克罗托听说这个实验后，他用石墨代

戈达德太空飞行中心的马丁·A·科迪纳 (Martin A.Cordiner) 领导的国际团队, 使用哈勃太空望远镜检查了 11 个红色恒星 (年龄较老、体积较大的恒星) 所在方向的星际弥散带的波长, 他们发现的吸收谱线与星际弥散带的波长是一致的, 这一结果最终证实了星际弥散带中的某些光谱线确实来自 C_{60}^+ 。

该发现暗示, 至少有一种分子在整个宇宙空间都留下了光谱指纹。科学家认为, 富勒烯是由多环芳烃类化合物演化而来的。太空中存在富勒烯, 也意味着产生它们的母体分子 (多环芳香烃类) 一定也存在于太空中。直到 2018 年, 研究人员才在太空中观察到芳香烃类分子的光谱指纹。他们观察到一种稀有的芳香烃——苯甲腈 (C_6H_5-CN) 的特征光谱, 这种芳香烃比其他同系化合物更容易检测。而最近, 科学家还观察到双环氰基萘分子的特征光谱, 表明了太空还存在大量其他芳香烃类分子。

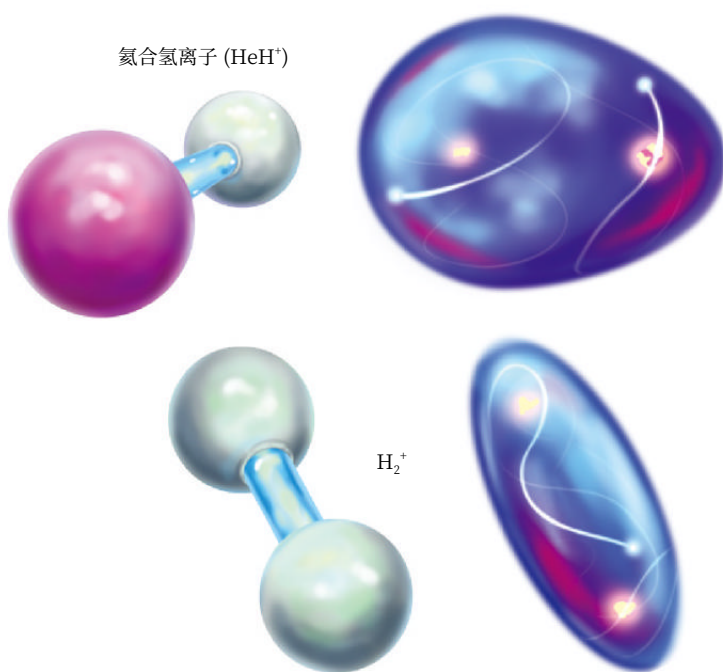


发现 HeH^+

尽管科学家已取得了一些突破, 但在很长一段时间内, 他们仍然没有在太空中发现 HeH^+ 。在最早期的宇宙中, 这种最先出现的分子会很快消散。随着宇宙的成熟、膨胀和冷却, 剩余的氢核开始收集自己的电子。而这时, 这些电中性的氢原子会接近带正电荷的 HeH^+ 。当氢原子和 HeH^+ 碰撞时, HeH^+ 中相对较弱的配位键就会断裂。随后, 两个氢原子之间会形成更强的共价键, 生成 H_2^+ , 而大量的氢原子会单独留存下来。

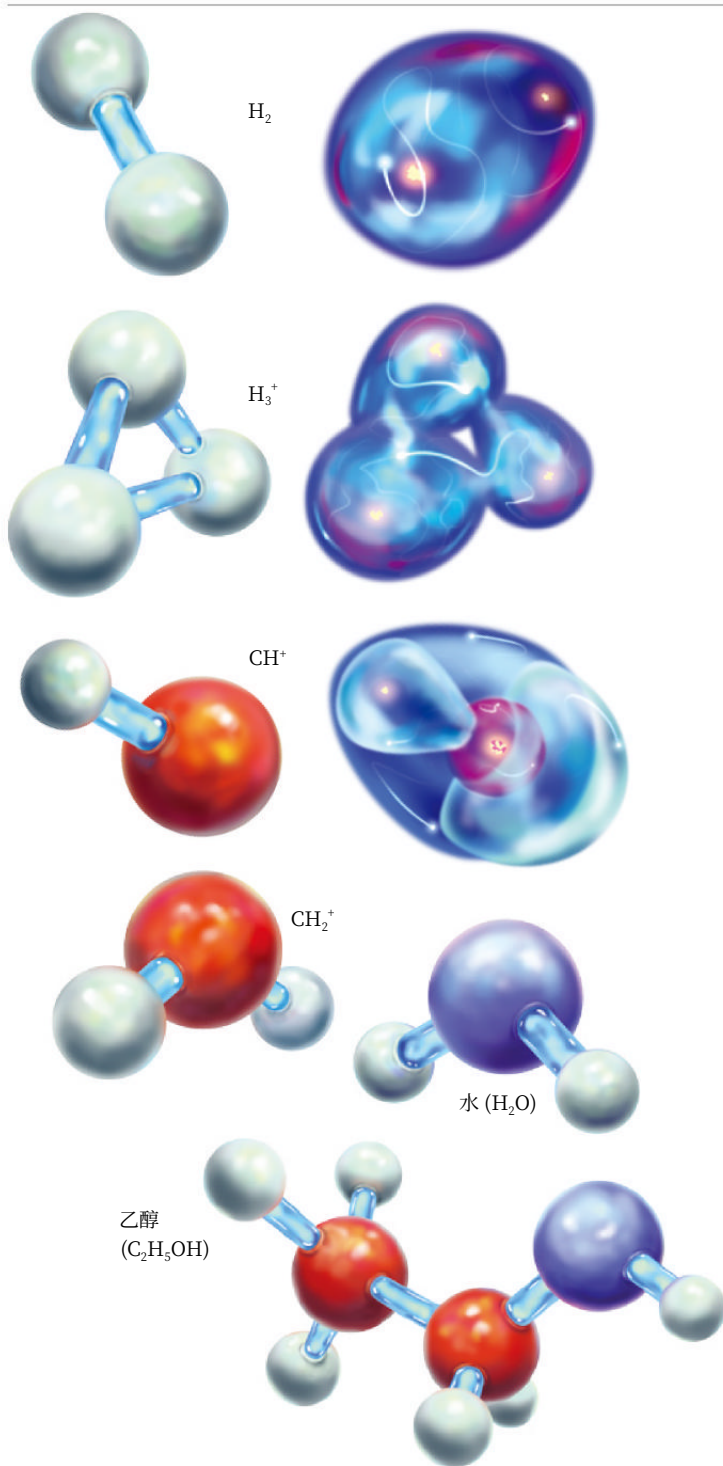
这样看来, 在太空中短暂存在的 HeH^+ 似乎

并不关键, 但事实并非如此。潜在的化学反应模型表明, 在宇宙初期, 如果 HeH^+ 没有形成, 那么 H_2^+ 和中性的氢分子 (H_2) 出现的时间会更晚。而只有形成了氢分子, 宇宙的整个化学进程才会因此展开。接下来形成的 H_3^+ 会促使 C_H^+ 形成, 后者又会生成 CH_2^+ 以及一连串的其他分子, 最终这条反应链会形成水、乙醇和更大的分子。这些反应过程都是由 HeH^+ 中不稳定的配位键导致的。如果没有这种初始的化合方式, 宇宙现在的模样将会大不相同。



尽管如此, 到 2013 年时, 天体化学家还在为没有发现 HeH^+ 而沮丧。但同一年, 研究人员又看到了新的希望, 他们在蟹状星云 (Crab Nebula) 的超新星残骸中发现了一种相关的稀有气体分子 ArH^+ 。科学家将寻找 HeH^+ 的重点放在了类似的充满能量的环境。然而更大的问题是, HeH^+ 的光谱指纹与观察到的第一个太空分子——CH 自由基的光谱指纹落在了相同区域, 当时还没有任何望远镜具备区分这些光谱的能力。

随后, NASA 和德国航空航天中心 (DLR) 的科学家建造了平流层红外天文台 (SOFIA)。这座天文台搭建在一架经过改造的 747 超大型喷气式飞机上, 红外望远镜可以从飞机侧面的孔观测太空, 它的分辨率可以辨别 HeH^+ 分子独特的旋转频率 (2



斯滕 (Rolf Güsten) 和同事在《自然》杂志上发表论文，宣布在宇宙中发现了 HeH^+ 。

当然，这次观察到的并不是最原始的 HeH^+ 。天体化学家认为古斯滕等人观察到的 HeH^+ 是最近才产生的。尽管如此，这一发现可以提供一些限制条件，让我们更好地理解这一化合物。现在，由于已经知道 HeH^+ 是宇宙早期唯一的分子，科学家能基于此设计出更好的宇宙模型。这一发现还能提供一些线索，科学家可以据此研究，这类化学物质还可能存在于宇宙中的哪些地方。

更棘手的问题

HeH^+ 的发现是天体化学领域令人振奋的时刻，困扰科学家的三个重大问题陆续解决了——他们已经观察到在早期宇宙中形成的第一个分子，识别出了神秘的星际弥散带的光谱指纹对应的第一个分子，另外他们还证明了无尽的太空中存在着芳香烃类化合物。

此外，太空模拟实验室将能显示氨基酸和核酸碱基的形成方式。SOFIA 和哈勃望远镜，以及即将发射的詹姆斯·韦伯太空望远镜有望获得恒星等天体的特征光谱，也将获得一些全新和稀有的分子光谱指纹。

现在，我们正在寻找已知问题的答案，但其他的难题也会陆续出现。最终，天体化学家希望解决更棘手的问题，例如“星际弥散带中其余的光谱线到底代表什么分子？”“生命的分子起源是什么？”“相比于气态巨行星，岩石行星的形成必定需要哪些化学物质？”因为电子的共享，宇宙产生了各种可观测的天体。当我们对这些化学过程有更深入的理解时，也将更清晰地理解对天体物理学和宇宙的完整历史。■

010.184 GHz)。

2016年5月，一个国际研究团队利用 SOFIA 进行了三个晚上的观测。在观测一颗恒星爆炸后的残留物时，研究人员在一大堆红外观测数据中发现了久违的 HeH^+ 光谱指纹。这颗恒星位于天鹅座的行星状星云 NGC 7027，这里的环境与早期的宇宙环境类似，具有极高的温度和能量。2019年4月17日，德国马普射电天文学研究所的罗尔夫·古

扩展阅读

The Cosmic-Chemical Bond: Chemistry from the Big Bang to Planet Formation. David A. Williams and Thomas W. Hartquist. Royal Society of Chemistry, 2013.

Astrophysical Detection of the Helium Hydride Ion HeH^+ . Rolf Güsten et al. in *Nature*, Vol. 568, pages 357–359; April 18, 2019.

The Astrochymist: Resources for Astrochemists & Interested Bystanders: www.astrochymist.org

the enigma



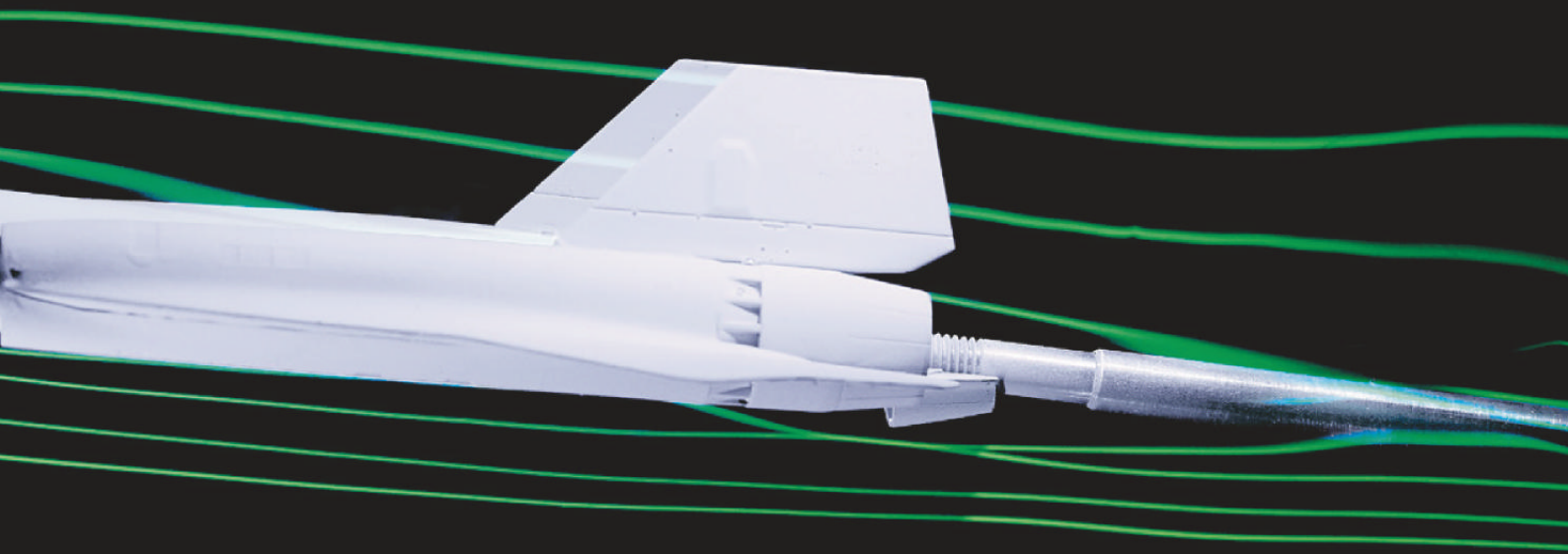
of aero

飞机为何能飞起来

即便在今天，仍然没有人能解释清楚为什么飞机能在空中飞行。

撰文 埃德·里吉斯 (Ed Regis) 翻译 白晨媛 审校 吴子牛

在美国航空航天局埃姆斯中心
流体力学实验室中，科学家用
水槽试验测试飞机表面的流场。



dynamic lift

为了纪念莱特兄弟首次飞行100周年,《纽约时报》在2003年12月刊登了一篇文章《空中飞行:是什么让飞行器待在高处?》。这篇文章讨论了一个看似简单的问题:是什么让飞机持续留在空中?为了回答这个问题,《纽约时报》咨询了美国航空航天博物馆的空气动力学策展人小约翰·D·安德森(John D. Anderson, Jr.),他同时还撰写了这个领域中的几本教科书。

然而,安德森表示,对于是什么产生了空气动力学中的升力(lift),各家的看法并没有达成一致。他告诉《纽约时报》:“这个问题并没有简单的答案”,有些答案甚至有些“疯狂”。在这篇报道发表十几年后,仍然有不同的说法试图解释升力是如何产生的,而且每一种说法都有大量热心的支持者。航空航天技术发展到现在,这种情况多少有点令人费解。毕竟,在没有任何物理知识的情况下,演化的力量早已通过无意识和随机的过程,在亿万年前就解决了鸟类飞行时所需面对的空气动力学问题。但是,为什么现在的科学家却很难解释鸟类和飞机能在空中飞行的原因?

更令人困惑的是,在关于升力的描述中,存在两种不同层次的抽象:一种是应用技术式的,一种是非应用技术式的。它们相辅相成,而不是相互矛盾,但它们的目标却不相同。前一个作为严格的数学理论而存在,在这个范畴中,分析方法由方程、符号、计算机模拟和数字组成。当我们在这个范畴中讨论描述空气动力的方程或方程的解时,几乎没有严重的分歧。技术性的数学理论能够做出准确的预测,并向从事飞机设计业务(这是一项非常复杂的工作)的航空工程师提供有用的预测结果。

但是方程本身并不能解释升力,它们的解也不能。当然,还有第二种,非应用技术层面的分析,这种分析可以为我们提供一个关于升力的解释,它是物理的、常识性的。之所以需要这种非技术的方法,是为了让我们更直观地了解飞机在飞行时所受的实际作用力和相关因素。这种方法

埃德·里吉斯是一位科学作家,撰写了大量科学类图书,包括《怪兽:兴登堡灾难和病理技术的诞生》等。另外,他还以私人飞行员的身份飞行了1000小时。



不属于数学和方程的层次,相关的概念和原理属于非专业人员能够理解的层次。

争议就存在于第二个非应用技术的层次上。科学家提出了两种不同的理论来解释升力,双方的支持者分别在论文、书籍和网络上为自己的观点辩护。问题是,这两种非技术性的理论本身并没有错,但两者都没有提出一个可以解释升力各个方面的完整理论。

要完美解释空气动力学中的升力似乎是不可能的。要考虑飞机抬升过程中的所有作用力、影响因素和物理条件,而不留下无法解释或未知的问题,这种理论真的存在吗?

有缺陷的经典理论

到目前为止,对升力最流行的解释是伯努利原理,这是瑞士数学家丹尼尔·伯努利(Daniel Bernoulli)在1738年发表的专著《流体动力学》(Hydrodynamica)中提出的一种原理。伯努利来自一个数学家家庭,他的父亲约翰·伯努利(Johann Bernoulli)对微积分做出了贡献,他的叔叔雅各布(Jakob)创造了“积分”(integral)这一术语。丹尼尔·伯努利的许多贡献则与流体动力学有关。简单地说,伯努利原理指出:流体的压力会随着速度的增加而减小,反之亦然。

飞机的机翼上方有一种特殊的凸起,专业术语称为翼型(airfoil)。因为这种弯曲的存在,与流经机翼平坦下表面的空气相比,流经弯曲上表面的空气速度更快。科学家认为,按伯努利原理,机翼上表面流体速度的增加导致那里的气压降低,以此产生了向上的升力。

除了用伯努利的理论来解释升力外,科学家还试图用另一种理论来解释这种力的来源:牛顿的作用力和反作用力原理。这个理论认为,机翼下方的空气流动为机翼提供了向上的推动作用。

从这两种理论各自的角度出发,它们都是正确的,两者并不相互矛盾,尽管每一种理论的支持者都会以近乎狂

精彩速览

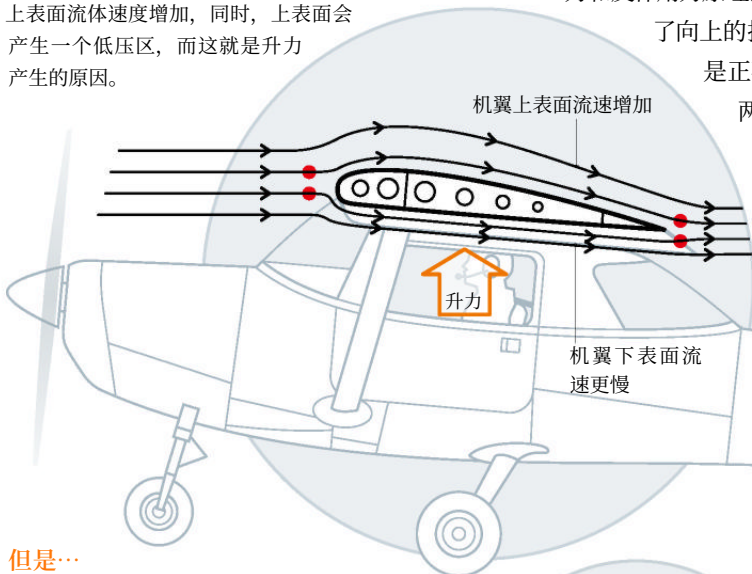
从严格的数学层面上讲,工程师们知道如何设计力产生的原因。能在高空飞行的飞机。但数学公式并不能解释气动升

阐明升力的原因有两种相互对立的理论,但两者

都是不完整的解释。空气动力学家最近试图缩小这两种理解上的差别。然而,他们没能达成一致。

伯努利原理

有些科学家试图利用伯努利原理解释飞机为什么会产生升力。在解释时，需要考虑机翼上表面的弯曲程度，这种结构在专业名词中被称为“翼型”（airfoil）。具体的解释过程是这样的：由于翼型存在弯曲，相比于流经机翼平坦的下表面的空气，流经机翼上表面的空气拥有更快的速度。按照伯努利原理，机翼上表面流体速度增加，同时，上表面会产生一个低压区，而这就是升力产生的原因。

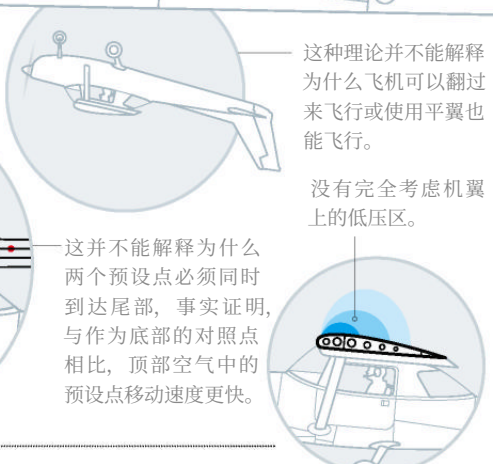


但是…

虽然伯努利原理在很大程度上是正确的，但还是有几个因素让这个原理不能完整地解释升力。确实有数据显示空气在曲面上的运动速度更快，但伯努利原理本身并不能解释这样的现象，也不能解释为什么机翼上较高的流速会带来较低的压力。实际上，只要机翼能以适当的角度迎风运动，即便飞机的上表面存在弯曲的翼型它也能翻过来飞行。另外，即便机翼的上下表面都是平坦的，也能翻过来飞行。

有缺陷的经典理论

到目前为止，有两种不同的理论试图解释飞机的升力。其中一种解释基于伯努利原理，它指出机翼上表面流体速度的增加导致那里的气压降低，以此提供了向上的升力。另一种解释基于牛顿的作用力和反作用力原理。这个理论认为，机翼下方的空气流动为机翼提供了向上的推动作用。从这两种理论各自的角度出发，它们都是正确的，但是任何一个理论都无法完整地解释升力，两者结合起来也不行，因为两者都遗漏了一些东西。一个完整的解释，应该要涉及到这个过程中的各个方面，各个因素，不能有所遗漏。



牛顿第三定律

由于空气有质量，因此，根据牛顿第三定律，机翼向下的推力会产生一个大小相等、方向相反的向上的推力。这种升力理论基于牛顿定律，适用于任何形状的机翼（弯曲的或平坦的，对称的或不对称的），当然它也适用于飞机正飞或者翻过来飞（关键特征是拥有合适的迎角）。由于上述因素，它在解释升力时，看起来比伯努利原理更全面、更普适。



但是…

就其本身而言，作用力和反作用力原理仍然不能解释机翼顶部的低气压，而低气压区域的存在，与翼型是否为弧形无关。

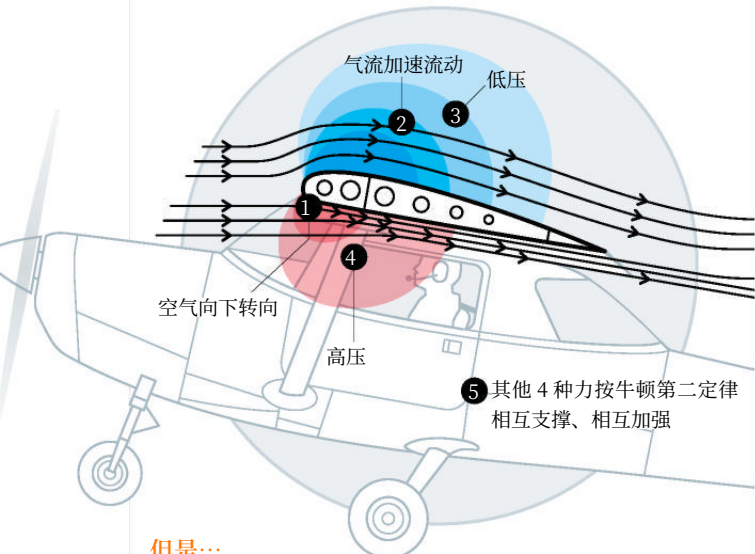


升力新概念

如今,设计飞机的科学方法是利用计算流体动力学 (computational fluid dynamics, CFD) 模拟,以及求解充分考虑了真实空气实际粘性的纳维 - 斯托克斯 (Navier-Stokes) 方程。虽然在升力作出定性的解释时,我们还没有一个简单而令人满意的理论,但是近期的一些尝试,已经让我们越来越靠近最终的答案了。

升力的 4 个因素相互依赖

这种相互关系构成了麦克莱恩解释的新的第五个要素,整套系统是基于牛顿第二运动定律的:力等于质量乘以加速度。物体的加速度(此处为流体的加速度)与施加在其上的力成正比。每一个影响其他流体团的流体团都对这五个要素做贡献,支撑飞机的飞行。

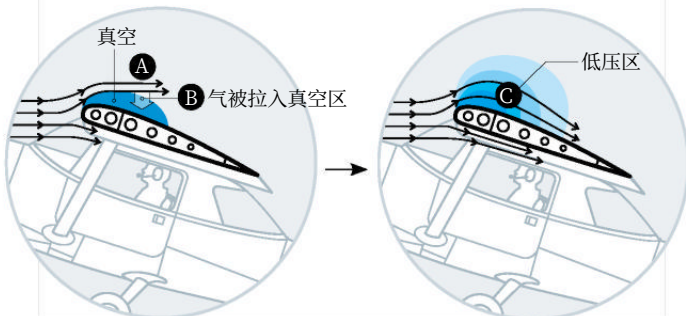


但是…

虽然麦克莱恩说,机翼上表面的压力减少和下表面的压力增加是由于机翼“完全被流动的空气所包围”,但是这样的理论并不能解释,机翼上表面的低压区域最初是如何形成的。

机翼上方如何形成低压区

为了解决用牛顿力学定律和伯努利原理解释问题时被回避的问题(翼上方的低压区或部分真空是如何形成的),流体力学专家马克·德雷拉 (Mark Drela) 提出了自己的见解:机翼上方的空气片刻间向后直流^A,形成真空;这个真空会强力地把空气向下拉^B,填充进去,从而消除大部分(但不是全部)真空;剩下的真空刚好足够将空气吸入机翼后的弯曲路径^C。



热的方式来为自己的观点争辩。然而,问题在于,任何一个理论都无法完整地解释升力,两者结合起来也不行,因为两者都遗漏了一些东西。

无论是风洞实验(主要观察由烟气粒子显示出的轨迹流线)、喷管还是文丘里管 (Venturi tubes, 一种真空发生装置) 等实验,都给出了海量的经验数据。这些数据有力地证明了伯努利原理的正确性。然而,伯努利原理本身并不能完全解释升力。尽管实际经验表明,在弯曲的表面上空气流动的速度确实更快,但伯努利原理却无法解释为什么会出现流速变快的现象。换句话说,这个定理并没有说明机翼上方的高流速是如何产生的。

对于弯曲面上流速更高的现象,相关研究人员提出了很多糟糕的解释。根据最常见的理论,也就是“相等流过时间”理论,当气流被机翼前缘分开后,必须在流经上下表面后同时抵达后缘。由于时间相同,流经上表面的气团需要经历比下表面的气团更长的距离,所以它必须流得更快。之所以这种解释没有说服力,在于并没有物理上的定律要求这两个气团必须同时抵达后缘。事实上,它们也并没有同时到达。根据经验数据,与“相等流过时间”理论预测的速度相比,流经上表面的空气明显拥有更快的速度。

另外,还有一个众所周知的演示,在很多网络平台,甚至一些教科书中都曾反复出现过,它宣称可以“展示”伯努利原理。在这个演示中,实验人员会将一张纸水平地放在嘴前,并用气吹动它上表面,此时,纸面会上升。人们以此说明确实存在伯努利效应。可是,当你吹纸的下表面时,纸面还是会上升。按理说,纸张会应该出现相反的结果,因为纸张下部的气流应该把纸往下拉。

霍尔格·巴宾斯基 (Holger Babinsky) 是英国剑桥大学空气动力学教授,他在《机翼如何工作?》(How Do Wings Work?) 一文中指出:一侧的气流会让弯曲纸面升起,“这并不是因为空气在纸面两侧的流速不同”。为了说明这一点,你可以吹一张平直的纸张来验证这一切。例如,吹一张垂直悬吊的纸张,看它是不是既不向一侧移动也不向另一侧移动。毕竟“尽管气流速度明显存在差异,但是纸张两侧的压力却是一样的”。

伯努利原理的第二个缺点是,它并没有说明机翼上部高速流动的空气为什么会形成更低的压力,而不是更高的压力。毕竟,当机翼向上移动时,空气理应被压缩,机翼顶部的压力应该会增加。在日常生活中,这种“瓶颈现象”通常会让事情变慢,而不是加速。例如,在高速公路上,当两条或多条车道合二为一时,道路上的车辆不会开得更

快，而是会出现车流减速的现象，甚至可能发生交通堵塞。在机翼上表面流动的空气分子却不是这样的，但是伯努利原理却并没有说明白为什么会形成这种现象。

第三个问题特别关键，可以证明伯努利原理对升力的解释是不对的：一架具有弯曲上表面的飞机翻过身来也能飞行。这种情况下，弯曲的机翼表面变成了底面。根据伯努利原理，机翼的下表面的压力会降低，当这个低压环境结合重力作用，应该会产生一个向下拉动飞机的效果，而不是支撑它继续飞行。但是，无论是具有对称翼型的飞机（其顶部和底部的曲率相当），还是上表面和下表面均为平坦翼型的飞机，只要机翼遇到迎面而来的风，并且配合适当的迎角，都能翻过来飞行。这意味着，伯努利原理本身并不足以解释升力产生的原因。

我们之前提到，还有另外一种解释升力机制的理论。这个理论基于牛顿第三运动定律，即作用力和反作用力。根据这个定律，当机翼向下推空气，有质量的空气会产生一个大小相等、方向相反的向上推力，也就是升力。因此，理论认为机翼是通过推动空气使飞机产生升力的。这个理论适用于任何形状的翅膀，弯曲的或平坦的，对称的或不对称的。同时，这个理论也适用于正常飞行，或者翻过来飞行的飞机。这个过程中，力的产生也和日常经验很相似。举个例子，当你把手伸出一辆正在行驶的汽车时，向上倾斜手掌，空气就会向下偏转，使你的手上升。因此，牛顿第三定律对升力的解释比伯努利原理更全面，也能应对更多情况。

但就理论本身而言，作用力和反作用力并不能解释机翼顶部的低压区，而这一区域的存在也与机翼是否弯曲无关了。只有当飞机着陆停止飞行后，机翼上方的低压区才会消失，使顶部和底部变得一样，恢复到周围的气压。但是，只要飞机在飞行，低压区就是空气动力学无法忽视的因素，必须加以解释，才能说明飞机为什么能飞起来。

理论发展史

要知道，伯努利和牛顿都没有想过用自己的理论可以解释飞机的升力。他们各自生活的时代距离飞行时代还有很长一段时间。当莱特兄弟成功将飞机飞上天后，同时代的科学家迫切地需要理解空气动力学中的升力，解释飞行背后的秘密，这两种理论才因此被重新发现和套用。

此前，大部分与升力相关的理论都来自欧洲。20世纪初期，有几位英国科学家推进了升力的技术和相关的数学理论。他们认为，空气是一种完美的流体，这意味着它不

可压缩，粘度为零。虽然这与空气的实际特性有区别，但对需要理解和控制机械设备飞行的科学家而言，做出这样的假设也是可以理解的，因为这会使数学计算变得更简单、更直接。但这种简化也需要付出相应的代价：在理想的不可压缩气体中，无论算出的翼型在数学上多么成功，实际应用时都会表现出各种缺陷。

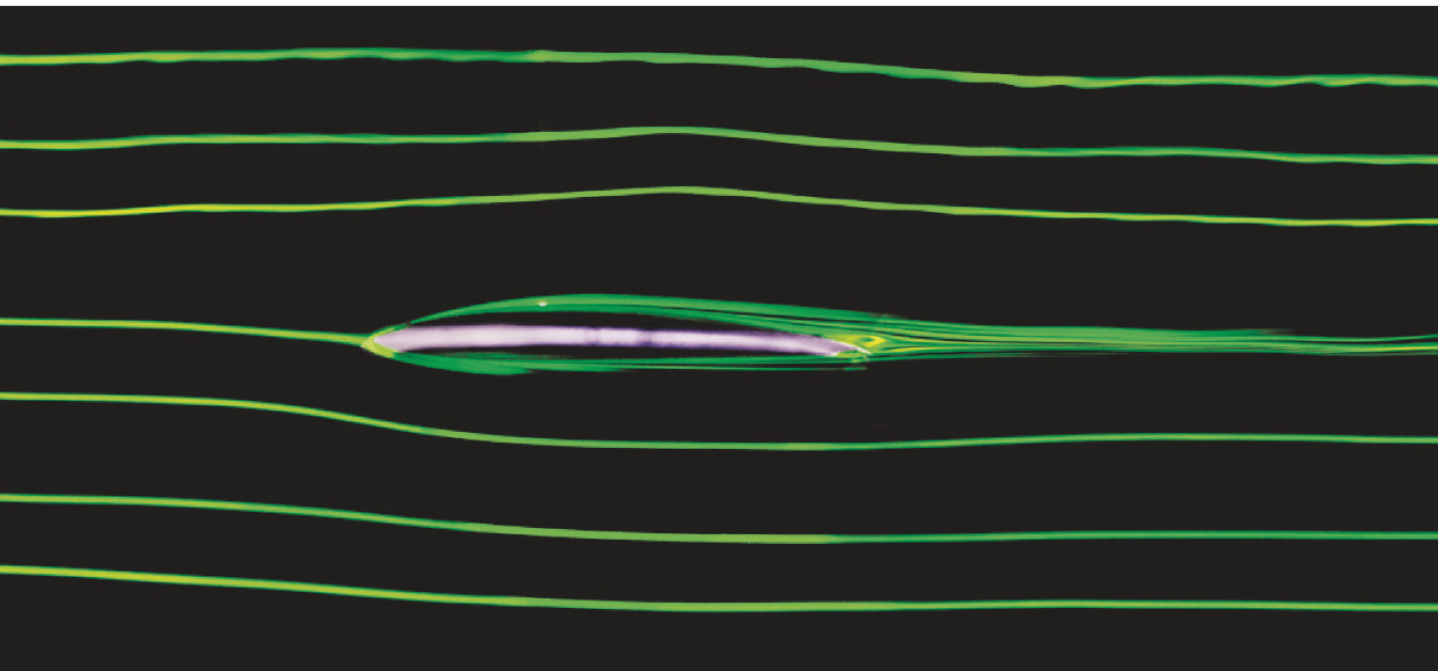
阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）也曾致力于研究升力问题。1916年，爱因斯坦在《自然科学》（*Die Naturwissenschaften*）杂志上发表了一篇题为《水波与飞行的基本理论》（*Elementary Theory of Water Waves and of Flight*）的短文，试图解释飞行器和飞翔的鸟类能承受多少重量。“围绕这些问题有很多不为人知的地方，”爱因斯坦写道，“的确，我必须承认，即使在专业文献中，我也从未找出一个简单的答案。”

接着，爱因斯坦给出了一个基于不可压缩和无摩擦流体（也就是理想流体假设）的解释。虽然没有提到伯努利的名字，但他给出了一个与伯努利原理基本一致的解释。他说，流体压力在速度较慢的地方更大，反之亦然。为了利用这些压力差，爱因斯坦提出了一种机翼顶部略带隆起的设计，这样的形状可以增加隆起部位的气流速度，从而降低那里的压力。

爱因斯坦或许认为，基于理想流体的分析同样适用于现实世界的流体。1917年，在理论的基础上，爱因斯坦设计了一种被称为猫背翼（cat's-back wing，因为它的形态类似于正在伸懒腰的猫）的翼型。随后，他把设计方案带给柏林的飞机制造商LVG（全名为Luft Verkehrs Gesellschaft）。这家公司围绕设计方案制造了一架新的飞行器。但试飞员却报告说，这架飞机在空中摇摆不定，就像“一只怀孕的鸭子”。1954年，爱因斯坦表示，当初短暂涉及航空业的行为更像是“年轻人的愚蠢行为”。虽然爱因斯坦的理论能够带领我们前往宇宙中最大和最小的两个领域，但他却未能在理解升力方面做出积极贡献，也没有提出实用的翼型设计。

完备的升力理论？

如今，设计飞机的科学方法是利用计算流体动力学（computational fluid dynamics, CFD）模拟，以及计算充分考虑了真实空气实际粘性的纳维-斯托克斯（Navier-Stokes）方程。CFD模拟获得的结果和上述方程的解能够预测压力分布模式，给出气流形态和定量的结果。现今的飞机设计领域已经非常先进，可以说这些技术就是行业的



在美国航空航天局埃姆斯中心流体力学实验室（NASA Ames Fluid Mechanics Lab）中，科学家在水槽试验用荧光染料观察飞机机翼上方的流场。从左到右移动的流线遇到机翼时弯曲，这有助于说明升力的物理性质。

基础。然而，它们本身并没有对升力做出物理的、定性的解释。

近年来，美国知名空气动力学家道格·麦克莱恩（Doug McLean）试图超越纯粹的数学形式，着手处理飞行过程中的物理关系，这种关系或许可以解释升力在现实中表现出的各种特性。在麦克莱恩的职业生涯中，大部分时间都在波音商用飞机公司担任工程师，专门从事CFD代码开发。2012年，他在《认识空气动力学：从真实的物理学出发》（*Understanding Aerodynamics: from the Real Physics*）一书中袒露了自己的新想法。

这本书中有500多页都是关于技术分析的内容，信息含量非常高。书中也有一章面向非专业读者的内容，标题为“机翼升力的基本解释”。对于已经熟练掌握空气动力学内容的麦克莱恩来说，要写出这16页的内容，还是非常不容易。事实上，这“可能是书中最难写的部分，”麦克莱恩说，“对这部分内容的修改次数多得让我数不过来。我从来没有完全满意过。”

在解释升力时，麦克莱恩也是从空气动力学中最基本的假设开始的：机翼周围的空气作为“一种连续的介质，会根据翼型不同产生形变”。这种形变会以机翼上方和下方各自出现的流体形式存在。麦克莱恩写道：“在一个被称为压力场的大区域内，机翼会对气压产生影响。”当

产生升力时，机翼上方总是会形成低压的扩散气团，机翼下方通常形成高压的扩散气团。当这些气团作用于机翼时，就构成了对机翼产生升力的压差。”

在整个过程中，机翼向下推动空气，导致气流向下偏转。机翼上方的空气按伯努利原理被加速。机翼下方有一个高压区，机翼上方有一个低压区。这意味着，在麦克莱恩对升力的解释中，有4个必要的组成部分：气流向下转向，气流速度增加，低压区和高压区。

可以说，这4个要素之间的相互关系是麦克莱恩的叙述中最新颖、最独特的地方。他写道：“它们在互为因果的关系中互相支持，其中任何一个要素的出现均离不开另外3个要素。”压差对翼型施加升力，而气流向下转向和流速变化维持着压差。正是在这种相互影响的系统中，出现了麦克莱恩解释的第5个要素：4个要素之间的相互作用关系。这4个要素似乎必须同时出现，相互影响，相互诱发，才能相互维持。

这种协同方式似乎有一种魔力。在麦克莱恩的描述中，就像是4个活跃的个体，只有互相帮助才能在空气中共同维持。或者说，正如他所承认的，这是一个“循环因果”的案例。但是，“相互作用的每一个因素是如何维持和加强其他因素的呢？”是什么导致了这种互动、互惠、相互影响的动态体系？麦克莱恩的答案是：牛顿第二运动定律。

牛顿第二定律指出，物体或流体的加速度与施加在物体上的力成正比。麦克莱恩说：“牛顿第二定律告诉我们，当压差对流体团施加一个合力时，必然会导致流体团运动的速度或方向（或两者）发生变化。”但反过来，压差的存在与否和大小变化也是由流体团的加速情况决定的。

我们在这个过程中凭空获得了一些能量吗？麦克莱恩认为并没有，如果机翼处于静止状态，这套相互强化体系中的任何一个因素都不会存在。只有当机翼在空中移动时，每个流体团才会影响所有其他的流体团。整个飞行过程支撑了这套相互刺激、相互依存的因素的存在。

改进升力理论

在《认识空气动力学》出版后不久，麦克莱恩意识到他还没有完全考虑空气动力学中与升力相关的所有因素，因为在解释机翼上方的压力为什么会与周围环境不同时，无法令人信服。因此，麦克莱恩在2018年11月刊的《物理教师》(*The Physics Teacher*)杂志上发表了一篇文章，对空气动力学中的升力提出了“全面的解释”。

虽然这篇文章在很大程度上重申了麦克莱恩之前的论点，但他也做了进一步的尝试，试图更好地解释是什么导致了压力场的不均匀，为什么会呈现这种特有的物理形态。另外，他的新论点还引入了流场(flow field)级别的相互作用，认为这种非均匀压力场是由一种作用力造成的，也就是机翼施加在空气上的向下的作用力。

无论是在他的书中，还是在后续的文章中，麦克莱恩是否完整而正确地解释了升力的机制，还有待进一步解释和讨论。我们也可以看出，由于种种原因，很难对空气动力学升力作出清楚、简单和令人满意的解释。

虽然如此，目前我们需要进一步解释的已经只有少数悬而未决的问题。关于升力，你应该能回想起来，这是机翼上下表面压力差导致的结果。对于翼型下表面的情况，我们已经有了一个可以接受的解释：迎面而来的空气挤压机翼，在垂直方向产生升力，在水平方向产生阻力。向上挤压机翼下表面的力，以局部高压气的形式出现。简单来说，这种更高的气压是作用力和反作用力的结果。

然而，机翼上表面的情况却大不相同。那里存在一个低压区，是提供升力的重要部分。但是，如果伯努利原理和牛顿第三定律都不能解释它，什么才能解释它呢？从模拟实验中的流线信息，我们可以得知，机翼上方的空气与翼型向下弯曲的特征紧密相连。但是，为什么流过机翼上表面的气团必须顺着隆起后向下弯曲的机翼流动呢？为什

么不能离开它直接向后飞呢？

马克·德雷拉(Mark Drela)是麻省理工学院流体力学教授，撰写过一本叫做《飞行器空气动力学》(*Flight Vehicle Aerodynamics*)的书。他给出了一个答案：“如果这些流体团瞬间偏离机翼的上表面，它与机翼之间的空间就会形成真空，”他解释道，“这个真空会把流体团吸下去，直到真空基本被填满。也就是说，直到它们流动的方向再次与机翼正切。这就是迫使流体团沿着机翼形状移动的物理机制。局部存在一个轻微的真空气环境就能使流体团沿着弯曲的机翼表面流动。”

空气团的偏离，以及被拉近的过程，使机翼的上表面区域产生了低压。这个过程还引发了另一种效应：在机翼上表面，空气流动速度更快。“当机翼上方的气流靠近机翼时，机翼上表面的低压气团会在水平方向上‘拉动’气流，因此，当这些空气抵达机翼时，速度会更快。”德雷拉说，“所以，机翼上方的气流速度增加，可以看作是压力降低的副带作用。”

但和往常一样，在非技术层面解释升力时，不同的专家会给出不同的答案。剑桥大学空气动力学家巴宾斯基(Babinsky)说：“我很尊敬我的同事德雷拉，所以我很不愿意反对他的观点。但是，如果真空的出现是升力出现的原因，就很难解释，为什么有时气流不会流经机翼表面。当然，他在其他方面都是正确的。这个问题可能真的没有简单快捷的解释。”

德雷拉自己也承认，他的解释在某些方面并不令人满意。他表示：“一个明显的问题是，没有一个解释会被普遍接受。”那我们该怎么办呢？安德森认为，就像这篇文章开头提出的，“这个问题并没有简单的答案。”

本文译者 白晨媛是清华大学航天航空学院博士后，主要研究空气动力学。

本文审校 吴子牛是清华大学航天航空学院教授，主要研究空气动力学，旋涡理论与应用等。

扩展阅读

How Do Wings Work? Holger Babinsky in *Physics Education*, Vol. 38, No. 6, pages 497–503; November 2003.

The Enigma of the Aerofoil: Rival Theories in Aerodynamics, 1909–1930. David Bloor. University of Chicago Press, 2011.

Understanding Aerodynamics: Arguing from the Real Physics. Doug McLean. Wiley, 2012.

You Will Never Understand Lift. Peter Garrison in *Flying*; June 4, 2012. *Flight Vehicle Aerodynamics*. Mark Drela. MIT Press, 2014.

The Origins of the First Powered, Man-Carrying Airplane. F.E.C. Culick; July 1979.



AUTONOMOUS

当机器人踏上战场

一些国家正在开发，甚至已经在部署自主武器。
这种武器系统无需人为干预，就能自主选择 and 攻击各种目标。

撰文 诺埃尔·夏基 (Noel Sharkey) 翻译 程可馨



IOUS WARFARE

2019年9月，18架装载了炸弹的无人机和7枚巡航导弹突破沙特阿拉伯先进的防空系统，袭击了位于库赖斯（Khurais）的油田和位于阿比克（Abqaiq）的世界最大的石油加工厂。也门胡塞反政府武装宣称实施了这次精准袭击。而因为这次袭击，沙特阿拉伯的原油和天然气产量减半，导致全球油价上涨。不过，这些无人机可能不是完全自主的武器，因为它们无法相互通信和选择各自的目标，例如攻击特定的储油罐或炼油厂。但每一架无人机似乎都被预先设定了精确的坐标，能通过一个卫星定位系统导航，对数百千米外的目标进行攻击。

然而，当你读到这篇文章的时候，全自主武器系统（autonomous weapons systems, AWS）可能已经进入战场。在2020年初，土耳其已经宣布计划部署一支由“卡尔古”四旋翼机（Kargu quadcopters）组成的无人机编队来对抗叙利亚军方。俄罗斯为了帮助叙利亚政府扭转战局，也在发展无人机群。这种全自主武器系统一旦发射，就可以完全不受人监管，能自主地发现、跟踪、选择、攻击目标。

自主武器并不具有自我意识和人类外形，它们可以由计算机控制的坦克、飞机、舰艇和潜艇。而这些自主武器让战争的性质发生了根本改变。人类正在把攻击决策交给机器，但是在这些自主武器实施攻击之前，没有人监管和确保攻击的合法性。2005年，美国国防部表示将为本国的各种武装力量研发自主武器，这一信息引发了其他国家的担忧。

对于美国来讲，自主武器有很多优势。例如，美国海军的X-47B无人战斗机在大风条件下也能在航空母舰上起降，进行空中加油，其航程是载人战斗机的10倍。美国还开发了一艘名为“海上猎手”（Sea Hunter）的跨洋无人驾驶军舰，并为其配备了由分布式敏捷反潜DASH潜

诺埃尔·夏基是英国谢菲尔德大学人工智能和机器人系的名誉教授，也是国际机器人武器控制委员会的创始人和主席。



艇（Distributed Agile Submarine Hunting）组成的一支小型舰队。2019年1月，“海上猎手”号从美国的圣迭戈出发，前往夏威夷后顺利返航，证实它可以在太平洋地区作战。俄罗斯也在对最先进的“阿玛塔 T-14”坦克（T-14 Armata tank）进行自主化升级，并很有可能将其部署在俄欧边境。与此同时，武器制造商卡拉什尼科夫集团（Kalashnikov）展示了一种可以安装在已有的武器系统（如火炮和坦克）上的全自主作战模块，能让这些武器系统识别、选择和攻击目标。

由于激烈的军备竞赛，各国的竞争焦点正在转向更快的战斗机器人和完全自主的无人机群。这些国家试图通过大规模、多层面的协同攻击，突破敌方防御。研发这些自主武器的动力，不仅来自想要获得巨额利润的企业，还来自担心在人工智能武器上落后的高级军事指挥官。但一些国家，尤其是美国和俄罗斯，只看到了自主武器系统潜在的军事优势。这种狭隘的视角，也使这些国家忽略了当其他国家的军事实力迎头赶上时，可能导致的糟糕状况。

作为一名机器人专家，我在第一次了解全自主武器系统的计划时，就意识到人类有必要对这种武器系统进行有效的人为控制。我们正面临一个全新的战争时代，就像当初进入原子能时代一样。一旦一种新型武器进入各个军事大国的军火库，不难想象它的使用将会逐步扩大，而这会将人类置于现在无法想象的危险之中。

2009年，我和其他三位学者成立了国际机器人武器控制委员会（International Committee for Robot Arms Control），并在后来与多个非政府组织（NGO）合作，组织了一场禁止使用杀伤性机器人的运动。现在，该运动由来自60个国家的130个非政府组织联合倡导，旨在说服联合国通过一项具有法律效力的条约，禁止不受人为控制的、能选择和攻击目标的自主武器的研发、试验和生产。

精彩速览

目前，在一些国家，半自主武器系统已经投入使用，主要用于国防。

许多国家正在研发全自主武器系统。这种武器系

统无需人为干预，就能自主选择 and 攻击包括人类在内的各种目标。

自主的无人机群可能很快就会投入实战，而由此

一些机器做出攻击的决策无疑会对人类构成威胁。

因此，人类迫切需要一项对自主武器具有约束力的国际公约，确保人类对武器系统的有效掌控。

自主武器系统的发展

“一个人拯救了世界”是一个真实事件，1983年，苏联中校斯坦尼斯拉夫·彼得罗夫（Stanislav Petrov）在一个核预警中心值班，他的电脑突然发出了一声响亮的警报，屏幕上显示了一个又粗又红的单词：“发射”（LAUNCH）。这种情况一般意味着美国发射的核导弹正在快速逼近。但彼得罗夫鼓起勇气等待着，发射警报响起了第二次，接着是第三次、第四次。到警报第五次响起时，屏幕上的“发射”变成了“导弹攻击”。这时留给苏联反击的时间已经不多，但彼得罗夫选择继续按兵不动。2013年，彼得罗夫在接受英国广播公司（BBC）采访时说，“我不相信电脑，所以我做了不发射的决定。”尽管他并非十分确定，但他还是报告当时的核攻击只是虚惊一场。事实是，苏联卫星上的计算系统把云层反射的阳光错误判断为了洲际弹道导弹的引擎。

这个真实案例说明了当人类脱离战争的决策过程时，自主武器将会导致的终极危险，而且深思熟虑的人为决策在战争中具有重要作用：在当时的情况下，自主武器系统应该会决定开火。但做出正确的决策需要花费一些时间。一个长达百年的心理学研究证实，如果我们不花费至少一分钟的时间来思考问题，就会很容易忽略问题的模糊性和其中的矛盾信息；也会压制自己的怀疑心，忽略掉缺失的关键证据；还会顺应心理预期，编造问题产生的原因和可能意图。而值得警惕的是，全自主武器系统常被提及一个的优点是：当冲突发生得太快时，它们可以迅速作出响应，而人类则不行。

美国陆军采购官员布鲁斯·杰特（Bruce Jette）在2019年10月曾对《国防新闻》（Defense News）表示，“坦克的目标定位系统的反应速度比我快很多。当我还没有看见和想明白一些情况时，它已经以最快的速度计算出来了。”事实上，半自主武器系统的反应速度是它们被用于一些军事防御行动的关键原因，因为这些军事行动要求在几秒钟内，完成对威胁的检测、评估，并作出反应。这些武器系统也被称为军事目标感知和反应系统（SARMO），包括以色列具有反火箭弹和反导弹能力的“铁穹”防御系统（Iron Dome），美国的防御反舰导弹或直升机的舰载“密集阵”防御系统（Phalanx Close-In Weapon System），以及德国防御小型炮弹的“螳螂”近防武器系统（Mantis）。这些武器系统具有本土化的特点，主要用于各国的防御，而不会攻击人类。这些武器系统在紧急情况下才能由人类开启，因此它们并非是完全自主的武器系统。



1 美国的全自主武器系统包括“小精灵”（Gremlin）固定翼无人机（1）；“海上猎手”（Sea Hunter）号跨洋无人驾驶军舰，及其配备的分布式敏捷反潜 DASH 潜艇（2）。

与半自主武器系统相比，一些自主武器具有明显的优势，它们融合了先进的 SARMO 系统和自主性武器系统技术，目前也已经投入使用。例如，以色列的“哈比”（Harpy）和“哈罗普”（Harop）无人机。在空袭前，军队可以提前释放无人机，清除打击区域的防空设施。它们会四处巡航，搜索雷达信号，并判定信号是来自友方还是敌方。如果来自敌方，它们就会轰炸发射信号的防空设施。

这些无人机就像“游走的弹药”，只在攻击时才会加快速度。一些自主武器的速度可以达到亚音速、超音速甚至高超音速（速度超过5倍音速）的级别。例如，美国国防部高级研究计划局（DARPA）测试过“猎鹰”高超音速无人飞行器，其速度约为音速的17倍，即每小时2.1万千米。

但是除了速度之外，各国还在追求“倍增”军事能力。这些自主无人机能像狼群一样合作，通过相互沟通，选择

和猎杀各自的目标，这无疑提高了整个武器系统的破坏能力。一个人就能向空中、陆地、水上或海下发射数百架（甚至数千架）装弹无人机或潜艇。全自主武器系统一旦部署，操作员最多只需要充当观察员。如果通信线路完好，操作员可以选择中止攻击。

为了达到这一目的，美国正在研制包括“山鹬”（Perdix）和“小精灵”（Gremlin）在内的一批固定翼无人机，它们

这些全自主武器系统代表了战争性质发生了非常危险的转变。当交战双方的自主武器系统相互对抗时会发生什么？令人担忧的是，或许没有人能够知道答案。

可以挂载导弹进行长距离飞行。DARPA 已经对四旋翼无人机群（以很强的机动性著称）与地面武器车辆的协调性进行了实地测试。而美国海军研究办公室（Office of Naval Research）也展示了一支由 13 支舰船组成的、能压制对手的舰队。相比之下，俄罗斯主要对坦克群感兴趣，因为这些坦克不仅能协同攻击，还可以用来保卫俄罗斯的边境。

自主武器的缺陷

彼得罗夫的故事还表明，即使目前的 AI 系统已经拥有了惊人的计算能力和响应速度，但还是会出现大量无法预测的错误。2012 年，美国国防部承认自主武器也可能存在类似的计算问题，并声称有必要将人为错误、人机交互失误、系统故障、通信衰减和软件编码故障等降到最低。除了这些自我保障的防范措施外，自主系统还要防范敌方的网络攻击、对工业系统的渗透、信号干扰、信息欺骗（如误导定位系统）以及诱饵部署。

事实上，防止敌人对自主系统的破坏是很难的，而这会导致自主系统的攻击后果十分可怕。由于敌方的干扰会中断通信，一个操作员可能无法中止武器的攻击或对武器重新定向。敌方的干扰还有可能破坏自主武器群的个体协同，使它们进入失控状态。而敌方发射的一个强烈的虚假 GPS 信号，就可以导致这些武器丧失方位或被撞向建筑物。

敌方还能以真实或虚拟的实体作为诱饵，欺骗武器的传感器和瞄准系统。即使是最先进的人工智能系统也很容易受到欺骗。研究人员发现在一个交通标志上巧妙地加上

一些点或几条线，对人类并不会产生明显影响，但却能误导一辆自动驾驶汽车转入一条逆行车道，或者忽略停车标志。不妨想象一下，这些诱饵会给自主武器带来怎样的影响，武器上装载的识别系统很可能将一辆餐车误认为是一辆坦克。

美国国防部指令表上的最后一条十分让人费解：“把敌人的反制措施或行动，以及战场上的意外情况”降到最低。但由于无法预料战场上会出现多少意外情况，因此也不可能将意外情况降到最低。一个冲突区域可能会出现无数潜在的和不可预见的情况，而战争的精髓往往就是攻其不备。对全自主武器系统而言，很多种方法可以欺骗这些系统的传感器的处理过程或者破坏计算机对机器的控制。

美国国防部的指令还忽略了一个巨大的、令人震惊的计算机漏洞，那就是无法预测武器与武器之间的交互信息。当交战双方的自主武器系统相互对抗时会发生什么？令人担忧的是，或许没有人能够知道答案。每个全自主武器系统都需要由一个绝密的算法控制。为了防止被敌方成功反制，这些武器的作战策略也必须严格保密。从安全的角度来看，这些保密是有意义的，但这会大大降低自主武器行为的可预测性。

2011 年 4 月，亚马逊网站上的两个图书卖家 bordeebok 和 profnath 就提供了一个算法对抗的典型实例。按照惯例，1992 年的绝版书《苍蝇的成长》（*Making of a Fly*）的再版售价为 50 美元左右，外加 3.99 美元运费。但每当 bordeebok 将这本书涨价，profnath 也会跟着涨价；相应的，每当 profnath 涨价时，bordeebok 也会跟着涨价。不到一周，在没人注意到的情况下，这本书在 bordeebok 的价格变成了 23698655.93 美元的天价，外加 3.99 美元的运费。这两个简单和高预测性的算法最终失控的原因是，它们的销售策略对于竞争对手来说是未知的。

虽然这种错误的书籍定价方式是无害的，但想象一下，如果两个自主武器系统复杂的作战算法进行高速交互时会发生什么。除了由敌方影像、干扰、欺骗、诱饵和网络攻击等导致的不确定性外，人们还必须应对战斗时计算机算法产生的不可预知的后果。而这些全自主武器系统代表了战争性质发生了非常危险的转变。大量意外的战争冲突爆发的速度，可能让指挥官们来不及理解或反应武器的攻击

行为, 当他们反应过来时, 武器已经带来了毁灭性的后果。

未来的战争

设想一下下面的场景, 这些噩梦般的战争冲突很有可能意外地发生, 除非停止全自主武器系统的研发和部署。假设在 2040 年, 数千辆自主运行的超级坦克驻守在俄罗斯与其他欧洲国家的边境上。成群结队的超音速自主无人喷气机从这些坦克的头顶掠过, 搜寻着敌军的活动。突然, 俄方的一辆坦克向地平线上发射了一枚导弹, 摧毁了一架民航客机。但这起意外事故是由于坦克的一个传感器故障触发了对抗模式, 这辆坦克认为它摧毁的是敌军的战机, 随后它们成群结队地向边境挺进。战斗机转入战斗队形, 同时向潜伏在黑海、巴伦支海和白海中的无人舰队和无人潜艇编队发出警报。

在战场的另一边, 北大西洋公约组织 (NATO) 的自主防御武器在不到 10 秒的时间里, 便从空中向俄方突袭而来, 其地面和海上的攻击编队也开始形成。由于双方对敌方的作战算法是未知的, 因此没有人能预测作战双方的武装部队将如何攻击。无人战斗机之间进行着高速通信, 通过俯冲、下降和转向以避免彼此相撞, 而产生的离心力是人类飞行员无法承受的。交战双方会有很多手段来愚弄对方, 包括干扰敌方的信号, 向敌方发射虚假的 GPS 坐标, 打乱敌方对武器系统的协同和控制。

数百架接近高超音速的喷气式飞机在 3 分钟内, 在俄罗斯和其他欧洲城市上空展开了激烈的空战。坦克已经越过边境, 向城市的通讯设施、火车站和公路上所有移动的车辆开火。无人军舰上的火炮攻击着地面的武器设施。交战双方的水面自主舰队和水下潜艇之间也爆发了海战。交战双方的军事领导人试图搞清楚己方损失, 但他们又能做什么呢? 所有与自主武器系统的通讯都被干扰了, 对武器系统的指挥与控制体系也已经完全崩溃。在民航客机被意外击落仅仅 22 分钟后, 俄方成群的坦克正在迅速逼近东欧多个国家的首都, 如赫尔辛基 (芬兰)、塔林 (爱沙尼亚)、里加 (拉脱维亚)、维尔纽斯 (立陶宛)、基辅 (乌克兰) 和第比利斯 (格鲁吉亚)。

俄罗斯和西方国家的领导人召开紧急会议讨论战况, 但没人能搞清楚这场战争是如何开始的, 以及战争开始的原因。随着大量主要城市撤离失败, 交战双方开始考虑发射核弹。由于这样的战争乱局没有先例, 双方的军队都陷入迷茫状态。他们的计划完全失败了, 而因战争死亡的人数每毫秒内都在增加。自主武器的导航系统接收着大量的

欺骗性信息, 一些武器脱离战斗编队而撞向建筑物。还有一些武器被黑客劫持, 错误的信号使这些自主武器疯狂地开火。这场战争的后果是, 郊区到处是人和动物的尸体, 而城市化为了废墟。

国际法规

制定约束自主武器系统的国际条约已经迫在眉睫。这不仅需要禁止开发、生产和使用自主武器系统, 还需要确保人类能有效控制武器系统。战争专家或军事领导人应充分地审时度势, 利用充足的时间考虑目标的性质、重要性和合法性, 以及攻击的必要性、正当性和可能产生的结果, 然后再确定是否发动攻击。在过去的 6 年里, 禁止杀伤性机器人的运动一直试图说服联合国成员国达成这则条约。我们一直试图让《特定常规武器公约》(CCW) 具有法律效力, 该公约要求 125 个国家进行协商, 旨在禁止制造可能导致过度杀伤的武器。许多公司比如谷歌的子公司 DeepMind, 以及数千名计算机和机器学习领域的科学家和领军人物都加入了这次协商。最新的一项统计数据 displays, 有 30 个国家要求彻底禁止全自主武器系统的研发和使用, 还有很多国家希望制定相应法规, 确保由人来决定武器是否发起攻击。然而, 美国、俄罗斯、以色列、澳大利亚等少数几个国家并不同意出台这样的公约。

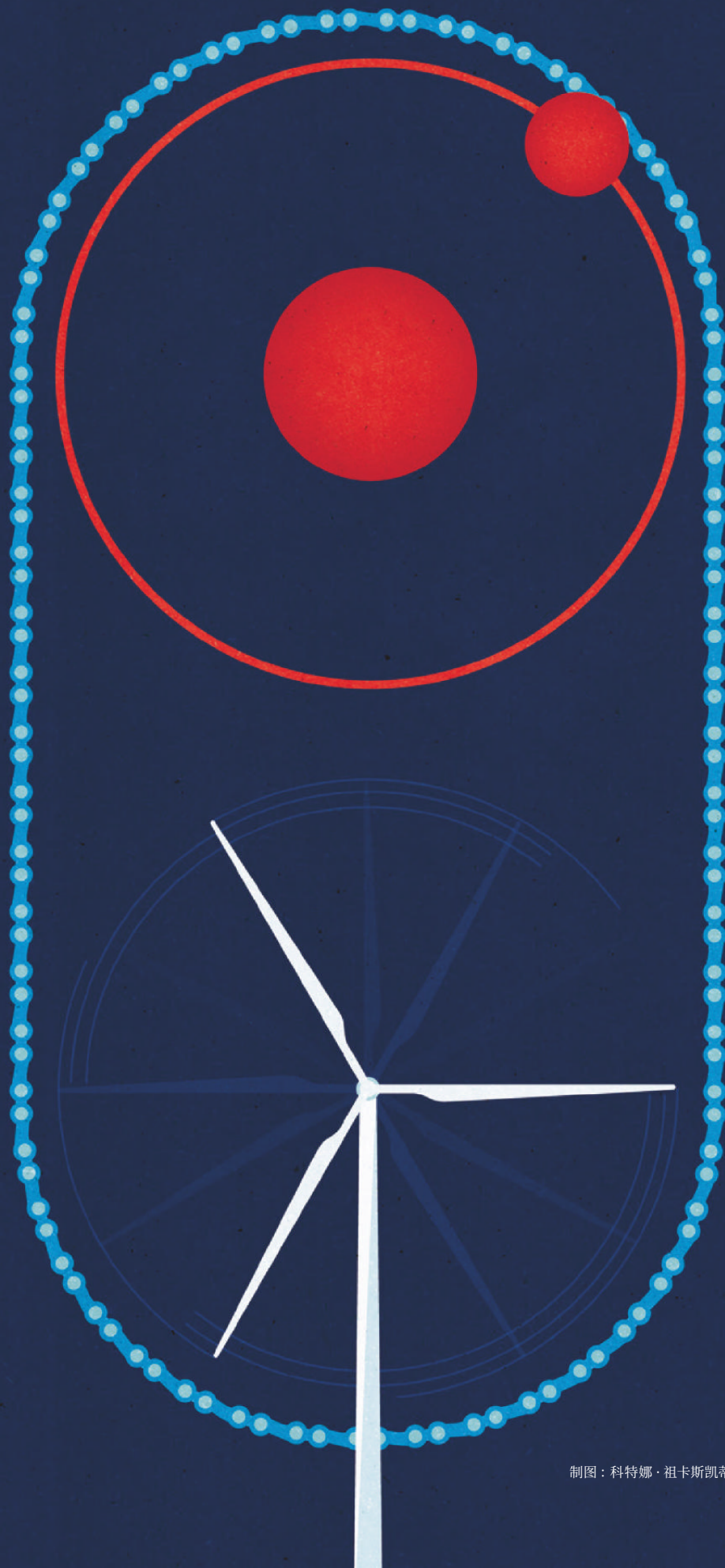
俄罗斯和美国已经明确表示反对《特定常规武器公约》提出的“人为控制”。美国正在力争采用“适当等级的人为判断”来替代“人为控制”, 但这就意味着必要时, 武器也可以完全不受人为控制。幸运的是, 情况还有一些转机, 联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯 (António Guterres) 向 CCW 政府专家组通报说, “机器拥有不受人为控制的、剥夺生命的权力和决策自由, 在政治上是不被接受的, 也是有违道德的。国际法应予以禁止。”在一切为时已晚之前, 人性和常识必须占据上风。☞

扩展阅读

Towards a Principle for the Human Supervisory Control of Robot Weapons. Noel Sharkey in *Politica & Società*, No. 2, pages 305–324; 2014.

Measuring Autonomous Weapon Systems against International Humanitarian Law Rules. Thompson Chengeta in *Journal of Law and Cyber Warfare*, Vol. 5, pages 63–137; Summer 2016.

Algorithms Delegated with Life and Death Decisions. Noel Sharkey in *Revue Defense Nationale*, No. 820, pages 173–178; May 2019.



THE



SOLUTION

氢能再次崛起？

在降低碳排放的全球压力下，氢能源系统已经完成了一些技术更新。
但是这些更新能否让氢能赶超其他的供能方式？

撰文 彼得·费尔利 (Peter Fairley) 翻译 郑励行 审校 蔡国田

在法国北部的卡帕尔-拉-格兰德，城镇中心附近的一条小路上有一个不大的金属棚，一台新型的电解槽正在棚内运转。利用来自风电场和太阳能电场的电力，电解槽可以把水分解成氢气和氧气，并将氢气输入已有的天然气管道。这些氢气在街道地下的管道中流淌着，为附近村庄的100户家庭提供日常所需的能源。当用氢能替代一部分化石燃料后，居民使用同样的火炉或热水器，碳排放量却降低了7%。

在卡帕尔-拉-格兰德运行的系统是由一家总部在巴黎的能源公司建立的现场实验室，这家公司名为恩吉(Engie)。恩吉公司预计，随着可再生电力以及电解槽成本的持续下降，氢能的应用规模将大幅增加，如果这种观点是对的，那么将氢气混合到当地天然气管网中，就可以加速化石能源向清洁能源转变的进程。

无独有偶，欧盟委员会计划在2050年实现净零碳排放(net-zero carbon emissions，二氧化碳的消除量完全抵消排放量)，可再生氢能恰好就是这项计划的核心工程。此外，大量工业巨头也越来越关注氢能。从2021年起，欧盟区为发电厂生产的新型涡轮即将运行，这种涡轮会使用氢气和天然气的混合物作为燃料。欧盟的制造商表示，到2030年时，可以确保这些涡轮能应对100%使用氢气的环境。欧盟的钢铁制造商也在测试他们制造的熔炉，确保可再生氢能够作为煤的替代燃料。

为各经济体提供可再生氢生产的电力并不是一个全新的概念。几乎在100年前，英国遗传学家和数学家J·B·S·霍尔丹(J.B.S. Haldane)就这样预测：巨型的氢能电站将统领后化石燃料时代。在21世纪初，这个场景极具魅力。2002年，美国未来学家杰里米·里夫金(Jeremy Rifkin)在《氢经济》(The Hydrogen Economy)中预言，天然气将催化一场新的工业革命。太阳能和风能将用于电解丰富的水资源，产生氢气，从而用于发电、取暖以及为工业

彼得·费尔利曾撰写过一系列关于能源和环境问题的文章。2018年，他曾为本刊撰写过一篇名为《20年后的智能电网》的文章。



提供动力。当然，在电解的过程中，它还能产出一些有用的副产物：氧气。

美国前总统乔治·W·布什(George W. Bush)在2003年的国情咨文中提出了一项耗资12亿美元的研究计划，打算让燃料电池汽车使用氢能源，并在一代人的时间内普及应用。此外，车库里的燃料电池还可以作为家庭的备用电源。几个月后，《连线》(Wired)杂志发表了一篇名为《氢能怎样拯救美国》(How Hydrogen Can Save America)的文章，提出氢能源可以降低美国对“肮脏石油”的进口依赖。

氢能计划的快速部署并没有达到预期目标，因为电池驱动的新能源汽车偷走了“绿色汽车”的光环，它们成本更低，发展更快。2009年，美国政府把氢能源工作放在了次要位置。奥巴马时期的首任能源部长朱棣文(Steven Chu)解释说，氢技术还没有准备好，燃料电池和电解槽可能永远无法在成本上达到经济实用的标准。

氢能源的研究并没有因此停止。卡帕尔-拉-格兰德展示的虽然只是一个小项目，但在世界范围内，尤其是在欧洲，几十个越来越大的装置都启动了。正如国际能源署(International Energy Agency, IEA)在最近的一份报告中指出的，“目前，氢能在政治和商业方面都拥有不可限量的势头，世界各地的相关政策及项目数量都在加速扩张。”

当前，推动电网和重工业(不包括运输业)去碳化的行为激起了人们对氢能的兴趣。德国卡尔斯鲁厄理工学院能源系统建模小组的组长汤姆·布朗(Tom Brown)表示：“能源建模界的每个人都在认真思考深度脱碳的问题。”在欧洲，无论城市、州和国家都在为2050年前或更早实现净零碳排放，规划方案。其中大部分都涉及了具有低碳特征的风能和太阳能。

但在这个策略中，有两个不言而喻的问题：首先，如果要把化石燃料发电厂彻底淘汰出局，那么来自可再生能

精彩速览

除非各国重新配置所有能源系统(包括燃料)，否则可再生能源可能无法为各国提供充足的电力供应。无法及时使用的太阳能和风能可以通过电解槽

将水转化为氢，这些氢气可能通过管网传输再次分配，当有需求的时候，氢气又可以通过燃烧涡轮机转化为电能。

这些氢气的输储系统可以形成一个网络，不仅能将多余的部分储存在储氢罐或地下洞穴中，还能为工业生产和电网供电提供所需的燃料。



电极在电解槽中将水分子隔离成“氧（左边）和氢（右边）”两个部分。电极高约一厘米。

源的电力必须能真正替代传统电力，而从目前来看，现有电网还无法处理如此大规模的新能源电力。其次，在长时间的黑夜或无风天气中，仍然需要备用发电站。目前，这种备用电站来自天然气、煤炭和核电站。电网运营商可以很容易地调节电力波动，用“削峰填谷”的方式平衡可再生能源在供应量上的波动。

氢能可以起到同样的作用，支持者认为，当风能和太阳能足够充裕，就可以使用电解槽，利用其中一部分能量生产氢。遇到多雨天气时，再利用之前产出和存储好的氢，通过燃料电池或涡轮机将它们转化为电力，供应给电网。

要大幅削减碳排放，也意味着需要给那些无法直接接入电力终端的经济元素寻找替代燃料，比如重型机械，以及一些以石油、煤炭和天然气为原料的化学品和材料。美国加利福尼亚大学尔湾分校的能源专家杰克·布劳沃（Jack Brouwer）认为：“有太多人被误导，以为电气化就是解决碳排放问题的全部方案，所以美国很多州的机构及立法者都购买了很多电力。但是，他们根本没有考虑清楚怎么把这些电力储存下来，或者如何为工业生产提供燃料。”

至暗时刻

此前，一些国家尝试用太阳能和风能替代煤炭和天然气，并为此投入了大量资源。如今，这种趋势已经显示出

收紧的信号。

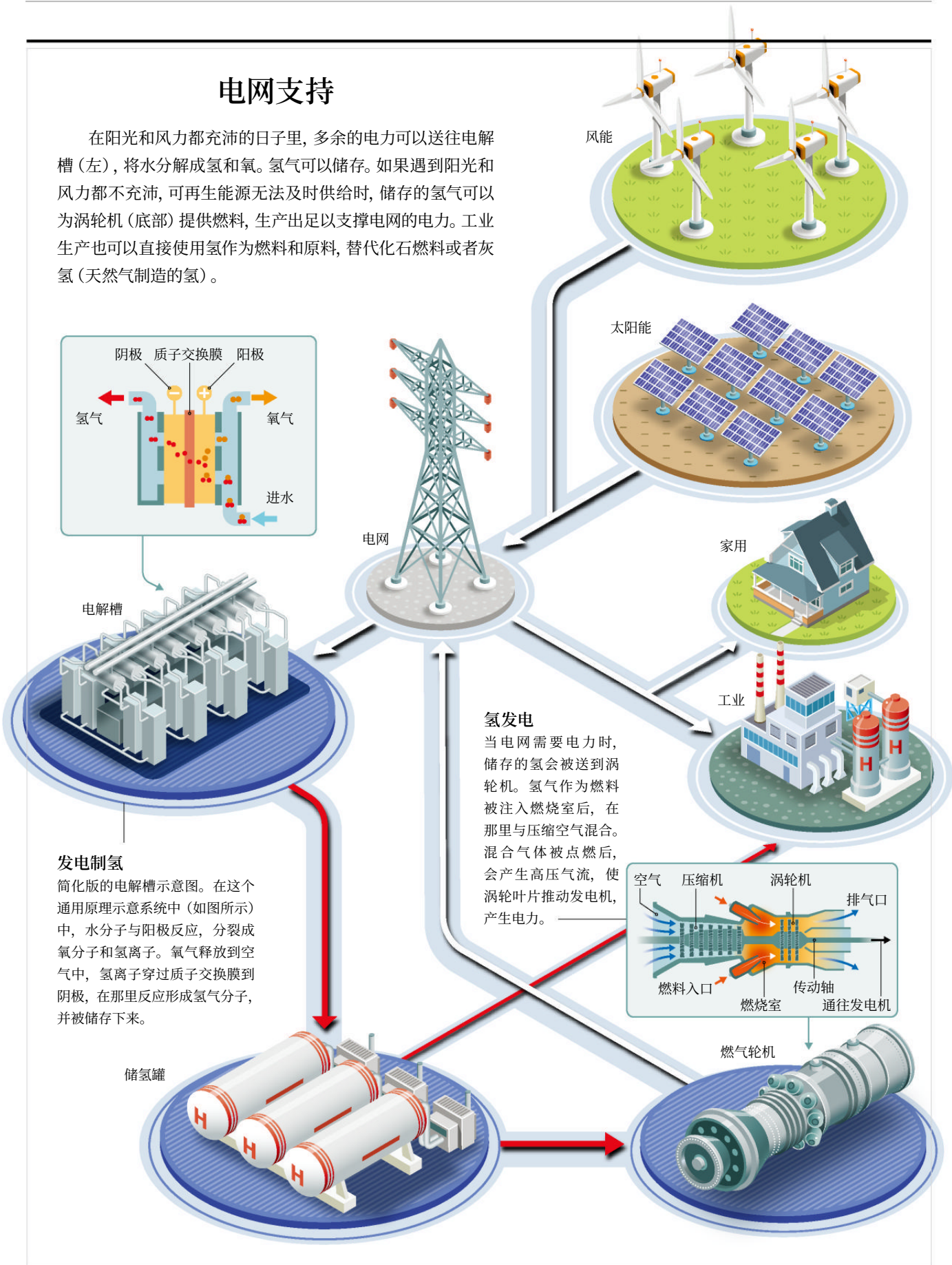
2018年，可再生能源给德国提供了大约40%的电力，但是这些可再生电力波动很大。在部分日子里，风能和太阳能发电占全国发电量的75%以上；而在其他日子里，这一比例会快速下降到15%。通过调整化石燃料和核电站、水电、大型储能电池的产量，电网运营商可以应对电网的高峰和低谷。然而，风能和太阳能的比例已经越来越高，超出了德国拥挤的输电线路能够承担的范围。这迫使电网运营商关闭了一些可再生发电机组。仅2017年，德国就为此损失了价值1.4亿欧元的能量。

未来，各国还将面临更大的挑战：淘汰化石燃料发电厂后（德国还会淘汰核电站），如何应对新能源带来的问题。电网运营商将如何在黑夜和无风期间提供稳定的电力？为了说明可再生能源的这种特点，德国能源建模专家专门发明了一个术语：匮乏期，或者说“至暗时刻”（dark doldrums）。针对气候变化的长期研究表明，美国和德国的电网必须撑过长达两周的匮乏期。

通过更强大的电网，运营商可以将电力输送到更大的区域来解决匮乏期的问题。比如，在大风、高强度光照的时期，可以把富余电力送到风力平静、多云的区域。但是电网扩展本身也是一个难题。在德国，增建电网线路的计划因各地社区的抗议活动早已落后数年；在美国，类似的

电网支持

在阳光和风力都充沛的日子里, 多余的电力可以送往电解槽 (左), 将水分解成氢和氧。氢气可以储存。如果遇到阳光和风力都不充沛, 可再生能源无法及时供给时, 储存的氢气可以为涡轮机 (底部) 提供燃料, 生产出足以支撑电网的电力。工业生产也可以直接使用氢作为燃料和原料, 替代化石燃料或者灰氢 (天然气制造的氢)。



发电制氢

简化版的电解槽示意图。在这个通用原理示意系统中 (如图所示) 中, 水分子与阳极反应, 分裂成氧分子和氢离子。氧气释放到空气中, 氢离子穿过质子交换膜到阴极, 在那里反应形成氢气分子, 并被储存下来。

氢发电

当电网需要电力时, 储存的氢会被送到涡轮机。氢气作为燃料被注入燃烧室后, 在那里与压缩空气混合。混合气体被点燃后, 会产生高压气流, 使涡轮叶片推动发电机, 产生电力。

反对者也在阻止政府机构审批新的电网线路。

因此，对一些专家而言，匮乏期使风能和太阳能看起来十分危险。例如在 2018 年，麻省理工学院的能源建模专家完成了一项关于电网的模拟研究。他们发现，随着电网向 100% 可再生能源迈进，运营成本会呈指数级上升。专家认为，为了应对可再生能源的特点，必须安装大量昂贵的储能电池，而且这些电池必须保持充电状态，尽管在一年中可能只有几天或者几个小时需要使用它们。

2018 年，美国加利福尼亚州的一个研究小组也得出了类似的结论。他们发现，即使有了大规模的输电线路和储能电池，太阳能和风能也只能为美国提供大约 80% 的电力需求。肯·卡尔代拉 (Ken Caldeira) 是卡内基科学研究所的气候科学家，也是这个研究小组的成员，他说：“我们肯定还需要其他能源。”

欧洲的一些专家认为，麻省理工学院和加利福尼亚大学尔湾分校的研究过于短视。几十年来，考虑到现代社会所使用的各种能源，欧洲研究人员一直希望把电网拓展到更大的规模。例如，罗斯基尔德大学物理学家本特·索伦森 (Bent Sorensen) 和几位丹麦学者正在研究“多能互补系统”，这项研究兼顾了电网、天然气和氢能的分布式网络，交通运输系统，重工业以及集中式热力供应。

计算机模型表明，多能耦合的模式能够创建更加灵活的能源利用方式，氢能也能够非常有效地促进这种进程。在这种观点下，如果利用氢能实现储能，就有可能帮助电力供应度过“匮乏期”，建立 100% 可再生能源的电网。当然，这也能避免麻省理工学院研究中出现的电力价格飙升的问题。

不过，部分关于美国电网的研究排除了储存氢能的可能性，因为现在的储氢成本太高了。但其他模型研究者认为，这种观点存在偏颇。例如，大约十年前发表的许多电网研究就都低估了太阳能，因为当初的研究人员错误地假设太阳能非常昂贵。但是，获取太阳能的成本在后来急剧下降。因此，在预测最低成本的减排方式时，欧洲的一些研究人员，例如布朗，会把能源成本的降低添加到计算机模拟中。因为随着电解槽装置的增加，生产氢能的成本也会逐步降低。

在模型中，增加电解槽的规模首先能取代由天然气制造的氢——很多化工厂和精炼厂都会在各种加工步骤中使用这种来源的氢。据 IEA 的数据，为了生产“灰氢”（用天然气生产的氢气），全球每年都会释放超过 8 亿吨的二氧化碳，这等于英国和印度尼西亚的碳排放量的总和。

因此，在工业生产环节减少碳排放时，需要用可再生氢取代“灰氢”。一些氢能也可以取代重型卡车、公共汽车和火车所消耗的天然气和柴油，虽然目前来看燃料电池车很难与电动汽车竞争，但对于较重的车辆来说，氢燃料或许更实用。尼古拉汽车公司 (Nikola Motor Company) 是一家卡车开发商。他们认为，利用一台装满燃料的拖车，可以经济有效地行驶 800~1200 千米，具体数字取决于拖车的设备和载重。

如果工业和重型运输业广泛使用可再生氢，就会出现区域性的分布式供氢网络。当然，这些无碳的氢也能为附近的发电厂提供燃料，以此为电网提供所需的电力。这恰好就是多能互补模拟预测的情况：当越来越多的可再生氢被制造和消耗时，大规模的分布式网络就需要在罐子或者地下洞穴中储存可使用数月的氢气。这就像储存天然气一样，只是相比于把电能储存在电池中，这种形式的成本更低。布朗认为：“一旦你承认氢能对其他机构和组织的重要性，你就会把为发电厂长期储氢的行为，看作其他措施的副产物。”

在芬兰 LUT 大学克里斯蒂安·布雷耶 (Christian Breyer) 的模拟中，这种观点又一次得到了证实。2019 年，国际组织能源观察集团 (Energy Watch Group，由科学家和政府官员组成) 共同发布了关于 100% 可再生能源情景的最新方案。其中，即便在最大的匮乏期，发电厂也能通过燃烧储存的氢发电，填补电力空缺。布雷耶说：“要是没有这些用来发电的大型涡轮机，也许在一年中的某些时候，能源系统就会不稳定。”

在布雷耶的模型中，只有不到一半的风能和太阳能用于制氢和储氢，并再次转化为电力，这样的损失非常巨大。而且，这会使氢用涡轮发电机长时间处于闲置状态，只有几个星期投入使用。不过，由于很少会用氢发电，所以低效率的氢-电转换效率并不会打破供电平衡。布雷耶认为，对于大型能源系统而言，用储存的可再生氢作为备用能源是最经济的解决方案。而且它与今天使用天然气发电的电网并没有明显不同。布雷耶说：“几十年来，一直有发电厂每隔几年才启动一次。”

管道再利用

虽然现在用可再生氢发出的电量还很少，但是欧洲仍然希望通过氢能使能源系统实现脱碳。欧盟委员会预计，到 2050 年可再生能源将占欧洲电力总供应量的 80% 以上。其中超过 5000 万千瓦的电力是由电解槽供应的（相当于

50 座核电站的发电容量)。欧盟成员国也会制定自己的目标。法国呼吁，希望相关产业应该尽快转型，在 2022 年前使可再生氢能发电的比例达到 10%，在 2027 年前达到 20%~40%。

但是，如果没有鼓励创业公司大规模生产电解槽的政策，欧盟成员国的目标就很难实现。将氢注入既有的天然气管道是一个比较好的启动方案，因为这样可以利用现有的基础设施。长期以来，工程师一直认为氢分子会从现有的天然气管道中逃逸，或者对管道造成损害，因为氢分子是所有分子中最小的，而且很活跃。但是，最近的研究表明，混合比例高达 20% 到 25% 的氢气不会渗透，也没有损害天然气管道。因此，欧洲多个国家允许在天然气管道中混合氢气，其中包括意大利、德国、英国等。这些国家的公司正在数十个地区的管道中注入氢气，希望为客户的加热器、炉灶和其他设备提供燃料。当然，只要氢气含量低于 25%，这些设备就不需要接受改造。

按照项目经理海琳·皮耶尔 (Helene Pierre) 的说法，恩吉公司在卡佩莱拉格兰德的天然气管道中混合氢气的的时间已经有一年多了，至今没有发现任何意外或者反对意见。她认为，根据大范围的监测，在使用混合气体（天然气和氢气）的家庭中，空气更清洁。这一点也有助于公众接受混合气体工程。她还指出，添加氢气能改善气体燃烧的情况，减少天然气在不完全燃烧时产生的污染物（一氧化碳等）。

在推动下一波可再生氢项目时，欧洲的氢气制备规模会变得更大。法国和德国的工业财团已经在寻求 1 亿瓦电解槽的融资和授权协议，这比目前运营的最大电解槽还要大 10 倍。林根是德国西北部一个城市，拥有两个精炼厂，当地两个巨大的电解槽项目正在争取政府的支持，希望以此促进林根周边地区的氢经济发展。一家名为恩塔格 (Enertrag) 的大型公用事业公司和几家德国最大的能源和工程公司都参与了其中一个项目，该项目或许能为德国的氢能源网络提供一纸蓝图。诺伊加 (Nowega) 是林根当地的天然气网络运营商，也是该项目的合作伙伴之一。诺伊加的总经理弗兰克·霍伊内曼 (Frank Heunemann) 表示，“我们的想法是建立一套 100% 的氢气网络。”这个项目利用了现有的天然气基础设施，但并没有通过混合气体的方式输送氢能。目前，该项目计划重新利用闲置的天然气管道，向目标位置输送可再生氢，其中包括当地精炼厂、发电厂，甚至正处于计划中的燃料电池汽车加油站。

由于林根地区有两套天然气网络，所以诺伊加可以选择性地使用其中一些闲置的管道。两套气体网管中，有一



在德国汉堡，一位工程师正在检测输送可再生能源的管道。

套是输送标准天然气（几乎为纯甲烷）的，另一套则是用来输送当地硫化氢含量较高的天然气（氢气可以让一些钢管变脆）。诺伊加正在逐步淘汰当地的天然气，留下了一些空置的钢管。霍伊内曼认为，这些钢管应该能够承受纯氢气引发的各种反应。

RWE 是一家欧洲的能源供应商，他们将为之前提到的工业财团制造电解槽。另外，这家公司还计划在林根的发电站燃烧部分由电解水生产的氢气。德国工程巨头西门子也参与其中，打算优化当地发电站四台燃气机中的一台，从而解决燃烧纯氢气可能引发的问题。

工业财团还在考虑进一步扩张项目规模。林根距离储存天然气的人造地下洞穴约 48 千米。霍伊内曼认为，将林根生产的部分氢气储存在其中一个深度超过 1000 米的洞穴中，可能是比较合理的选择。无论是在美国的得克萨斯州，还是英国，已经有大量氢气储存在地下的洞穴中了。

诺伊加还设想一套长达 3200 千米的管道网络，可以直达德国大部分钢铁厂、精炼厂和化工产品厂。该计划的重点是重新设计天然气管道，这些管道最初是用来输送“民用燃气”——从煤层中产生的天然气，富含氢气。在 20 世纪 60 年代以前的欧洲，这种现象非常常见。霍伊内曼表示：“这些管道在过去能输送含氢量为 50% 的天然气，现在当然也能输送 100% 的氢气。”

未知的变数

欧洲对可再生氢的兴趣越来越大，但这并不是孤例。

2014年，日本在官方能源政策中提出了“氢社会”的目标，预计需要几十年的时间完成这种转变。“高效进口氢”是这个项目的首批目标之一。为了实现目标，日本将于2020年开始从天然气资源丰富的文莱进口灰氢。另外，澳大利亚也在制定向日本出口氢气的竞争计划。2019年12月，澳大利亚各州和地区的能源部长通过了“国家氢能战略”，因此，澳大利亚政府宣布了一项价值3.7亿澳元（约合2.53亿美元）的氢能源刺激计划。

美国也重新显示出了对氢能的兴趣。联邦政府再次为氢技术制定相关目标；一些能源公司正在投资氢能；一些州也在为氢能的发展提供支持。洛杉矶是美国的先行地区之一。在2019年4月公布的《L.A.S. 绿色新政》中，洛杉矶市长埃里克·加塞蒂（Eric Garcetti）承诺：到2030年，洛杉矶的能源结构中，可再生电力的比例将达80%，到2050年，将达100%。此外，加塞蒂市长正在推进建造太阳能农场的计划，以及一家配套的天然气发电厂，以此确保洛杉矶市有备用电源可用。如果需要，这家工厂还可以进一步转型，以可再生氢为燃料。此前，一条长达125千米的管道已经开始将灰氢输向该地区的精炼厂了。值得一提的是，燃料电池也在与常规电池竞争，计划为该地区港口中运输货物的部分卡车（大约为16000辆）提供动力。如果用氢气代替柴油作为卡车的燃料，能够显著地改善洛杉矶的空气质量。

布鲁维尔认为，在降低碳排放时，整个国家都需要更深入地思考能源问题。根据美国劳伦斯伯克利国家实验室的预测，到2025年，加利福尼亚州每年可能会浪费80亿千瓦时以上的可再生能源。布鲁维尔表示，加利福尼亚州应该储备氢能源，这样不仅能让精炼厂更清洁，还能在夏季热浪引发猛烈的电力需求时，正常应对。

有的专家还认为，氢能确实可以实现多重价值。欧内斯特·莫尼兹（Ernest Moniz）曾是麻省理工学院核物理学家，也是美国奥巴马时期的第二任能源部长。最近，由他领导的智库“未来能源计划”（Energy Futures Initiative）发表了一份报告。报告呼吁，加利福尼亚州应该进一步挖掘可再生氢和其他低碳燃料的潜在“巨大价值”。报告指出，如果没有可再生氢和其他低碳燃料，加利福尼亚州的碳减排目标可能无法实现。

这个领域中还有很多潜在的问题，它们可能会阻碍甚至阻止美国加利福尼亚州、欧洲以及其他地方进一步扩大氢能相关的基础设施。公众焦虑是其中持续存在的一个问题，因为氢太易燃了，所以时有事故发生。2019年夏

天，挪威一个燃料电池加油站的阀门出现故障，引发了氢气爆炸。尽管混凝土防爆墙将伤害降到了最低，但媒体报道立即引发了巨大的讨论，质疑氢能在事件后能否继续发展。2019年11月，加利福尼亚州州长加文·纽森（Gavin Newsom）下达命令，要求该州公用事业委员会尽快关闭一个地下天然气的储存设施。在4年前，这个地区出现了一场持续4个月的天然气泄漏事故，导致数千户家庭选择搬离。

所有的能源都有潜在风险，社区的反对让“无碳能源”的道路变得更加崎岖。在很多地方，公众都不太喜欢核能、输电线路以及风力涡轮机。此外，可再生氢面临的最大挑战，还是电解槽的成本问题。为了逐步用可再生氢取代灰氢，生产可再生氢的成本需要从目前每千克4美元以上的价格，降低到2美元以下。有研究表明，如果电解槽的成本像过去几年那样持续下降，到2030年时，生产可再生氢的成本可能会下降到2美元以下。

这些研究还表明，如果没有政府的激励，电解槽成本可能无法持续下降。在最近的一份报告中，IEA指出，氢能需要政府的支持，就像政府支持太阳能产业和风电产业一样（在世界范围内，每年有超过1000亿美元的投资）。正如国际能源署所写的，“政策和技术创新，有能力建设全球性的清洁能源产业”。

技术革新可能即将来临。新的电解槽也在逐步进入市场，这种固体氧化物电解槽的产氢量比恩格正在使用的电解槽（目前工业领域中处于领先地位的质子交换膜电解槽）高出近30%。现任斯坦福大学教授的朱棣文也在研究一种新型电解槽。依靠全新的技术（更紧密的元件间距和其他技术），这种电解槽能够在生产氢气时实现能耗更少，效率更高。朱棣文认为，这些变化可能会使氢能的“运营成本”产生巨大变化，而这也是他涉足氢能行业的原因之一。

本文译者 郑励行是中国科学院广州能源研究所博士生，主要研究氢能源。

本文审校 蔡国田是中国科学院广州能源研究所研究员，主要研究能源战略与低碳发展。

扩展阅读

Hydrogen Roadmap Europe. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, February 2019.

The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. Technology Report. International Energy Agency, June 2019.

Questions about a Hydrogen Economy. Matthew L. Wald; May 2004.

文明的诞生

现代人类文明的诞生过程依然迷雾重重。虽然已经有了多种假说，但考古学证据告诉我们，真实情况可能比这些猜想更加复杂。

撰文 弗朗切斯科·德里科 (Francesco d'Errico) 卢纳·希基 (Lounès Chikhi)
翻译 冯盈哲





在南非的布隆伯斯洞穴，
考古学家发现了一块7.4万年前的赭石。
石块表面经过打磨后，
用一把尖锐的石制工具雕刻了抽象图案。
这是已知最古老的符号表达遗迹之一。

1994年，南非的一位博士生克里斯·亨希尔伍德（Chris Henshilwood）来到了英国剑桥大学的麦克唐纳考古研究所（McDonald Institute for Archaeological Research），在那里，他见到了当时也在这里工作的本文作者德里科。之前，在距离南非开普敦约300千米的布隆伯斯，与“斯特尔拜文明”同一层位的地层中，这位博士生曾挖掘到了一些骨制物品，他认为这可能是某种人造工具。但另一位旅经南非的美国学者告诉他，这些不过是骨骼自然风化后的残骸。

美国学者得出这个结论的理由在于，这些骨片所处地层的年龄超过了4万年。而根据当时主流的人类文明起源理论，那时还没有人造工具出现。但不久之后，显微分析就指出，这些物品是通过刮削制成的匕首和某种投掷武器的尖头，两者的制造技术相同，且都用皮革之类的材料仔细抛光过。亨希尔伍德可能没有想到，就在这次剑桥的会面后，他与德里科及其他来自非洲、欧洲和亚洲的研究者展开了一场持续20年的合作。这次合作或将颠覆我们对现代人类文明起源的认知。

人类文明的曙光

直至上世纪90年代，仍有许多学者认为，5万年前人类突然获得了认知能力，随后才产生了拥有复杂的语言和符号系统的人类文明。当时的科学家提出，古人类的生理构造与现代人相似，但其认知能力仍与现代人相差甚远。而文明的诞生，是因为人类基因发生了突变。过去认为，雕塑、装饰品、绘画作品、乐器和旧石器时代晚期（4.2万~1万年前）的墓葬都是这一巨变的关键证据。同时，是否具有文化表达产物，也被视作不同人类物种在生理与认知能力上的鸿沟。这道鸿沟似乎把约4.2万年前迁入欧洲，已经具有现代人解剖学特征和认知能力的新的

弗朗切斯科·德里科是法国波尔多国家科学研究中心的研究主任，还是挪威卑尔根大学的教授。他是非洲、欧洲与中国符号行为起源方面的专家。

卢纳·希基是法国图卢兹国家科学研究中心的研究主任，同时也是葡萄牙奥埃拉斯市古尔班基安科学研究所的研究员。他专注于人类遗传学的实证和理论研究。



支，和12万年前就生活在欧洲土地上的尼安德特人区别开来：这批进入欧洲大陆的人类被称作克罗马农人，他们拥有全新的认知能力和重要的技术创新，因此迅速取代了之前居住在此的尼安德特人。

在本世纪初，又出现了一种新的理论。该理论认为，现代人认知能力出现的时间应当远远早于5万年前，大约在智人从非洲起源之后。也就是说，所有现代人都能追溯到相同的非洲祖先。这个假说的证据在于现代非洲人具有极其丰富的基因多样性，高于非洲人以外的全部其他现代人。事实上，其他大洲人类的基因多样性甚至能够被视作非洲人的一部分。古人类的基因数据显示，以非洲东部和南部为中心，距离越远，遗传多样性往往就越低。此外，对基因数据的模型分析还显示，在过去20万年内，曾发生过一次小规模人类种群的扩张。

根据基因数据模型的分析结果，一个结构单一且人口稀少的人类种群先是“占领”了非洲，随后扩散到了整个地球。这个假说与所谓的“多地区进化说”截然相反，后者认为现代人是非洲和亚洲本地的古人类各自演化形成的。

与基因证据相符的是，古人类学家在非洲发现了一些具有部分现代人特征的古人类遗骸，比如在埃塞俄比亚的赫托遗址和奥莫-基比什遗址中曾发现距今15万~20万年的遗骸，它们可能就是现代人的祖先。新人类分支的产生过程遵循着经典的生殖隔离理论：基因发生随机突变，经过自然选择，演化后的人类与原始人类的差异被逐渐拉大，最终形成了种群间的生殖隔离。新产生的人类分支已经具有了现代人的颅骨形态和认知能力，并且迅速取代了

精彩速览

直至上世纪90年代，仍有许多学者认为，5万年前人类突然获得了认知能力，随后才产生了拥有复杂的语言和符号体系的人类文明。

然而，最近的考古发现显示，人类文明真正的演

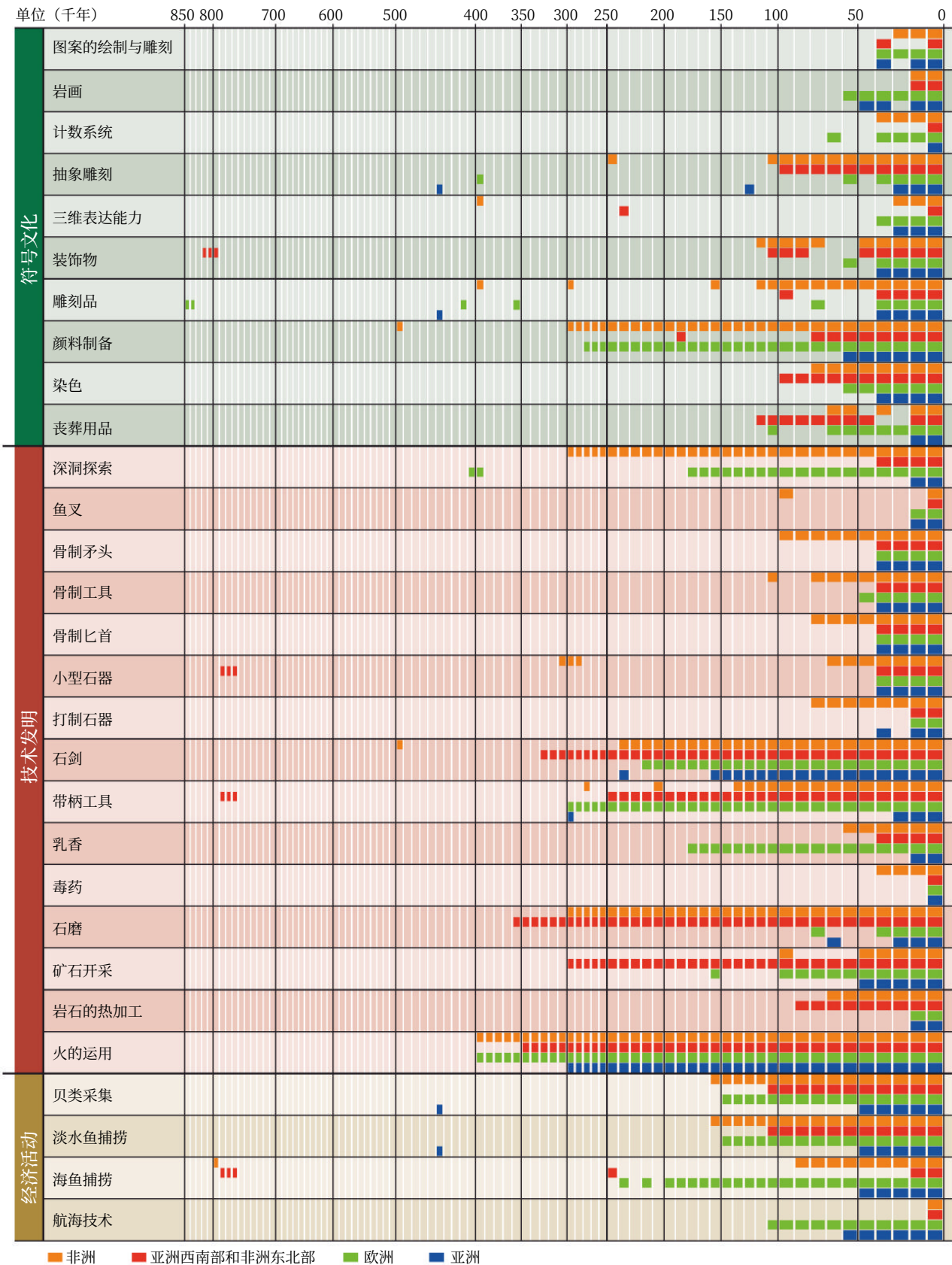
化过程可能会更加复杂和扑朔迷离。古人类基因学证据表明，非洲人曾在欧亚大陆上与其他大陆的人类相遇并发生了基因交流。

目前出土的文物证据指出，在非洲人迁入之前，

欧亚大陆就已经出现了文明。

我们仍然无法判断的是，认知能力的突然提高以及人类文明的出现，是否真的与智人的形成过程有关。

过去85万年间, 4个不同地区的文明创造活动



图片来源：Daniilo Sossi 改编自 Colagè I. & d'Errico F., 2018

原始的非洲人。在迁离非洲之前，他们的基因和认知水平尚未发生明显的改变。随后，在6万年前，他们替代了全体古欧亚人类，如居住在欧洲和亚洲西南部及非洲东北部的尼安德特人，以及居住在亚洲的直立人和匠人的后代等。

总体来说，从那个小规模原始种群演化至我们这些现代人类的过程中，自然选择使我们的祖先获得了额外的特性——能够产生类似现代语言的新的认知能力，以及能够创造并传承复杂技术和符号文化的能力。

这个理论模型的优势之一就是过程简单。智人成功的关键之处在于，相比地球上同时期的其他人类，他们的适应性更强。因此，智人注定要取代那些在解剖特征和认知能力上都“更原始”的古人类。

更复杂的演化过程

然而，随着新的研究方法带来了古人类学、遗传学和考古学领域的新发现，我们开始意识到这个演化过程可能更加复杂。最新的研究表明，从头骨的解剖学特征来说，智人与原始祖先区别开来的明确时间点是在10万~3.5万年前，晚于智人在非洲首次出现的时间。同时，更古老的头骨化石显示，古人类与现代人头骨的解剖学特征存在一定的关联，例如在摩洛哥的杰贝尔依罗遗址出土的一枚30万年前的头骨，前文提到的出土于奥莫-基比什遗址（19.5万年前）以及赫托遗址（16万年前）的头骨，以及在南非的弗洛里斯巴德发现的26万年前的头骨等。

举例来说，杰贝尔依罗遗址发现的头骨的面部骨骼偏小，与以色列卡夫扎和斯虎尔地区出土的晚期智人头骨（12万~9万年前）的面部骨骼尺寸相似。而赫托出土的头骨面部骨骼庞大，其中一枚头骨的面部骨骼圆润，整个头骨近乎球形。也就是说，古人类学家并没有找到能够统一区分“原始”和“现代”人类头骨的形态特征。事实上，在30万年前的非洲大陆，一些原始人类的头骨却已经同时具备了“原始”与“现代”的特征，部分头骨的内颅形态出现了现代形态特征。此前，科学家误认为这些属于比较原始的形态特征，因此判断这些人类的认知能力也比较原始。

早期智人化石的形态学特征、年代和地理位置的分布都表明，非洲不同地区人类的演化基本是各自独立进行的。由于地理屏障或距离的分隔，不同的人类种群常常处于半隔离状态，在分隔几千年以后，又会进行一段时间的交流，这个过程可能会重复数次。一项研究指出，基因数据显示过去曾交替发生“高”、“低”水平的基因交流，这也完美吻合了前文提出的复杂演化过程。

现代人的“古老基因”

现今，科学界普遍接纳的理论是人类祖先大多源于非洲。但同时，随着更多证据出现，针对非洲大陆的人类如何获得了高度的基因多样性，仍存在着激烈的讨论。现代人起源于非洲东部和南部的一个有力证据是基因数据的分析结果。基因分析的目的在于判断已有的数据更符合多地区起源模型还是简单的非洲起源模型。很快，科学家就确定后者能更好地解释现有的基因数据。

但在上世纪90年代，研究者从一些现代非洲人体内发现了一些特殊的等位基因。他们发现，这些等位基因上的许多突变，都与其他现代人的等位基因相关。这些相关基因的广泛存在说明，这些等位基因应当存在了很长时间（20万或30年以上）。也就是说，这些“古老的”基因应该在智人诞生之初，甚至之前就已经存在了。部分基因学家认为，这些等位基因的存在反映出，原始的非洲人与演化后的非洲人之间曾发生过基因交流。不过，还有另外两种假说能够解释这些“古老的”等位基因在现代人中存在的原因。

第一种假说认为，在原始人类扩张到其他地区以前，其规模已经很大了。而根据理论预测，当人口数量较大时，种群内是有可能存在多种多样的等位基因突变的。

第二种假说是原始人类种群已经具有了一定结构，也就是说存在着不同的种群，分散在各个区域，不同的种群会在交界处发生基因交流。一个结构化的种群，即便人口数量不多，也能够出现丰富的等位基因突变。更重要的是，这类种群能够随时保持等位基因的多样性。

需要强调的是，由于在这些非洲人中发现的等位基因与大多数现代人的差异很大，因此在基因的谱系图中，会将它们置于更古老的那一端。但是，当某种原始的等位基因出现后，它并非一直保持不变。也就是说，我们前文提到的“古老的”等位基因不会与最原始的基因保持一致，它们是原始的等位基因不断发生变化的结果。对此的误解会导致许多问题，比如，将非洲人这些变异后的等位基因误解成原始的等位基因，并且对应的，误以为这些人是原始人类。

那么，现代人的这些等位基因是如何产生的？它们的存在又能说明什么呢？在过去20年间，生物学家建立了更加复杂的模型，以模拟人类基因组的变化过程。现在，越来越多的科学家认同，无论原始人类的人口规模如何变化，相比起简单版本的非洲起源说，基因交流曾经重复发生的理论能更好地解释现代人的基因多样性。但问题在于，



圆环之谜：17.6 万年前，现位于法国的布吕尼屈厄洞穴内，尼安德特人取下了 4 吨重的石笋，并用其搭建了一个看似缺少实际用处的圆环形结构。

这些模型十分复杂且很难给出具体的演化过程。如何从无数的情景模拟中选出能够代表过去 30 万年甚至 100 万年间人口结构的模型？此时，考古学、古人类学、地质学、古生态学和古气候学的数据就显得尤为重要。综合考虑各学科数据能够缩减选择范围，帮助我们找出最可能的情景。

根据我们对人类历史上种群动态的了解，目前认为最接近真实情况的情景应该是，结构化的人类种群中逐渐演化出现了现代特征。在这个结构化种群的模型中，人类基因的多样性从智人的祖先直接遗传而来，而不是来自现代人和原始人之间断断续续的基因交流。

另一个现代人中存在着“古老基因”的例子是，现代欧洲人和亚洲人有可能来自尼安德特人的等位基因。我们同样可以用前文的逻辑解释这一现象。唯一不同的是，当今的大部分遗传学家认为，人类的确曾与尼安德特人进行过杂交，从而获得了这些“古老的”基因。

这一假说也很好地解释了过去 18 万年间，非洲的智人为何曾多次迁出非洲大陆。根据古人类的 DNA 样本数据，尽管仍有反对意见存在，但科学界普遍认为，我们的非洲祖先很可能曾经与尼安德特人、丹尼索瓦人（与尼安德特人属于同时期，但现已灭绝的一个亚洲人类物种）都发生过基因交流，这样的基因交流同样可能出现在尼安德特人与丹尼索瓦人之间。最近的研究结果显示，部分亚洲古人类可能接受过两个丹尼索瓦人种群的基因。总体来说，不断更新的古遗传学数据指出，我们面对的是一张复杂又断断续续的基因交流网络，这张网络不仅存在于不同的智人

种群之间，也存在于智人与不同地区的其他古人类之间。

不过，在新理论与新发现的背后，仍存在着许多有待思考和解决的问题。比如，新理论默认的一个前提是，不同种族的成员都认为彼此是潜在的、甚至理想的伴侣，种群间的通婚受到种群接纳，并且产生了许多后代。那么我们不禁提出一个疑问，在当初的非洲，在种群间认知差异巨大，且缺乏能够沟通的语言的情况下，这种基因交流是否真的能够发生呢？同时，还有另外一个古人类学家反复思考的问题：“原始人类”和“现代人类”（智人）之间的差异在哪里？此外，对于现生生物，我们可以依靠生殖隔离来定义生物物种，但对于已经灭绝的生物，我们就只能依赖其化石的形态学特征来定义化石物种。尽管这一点在过去已被认作既定事实，但我们对化石物种和生物物种的划分是否一定一致呢？事实上，随着更多证据被发现，我们开始意识到，古生物学家归类的“古人类”可能并不能在生物学意义上与智人区分开。也就是说，我们越来越相信，智人在非洲大陆上出现的时间比目前认为的还要早。

早期文明与物种形成

为了了解旧石器时期人类的文化和认知水平，唯一能够为我们提供直接信息的就是考古发现。如果认知能力存在单一的起源和传承过程，那么智人的形成与现代认知能力标志（如掌握复杂的技术、出现符号行为等）的出现就应该存在着明显的关联。一种假说认为，智人诞生后，其文化创新能力出现了爆发式或指数级的增长。在当时的非

非洲的人类文明遗迹

1

南非布隆伯斯遗址出土，7.4万年前经过雕刻的赭石、抽象图案、装饰品、骨制工具和双面打制的尖锐工具。



1

南非布隆伯斯遗址出土，10万年前颜料制备与贮存的工具。



2

摩洛哥 Dar es-Soltan 遗址、Contrebandiers 遗址、Ifri n'Ammar 遗址、Rhafas 遗址出土，12万~8万年前的装饰品。



2

摩洛哥 Dar es-Soltan 遗址、El Mnasra 遗址出土，9万年前的骨制工具。



3

埃塞俄比亚 Porc Epic 洞窟出土，5万年前用于颜料制备的40千克的赭石和石磨。



4

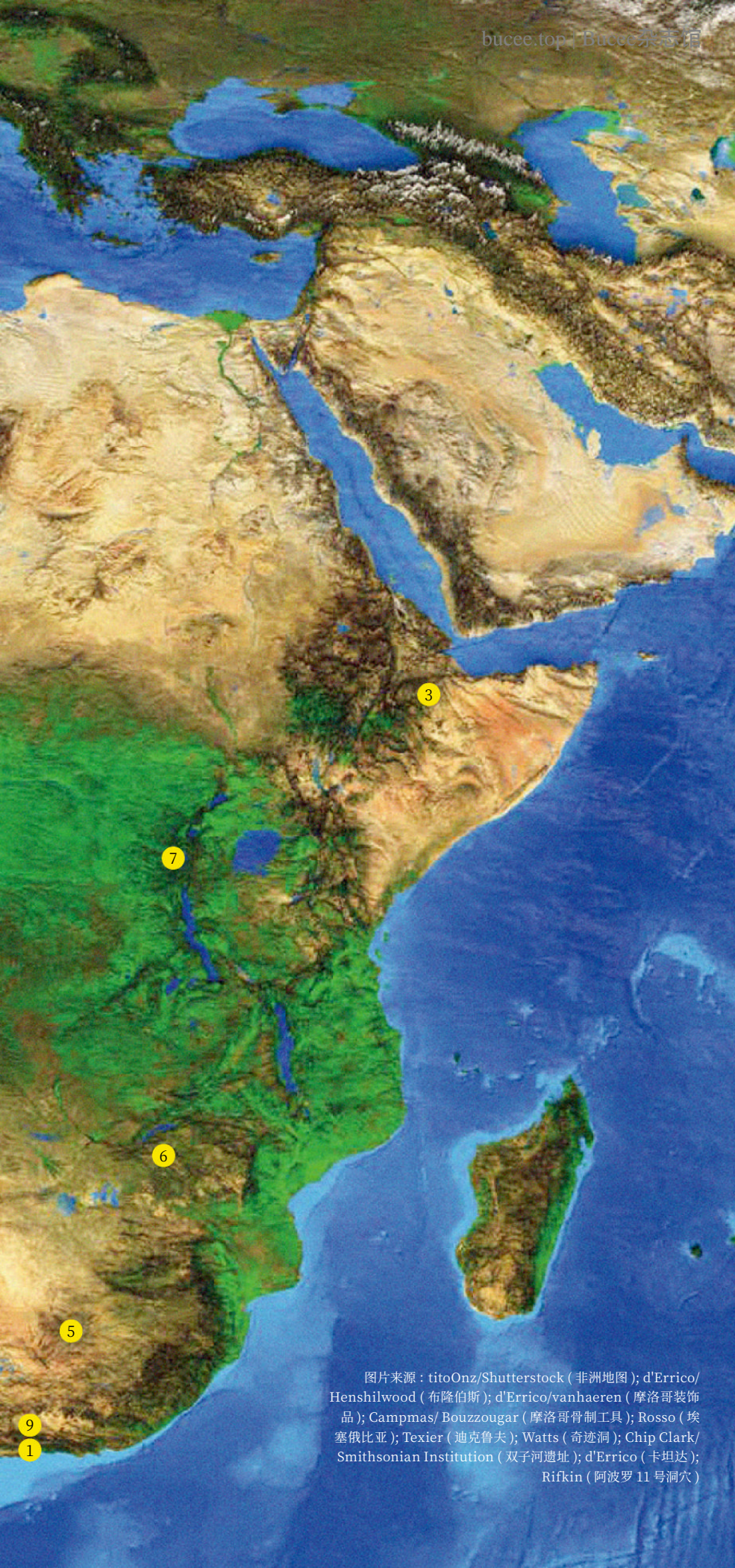
南非迪克鲁夫岩窟出土，6.6万~5.8万年前刻有图案的鸵鸟蛋。



地图中标出了非洲一些重要的考古遗址，考古学家在这些遗址中发现了30万~3万年前人类文明创造活动的证据。由于考古研究尚未覆盖全部的非洲地区，外加部分地区的文明创造活动出现较晚，非洲的大部分区域都未能发现此类活动的痕迹。

8

4



5

南非奇迹洞窟出土，30万年前的赭石。



6

赞比亚双子河遗址出土，22.6万年前的赭石。



7

刚果民主共和国卡坦达出土，9.5万年前的骨制鱼叉。



8

纳米比亚阿波罗 11 号洞穴出土，2.8 万年前绘有动物图案的小石片。



9

南非斯特尔拜遗址出土，7.5 万~7 万年前的双面矛头。



图片来源：titoOnz/Shutterstock (非洲地图)；d'Errico/Henshilwood (布隆伯斯)；d'Errico/vanhaeren (摩洛哥装饰品)；Campmas/Bouzzougar (摩洛哥骨制工具)；Rosso (埃塞俄比亚)；Texier (迪克鲁夫)；Watts (奇迹洞)；Chip Clark/Smithsonian Institution (双子河遗址)；d'Errico (卡坦达)；Rifkin (阿波罗 11 号洞穴)

洲大陆，这种文化创新能力使得这一诞生不久的人类能够快速扩张，同时也导致当时的其他古老人类，包括智人离开非洲大陆后遇到的古欧亚人类迅速消亡。

这类理论的支持者提出，之所以在 30 万~10 万年前的非洲遗址中几乎没有发现复杂技术和符号表达的产物，是因为人类文明的诞生是一个逐渐发展的过程。他们认为，智人的早期成员已经拥有了创造复杂文明产物的潜力，但要真正生产出实际的物品，还需要经历若干阶段。

但是，如果认知能力的提升是在智人的物种形成过程中出现的话，那么为什么两者出现的时间相差了 10 万元以上呢？事实上在考古记录中，我们一直没能找到智人认知能力革新的确切证据。例如，旧石器时代中期（约 30 万~4 万年前非洲的史前时期）的开始有两个标志：一是抛弃了典型的阿舍利两面打制工具，该工具因首次发现于法国圣阿舍利遗址而得名；二是改为修整石核制造工具。然而问题在于，在广大欧亚地区，前者与后者的盛行时期几乎相同，甚至可能晚于后者。现在，石核修整技术的发源地仍是个未解之谜，因此这种技术创造并不能被视作非洲的智人成功扩张的关键因素。

事实上，在非洲大陆上的考古发现也显示，文化创新能力突然出现后以指数形式快速扩张的观点似乎存在问题。比如，直到 14 万年前，非洲北部才出现了 Ateriano 文明，其得名于在阿尔及利亚的比尔阿提尔遗址发现的工艺技术。10 万年前，在南非的彼得斯堡、斯特尔拜和荷威森普特出现了具有地方特色的打制石器，9 万~8 万年前出现了精美的骨制工具。在其他地区，4 万年前，旧石器时代中期的打制石器技术被取代。带有符号表达的工具或物品（颜料、装饰品、丧葬用品、抽象的雕刻与绘画和计数体系等）则在不同时期都有出现，其中一部分普遍存在于几千年前的非洲大陆上。此外，还有些文化创新活动在首次出现后消失了数千年，之后又以不同的形式重新出现。

红色颜料的使用似乎是唯一一项与旧石器时代中期的开始相吻合的技术创新。最近出土于肯尼亚奥罗格赛利遗址的红色赭石碎片证实了之前在肯尼亚的卡普图里遗址、赞比亚的双子河遗址以及南非的奇迹洞窟、Canteen Kopje 遗址和 Kathu Pan 1 号遗址出土的考古发现。但考虑到这些出土文物的年龄，比如奥罗格赛利遗址的赭石碎片就有 28~32 万年的历史，结合我们对同时期非洲人解剖学特征的了解，最早使用红色颜料的那些人类一定具有古人类的解剖学特征。因此，红色颜料的首次使用并不一定与智人的诞生有关。



图为西班牙南部的巴西加洞穴内发现的岩画。部分岩画可追溯至 6.4 万年前，比智人迁入欧洲的时间要早得多，因此它们应该由尼安德特人所创作。

最古老的装饰品是在摩洛哥和阿尔及利亚发现的，约有 7 万~12 万年的历史，是将某种海螺 (*Tritia gibbosula*) 的外壳穿孔并涂上赭石后制成的。在卡夫扎和斯虎尔也发现了大约同一时期的装饰品，是由某种海螺和贝类 (*Glycymeris* 属) 的外壳穿孔后制成的。在布隆波斯出土了约 7.3 万年前、穿孔并涂有赭石的织纹螺 (*Nassarius kraussianus*) 壳装饰物。在南非德班附近的西布度洞穴中，则出土了用另一种海螺 (*Afrolittorina* 属) 壳制成的装饰品。在南非斯威士兰附近的博德洞穴内，发现了一颗 7.4 万年前的穿孔且涂有赭石的斑芋螺壳 (*Conus ebraeus*) 和一具婴儿遗骸，这是已知最早有装饰品陪葬的墓葬。肯尼亚蒙巴萨北部的考古发现显示，6.7 万年前的沿海居民会将芋螺 (*Conus* 属) 壳碎片穿孔，并将它们用作装饰物。

除了这三个主要地区之外，其他地区并没有装饰品出土。而且在 7 万年前至 5.5 万~4.5 万年前的这段时间内，装饰品仿佛在非洲北部消失了。然而几乎在同一时期，非洲南部又出现了用鸵鸟蛋壳制成的圆形珍珠状饰品。刻有抽象图案的赭石碎片或绘有抽象图案的石片最早出现在 10 万~7 万年前的南非布隆波斯、克莱西斯河和克莱因，在消失了一段时间后，在 6.6 万~5.8 万年前，它们又在同一地区重现了，同时还出现了刻有抽象图形的鸵鸟蛋壳制成的水壶。接着，抽象图形又消失了，并且直到几千年前才再次在非洲其他地区出现。非洲第一幅写实画作出土于纳米比亚的阿波罗 11 号洞窟，只有 3 万年的历史。

尽管仍然存在争议，但非洲最早的殡葬活动可能并不

是在智人中出现的，而是与另一个拥有更多原始特征的人类——纳莱迪人有关。纳莱迪人发现于南非升星洞的深处，其特征是颅骨容量很小且体型小巧，出现时间大约在 3.3 万年前。在考古学家发现的极少数早期墓葬中，非洲墓葬出现的时间要晚于尼安德特人以及非洲大陆以外的现代人墓葬。但一定还有更多早期墓葬等待着我们发现。

其他人类的认知能力

想要找到非洲智人最早的文化产物，然后证实认知能力是随着智人的出现而诞生的这一假说，其中确实存在一些困难：除了非洲出土的文物存在地理分布零散、年代分布不连续的问题之外，另一个问题在于，就目前已知的考古学证据来看，亚欧地区文化表达活动出现的时间早于非洲人迁入亚欧大陆的时间。比如在亚洲，54 万年前爪哇岛特里尼尔的直立人就在一枚淡水贝壳上雕刻了锯齿状图案。而近期一项对 60 年前发现的一批赭石块的研究指出，40 万年前，法国尼斯泰拉阿马达的海德堡人（尼安德特人的祖先）就已经开始使用红色赭石了。同样，在欧洲尼安德特人遗址出土的，6 万年前的颜料加工工具、留有赭石的器皿以及富含氧化铁和氧化锰的矿物残渣也证明，那时尼安德特人就已经普遍使用红色颜料和黑色颜料了。

另外，在欧洲、亚洲和非洲东北部地区都发现了尼安德特人为新生儿、儿童和成年人建造的坟墓，其中部分坟墓还带有陪葬品。17.6 万年前，尼安德特人从现位于法国的布吕尼屈厄洞穴内取下了 4 吨重的石笋，并用其搭建了一个看似缺少实际用途的圆环形结构。在不同的尼安德特人遗址中都曾发现猛禽的爪子和羽毛，这些材料有 13 万年的历史，当时可能被用于制造某种装饰物。在意大利的富马内和西班牙东南部的燕子洞内曾发现过涂有赭石的海洋贝壳化石。在欧洲大陆有超过 40 处遗址出土过带有抽象雕刻的骨制品和石制品，其出现时间要早于智人迁入欧洲的时间。另外，在克里米亚的扎斯卡尔纳耶和基克柯巴曾发现带有刻痕的乌鸦骨骼和石灰石，最近的一项研究显示，这些图案都是人为制造的。

近几年的考古发现还显示，欧洲的尼安德特人装饰过洞穴。例如，位于直布罗陀的戈勒姆遗址中发现了一位尼安德特人雕刻的两条精准垂直的直线。西班牙的三个洞穴中也发现了 6.48 万年前雕刻的手掌轮廓线和抽象图案。另外 4.4 万 ~4.2 万年前，法国最后一批尼安德特人——查特佩戎文化的创造者还用动物牙齿、骨骼和海洋贝壳制作了一批饰品，其中一些还用赭石上了色。在法国还曾出土

了经过处理的红赭石、黄赭石、黑锰矿和灰锰矿等颜料原料共 18 千克，在同一层位还发现了查特佩戎文化中用动物的骨头和猛犸象牙制作的装饰物和工具。

扑朔迷离的文明起源

总体来说，现代人类的产生过程非常复杂，且迷雾重重。这一演化过程不仅仅发生于非洲东部或南部，它囊括了整个非洲大陆上的所有人类种群。在 40 万 ~1 万年前，非洲大陆的气候变化导致不同的种群之间不断产生隔离与交流。在这个过程中，不同地区的物质文化得到了发展，不同种群的基因也发生了改变，并最终产生了现代人类，这就是“非洲多地区起源说”（African multiregionalism），然而这个假说仍然需要更多的证据提供支持。需要强调的是，这个假说与经典的“多地区起源说”并无关系，后者认为非洲以外其他地区的人类经过各自的演化产生了当今欧亚地区的现代人。而事实上，非洲以外地区现代人的基因组，绝大部分来自于过去的非洲智人，占比约为 92%~98%。

考古遗址中曾发现许多古人类文明创造的痕迹，包括一些类似现代人认知能力产物（主要是符号表达）的首次出现，这似乎说明人类文明并不是智人诞生后所导致的认知能力变化的直接结果。与之相反，这些发现向我们展示了一系列由环境和社会因素共同导致的、复杂的、区域性的、非线性的文明演化轨迹。

目前最可能的一种推测是，过去存在大量的文明和人类种群，人类的不同种群之间常有接触或交流，但随着环境变化和种群隔离的周期性发生，每一个种群又具有其独特的基因、形态和文明特征。■

扩展阅读

Cultural Exaptation and Cultural Neural Reuse: A Mechanism for the Emergence of Modern Culture and Behavior. d'Errico F. e Colagè I., in «Biological Theory», Vol. 13, n. 4, pp. 213-227, dicembre 2018.

Identifying Early Modern Human ecological niche expansions and associated cultural dynamics in the South African Middle Stone Age. d'Errico F. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 114, n. 30, pp. 7869-7876, 25 luglio 2017.

Human Migrations and Population Structure: What We Know and Why It Matters. Goldstein D. e Chikhi L., in «Annual Review of Genomics and Human Genetics», Vol. 3, pp. 129-152, settembre 2002.

Did Our Species Evolve in Subdivided Populations Across Africa, and Why Does It Matter? Scerri E.M., d'Errico F. e Chikhi L., in «Trends in Ecology & Evolution», Vol. 33, n. 8, pp. 582-594, agosto 2018.



赛场上的 疼痛、伤病与死亡

当运动员在赛场上表现出高超的技能时，我们还需要关注那些可能会带给他们疼痛和伤亡的基因突变。

撰文 大卫·爱泼斯坦 (David Epstein) 翻译 陈钢 等

在 2000 年的初春，美国伊利诺伊州埃文斯顿高中的室内跑道上充满了紧张的气氛。我的弟弟和父亲正在现场观看比赛。当父亲和台上的其他观众一同起立，寻求冲刺的最佳拍摄视角时，凯文·理查兹 (Kevin Richards) 倒下了。他不仅是我的朋友，也是我的前训练伙伴。

理查兹在颓然倒地的前一刻，还在试图追赶美国伊利诺伊州当时最好的运动员之一丹·格拉兹 (Dan Glaz)。在理查兹跑最后一圈的某个瞬间，指挥理查兹心脏跳动的生物电信号严重衰停，这让理查兹的心脏无法节律性地收缩、张弛，而是像盘子里抖动的果冻一般颤抖。他的左心室（从肺部接收含氧血液并挤压血液奔向全身的心室）出现了故障，导致循环系统大瘫痪。血液在理查兹的肺部毛细血管中滞留倒行。由于毛细血管非常纤细，红细胞在其中只能逐个通过。血液中的水渗出毛细血管壁，渗入了肺部的微小肺泡中，占据了本应属于氧气的空间。在大脑缺乏氧气的毒性环境中，他的脑细胞成群死亡。最终，理查兹溺死在了自己体内的水中。

在理查兹体内 30 亿个碱基对（构成 DNA 螺旋阶梯的化合物）中，有那么一些碱基出了错。这就好比，一串长到足以编写 13 套《大不列颠百科全书》的字符串中仅出现了一个小小的拼写错误。然而，理查兹的基因突变偏偏精确地发生在 DNA 阶梯的某一级上，导致他的生物蓝图中出现了一颗“破损”的心脏。

天生心脏缺陷

理查兹患有肥厚型心肌病 (HCM)，每 500 个美国人

中就有一人患有这种疾病，但许多人一生都不会出现严重的症状。巴里·马龙 (Barry Maron) 是美国明尼阿波利斯心脏研究基金会肥厚型心肌病中心的负责人，他表示，肥厚型心肌病是年轻人群猝死的原因，更是年轻运动员猝死的首要原因。

根据马龙积累的统计数据，每隔一周，美国至少会有一位患有肥厚型心肌病的高中、大学或职业运动员猝死。他们中有些是名人，而更多人则是像理查兹这样刚刚崭露头角的青少年运动员。

在这些人体内，左心室的肌肉细胞并不是它们应有的形态（像墙砖一样整齐叠放），而是歪歪斜斜地堆放着。当这些细胞传导指挥心脏张弛的电信号时，心脏很容易发生不规律的跳动。当运动强度非常高时，就可能导致“短路”，因此这类疾病在体育竞赛过程中尤为常见。毕竟运动员全身紧张，全神贯注，不会留意到危险的预兆。

肥厚型心肌病以“常染色体显性”的方式遗传，这意味着，带有这一“肇事基因”的父母有 50% 的概率将其遗传给下一代。在波士顿市，一座由砖石和钢铁筑成的建筑物矗立在查尔斯河畔。这座大楼就是美国哈佛大学个人基因医学合作健康医疗中心的所在地。遗传学家海蒂·雷姆 (Heidi Rehm) 领导着一间分子医药学实验室，他和同

事每周都能鉴定出新的肥厚型心肌病突变。

20世纪90年代早期，人们认为肥厚型心肌病源自单一基因 *MYH7*（编码一种位于心肌的蛋白质）的突变，而且可以是7种突变中的任意一种。当我在2012年访问雷姆的实验室时，他们已建立了包含18个不同基因、1452种不同突变（数量仍在增加）的数据库，每一种突变都能导致肥厚型心肌病。大多数突变位于编码心肌蛋白的基因中，而肥厚型心肌病患者中约70%的人，都与两个特定的基因有关。

但是，有三分之二的肥厚型心肌病突变是“个性化的”，仅存在于各自的家庭中，这让情况变得极为复杂。肥厚型心肌病最常见的致病原因是DNA“拼写错误”，在某一重要位置的突变导致氨基酸变化，进而合成了错误的蛋白质。

肥厚型心肌病突变可以在无家族病史的任何人身上随机地发生，但大多数肥厚型心肌病基因突变体是由父母遗传给孩子的。然而，一些突变却不会一代代传递下去。如果出现了某一种极危险的基因突变，它只会表现在家族中的某一位个体上。雷姆说：“这种突变有致死性，没人能活到生育年龄并把它遗传给下一代。”

其他突变则比较温和，在宿主的一生中默默无闻，例如 *Trp-792* 移码突变——听起来像美国国家橄榄球联盟（NFL）的战术用语，但实际上，这是一种门诺派教徒所特有的基因突变。在大多数情况下，科学家很难认定某种突变是否会令肥厚型心肌病的患者面临猝死风险。在理查兹的案例中，医生在他死后对心脏进行检查时，才诊断出他患有这一疾病。尸检表明，理查兹的心脏竟重达554克，而成年男性的心脏平均约重300克。况且，理查兹并未表现出明显的患病迹象，仅有一次诊断出心脏杂音。我也曾诊出过心脏杂音，许多接受听诊器诊断的运动员也是如此。心脏和其他肌肉组织一样，运动会使其更强壮，无害的心脏杂音在运动员中很常见，在他们退役、身材走形后这种现象一般就会消失。

当然，研究肥厚型心肌病的心脏学家建议，患者应该避免过于激烈的运动，因为这会提高肾上腺素水平，从而引发致命的心律异常。确诊后，患者可以接受手术，在胸中植入除颤器。这种小型装置仅有火柴盒那么大，设有接入心脏的导线。若检测到异常心律，除颤器就会自动发出电流，命令心脏恢复正常心律模式。

预知损伤

事实上，基因不仅会带来心脏问题，还可以预测一些

运动损伤。南非开普敦大学的生物学家们堪称是鉴定运动员肌腱和韧带受损风险基因的领军者。他们专注研究编码构成胶原纤维（组成肌腱、韧带和皮肤的基本构造单位）的蛋白质的基因，例如 *COL1A1* 和 *COL5A1*。胶原蛋白有时被称为“人体黏胶”，它使结缔组织的形态一直维持适当的形式。

COL1A1 基因的某种突变会让携带者患上脆骨病，患者极容易骨折。*COL5A1* 基因上的一种特定突变会导致埃勒斯-当洛二氏症候群，使皮肤弹性过强。马尔科姆·柯林斯（Malcolm Collins）是开普敦大学的生物学家，也是胶原蛋白基因研究的领军人物之一。他说：“早年间，马戏团的表演者能把身体叠缩进盒子里。我敢打赌，他们中绝大多数人患有这种病。这些人能把身体扭曲成你我都做不到的姿势，是因为他们的胶原纤维极为异常。”

埃勒斯-当洛二氏症候群很罕见。但科林斯和他的同事表示，胶原纤维更常见的变异会影响个人的柔韧性，提高结缔组织受伤的风险，例如，跟腱断裂。根据这一研究结果，一家名为 Gknowmix 的公司开始提供胶原蛋白基因测试，医生可以为患者申请测试。

科林斯说：“面对携带特定基因型的运动员，我们只能说：‘根据我们目前所知，你受伤的风险较高。’这跟说‘吸烟会增加患肺癌的风险’没什么两样。区别在于，你可以停止吸烟，但你没法改变自己的DNA。但是，你可以改变其他因素，比如改变自己当前的训练模式从而降低风险，或者进行‘预适应’训练，强化有风险的弱势方面。”

调节疼痛

除了与猝死、受伤风险有关以外，基因还与剧烈运动中另一个无法避免的难题有关：疼痛。

杰尔姆·贝蒂斯（Jerome Bettis）的体重达115千克，是橄榄球运动中的跑卫。贝蒂斯共经历了13个NFL赛季，冲球3479次，若干肋骨断裂，经历了数次肩膀脱臼、脑震荡、腹肌撕裂和胸骨瘀伤，做过大量膝盖和脚踝手术。在职业生涯末期，他养成了一个习惯：每逢星期一早晨，他先在楼梯顶上坐下，然后用臀部一级一级溜向楼下的早餐桌。

难怪贝蒂斯在星期一的早上无法步行下楼。有时候疼痛如此剧烈，他甚至觉得自己没法参加下一场比赛了。但是，只要星期天踏上赛场的草皮，他就不会后退。贝蒂斯说：“当你步入赛场时，这就完全不是问题。做你该做的，尽一切可能。”

忍痛和止痛是大多数高水平竞技的核心问题，例如赛跑和跳跃项目。为何一些人比其他人更能容忍疼痛？这是蒙特利尔市麦吉尔大学疼痛遗传学实验室的一项研究课题。在实验室的一个房间中，装着小鼠的透明容器从地面一直堆到天花板。研究人员想研究影响小鼠（和人类）感受疼痛的基因，以及缓解疼痛的办法。

其中一个容器里的小鼠缺失催产素受体，这些小鼠被用于疼痛研究。它们还带有社会认知缺陷：将它们与一同长大的小鼠放在一起，它们也不能加以辨认。另一个角落里的一缸黑毛小鼠则培育为容易偏头痛。它们长时间地抓挠前额并且发抖，还用头疼这种老借口来回避交配。实验室负责人杰弗里·莫吉尔（Jeffrey Mogil）说，他们希望开发解决偏头痛的疗法，但“这一实验已经持续数年了，因为小鼠的繁殖情况真的非常、非常糟糕”。

在另一个容器中，小鼠的黑色素皮质素受体 1（简称 *MC1R*）丧失了功能。简单来看就是，它们具有红色毛发。这一基因突变也是大多数“红发人群”拥有姜黄色卷发的原因。莫吉尔发现，携带“红发突变”的人与啮齿类动物对某种类型的疼痛都有着更高的耐受性，而且对止痛吗啡的需求较低。

MC1R 基因是首批被鉴定出影响人类疼痛感受的基因之一。另一个基因是科学家们从一位 10 岁巴基斯坦街头表演者的夸张天赋中发现的。巴基斯坦拉合尔市的医务人员对这个男孩很熟悉。他会用刀子刺入自己的手臂，在烧红的炭上站立。表演后，男孩会来医院缝针，但医生从来不用给他采取止痛措施——男孩感觉不到疼痛。

原来男孩携带了非常罕见的 *SCN9A* 基因突变。这一突变会阻碍痛觉信号从神经正常传递到大脑。而 *SCN9A* 基因的另一种突变会让携带者对于热量引发的疼痛过于敏感，他们甚至不愿意穿鞋。2010 年，英国、美国、芬兰和荷兰遗传学家组成的研究团队发现，*SCN9A* 基因一种更常见的变异会影响成人对常见疼痛的敏感程度，例如腰椎间盘突出。人与人之间的基因差异似乎让我们每个人都无法确切知晓其他人的身体疼痛。

目前，人们研究最多的是 *COMT* 基因，它对痛觉有调节作用，参与大脑神经递质（包括多巴胺）的代谢。*COMT* 基因的两种常见变体版本称为 Val 和 Met，取决于该基因 DNA 序列编码的是缬氨酸（简称 Val）还是甲硫氨酸（简称 Met）。

无论是小鼠还是人类，Met 版本清除多巴胺的效率都比较低，导致前额叶中多巴胺的浓度较高。认知测试和大

脑成像研究发现，具有两个 Met 拷贝（记为 Met/Met）的受试者（无论是动物还是人类）在认知测试和记忆任务中的表现更佳，而且需要的代谢消耗较小。但他们更容易焦虑，对疼痛也更为敏感。“焦虑”或“灾难化思维”都是个体疼痛敏感度的有力预测指标。

相反，Val/Val 携带者在快速心智灵活性的认知测试中表现较差，但他们能更快从压力和疼痛中复原。他们从利他林（一种能够增加前额叶中多巴胺的药物）得到的治疗效果也更好。此外，*COMT* 还参与了去甲肾上腺素的代谢，去甲肾上腺素会对压力作出响应，释放后具有保护作用。

美国国立卫生研究院（NIH）酒精滥用与酒精中毒研究所的神经遗传学实验室负责人大卫·戈尔德曼（David Goldman）创造了“战斗者/忧虑者基因”一词，以此描述 *COMT* 基因的两种变体的表现区别。两种变体版本在全世界都很常见。戈尔德曼说，在美国有 16% 的人为 Met/Met，48% 为 Met/Val，36% 为 Val/Val。在他看来，每个社会都既需要“战斗者”，也需要“忧虑者”，因此两种基因型都得到了广泛保留。戈尔德曼说：“我们没进行过具体研究。但我预测，如果在一大群 NFL 锋线球员之中采样，那么他们更可能携带 Val 基因型，因为他们每天都身处战场，迎接伤痛。他们必须具备超强的‘恢复力’和坚韧性。”

平心而论，*COMT* 基因的研究通常都极富争议，对于这一基因与痛觉敏感度的关联性，痛觉研究者一直争论不休。但大家都同意一个观点：参与情绪调节的基因可能会改变痛觉的敏感度。说到底，吗啡并不会大幅降低疼痛的敏感度，而是降低了痛觉引起的情绪不适。

戈尔德曼说：“痛觉回路与情绪回路的共享性非常强烈。许多其他神经递质也是如此。当你调节情绪时，同时也在大幅调节着痛觉响应机制，而运动恰恰是有效的‘调节剂’。”



本文节选自大卫·爱泼斯坦的《运动基因》。在体育运动中，“先天与后天”的争论由来已久。本书作者经过多年调查，采访了大量科学家、运动员和冠军选手，最终基于现代遗传学的研究成果，从基因的角度对这个问题进行了全面而深入的讨论，重新审视了人们对于天赋和努力的认知。



扫描二维码，可直接购买

谢诺夫斯基： 人工智能的下一阶段

30 多年前，特伦斯·谢诺夫斯基的发明让神经网络走向舞台中心，奠定了人工智能的发展方向；现在，这位已经功成名就的“深度学习先驱”正在向自然界学习，思索如何让人工智能走向下一个阶段。

本刊记者 吴非

20 世纪 80 年代，距离人工智能概念的提出已经过去 30 年。这一时期，该领域的主流学者正在“符号主义”的指导下苦苦挣扎。他们试图通过编程来实现人工智能，但收效甚微，始终无法解决计算机视觉、语音合成等实际问题。显然，人工智能一直没有找到正确的发展方向。

这时，两位初出茅庐的年轻人——特伦斯·谢诺夫斯基 (Terrence Sejnowski) 和杰弗里·欣顿 (Geoffrey Hinton) ——意识到，当前的思路不会带来真正的突破。他们从大脑的运作方式上获得启发，开始构建神经网络，让人工智能自我学习。

很快，他们的大胆尝试得到了回报。他们发明了一种随机生成神经网络——玻尔兹曼机，并且证明人工智能可以用于解决实际问题。这些突破奠定了人工智能的发展方向，也让神经网络从舞台边缘走向中央。

现在，谢诺夫斯基这位当初挑战权威的年轻人，已经成为全球声名显赫的人工智能科学家。身为美国科学院、美国工程院、美国艺术与科学学院、美国国家发明学院的“四院院士”，被称作“深度学习先驱”的谢诺夫斯基依然走在探索人类智能的最前沿，并作为顾问委员会成员参与了美国大脑计划的方向制定。

当这样一位年过古稀、功成名就的科学家坐在记者面前时，谢诺夫斯基依然以高涨的热情，生动而富有激情地讲述了他亲历的深度学习早期发展历程，以及对人工智能现状与未来的思索。

“人工智能与人合作，才是更有效的方式”

《环球科学》：上世纪 70 年代，当你涉足人工智能领域时，学界的主流思想是符号主义，试图通过编程来实现人工智能。在这种情况下，你和欣顿为什么会坚持研究在

当时无人问津的神经网络？

谢诺夫斯基：对于计算机科学家来说，符号主义是很自然的想法。因为计算机的运算是二进制的，它的逻辑是非 0 即 1。

而我们没有选择这条路线，是基于两方面的直觉。首先，复杂的现实世界不是“非黑即白”的，存在很多维度。而用二进制的逻辑描述世界，显然太过单薄，往往会得到错误的结果。

更重要的原因，来自我们对大脑的观察。从对大脑的研究中，我们得到了启发。我们意识到，大脑与计算机的运作方式截然不同：大脑中有大量并行的信息处理，无论是整合信息，还是进行决策，都是基于数据统计产生的可能性，而不是非黑即白的。

因此，直觉告诉我们：我们要寻找的人工智能架构，应该能体现出大脑的上述特征。为此，我们从最简单的结构入手。我们最初研究神经网络的目的，只是想探索这样一个问题：利用与大脑类似的构造，计算机可以完成什么任务。于是，作为先驱者，我们开始为人工智能探索新的发展方向。

当时，距离人工智能概念的出现已经过去 30 年，人们都在符号主义的框架中开展研究，进展很不尽人意。我很清楚，这些科学家大大低估了问题的难度。我和欣顿意识到，我们需要的可扩展构造必须是并行的。如果在某个时刻只能处理一条指令，那么它的效率一定会成为瓶颈。而如果要做大量并行计算，需要数千亿个神经元，这就是人类大脑中的情形。

当时人工智能领域的权威包括麻省理工学院的马文·明斯基 (Marvin Minsky)、斯坦福大学的约翰·麦卡锡 (John McCarthy)，还有卡内基梅隆大学的科学家。他

图片来源：索尔克生物研究所



如今，谢诺夫斯基依然走在探索人工智能的最前沿。

们拥有一切资源，有全部的经费、最优秀的学生，他们具备了一切，唯独缺少正确的想法。当时我们还很年轻，但我们知道，我们走在正确的方向上。

《环球科学》：上世纪 80 年代，你们对神经网络算法的构建工作开始显出成效。其他研究者从什么时候开始意识到，神经网络可能是解决问题更有效的途径？

谢诺夫斯基：在我看来，我们上世纪 80 年代所做的工作，更多是一种原理验证。我们证明了，为多层神经网络创建学习逻辑是可行的，而在此之前，大家认为这是不可能实现的。这是非常重要的进展。当时计算机的运算能力还不足以解决真实世界的问题，所以我们当时的论证，只是使用很小的数据库，做一些类似玩具的演示。

但一个例外是语音合成：输入字符串，输出语音。我们在 1986 年实现了这个功能，这也是神经网络学习的首个实际应用。在英语中，语音合成是个很难的问题。意外的是，我们构建的神经网络只包含几百个单元，但已经能做得很好了。这些词汇属于符号，但他们（当时的主流人

工智能学者）用符号主义却无法解决任何语言领域的问题。

这个网络的优美之处在于，它提取的是词语间的语义学信息。有些词汇的含义很丰富，这是我们交流的基础。我们将词汇视作底层，它们与其他词汇的关系，携带了特定的含义。这可能是新旧人工智能系统最大的区别：我们创建的新系统，是基于非常复杂的深度学习网络中的高维结构。

《环球科学》：在那之后，一些研究者开始将研究方向转变为神经网络？

谢诺夫斯基：是的，但最大的转折点是在 2012 年，欣顿和他的两个研究生在李飞飞创建的 ImageNet 图像识别比赛中，运用深度学习大幅提升了图像识别的准确率。这是一次巨大的飞跃，相当于把计算机视觉研究加快了 20 年。这是通过机器学习实现的，而不是编程。两者处于不同的框架之中，有着完全不同的思考方式。

计算机科学家总是通过编程来解决问题：写出一段代码，这样就得到一个算法。但问题是，在面对计算机视觉

或语言等复杂问题时，这种非黑即白的逻辑非常脆弱。

但学习可以带来额外的奖励。奖励是什么？如果你有数据，你不需要自己理解它，因为神经网络帮你解决了，它自己会按照人类的方式学习。正如你掌握了汉语，但你却不知道你是如何学会这门语言的。

这正是我们的意图。学习是人工智能缺失的一块，这种能力很难被装进简单的程序框架，但却很容易放进神经网络中，这也是自然的处理方式。自然界用了数亿年演化出非常高效的策略来解决问题，而我们可以从中受益。每

从对大脑的研究中，我们得到了启发。我们意识到，大脑与计算机的运作方式截然不同：大脑中有大量并行的信息处理，无论是整合信息，还是进行决策，都是基于数据统计产生的可能性，而不是非黑即白的。

个物种都能解决不同的问题，我们需要理解这样的机制。因此可以说，神经科学的研究开启了全新的方向。

《环球科学》：现在，人工智能开始在多个领域发挥作用，例如一些人工智能系统诊断特定疾病的准确率，可能比人类专家更高。所以，我想问一个老生常谈的问题：你认为，人工智能会在某些领域取代人类吗？

谢诺夫斯基：我认为人工智能与人类不是取代与被取代的关系。所有证据都表明，人工智能将成为人类的同伴。例如，有着丰富经验的医生，可以从数据中挖掘出更复杂、更深层次的信息。而人工智能的能力范围很窄，只能直接获取数据中的表层信息。在我最近的新书《深度学习：智能时代的核心驱动力》中，我举了这样一个例子：用深度学习网络诊断皮肤疾病。

对于皮肤科医生来说，诊断皮肤病是极具挑战性的任务，因为皮肤病很复杂，包含了 2000 多种不同的类型。人工智能的表现如何呢？在一篇发表于《自然》的论文中，研究人员用包含了 2000 种皮肤病的 14 万张图像，对深度学习网络进行训练。经过训练的人工智能系统的诊断准确率达到 92%，与经过专业训练的医生持平。这个案例告诉我们，通过海量的数据，我们可以训练人工智能，用于解决很复杂的问题。但是，无论是人工智能还是人类，正确率都停留在 92%。可以做得更好吗？

于是，研究人员做了另一项试验：让一组医生使用先前的的人工智能系统协助诊断，这时准确率提升到了 98%。

《环球科学》：所以，人工智能可以用作医生的工具。

谢诺夫斯基：完全正确，这时诊断的错误率从 8% 降至 2%，这是巨大的进步。人工智能可以带来相对独立的信息，这些信息与医生的经验结合，能够提升整体表现。我认为这将是未来的图景：医生不会被取代，他们可以在人工智能的协助下做得更好。人们喜欢非黑即白的思考方式，但实际上，合作才是更有效的解决问题的方式。

“人工智能将在脑科学中扮演重要角色”

《环球科学》：我们知道，你是美国脑计划顾问委员会的一员，可以谈一下你在美国脑计划中的工作情况吗？

谢诺夫斯基：美国脑计划始于 2013 年，由奥巴马政府发起。这个计划要解决的重要问题之一，是寻找能够有效记录大脑活动的工具。我们的大脑经过数亿年的演化，形成了拥有上千亿个神经元、千万亿个神经连接的复杂结构。根据传统的手段，微电极一次只能记录少量（例如几百个）神经元的活动，但我们需要了解的对象有上千亿个。

作为顾问委员会成员之一，我和其他专家讨论了脑计划的 7 个主要目标。其中之一，就是寻找能够同时记录大量神经元活动的手段。现在，10 年时间已经过了一半，我们已经能够运用光学技术和微电极阵列，一次性监测数万个神经元活动。为了解大脑的工作方式提供了全局的视角。在这些技术的帮助之下，我们可以更好地理解神经元如何相互作用、信息如何传递。

为了把小规模监测得到的数据拓展到更大的脑区，深度学习需要参与其中。利用人类已有的数据训练人工智能，人工智能可以大幅增加我们构建的大脑模型中的神经元数量。现在，我们可以重建出包含数十亿个突触、厘米尺度的皮层区域。因此，我们看到了有趣的一幕：我们的大脑创造了人工智能，人工智能反过来又帮助我们理解大脑。因此，生物学与算法最终汇聚在一起，相互学习，实现共同的目标。

《环球科学》：一些学者的观点是，将大脑的完整结构

模拟出来，就能理解智能。你同意这样的观点吗？

谢诺夫斯基：实际上，这是个很有趣的问题。1968年，悉尼·布伦纳（Sydney Brenner）就已经重建了包含300个神经元的涡虫的脑。但这不足以告诉我们，大脑是如何工作的。大脑的神经元结构就像是线路图，但在此基础上，你必须掌握它的信号传递方式，需要记录神经元活动，了解突触是处于兴奋还是抑制状态。现在，我们能够在提取出“线路图”的同时，记录其中的神经元活动。两者都很重要，现在我们已经两者兼具了。

《环球科学》：除了美国的脑计划，欧盟的人脑计划开展了6年，但遇到了一些障碍。可以说下你对这个项目的看法吗？

谢诺夫斯基：我也是欧盟的人类脑计划的科学顾问，因此我知道这个项目的确遇到了麻烦。欧盟的人脑计划更像是一个计算机科学项目，而不是脑科学。这个项目的大量经费并非用于开展脑科学试验，而是用于建造数据库。计算机科学家正在设计大型的计算系统，其中的芯片拥有大量类似神经元的处理单元。显然，这样的研究具有重要价值，所以我相信欧盟的项目在计算机方面将收获有意义的结果。

美国的脑计划已经非常成功了，它选择了不同的研究方向：开发用于研究大脑的工具与技术。因此可以说，这两个计划是互补的：美国的项目获取数据后，欧盟人脑计划可以进行数据分析。

《环球科学》：因此，这些不同的项目聚焦的方向不同，但都将在脑科学这个问题上发挥作用。

谢诺夫斯基：没错，要理解大脑这样复杂的结构，我们需要从多个不同的方向切入。因此我们看到，每个国家的研究方向都有所差异。包括中国，尽管中国的脑科学计划还没有官方宣布，但基本可以确定的是，中国将重点研究灵长类的脑科学，而人工智能将在这类研究中扮演重要角色。这也是区别于美国、欧盟脑计划的一点。

“深度学习的下一阶段，将是多个网络共同协作”

《环球科学》：你如何看待人工智能的未来发展？在你看来，人工智能的下一阶段是什么？

谢诺夫斯基：对未来进行预测是很困难的，因为未来总是复杂、充满未知。人工智能的前30年缺乏坚实的基础，只有很脆弱的符号。当时的学者不知道自己在做什么，没

有正确的工具、正确的数学。

我认为，“坚实的基础”指的是与人的交互，能与人类交流。这可以通过词汇和图像来实现。我想，深度学习已经为我们提供了这样的基础，在现实世界与计算机之间成功建立起联系。所以现在，我们可以在这样的基础之上开展研究。

幸运的是，这样的基础是建立在成熟的数学、物理、工程、生物学之上。我们享受着来自数学、物理的所有工具的好处，这将帮助我们建立更加复杂的算法。现在我们面对的是一个非常年轻的领域：深度学习只有不到10年的历史，还需要数十年才能走向成熟。我们有一个很好的起步，但必须缓慢地前进。从原理验证到可靠的实际应用，总是要花费数十年。在此期间，我们需要非常谨慎，因为在创建新事物的过程中，可能会有意料之外的结果。所以我们需要等待，确保这些进展对人类是安全的。

《环球科学》：对于通用人工智能，你是如何看待的？明斯基曾认为，通过神经网络，无法实现通用人工智能，你认同这样的观点吗？

谢诺夫斯基：首先，在我看来，没有人可以真正定义什么才是通用人工智能。它可以代表很多不同的事物。我认为真正困难的问题在于，自然界已经为我们创造出这样高级的智能，而我们将如何去再现？

要模拟一个类似大脑皮层的系统，需要数十万个深度学习网络。数量如此庞大的网络之间，是如何实现信息交流的？如果不同神经网络的决定不一致，那么系统将如何进行最终的决策？这些信息又是如何整合的？这就是系统问题。

对于这样的问题，自然界早已经有了解决方案，而我们很快也将找到答案。这是深度学习在下一个阶段将要面临的问题：现在，我们可以用单一的网络解决一个问题，而深度学习的下一个阶段，将是多个网络能够共同协作，同时解决大量的问题。为此，你需要整合不同的网络，而这正是我在研究的问题。

以生物为例，人为什么要睡觉？现在我们知道，在睡眠期间，你可以将新获取的信息与已有的信息整合。这被称作信息巩固，是众多物种都具备的行为。

所以，所谓通用人工智能并不是我们的直接目标。如果我们解决了系统整合问题，将对智能产生更深刻的见解。重要的是，如何用已有的信息来实现目标，如何在解决问题时具有创造性。我相信，这样的目标终将实现。■



药物比心脏手术更实用？

对某些最常见的心脏问题来说，药物是替代手术的可靠方案。

撰文 克劳迪娅·沃利斯 (Claudia Wallis) 翻译 贾明月

现代的心脏手术近乎神迹。破损的主动脉瓣可以用介入导管替换，这个操作甚至不用开胸。光是想想，就觉得自己在欣赏21世纪医学中的一种奇迹。但是，近期的两项标志性研究却提示，我们对心脏手术的需求可能过头了，在治疗一些常见的心脏问题时，药物往往就能解决问题。

这是备受瞩目的ISCHEMIA（国际药物与介入方法健康效用比较研究项目）得出的结论，相关结果发表于2019年11月的美国心脏学会会议。这项研究纳入了5179名因冠状动脉狭窄导致中至重度缺血的患者，他们流入心脏的血液明显不足。ISCHEMIA的所有受试者都得到了各自所需的药物：他汀类药物，有时合并降胆固醇药物；阿司匹林，或其他稀释血液的药物；另外，还有降血压和心率的药物。此外，项目还会对受试者的饮食、运动和放松技巧给予一定的指导。在这个基础上，研究人员随机挑选了一半的受试者，让他们接受支架（撑开狭窄血管的装置）手术治疗，如果无法使用

支架则改为搭桥手术。

尽管这两种手术都是在治疗血管堵塞时的常用手术。但在持续3年的观察后，研究人员发现，与单纯使用药物治疗相比，这两种手术在减少心脏病发作次数，因心力衰竭或胸痛入院次数，或减少心源性死亡等方面，并没有优势。过去的研究也有类似的结论，但这次的试验规模更大、设计更优，还纳入了心血管疾病病情更重的病例（此前，学界认为这类患者更能从介入性治疗中获益）。

不过，药物有这样的表现也有一定的原因。朱迪斯·哈克曼 (Judith Hochman) 是纽约大学朗格尼健康中心 (Langone Health) 临床科学的高级副院长，同时也是这项研究的负责人。她表示：“当一个人冠状动脉狭窄时，并不是只有看到的地方才狭窄，而是整个动脉都狭窄。支架智能解决局部的问题，而药物对整个动脉都有效。”

在减少胸痛（心绞痛）方面，手术的表现确实胜过药物。对于每天或每周都会发作心绞痛的患者而言，有五分之一在接受药物治疗后一年中不再发作，而有二分之一在接受介入治疗后不再发作。这表示，心绞痛易感人群可能更适合手术治疗。另外，对于心脏病发作患者、不稳定型心绞痛患者和左主干冠状动脉狭窄患者（这些都是本次试验未纳入的高风险群体）而言，支架和搭桥手术依然是主要疗法。

还有一项被称为CABANA的研究，比较了药物和介入程度更深的疗法。他们也得到了类似的结果。这项研究的结果发表于2019年3月，主要研究治疗房颤（指心脏快速不规则跳动）的两种方法。在美国，65岁以下成年人中有2%存在这个问题，65岁以上人群中的比例为9%。这项研究纳入的2204名患者除了接受药物治疗，还有一部分随机选择的受试者会接受射频消融术（通过高温或低温分离或破坏导致心律失常的心脏组织）治疗。这项研究同样发现，在死亡率，致残性的中风、严重出血或心跳骤停发生率等方面，两组患者并无显著差异。不过，疗法还是存在症状方面的差异：接受手术治疗的患者房颤复发的可能性较低，生活质量也更高。道格拉斯·帕克 (Douglas Packer) 是梅奥诊所心脏病学家，同时也是这项研究的负责人。他表示，在某些指标上，对于65岁以下人群和心力衰竭患者，消融术表现优于药物。

这些研究有助于将更多决策权交给患者。人们不必因担心死亡风险而急于接受手术，可以更从容地权衡利弊。布莱根妇女医院的心血管医学专科医师斯蒂芬·威维奥特 (Stephen Wiviott, 并未参与以上研究) 表示：“我认为这两个研究是双生子，它们相当讲求为患者赋权。”



插图：法蒂哈·拉莫斯 (Fátima Ramos)



昆虫浩劫

过量的光照正在杀死昆虫。

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪

在很多年前，我们就听过“向圣诞节开战”。这两千年以来，也一直有人传颂“温柔的人有福了，因为他们必将继承这片土地”。但是，有一件事我们还没怎么听说过：这几十年来，圣诞节一直在向一些温柔的生物开战。这里谈论的当然是装饰性的灯光和昆虫。

2019年11月，《生物保护》(Biological Conservation) 杂志发表了一篇题为《光污染是昆虫数量减少的原因之一》(Light Pollution Is a Driver of Insect Declines) 的文章。文中指出，各种户外灯光都会对昆虫造成致命的威胁。

文章提到，过去20年间全世界昆虫数量急剧减少，甚至已经引发了一场“昆虫浩劫”(insect apocalypse)。这场浩劫的元凶时常被归结为“栖息地丧失、化学污染(特别是杀虫剂的使用)、入侵物种和气候变化”。但几位作者认为，此前的讨论并没有将光照的因素考虑进去。他们说这是一种“白昼偏见”(diurnal bias)。

有这样一则著名的寓言，讲述了一个喝醉的男人在路灯下寻找自己丢失的钱包，因为那里看得最清楚。生态学家可能也会“更倾向于研究白天发生的事”，这就是所谓的白昼

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。



偏见。毕竟，要是你，你会在什么时候数虫子？是在吃下一顿丰盛的早餐之后，还是在早餐前4小时，当你眼神朦胧，伸手不见五指的时候？

因此，论文的研究人员指出，人类倾向在夜间睡觉的现象，“使昆虫保护者忽略了一个广泛存在，却对昆虫的栖息地存在干扰的污染源。当然，他们也忽略了一种控制昆虫的方法：夜间人工照明 (artificial light at night, ALAN)。”

ALAN可以通过“干扰不同昆虫物种的发育、运动、觅食和繁殖成功率”产生恶劣的影响。另外，还有一个因素也值得考虑，光照会影响“食虫动物的捕食行为”。换句话说，鸟类、蝙蝠、两栖类和蛛形纲的生物并不愚蠢，如果夜里有大量昆虫在光源附近盘旋，那么这些猎食者也会随之而来。结果显而易见，那些六足生物会沦为了一场丰盛的大餐，部分泛甲壳动物的数量也会因此锐减。

让人难过的是，ALAN一般会在感恩节后急剧上升。因为此时很多家庭都会陆续在自己的屋子外布置装饰性的灯光，从而迎接圣诞节的到来。即便当你读到这篇文章时可能已经是2020年的春天，但是依然有一些照明设备顽固地挂在美国人的屋子上，超额地消耗着电网中的电力。

在美国，许多社区都会有这么一座特殊的房子(我所在的社区也不例外)，它用夸张的方式渲染节日气氛，发出的炫目光芒或许连其他星系的猎食者都能看见。关于这一点你可以上网搜索“格里斯沃尔德电表”(Griswold electricity meters)。由此，这场昆虫大屠杀又出现了另一个帮凶，那些在房子外面缓慢行驶的轿车，它们会不断喷出有毒的气体。毕竟，车主们都很想多看一眼这座非常吸引眼球的房子。

几位作者写道，眼下的任务是“在提供能够维持人们安全和娱乐所需照明的前提下，减少ALAN对昆虫的生态学影响”。幸运的是，他们的研究已经为这场虫子的生存危机提供了一些方案。

第一种方案两全其美：“我们可以改造单色LED灯，使它发出包含任何光谱成分的光线。这样，一旦知道昆虫喜好的波长，我们就可以调节光线，把最影响昆虫健康的波长减到最低。”

第二种方案尤其巧妙：多关掉几盏灯。这使人不禁怀疑，当这几位科学家想到关灯的主意时，他们的头顶是不是不合时宜地亮起了一盏灵感之灯。他们这样写道：“在许多时候，比起寻找特定的灯泡类型，或是使用滤波器使灯光只能被人类看见，单纯地遮蔽、调低或是关闭光源，要简单、快速和便宜得多。”

AR 时代要来了？

数字世界和现实之间的界限正变得越来越模糊。

撰文 韦德·劳什 (Wade Roush) 翻译 赵剑琳

从各项技术的名字中，我们经常可以看出开发者的雄心壮志。例如汽车的名字——Automobiles，意为汽车是能自动行驶的交通工具。汽车让人类摆脱了马车，但目前还无法进行可靠的自动驾驶。“远程呈现”技术(telepresence)从未实现像名字一样的远程呈现效果，智能手机也往往并不智能。增强现实(Augmented reality, AR)的名称在上世纪90年代就已经出现，它同样也是被寄予厚望的技术之一。增强现实是一种以屏幕为介质的体验，它能在周围真实的环境中添加信息，而不会像虚拟现实(VR)一样替换掉真实的环境。但这项技术很难实现。

首先，AR呈现出的事物需要看起来真实，能与周围的环境很好地融合，也就是需要“本地化”。设计者需要工具来构建各种事物，而用户需要通过设备观看和进行人机交互。并且，这项技术还需要保证不会与真实世界隔绝。不过，科技创新者已经将这些问题一个接一个地解决了。所有人都能用AR进行工作、学习和娱乐的时代，似乎已经近在眼前。

2016年，微软推出了一种独立运行的头戴式AR显示设备HoloLens。去年11月，微软开始以每套3500美元的价格，向商业用户销售改进版本的HoloLens。现在，消费者使用2300美元就能从拥有大量融资和媒体曝光率的初创公司Magic Leap买到类似的头戴设备。这两种设备都使用了一种波导结构的透明镜片来实现三维效果。最近，我试用了一款名为Magic Leap On的AR眼镜。在室内使用时，它可以产生明亮和立体的事物，例如栩栩如生的动物或机器人。这些物体能和周围的环境完美地融合在一起。不过目前，两种设备都存在视角较小的缺点：它们的视角大概只有50度，不到普通人视野的一半。也就是说，目前的AR技术只能让周围环境中很少一部分的现实得到“增强”。

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。



去年11月，旧金山的初创企业Ubiquity6发布了一款名为Display.land的应用。在智能手机上利用这款应用对拍摄的现实场景进行修饰和装饰，并制成的逼真三维模型分享给别人。Ubiquity6通过手机传感器数据和计算机视觉技术，能将这些模型以厘米级的精确度拼合到真实世界中。Ubiquity6的创立者兼首席执行官安贾尼·米达哈(Anjney Midha)表示，他将Display.land视为一个成熟版本的《我的世界》(Minecraft)等其他虚拟世界游戏。“这些虚拟世界的游戏创造的世界只有乐高风格的建筑，但一旦将写实风格的元素融入其中，作品就会变得更加‘成熟’，”米德哈说，“这会让成年人产生表达自我的意愿，进行沉浸式的创作。他们只是一直缺少一个简单易用的工具。”

与此同时，初创企业Sturfee凭借一项有助于解决室外“本地化”问题的技术崭露头角。这家公司通过卫星影像和计算机图形技术，识别智能手机摄像头指向的物体，并通过读取正确的三维结构图，将预先制作的AR内容锚定在物体表面。但是在这种技术投入实用之前，制造厂商还需要创作出超越游戏的、引人入胜的户外AR内容。

大量科技网站对苹果将推出的新手机议论纷纷。据传言，这款手机会在背面摄像头旁边配备三维距离传感器。这将能为AR开发者提供平台，有助于他们制作出更加强大的AR手机应用。这些网站还认为苹果正在研发AR眼镜，最快的发布时间可能是今年，但最晚不会迟于2023年。

消费者还能通过智能手机游戏获得AR体验，如由Niantic(一家日本游戏公司)开发的《宝可梦》和《哈利波特：巫师联盟》。这些游戏的体验将变得更具真实性和协作性，由于AR头戴设备的昂贵和笨重，它们更多将是基于手机的。“如果能让公司员工进行实时协作，我很愿意为支付2000美元来购买硬件设备，”米德哈说，“但是消费者暂时还是更愿意使用手机。”AR技术留给了我们大量的设想。■

消费者还能通过智能手机游戏获得AR体验，如由Niantic(一家日本游戏公司)开发的《宝可梦》和《哈利波特：巫师联盟》。这些游戏的体验将变得更具真实性和协作性，由于AR头戴设备的昂贵和笨重，它们更多将是基于手机的。“如果能让公司员工进行实时协作，我很愿意为支付2000美元来购买硬件设备，”米德哈说，“但是消费者暂时还是更愿意使用手机。”AR技术留给了我们大量的设想。■



插图：杰伊·本特 (Jay Bendit)

人造肉营养分析

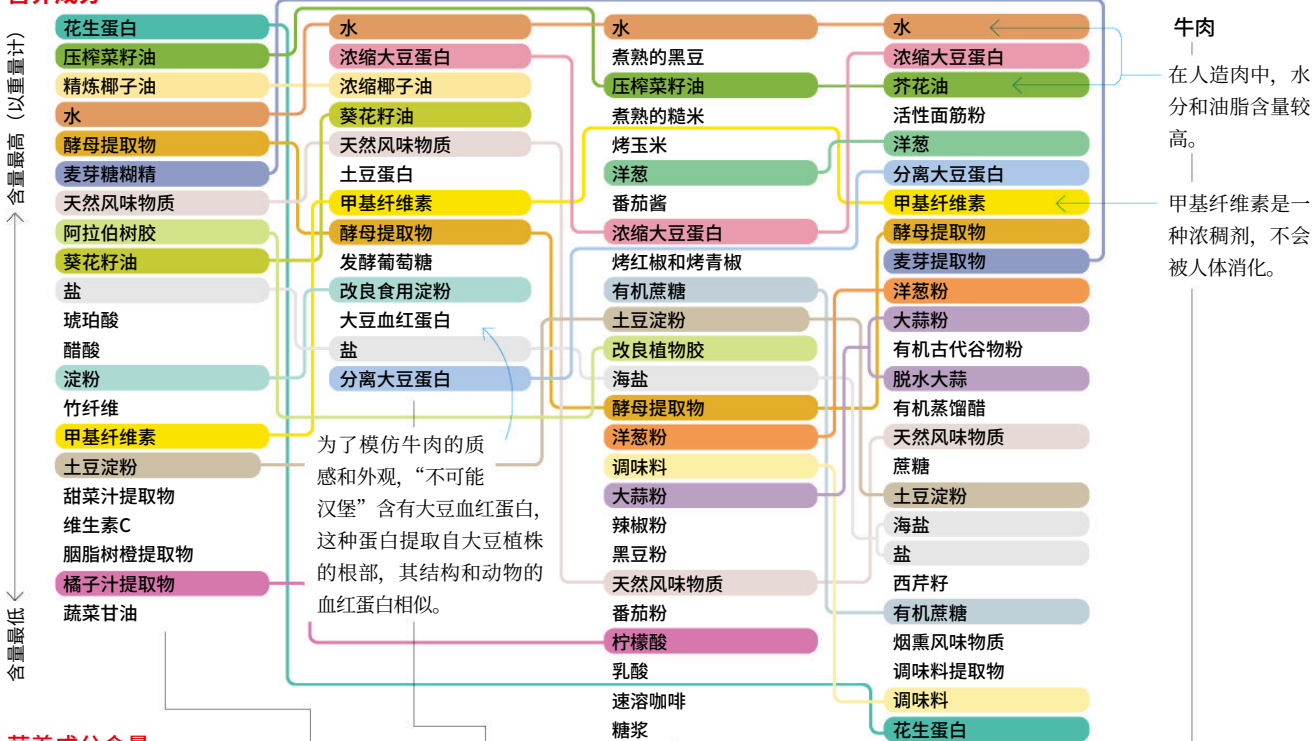
与普通的牛肉汉堡相比，人造肉汉堡的优势在哪里？

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti) 翻译 褚波

“不可能汉堡”、“超越汉堡”这样的人造肉产品正在迅速流行起来。但是，它们是怎样做出来的？在营养上，这些产品与真正的肉类、传统的蔬菜与豆类相比有优势吗？这里，我们比较了5个品牌的产品。“超越汉堡”的蛋白质来源于花生，“不可能汉堡”的蛋白质则来自大豆和土豆。人造肉中的脂肪是用食用油做成的。但是，生产商是如何让人造肉产生鲜味的，这是一个秘密。有些消费者选择人造肉产品是出于个人原因，或者想要更环保，以便减少牛肉的消耗量，还有些消费者本身就偏爱素食。但是，消费者的选择是不是“更健康”，这还需要讨论，来看看数据吧。

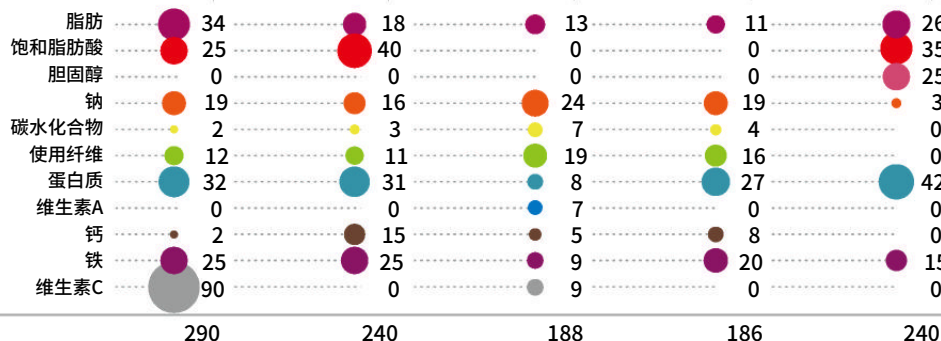


营养成分



营养成分含量

(相对于每日推荐摄入量的比例)



牛肉的胆固醇含量比“素牛肉”高，但是“素牛肉”汉堡中的钠含量要高一些。

所有的数值是按113克的汉堡计算的。

因为包装和生产流程的影响，汉堡的营养成分可能会有轻微变化。

经典回眸 50,100&150 YEARS AGO

见证世界科学的每一次进步 / 翻译: 红猪



1970年3月

月球激光反射器

1969年7月,“阿波罗”11号的宇航员在月球表面放置了一批三棱镜状的反射器。这使我们对月地距离的测量误差更小了,接近6英寸(约15厘米)。不过,更重要的数字不是地球和月球之间的绝对距离,而是在不同的月份和年份之间,月地距离的变化。通过对这个变化的研究,我们能够回答一些重要的科学问题。比如,月球内部的质量如何分布,地球板块移动(聚集或者分开)的速度,还有地球北极位置的变化(它会受到未知力量的作用而移动)。和这些相比,还有一个更基本的问题:所谓的引力常数是否真的是常数,它是否会随着时间的流逝缓慢变化?

这个说法并无根据,但它却唤起了公众对于一个重要问题的意识:如何与外星人交流。毕竟,与外星智慧生物交流思想的想法太吸引人了,人类无法让自己不去想象这一切。要持续唤起公众的热情,就得向他们保证,信号的交流可以很快发展为观念的交流,而且这些观念会涉及双方都感兴趣的一切问题。我们希望和外星人探讨科学和社会观念。如果他们拥有一个比我们古老得多的文明,我们还希望能向他们学习一些经验,帮助我们渡过难关。



1920年3月

呼叫火星

最近,有人提出火星正在尝试向我们发送无线电信号。



1870年3月

气动地铁

近日,比驰气动运输公司(Beach



1870年:比驰气动地铁,一项早期的运输试验。

**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

pneumatic Transit Company)第一次向公众敞开大门,举办了一次“地下百老汇宴会”,并给美国的州政府、城市官员和媒体人员发出了特别请帖。当地市里和州里的重要人物都有出席,他们在视察工程之后极为满意。几家日报都刊发了长文报道这次活动,这项活动也因此在国内引发了一阵轰动。《纽约先驱报》表示,“这简直就相当于美国第一条地下铁路的开通日”。

这次展示活动的设计者和实施者是阿尔弗雷德·艾利·比驰(Alfred Ely Beach),当时他也是《科学美国人》的编辑。■

《科学美国人》创刊175周年



1915年,美国费城的工人们正在空中安装电线,这些电缆将为市郊通勤的火车供电。



运送人的机器

每座城市几乎都有分布广泛的运输网络。它们不仅能将人与货物运进运出,还能在城市内部来回运输。每天如此,每小时如此。但是,还有一个动力方面的问题值得思考:这些实现运送的设备,自己是如何移动的?开通于1863年的伦敦地铁安装了燃烧煤炭的蒸汽引擎,它能在“管”状的隧道里拖行用煤气灯照亮的车厢。这套系统一定特别容易脏。美国旧金山的叮当车固定在街道凹槽中的线缆上,线缆由固定的引擎驱动。《科学美国人》早期的主编之一阿尔弗雷德·艾利·比驰还展示过用气压推动轨道车厢的想法(如图所示)。如今,也有一些在管道中高速行驶的创意,著名企业家埃隆·马斯克(Elon Musk)就提出了超级高铁(Hyperloop)。当铁路网络随着城市的扩张在地下、地上和城市上空延伸时,它们也和电网融为一体了,这可以创造出更加快速清洁的城市运输体系。现在(甚至可以预想的未来)这些网络每天都要运送上亿名乘客,提高它们的效率或许有助于缓解气候变化。

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



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

