

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  
2017年3月号 总第135期  
定价: ¥18



绿色印刷产品

## 运动悖论： 锻炼无关减肥？

运动可以增加能量消耗，这几乎成为常识，但一些科学家分析了全球不同人群的能量消耗情况后，却发现无论是在发达国家享受现代化便利生活，还是在发展中国家进行更多体力活动的人群，他们的能量消耗几乎相同。这或许可以解释，为什么减肥这么难。

特别报道

### 宇宙大爆炸不曾发生？

宇宙微波背景辐射的最新观测结果与看起来最简单、最合理的暴胀模型不相符。因此，有科学家提出，暴胀或许不曾发生，甚至宇宙也不是来自大爆炸。

港币: 30.00元 美元: 5元

ISSN 1673-5153



9 771673 515177

## 版权信息

---

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 **Publisher**

《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

副社长 / 副总编辑 **Deputy Editor-in-chief**

刘芳 Liu Fang

编辑中心 **EDITORIAL DEPARTMENT**

执行主编 Executive Editor

褚波 Wave Chu

首席记者 chief Reporter

刘洋 Liu Yang

资深编辑 Senior Editor

韩晶晶 Han Jingjing / 吴兰 Wu Lan / 罗凯 F. leocas

编辑 Editor

廖红艳 Glorious Liao / 丁家琦 Ding jiaqi / 吴非 wu Fei

审稿编辑 Reviewing Editor

禾苗 He Miao  
特约编辑 Contributing Editor  
徐寒易 Xu Hanyi / 韩冬 Han Dong  
特约记者 Contributing Reporter  
万宇 Wan Yu / 陈彬 Chen Bin / 吴好好 Wu Haohao

国际标准刊号：ISSN 1673-5153  
国内统一刊号：CN11-5480/N  
邮局订阅代号：80-498  
广告经营许可证号：京朝工商广字第8144号

版权说明：版权所有，《环球科学》杂志社保留所有权利。未经本社许可，不得为任何目的、以任何形式或手段复制、翻印、传播及以其他任何方式使用本刊的任何图文。

# 目录

## CONTENTS

### 前言

[专帮科研人找工作](#)

[2017年《环球科学》国际科学夏令营招募](#)

[第三届“亚洲生物医学未来领袖”大赛](#)

### 编者的话

[科学的转轮](#)

### 国际版本

[《科学美国人》国际版本速览](#)

### 研究

[【医学】人工智能检测皮肤癌，准确率可达](#)

[【物理学】合成金属氢](#)

[【物理学】量子纠缠的证据](#)

[【生命科学】首批人猪嵌合体](#)

[【神经科学】为什么被烫了会感到疼？](#)

[【工程学】无人机能代替昆虫传粉吗？](#)

[【化学】我国科学家首次合成全氮阴离子盐](#)

[【物理学】从热力学的角度研究学习](#)

[【演化生物学】大熊猫和小熊猫为何都爱吃竹子？](#)

### 年度评选

[2016最受关注十大学术公众号](#)

### 前沿

[【能源】油气开发诱发美国俄州地震群](#)

[【气候】几十年后，北极无冰？](#)

[【新技术】可穿戴设备让你边玩边学](#)

[【化学】编织分子扭结](#)

[【新技术】在血管中游动的微型机器人](#)

[【简讯】全球科技热点](#)

[【生物学】群体生活造就动物个性](#)

[【工程学】去南极种草莓](#)

[【采访实录】护林员的精神健康问题亟需关注](#)

### 深度

- [【封面故事】运动悖论：锻炼无关减肥？](#)
- [【宇宙学】宇宙大爆炸不曾发生？](#)
- [【计量学】用普朗克常数定义千克](#)
- [【生物学】无人机编队追踪病原体](#)
- [【神经科学】宇宙射线破坏神经元](#)
- [【医学】缺钙：影像医学危机](#)
- [【健康】多晒太阳，预防近视](#)
- [【心理学】羞耻是一剂心理良药](#)
- [【语言学】安蒂亚的口哨语](#)
- [【演化】猿类演化通史](#)
- [【对话】丘成桐：中国学术资助制度不完善](#)

## 专栏

- [【图表科学】双胞胎出生率越来越高](#)
- [【健康科学】胃反酸，治还是不治？](#)
- [【技术档案】Facebook没法根除假新闻](#)
- [【科学评论】特朗普与美国气候政策](#)
- [【反重力思考】细菌致病论与气候变化](#)
- [【怀疑论者】你无法想象虚无？](#)

## 活动

[遇见达尔文](#)

## 经典回眸

[经典回眸](#)

## 创新地标

[创新地标](#)

## 《环球科学》新媒体平台

---



官方微信：  
环球科学（[huanqiukexue](#)）  
讨论最热科学话题，推出“《自然》（*nature*）新闻·一周精选”栏目，还能收听最有趣的英文广播“科学60秒”。



新浪微博@[环球科学杂志社](#)



腾讯微博@[环球科学杂志社](#)



官方网站  
[www.huanqiukexue.com](http://www.huanqiukexue.com)



# 专帮科研人找工作



科研求职，就到科研圈招聘频道

[www.keyanquan.net/recruit](http://www.keyanquan.net/recruit)

携手数百家科研院校与机构，第一时间发布职位需求；高层次人才、博士后、教职、技术人员、企业岗位.....多职位全覆盖；地域、领域、行业等多级筛选，高效搜索。

高校、机构及企业发布科研岗位招聘，请联系： 010-85321181  [jobs@keyanquan.net](mailto:jobs@keyanquan.net)

# 2017年《环球科学》 国际科学夏令营招募

德国、美国，“科学梦想季”即将开启！



美国NASA

## NASA太空科技夏令营

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：2017年8月3日~8月16日  
地点：亨茨维尔、华盛顿、洛杉矶  
招生对象：12-17岁优秀初高中学生，对航空航天领域有浓厚兴趣

---



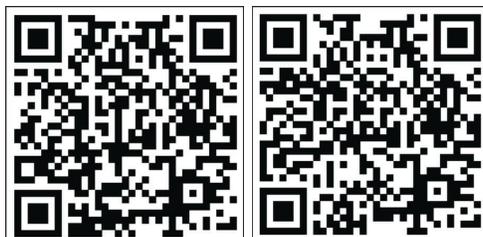
德国哥廷根大学

### 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10届。哥廷根大学曾诞生过45位诺奖得主，以纯正的诺贝尔式科学教育和实验化教学享誉全球。每年来自全球的上万青年聚集于此，接收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：2017年7月28日~8月14日  
地点：哥廷根、柏林、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

---



扫码了解更多详情

## 第三届 “亚洲生物医学未来领袖”大赛



利根川进  
1987年诺贝尔生理学或医学奖  
得主



山中伸弥  
2012年诺贝尔生理学或医学奖  
得主



屠呦呦  
2015年诺贝尔生理学或医学奖  
得主

继利根川进、山中伸弥、屠呦呦之后，谁将继续引领亚洲生物医学的发展？我们正在寻找亚洲最有雄心的青年英才！

联合主办：浙江大学、环球科学

参赛对象：初三至高三学生，对生物医学有浓厚兴趣（限个人参赛）

大赛奖励

一等奖：**3名**  
全额资助剑桥大学和爱丁堡大学的科学考察项目

二等奖：**5名**  
半额资助剑桥大学和爱丁堡大学的科学考察项目

优胜奖：**22名**  
大赛组委会为获奖选手出具中英文推荐信，为申请国外名校提供科研能

力证明

注：在同等条件下，所有进入决赛阶段的选手将被优先推荐到“浙江大学—爱丁堡大学联合生物医学专业”（3+1学制，3年浙江大学+1年爱丁堡大学学习，优秀学生将获浙江大学学士学位和爱丁堡大学硕士学位）。

报名入口：<http://bms.zju.edu.cn/bms-leader/>

报名时间：2016年1月10日-2016年3月31日

大赛热线：孔老师 010-57101895 高老师 0571-88981565

报名邮箱：[bms@huanqiukexue.com](mailto:bms@huanqiukexue.com)（环球科学杂志社） 或  
[bmszju@zju.edu.cn](mailto:bmszju@zju.edu.cn)（浙江大学基础医学院）



扫描二维码了解大赛详情



## 科学的转轮



想着中国科学家近几年取得的成绩，再看看身边这群朝气蓬勃、热爱科学的年轻学生，我似乎看见科学的转轮已在滚动，正朝着亚洲，朝着中国驶来。

鸡年春节，我和一群优秀的青年学生去了一趟英国，目的地是爱丁堡大学。

这群学生中，有些是本刊和浙江大学基础医学院举办的第二届“亚洲生物医学未来领袖大赛”的获奖者，有些是对生物医学有着浓厚兴趣的科学爱好者。而我，作为一名前理科生，则和他们一样，对爱丁堡大学满是仰慕之情。

爱丁堡是苏格兰首府，城市面积不大，仅有200多平方公里；人口也不多，只有50万人左右，不论是面积还是人口，都仅相当于中国的一个县城。但是，这座小城，却有着大多数城市无法比拟的文化底蕴。

在爱丁堡城区，几乎所有建筑都有数百年甚至上千年的历史，就连著名的王子街北面的“新城”，也已经经历了两三百年的风霜。而比这些装满历史故事的古老建筑更让人动容的是，铭刻在爱丁堡大学校史上的那一串名字：

自然学家达尔文、物理学家麦克斯韦、经济学家亚当·斯密、哲学家大卫·休谟、数学家托马斯·贝叶斯、发明家亚历山大·贝尔……他们曾在这里生活、学习，他们走过的那些鹅卵石街道，今天仍是爱丁堡交通网络的一部分。

如果把镜头拉得更远一些，来俯瞰17-19世纪英国的全貌，那么你会发现，那时的英伦大陆灿若星河。

在距离爱丁堡大学不到100公里的格拉斯哥大学，瓦特在这里学习、任教，他在18世纪70年代设计的新型蒸汽机，引发了第一次工业革命，带领人类社会进入机器时代。

距离爱丁堡大学500多公里的剑桥大学，则培养了牛顿这位人类历史上最出色的科学家之一，他的成就妇孺皆知；麦克斯韦在这里建立了卡文迪许实验室，这个实验室取得过的发现，也许需要一本厚厚的书来讲述：电子、中子、原子核的结构、DNA的双螺旋结构……

毫无疑问，当时的英国就是科学世界的中心，这里诞生的科学成就，改变了人类文明。走在爱丁堡、剑桥古老的街道上，想到曾在这里走过的科学巨匠们对人类社会的贡献，你无法不心血澎湃，无法不心生敬意，也让我我不禁回望科学的转轮在人类历史上留下的轨迹。

能与全盛时期的英国媲美的，要算19-20世纪上半叶的德国。当时，德国在体制上的两项创新，是德国科学腾飞的基础：一是教学与科研的结合，二是科学与产业的结合。这样的体制培养和吸引了大批优秀科学家，伦琴发现X射线；赫兹发现原子和电子碰撞的规律；爱因斯坦、普朗克、波恩、海森堡等人在量子理论的发展中做出了关键贡献；高斯、黎曼、克莱因、希尔伯特，是数学世界中最闪耀的星星。而我在前两年到访过的哥廷根大学，建校时间虽比爱丁堡大学晚150多年，但前者的校史上，同样星光熠熠——仅在20世纪的前50年，这所学校就走出了20多位诺贝尔奖得主。

第一次世界大战后，科学的转轮再次滚动，这次，它的目的地是美国。在过去100年里，美国诞生了太多重要的科学成果：曼哈顿计划、阿波罗计划、人类基因组计划；晶体管、计算机、互联网；机器人、飞机……迄今，共有300多位美国科学家获得诺贝尔奖，是诺奖得主人数最多的国家，超过排在第二位的英国200多位。

不过，从科学的发展史我们可以看出，在每一个历史时期，总有一些国家和地区会成为世界科学中心，引领世界科学技术发展的潮流，然后经过一段时间后，科学中心会转移到其他国家。中国，会成为科学中心的下一站吗？

中国培养的理工科博士的人数，在2010年就超过美国，论文发表数量也连续六七年排到世界第二位。在《环球科学》每年年底评选的“十大科学新闻”中，来自中国的科研进展也越来越多。

想着中国科学家近几年取得的成绩，再看看身边这群朝气蓬勃、热爱科学的年轻学生，我似乎看见科学的转轮已在滚动，正朝着亚洲，朝着中国驶来。

执行主编 

德国版

1

磁场扭曲真空



欧洲南方天文台（ESO）首次通过实验证实，强磁场会影响光的传播。科学家使用“甚大望远镜”（Very Large Telescope）观测离地球最近的中子星（RXJ1856.5-3754），并在它周围发现了一种量子效应。19世纪30年代科学家曾预言这种量子效应存在，但此前从未有人测量到。量子力学的不确定性原理要求，真空不能保持不变，也就是必须处于片刻不停的涨落中，不停地产生虚粒子对又瞬间湮灭。在中子星强磁场的作用下，真空会表现得像双折射晶体一样，使得光的偏振性质在传播过程中产生改变——这个效应被称为真空双折射。研究人员曾在地球上尝试该实验，但人造磁场太弱，不足以观察到真空双折射的存在。而ESO的科学家发现，在上述中子星实验中，偏振光含量达到了16%。科学家还排除了光在颗粒上散射导致产生偏振光的可能，确认这一现象确实是由

真空双折射产生的。(译/陈禾)

日本版

2

测量反氢原子光谱



2016年12月19日，在欧洲核子研究中心（CERN）开展实验的国际合作研究组宣布，他们首次测量到了反氢原子的光谱信息。反氢原子由一个带负电荷的负原子核和一个带正电荷的正电子构成，极不稳定。研究人员制造并俘获了反氢原子，并用激光将其从基态1S态激发至2S态，测量得到了反氢原子从2S态自发返回1S态过程中的超高精度光谱信息。测量结果显示，除带电相反外，反氢原子在这一过程中的光谱学表现与普通氢原子完全一致，此结果与狭义相对论及标准模型的预言相符。这也是人类第一次测量到反物质的精确光谱信息，参与研究的东京大学石田明助理教授表示，这是“反物质研究领域里程碑式的工作”。（译/赵维杰）

法国版

3

无能量消耗的计算



摩尔定律表明，一定面积集成电路上可容纳的晶体管数量，每18个月翻一倍，性能也随之翻倍。但是芯片的散热问题阻碍了计算机的微型化，研究人员的关注点开始从计算能力的提高转移到能效上来。2011年，斯坦福大学的乔纳森·库梅（Jonathan Koomey）指出每隔18个月，相同计算量所需消耗的能量会减少一半。但库梅定律会一直有效吗？执行相同的计算量是否存在理论上的功耗下限？美国物理学家罗尔夫·兰道尔（Rolf Landauer）提出了兰道尔原理。他认为不可逆运算操作会消耗能量、释放热量并增加熵，即计算机存在理论上的功耗下限。加利福尼亚大学伯克利分校和美国劳伦斯国家实验室的研究人员使用纳米级磁存储器，测量了复位一个比特信息所消耗的最小能量，结果发现此过程消耗的最小能量确实符合兰道尔原理。有没有办法突破兰道尔极限，将

计算机的功耗进一步降低呢？一种方向是可逆计算。可逆的计算过程不会消耗能量。量子计算兴起之后，科学家发现量子系统演化的幺正性天然保证逻辑计算的可逆性。因此量子计算正成为可逆计算领域的研究热点。（译/孙荣奇）

4

意大利版

柔性机器人



柔性机器人是机器人领域新近崛起的一个分支。这种机器人身体柔韧，可以根据环境的要求，灵活地改变大小和体形。意大利可以说是柔性机器人研发方面的领头人。意大利圣安娜高等学校机器人实验室负责人塞西利亚·拉斯基（Cecilia Laschi）发起了“章鱼综合项目”（Octopus Integrating Project），联合欧洲、以色列等实验室致力于章鱼机器人的研究。2016年4月在意大利的Livorno举办了一场柔性机器人挑战大赛（RoboSoft Grand Challenge），来自韩国、英国、美国、沙特阿拉伯、德国、瑞士、意大利的队伍参加了角逐，纷纷亮出了自己的绝活。业内人士认为，柔性机器人技术已经趋于成熟，很快可以进入应用阶段。现在，许多国家都在跃跃欲试，推进柔性机器人的应用。（译/廖红艳）



# 全球学术期刊概览

## 医学

人工智能检测皮肤癌，准确率可达



皮肤癌是人类最常见的癌症之一。诊断这种疾病时，医生通常通过视觉观察来进行：首先是初始临床筛查，接着可能会开展进一步的皮肤镜分析、活体组织检查和病理学检查。皮肤癌诊断与治疗的及时与否对治疗结果影响很大，但很多人不会因为皮肤的一点异样就跑一趟医院，因此，如能开发出便捷的机器诊断方法来代替人工诊断，必能提高皮肤癌的筛查覆盖率。美国斯坦福大学的研究者利用如今时兴的卷积神经网络（convolutional neural network, CNN）技术，通过深度学习的方法，利用覆盖2000多种皮肤疾病的13万张皮肤病变图像，来训练机器识别皮肤癌症状。他们将机器诊断的结果与21名持有执照的皮肤科医生的诊断结果做了比较，发现人工智能对病变是良性还是恶性的诊断准确率可达

91%，与人类医生不相上下。研究者表示，这种基于深度神经网络的设备将来可以缩小到在移动设备上运行，让大家无需去医院也能准确、高效、廉价地进行皮肤癌筛查。

## 物理学

## 合成金属氢



SCIENCE, PUBLISHED ONLINE 26 JAN 2017

氢是最轻的元素，氢气是最轻的气体，要想将氢气压缩成液态和固态需要极大的压力。20世纪30年代，物理学家提出，在25GPa（即250亿帕斯卡，相当于25万个大气压）的高压下，氢气可以呈现出金属性质。自此，科学家一直在努力尝试制造金属氢。然而，事实证明，要让氢达到金属态所需的压强远远高于25GPa，而且对氢气进行高压处理又极为困难——它很轻，容易从容器中泄漏出去，同时化学活性又很强，易与其他材料发生化学反应。哈佛大学的研究者对用一对表面经过精心切割、刻蚀和镀膜的金金刚石砧来压缩氢，以最大程度地防止氢进入金刚石表面。最终在495GPa的极高压下，他们观察到氢的反射率出现了变化，这意味着分子氢的化学键被打开，形成了以氢原子为最小单位、周期排列的晶体氢——即金属氢。金属氢在高温超导和超高能量密度材料方面有着广阔的应用前景。

## 物理学

## 量子纠缠的证据

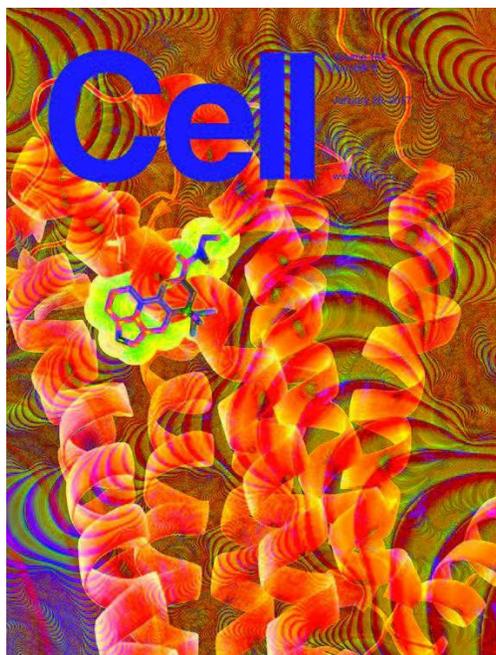


PHYS. REV. LETT. 118, 060401, 7 FEB 2017

在量子力学中，两个粒子可以保持一种特殊的连接状态，即量子纠缠：两个粒子的状态原本都未知，但只要测量其中一个粒子，就能瞬间知道另外一个粒子的状态，哪怕它们之间相隔遥远的距离。这种现象令包括爱因斯坦在内的一些物理学家感到惶恐不安，爱因斯坦认为量子力学是不完备的，测量结果其实受到了某种“隐变量”的预先决定，只是我们没能探测到它。为了检验量子现象究竟是由“隐变量”事先决定，还是在测量时才坍缩成最终结果，维也纳大学物理学家安东·蔡林格（Anton Zeilinger）利用来自宇宙的星光做了个实验：他们通过观察来自遥远恒星的光是红色还是蓝色来决定测量纠缠光子的何种特性，由于光的颜色在恒星发光的时候就已经确定了，不会在传播中发生改变，这就意味着如果隐变量想要影响它与纠缠光子对的相干性，就得在恒星发出这束光之前，也就是至少600年前就预先做好决定。这一实验以进一步的严格性，支持了量子力学理论，将隐变量理论等其他解释逼到死角。

## 生命科学

## 首批人猪嵌合体

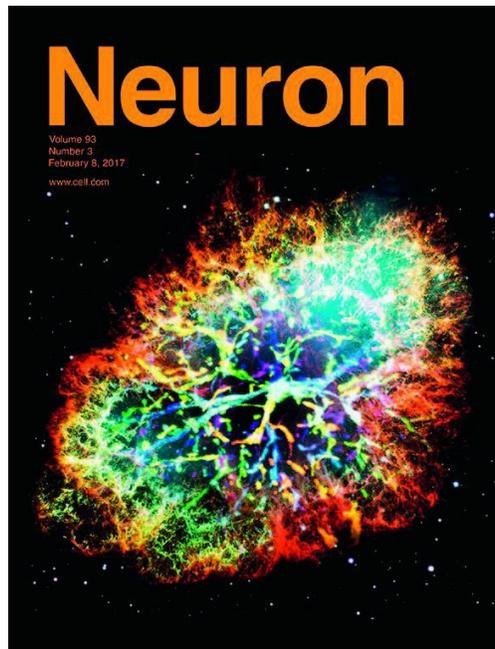


CELL 168, 3, 26 JAN 2017

全球有数十万人等待器官移植，但可供移植的器官却少之又少。科学家曾经设想过，在动物身上培育人体器官，但这种做法也遭受了巨大的争议。美国索尔克生物研究所的科学家利用基因编辑技术CRISPR-Cas9在小鼠受精卵中敲除了与心脏等器官发育相关的关键基因，然后注入大鼠的干细胞，成功分化出了大鼠心脏、眼睛、胰腺等器官。他们随后将人体成熟细胞还原成诱导多能干细胞（iPSC）并注入猪胚胎（并未应用CRISPR技术），植入代孕母猪体内。出于伦理考虑，他们只让胚胎发育了三到四周就将其取出，发现其中的人体诱导多能干细胞发育成了少数人类体细胞的前体细胞。虽然这样的胚胎距离最终产生可移植的器官还有很遥远的距离，但该研究表明，培养人猪嵌合体胚胎是完全可能的，这类研究可以模拟许多人类遗传疾病的早期发病过程，并实施药物测试，最终将带来可供移植的人类器官。

## 神经科学

## 为什么被烫了会感到疼？

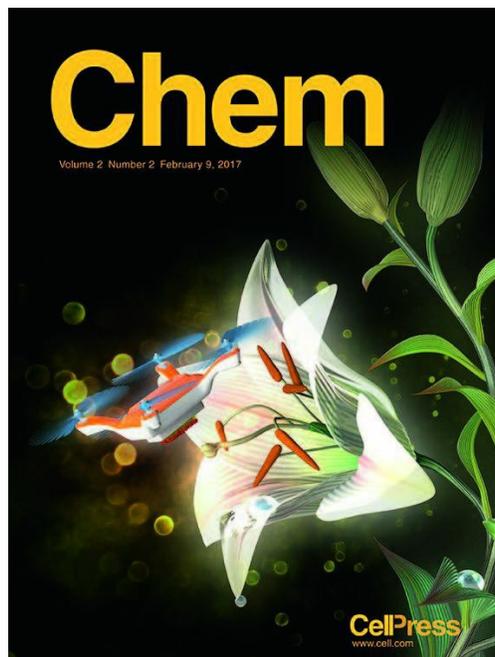


NEURON, PUBLISHED ONLINE 2 FEB 2017

为什么被烫了或者被冻了会感到疼？由于过热和过冷引起的刺激被称为热伤害性刺激（heat nociception），简称热痛。此前，神经科学界广泛认为热痛信号的传导与温度感受器有关，但去除温度感受器后热痛并不会完全消失，这说明热痛的传导和调控还存在其他的机制。中科院上海生命科学研究院张旭研究组发现了调控热痛的关键分子——成纤维细胞生长因子13（FGF13），正是它与电压门控钠通道Nav1.7的相互作用，调节了通道中的电流，从而调控了热痛。该研究突破了目前痛觉理论的概念性认识，也给研发新的镇痛药物带来了启示。

## 工程学

## 无人机能代替昆虫传粉吗？



CHEM 2, 2, 9 FEB 2017

在全世界范围内，可帮植物传粉的昆虫都在减少，近期统计表明，40%的小型昆虫（如蜜蜂或蝴蝶）都面临着灭绝危机。那么，以后植物要靠什么来传粉呢？一群研究者在网上买了一架小型无人机（与蜂鸟差不多大小），在它的下表面粘上一层画笔的刷毛，再涂上一层特制的胶水——离子液体胶（ionic liquid gel），这种胶水可以多次粘贴并脱离，正有利于传粉。研究人员用这种小型无人机成功给百合花传了粉。目前这种小型传粉机还需要研究人员手动控制，但他们相信将来可以研制出可以通过GPS和人工智能自动驾驶的传粉机。

## 化学

## 我国科学家首次合成全氮阴离子盐

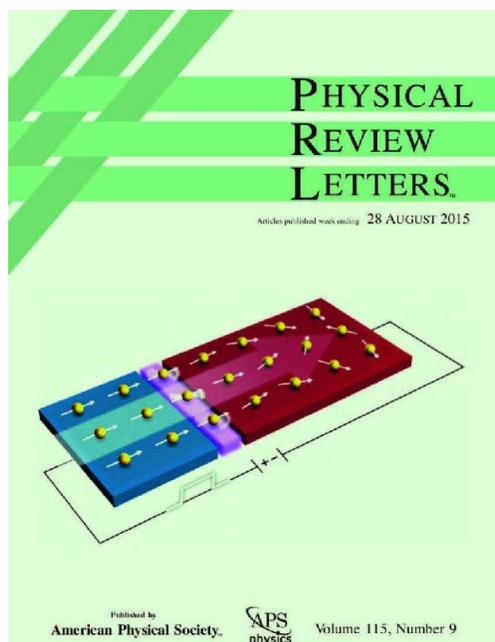


SCIENCE 355, 6323, 27 JAN 2017

我们都知道氮气中的氮—氮三键很稳定，这是氮气化学性质稳定的关键，但它在另一方面也导致了由更多氮原子所组成的分子极其不稳定，因此可作为强有力的炸药或推进剂。近期，南京理工大学化工学院胡炳成教授团队成功合成了世界首个全氮阴离子（五唑阴离子， $N_5^-$ ）盐，五唑阴离子是一种带负电的离子，含有5个氮原子，形成一个五边形环状结构。五唑阴离子非常不稳定，很容易分解成含3个氮原子的叠氮化合物和一分子氮气，并放出巨大能量。由于制备五唑阴离子的前驱体芳基五唑稳定性较差，加上其自身不稳定，致使采用常规方法制备这种阴离子非常困难。胡炳成教授团队的关键工作，就是把五唑阴离子隔离出来，让它稳定地存在于 $(N_5)_6(H_3O)_3(NH_4)_4Cl$ 这种盐中，在 $117^\circ C$ 以下都能保持稳定，且原料价格低廉，产物也可大量制备。该工作是含能材料领域的一大突破，或许能用于高能量密度炸药和推进剂的研发。

## 物理学

## 从热力学的角度研究学习



*PHYS. REV. LETT.* 118, 010601, 6 JAN 2017

每个生物都会从嘈杂的环境中收集信息、建立模型。德国斯图加特大学的研究者最近发现，从神经网络的层面看，大脑的学习效率也受到热力学第二定律的限制：既然学习牵涉到几十亿神经元的活动，学习就相当于神经元根据它从其他神经元那里接收到的输入信号模式进行处理得到输出信号的过程，同时消耗能量，因此容易让人联想到熵。研究者发现，神经元学习速度越慢，它产生的热和熵增就越少，学习效率也就越高。根据研究结果，他们设计出了从热力学角度而言最佳的学习条件。研究者表示，这或将激发科学家从热力学角度研究神经网络的更多尝试。

## 演化生物学

## 大熊猫和小熊猫为何都爱吃竹子？



大熊猫和小熊猫在动物分类学中属于不同的科：大熊猫属于熊科，而小熊猫属于鼬超科中的小熊猫科，二者在演化过程中已分离4000多万年。然而，它们却有着相同的习性：爱吃竹子，而且它们的前掌也都演化出了一种同样的特殊结构——伪拇指，以帮助抓握竹子。这种两个在演化上相距较远的物种演化出相同或相似的表型性状的这种现象被称为趋同演化，中科院动物研究所的研究人员采用比较基因组学方法，从基因组水平对大熊猫和小熊猫的趋同演化进行了解析。他们鉴定了70个大、小熊猫适应性趋同的基因，从代谢通路、蛋白趋同到假基因化等不同水平揭示了大熊猫和小熊猫形态与生理性状趋同的遗传学机制，为揭示趋同演化的分子机制提供了新的证据。

## 年度评选

---

# 2016 最受关注 十大学术公众号

2016年11月,《环球科学》旗下公众号“科研圈”启动2016年“最受关注十大学术公众号”评选,邀请科研人员、《环球科学》读者,以及“科研圈”的数十万用户为自己心目中有价值的、服务于细分科研领域的学术公众号投票打分。历时三个月,经过大众提名、网络投票、专家评议等多轮筛选,根据各个公众号在专业性、前沿性、传播力、实用性、发展潜力5个指标上的综合表现,最终评选出了2016年最受关注十大学术公众号。

这10个公众号覆盖了生物、医药、化学、计算机、物理、数学等多个科研领域,它们在2016年,以各种方式服务于中国科研人员,跟踪学术动态、传播科研进展、促进学术交流。

这次评选得到了很多支持。感谢参与提名的两千余位公众号粉丝,感谢进行网络投票的上万名读者,感谢参与评审的七大领域学者专家;也感谢参与角逐的235个学术公众号团队,他们已经成为中国科研文化的一部分,他们让更多的人看见中国科学的进步与中国科学家的努力。

## BioArt

---



分享生命科学和医学领域科研背后鲜为人知的故事,及时报道有趣、有意义的科学发现和活动,希望成为展示生命科学和医学领域“百花齐放,百家争鸣”的舞台,同科学家一起为生命健康做更多的基础工作。

## X-MOL资讯

---



报道化学、材料和生命科学领域的最新科研进展，以原创、专业、深度、生动为特色，深受专业用户的喜爱。公众号菜单提供期刊浏览、职位查询、物性数据等功能，另有客服微信提供用户服务。

## 中科院物理所

---



中科院物理所官方微信公众号，致力于传播物理学前沿知识和科普。在这里了解全球最新黑科技、向一流的科学家提问解疑，自己动手做科学实验.....我们希望通过星星之火让你“爱上物理 改变世界”。

## Paperweekly

---



PaperWeekly是一个分享知识和交流学问的学术组织，关注自然语言处理的各个方向，每周分享一期特定话题的论文笔记和本周值得读的相关论文，希望为自然语言处理的发展做出一点点贡献。

## 中科院高能所

---



中科院高能所官方公众号，带您走进粒子物理、大科学装置，了解基础科学相关知识、前沿技术发展；与科学家面对面，倾听一线科技工作者心声。特色专栏：趣说中微子系列，邢志忠、张双南、曹俊等科学家专栏。

## 超级数学建模

---



帮助读者每天学一点数学知识，轻松数学科普，掌握数学应用技巧，了解数学在企业最新应用案例、应用数学最新进展。公众号由多名企业与高校KDD专家维护，受众多数学精英喜爱。

## 微软研究院Ai头条

---



微软亚洲研究院官方微信公众账号，立足计算机领域，特别是人工智能的前沿，旨在为相关研究提供范例，从专业角度促进公众对人工智能的理解，并为研究人员提供讨论和参与的开放式平台，共建计算机领域

的未来。

## 药明康德

---



药明康德聚焦全球医药健康创新，甄选有温度的医药故事，展现严谨科学背后的情怀；利用企业优势，第一时间推送全球重磅新闻；立足全球，报道业内展现无尽创新潜力的初创企业。

## 生物谷

---



生物谷致力于为生命科学领域科研人群、生物医药产业界人士分享最新鲜的生命科学研究资讯、最齐全的生物医药产业动态。在这里，趣味科普与行业干货齐飞，学术大咖与吃瓜群众同乐。还有更多精彩活动等着你！

## 机器之心

---



国内领先的人工智能媒体和产业信息服务平台，关注人工智能、机器人和神经认知科学，坚持为从业者提供高质量内容和多项产业服务。特色栏目包括视频节目AI Talk、线下活动系列Interface等。

主办方

---

**科研圈**  
(id:keyanquan)

《科学美国人》中文版《环球科学》运营的学术资讯与服务平台，面向数十万一线科研人员。我们提供好看的科学故事、前沿的研究、没有毒的鸡汤，推荐和导读各领域最新论文，发布科研招聘、会议预告。

网站[www.keyanquan.net](http://www.keyanquan.net)已同步上线。



能源

## 油气开发诱发美国俄州地震群

在相对较短的时间，科学家已经设计出多种方法来应对人类诱发的地震。

撰文 安娜·库奇门特（Anna Kuchment） 翻译 张哲



过去十年，在美国，地质活动和石油、天然气开采活动（左图）可谓“齐头并进”。尽管大部分人类引发的地震强度不大，但频繁的小地震以及它们所造成的损失，已经激怒了多个州的居民。科罗拉多大学博尔德分校研究者（右图）以及其他一些研究人员，正在想办法“平息”这些震动。



俄克拉何马州布拉格市 俄克拉何马州科伊尔市 俄克拉何马州麦克洛德 俄克拉何马州波尼市  
(Prague), 2015年3月 (Coyle), 2016年1月 市 (McLoud), 2016年2月 (Pawnee), 2016年9月

图片来源: J·帕特·卡特 (J Pat Carter), Getty Images (pumping unit, Coyle, McLoud); 拉杰·桑戈斯蒂 (RJ Sangosti), Getty Images (field researcher); 尼克·奥克斯福德 (NickOxford), Redux Pictures (Prague); 戴维·比顿 (David Bitton), AP Photo (Pawnee)

开采石油和天然气已经造成美国俄克拉何马州、得克萨斯州、堪萨斯州等多个州地震频发, 这是科学家从未见过的。以往俄克拉何马州平均每年也就经历一两次地震, 但2015年却地震了近900次。美国中东部各州 (以前一直被视为地震相对较少地区) 地震频率也从每年29次增长至1000余次。

这些地震造成人员受伤, 房屋受损, 还引发了多起集体诉讼。但是, 鉴于石油和天然气开采活动并不会在近期停止, 地震很有可能还会继续发生。作为应对, 学术界、联邦政府、能源公司和监管机构已经开始行动, 试图降低这些人为引发的地震的频率和强度。最近发表的一系列论文和其他研究表明, 尽管还存在很多问题, 但是它们进展迅速。

早在上世纪60年代, 科学家就已经知道, 向地下注入高压液体会引发地震。大多数时候, 罪魁祸首并非是水力压裂含油或者含天然气的岩石, 而是相关的废水回注过程。比如, 在俄克拉何马州, 无论是否采用水力压裂法, 油井每生产一桶原油都会产生至少十桶废水。采油公司把水和其他副产物从油中分离开后, 会把前者经废水井回注到地下 (这么做是为了保护土壤和地表水)。但是该过程产生的压力会抵消掉能让断层结合在一起的摩擦力, 从而诱发地震。由于俄克拉何马州和其他多个州的能源行业正在蓬勃发展, 回注到地下的废水量也迅速增加。

考虑到现在的经济现状, 停止废水回注是不太可能的。因此美国斯坦福大学的研究者转而研究在何处回注。他们已经绘制好了俄克拉何马州和得克萨斯州 (这两个州受到人为地震影响的人口最多) 的天然地质压力图, 并发现, 可能因压力增大而滑动的断层仅占总数的小部分。

该研究团队发现, 那些走向与天然构造应力方向呈特定角度的断层是最容易发生滑动的。那些应力已达临界值的断层, 即在某些方向应力足够大的断层, 可能只要受到很小的外力就会断裂 (好比桌子上的一块

砖头，如果从上方压，砖头不会动，但是如果从侧面推，就会沿着桌面滑动）。得克萨斯州的应力地图于2016年10月发表在《地球物理研究通讯》（*Geophysical Research Letters*）杂志，其第一作者、斯坦福大学在读博士生延斯-埃里克·伦德·斯尼（Jens-Erik Lund Snee）称，这个能引发地震的外力最小仅需几psi（磅/平方英寸）。斯尼希望，能源公司和监管部门能把应力地图和断层地图进行匹配，从而了解在什么地方进行废水回注最有可能引发地震——然后在回注废水时避开这些地方。

这项研究的一处不足在于，在得克萨斯州和俄克拉何马州，很多发生地震的断层之前并没有被绘制在地图上。不过，能源公司或许能用上斯坦福大学的这些研究数据，因为它们比学术机构的科学家或者监管机构更了解地表之下。“尽管这并没有解决问题，但是确实朝着解决问题的方向迈出了一大步。”地震学家希瑟·德松（Heather Deshon）说，她在美国南卫理公会大学（Southern Methodist University）研究人类诱发的地震。

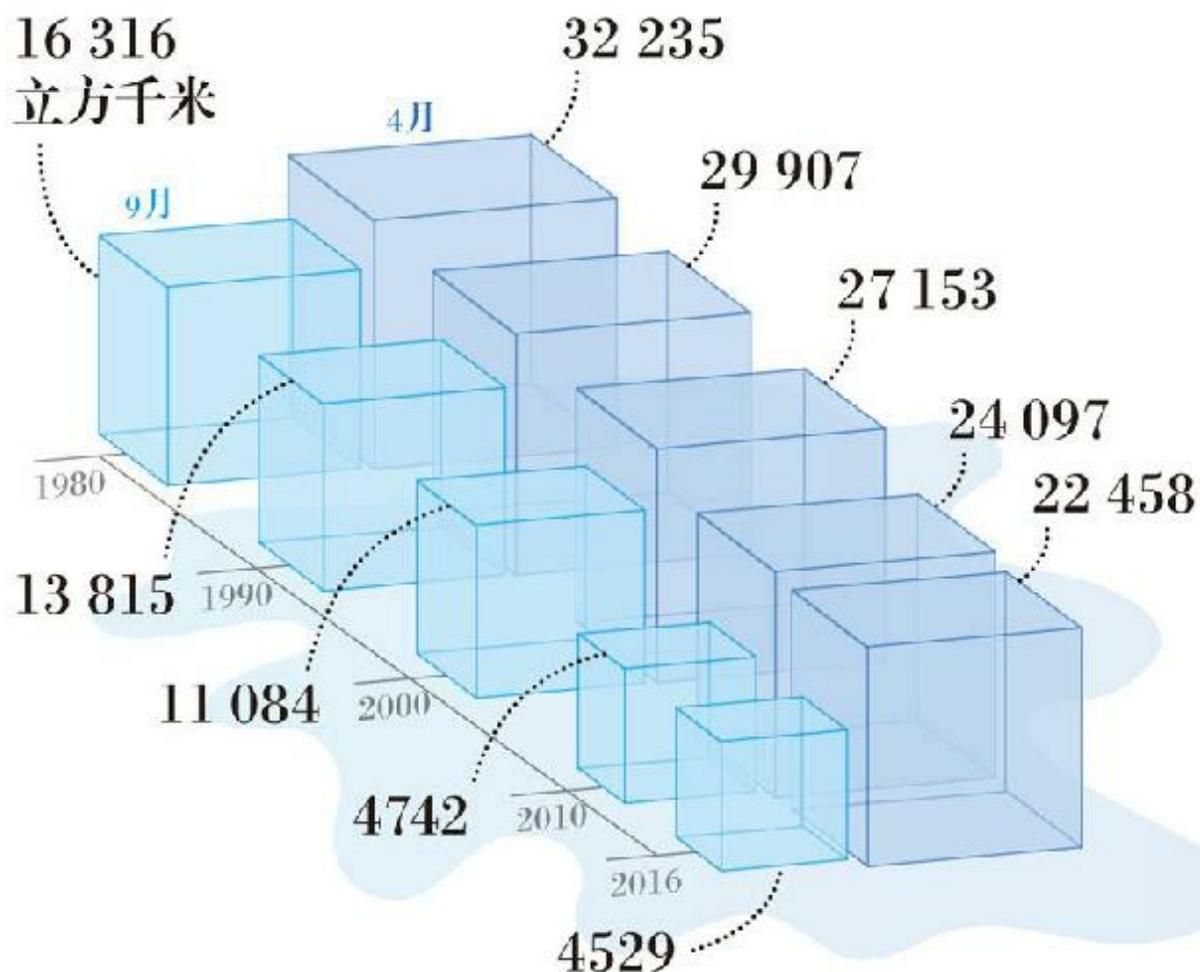
除此之外，一些研究者正在计算安装密集的地震监测器网络是否划算。地震监测器能检测到井周边微小的地震，使得能源公司或者监管机构在地震增强前就能迅速行动，减少注水量。得克萨斯州目前正在搭建这样的网络。同时，一些科学家建议只向那些天然就与深处断层隔离的地层注水。另外，在不诱发地震的前提下，不同地区能承受的最大注水压力也不同，部分专家正在计算具体数值，并取得了进展。

科学家正在寻找实际的解决方法，与此同时俄克拉何马州依旧地震不断。该州地震学家杰克·沃尔特（Jake Walter）称，各种新发现有助于在长期上解决问题，不过他自己关注的是找到短期解决方案。自2015年来，为了减少地震，该州已经减少了注入量，在某些地方暂停了在地震区回注废水。尽管在2016年该州的地震次数大幅下降，但强度却上升了。为什么会这样？可能的一种解释是高压回注废水会继续渗入地下，就像纸巾上的一滴水，这些废水会遇到新的、有时更大的断层。因此尽管已经取得了一些进展，但是沃尔特说，“我们并没有脱离险境。”

气候

## 几十年后，北极无冰？

撰文 瑞安·F·曼德勒鲍姆（Ryan F. Mandelbaum） 翻译 杨玉洁



数据来源:PIOMAS Monthly Ice Volume Data, 1979–present, Polar Science Center, University of Washington <http://psc.apl.uw.edu/research/projects/arctic-sea-ice-volume-anomaly/data>  
 制图：阿曼达·蒙塔涅兹（Amanda Montañez）

在地球北极，通过卫星观测到的冰川消退只是“冰山一角”。尽管人

们往往用面积来表示北极冰盖的收缩，但其体积也在不断减少。1980年至2016年间，据估测，夏季冰的体积已经减少了72%（单位是立方千米）。2016年的数据进一步证实了这一趋势：10月和11月的冰川数据达到同比历史最低。来自美国国家冰雪数据中心（U.S. National Snow and Ice Data Center）的朱利恩·斯特罗夫（Julienne Stroeve）表示，如果我们持续按照当前速率排放温室气体，也许到本世纪中期，北极的冰就将全部融化。

新技术

## 可穿戴设备让你边玩边学

提供触觉刺激的可穿戴设备或许能帮助人们边玩游戏，边学习摩尔斯电码。

撰文 陈英菲（Ingfei Chen） 翻译 王舟



图片来源：Getty Images

摩尔斯电码（Morse code）由滴滴哒哒的长短信号构成。近期，有初步研究表明，学习这种电码可能没你想的那么费力，也没那么费时，诀窍就在于提供触觉刺激的可穿戴设备。研究成果显示，移动设备或许能够影响人的潜意识，让我们在处理日常事务的同时，学会一些“手艺”。

佐治亚理工学院（Georgia Institute of Technology）计算机科学教授萨德·斯特纳（Thad Starner）与博士生凯特琳·塞姆（Caitlyn Seim）研究的是触觉学（haptics），这是一门结合了计算机设备与振动等触觉刺激

的科学。2016年9月，在德国海德堡举行的第20届国际可穿戴计算机研讨会（International Symposium on Wearable Computers）上，他们宣布了自己的研究成果：他们对谷歌眼镜进行编程，佩戴者可用它被动地学习摩尔斯电码，该研究已经取得了初步成功。

在研究中，12位参与者在电脑上专注地玩网络游戏的同时，佩戴了谷歌智能眼镜。该测试由数个长达1小时的阶段构成，在每个阶段里，一半参与者既能听到谷歌眼镜内置扬声器不断重复拼读单词，又能感受到右耳后方的敲击（来自内置于镜架的骨导传感器），这些敲击分别对应了每个字母在摩尔斯电码中的“点”（dot）或“划”（dash）信号；其余一半参与者则只能听到扬声器的拼读，感受不到骨导传感器的振动。

在每一轮游戏过后，研究人员要求所有参与者用手指在智能眼镜的触摸屏上，按摩尔斯电码敲击出字母。例如，参与者在屏幕上敲击“点-点”，则智能眼镜的可视化屏幕上就会显示出字母“i”。该简短测试实质上会促使参与者去尝试学习摩尔斯电码。在4轮游戏后，接受过触觉刺激的参与者敲击全字母短句（pangram，指包含全部字母的句子）的准确率高达94%。而未接受触觉刺激的参与者最终的准确率仅为47%，这些参与者仅能通过他们在输入时的“试错”（trial-and-error）来学习。

斯特纳表示，这项工作说明，“即使在心不在焉时，用户也可能通过可穿戴设备学会一种输入法”。他补充说，被动的触觉学习法有望帮助用户快速掌握辅助键盘的新文本输入方法，或者学会在智能手表上盲打（eyes-free），敲击出与摩尔斯电码体系类似的信号。“这或许真的会让人们使用移动与可穿戴设备的方法发生巨大变化。”

塞姆说，这些结果与他们先前对被动触觉学习的其他研究“完全一致”。例如，他们曾研发出一种智能手套，该手套可以向手指传递振动信号，培养“肌肉记忆”，帮助人们学习钢琴演奏或盲文输入。

德国人工智能研究中心（German Research Center for Artificial Intelligence）的保罗·卢科维奇（Paul Lukowicz，未参与这项研究）评论说，尽管该实验规模不大，但展示了可穿戴设备是如何让用户“一边处理日常事务一边获取信息，进行学习”的。要是在睡梦中听中文，就能把普通话说流利，那该多好！

化学

## 编织分子扭结

化学家合成出了迄今最复杂、最牢固的人工分子结。

撰文 克里斯托弗·因塔利亚塔 (Christopher Intagliata) 翻译 廖红艳

数学家需要解决许多难题，扭结 (knot, 指三维空间中不与自身相交的闭合曲线) 就是其中之一。“数学家已经在自然界中发现了超过60亿种不同的扭结，”英国曼彻斯特大学的化学家戴维·利 (David Leigh) 说。

“最困难的是制作扭结，”戴维·利说，“这就好像给我一件针织套衫，我也不一定能编织出一件一模一样的来”。戴维·利和同事的工作是制作分子扭结，使用的材料是比人的头发丝还细1万倍的分子链。“分子实在太小了，你不可能像系鞋带那样，手扯着绳子的两头打结。你得使用化学方法，精准控制，让它自己折叠、弯曲，产生我们需要的扭结。”

回到系鞋带的这个比喻，还记得小时候爸爸妈妈教你系鞋带时，为了更好地打结，会把一个手指放在结的中间吗？戴维·利和同事用的也是类似方法，为避免分子链扭作一团，他们用金属离子来起固定作用。由192个原子构成的分子链会围绕金属离子，扭结成特定的形状。“然后，像鞋带快系好时，妈妈会把手指抽出一样，我们也会把金属离子取出。”就这样，戴维·利合成出了他想要的扭结——迄今最复杂、最牢固的人工分子结。相关研究已经发表在了《科学》(Science) 杂志上。

对我们生活在石器时代的祖先来说，扭结意义重大。“制作渔网、把斧头绑在把手上、制作保暖的织物都离不开它，”戴维·利说，“但在现代社会，扭结同样很有用，用它制作的高强度人造纤维，也许性能会比凯夫拉 (Kevlar, 一种防弹衣材料) 还好”。毕竟，我们有60多亿种扭结可以选择。正如每一个童子军都知道的，不同的扭结有不同的特性，

适合的任务也不同。是的，你没猜错，戴维·利曾经也是童子军中的一员。“小时候，我觉得系扭结很难，现在虽然我长大了，但系扭结对我来说仍旧不是一件容易的事。”

## 新技术

## 在血管中游动的微型机器人

化学家发明了一种能用光精准控制、到达指定地点的微型游泳机器人。

撰文 普拉基·帕特尔 (Prachi Patel) 翻译 颜磊

几十年来，科学家一直梦想着发明一种能在血管中游动的微型机器人，用来递送药物或进行微型手术。过去15年里，研究人员已经发明了多种微型机器人，它们依赖化学反应、磁力或振动提供能量，但这些微型机器人经常无法稳定运行。

香港大学的化学家唐晋尧 (Jinyao Tang) 说，最大的挑战是如何引导微型机器到达指定地点。唐晋尧和他的团队已经在这方面取得了进展，他们的微型游泳机器人可以在光的控制下平稳、精准地行进。

这项研究已经发表在了2016年12月的《自然·纳米技术》杂志上。

研究人员用硅作“手柄”，二氧化钛作“刷头”，构建了瓶刷形状的微颗粒。这两种材料都会吸收光子，当有光线照射，“手柄”会产生氢氧根负离子，“刷头”则产生氢正离子。离子会自发移动，以平衡电荷，它们带动周围的液体，使微型机器人“手柄”在前，像飞镖那样朝着光源游动。

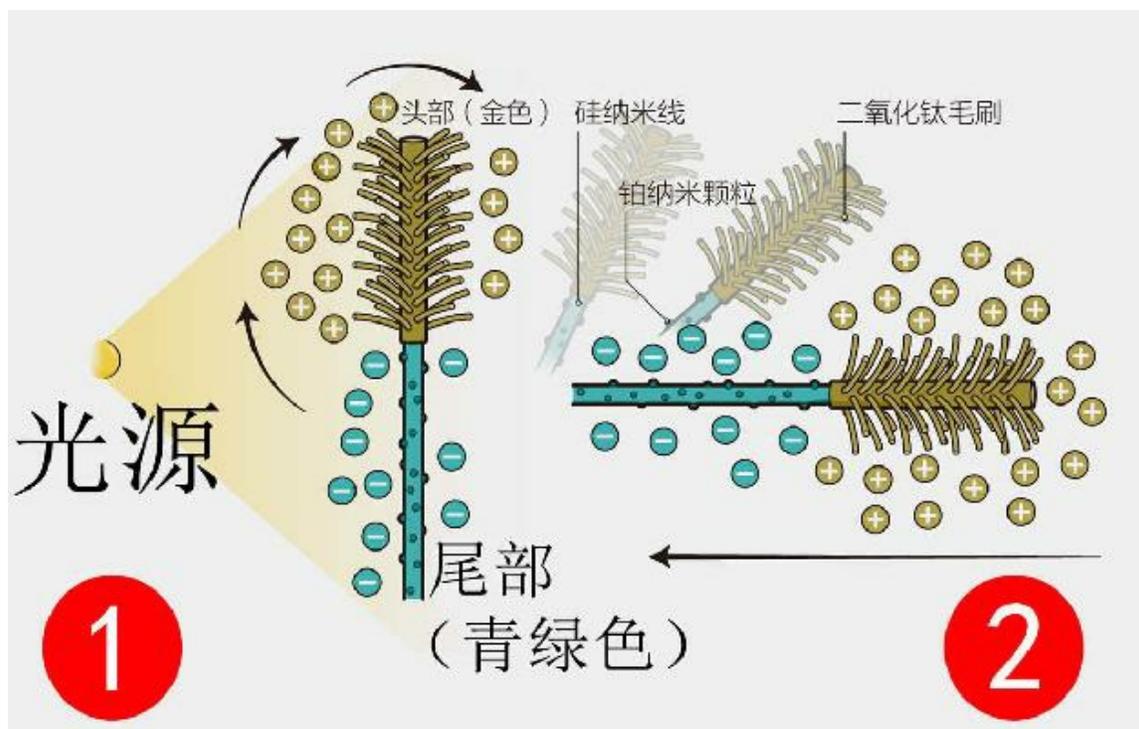
为了测试性能，研究人员将微型游泳机器人放在载玻片上的液体中，用紫外线引导它拼出“nano”一词。11微米长的机器在2分钟内游完1毫米距离，对医学应用来说，这个速度显然太慢了。但唐晋尧说他们正在改进机器人的形状，以提高泳速。

德国马普智能系统研究所 (Max Planck Institute for Intelligent Systems) 的纳米机器人学家塞缪尔·桑切斯 (Sámuel Sánchez, 未参加该研究) 评价说：“这种独特的、精确控制速度和方向的方法令人惊

叹。”

唐晋尧表示，这项工作是医疗机器人的初级版本，医生可以在体外用聚焦光束沿着病人身体为机器人导航。目前他们用紫外线控制机器人，但同时也在研发可用近红外线控制的微型游泳机器人，这种光线可以穿透厚达几厘米的身体组织。如果要在身体更深处使用，外科医生还可以用光纤控制机器人。

### 光控微型游泳机器人可以运载药物



#### ① 朝向

光使微型游泳机器人表面发生化学反应，产生离子（带电颗粒）。头部产生正离子，尾部产生负离子。照射面产生的离子比背面多，这种不平衡使机器人转向，沿着光线方向朝光源移动。

#### ② 移动

二氧化钛毛刷使微型游泳机器人头部拥有比尾部更大的表面

积，也即产生的正离子比负离子多。离子会自发平衡电荷，因此游泳机器人尾部朝前移动。

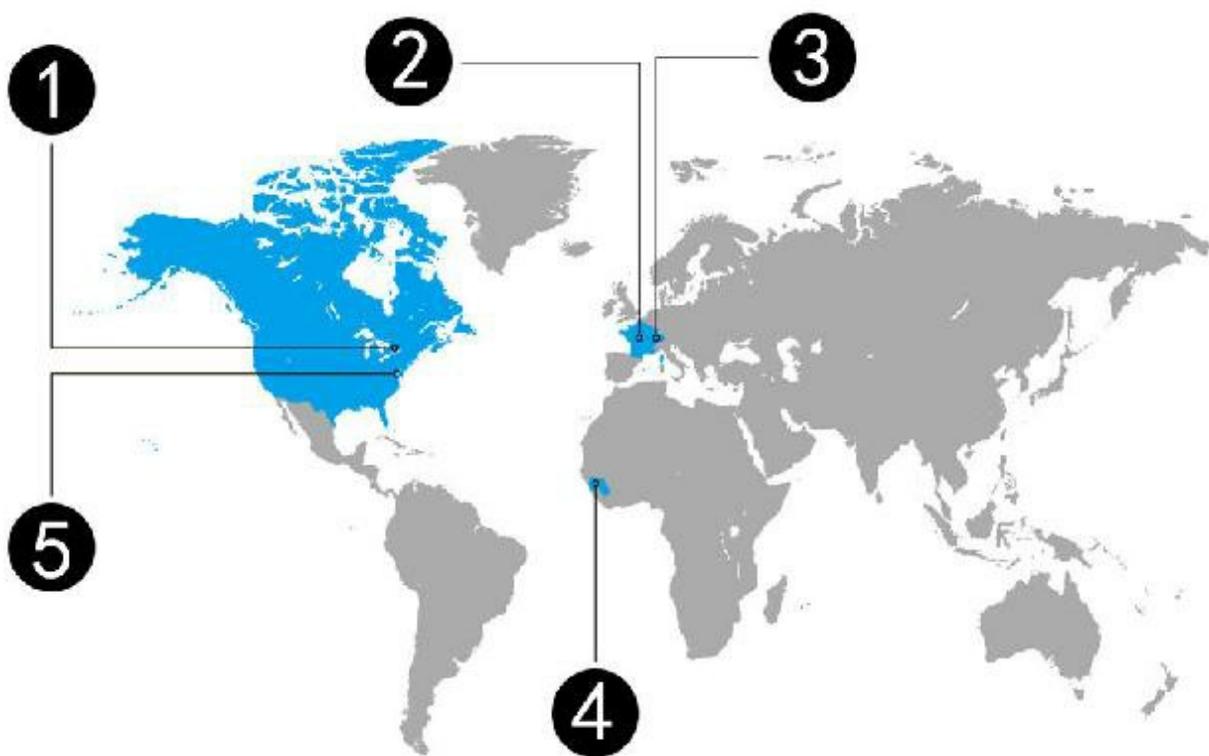
制图：Brown Bird Design

数据来源：“Programmable Artificial Phototactic Microswimmer,” by Baohu Dai et al., in Nature Nanotechnology, Vol.11;December 2016

简讯

## 全球科技热点

翻译 赵昌昊



### ① 加拿大

---

多伦多大学的研究人员称，他们找到了世界上已知最古老的水。这些液体位于一个深度接近3千米的矿井中，其年代可以追溯到至少20亿年前。

### ② 法国

---

拉斯科（Lascaux）岩洞位于法国西南部，内部绘有许多冰河时代的宏伟壁画，它自1963年起已不再向公众开放。近期，该岩洞的一个复制版本建成开放。复制版岩洞位于拉斯科岩洞附近，它完全再现了原岩洞的洞穴结构、动物壁画、环境湿度等，建造时间长达6年。

### ③ 瑞士

---

位于日内瓦附近的欧洲核子研究中心（CERN）的物理学家首次测量了反物质对光的吸收。如何操纵反物质原子是实验中的一大难题，因为它们会与普通物质发生湮

### ④ 几内亚

---

一种新型埃博拉疫苗在临床试验中的有效性达到100%。尽管该疫苗目前尚未获得监管部门的认可，也不一定对所有品系的埃博拉病毒有效，但美国默克公司（Merck）已经开始储备这种疫苗，以应对下一轮埃博拉疫情爆发。

### ⑤ 美国

---

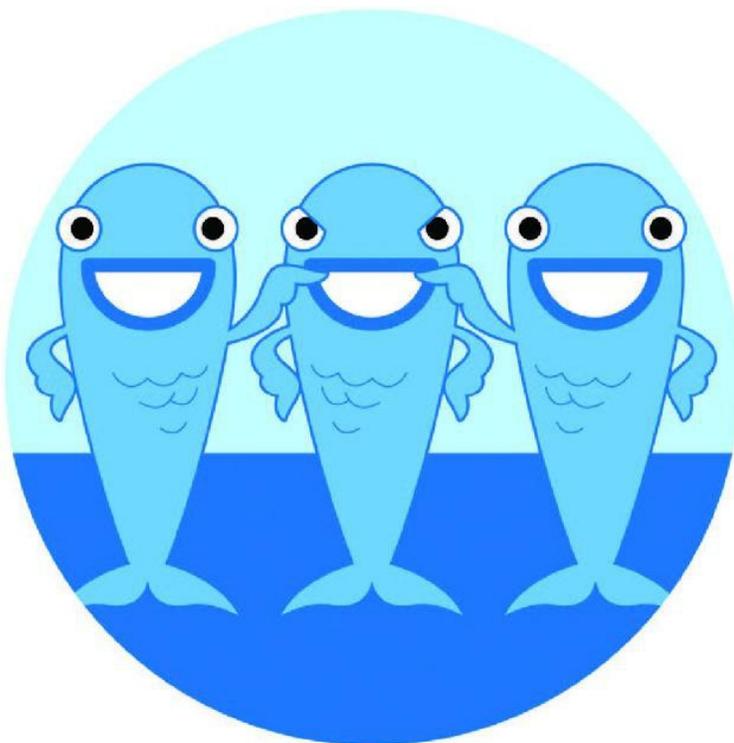
美国海军研究办公室（Office of Naval Research）在弗吉尼亚州的切萨皮克湾（Chesapeake Bay）展示了最新的无人驾驶战舰。目前，该无人驾驶战舰尚未达到实战标准，不过美国海军期望它未来能够执行船舶护航、海情监视或其他任务。

生物学

## 群体生活造就动物个性

动物也许会屈从于群体利益，并与群体行为保持一致，但最终还是会保持自己的个性。

撰文 詹森·G·戈德曼（Jason G.Goldman） 翻译 杨风丽



图片来源：科布斯·斯库曼（Kobus Schoeman），Getty Images

任何一个养宠物的人都会告诉你，个性不是人类所特有的，而且也不只有猫、狗有个性。近几年，科学家发现，许多生物（从寄居蟹到大鼠再到鱼类）都有独特的性格，随着时间的推移和环境的变化而表现出行为上的差异，并呈现出一定的规律性。

社会环境究竟是怎样影响个体个性的？英国布里斯托尔大学（University of Bristol）的生物学家赫里斯托斯·C·约安努（Christos

C.Ioannou) 和同事通过研究一种小型鱼类——三刺鱼 (three-spined stickleback) 试图寻找问题的答案, 这种三刺鱼生活在整个北半球的沿海咸水水域。约安努说: “在野外不仅有独自生活的三刺鱼, 也有群居的三刺鱼。这有利于我们在不同的模式下对三刺鱼进行个性评价。”

研究人员将80条鱼分别放在水槽中具有保护罩的一端, 另一端放置了一些诱饵。对于三刺鱼而言, 穿越水槽去另一端觅食是一件冒险的事, 因为离开保护罩而完全暴露在开放水域中, 会使自己受到天敌的威胁。

几天中, 每一条鱼的行为表现始终如一。勇敢的鱼快速离开“庇护所”去取食, 胆怯的鱼则花费较长的时间才出动, 并小心谨慎地穿越水槽去取食。但是当把10条三刺鱼同时放在水槽中具有保护罩的一端时, 每条鱼的个性逐渐消失了。正如人类一样, 虽然作为组长应该是认真仔细的, 但勇敢的个体总是会被推举为组长。约安努说: “最先游出来的鱼相对较快, 但是似乎当它们意识到身后没有其他鱼尾随时, 就会慢下来等待其他鱼赶上。”当把这些鱼分开后, 三刺鱼个体又重新表现出它们的原本个性。相关研究结果发表在了2016年9月的《科学进展》(Science Advances) 杂志上。

新发现表明, 群体的动态会抑制个体的个性。研究人员说, 这是有史以来第一次发现这种个性受抑制的根本原因, 即当群体面对一个冒险的决定时个体要团结一致。

英国圣安德鲁斯大学 (University of St.Andrews) 的动物行为研究人员迈克·韦伯斯特 (Mike Webster, 未参与此项研究) 表示, 以前, 研究动物个性的科学家只关注个体而忽略它们在群体中的行为表现, 而研究群体行为的研究人员则只关注群体而忽略个体的差异。“此项研究工作真正的意义在于把两种研究融合在了一起。”韦伯斯特说, “研究还表明, 动物的个性既是灵活的也是稳定的”。

工程学

## 去南极种草莓

科学家最近研发出了能够抵御南极低温的温室，它正承载着造福极地科学家的使命，一路南下。

撰文 梅甘·甘农（Megan Gannon） 翻译 宋娅



制图：托马斯·富克斯（Thomas Fuchs）

想象一下，在冰雪覆盖的南极洲上，长出鲜红欲滴的草莓。这个画面很快就将成为现实，德国航空航天中心（German Aerospace center）的工程师正在打造适用于南极的温室，以全年无休地向驻扎在那里的科考人员提供新鲜果蔬。到时候南极诺伊迈尔（Neumayer）三期科考站的科学家就能享受到草莓以及其他新鲜果蔬了。

这个20英尺（约6米）长的温室名为“伊甸园国际空间站”（Eden ISS），是一个封闭的系统，将于10月运往南极投入使用。

目前，该项目已接近尾声，温室总管保罗·扎贝尔（Paul Zabel）及同事下个月将在德国不来梅市（Bremen）开始试验栽种。他们计划模拟南极洲的极端环境，种植30到50种不同作物，包括番茄、青椒、生菜和草莓，还有罗勒、西芹等。南极的科学家每天吃的主要是包装食品，这些植物将给他们的餐桌增添新的风味。扎贝尔表示：“我们种植的主要是不需要加工的、即摘即食的作物。”

ekström冰架的最低温度可达-30℃，冬季连续数月见不到阳光，在这种恶劣的环境下，种植绿色作物需要采取一些特别的方法。扎贝尔采用的是气栽法（aeroponics），这样就不需要土壤（美国及澳大利亚考察站的温室也采用了相同的方法）。在气栽法中，果蔬植株被置于架子上，根须暴露在空气中，每隔几分钟向根部喷洒富含营养的水雾。

温室的温度保持在约24℃，除此之外，还需在温室中充入二氧化碳，保证室内二氧化碳浓度适合植物的生长需要。42个LED灯将发射植物赖以生存的红蓝光波，因而温室会发出淡紫色的光芒。鲜嫩可口的果蔬，肯定能鼓舞诺伊迈尔三期科考站内的十名成员的士气，帮助他们熬过漫漫严冬。

不过，扎贝尔表示，温室菜地不仅仅是为了造福极地科学家。这个项目的最终目的是，测试能在更极端的环境下（例如国际空间站或火星）高效培育果蔬类食品的技术。

环境

“这项研究让我明白，对这些鱼体内汞含量较高的问题，我们并非束手无策。我们有解决方案，并且一旦实行，很快就能见效。”



大西洋蓝鳍金枪鱼

图片来源：Getty Images

——尼古拉斯·费希尔（Nicholas Fisher），纽约州立大学石溪分校海洋生物地球化学家。不久前，他与同事共同发表了一篇论文，论文中提到，大西洋蓝鳍金枪鱼体内的汞含量在2004至2012年间下降了19%。费希尔和同事还发现，汞含量的减少与北美地区汞排放量的减少有关，而这主要归功于能源转型，煤炭使用量减少。（翻译/李春艳）

## 采访实录

## 护林员的精神健康问题亟需关注

在打击非洲非法盗猎的战斗中，许多护林员患上了创伤后应激障碍等精神方面的疾病。

撰文 雷切尔·努维尔（Rachel Nuwer） 翻译 杨风丽



在非洲，反盗猎行为的升级使护林员经常陷于风险甚至致命的危险之中。

图片来源（顺时针方向）：托尼·卡兰巴（Tony Karumba）；Getty Images；迈克尔·戈特沙尔克（Michael Gottschalk），Getty Images

遍及非洲的盗猎者仅在2015年就猎杀了超过24000头大象和1300头犀牛，不过，动物并非是非法野生动物交易中的唯一受害者。据统计，在过去10年中，约有1000名护林员因公殉职，并且这个数字很可能还会增长。近期，世界野生动物基金会（World Wildlife Fund）在12个非洲国家对护林员进行了采访调查，接受采访的570名护林员中，有82%的人表示他们曾经遭遇过致命的危险。在打击非法狩猎的战争中，许多护林员的精神健康也受到了伤害，这也是专家们刚刚开始意识到的问题之一。南非的临床心理学家苏珊娜·芬彻姆（Susanna Fincham）是最早调查护林员精神健康问题的专家之一，她还制定了针对护林员的治疗方案。最近，她向《科学美国人》

讲述了她所面对的这项特殊的挑战。下面是整理后的采访记录。

《科学美国人》：为什么护林员特别容易出现焦虑、沮丧和创伤后

应激障碍的症状呢？

**苏珊娜·芬彻姆：**护林员受训去保护野生生物，在过去，为避免动物受到过多的惊扰，枪支的使用是受限的。但是从2006年左右开始，非法盗猎愈演愈烈，迫使护林员现在不得不将枪口对准那些盗猎者。在克鲁格国家公园——我工作的地点之一，组织严密且装备精良的非法盗猎团伙每天都会制造暴力冲突。这是一种游击战，危险性极高，因此护林员承受着极大的精神压力。

《科学美国人》：你采用什么方法来缓解护林员的症状？

**苏珊娜·芬彻姆：**我尝试采用心理咨询技术去帮助那些护林员，使其避免成为创伤后应激障碍（PTSD）的受害者。这需要对他们的情绪状态进行细致的临床评估。然后对他们进行认知教育，或者说，就他们身体表现出的反应，传授他们一些相关的知识，包括他们为什么会出汗、颤抖、入睡困难、容易受惊这些症状。我训练他们通过调节呼吸和肌张力来减轻压力。同时，我还会利用叙事疗法，例如请他们给我讲述一件发生在他们身上的最糟糕的事。接下来，我会问他们有什么感受，然后指出他们产生的紧张感是正常的，并且他们已经幸免于难。要想减轻他们的焦虑，你必须让他们意识到，他们现在还活着，已经安然无恙。

《科学美国人》：有很多心理学家正在从事类似的心理咨询服务吗？

**苏珊娜·芬彻姆：**不，情况完全不是这样。以前，人们更关注护林员的军人角色而不是他们的健康。直到最近才有人意识到，护林员的精神健康受到了伤害，他们需要心理专家的帮助。在南非，看心理医生仍被视作是一种巨大的耻辱，尤其是男性。但现在，越来越多的资深护林员开始寻求帮助，我们也正在打破这种思想偏见。从2011年以来，我已经接待了大约120名护林员，并且和他们的家人进行了交谈。整个非洲大约有25000名护林员。

《科学美国人》：你的下一步计划是什么？

**苏珊娜·芬彻姆：**我正在制定一个适合当地文化、针对护林员的治疗策略，而且我想将我全部的研究资料整理出版，这对想利用这些资料

的人来说是有价值的。从长远考虑，我还希望看到有一支专门为护林员组建的心理医生和社工团队。

# The Exercise *Paradox*

# 运动悖论：锻炼无关减肥？

为什么运动对于控制体重收效甚微？人类又是如何演化形成一些独有的重要特征的？通过研究人体的能量消耗方式，这两个看似无关的问题得到了解答。

撰文 赫尔曼·庞泽（Herman Pontzer） 翻译 张文韬



制图：Bomboland



赫尔曼·庞泽是纽约市立大学亨特学院的人类学家。他通过研究人类和其他人科动物的能量消耗，检验人类生理、解剖学的演化假说。

### 精彩速览

在传统观念中，经常进行体力活动的人比活动量较小的人消耗的能量多。

但近期的研究发现，在传统的狩猎采集社会中，部落成员每天从事大量艰苦的体力劳动，但他们消耗的能量却与享受现代便利生活的人相同。

如果人类的能量消耗是恒定的，那么人类的大脑等高能耗的特征是如何演化出来的？

通过比较人类与其他灵长类动物的能量消耗模式，我们发现，在演化过程中，人类通过增加新陈代谢率，维持上述特征。

在坦桑尼亚北部的热带草原上，生活着原始的狩猎采集部落——哈扎部落（Hadza）。他们以野生动植物为食，对当地的地形和动植物了如指掌，甚至比你对你家附近的超市还要熟悉。我们的故事就从这里开始。为了寻找一只被射中的长颈鹿，我们4个人已经走了半天路。前一天夜晚，近40岁的哈扎男子穆瓦萨德（Mwasad）在25码（22.86米）开外向这只长颈鹿射出了一只装有钢制箭头的木箭，箭头上涂抹了可怕的自制毒药。这只毒箭射中了长颈鹿的脖子下方。穆瓦萨德让长颈鹿奔跑一阵，以便药性发作，天亮后它就会死掉。这个庞然大物够他的家人和部落的其他成员吃上一个星期，当然，前提是得找到它。

我们这个4人团队的成员还包括亚利桑那大学的戴夫·里奇伦（Dave

Raichlen)和12岁的哈扎男孩内耶(Neje)，而穆瓦萨德是这个团队的首领。天刚蒙蒙亮，我们就从哈扎人的营地出发了。在这次行动中，我和戴夫发挥的作用很小。穆瓦萨德友好地邀请我们同行的目的是，如果成功找到了那只死去的长颈鹿，就能多一点人手把猎物运回营地。据说，哈扎男子的追踪能力非常神奇，作为研究人类生态学和人类演化的人类学家，我们当然不会错过这个近距离观察的机会。不然的话，我们只能在营地摆弄研究设备，度过漫长的一天。

齐腰的金黄色草海翻滚着，草原上星星点点地生长着灌木丛和多刺的金合欢树。我们穿行在这片无尽的草原中，经过一个小时的搜寻，终于发现了长颈鹿留下的血迹。这样搜索猎物简直是大海捞针，就像有人把你领到一块1000英亩(约4平方千米)的麦田中间，让你寻找他丢失的牙签。几个小时过去了，我们依然在烈日下追寻着这只被射中的动物，但是血迹却越来越难寻。

还是没有找到长颈鹿，不过至少我还带着水。刚过中午，我们躲在一片灌木丛的树荫下休息，穆瓦萨德思考着那只长颈鹿会往哪儿走。我带了大约1夸脱(约1.14升)的水，我想这足以帮助我度过炎热的下午了。然而穆瓦萨德没有带一滴水，这是哈扎人的习惯。小憩之后，我们准备继续上路，这时我给穆瓦萨德递了一瓶水。穆瓦萨德笑着瞟了我一眼，一口气把一整瓶水喝光，然后把空瓶递给了我。

这瓶水是我试验计划的一部分。我、戴夫和耶鲁大学的布赖恩·伍德(Brian Wood)这个月都跟哈扎人住在一起，这是科学家第一次直接测量狩猎采集部落的每日能量消耗。我们邀请了几十位男女参与者，穆瓦萨德就是其中一员。我们让受试者喝一种特殊的水，这一小瓶水就贵得出奇，水中富含2种稀有的同位素：氘( $2\text{H}$ )和重氧( $18\text{O}$ )。我们分析每位受试者尿样中的氢、氧同位素，计算出身体产生二氧化碳的速率，从而进一步算出他们每天消耗多少能量。因为具有直观、安全、精确等优点，这种双标水(doubly labelled water, DLW)法被誉为公共卫生领域测定每日能量消耗的“金标准”。但是，这种方法需要受试者把水喝得干干净净。我们煞费苦心，告诉他们必须把一整瓶水喝光，千万不能洒出来。穆瓦萨德看来是把我们的嘱托放在心上了。

通过对哈扎部落的研究，我们对人体消耗能量的方式有了更深的认识。结合其他研究人员的成果，我们提出了一些令人惊讶的新观点。与

通常的观点相反，我们得到的数据表明，无论进行多大强度的体力活动，人类每天消耗的能量是相同的。然而，与我们的灵长类近亲相比，人类消耗的能量更多。这些结论有助于解释两个看似无关，实则密不可分的问题：为什么运动对于控制体重收效甚微？人类很多独有的特征是如何产生的？

## 卡路里经济学

对人类演化和人类生态学感兴趣的科学家往往会关注能量消耗，因为能量是一切生命现象的核心。科学家可以通过测量代谢速率了解任何一个物种：生命本质上是一个将能量转化为后代的游戏，生物通过消耗能量在演化道路上受益，而自然选择作用塑造了物种的各种特征，使得单位能量带来的收益最大化。理想情况下，这类研究的对象应该生活在与祖先相同的环境中——最好还保留着塑造出人类特征的生态压力。不幸的是，现在很难找到合适的研究对象了，因为大部分人已经脱离了整天在野外寻觅食物的生活。在过去的200万年中，人类几乎一直过着狩猎采集生活。农业在距今1万年前才出现，而城市、工业和现代技术则是在几代人之前才出现的。作为世界上最后的狩猎采集群体，哈扎人成为研究人类在畜牧、汽车和电脑出现之前的演化历程的关键人群。

哈扎人的生活需要充足的体力。每天早上，妇女结成小组离开营地的草屋，有些还把婴儿包好背在背上，她们的任务是寻找野生浆果等食物。野生的薯类是哈扎人的主要食物，妇女们要花费几个小时用棍子把它们从坚硬的地面下挖出来。男人们则使用自制的弓箭在野外打猎。如果猎物不多，他们会用简易的石斧砍倒40英尺（约12米）高的树木，从而采集野生蜂蜜。孩子们也不能闲着，他们要从最近的水源地运回一桶桶的水，这些水源距离营地往往有1英里（约1.6千米）甚至更远。接近傍晚时分，人们都回到营地，在小小的火堆旁席地而坐，分享这一天的收获，照顾自己的孩子。几千年来，无论是旱季还是雨季，哈扎人的生活都是如此。

生活在这里可不像伊甸园那样浪漫。打猎和采集都是需要脑力的高风险赌博游戏，赢了意味着获得生存必需的食物，输则意味着死亡。和其他男性一样，穆瓦萨德每天打猎、追捕猎物，消耗数百卡路里热量，希望赢下这场赌博。在这一过程中，智力与耐力同样重要。其他的捕食者能够凭借速度和力量捕捉猎物，而人类只能以智取胜，通过推测动物

的习性和大面积搜索收获猎物。尽管如此，哈扎男性大概一个月才能捕捉到一只大型动物，比如长颈鹿。如果没有女性每天采集的食物，他们也会饿死。女性从事的劳动同样复杂，她们依靠对当地植物的深入了解，每天为家庭提供可靠的食物来源。这种复杂的合作觅食模式帮助人类取得了难以置信的成功，这也是我们区别于其他物种的关键。

长久以来，研究公共卫生和人类演化的科学家一直认为，过着狩猎采集生活的祖先，一定会比生活在城镇里的现代人消耗更多的能量。看到哈扎人艰苦的生活方式，这个假设似乎更加难以推翻。很多公共卫生学者甚至提出，目前发达国家中肥胖症流行，就是因为人们的日常能量消耗减少，没有被消耗掉的热量逐渐累积变成脂肪。我们测定哈扎人每天新陈代谢速率的目的之一，就是要确定，与这些狩猎采集者相比，现代西方人的能量消耗要低多少。度过了尘土飞扬的炎热季节，我们返回了美国。我把哈扎人的尿样小心翼翼地用干冰保存起来，送往位于休斯顿的贝勒医学院，那里有全美顶级的双标水实验室。我猜想，这些哈扎人每天消耗的能量一定高得惊人。

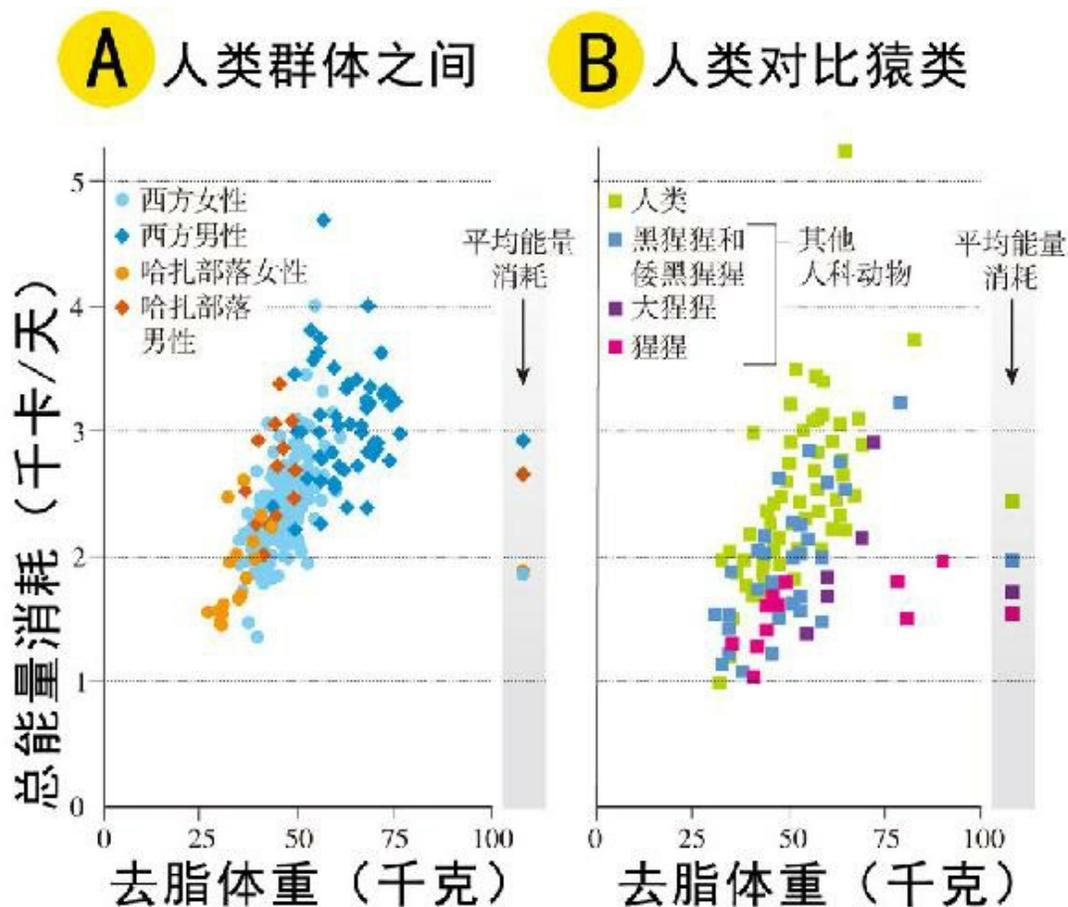
但是，通过质谱仪得出的同位素结果非常有意思。贝勒医学院的分析结果显示，哈扎人消耗的能量与我们并无差异。哈扎男性每天摄入和消耗的热量约为2600卡路里，女性大约是1900卡路里，这与欧美成年人一致。我们对所有能想到的因素进行了进一步的分析，包括体重、体脂率、年龄和性别，但是都没有发现两类人群的能量消耗存在差异。这怎么可能呢？我们遗漏了什么吗？还是说，我们对人类生物学和演化的某些观点出错了？

研究结果

## 能耗与运动

此前，专家认为运动量较大的人比体力活动较少的人消耗的能量更多。但通过直接的测量，我们发现现代的狩猎采集者每天消耗的热量与久坐的欧美人群相近<sup>A</sup>。如果人类的代谢速率是固定的，相比于其他灵长类动物，我们硕大的大脑、更长的寿命和其他高能耗的特征是如何演化而来的？人类每天比其他人科动物多消耗几百

卡路里的热量**B**，表明我们的新陈代谢率变得更快，从而为人类高耗能的特征提供动力。



制图: 珍·克里斯蒂安森 (Jen Christiansen)

为了排除体重差异引起的能量消耗差异，西方人的平均能量消耗按照哈扎人的体重进行换算，其他人科动物的平均能量消耗也按照人类的平均值进行了换算。

数据来源: "Hunter-Gatherer Energetics and Human Obesity," By Herman Pontzer et al., in PLoS One, Vol.7, No.7, Article No.e40503; July 25, 2012(left); "Metabolic Acceleration and the Evolution of Human Brain Size and Life History," by Herman Pontzer et al., in Nature, Vol.533; May 19, 2016

恒定的人体能耗

体力活动较多的人消耗的能量更多，这个观点是如此显而易见、无可辩驳，以至于我们在缺乏批判性思考和实验证据的情况下，就接受了这个观点。自从上世纪八九十年代以来，随着双标水法的出现，实验数据向公众健康和营养学的传统观念提出了挑战。从哈扎部落得到的结论固然令人诧异，却也不是晴天霹雳。它更像是开始下雨时，第一滴落入你后颈的雨滴，早已存在却一直被忽略。

最早的双标水法研究选择了危地马拉、冈比亚和玻利维亚的传统农民，结果表明，他们的能量消耗与城市居民基本一致。本世纪初，芝加哥洛约拉大学的公共卫生学家艾米·卢克（Amy Luke）开展了进一步的研究，她对比了尼日利亚乡村女性与芝加哥市非洲裔美国女性的能量消耗和体力活动。与我们对哈扎人的研究结果一样，卢克发现尽管两类人群的活动量差异很大，但每天的能量消耗却没有差异。洛约拉大学的另一位科学家拉腊·杜加斯（Lara Dugas）与卢克进一步总结了98项研究中不同人群的能量消耗情况，发现无论是在发达国家享受现代化便利生活，还是在发展中国家进行更多体力活动的人群，他们的能量消耗都是相同的。

人类并不是唯一一个能量消耗速率固定的物种。完成了对哈扎人的研究之后，我紧接着领导开展了一个大型合作项目，测定猴子、猿、狐猴和人类等灵长类动物的日常能量消耗。我们发现，尽管体力活动水平有明显差异，但是，被关在实验室或者动物园里的灵长类动物与野外个体每天消耗的能量相当。2013年，澳大利亚研究人员发现，圈养的绵羊和袋鼠与野生个体的能量消耗一致。而在2015年，通过对比动物园中与野生的大熊猫，中国研究团队也得出类似的结论。

为了进行更细致的观察，比较个体而不仅是群体的平均情况，我于近期加入了卢克的团队，杜加斯也在其中。我们对体力活动水平和能量消耗的关系开展了为期多年的大规模分析，称为流行病学迁移研究建模（Modeling the Epidemiological Transition Study, METS）。在整整一周的时间里，超过300名受试者每天24小时都要穿戴类似Fitbit或其他健身追踪器的感应器，同时，我们用双标水法测量他们的每日能量消耗。我们发现，受试者每天的体力活动与代谢速率之间仅呈现出很弱的相关性。平均来说，终日懒散在家的人每天消耗的热量比进行适度锻炼（指每周进行一些锻炼，上楼时走楼梯）的人少200卡路里。但更重要的是，当体力活动量增加时，能量消耗提升到一定水平就保持不变了：体

力活动量最大的人与进行中等强度体力活动的人消耗的能量一致。在这项针对个体的研究中，我们很明显地看到了与群体研究一样的现象，就是这种现象令哈扎部落与其他群体的能量消耗保持一致。

在保持正常能量消耗的情况下，身体是如何适应更大的活动量的？哈扎人每天要在狩猎、采集上消耗数百卡路里，但他们消耗的总能量却跟那些不常运动的欧美人一样多，这是怎么回事？我们还不确定答案，但要明确的是，运动本身的成本是不变的。例如，同样是走1英里，哈扎人消耗的热量与西方人是一样的。这可能是因为，活动量较大的人能通过微妙的行为方式节省能量，比如他们会找机会坐下，或者是睡眠程度更深。但我们的METS数据分析结果显示，这些行为虽然可能起到一些作用，却不足以解释每日能量消耗恒定的现象。

另一种有趣的可能性是，为了在固定的能量预算中，给额外的体力活动腾出空间，其他很多看不见的能量消耗减少了：细胞和器官的工作维持着我们的生命，在这些活动中节省能量，能在每日能量消耗恒定的情况下，让我们进行更多的体力活动。例如，锻炼常常会造成免疫系统对抗感染的炎性反应减弱、导致雌性激素等生殖激素分泌水平下降。在动物实验中，日常运动量的增加对能量消耗没有影响，但会缩短排卵周期、减慢组织修复。极端情况下，一些动物会吃掉它们尚未断奶的幼崽。看来，为了保持每日的能量消耗不变，人和其他生物都演化出了若干策略。

以上所有证据表明，肥胖是暴饮暴食导致的疾病，懒惰不是肥胖的原因。人们摄入的能量高于消耗掉的能量时，体重就会增加。如果说在人类历史上，每天的能量消耗从未发生改变，那么当代肥胖症盛行的主犯就是饮食了。这算不上新闻。公共卫生领域早就有谚语：你无法抵消糟糕的饮食造成的后果（*you can't outrun a bad diet*）。根据个人经验以及对大量数据的分析，专家发现仅仅进行体育锻炼并不能减肥。这些最新的研究有助于解释为何运动对减肥无效。并不是我们不够努力，而是我们的身体从一开始就唱反调。

不过，锻炼仍然是必不可少的。这篇文章可不是你从此不去健身房的借口。运动还有大量有证可查的好处，比如提高心肺功能、提高免疫系统能力、改善大脑功能并提高老年人的健康水平。实际上，我的猜想是，对体力活动的代谢适应也是运动使我们保持健康的原因之一：将能

量从炎症等活动中转移，以免炎症持续太久从而产生负面影响。例如，慢性炎症就与心血管病和自体免疫疾病有关。

吃下的食物当然会影响我们的健康，运动配合饮食改变能够让我们保持健康的体重，但根据以上研究，最好把饮食和运动看作拥有不同效果的工具。运动可以让我们保持健康活力，而要保持体重则要靠控制饮食。



坦桑尼亚的哈扎人每天在狩猎采集活动中消耗数百卡路里，但他们每天消耗的总能量却与美国的城里人一样。

摄影：哈里·胡克（Harry Hook）/Getty Images

## 演化与能量消耗

近期的科学研究发现，代谢适应有助于阐明运动与肥胖的关系，但是固定、自适应的代谢速率给研究人员出了一道难题。如果每天的能量消耗固定不变，那么人类是怎么演化成与我们的灵长类近亲完全不同的

物种的？生命没有免费的午餐。资源是有限的，在一种特征上有过人之处往往意味着在其他方面不尽人意。兔子繁殖能力强，寿命却很短，这并不是巧合。它们把大量的能量都投入到繁殖中，所以没有多余的能量来维护身体并延长寿命。霸王龙有硕大的头部、锋利的牙齿、强壮的后肢，但是它们的前爪却小得可怜，所以即使是恐龙也不能将各个特征都演化得足够完善。

在这种崇尚节俭的基本演化原则中，人类是个例外。我们的大脑是如此之大，当你坐着阅读这篇文章时，每4次呼吸获得的氧气中，都有一次要供大脑使用。与我们的近亲相比，人类产下的婴儿体型更大、生育次数更多、更加长寿，还能进行更多的体力活动。哈扎人的营地里到处都是乱跑的孩子，六七十岁的哈扎人无论是男性还是女性，依旧健壮、精神饱满。看上去，我们在能量使用上很奢侈，这提出了一个演化难题。人类在遗传学和生物学上与猿类很相似，长期以来，研究人员认为我们的新陈代谢也与猿类类似。但是，根据我们对哈扎人的研究结果以及其他研究者的结论，能量消耗是固定的，这一与猿类相似的代谢模式是如何支持耗能高昂的人类特征的？

在广泛对比了人类与其他灵长类动物的能量消耗后，我和同事开始怀疑，在人类的演化历程中，生理代谢或许发生了重大改变，这一变化推动了一系列能耗巨大的生理特征的形成。我们发现，其他灵长类动物每天消耗的能量只有其他哺乳动物的一半。与缓慢的代谢速率相对应的，是其他灵长类动物较为缓慢的生长和繁殖速率。反过来说，人类的繁殖等特征耗能更高，是不是因为代谢速率经过演化变得更快呢？为了验证这个想法，我们挑选了黑猩猩、倭黑猩猩、大猩猩和猩猩，小心喂它们喝下双标水，然后收集尿液。芝加哥林肯动物园的同事史蒂夫·罗斯（Steve Ross）和玛丽·布朗（Mary Brown）与来自美国十多个动物园的饲养员和兽医花费数年时间，一起完成了这项工作。他们收集了大量来自猿类的能量消耗数据，这些数据可以与人类进行可靠的对

不出所料，人类每天消耗的能量比所有其他人科近亲都要多。即使在考虑了体型、运动量等影响因素后，人类每天也要比黑猩猩和倭黑猩猩多消耗400卡路里的能量，与大猩猩和猩猩的差值更大。与其他灵长类相比，人类额外的能量消耗是为了支持更大的大脑、生育更多后代，并且维持身体机能，使人类的寿命更长。人类的演化不仅仅体现在我们吃得更多（虽然事实如此），我们知道，如果身体无法消耗这些额外的

能量，那只会导致肥胖。与我们的猿类近亲相比，我们的身体能够更加迅速地燃烧能量、完成更多工作，在细胞水平上也是如此。人类的演化并非完全没有取舍：相比于其他猿类，我们的消化道较小，其消耗的能量也更低；而猿类主要以植物为食，需要尺寸更大、能耗更高的肠道来消化食物中的纤维。但是人类得以演化至今的关键，是新陈代谢机制的革命性改变。

## 共享财富

下午晚些时候，我们踏上了回营地的路。穆瓦萨德也停止了对地面的搜索，目视着前方。我们回家了，但是并没有找到长颈鹿。这是人类高能耗策略的一个弊端：非常有可能两手空空地回家。我们需要高热量的食物支撑快速的新陈代谢，但是这些食物很难从野外获得，增加了寻找食物的能量消耗，而且无论是对于外出觅食的哈扎部落男女，还是留在营地里的孩子来说，遭受饥饿的风险也大大提高了。

幸运的是，人类在困境中演化出了防止挨饿的技能。我们是唯一掌握烹饪技术的物种，烹饪增加了食物的热量值，使得食物更易于吸收。我们熟练地掌握了火的用法，把本不适于食用的块根类蔬菜（从超市出售的红薯到哈扎人吃的野生薯类）变成真正能补充热量的“淀粉炸弹”。我们也在演化中变胖。我们知道西方国家面临着肥胖危机，而即使是按照人类标准很瘦的哈扎成年人，其脂肪含量都是关在动物园里的黑猩猩的2倍。虽然在现代社会，脂肪过多可能是个问题，但我们偏爱储存脂肪的特性，或许是和代谢速率的加快一同演化而来的，成为人类在食物匮乏的时期得以生存的关键。

太阳下落到树梢的位置，我们伴随着余晖走回了营地。我和戴夫走向自己的帐篷，穆瓦萨德和内耶则回到了自己家的小屋，每个人都很高兴，我们终于回家了。虽然没有捕到长颈鹿，但是那天晚上没有一个人饿肚子。营地里的我们拥有人类对抗饥饿最巧妙、有力的武器：分享。对我们来说，分享食物显得如此平常，无论是在烧烤宴会、生日派对还是受诫礼上，我们都把分享食物看作理所当然的事，但其实分享是人类演化道路上必不可少的重要一环。

除了对营养的需求和脂肪储存，人类能量消耗增加的最深远影响可能是，人类被迫开始合作。随着人类代谢速率的加快，我们的命运与他

人牢牢绑在一起，要么合作，要么死亡。当我和戴夫、布赖恩坐在一起，打开沙丁鱼罐头和薯片，讲述起当天的冒险遭遇时，我意识到我们除了分享食物没有其他办法了。没有长颈鹿，也没关系。

### 扩展阅读

Hunter-Gatherer Energetics and Human Obesity. Herman Pontzer et al.in PLOS ONE, Vol.7, No.7, Article No.e40503;July 25, 2012.

Constrained Total Energy Expenditure and Metabolic Adaptation to Physical Activity in Adult Humans. Herman Pontzer et al.in Current Biology, Vol.26, No.3, pages 410 – 417;February 8, 2016.

Metabolic Acceleration and the Evolution of Human Brain Size and Life History. Herman Pontzer et al.in Nature, Vol.533, pages 390 – 392;May 19, 2016.

Food for Thought. William R.Leonard;December 2002.

深度  
宇宙学

COSMOLOGY

责任编辑：韩晶晶

**POP**

*goes the  
universe*

# 宇宙大爆炸不曾发生？

与观测数据之间的矛盾和理论自身的问题，让一些天体物理学家对暴胀理论产生了怀疑，也许我们需要一个新的理论来解释宇宙的诞生。

撰文 安娜·伊尧什（Anna Ijjas） 保罗·J·斯坦哈特（Paul J. Steinhardt） 亚伯拉罕·勒布（Abraham Loeb）  
翻译 邱涛涛 审校 蔡勇 朴云松



安娜·伊尧什是普林斯顿理论科学中心的博士后研究员。她从事宇宙的起源、演化和未来，以及暗物质和暗能量的本质等方面的研究。



保罗·J·斯坦哈特是普林斯顿大学的阿尔伯特·爱因斯坦科学教授、普林斯顿理论科学中心主任。他的研究涵盖粒子物理、天体物理、宇宙学、凝聚态物理等方面的问题。



亚伯拉罕·勒布是哈佛大学天文系主任、哈佛大学黑洞研究中心主任、哈佛-史密森尼天体物理学中心理论与计算研究所所长。



## 精彩速览

对宇宙微波背景辐射（宇宙中最古老的光）的最新观测引发了科学家对暴胀理论的关注。该理论认为，宇宙在刚诞生时曾经历了一个指数式膨胀的过程。

暴胀通常可以在宇宙微波背景上产生独特的温度变化模式，并产生至今尚未被发现的原初引力波。

观测数据表明，宇宙学家应该重新评价暴胀这个目前最受欢迎的宇宙学图景，并考虑关于宇宙起源的新理论。

**2013年3月21日**，欧洲空间局召开了一次国际新闻发布会，公布了普朗克卫星的最新观测结果。这颗卫星以前所未有的精度绘制了宇宙微波背

景辐射（CMB）的图谱——所谓的CMB，是指130多亿年前宇宙大爆炸刚刚结束时发出的光。科学家告诉在场的记者，这张新的CMB图谱证实了宇宙学家35年来一直非常重视的理论——宇宙起源于大爆炸，并在随后经历了一次短时间内的超加速膨胀，即暴胀。这次膨胀将宇宙抹得如此光滑，以至于几十亿年以后，宇宙在各个方向、各个位置仍然是近乎完全相同的，而且是“平直的”，没有像球面那样弯曲。整个宇宙中只有一些微小的物质密度涨落，最终形成了我们周围的恒星、星系和星系团。

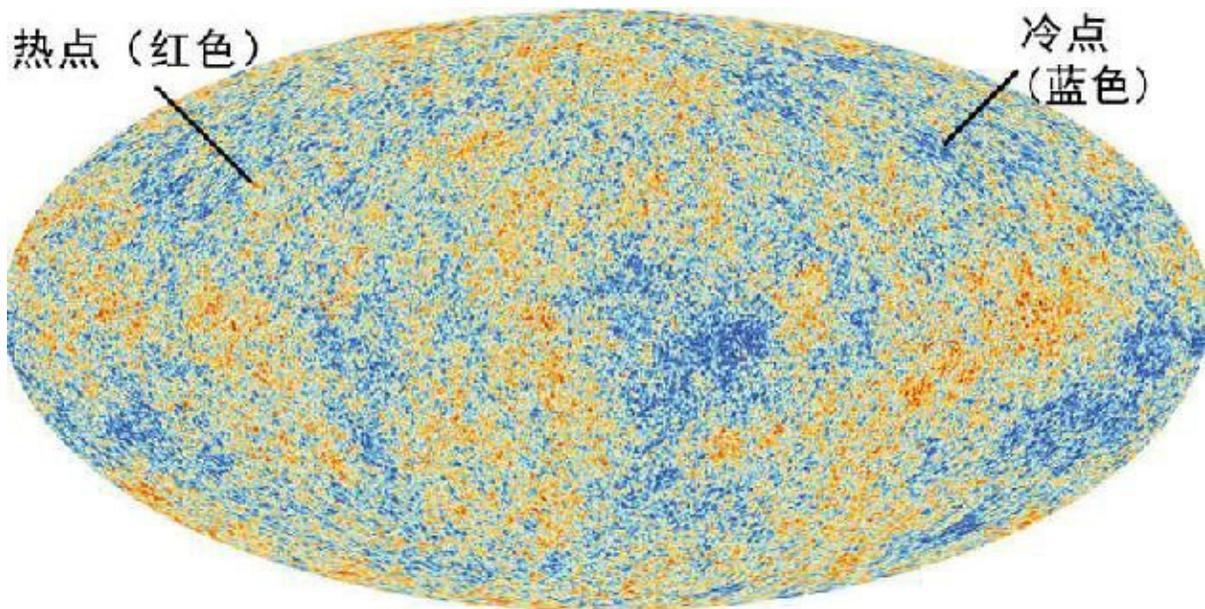
这次新闻发布会表露的主要信息是，普朗克卫星数据完美符合最简单的暴胀模型的预言，再一次使人们认识到该理论的坚实可靠。普朗克团队声称，宇宙学这本大书应该要结尾了。

得到普朗克团队公布的最新结果后，本文的三位作者在哈佛—史密森尼天体物理学中心讨论了它的影响。伊尧什是从德国来访问的研究生；斯坦哈特当时正在哈佛大学学术休假（译者注：国外大学教授往往每几年会有半年或一年的学术休假，英文称“sabbatical”，休假期间没有教学任务，可以自由去其他学术机构访问），他在30年前曾是暴胀理论的最初设计者之一（但他在后来的工作中指出暴胀的理论基础存在严重的问题）；而勒布作为哈佛大学天文系的系主任，是前两人的接待者。我们三人都很赞赏普朗克团队的精密观测，但我们并不同意他们对数据的解释。恰恰相反，普朗克数据并不支持最简单的暴胀模型，还使得该理论一直存在的基本问题变得更为严重，这使得天体物理学家有新的理由去考虑关于宇宙起源和演化的其他竞争理论。

自那之后的数年中，普朗克卫星和其他探测器收集到了更为精密的数据，使这种状况变得越发明显。然而，即使是现在，宇宙学圈子都还没有冷静、诚实地对待大爆炸—暴胀理论，也未对质疑暴胀是否真正发生的批评声音给予足够的关注。相反，宇宙学家似乎乐于接受暴胀拥护者的主张，即我们必须相信暴胀理论，因为对于我们观测到的宇宙特征，只有这个理论能提供简单解释。但正如我们要在下面解释的，普朗克的数据，再加上一些理论问题，已经动摇了这个理论的根基。

## 宇宙初期的照片

这张由欧洲空间局发射的普朗克卫星得到的天图，展示的是微波背景辐射（CMB）——宇宙中最古老的可观测光。CMB为我们提供了迄今为止最好的宇宙初期图像。天空中的蓝色区域表示CMB温度较低的区域，也即宇宙早期较冷的区域，而红色区域则表示较热的区域。暴胀理论（即认为宇宙在初期快速膨胀的理论）的拥护者声称，这些热点或冷点的分布模式和他们的理论是相符的。然而，实际上他们的理论可以给出任意一种分布模式，而且一般会给出比这张图所展示的大得多的温度涨落。不仅如此，如果暴胀发生过，宇宙微波背景应该包含宇宙引力波（即早期宇宙拉伸激起的时空涟漪）的证据，然而科学家还没有找到这样的证据。与暴胀拥护者的主张相反，普朗克卫星的数据表明，我们宇宙的真正起源目前仍无定论。



### 如果暴胀真发生过

为了阐明暴胀的问题，我们先和这个理论的支持者保持一致：假设暴胀是正确的。设想有一位先知告诉我们，暴胀确实发生于大爆炸之后不久。如果我们相信先知的話，那么关于宇宙演化，他到底告诉了我们什么呢？如果暴胀确实为我们提供了一个对宇宙的简单解释，那么先知的预言应该也可以告诉我们，从普朗克卫星数据中我们将会看到些什么。

先知的预言能告诉我们的一件事情是，在大爆炸后不久的某段时间内，空间中必须有一小块区域充满着一种奇妙的能量，从而导致这块区

域经历一次极快的加速膨胀（暴胀）。那些我们最熟悉的能量形式，比如物质和辐射的能量，会因为自身的引力吸引作用而阻止或减缓宇宙的膨胀。而暴胀要求宇宙充满一种密度很高、具有排斥力的能量来推动宇宙加速膨胀。但值得注意的一点是，这种起关键作用的、被称为暴胀能的能量组分完全来自于猜想，我们并没有直接证据表明它们真实存在。除此之外，在过去35年里出现了几百个可能的暴胀模型，而每个模型预言的暴胀速度和宇宙整体膨胀程度都相差巨大。因此很明显，暴胀并不是一个精确的理论，而是一个有很大弹性、包含多种可能性的理论框架。

但是，根据先知的预言，我们能得出哪些适用于所有模型，与暴胀能的具体形式无关的结论呢？首先，根据量子物理的基础知识，我们能够确定在暴胀结束时，整个宇宙中温度和物质的密度必然是各处相异的。在暴胀期间，暴胀能量密度在亚原子尺度上的随机量子涨落将会被拉伸到宇宙尺度，形成具有不同暴胀能的区域。当暴胀能衰变为普通的物质和辐射时，加速膨胀结束。在暴胀能量密度（1立方米空间里暴胀能量的大小）稍微大一点区域，加速膨胀时间会稍微长一点，并且当暴胀能最终衰变的时候，该区域内宇宙的能量密度和温度也会稍微高一点。因此，在记录了那段历史的微波背景辐射上，量子效应导致的暴胀能涨落将表现为热点和冷点交杂分布的图样。在之后的137亿年里，宇宙中这些微小的密度和温度涨落会在引力的作用下凝聚，形成星系和大尺度结构。

这个开头还不错，虽然有些含糊。那么，我们能预言空间中星系的数量和分布情况吗？能预言空间弯曲到什么程度吗？能预言需要多少物质或其他形式的能量来产生现在的宇宙吗？答案是不能。暴胀这个理论是如此的富有弹性，以至于可能给出任何结果。暴胀能告诉我们大爆炸为何发生，或告诉我们最终演化为现在的宇宙的那一块初始空间是如何产生的吗？答案依然是不能。

即使我们知道暴胀真的存在，对于普朗克卫星观测到的CMB热点和冷点，我们也不能给出多少预言。根据普朗克卫星的观测数据绘制的CMB图谱和之前的一些宇宙微波背景研究指出，无论尺度怎样缩放，热点和冷点的分布模式都几乎是一样的，这个性质被科学家称为“标度不变性”。最新的普朗克卫星数据显示，CMB基本遵守标度不变，偏离很小，只有百分之几，而各个点之间温度差异的平均值则大概只有万分

之一。暴胀的拥护者经常强调暴胀可以产生具有这些性质的模式，然而这个论调忽略了一个关键之处：暴胀同样允许热点和冷点的分布模式不遵守标度不变，也允许不同点之间的温度差异比观测值大得多。换句话说，暴胀的结果既可能标度不变，也可能与标度不变相差甚远，还可能是介于二者之间的种种情况，这取决于研究者对暴胀能量密度细节做出的假设。因此，普朗克卫星所看到的冷热点分布并不能当成暴胀理论的证据。

值得注意的是，如果我们知道暴胀的确曾发生过，那么我们肯定能在普朗克卫星观测到的CMB数据里发现一个特征，因为它适用于所有形式最简单的暴胀能量，包括标准教科书里的那些。量子涨落在导致暴胀能量随机涨落的同时，也会令空间随机变形，暴胀一旦结束，这些随机变形便会以空间形变波的形式在宇宙中传播。这些扰动被称为引力波，是导致宇宙微波背景辐射上出现热点和冷点的另一个原因，而且它还有着很特别的极化效应（也就是说，引力波使得光的电场会朝着某个特定的方向，该方向取决于光是来自于热点还是冷点，或是二者之间的地方）。

不幸的是，对暴胀引力波的搜索一直没有结果。宇宙学家在1992年就用宇宙背景探测者（COBE）卫星首次观测到了CMB的热点和冷点，之后还有很多后续的观测，包括普朗克卫星2015年的数据，但到本文撰写之时，他们还没找到暴胀所预言的宇宙引力波的任何迹象。（2014年3月17日，南极BICEP2实验组的科学家宣布探测到了宇宙引力波，但后来他们认识到自己实际上观测到的是银河系中尘埃导致的极化效应，所以又撤回了声明。）需要指出的是，宇宙学家期待的宇宙引力波与激光干涉引力波天文台（LIGO）发现的、由现代宇宙中的黑洞并合所产生的引力波没有任何关系。

普朗克卫星的结果表明，宇宙微波背景中冷点和热点的分布模式非常接近严格的标度不变（只偏离了百分之几），同时又探测不到宇宙引力波，这令人震惊。30多年以来，最简单的暴胀模型，包括那些出现在教科书中的，第一次出现了与观测严重不符的情况。当然，理论家们迅速对暴胀图像进行了修补，但代价是暴胀模型变得更加复杂难懂，也暴露出了更多的问题。

## 复杂的暴胀模型

为了真正理解普朗克卫星的观测数据带来的影响，有必要了解一下暴胀支持者们推崇的暴胀模型以及它们的不足之处。

那些研究者认为，暴胀的能量来自一个假想的、被称为暴胀子的场。这种场就像电磁场一样，充斥于空间并在空间每个点上都有一个场强（值）。因为暴胀子是假想的，理论家们可以自由地设想暴胀子具有引起宇宙加速膨胀的排斥力。空间中，给定点处的暴胀场的场强决定了那一点的暴胀能量密度。场强和能量密度的关系可以用图上的一条像山坡一样的曲线来表示。研究者提出的几百个暴胀模型中，每个模型都有一个具体的山坡形状，来决定暴胀结束时宇宙的性质——比如宇宙是否平坦、光滑，并有一个近乎标度不变的温度和密度变化模式。

自从普朗克卫星的数据公布以后，宇宙学家就发现自己处在如下所述的一种境地：假设你住在一个坐落于山谷里、被群山环绕的封闭小镇上。你在小镇上见过的人只有小镇的居民，直到有一天出现了一个陌生人。每个人都想知道这个陌生人是如何来到你的小镇的。你从小镇中的流言（或者当地的先知）得知她是滑雪来的。你信以为真，并考虑到只有两座山通往你的山谷。任何看了滑雪指南的人都对第一座山很清楚：坐滑雪缆车很容易上去，那里所有滑雪道的下坡都很平稳，能见度和雪质一般都很好。而第二座山则完全不同。它都没有被写进标准的滑雪指南中。这也难怪，它的山顶以雪崩而著称；通往你所在小镇的那条路始于平坦的山脊而终于陡峭的绝壁，凶险异常；更有甚者，那里没有滑雪缆车。要想从那个山顶滑下来，唯一能想到的办法是先用降落伞从飞机上跳下，在山脊上某个特定的地方（精度要达到几英寸）以恰好合适的速度着陆。一个小小的失误都将导致滑雪者脱离轨道，滑到一个遥远的山谷，或是被困在山顶；在最糟糕的情况下，雪崩会在滑雪者到达山脊之前开始，使得滑雪者无法生还。如果小镇流言是对的，即陌生人是滑雪来的，那么唯一合理的推断是，她来自第一座山。

简直无法想象有人会走第二条路，因为和第一条路相比，第二条路到达小镇的机会是微乎其微。但后来，你注意到了陌生人身上的某些线索——她的外套上没有贴着滑雪缆车的票。基于这样一个观察，并且由于小镇流言坚持认为陌生人是滑雪来的，你不得不得出这样一个怪异的结论：陌生人来自于第二座山。但是，也许她压根就不是滑雪来的，这样你就有必要质疑小镇流言的可靠性了。

类似地，如果有个“先知”告诉我们宇宙是通过暴胀演化到现在这个样子，那么我们期待的暴胀能量密度曲线就应该像滑雪指南里描述的山那样，从顶到底形状都很简单，只有最少的可调参数，且不需要非常苛刻的条件来驱动暴胀。实际上，到目前为止，关于暴胀宇宙学的教科书几乎都把能量曲线表示成这种简单、一致的形状。特别是，能量密度会随场强的变化沿着这些简单曲线稳定增大，使得暴胀场可能会有这样一个初始值——在该值处，暴胀能量密度等于所谓的普朗克密度（比今天的密度大 $10^{120}$ 倍），即宇宙刚从大爆炸诞生时的总能量密度。这样的话，暴胀场的能量是宇宙初始时刻唯一的能量形式，在这样的有利条件下，加速膨胀会立即开始。在暴胀期间，暴胀场的强度会很自然地演化，使得能量密度沿着曲线缓慢、平滑地降低直至谷底，在那里曲线降到最低，对应于我们今天所处的宇宙（我们可以将这个过程想成暴胀场从曲线上“滑雪”而下）。这就是教科书里出现的经典暴胀过程。

但是普朗克卫星的数据告诉我们，这个过程不可能是对的。简单的暴胀曲线会产生比观测结果更严重偏离标度不变性的热点和冷点，以及较强的、理应已经被观测到的引力波。如果我们仍然坚持暴胀曾发生过，普朗克卫星的结果就要求暴胀场沿着更复杂的能量密度曲线“滑雪”而下，这条曲线就像第二座山那样，由低而平坦的山脊与通往山谷的峭壁相连，并面临着雪崩的巨大风险。与简单的、一直递增的形状不同，这样的能量曲线会从最小值处陡然升高（形成一个悬崖），直到当它的能量密度仅为大爆炸刚结束时的普朗克密度的几万亿分之一时，突然变得像平台一样平缓（形成一个山脊）。这样的话，在大爆炸开始后，暴胀能量密度会只占总能量密度很小的一部分，而且因为太小不能驱使宇宙立刻暴胀。

因为宇宙还没暴胀，暴胀场可以开始于任何初始值并且以极快的速度改变，就像滑雪者从直升机上跳下来一样。然而暴胀只有在暴胀场最终到达一个对应于平台上某点的值，且变化非常缓慢的情况下才能开始。一个滑雪者从很高的高度落下，以刚好合适的速度着陆于一个平坦的山脊从而能平缓地滑下，这显然有悖常理，同样的道理，暴胀场在场强刚好等于合适的值时，以刚好合适的加速度减速，从而触发暴胀，也是几乎不可能的。更糟糕的是，因为在大爆炸之后暴胀场速度减慢的时期宇宙没有暴胀，整个宇宙中任何初始的弯曲或能量分布不均匀都会增长；当它们增长到一定程度时，无论暴胀场如何演化，都会阻碍暴胀的开始，就像无论从直升机到山脊的这段路多么完美，一次雪崩就能让滑

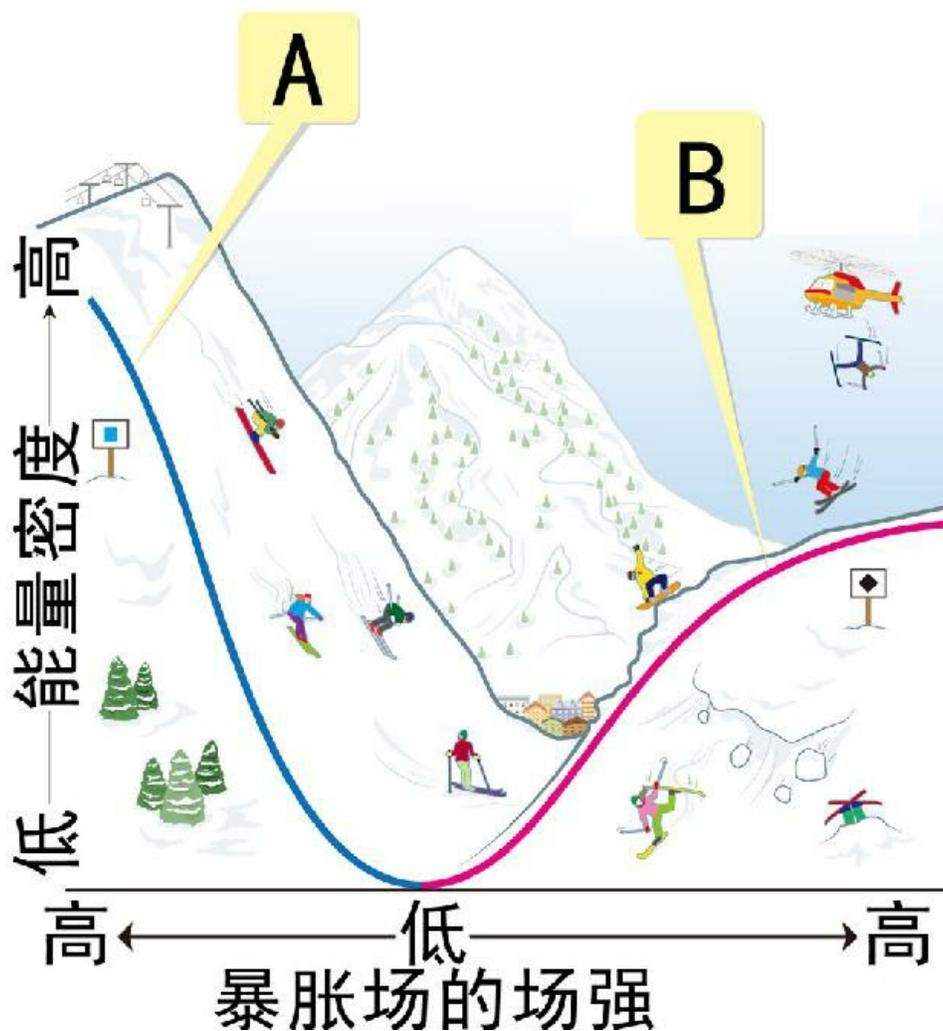
雪者无法平稳地滑下山。

换句话说，若接受先知的言论而坚信暴胀曾经发生过的话，即使不谈暴胀的种种问题，普朗克卫星的数据也将迫使你得出暴胀始于一个平台似的能量密度曲线这样一个怪异的结论。也许出于这个原因，你会对“先知”是否可靠产生怀疑。

两个版本

## 像滑雪坡一样的暴胀

如果暴胀发生过，它一定是被一种假想的“暴胀能”所引发，该能量源于一种弥漫于空间中、名为暴胀子的场。不同版本的暴胀理论给出的暴胀场强与暴胀能量密度之间的关系也各不相同。这里画出了其中两种关系。一种（左边的蓝线）类似于传统教科书上的暴胀模型；另一种（右边的粉红色线）需要一个非常特殊的初始条件，因此看起来不太合理。与两座雪山的类比解释了为什么第二类模型——还没被实验排除的那类模型——是难以被接受的。



Ⓐ 平滑斜线对应于传统暴胀模型，表示能量密度会急速上升，类似于一个易于滑雪的山坡。这些模型给出的暴胀起始过程是比较可行的，因为它们开始于一个合理的暴胀能阈值（像由滑雪缆车确认的起始点），并且以稳定、可预料的路径演化（像一个平稳的下坡），但它们和最近的天体物理数据相冲突。

Ⓑ 这些版本的理论被称为平台模型，要求暴胀开始于不太可能的条件——暴胀场得在恰好合适的时刻有恰好合适的值来引发暴胀。这些模型类似于一座易于雪崩的雪山，它要求滑雪者从直升机上跳下来并在非常精准的起始点着陆。

### 暴胀带来的混乱

当然，先知是不存在的。我们不应该简单地接受暴胀曾发生过这个假设，特别是因为它并不能给我们观测到的宇宙特征提供一个简单的解

释。宇宙学家应该基于我们对宇宙的观测，按照规范、科学的步骤估计暴胀发生的概率，进而对这一理论作出评价。从这个方面讲，现在的数  
据排除了最简单的暴胀模型而青睐于更不自然的模型，这无疑是个坏消  
息。但说句实话，这也不是暴胀理论碰到的第一个问题了，这些观测结  
果只是使之前的问题变得更加尖锐了。

比如说，我们应该思考宇宙拥有适于暴胀的初始条件这件事情是否  
合理。要开始暴胀，必须要满足两个不大可能存在的条件。首先，在大  
爆炸后不久，必须有一片区域，其中的时空量子涨落都已平息，且可以  
很成功地被爱因斯坦的经典广义相对论方程描述；其次，这片空间必须  
足够平坦并具有足够均匀的能量分布，使得暴胀能量能够快速增长，压  
过其他形式的能量，占主导作用。有几个研究在理论上估算了大爆炸之  
后出现一块拥有这些性质的空间的几率，结果表明，这比在一片荒漠中  
找到一座拥有滑雪缆车和保养妥善的滑雪坡道的雪山更困难。

更重要的是，如果很容易在大爆炸后找到这么一片足够平坦光滑可  
以暴胀的地方，那么我们从一开始就不需要暴胀了。还记得吗？引入暴  
胀的全部动机就是解释我们可观测的宇宙为何拥有这些性质；如果我  
们要求宇宙有同样的性质才能开始暴胀，区别只是需要的空间范围小了一  
点的话，那么这可算不得什么进步。

然而，这些问题只是我们麻烦的开始。不仅暴胀需要的初始条件很  
难获得，而且暴胀一旦开始便停不下来。这个症结要归咎于时空的量子  
扰动。它们导致暴胀场的强度各处不同，从而使得空间中有些点比其他  
点更早结束暴胀。我们倾向于认为量子涨落很小，但早在1983年，包括  
斯坦哈特在内的理论家们就意识到，暴胀场中大幅的量子跳跃虽然很稀  
少，但却能完全改变暴胀过程。大幅跳跃能使暴胀场的强度增强到比平  
均值高得多，导致暴胀持续时间大大加长。虽然大幅跳跃很稀少，但有  
过跳跃的区域和没有跳跃的区域相比，体积上会膨胀得多得多，从而快  
速占领整个空间。顷刻间，停止暴胀的区域会被继续暴胀的区域包围而  
萎缩。这个过程反复发生。在大多数膨胀的区域，暴胀场强度的变化将  
使得能量密度降低，令暴胀结束，但少数大幅量子跳跃会在某些区域令  
暴胀持续下去，并不断产生出暴胀得更厉害的区域。然后，这个过程便  
会无休止地持续下去。

暴胀将以这种方式永远持续，产生无数块已结束暴胀的空间，每块

空间都创造出一个自己的宇宙。只有在这些已结束暴胀的空间中，空间膨胀速率才能变得足够缓慢，从而能够形成星系、恒星、行星和生命。这也暗示，由于量子涨落固有的随机效应，每块空间都有着不同的宇宙学性质。通常说来，大多数宇宙不会是平坦或没有弯曲的，物质的分布不会近乎均匀，宇宙微波背景辐射上热点和冷点的分布模式也不会非常接近标度不变。这些空间给出了无数种不同的可能结果，没有哪块空间比其他空间出现的几率更大，我们的宇宙也一样。这个结果就是宇宙学家所称的多重宇宙。由于每块空间都可拥有任何物理上可能的特性，多重宇宙不能解释为什么我们的宇宙具有我们所观测到的这些非常特殊的条件——这些条件只不过是这片特定空间偶然出现的特征罢了。

也许连这个图像都太乐观了。这些空间中是否有任何一块能演化成我们的可观测宇宙？这一直是科学家争论的问题。与之相反的是，永恒暴胀也有可能演化成一个纯粹的量子世界，那里到处都充斥着量子不确定性和随机涨落，甚至在暴胀结束的区域也是如此。我们建议用“多重混乱”作为一个更恰当的词来描述尚无定论的永恒暴胀结果：无限多个性质随机的空间区域，或者是一个量子混乱状态。按照我们的观点，无论哪种描述是正确的都没有差别。无论是哪种方式，多重混乱都无法预言暴胀的结果就是我们可观测宇宙的性质。一个好的科学理论应当可以解释为什么实际发生的是我们所观测到的现象，而不是其他现象，多重混乱没有通过这个基本的测试。



## 抛弃暴胀

鉴于所有这些问题，暴胀根本不曾发生的观点值得我们仔细考虑。如果我们往回追溯，在逻辑上似乎有两种可能性。要么宇宙有一个开始，我们一般称之为“大爆炸”；要么没有开始，所谓的大爆炸其实是一次“大反弹”，即从之前的某种宇宙学相到现在的膨胀相的一次转变。虽然大多数宇宙学家假设有一个爆炸，但目前还没有任何证据能辨别137亿年前发生的到底是爆炸还是反弹。然而，与爆炸不同，反弹不需要后期的暴胀来创造我们现在所看到的宇宙，所以反弹理论意味着脱离暴胀范式的一个巨大转变。

反弹能得到与大爆炸加暴胀同样的结果，因为在反弹之前，一段持续几十亿年的缓慢收缩能使宇宙变得光滑平坦。缓慢收缩与迅速膨胀有着相同的效应，这好像是反直觉的，但一个简单的论述就能说明为何一定是这样。回想一下，若没有暴胀，一个缓慢膨胀的宇宙将会由于引力对空间和物质的作用而变得越来越弯曲、扭曲、不均匀。把这个过程倒过来，想象你在看一场时间倒流的电影：那么一个高度弯曲、扭曲、不均匀的宇宙又将逐渐收缩变得平坦均匀。也就是说，在缓慢收缩的宇宙中引力起相反的作用，就像柔顺剂一样。

正如暴胀时的情况，在反弹理论中，量子物理也会对这样简单的平坦化过程进行修正。量子扰动会改变宇宙各处收缩的速度，使得某些区域早于其他区域反弹、膨胀及冷却。科学家能够构造出这样的模型，宇宙收缩的速度会带来反弹之后的温度变化，使得CMB热点和冷点的分布模式与普朗克卫星观测到的结果一致。换句话说，暴胀能做的任何事情，反弹前的收缩都可以做到。

同时，反弹理论与暴胀相比还有一个重要的优点：它们不会产生多重混乱。当收缩相开始时，宇宙已经很大、并且是经典（即可以用爱因斯坦广义相对论所描述）的了，而它在收缩到量子效应变得重要之前就反弹了。其结果是，永远不会有像大爆炸那样整个宇宙被量子物理所主导的阶段，我们也不需要构造出一个从量子到经典的转变过程。而且因为在平坦化过程中没有暴胀来导致某些区域经历少见的大幅量子扰动，这些区域的体积也就不会有爆发性的增长，因此通过收缩来实现平坦化并不会产生多重宇宙。最近的研究已经给出了描述宇宙如何从收缩相到膨胀相转变的初步详细方案，使得我们有可能构造出完整的反弹宇宙学理论。

### 暴胀理论算科学吗

考虑到暴胀的问题和反弹宇宙的可能性，你可能会期待科学家来一场大讨论，根据当前的观测数据，弄清楚到底哪种理论是正确的。但有一个问题：暴胀宇宙学，按照我们目前的理解，不能用科学方法来评估。正如上文讨论过的，如果我们改变初始条件、改变暴胀能量密度曲线的形状，暴胀的结果就能轻易改变——你可能还记得永恒暴胀和多重混乱。这些特点使暴胀理论极富弹性，以至于没有实验能对它提出反证。

有些科学家接受暴胀是不可被检测的，但拒绝放弃它。他们还提出，科学本身必须改变，应该抛弃科学的标志性特点：可检测性。这个主张已经引发了此起彼伏的关于科学本质及其新定义的讨论，并促使某些非实验主义科学的理论抬头。

一个普遍的误解是实验可以用来证伪一个理论。实际上，一个失败的理论会由于人们试图不断修补它而变得对实验越来越有免疫力。这个理论会变得更加复杂、微调程度更高来适应新的观测，直到它（对观测）的解释能力消失殆尽。一个理论的解释能力是由它能排除多少可能性来衡量的。免疫程度越高意味着能排除的越少，以及解释能力越差。像多重混乱这样一个理论不能排除任何事情，因此没有解释能力。将一个空洞的理论宣告成为无可争议的标准观点需要一些非科学的担保。既然没有先知，唯一的替代办法是求助于学术权威。历史告诉我们这条路是错误的。

今天的我们很幸运，观测为我们暴露出了尖锐的、根本性的问题。主流理论的失败，给了我们一个取得理论突破的历史性机遇。我们应当承认宇宙学仍然是有讨论余地的，而不是给早期宇宙这本书画上句号。

---

本文译者 邱涛涛是华中师范大学物理科学与技术学院、天体物理所副教授，2014年度“楚天学者人才计划”入选者，主要从事早期宇宙方面研究。

本文审校 蔡勇是中国科学院大学物理科学学院博士研究生，主要从事早期宇宙方面研究。  
朴云松是中国科学院大学物理科学学院教授，主要从事暴胀宇宙、前大爆炸宇宙学和引力波等领域的研究。

## 扩展阅读

Inflationary Paradigm in Trouble after Planck 2013. Anna Ijjas et al.in Physics Letters B, Vol.723, Nos.4 - 5, pages 261 - 266;June 25, 2013.

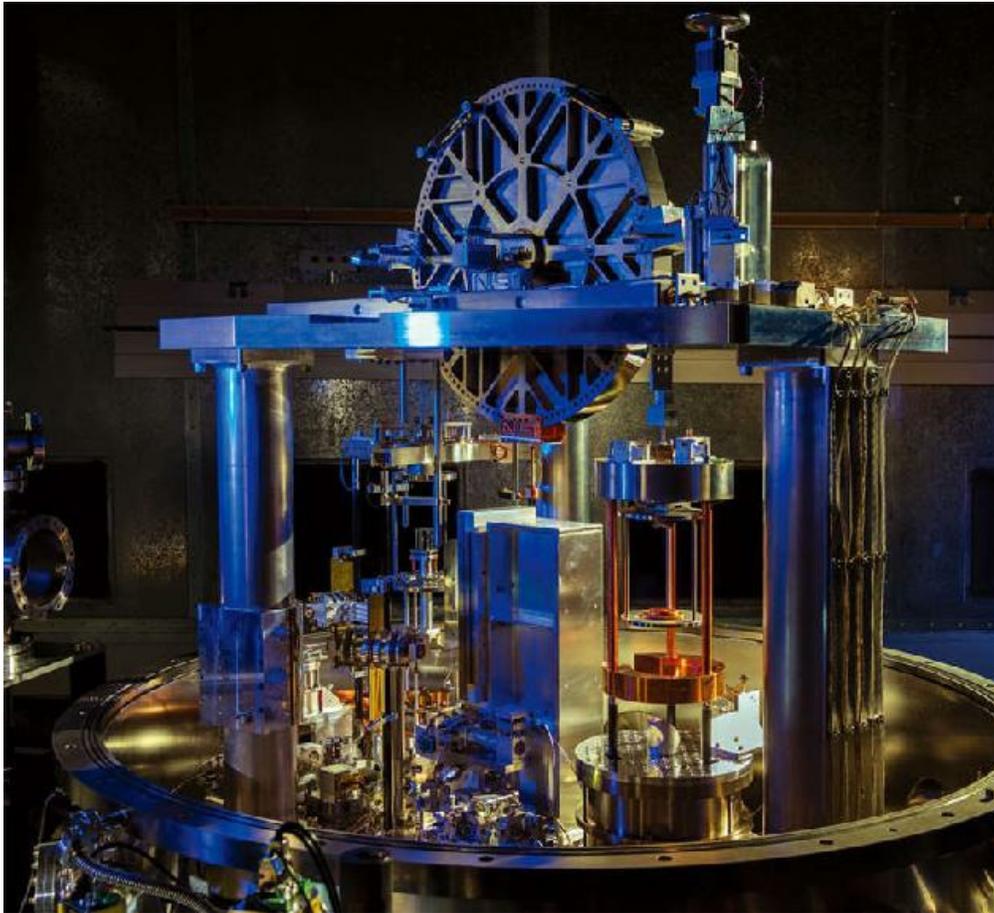
The Inflation Debate. Paul J.Steinhardt;April 2011.

# MASS HYSTERIA

# 用普朗克常数定义千克

随着制造于19世纪的国际千克原器日渐失准，基于物理学常数的千克新定义即将出台。

撰文 蒂姆·福尔杰（Tim Folger） 翻译 庞玮



图中所示为美国国家标准技术研究所编号为NIST-4的基布尔秤，它可将电学量与力学量进行比较。基布尔秤不仅异常复杂而且是千克重新定义的关键所在。

摄影：理查德·巴恩斯（Richard Barnes）



蒂姆·福尔杰经常为美国《国家地理》、《发现》和其他刊物撰写文章。他还是《美国最佳科学和自然作品选》编辑，该选集由Houghton Mifflin Harcourt逐年出版。

## 精彩速览

自1889年以来，全世界的千克定义基准都是保存在巴黎秘密地室内一个铂-铱合金圆柱体。这是最后一个依赖于物理实体的测量单位。

但千克之源本身的质量正在变小，这促使国际度量衡大会于2011年决定将千克和量子力学常数挂钩，进行重新定义。

重新定义过程涉及5个国家度量实验室和自然科学界最为复杂困难的测量，在2017年，这些工作已经进入了最后阶段。

**2016年4月**的一个下午，走向华盛顿杜勒斯国际机场安检处的乔恩·普拉特（Jon Pratt）有些心神不宁。他的相机包里塞了四个金属圆柱体，铁定会被警惕的美国国土安全部交通安全管理局的检查员们翻来覆去查个够。这些圆柱体每个都刚好重1千克，其中银光闪闪的那个由铂-铱合金制成，价值超过4万美元（铂目前的价格在每金衡盎司1000美元上下浮动，金衡盎司是一种称量贵金属的常用单位，等于31.1034768克），其他三个则是由不锈钢精心制作而成。

普拉特的任务是，将这些圆柱体安全地交给在巴黎郊区的同事，而且不能让任何人碰到它们。

普拉特持有美国国家标准技术研究所（National Institute of

Standards and Technology, 简称NIST)的法律文件,意在帮他通过安检。这些文件说明他携带了四个美国标准千克原器,即全美国质量称量的参照基准,而且特别声明这些千克原器不应被触碰也不能从保护容器中取出。

身材修长的普拉特曾是个朋克摇滚乐手,现在他管理着NIST设在马里兰州盖瑟斯堡的量子测量分部。“交通安全管理局的那家伙一开始折腾了我一番,”普拉特说,“但接着他读了所有书面文件,这个很酷的东西让他开心不已。”几分钟之后,被放行的普拉特就登上了航班,开始了7小时的巴黎之旅,但接着难题又来了,如果他需要起身离开座位,那该把这价值连城的包放哪呢,要像同事此前建议的那样,无时无刻不离身吗?“我承认我去洗手间时把包塞在前面的座椅下了,”普拉特继续回忆,“所以有那么一小会我没盯着它,也许已经有人开打包把这些千克原器统统摸过一番了。”

此前,他们已经花费数月之久,将这些千克原器的质量准确测量到只有百万分之几的误差,现在任何触碰都会使这些努力付之东流。普拉特将前往赛弗尔,一座与巴黎隔着塞纳河相望的小城,把这些圆柱体送到位于该城的国际度量衡局(International Bureau of Weights and Measures, BIPM)。几个月后,计量专家会在那里,拿它们以及来自其他三个国家的、一模一样的圆柱体,与德国国家计量实验室制作的高纯度硅千克球进行比较。这是全世界质量测量方式历史性转变的最后一步。

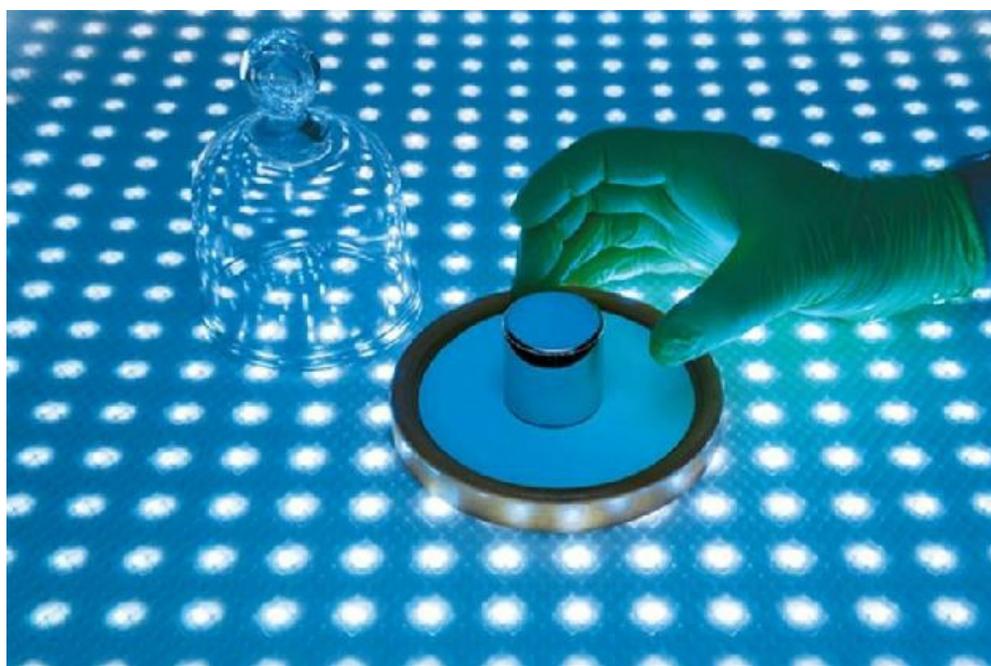
自1889年,埃菲尔铁塔建成的那一年起,千克就一直是保存在国际度量衡局总部地下室,罩有三层玻璃钟罩的铂-铱合金圆柱体定义的。这个所谓的国际千克原器(The International Prototype Kilogram),简称IPK或大K(Le Grand K),是所有国家质量标准之源。在所有基本单位中,千克最为特殊,它是最后一个还依赖物理实体进行定义的单位,但历史即将翻开新的篇章。到2018年底,国际千克原器将被弃用,千克将会基于普朗克常数重新定义,后者是来自量子物理的一个常数,与单个光量子或者说光子所携带的能量有关。

为何要抛弃国际千克原器?虽然多年来计量专家一直想用某个宇宙基本常数取代一坨小心翼翼从维多利亚时代(通常被定义为1837年-1901年)保存下来的金属,从而提高国际质量标准的精度和可靠程

度，但还有更迫切的原因促使人们做出改变：大K的质量似乎一直在减轻。大概每隔30年，计量专家都会从地下室取出大K，进行清洁，并与其他六个官方副本进行比较，后者又被称为temoins，意为“证人”，它们也保存在同一地下室内。1889年，头两个副本与大K进行比较时，质量都与其相符。但第二次世界大战之后和1992年的两次测量都显示副本比大K略重。很明显，国际千克原器的质量不变而两个副本的质量都同时增加的可能性很低，因此一个更为可能的解释是，“我们可以认为是国际千克原器在丢失质量，”国际度量衡局主任迈克尔·斯托克（Michael Stock）说。由此带来的不确定性也正是国际度量衡大会（度量衡局的管理机构）于2011年决定建立新质量标准的动因。

没人知晓为何大K会丢失质量，它金贵到了不能接受任何测试的程度，所以没法弄清楚原因。这个疑案导致了一些现实问题，随着过去几十年的技术进步，在分子水平上对质量的精确测量已成为工业领域的家常便饭。“在测量微克级别物体的质量时，我们会想要精确到小数点后三位，”普拉特解释道，“但如果用人造千克原器作为标准的话，在小尺度上误差就会非常大。”

大K的缺点不仅限制了对质量的测量。力和能量的单位归根结底也都是根据它定义，因此，“国际千克原器的变化甚至会导致基本常数的变化，”斯托克评论到，“这太荒唐了。”



K20是美国国家千克原器，目前正在法国巴黎用国际千克原器进行校准。千克重新定义后，美国计量学家就可以在国内用NIST-4对其进行校准。

## 新标准

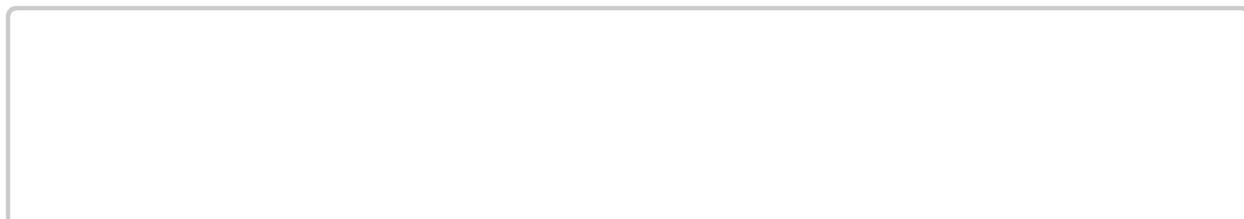
千克是国际单位制的7个基本单位中最近一个被更新的，但绝不是最后一个。国际单位制（International System of Units），简称SI，基本单位包括：米、安培（电流单位）、秒、坎德拉（光源的内禀亮度单位）、摩尔（把物质的质量与构成该物质的原子数关联起来）和开尔文（温度单位）。

上述7个单位中，有两个已经在几十年前重新定义过了。1983年，米的定义由一根与大K保存在同一处的铂-铱合金棒上两条刻度线的间距，改为光在 $1/299792458$ 秒内传播的距离。而随着20世纪60年代高精度原子钟的出现，秒的定义也从一天的若干分之一，修改成了以铯原子发出的微波辐射的某个特定频率为基准。按照计划，摩尔、开尔文和安培的定义也都将于2018年进行全面修订。

安培目前的状况特别奇怪，它的标准定义需要两根无限长的一维无质量导线，如此理想的情况完全无法在实验室中实现。这种状况到2018年就会改变，届时将改用电子电荷定义安培。这完全得益于纳米器件的发展，让我们有能力对导线中流动的电荷进行逐一计数。

“如果放眼下一次更新，其中也许会包括基于量子力学定义的坎德拉，还有用光学而非微波定义的秒，”加拿大首席计量学家阿兰·斯蒂尔（Alan Steele）猜测，“但这起码都是15年之后的事了，说不定还要更久。”

计量学家在努力制定一套不受狭隘的地球观念束缚、真正普适的测量系统，在这个过程中，千克的重新定义处于中心地位。原则上，新的单位将对宇宙中任何地方的智慧生物都适用，无论在地球上还是在仙女星系之中。对计量学家而言，这是最好的时代。斯蒂尔说：“这是一生一次的机会。上一次我们这样触及根本还是在重新定义米的时候。要我说，眼下是首席计量学家的黄金时代。这当然不像保卫世界和平之类的那么伟大，但已经非常美妙了。”



基本单位

## 测量之变

国际单位制 (SI)，又名米制或公制，建立在7个基本单位之上（另外22个单位都由这7个导出）。2018年国际度量衡委员会预计将重新定义大多数基本单位，这是自1960年以来最大的一次变动。这次更新会将7个基本单位与不变的自然常数联系起来。米、秒和坎德拉基本上维持不变，其他4个基本单位则会彻底更新。

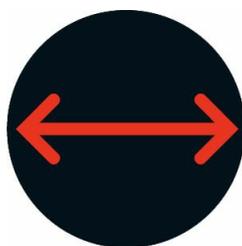
### 目前已由物理常数来定义的单位

---

单位：米  
缩写：m  
测量：长度

目前定义（1983年确立）：  
真空中的光在1/299792458秒内所传播的距离。

历史回顾：  
法国科学院1791年提出公制单位系统时，米被定义为1/4个地球周长的一千万分之一，地球周长则由通过巴黎和地球南北极的经圈来确



---

单位：秒  
缩写：s  
测量：时间

目前定义  
（1967年确立）：  
1秒是铯133原子基态的两个超精细能级间跃迁对应辐射的9192631770个周期的持续时间。

历史回顾：

最初定义是大家熟悉的“平太阳日”的 $1/86400$ ，平太阳日指地球相对太阳自转一周所需的时间。随着高精度铯原子钟的诞生，国际度量衡委员会在1967年给予秒目前这个与量子力学相关的定义。



---

单位：坎德拉

缩写：cd

测量：发光强度

目前定义

（1979年确立）：

若一频率为 $540 \times 10^{12}$ 赫兹的单色辐射光源，在某方向上的辐射强度为 $1/683$ 瓦特每球面度（国际单位制中立体角的单位），则在此方向上的发光强度为1坎德拉。

历史回顾：

20世纪早期，美国、法国和英国曾用碳丝灯的发光强度来定义坎德拉。1933年，计量学家基于黑体辐射改进了定义的精度，1948年该定义被接受，之后又替换成当前定义。



有待重新定义的单位

---

单位：千克  
缩写：kg  
测量：质量

#### 目前定义

（1889年确立）：  
目前千克仍以国际千克原器为基准进行定义，这个铂-铱合金圆柱体藏于巴黎某个密室。

#### 新定义提案：

如果进展顺利，千克将于2018年用普朗克常数重新定义，后者是量子理论中用于描述单个光量子或称光子所携带能量的基本常数。



---

单位：安培  
缩写：A  
测量：电流

#### 目前定义

（1946年确立）：  
安培当前的定义涉及“两根无限长、忽略横截面积的导线??在真空中相距1米平行放置”这种在实验室中无法精确重复的操作。

#### 新定义提案：

安培将用单个质子所携带的电荷量（这一基本常数被称为基本电荷）来定义。



---

单位：开尔文

缩写：K

测量：温度

目前定义

（1967年确立）：

今天1开尔文等于“水三相点温度的1/273.16”，在此特定温度和压强下，水的气、固、液三态可以共存。

新定义提案：

开尔文以玻尔兹曼常数为定义基础，后者将一个气体分子的平均动能与其绝对温度联系起来。该定义将提高对极端低温和极端高温的测量精度。



---

单位：摩尔

缩写：mol

测量：物质的量

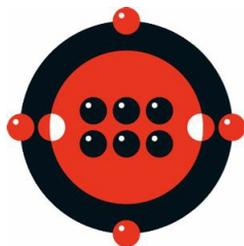
目前定义

（1971年确立）：

1摩尔是所含基本微粒个数与0.012千克碳12的原子数相等的系统中物质的量。

新定义提案：

摩尔与千克之间的联系将会被切断，计量学家将会把阿伏伽德罗常数的数值确定下来，根据它来定义这个单位。阿伏伽德罗常数是1摩尔物质中分子、原子或其他离散物质微粒的个数。



## 地下密室

大K并非第一个标准千克原器。它的前任制作于法国大革命期间，与公制（即米制）一同诞生。在大革命之前，几乎全法国的重量和长度测量都以地方习惯为准，十里不同尺，隔镇不同权，全国充斥着超过700种不同测量单位。例如，toise等价于英国的寻（fathom），即一个成年男子平伸两臂所张开的距离。但是巴黎的toise（等于72pouces）可能就跟马赛所用的不同。当时法国人所称的智者（Savant），也即科学家们，开始创造一套新的系统来结束这种混乱，正如当时一块铭牌上所记载的那样，它应当“适用于万民万世”。

“1791年时，科学家的想法是标准应当基于自然和不变的现象。”理查德·戴维斯（Richard Davis）说道，他是度量衡局质量分部前主任，大K正由该分部保管。“我们仍在这么做，”他说。区别是，今天的计量学家要利用真正不变的自然常数。

说这话的时候，我们正坐在斯托克的办公室里。这间屋子在布勒特伊宫内，这是一座建造于17世纪的优雅建筑，坐落在圣克卢国家公园一座俯览塞纳河的碧绿山丘之上，此处曾一度是法国皇室狩猎保留地，玛丽王后（Marie Antoinette）的玫瑰园至今还被细心照料着。自1875年17个国家签订米制公约（Meter Convention）以来，布勒特伊宫一直都是国际度量衡局的总部所在。

“你早晨从桥上来赛弗尔时，注意到左手边的那个小岛了吗？”戴维斯问道。他接着介绍说，在二战期间，这个小岛上曾有间为德军生产坦

克的雷诺工厂，美国人对它进行了持续轰炸，在其中一枚炸弹撼动了布勒特伊宫之后，大K被放进了一个特制的防震箱中。尽管“证人”们在大战之初就已经被疏散到法国银行的地下金库中，但米制公约规定，大K必须保存在度量衡局总部。

战后的1946年，人们把大K从地下室取出进行清洁，并与六个副本比较时发现，它比副本轻了30微克。45年之后再次清洁时，上述质量差增至50微克，大约有一片苍蝇翅膀那么重。

“50微克的变化，历时一个世纪，”斯托克一边给我们看他办公室电脑上的质量变化图，一边感叹道，“你能看出变化有多细微。”按照他的说法，这样的质量差异目前不会带来任何实际问题，“但如果继续下去，迟早会有麻烦。”

在纳米技术领域，50微克可以说重于泰山了。不仅如此，千克质量的不确定性会波及一连串基本常数：公制中力的单位牛顿，定义中就包含千克，而牛顿则进一步定义了焦耳——能量的单位，焦耳又定义了瓦特，如此这般牵连不绝。最终任何一个小问题都将撼动我们对几乎整个物理世界的测量。

清洁大K并用副本校准并不是常规任务，毕竟自1889年至今也仅有四次。首先大K需要被从地下室取出，这需要三人同时在场，自上而下依次打开地下室门上的三把锁，在地下室内是一个配有密码锁的大型保险柜，里面就是安坐在三重钟形玻璃罩下的大K。保险柜里还同时存有六个副本。世界上只有三个人有地下室的钥匙：度量衡局主任、巴黎国家档案馆主任，还有国际度量衡委员会（CIPM）主席，他是度量衡局的监管者。由于三把钥匙都不相同，所以开启地下室需要三人同时在场。

“米制公约1875年签订以来，我是国际度量衡委员会选出的第二位非欧洲人主席，”来自澳大利亚的工程师巴里·英格利斯（Barry Inglis）介绍说，“我曾经问过，如果我回家途中飞机掉到印度洋里去了他们该怎么办，不过我相信应该有锁匠略施小计就能把那把旧锁打开。”

度量衡局的大多数工作人员都无缘得见大K，而且谣传它的官方照片实际上并非本尊。“我见过一次。”从1987年就开始在这工作的苏珊·皮卡尔（Susanne Picard）说。三把钥匙的保管者每年打开一次地下室检

查大K，但不会碰它，只是确保它还完好无损地待在那。

在进入了放置大K的圣所之后，一位技术人员会用麂皮包覆的钳子夹起那个闪亮的圆柱，移送到清洁台上，然后用蘸了酒精和乙醚的软麂皮擦拭，接着用经过两次蒸馏的纯水冲洗，最后用氮气吹干所有残留的水滴。整个过程耗时约一小时。国际度量衡局在测试样品上尝试过各种清洁方法，比如用紫外线照射，但这些方法实际上会让合金变得过于干净。“那些方法看似能比我们的方法清除更多的灰尘，但太干净会增强金属表面的反应活性，从而使质量变得不稳定。”斯托克解释说。这会使得大K作为标准的可靠性降低，所以国际度量衡局仍保留了传统的麂皮擦拭和水浴法。

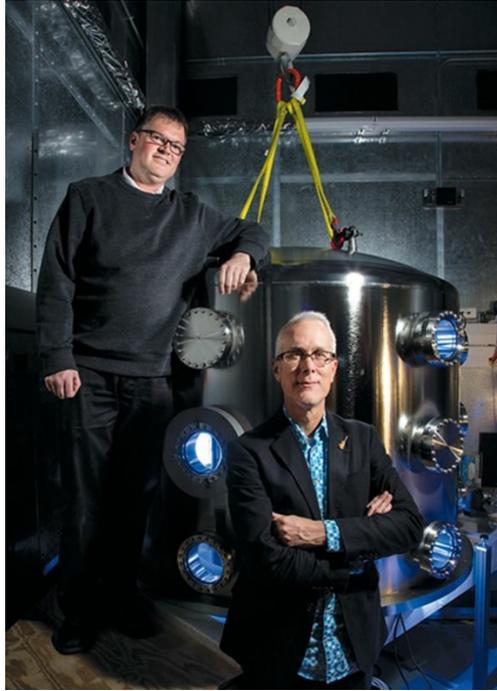
沐浴之后，大K和“证人”们会被送至一间洁净的房间，放在一台名为质量比较仪的设备上，这台价值50万美元的装置能测量出低至1微克的质量差。质量比较仪加上10个所谓的工作标准千克是国际度量衡局质量分部的“全勤员工”，它们用于绝大多数日常校准，而大K及其副本几十年才出马一次，为各国校准国家千克原器。

在与戴维斯和斯托克交谈的尾声，知道自己绝无可能一睹大K圣颜的我问他们能否在门外看一眼地下室。他们立刻大笑起来，头摇得像拨浪鼓：“不行，不行，不行，不行！”

“你不是第一个这么问的，”戴维斯说道。

“那它确实就藏在此处吧？”我还不死心。

“当然，”戴维斯安慰我道，“众所周知。”



计量学家斯蒂芬·施拉米格和乔恩·普拉特与NIST-4的合影，图中只拍到了重逾450千克的真空仓。

## 高难度测量

很快大K就只有历史意义了，新的国际标准将根据普朗克常数重新定义千克。普朗克常数包含能量和时间单位，运用质能方程 $E=mc^2$ 就可以用质量来表示它。像万有引力常数 $G$ 一样，普朗克常数虽源自理论，但其数值只能通过实验来确定，而且随着仪器的不断改进，我们对自然常数测量精度也在不断提高。

为了完成向量子标准的转变，国际度量衡局采取了两步走的战略。首先，5个国家的国家计量实验室会确定普朗克常数的一个准确数值，并以该数值为单位测量各自国家的千克原器，比较测量结果。这项测试已与2016年秋天完成。假设预计于2017年年初得到的结果令人满意，实验参与者将逆向操作，用各自国家的千克原器对普朗克常数的测量进行精细调节，所得新的普朗克常数将最终用于重新定义千克。

上述大部分工作都需要使用一种名为基布尔秤（Kibble balance）的极为复杂的装置。基布尔秤此前又被称为瓦特秤（Watt balance），为了纪念2016年去世的该装置的发明者——英国物理学家布赖恩·基布尔

（Bryan Kibble），计量学家决定重新为其命名。基布尔秤实验非常难做，以至于2012年《自然》（Nature）将其列为物理学界正在进行的最困难的五个实验之一，位列寻找希格斯玻色子和探测引力波之后。

2016年5月的一天，NIST的斯蒂芬·施拉米格（Stephan Schlamminger）开车把我带到研究所的一栋两层小楼前，这栋楼位于占地235公顷绿意盎然的园区边缘，里面放着NIST两台基布尔秤中较老的那个，自从2014年新的那台建成后，它基本上就处于闲置状态。“这里有些像草原小屋。”施拉米格一边停车一边打趣。此前NIST大多数普朗克常数的测量都是在这里进行的，新的那台将接手它的工作。

一进门，所有乡村气息顿时消失不见。房间里的景象犹如蒸汽朋克小说的插图，墙壁全由铜包裹起来，一直延伸到二楼天花板。“再看看这些设备，”施拉米格提醒我，“全是黄铜做的，没有一点铁。”铜和黄铜将室外磁场完全屏蔽，保证室内仪器不受干扰。但室内产生的磁场其实强到可以将你身上的磁卡消磁，在一楼一个房间正中立着一台高大的支撑架，底部是一块超导电磁铁，运行时通过液氦进行冷却。

基布尔秤的关键部分位于二楼，一个半米直径的铝轮竖直挺立，秤盘由金属线悬挂在轮缘两侧。测量时，一个秤盘上承放1千克质量，盘下用三根4米长的绝缘棒悬挂着一个线圈，另一边的秤盘上则放着配重和一个电动机。要想获得将质量和普朗克常数联系起来的方程中的所有数值，基布尔秤需要在两种不同的工作模式间切换。在“称量模式”中，测试质量所受的引力被下面悬挂线圈中电流产生的磁场完全抵消。而在“速度模式”中，测试质量被移除，悬挂线圈被另一个秤盘中的电动机向上牵引，在底部超导电磁铁产生的磁场中匀速上升，进而在线圈中产生一个感应电压。

称量模式中测出的励磁电流和速度模式中测出的感应电压最终被代入将电流、电压以及电阻和普朗克常数联系起来的量子力学方程中。简而言之，从1千克质量出发，基布尔秤最终可以确定一个普朗克常数。有了这个准确的普朗克常数，就可以用基布尔秤来称量质量，无需再借助任何物理实体。

为了获得精确的测量结果，施拉米格及其同事需要考虑当地气压和引力的波动。地轴进动和潮汐的影响也必须考虑进来。“如果你忽略潮

汐的影响，”施拉米格解释道，“就会产生大约百万分之0.1的误差。”抛开其复杂程度，在施拉米格眼中，这台仪器像是来自过去某个时代，他带领小组测量普朗克常数时，一个个阀门按照严谨的顺序依次打开和关闭，充满液氦的容器内的压力也需要时刻监控，“你会感觉像是在驱动一台蒸汽机，”施拉米格继续说道，“但其实你是在进行量子力学测量！”



德国国家计量实验室制作的高纯度硅千克球，要拿来和几个国家的千克原器进行比较。  
图片来源：德国国家计量实验室

## 再见了，大K

后继发展则取决于2016年测试的结果。5个参与国的计量实验室必须要有3个实验室得到的结果相差在50微克之内——也就是目前大K质量的不确定度。先期研究结果公布之后，重新定义工作才会正式进行。

如果一切顺利，千克将会由普朗克常数定义。国际度量衡局已经为重新定义立下了严格的规矩：不仅所有普朗克常数的测量结果之间相差

必须小于亿分之五，而且至少有一个结果的误差必须小于亿分之二。加拿大国家计量实验室已经达到了后一个要求。要想让新的定义在2018年生效，那么所有新的普朗克常数测量结果必须在2017年7月1日之前公开发表。

届时大K将何去何从？它将继续保存在现在的地下室内。考虑到基布尔秤的复杂程度，我们可能还需继续仰仗千克原器。世界各国的计量实验室不会经常进行艰难的基布尔秤测量，在未来数十年内它们还是会采用新的一批千克原器进行日常校准工作。新的千克原器已经在国际度量衡局进行制作，但它们将会用基布尔秤来进行校准，而不是用大K。

故事结束了吗？我们现在是否有了一个适用于“万民万世”的千克标准？斯多克对此持保留态度。

“在我之前的一位主任，诺贝尔奖得主夏尔·爱德华·纪尧姆（Charlesédouard Guillaume）认为目前的千克定义可以用1万年，”斯多克说，“这显然过于乐观了。我不确定这会不会是最后一次重新定义千克，但新定义应该足以用上一段时间，不过或许撑不了1万年。”

## 扩展阅读

The Measure of All Things: The Seven-Year Odyssey and Hidden Error That Transformed the World. Ken Alder. Free Press, 2002.

Frontier Experiments: Tough Science. Nicola Jones in Nature, Vol. 481, pages 14 – 17; January 5, 2012. [www.nature.com/news/frontier-experiments-tough-science-1.9723](http://www.nature.com/news/frontier-experiments-tough-science-1.9723)

How to Build Your NIST D.I.Y. Watt Balance. Video. National Institute of Standards and Technology, August 26, 2015. [www.youtube.com/watch?v=oST\\_krdqLPQ](http://www.youtube.com/watch?v=oST_krdqLPQ)

Atlas Obscura Web page on the last original meter in Paris: [www.atlasobscura.com/places/the-last-original-standard-metre](http://www.atlasobscura.com/places/the-last-original-standard-metre) Weighty Matters. Ian Robinson; December 2006.

# high- flying microbes

# 无人机编队追踪病原体

研究人员利用无人机和混沌理论，探究微生物如何在全球传播。

撰文 戴维·施马勒（David Schmale）沙恩·罗斯（Shane Ross） 翻译 刘卓 摄影 亚当·尤因（Adam Ewing）



起飞：在美国弗吉尼亚州布莱克斯堡附近的一片空旷草地上，研究人员正在放飞配有采样装置的无人机。

戴维·施马勒是美国弗吉尼亚理工大学植物病理学、生理学及杂草科学系教授。



沙恩·罗斯是美国弗吉尼亚理工大学生物医学工程和力学系副教授，主要从事动力系统和流体动力学研究。



## 精彩速览

赤霉病（简称FHB）是分布最为广泛的农作物毁灭性病害之一，主要影响大麦、燕麦和其他小粒谷物。在气候变化的背景下，该病害正向全球其他地区蔓延。

由于引起赤霉病的真菌能通过空气传播，本文的两位作者决定利用无人机，并进行复杂的数学模拟计算，以确定这种病原体到底能传播多远。最新研究表明，这些微生物能借助多种天气系统，以复杂多变的轨迹，传播数十甚至数百千米。

通过监测植物病原体传播，并制定有效的对策，或许可以帮助农民保护他们的作物。

我们周围的空气中充满了微生物，每一次呼吸，我们都会吸入成千上万的细菌、病毒和真菌。大约150年前，科学家就已经知道，空气中的一些微生物会导致植物、家畜和人患病。最近的一项研究还表明，微生物可以通过提高水的凝固点和引发降水来影响天气。更为神奇的是，一些微生物会随着气流漂洋过海。目前，科研人员正试图利用新工具和新技术，搞清楚这些微生物的起源地在哪里、它们是如何传播的，以及在传播过程中会对环境产生怎样的影响。

十多年前，我们两人就开始追踪一部分病原体，特别是那些对农作

物有害、会使农作物生病（如枯萎病和霉菌中毒），进而每年给全球造成数十亿经济损失的病原体。为此，我们进行了分工，一人（施马勒）负责病原体的空气生物学研究；一人（罗斯）负责开发数学模型，描述和预测气流近距离及远距离运动的轨迹。我们从2006年开始合作，追踪植物病原体，探究其如何在农田、地区和大陆之间传播。

为了达到上述目标，我们部署了一支无人机编队，并配备了采样装置，用来收集和分析低层大气中的微生物（这也是我们研究的亮点）。结果显示，每次采样都会检测到很多有趣的生物体——其中有很多都是没有被充分研究过或前所未闻的。我们不仅开发出了新工具，能更好地追踪微生物在大气中的远距离传播，还提出了一些新的假说，比如微生物能够借助风传播多远，以及它们如何诱发雨、雪和其他形式的降水。

我们的工作或许能给农业部官员带来便利。他们可以利用我们的模型，监控大气中那些会引发农作物疾病的微生物，预测它们的传播轨迹，进而作出决策——哪些农田需要救治，哪些农田需要隔离。这些信息对农民也有用，他们可以藉此决定，在地里种哪种农作物，以及什么时候喷药能最大程度地保护农田。在这些微生物中，我们重点关注了一种名为禾谷镰刀菌（*Fusarium graminearum*）的真菌。过去几十年中，禾谷镰刀菌传播的范围和速度均有上升，其部分原因是气候变化和免耕法导致田地中作物残体增加。这种真菌对农作物的感染可持续一年以上，每当农业专家（包括我们）担心，气候变暖可能会严重威胁未来的粮食供给时，我们都会想到禾谷镰刀菌和其他一些真菌，如果它们大规模爆发，就会导致粮食不能食用。



飞行计划：用来研究低层大气中微生物的无人机，携带着特殊改进的培养皿，这些培养皿可以在地面上遥控打开或关闭（左图）。一架无人机按照预定路线飞行（中图）。在空中收集到的一个孢子在实验室内被培养为纯种的镰刀菌菌落（右图）。

## 植物霉菌中毒

致病微生物可能给农业带来毁灭性的损失，这一点很多人并不了解。赤霉病（*fusarium head blight*, FHB）是最严重的植物病害之一，它能使小麦、大麦、燕麦等小粒谷类作物穗部变白，且谷粒中充满一种名叫霉菌毒素的化学物质。当人类和家畜摄入大量霉菌毒素时，会感到恶心，并伴有呕吐。由于含有这些毒素的谷物与健康的谷物很难分开，因此收获的粮食必须经过检测，毒素稍有超标就必须销毁。

镰刀菌有很多种，其中一些会在全球各地引发赤霉病。例如，亚洲镰刀菌（*Fusarium asiaticum*）一直困扰着中国中部地区，最近该病菌开始向北扩展；禾谷镰刀菌（*F.graminearum*）主要分布于美国，20世纪70年代曾肆虐玉米地，并造成大量食用玉米饲料的家猪生病 [也正是该事件导致了脱氧雪腐镰刀菌烯醇（*deoxynivalenol*）的发现，该毒素会使猪呕吐甚至拒食]。由于防控赤霉病费用很高，在美国许多州，种植小麦都越来越无利可图了。

冬天，禾谷镰刀菌会藏进上一年收割后留在地上的作物残体内。到了春天和夏天，它们的子囊壳会在这些残体上发育，并向空气中释放孢子。这些孢子会降落到小麦花药或玉米须上，然后开始萌发生长。就这样，禾谷镰刀菌在植株体内蔓延，最终导致霉菌毒素积累在谷粒里。由于这种植物间的交叉感染，农业推广人员向农民建议：避免在种植玉米和其他易感染赤霉病的品种后，立马种植小麦。

## 试验田上空的试验

我们合作研究的目标之一是探究微生物如何在大气中远距离传播。第一步，我们决定以一块感染的田地为重点，测量禾谷镰刀菌一个白天或夜晚能够传播的距离。

在美国小麦和大麦赤霉病研究计划（U.S.Wheat and Barley Scab Initiative）和弗吉尼亚小粒谷物委员会（Virginia Small Grains Board）的资助下，我们在弗吉尼亚的商业麦田开展了一系列实验。首先，我们从弗吉尼亚州的其他地方分离出禾谷镰刀菌的一个菌株，并标记DNA。这样，我们可以将其与试验田本身存在的菌株相区分。随后，我们用该菌株感染了大约5000平方米的麦秆，并在其周围不同距离处放置了很多培

养皿，以收集镰刀菌的孢子。

一次实验中，我们在试验田1000米之外发现了实验菌株。但是，由于1000米已经是我们研究的极限，这并不能代表孢子能够传播的最远距离。但不管怎样，这个数据表明，镰刀菌孢子传播的距离已经超过了很多研究人员之前的预期。

为了确定实验菌株孢子能遍及的范围，我们决定在试验田上空搜寻微生物，而不是继续在更远的距离放置培养皿。在越高的地方发现孢子，我们越有可能根据气象学家使用的复杂数学公式，来推断孢子理论上能够传播的距离。

为此，我们定制了许多无人机。这些无人机配有独特的采样装置，以便在飞行时收集和分析空气中的微生物。在美国国家科学基金会新兴前沿和动力系统项目（Emerging Frontiers and Dynamical Systems programs of the National Science Foundation）的资助下，我们利用无人机在弗吉尼亚州上空收集标定的那种禾谷镰刀菌孢子。分析结果显示：一些真菌在空中悬浮了数小时之久，该时长已足以使真菌被跨度达数百千米的大尺度天气模式所影响。

进一步调查显示：短暂存在的隐形“空气墙”，在决定真菌能传播多远、何时着陆的过程中，扮演着重要角色。“空气墙”的正式名称为拉格朗日拟序结构（Lagrangian coherent structures, LCSs），当不同气流（或其他流体）相遇或绕过某一障碍物（例如山、飞机机翼等）时，就会显现出来。当微粒与“空气墙”接触时，气流的初始方向和速率决定了这些微粒下一时刻的运动轨迹。根据混沌理论的复杂数学公式和物理学的一个专业分支——非线性动力学，我们可以利用计算机来模拟微粒在空中的运动轨迹。

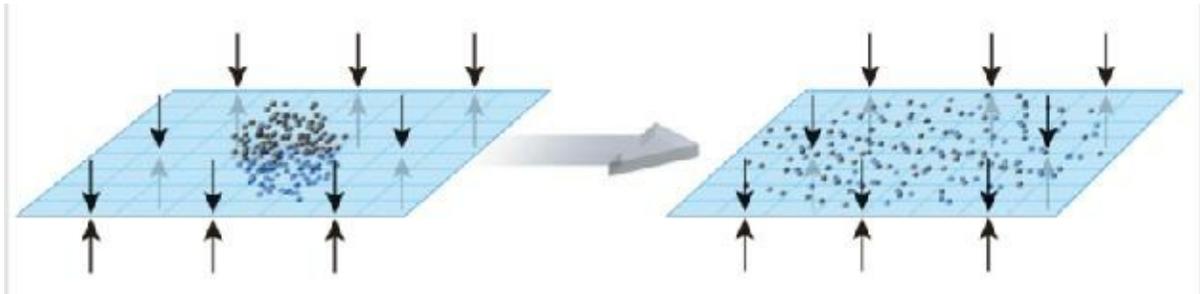
基本原理

## 空气墙

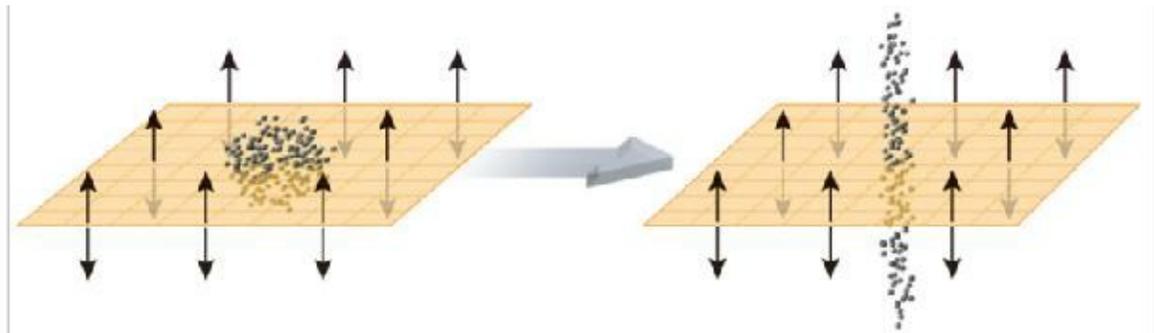
与其他流体类似，空气流动也会形成特定的模式，例如大西洋急流就会受到临时的“空气墙”的影响。“空气墙”也称作拉格朗日拟序结构（简称LCSs），由空气构成。“空气

“空气墙”分为两类：吸引气流（包括气流中含有的微粒）的“空气墙”和排斥气流的“空气墙”（图中分别描绘成了蓝色和橙色）。“空气墙”背后复杂的数学公式决定了当一团微粒（比如真菌孢子）遇到它时，是分布于墙的表面<sup>1</sup>，还是分离于墙的两侧<sup>2</sup>。

### 1 吸引气流的“空气墙”（Attracting LCS）

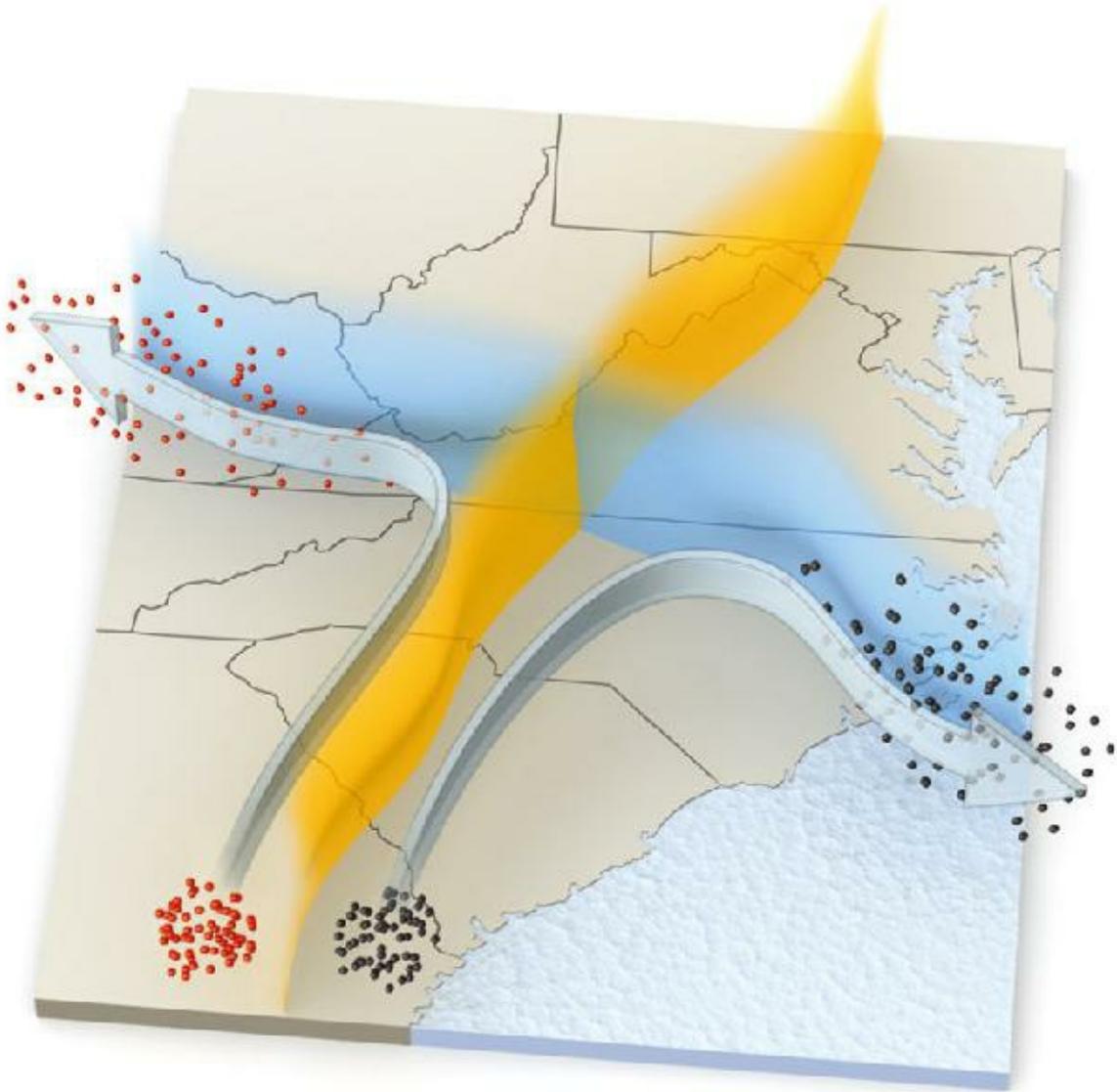


### 2 排斥气流的“空气墙”（Repelling LCS）



## “空气墙”使得气流呈现不同的模式

如下图所示，吸引气流的“空气墙”（蓝色）与排斥气流的“空气墙”（橙色）交叉时，会形成一种特别的气流模式——“鞍点”（saddle point），并导致刚开始距离非常近的两组微粒在鞍点中心分道扬镳，相隔数百英里远。



制图：艾米丽·库帕（Emily Cooper）

就像大家预料的那样，这些短暂存在的“空气墙”驱动着多种天气过程。例如，复杂多变的“空气墙”可以形成、加强或减弱大西洋上空的气流，当飓风经过水面时，气流会增强或者消散。相比于海面，其他小规模界面直接决定了空气中的病原体在经过山谷时，是上升、下落还是盘旋，以及这些病原体为什么降落在某个农场，而不是毗邻的地区。通过在连续的时空范围内跟踪“空气墙”，我们提出了一个假说，可用于帮助推断，当一个特定区域遭遇各种微生物威胁时，这些微生物可能来自

哪里，并去向何方。我们正在不断完善这个假说，以后，农民或许会发现，我们的微生物预报像天气预报一样有用。

镰刀菌真菌只是冰山一角。由于微生物可以在空气中传播，因此对于微生物而言并不存在国界。例如，在20世纪90年代末期，一种具有致命毒性的小麦秆锈菌新种Ug99，从乌干达扩散到了整个非洲大陆，澳大利亚和北美的小麦种植者也十分担心该菌种会借助印度洋和大西洋上空的盛行气流抵达自己的农田。此外，2004年，大豆锈病的病原菌通过南美的飓风“伊万”抵达美国，目前该菌种冬天藏身于美国南部（该菌种在寒冷的冬天无法存活），到了农作物的生长季，它就借助可预测的气流路线传播到美国东北部和中西部。为此，美国农业界联合建立了全美监测网络，密切关注病原体每年的季节性传播。

有趣的是，很多微生物并不能熬过如此漫长的空中旅行。长期暴露在紫外线辐射下，微生物可能会死亡。但是，一些微生物会附着在沙尘上，以此躲避太阳的炙烤。一些科学家[例如来自美国地质调查局的戴尔·格里芬(Dale Griffin)]已经发现了几条全球沙尘运输路线，例如从非洲到欧洲和亚洲的路线，及亚洲到美国的路线等。事实上，每年都有数亿吨的撒哈拉沙尘及附着其上的微生物抵达佛罗里达。除了引发灰蒙蒙的天气，这些灰尘还严重破坏了生态环境。最近的研究表明，引起加勒比海珊瑚病害的部分病原体（特别是导致海扇患病的曲霉病病原体），可能就是“乘”非洲沙尘来的。目前，非洲西北部不断扩大的沙漠化正导致越来越多处于干旱边缘的土地转变为沙漠。这些沙漠将成为大量致病微生物的庇护所，进一步加剧微生物对全球农业的威胁。



**微生物捕手：**罗斯（左）和施马勒（右）研究微生物在空气中的传播路径。

## 微生物能影响天气？

微生物不仅可以通过空气传播疾病，还可能影响陆地、湖泊和海洋上空的某些天气现象。气象学家早就知道，只有当云中形成小冰晶时，才能进一步形成冰雹、雨、雪，并降落到地面。而冰晶周围最终要形成雪花或雨滴，还需满足一些特殊的环境条件，比如存在凝结核（例如煤烟）。凝结核可以提高水的凝固点，使水在较高的温度下也能凝结（没

有凝结核的纯水直到大约-38℃才会凝结)。

1982年，蒙大拿州立大学的戴维·桑兹 (David Sands) 和同事提出了一个假设：除了尘埃等颗粒物，丁香假单胞菌 (*Pseudomonas syringae*) 也可以作为冰晶的凝结核。在随后的研究中，他们提出了一种可能的机制。某些丁香假单胞菌可以在细胞表面分泌一种特殊的蛋白质 (ice-nucleating protein, 冰核蛋白)，进而截获水分子使其形成冰晶。在地面上，这些丁香假单胞菌产生的冰核蛋白可以使植物组织内的水分凝结，从而导致宿主细胞发生冻害。此外，该细菌还可随着上升气流钻进云中。桑兹认为，如果这些细菌产生足够多的冰核蛋白，它们完全可能引发雨雪天气。

不管这个假说是否正确，至少它提供了一个新的思路。桑兹的研究发表后，许多研究人员在雨雪的样本中都发现了丁香假单胞菌。然而，这些微生物究竟是“造雪”能手，还是仅仅附着在雨雪上，还很难证明。不过，对于这一问题，滑雪场经营者似乎并不需要一个确切的答复——在温暖的冬季，大多数经营者都采用含有少量丁香假单胞菌的商业凝结核，来实现人工造雪。

桑兹的假说促使我们开始寻找是否还存在其他能引发降水的微生物。在美国国家科学基金会生物多样性项目 (Dimensions of Biodiversity program of the National Science Foundation) 的支持下，施马勒和同事开展了相关研究，研究结果显示：能促发降水的微生物种类，远比我们想象得要多。在弗吉尼亚州的空气和雨水中，施马勒和鲍里斯·维纳扎 (Boris Vinatzer) 收集了很多不同类型的、可作为凝结核的细菌和真菌。他们还发现，不同种类的微生物，分布的地理位置也不太相同。如果我们对这些微生物的分布规律有更全面的了解，就可以更好地预测天气。或许，我们最终还可以利用这些微生物开发新的工具，从而在干旱地区或遭受旱灾的地方实施人工降雨。

最终，我们希望将水滴中微生物的数据与拉格朗日拟序结构计算相结合，看看在湖泊、河流和海洋上方的空气中，会有什么有趣的现象发生。目前，我们已经开始通过无人机和无人驾驶船在水域附近收集微生物样本。要描述包含微生物的气流与巨浪、狂风或飞溅的雨滴相遇时的情形，需要的数学公式比我们之前尝试的任何计算都要复杂。毫无疑问，我们的研究将揭示微生物全球传播的一种新方式，而且，由于地球

上70%的面积都被水覆盖，它也是一种极为值得我们关注的传播方式。

### 扩展阅读

Mycotoxins in Crops:A Threat to Human and Domestic Animal Health. David G.Schmale III and Gary P.Munkvold in Plant Health Instructor.Pub-lished online 2009. [www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/default.aspx](http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/default.aspx)

Life in the Clouds.Lesley Evans Ogden in BioScience, Vol. 64, No.10, pages 861 – 867;October 2014.

Highways in the Sky:Scales of Atmospheric Transport of Plant Pathogens. David G.Schmale III and Shane D.Ross in Annual Review of Phytopathology, Vol.53,pages 591 – 611;August 2015.

The Surprising Importance of Stratospheric Life. Chelsea Wald in Nautilus, No.37, Chapter 1;June 2,2016. <http://nautil.us/issue/37/currents/the-surpris-ing-importance-of-stratospheric-life>

Walls of Water. Dana Mackenzie;July 2013.

DEEP-SPACE  
**DEAL**  
**BREAKER**

# 宇宙射线破坏神经元

最新研究表明，宇宙辐射对宇航员大脑的伤害可能比我们预想的更加严重。那么，人类还有可能继续太空征程吗？

撰文 查尔斯·L·利莫利（Charles L.Limoli） 翻译 朱毅轩 毛利华 审校 毛利华



制图：克利丝·马尔本（Chris Malbon）



查尔斯·L·利莫利是加利福尼亚大学欧文分校医学院的神经科学家和放射生物学家。他的研究领域是各种癌症治疗方案以及宇宙辐射对认知的损伤。

### 精彩速览

太空旅行一直都充满着危险，但最新研究表明，宇宙辐射对大脑造成的伤害可能比我们预想的更加严重。

科学家将小鼠暴露在带电粒子辐射环境下，模拟宇航员在太空中受到辐射的情景，结果发现小鼠出现了行为衰退和神经损伤。

未来如果能让星际旅行变成现实，我们需要屏蔽辐射效果更好的航天器和太空服，还需要在星际旅行时携带保护大脑免受辐射伤害的药物。

几千年来，人类始终仰望星空，梦想着能进行星际旅行。现在人类已经踏上了月球，住进了太空站，而我们也必将航行得更远，去征服火星和太阳系的其他星球，甚至穿越太阳系进入更遥远的深空。这是人类共同的梦想，也是世界各国航天机构为之努力的目标。

然而，太空旅行充满危险。每一次宇航员离开地球，踏入星际旅程，他们都将面临极度寒冷、缺氧、失重，以及宇宙辐射的伤害。目前看来，这些危险似乎大部分都是可以克服的，只需要解决一些工程学上的问题，再加上星际旅行者挑战困难的大无畏勇气。然而，我和其他科学家的最新研究结果却表明，太空中的宇宙辐射对我们的身体——尤其是脆弱却至关重要的大脑——所产生的伤害，远比我们预想的更加严

重。尽管科学家在几十年前就知道，宇宙中存在辐射，但是直到最近，才有一些证据表明，这些辐射会对大脑产生多么严重和长久的影响。

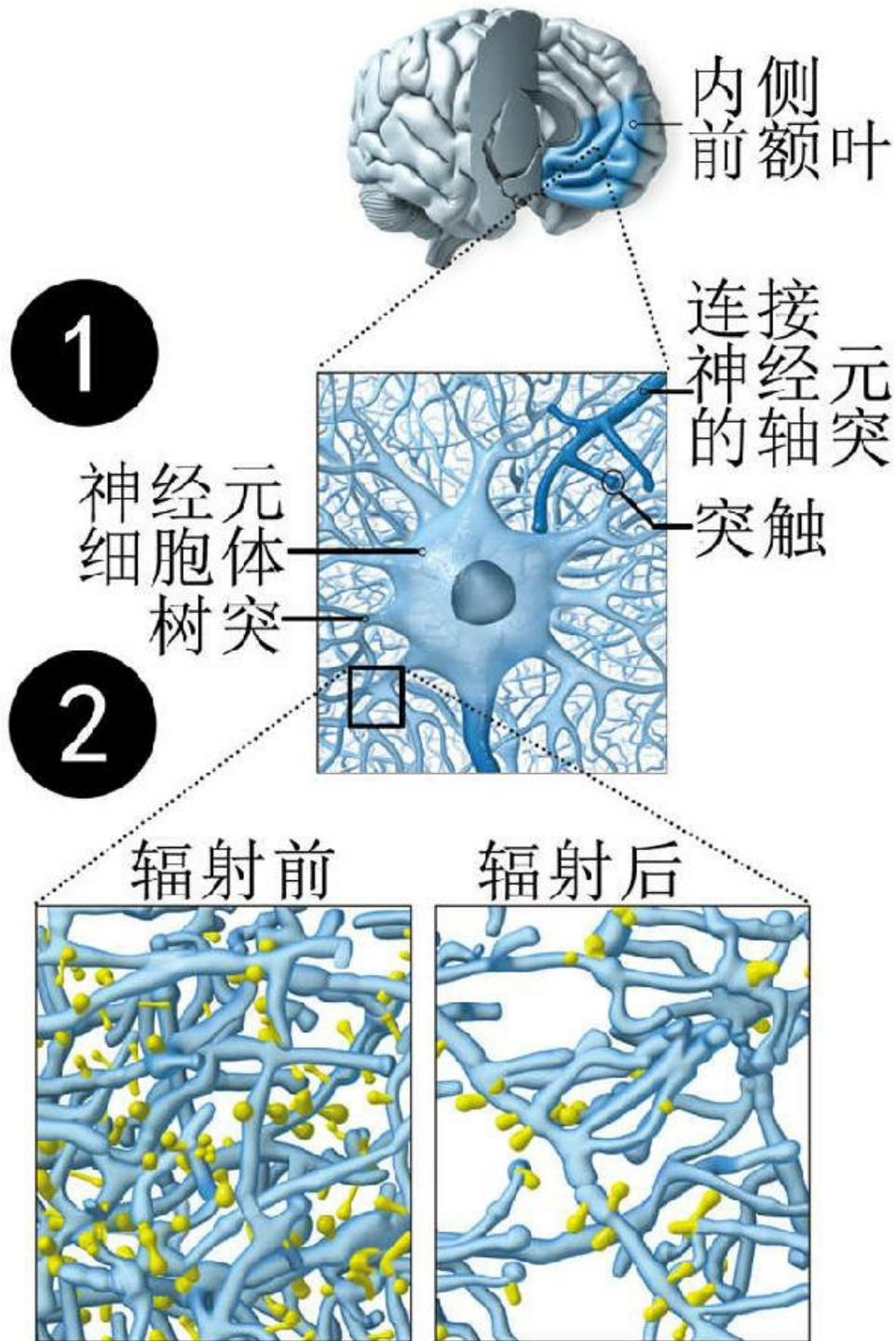
我和同事通过对小鼠进行辐射照射，测量到了辐射对小鼠认知能力造成的显著而持久的伤害，这些结果可能同样也适用于人类，成为影响太空任务能否成功的潜在因素。在低空轨道上运行的国际空间站（International Space Station），仍处于地球大气层边缘之内，所以大部分宇宙辐射都被屏蔽了，但即使如此，宇航员依然面临认知损伤的风险。而在去往火星或者更遥远星空的旅程中，宇宙辐射对宇航员的伤害肯定会更加严重。

目前，在减轻辐射对人体的伤害方面，我们能做的还很少。升级航天器的外壳可以阻挡一些辐射，但在现有材料中却找不到既能增强屏蔽性又足够轻的材料。能减少辐射对人体伤害的药物，也还在初级研发阶段。如果我们不能找到有效的解决方案，人类穿越太阳系探索更遥远星空的梦想，可能将永远无法实现。

研究结果

## 辐射下的大脑

宇宙辐射对宇航员大脑的伤害可能比我们以前想象的更为严重。科学家将小鼠暴露在模拟太空带电粒子辐射的环境下，然后测量它们的行为表现，并且通过脑成像测量它们受到的物理损伤。



1 类太空辐射损害了小鼠大脑中的内侧前额叶（medial prefrontal cortex），它与记忆相关。在这个区域，被称做树突棘（dendritic spine）的神经元突起的大小和数量都相对减少。

2 树突能接收其他神经元传递的化学信号。暴露于30cGy剂量的辐射中8周后，小鼠的树突棘减少了20%到40%（图中黄色），而这种从主树突轴中分离出来的小分支是生物学习和记忆的基础。

数据来源:“What Happens to Your Brain on the Way to Mars,”by Vipin K.Parihar et al., in Science Advances, Vol.1, No.4, Article No.e1400256;May 1, 2015

制图: 艾米丽·库帕 (Emily Cooper)

## 银河宇宙射线

太空看似空无一物，却充满了看不见、摸不着，也感觉不到的宇宙辐射，它们极其危险，会对人体组织造成非常严重的伤害。对宇航员最危险的是银河宇宙射线（Galactic Cosmic Ray, GCR），它们是从死亡恒星产生的超新星遗迹中逸出的带电原子核，以近光速飞行。除了均匀遍布宇宙的银河宇宙射线，太阳也会发出能量高低各异的质子（电离的氢离子）。宇宙中的辐射粒子主要都是这种质子，由于质量较小，相比那些更重的粒子，它们对人类大脑造成的伤害相对轻微。但最重要的是，所有这些粒子都拥有足够的能量，能轻松穿透航天器的船体以及航天员的身体。地球的磁场可以改变大部分宇宙粒子的方向，从而保护地球生物免受伤害，而超出磁气圈的太空旅行，则会让宇航员无可避免地暴露在这些粒子中，并导致身体组织受到伤害。

宇宙辐射之所以会对人体造成伤害，是因为这些粒子穿透人体时，会留下一些自身的能量，“电离”人体组织中的原子，使原本中性的原子释放电子，转变成带电粒子。这些带电粒子会沿着一定的轨道移动，撞击出更多电子，并产生次级的电离轨迹，造成更大的破坏。辐射粒子越重，就拥有更多的能量，并且能够电离更多的原子。

电子的重新分配会使一些原子间的化学键断裂，从而破坏蛋白质、脂质、核酸，以及人体组织和细胞内的其他重要分子。电子的转移会形成自由基，这些自由基因为没有足够的电子填充原子轨道，因此会更加活跃，它们渴望与临近的原子或分子的电子进行配对，以填满原子轨道。因此，这些自由基会和体内其他分子发生反应，将它们转化成新的化合物，从而无法再执行这些分子原本的生理功能。比如，当自由基接触到DNA分子，它们就会分解DNA的糖—磷酸骨架或者破坏核酸碱基。

科学家以“吸收剂量”，也就是每单位人体质量所吸收的由辐射产生的能量，作为测量辐射的指标。吸收剂量的单位是戈瑞（Gray，缩写

Gy)，1Gy表示1焦耳/千克。此外辐射还可以有不同“品质”，指的是每单位剂量所产生的电离密度。科学家依据线性能量传递（Linear Energy Transfer, LET）对辐射进行分类。线性能量传递指的是粒子运动单位距离所损失的能量。举例来说，每单位剂量的高LET辐射会比同等剂量的低LET辐射更危险，因为它会在人体中留下更多能量，从而可以使更多原子电离，对细胞产生的破坏也更难修复。因为在银河宇宙射线中存在的多种辐射都有相对较高的LET，所以这个指标对深空旅行有很重要的意义，我们会在下文详述。

与低质量辐射粒子相比，质量较大的高能辐射粒子穿过人体时，其轨迹内产生的自由基更为密集，造成的电离破坏也更大。

在分子水平上，我们发现纳米尺度的自由基高密区，能在较小体积内对分子造成大量损伤。因此，相比光子辐射（如X射线和伽马射线），较重的带电粒子会导致多得多的“密集”损伤区域。正是因为这种破坏的力度，使得太空辐射比地球上传统的电离辐射更危险。

### 模拟太空辐射场

尽管带电粒子在太空中无处不在，但要在地球上模拟这些辐射场并研究它们的影响却并不容易。只有有限的几个实验室可以模拟太空辐射，美国航空航天局太空辐射实验室（NASA Space Radiation Laboratory）就是其中之一。这是由美国航空航天局和布鲁克海文国家实验室（Brookhaven National Laboratory）在2003年部署于长岛的实验设施。那里的大型粒子加速器可以把不同质量的离子加速到接近太空辐射的速度。包括我在内的实验者把测试目标（我们的实验测试的是小鼠）放在辐射传播路径上，然后测量辐射对目标的影响。这些测试可以告诉我们，不同剂量、不同类型的宇宙辐射对活体组织有何影响。

最近，我们将6个月大的小鼠暴露于低剂量（0.05至0.30Gy）带电粒子（例如氧和钛）的环境下，并测试它们的行为。通过让小鼠完成新奇物体识别（Novel Object Recognition, NOR）和目标定位（Object in Place, OiP）等任务，来评估辐射对它们的记忆和思维的影响。首先，我们让小鼠在一个大约3平方英尺（0.28平方米）的空箱子里自由活动。然后，我们在箱子中放进乐高玩具、橡皮鸭和一些其他玩具，让小鼠在箱子里继续探索。接下来，间隔几分钟、几小时或一天后，我们会

更换一些新的玩具（NOR），或者更改玩具的位置（OiP）。一个健康、聪明的动物会受新奇刺激的吸引，比起旧的玩具或旧的位置，它们会花更多时间去探索新的玩具或者新的位置，而认知受损的小鼠则会花费更少时间探索。这些实验能帮助我们测试小鼠的海马区

（hippocampus，负责记忆和学习）和皮层（cortex，与思考相关）功能是否完好。我们以“鉴别指数”（discrimination index）作为指标来测量动物的表现。鉴别指数的计算公式是，花费在新玩具或者新位置的探索时间，除以新旧两种情况探索的总时间。

我们发现，在NOR以及OiP的实验中，受辐射小鼠的鉴别指数都会大大降低。6周后，吸收剂量分别为5cGy和30cGy（cGy为厘戈瑞，1cGy=0.01Gy）的小鼠的鉴别指数，都降低了近90%。尽管剂量不同，但是小鼠受到的损伤却几乎相同。此外，最近的实验还表明，辐射的影响可以持续12、24甚至52周。我们的实验结果说明，如果宇航员暴露在类似强度的宇宙辐射环境中，他们的决策能力、解决问题的能力以及其他一些关键的认知能力，可能都会受到严重的影响。

### 被“修剪”的神经元树突

在这些行为测试之后，我和同事还研究了那些受辐射小鼠的脑切片成像结果。那些充满能量的带电粒子在穿越大脑时，可能会严重地改变脑内的神经回路，我们希望能观察到一些与小鼠的行为变化相关的特定物理损伤。为了观察到这一点，我们使用了转基因小鼠，它们的大脑中包含一些可以发出荧光的神经元，这些神经元在高分辨率显微镜中能够很容易地被辨识出来。针对特定的脑区，我们收集了一系列不同深度的荧光图像，然后把它们拼接在一起，组成了一个三维的大脑图像。

成像结果表明，神经元中的树突（dendrite）部分发生了显著的变化。树突是神经元上用于接收来自其他神经元化学信号的像手指一样的突起（用来传送信号的另一种突起叫轴突）。我们实验室先前的研究也表明，经10~30天稀疏电离（即低LET）X射线和伽马射线辐射后，树突的长度、面积和分支数量都会明显降低。我们将这种改变统称为树突复杂性的降低，这是一个用于进行树突分支数量对比的关键指标。2015年，我们在《科学进展》（Science Advances）杂志发表的研究也说明了，即使非常低剂量的带电粒子也会引起显著并持久的树突复杂性降低。

此外，这些变化通常发生在一个特殊的与记忆加工相关的脑区，叫做内侧前额叶（**medial prefrontal cortex**）。而基于我们对于小鼠的行为测试的结果，我们怀疑小鼠的内侧前额叶受到了损害，当然这并不是说大脑内其他区域或者其他神经回路没有受损，而是我们的发现表明，将行为研究与脑成像结合在一起，有助将观察到的认知衰退和大脑特定区域的结构变化联系起来。

我们还在原始图像上进行了高分辨率的分析，试图找到大脑内其他结构例如树突棘（**Dendritic Spine**）的变化。树突棘是神经元中从树突主轴伸出的小突起（直径小于1微米），它们使我们能够进行学习和记忆。形象地说，如果树突是树上的树枝，那么树突棘就是树枝上的叶片。树突棘是突触形成的地方，而突触是树突接收其他神经元信号的关键部位。不同形状树突棘分工不同。我们先前使用X射线和质子进行的实验，以及最近使用带电粒子进行的实验都显示，树突棘对辐射有非常高的敏感性。我们发现小鼠的树突棘密度（每单位长度的树突棘数量）在进行短期（10天）和长期（6周）辐射后都会显著降低。这些严重且持久的影响说明，带电粒子可以引发大脑结构变化，减少大脑内突触连接数量，从而降低神经元之间信号传递的能力。

为了进一步研究这些神经元的变化对小鼠行为的影响，我们绘制了小鼠个体行为和树突棘密度的关系图。我们的数据显示，当树突棘密度降低时，小鼠的认知能力也会降低。行为表现最差（也就是探索新奇刺激的行为最少）的小鼠，同时也是树突棘密度最低的小鼠，表明认知损伤至少与树突棘密度降低部分相关。这些数据提供了初步的证据，使我们可以将暴露在宇宙辐射后动物大脑结构的损伤与其负面行为变化联系在一起。

NASA多年来一直怀疑宇宙辐射可能会损害宇航员的认知功能，我们的实验结果帮助证实了这个疑虑。早前的证据大都源于颅脑放射治疗对脑肿瘤患者认知影响的临床文献，但因为宇航员在太空中受到的是不同种类、不同剂量的辐射，科学家认为，用脑肿瘤放射治疗的结果来推断宇航员在太空中受到的影响，可能不合适。临床上，病人的每日辐射剂量一般为2Gy，而在为期360天的星际航程中，宇航员接受到的辐射剂量约为0.48mGy/天（mGy为毫戈瑞，1mGy=0.001Gy），在火星上停留时，宇航员所受的辐射剂量会减半，这是因为行星本身会阻挡来自行星背面的辐射。尽管宇航员往返并在火星上停留一年所受到的辐射剂量

远低于临床治疗使用的辐射剂量，但需要注意的是，用于治疗脑肿瘤的X射线和伽马射线是稀疏电离辐射（低LET），而太空中的带电粒子却是致密电离辐射（高LET），因此，我们不能直接比较接受放疗的癌症患者和太空中的宇航员所受到的辐射影响。

我们的研究提供了一些新证据，证明太空辐射会损害宇航员的大脑，不过，我们也受到了一些质疑。比如，尽管我们在实验中使用的辐射剂量，与宇航员可能受到的宇宙辐射剂量相同，但我们发射辐射的速率和宇航员承受宇宙辐射的速率并不相同。在太空中，宇航员接触辐射的时间通常会持续数月或数年。但因为设备使用时间有限，我们只能将宇航员数月或数年内接触到的剂量，在几分钟内发射出去。这种速率上的差别可能会让人怀疑我们的实验结果，因为质疑者可以假设，当宇航员以更低速率接收相同剂量的辐射时，细胞可能有时间修复并恢复正常。但实际上，因为辐射的总剂量低（换言之，粒子只是偶尔飞过），辐射速率的差异不太可能造成很大的影响。太空粒子中，最值得我们警惕的是高LET辐射（无论它的辐射速率是快还是慢，它对细胞造成的伤害都很难恢复）。另外，动物大脑中的大部分脑区都不太容易产生新的神经元，因此经历大脑损伤后，恢复起来就更为困难。此外，尽管我们的研究是在啮齿动物而非人类身上进行的，但没有证据表明，用实验小鼠的结果来推论宇宙辐射对于人类神经元的影响有什么不妥。

## 研究结果

### 辐射、大脑与太空旅行

撰文 凯莱布·A·沙夫（Caleb A.Scharf） 翻译 廖红艳

地球大气层和地球磁场之外的空间，充斥着电离辐射。科学家虽然早就知道快速运动的辐射粒子对生物健康有害，但一直没有从分子层面搞清楚。

太阳系内主要存在两种宇宙辐射，一种是银河宇宙射线（Galactic Cosmic Rays, CGRs），穿透力极强；另一种是太阳高能粒子（Solar Energetic Particles, SEPs），是太阳日冕层抛射出的物质，虽然以低能质子为主，但数量巨大。

最近的两项研究再次证实了CGRs和SEPs对大脑健康的伤害，并可能引发类似阿尔茨海默病那样的大脑退行性疾病。查尔斯·L·利莫利（Charles L.Limoli，即正文作者）和维庞

· K· 帕里哈 (Vipan K.Parihar) 及同事开展的一项研究, 模拟宇宙辐射场景, 研究了辐射对小鼠造成的多种伤害。实验表明, 接受辐射的小鼠会出现行为退化、神经连接改变 (包括神经连接复杂性及神经形态学方面), 以及大脑炎症。并且, 暴露6个月后, 小鼠仍然会表现出认知障碍, 这意味着人类在接触到辐射后, 也可能出现记忆障碍、焦虑和判断力严重下降等问题。

德国环境健康研究中心的斯蒂芬·J·肯普夫 (Stefan J.Kempf) 和同事则研究了低空及陆地上 (比如空中旅行或医学扫描) 存在的电离辐射情况。通过小鼠实验, 他们也发现了辐射会导致大脑衰变的分子证据, 并且这种分子特征与阿尔茨海默病患者脑中出现的类似。当然, 这并不是说, 空中旅行或医学扫描会使你患上致命的神经退行性疾病, 而是说, 长期生活在强辐射环境下, 大脑会受损。对于要进行星际旅行或住在外星球的宇航员来说, 这肯定是个坏消息。

## 仍然向外太空进发!

想在太阳系遨游, 人类需要克服许多挑战。宇航员需要乘坐比目前体积更大、动力更强的火箭, 才能抵达火星和太阳系的其他星球, 然后他们还需要在抵达目的地后建立营地, 利用当地资源制造水和火箭燃料。而现在, 在挑战清单中还要再加入一项 (也可能是最难克服的), 那就是如何保护我们的星际移民免受宇宙辐射的伤害。

解决这个问题的第一个方案是, 在航天器、营地或宇航服中设置隔离屏障, 在辐射造成伤害前将其屏蔽。科学家目前知道的唯一方法, 是使用非常厚重的材料, 例如铅。这些材料虽然可以屏蔽辐射, 但却不适合太空旅行, 因为它们太重, 发射航天器时需要耗费更多燃料。现在, 科学家正在开发更为先进的屏蔽材料和掩体工程, 以增强航天器某些特定区域的防护能力。在太阳活动强烈的时候, 宇航员可以撤入这些防护性更强的屏蔽区域, 在太空行走甚至睡眠时, 可以穿戴特制的头盔和太空服, 从而最大限度地避免辐射暴露。当然, 我们需要找到超越现有材料的更好的防辐射材料, 才能够做出上述改进。

科学家还希望开发出可以抗辐射的药物和食物, 宇航员可以定期服用或在经历严重辐射暴露后 (例如在严重的太阳风暴后) 服用, 以减轻辐射对大脑的损伤。例如, 抗氧化剂能减轻类太空辐射对小鼠产生的损伤。同时, 研究人员也在研发新的化学药品, 以修复大脑受损回路, 恢复大脑正常功能, 并取得了一些进展。但是这些研究都还停留在初级阶段, 而且没有哪种方案能够解决所有问题。可能最终, 药物也只是能减

少损伤，不能完全消除损伤。我们还需要继续探究宇宙辐射对大脑以及整个身体的影响，这样才能更全面地评估，持续暴露于辐射下，会有怎样的长期与短期的健康风险。

在深空旅行中，相比其他危险，辐射对大脑的伤害往往更容易被忽略。比如，人们可能会更关注辐射诱发癌症的风险，但实际上，这一点相对来说可能并没有那么重要，因为大部分放射性癌症发病周期都很长。而我们的发现却敲响了一个更值得关注的警钟，通过实验，我们已经知道，即使是很少量的宇宙辐射，也可以造成小鼠的神经损伤和认知缺陷，而人类也极有可能会受到相同的影响。

辐射引发的生理变化到底会持续多久，则是另一个值得担忧的问题。目前，科学家还没有发现，宇宙辐射对树突复杂性和树突棘密度造成的损伤有恢复的迹象。尽管下结论说这种改变是永久的，可能还为时过早，但的确没有任何证据表明，受到损伤的神经元能够自行修复。因此，在研究人员找到有助脑组织修复的方法前，我们只能把研究重点放在保护现有的神经回路上。

宇宙辐射只是我们在前往火星或进行更为遥远的深空旅行时，面临的众多艰难险阻之一。虽然在有些人看来，我们的研究还存在争议，但我们的实验结果以及它所揭示的太空旅行的危险性，却足以说明问题。那么，这是否意味着我们将永远被禁锢在地球上？不一定。在人类前进的道路上，我们曾经遇到过无数看似不可逾越、最后却被征服的挑战，宇宙辐射也许是阻碍我们实现太空旅行的一道坎，但我们会欣然接受挑战并攻克它，因为人类的伟大之处正在于此。

---

本文审校 毛利华是北京大学心理与认知科学学院副教授，研究领域为认知神经科学、社会认知、计算机与心理学研究方法。

## 扩展阅读

Space Radiation Risks to the Central Nervous System. Francis A.Cucinotta et al.in Life Sciences in Space Research, Vol.2, pages 54 – 69;July 2014.

What Happens to Your Brain on the Way to Mars. Vipin K.Parihar et al.in Science Advances, Vol.1, No.4, Article No.e1400256;May 2015.

The Biological Effects of Low-Level Ionizing Radiation. Arthur C.Upton;February 1982.

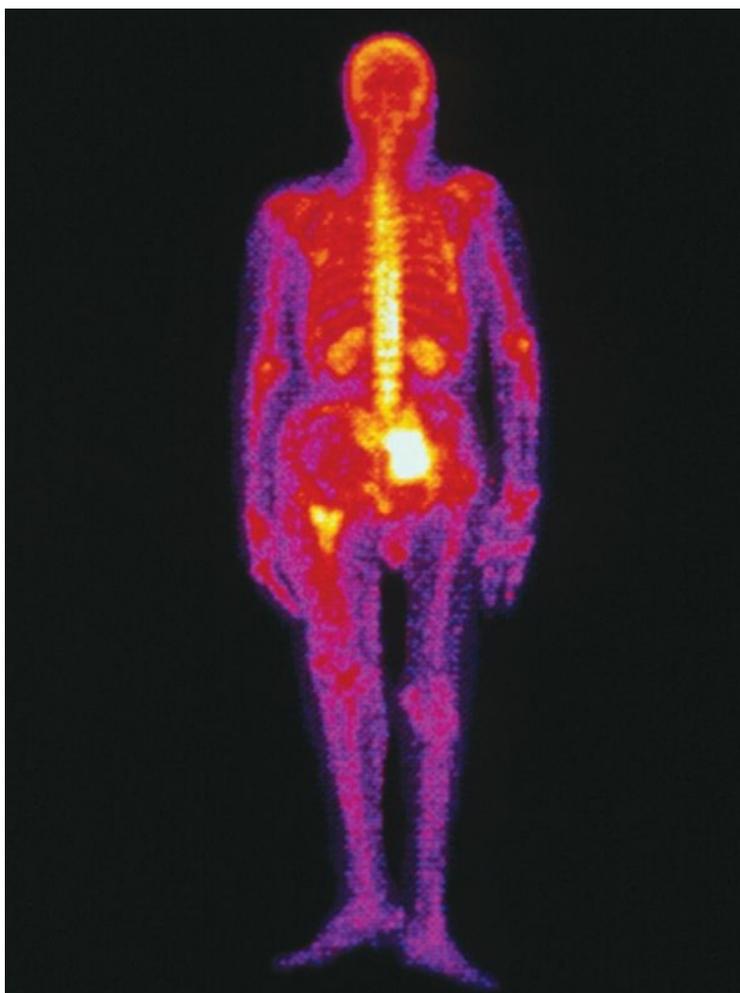




# 缺钨：影像医学危机

只有通过这种罕见的放射性元素，才能给数百万的患者们做精确的扫描和诊断，但是，提供这种元素的反应堆却因老旧不堪，纷纷面临倒闭。

撰文 马克·佩普洛（Mark Peplow） 翻译 祝锦杰



透视：这张照片中，对甲状腺或是骨骼内肿瘤进行扫描的技术依赖于一种名为钨99m的罕见同位素。



马克·佩普洛是一名科学记者，他曾为《科学美国人》写过一篇关于纳米医学技术的文章。

### 精彩速览

铈99m是一种少见的放射性原子，在救死扶伤的医学影像扫描中必不可少。

随着世界范围内老旧核反应堆的关闭潮来临，生产该原子的原料正在日益枯竭。

研究人员正在日以继夜地研发利用粒子加速器生产该原子的新手段，以应对供应不足。

在温哥华中央医院（Vancouver General Hospital）里，一位静脉注射了放射性原子的患者安静地躺在床上，前面的环形扫描仪嗡嗡作响，他被缓缓地送了进去。患者说自己的脚一直疼得厉害，而这台环形扫描仪刚好能够借助注入的放射性元素，为患者脚内的骨骼和软组织拍摄清晰的3D照片。因为患者脚内受伤的位置会流入更多的血液，放射性更强，在最终的图像上，这片区域也会比其他区域更亮。

这种透视技术当然不仅仅是用在脚上。在全球范围内，医用扫描仪每年要执行超过三千万次的扫描，它们会用一种特殊的放射性元素检测心脏损伤后的异常跳动、定位致命的癌症或者扫描中风后伤痕累累的大脑。这种成像技术有一个特殊的名字，叫做单光子发射计算机断层扫描（single-photo emission computed tomography），在它运转时需要依赖一种不太常见的同位素：铈99m。向患者体内注射铈原子就像给医生们打开了一扇窗户，让他们能够准确定位患者体内的损伤和疾病，从而挽救患者的生命。与其他诊断手段相比，患者只需承受非常低辐射剂量就能

得到清晰的影像。

然而，想要继续得到这样清晰的影像却不是一件容易的事。刚刚进入那位患者脚内的放射性原子来自几千千米以外的乔克里弗（Chalk River）核反应堆，它坐落在加拿大安大略省。2016年10月31日，这座颇有年份的反应堆已经不再提供这种同位素的原材料了。从乔克里弗反应堆宣布停产的那一刻起，整个北美地区就无法生产这种极为重要的医学材料了。这还使全球每年钨同位素的产量减少了20%。更麻烦的是，乔克里弗反应堆会在未来几年内彻底关闭，到时候情况会更加严峻。

就在不久前，还有6座研究用的核反应堆为全球提供钨原料（这就是所有的来源了）。然而，其中有4座已经运行了50多年，随时都有可能被关闭。剩下的2座反应堆分别在比利时和荷兰，它们肩负着全球每年一半的钨原料生产任务，而这样的情况也坚持不过10年。虽然在世界范围内已经有新的核反应堆在筹建了，但它们都难以在未来10年内投入使用。2016年9月，美国国家科学院、工程院和医学院联合发布了一份报告，警告未来几年内“注定”要面临全球性钨短缺的问题。

现在，医生们已经坐不住了。“我们每天都离不开这种放射性元素。”埃里克·特科特（Eric Turcotte）说，他是魁北克省舍布鲁克大学的一名核医学专家。放射影像对于骨癌和骨折的诊断非常有效。之前治疗脚痛的那位主治医师就希望通过影像找出患者体内的损伤。另外，这种技术在心脏动脉阻塞检测上的表现也同样出色，所以钨同位素也经常用在胸口出现莫名疼痛或者有其他血管病征的患者身上。虽然也有别的影像学手段可用，但是它们要么在成像质量上比不上钨，要么需要利用更大剂量的辐射，可能会对患者造成更大的危害。渥太华大学心血管中心的心内科专家本杰明·乔（Benjamin Chow）认为，钨同位素的短缺会迫使医生重新采用之前那些不够精确的诊断方式，这或许会增加患者的风险，甚至有的医生可能因此放弃使用影像学诊断病情。

比关闭核反应堆、钨原料产量锐减更糟糕的是，原产地减少后供应链也会十分脆弱。只要经过一天的时间，钨同位素就会完全衰变，所以它们很难留存备用。注射进患者体内的每一针钨都必须从另一种物质中“新鲜榨取”。而这种原材料就是半衰期相对较长的同位素钼（Mo）99。即便如此，钼同位素也必须每隔几天就补给一次。核反应堆减少后，人们甚至需要从相距半个地球的反应堆索取这种材料，让它一路坐

飞机赶到医院。可是，一旦出现天气状况不佳或者航班取消，医院放射科的大夫们都会如临大敌。弗朗索瓦·贝纳德（Francois Bénard）是一名临床科学家，他一脸惆怅地说：“如果机场因故关闭，我们该多无助啊。”

目前医用同位素的产业链还存在另一个问题：核恐怖主义。为了生产钼99，许多反应堆都需要采用武器级的高浓缩铀（highly enriched uranium, HEU）。由于某些危险分子的觊觎，国际社会希望能在2020年前彻底废除使用HEU。但是，改造现有的核反应堆让它们兼容低浓缩铀（LEU），不仅意味着漫长的停工整顿，还会使钼99的产量降低。

为了应对即将到来的危机，美国和加拿大的科学家一直在研发合成同位素的全新技术。他们希望钼99和锝99m的生产能够脱离对核反应堆的依赖，转而利用更便捷、更灵巧的粒子加速器或者其他设备。如此一来，不仅放射性同位素短缺的问题能够得到解决，同时还可以降低生产成本减少核废料。如今，在全世界放射性同位素产量都出现断崖式下跌的时候，考验科学家的时间也到了，他们需要找出全新的替代技术。

## 应对危机

其实医生们早就已经尝过没有钼99的苦头了。在2009年和2010年，由于加拿大和荷兰的反应堆停工维护，就引发过全球性的同位素短缺事件，医生们对此毫无防备、手足无措，只有四处寻找替代性的诊断技术。“2009年的短缺危机给所有人敲响了警钟，”萨莉·施瓦兹（Sally Schwarz）说，她是核医学与分子成像学会的主席，“缺少这种材料就无法做影像诊断，医院里到处都是苦不堪言的患者。我们可不希望悲剧重演。”

锝99m供应不足可能会使心脏诊断技术倒退。比如，医生们不得不重新使用另一种放射性同位素铊201。密歇根大学的心脏成像专家文卡特斯赫·L·默西（Venkatesh L.Murthy）指出，使用铊201不仅在成像质量上比锝99m差，还会让患者受到的辐射量加倍。至于其他非放射性的诊断技术，比如超声心动图，虽然可用但却无法达到同样的精确度。默西认为，锝99m是同时满足分辨率、安全性和成本三方面要求的最优解。

从那次危机中回过神来的加拿大政府很快注资4500万美元，成立

了“同位素量产技术改良”（Isotope Technology Acceleration Program, ITAP）项目，希望加速研发生产锝99m的替代性技术。该项目的主体工程最快可能在2017年底就正式投入使用。

新技术把目光转向了小型的粒子回旋加速器，这就不需要修建巨大的核反应堆，甚至完全能够装进一家医院的地下室。回旋加速器能够把质子加速后轰击由另一种同位素（钼100）制成的靶子，两者通过碰撞就可以获得锝99m。锝99m的半衰期非常短暂，这就意味着一台粒子回旋加速器的产量能够供应的区域范围非常有限。不过TRIUMF核医学部门的前部长，现助理实验室主任保罗·谢弗（Paul Schaffer）认为，由于加拿大多数大城市目前都已经配备了类似的设备，想要把这种技术推广到加拿大的各个地方，也是很有可行性的。TRIUMF是加拿大历史上第一个粒子回旋加速器中心，同时也是上述同位素生产技术的研发单位。这家坐落在温哥华的机构已经完成了初步实验，证明了如果粒子回旋加速器每天工作6个小时，就能生产出大量（相当于执行500次医用扫描的剂量）的锝99m，这已经能满足人口在500万左右的不列颠哥伦比亚省的需求了。

目前，这座2米宽的粒子回旋加速器存放在不列颠哥伦比亚癌症研究所（BC Cancer Agency）在温哥华的一处设施内。它被锁在厚厚的铁门后面，有两条纤细的金属管子从回旋加速器中伸出，负责输送质子流，管道内质子的速度甚至能够达到光速的五分之一。金属管的另一端连接着质子轰击的目标：放在铝制圆筒内的一块长10厘米的扁平金属板，它的表面包裹了一层钼100。为了把钼100转变为锝99m，这块金属板先要经历6小时的质子轰击。随后通过高压管弹射进入另一个操作间（也叫热室）内，在这里，技术人员会分离和提纯转化出的锝99m。最终的产物是一小瓶透明的液体，里面同位素的含量足够进行数百次医用诊断。

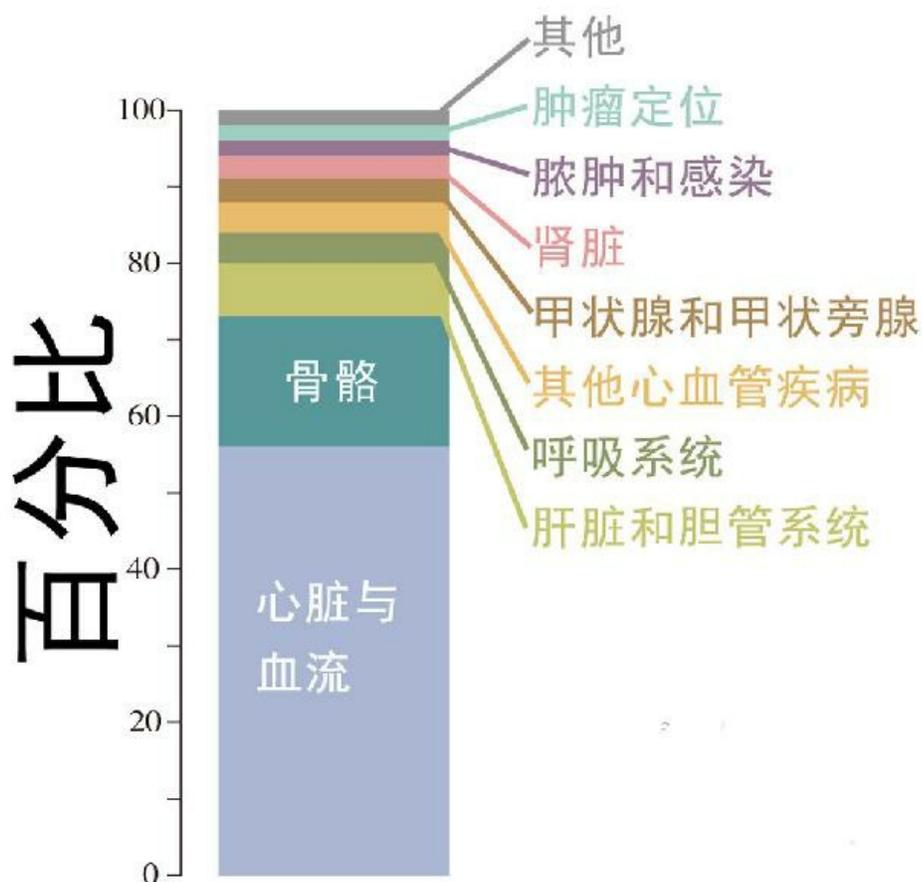
最近，温哥华中央医院与癌症研究所完成了新一轮的临床试验，他们在患者身上使用了通过加速器合成的同位素。目前结束的临床试验显示，通过回旋加速器合成的与通过钼99元素衰变得到的锝同位素在功能上是一样的，都非常安全有效。回旋加速器通常在早上就开始运转，患者可以预约从下午1点开始的注射。

2016年，TRIUMF与ITAP项目里的合作者们一起创立了一家公司，

他们想把合成技术推广给普通的回旋加速器。目前，全世界已有大约500台医用回旋加速器可以发出足以通过这种方法制造钨99m的高能射线，这些加速器本来的任务是制造其他同位素，用于正电子发射断层扫描等。对于新的钨99制造技术来说，这些现有的回旋加速器是一个巨大的优势。一台全新的医用粒子回旋加速器可能标价达500万美元，但是改造旧的设备让它支持新的功能，只需花费这个数字的十分之一。2014年，英国核医学学会（British Nuclear Medicine Society）推荐了这种改良的手段，认为它是应对未来钨99m短缺的最佳手段。按照谢弗的估算，12到24台粒子回旋加速器，就能够满足加拿大国内的全部需求。

### 应用场景

### 同位素的主要应用



数据来源于2009年刊载在Natural Resources Canada上的最新综述文章。《科学美国人》杂志联系了数名专家，他们都认为与当时相比，如今这些数据的变化并不大。

## 出谋划策

但在美国，粒子回旋加速器却并没有带来新的希望，无法生产出足量的锝同位素。美国多年以前就在医院内装配医用回旋加速器了，这些型号老旧的设备无法达到生产锝同位素所需的高能射线标准。

因此，美国能源部国家核安全管理中心决定支持一些研发相关设备的公司。其中有一家位于威斯康星州麦迪逊市，叫做北极星医学同位素公司（NorthStar Medical Radioisotopes），它计划采用一种电子直线加速器（electron linear accelerator, LINAC）激发高能X射线。高能射线能够轰掉钼100中的一个中子，把它变为钼99，而钼99很快就会衰变为锝。LINAC获得许可的门槛要比核反应堆低得多，设备成本也比粒子回旋加速器便宜。用一位曾经研究直线加速器的物理学家卡尔·罗斯（Carl Ross）的话说，这套设备基本可以不用定制，“直接就能在市场上买到”。卡尔在退休前一直为加拿大国家研究委员会工作。加拿大同位素创新公司（Canadian Isotope Innovations）——它初创时的技术积累也来自ITAP资助过的研究——也在研究使用直线加速器生产同位素的技术，不过进展没有北极星快。

尽管有许多优点，由普通的直线加速器获得的钼99在浓度上还是比不上由反应堆生产的原料。因此北极星公司研发了一套全新的系统，想从LINAC量产的钼同位素混合物中提纯锝99m。这套系统被称为“RadioGenix”，它的核心工作原理是将混合物泵入一排只吸收锝元素的树脂柱。滤出的钼同位素可以用于新一轮的合成，而柱子上滤得的锝元素则可以用盐水洗脱，进一步收集。现在，北极星公司希望这套系统的临床应用能在2017年内得到批准。

除此之外，还有一套技术解决方案，这套方案是由总部位于威斯康星州马诺纳市的夏因医学技术公司（SHINE Medical Technologies）提出的，它可能是所有方法中最激进的。这家公司试图用中子轰击液态LEU，量产 $^{99}\text{Mo}$ 。氘和氚都是氢的重同位素，如果在LINAC内用氘原子轰击氚原子，两者就会发生融合形成另一种元素——氦。夏因公司就

希望借助氘氘融合时释放出的中子制造钨，因为它能触发LEU内的裂变反应，最终产出钨99。夏因公司宣称，通过这种方案获得的钨99已经达到了量产钨99m所需的浓度标准了，足以用于进一步的转化、分离或是萃取操作。2016年2月，夏因公司已经获得美国核管理委员会对建造生产设施的批准，该公司计划在2020年开始生产和供应。

不过，好技术可不等于好商品，价格是其中非常重要的一个因素。贝纳德说：“你必须让产品的价格具有竞争力，医院才有可能欣然接受。”现在单位针剂的钨99m在北美的售价是20~25美元，但这个价格远比实际的生产成本低。部分原因是政府为大部分的反应堆燃料、核废料处理以及核反应堆的基础建设买了单。“我们一直对政府资助核反应堆的行为习以为常，”谢弗说，“但是，这种好事恐怕以后不会再有了。”

随着新技术的出现，相应的供应链也变得更加私有化和本地化，供应商和政府都希望对钨99m重新定价，好涵盖维持整个产业链运作所需的成本。谢弗说，不列颠哥伦比亚的许多医院准备在未来几年内将这种同位素的价格提高40%。

提高售价从而保障前期投入可以顺利回收，确实可以让一个新兴产业迅速崛起，并且早日步入正轨。但是，新的生产技术却面临两种截然相反的市场预测。其中一种预测认为，发达国家人口的老龄化会提高社会对心脏检查项目的需求，此外高速成长的中国市场也有巨大的潜力。这正是钨99m大显身手的时候。

但是还有另一种观点，根据经济合作与发展组织（OECD）的统计，近年一些国家的钨99m实际需求量持续走低。为什么？在2009到2010年钨99供应不足期间，医院降低了每支针剂的有效成分的含量。但这并没有影响图像质量，而这要归功于更智能的成像软件。综合这些因素，OECD预测当2021年新反应堆和新技术都投入生产后，钨同位素将因供大于求而不得不降价。

不过领域里的很多人都认为，新建的替代的核反应堆无法按时投产。“如果我们继续依赖核反应堆，那么历史还会重演。”不列颠哥伦比亚癌症研究所的贝纳德说。他认为，如果我们想保护影像医学这颗明亮的眼睛，就不应该为是否要使用新技术而迟疑。

## 扩展阅读

Lessons from the Tc-99m Shortage: Implications of Substituting Tl-201 for Tc-99m Single-Photon Emission Computed Tomography. Gary R. Small et al. in *Circulation: Cardiovascular Imaging*, Vol.6, No.5, pages 683 – 691; September 2013.

Cardiac Stress Testing and the Radiotracer Supply Chain: Nuclear Freeze. Venkatesh L. Murthy et al. in *JAMA Cardiology*, Vol.1, No.5, pages 616 – 617; August 1, 2016.

Molybdenum-99 for Medical Imaging. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies Press, 2016.

Positron-Emission Tomography. Michel M. Ter-Pogossian, Marcus E. Raichle and Burton E. Sobel; October 1980.

深度  
健康

HEALTH

责任编辑：罗凯

# LOSING FOCUS

# 多晒太阳，预防近视

在全球范围内，近视飙升成了严重的健康问题，如果不采取措施，高度近视还有可能导致失明。不过，科学家却发现，一个简单的方案就有可能遏制近视。

撰文 黛安娜·权 (Diana Kwon) 翻译 侯悠扬



制图：布赖恩·克里斯蒂（Bryan Christie）



黛安娜·权是一名科学作家，她在加拿大麦吉尔大学获得神经生物学硕士学位。

### 精彩速览

一些研究者估计，到2050，全球将有一半的人近视——这预示着将会有越来越多的人面临严重的视力问题。

尽管研究者曾经把近视问题归结于阅读或写作时“距离书本太近”引起的视觉疲劳，但新的证据却显示，充足的光线照射才是保证视力正常发育的关键因素。

人体研究表明，延长户外活动和阳光照射的时间能够降低近视发生率。

对新加坡的儿童来说，学业压力非常巨大。在一天6到8个小时的学习后，很多儿童还会参加私立学校的课后补习班，在晚上也要花好几个小时做功课。近几十年来，随着学习时间的增长，新加坡的近视率也逐渐增加，成了一种流行病。在新加坡，已经有80%到90%的高中新生患上了近视，在中国大陆、中国台湾地区、日本和韩国也是如此，这些国家或地区都有一些共通点，儿童在课桌或电脑前花的时间比长辈多了好几倍。环视全球，近视率在其他发达国家也有上升的趋势。在美国，近视发生率在20世纪70年代只有25%，而到2000年几乎翻了一倍，达到42%。

澳大利亚布赖恩·侯顿（Brien Holden）视觉研究所的研究人员估计，如果这样的趋势继续下去，到2050年，世界几乎一半的人口——多于40亿人——都要戴眼镜。综合分析全球145项研究后，科学家在2016年把这项结论发表在了《眼科学》（Ophthalmology）杂志上。“这个统计数字真的让人非常担忧，”南非夸祖鲁-纳塔尔（KwaZulu-Natal）大

学的视觉研究员科温·奈杜（Kovin Naidoo）介绍说，“任何影响全球50%人口的公共卫生问题都是非常严重的。”

相比正常情况，近视的人眼球略长。这种畸形会导致图像在视网膜前面聚焦，而不是直接落在视网膜上，因此远处的物体看起来就是模糊的。通常从童年或青春期，近视的现象就会开始出现，一直到20岁左右，眼睛发育完成时，才会定型。

对于大多数近视的人，使用隐形眼镜、眼镜或手术都可以轻松恢复清晰的视力。但有些情况更严重，被医生归类为“高度近视”的人的眼睛会被拉长到相当危险的水平，这会增加视网膜脱离、白内障、青光眼的发病几率，甚至可能会导致失明和其他症状。不幸的是，最新研究预测，高度近视的全球发病率也将快速上升，从2000年的3%发展到2050年的10%，届时会有9.38亿人面临失去视力的风险。

长期以来，研究人员认为近视是因为遗传因素导致的，但这不能解释为什么近视的发病率会如此快速地发展到流行病学的水平。以前，人们很明确地认为，是环境因素影响了视力，而其中罪魁祸首是人们花在阅读、写作和屏幕上的时间越来越多。

然而，最近的研究提出了一个不同的观点：明亮的阳光有助于调节正常的眼睛发育，在室内呆得太久——无论是学习、玩视频游戏还是做其他事情，都会破坏眼睛的发育过程。新观点的提出为防治近视提供了一个新的思路：与当初提出减轻学业，弱化学业观点相比，让孩子多在户外活动，可能更简单也更实用。

### 读书变近视？

所有的视觉都是从光开始的。瞳孔扩张和收缩可以控制进入眼睛的光线量。透明的角膜和晶状体使光线弯曲，从而直接在视网膜的敏感性神经细胞上聚焦。这时，视杆和视锥细胞会发挥作用，将光转换成电脉冲，传播到大脑。如果一切顺利，我们就能够看到周围的世界了。但在这个过程中，出现任何缺陷都会带来问题。

当眼球太长，无法在视网膜上聚焦，大脑收到的会是一幅模糊的图像。我们可以眯起眼睛，从而调整晶状体和光路。但这只是一个临时的

办法。如果连续几个月都要用这种办法才能看清黑板，孩子——或者他们的父母或老师——就会意识到视力出了问题，需要配第一副眼镜了。

在亚洲，这种配眼镜的潮流已经持续了半个世纪。从新加坡当年的征兵研究中，也透露出了近视开始流行的一些早期证据。由于新加坡施行强制兵役制度，所有青年人在参加2年期的兵役前，都要检查眼睛的健康状况，因此研究人员可以检测到几乎所有男性人口的近视情况。多年来，近视率呈现出了戏剧性的上升：20世纪70年代末为26%，20世纪80年代为43%，90年代末为83%。

邵星梅（Seang-Mei Saw）是新加坡眼科研究所近视部门的负责人，同时也是流行病学家，她说：“我们认为巨大的代际效应大约发生在50年前，那时学校的教学体系和现在不一样，课业也没这么繁重。如果你跟这两代人谈论他们上学时做了什么，你就知道生活方式已经发生了巨大的变化。”

在许多刚刚工业化的亚洲国家，顶级大学的名额非常有限，在激烈的竞争中，高强度的课业是非常普遍的现象。例如，在上海，15岁的学生每周要花14小时做家庭作业，而在美国只有6个小时。近视在知识精英中很常见。教育水平、测试成绩和智商更高的人都更有可能需要眼镜，这符合一般的刻板印象。在澳大利亚国立大学长期研究近视的研究员伊恩·G·摩根（Ian G.Morgan）说：“许多证据都表明，上学时间越长越可能近视。”

这也意味着，接受教育越多，伏案工作的时间也就越长，从而导致近视率出现不同程度的增长。但是深入研究近视的案例，这个结论似乎不太站得住脚。有证据表明，是否近视取决于户外时间，而不是伏案工作的时间。

2007年，美国俄亥俄州立大学的研究人员发布了一项研究，这是最早支持“户外时长理论”的研究之一。通过调查分析514名小学生和家长的数据，研究人员发现，一旦考虑户外活动时间长和父母的近视情况，阅读时长的影响就不重要了。

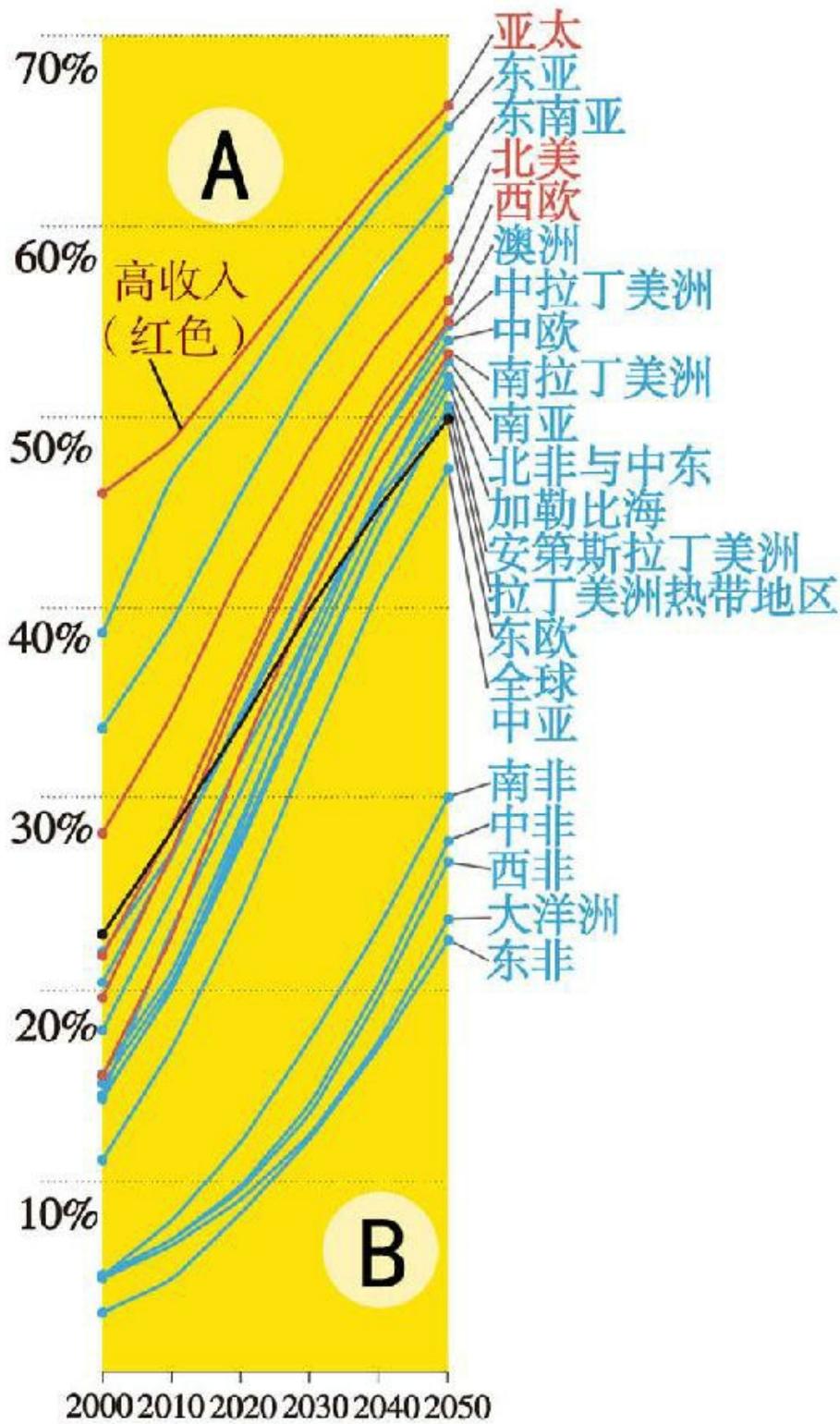
大约在同一时间，凯瑟琳·罗斯（Kathryn Rose）率领新加坡和澳大利亚的近视研究人员，也在悉尼大学展开了一场问卷调查活动。比较悉尼和新加坡有中国血统儿童（6~7岁）的近视患病率后，他们发现，虽

然悉尼的孩子会花更多的时间阅读和伏案，但近视率只有3%，而新加坡为29%。两者的区别主要在户外活动的的时间上，悉尼学生每周户外活动的的时间超过13小时，而在新加坡只有3小时。

参与了这项研究的摩根说：“实际上澳大利亚儿童伏案工作的时间更长，因为他们是为了乐趣阅读，而新加坡的孩子只为了学业阅读。”

变化趋势

近视率飙升



**A** 在一个区域中，近视的流行率与收入上升有关。可能是由于人们的财富越多，在室内的时间也越多。

**B** 近视流行的早期证据来自亚洲，在那里，繁重的课业负担可能导致了近视患病率快速上升。

## 光线才是关键

显然，户外活动对眼睛的健康有所帮助。

但这是为什么？

从一般的问卷和检查中我们很难回答这个问题。为了找到相关机制，科学家需要了解眼睛内部的生理过程。为了方便研究，科学家在许多动物（比如鸡、树鼩和猴子）身上诱发近视。他们还通过缝合眼睛或用磨砂护目镜暂时防止光线进入动物的眼睛。没有外部光线输入，动物长大后，眼睛就会出现严重近视。还有一种试验是，科学家将透镜放在动物的眼睛上，使图像在视网膜后聚焦。此时，为了补偿失焦的距离，使画面变清晰，眼睛就会变长，从而导致近视。

这些试验透露了很多让人不安的消息。理查德·斯通（Richard Stone）是宾夕法尼亚大学的眼科专家，他说：“从猴子视网膜的化学成分中，我们可以分辨出哪些猴子是近视的，哪些不是。这个结果很让人震惊。”

研究显示，当视网膜检测到模糊图像时，会向眼睛释放化学信号，控制眼睛以多快的速度长到什么样的程度。“如果你能说服视网膜中的细胞，去除对应的化学刺激，不发送引起眼睛伸长的信号，就可以减缓近视，”阿拉巴马大学的近视专家托马斯·诺顿（Thomas Norton）说。

虽然科学家还没有确定这个过程涉及的所有化学信号，但多巴胺显然位列其中，这是一种防止眼睛生长的神经递质。眼睛在光的刺激下能够释放多巴胺，这说明是多巴胺导致了光照具有抑制近视的作用。

在室内，光强度很低（典型的办公室或教室提供约100至500勒克斯的亮度），相比之下，室外的阴天都比这高很多（可提供高达15000勒克斯），而晴朗的夏日则更高（可提供高达130000勒克斯的亮度）。

诺顿说：“现在，学界公认，经常在户外活动，能提高孩子接收的

光线强度，这会促进视网膜产生和释放多巴胺，抵消让眼睛变长的信号。”

在德国图宾根大学，一组眼科研究人员首先发现了令人信服的证据。2009年，他们发现暴露在阳光（30000勒克斯）和非常明亮的人造光（15000勒克斯）下，都能成功防止实验中的动物患上近视。2010年，他们发现，向近视小鸡的眼睛注射阻断多巴胺活性的药物（螺环哌啉酮），会消减光的保护作用。不久之后，又有一组来自猴子的研究，也证实了光对眼睛的保护作用。

不过，多巴胺可能不是最终的答案，或许还有其他影响因素。2011年，在一项来自豚鼠的研究中，科学家发现，增加多巴胺活性的药物不一定都能防止近视。

一些研究人员认为，曝光的时机也很重要。就像我们身体中的许多系统（例如体温和激素）都有一定的周期性变化，我们的眼球长度也一样，往往在中午时最长。眼睛中的多巴胺水平也会波动，通常在白天上升，在夜间下降。

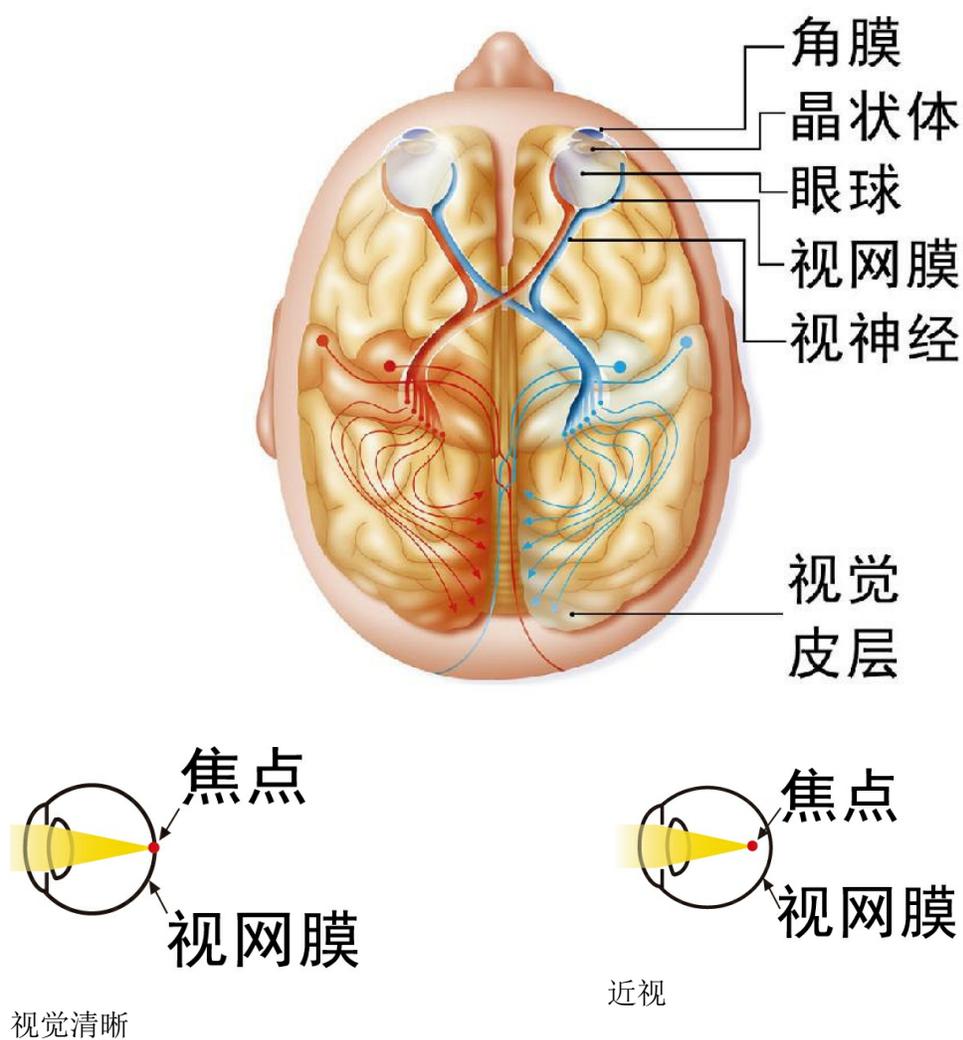
试验发现，褪黑素也会对眼球的发育产生影响，但是模式和多巴胺相反，它会在夜间增加，白天减少。事实上，这些会对眼睛产生影响的节律性活动都表明，身体的昼夜节律或每日周期也可能与眼睛的健康有关。在新英格兰视光学院（New England College of Optometry），德博拉·L·尼克拉（Debra L. Nickla）等人就在调查异常的昼夜节律是否会对眼睛的生长产生影响，从而改变近视的情况。

通过对鸡的早期研究，科学家发现，在恒定光照或恒定黑暗下，眼睛都会过度生长。但尼克拉发现，这些研究的结论或许并不准确，因为实验过程中的昼夜节律被过度更改了。现在，她正在研究，当轻微改变昼夜节律时，眼睛的生长会出现什么不一样的情况。在《实验眼科学研究》（*Experimental Eye Research*）发表的一项研究中，尼克拉表示，在半夜时用700勒克斯的光强照射2小时，就足以改变眼睛生长的情况。初步研究指出，随着孩子们在深夜花大量时间读书、写字或浏览网络，这种昼夜节律的更改很有可能对发育中的眼睛造成巨大伤害。

原理展示

## 更清晰的图像

光线从物体表面反射进入我们的眼睛。通常，角膜和晶状体将所得图像转移到眼球后面视网膜的焦点上。在那里，图像被转换成神经冲动，由视神经传到大脑。近视的眼球太长，所以就会失焦，视网膜只能接收到模糊的图像版本。



增加户外活动

虽然关于光如何影响眼睛生长仍有很多未解之谜，但在面对近视率爆炸式增长的背景下，临床研究人员已经开始测试用光预防近视的方法了。由于需求太过强烈，部分亚洲国家的政府已经开始推动这项干预措施。

2009年，在中国台湾长庚纪念医院眼科研究员裴长昌的率领下，一个研究组对571名小学生进行了临床试验，其中一半的孩子可以在一年的研究期中，每天额外获得80分钟的户外休息时间。最终结果显示，这组孩子中只有8%在研究过程中出现了近视，而另一组则有17%的学生发展到需要戴眼镜的程度。

几乎同一时间，摩根和他的同事也在中国广州进行了类似的试验。他们发现，每三天额外获得40分钟强制户外时间的儿童眼睛更健康，比一般儿童患上近视的可能性低了23%。

阳光可以保护儿童的眼睛，防止出现近视。但是我们现在还不清楚，阳光是不是可以缓解已经戴上眼镜的孩子的近视程度。有研究人员表示，结果很混乱。一些研究发现，户外时间对近视的后续发展有一定的影响。但也有人认为，户外活动没有显著改变已经近视的孩子的视力。

即使简单地延迟孩子患上近视的年龄，也会产生重大影响。患上近视的时间越早，就越有可能发展成高度近视。因为在眼球发展成熟以前，就有更长的时间加深近视的度数，恶化病情。幸运的是，对于已经患上近视的人来说，有一些减缓病情进展的治疗方案可供选择，其中包括阿托品眼药水或特殊设计的隐形眼镜。对此，诺顿还说，“近视是一个非常困难和持久的问题，不太容易消失。”

解决方案

## 减缓近视

多在阳光下活动有助于防止近视，或延迟近视发生，但不能帮助已经近视的孩子们缓解近视。研究人员正在开发新的干预措施，希望这种方法可以减缓眼部的异常生长和视力恶化，这对预防高度近视非常重要。高度近视是一种在严重时可导致失明的病症。

## 阿托品滴液

---

阿托品滴液是一种能阻断眼睛中乙酰胆碱受体的药物，可以停止或减慢近视的发展。在1990年刚刚开始研究这种药物时，发现了一些副作用，它会导致瞳孔扩张、眼肌麻痹和看近处物体时模糊。然而，在剂量较低的情况下，不仅几乎没有副作用，还比高剂量更能缓解近视的发展。低剂量阿托品是被广泛研究的一种疗法，也是最有希望被选为治疗近视的疗法之一。目前它在许多亚洲国家都有售。可惜，美国的FDA只批准了高剂量的治疗方案。

## 角膜矫正术（Ortho-K）

---

Ortho-K隐形眼镜可以通过挤压作用暂时抚平角膜（眼球最前部的透明层）。虽然这种疗法可能在睡眠期间磨损角膜，却可以让用户在白天看得更清楚。刚开始时，角膜矫正术主要用于纠正远视，随机临床试验已经证明它也可以用于减缓近视的发展。不过，Ortho-K眼镜非常昂贵，第一次验光和配镜的费用在1500到2000美元，不是物美价廉的解决方案。除此之外，一些眼科医生担心，夜间佩戴这种镜片可能增加眼部感染的风险。

## 多焦点隐形眼镜以及眼镜

---

常规的矫正透镜（无论是眼镜还是隐形眼镜）都只有单一的度数或焦距，可以把部分范围以内的图像从视网膜后移到视网膜上。但这些镜片不能校正视界边缘较近的物体，因此，会使得外围视野看起来模糊不清。研究还表明，这种现象可能会进一步刺激近视的发展（虽然比不佩戴镜片速度要慢得多）。为了防止近视恶化，研究人员已经开发了一种新型矫正镜片，它在不同区域附带不同的焦距，从而解决了视觉边缘差异的问题。最近，研究已经证实，这种镜片可以减缓近视的进一步恶化，保护配戴者的视力。

## 未来很清晰

对强调学术成就的亚洲国家来说，采取希望学生远离学习的干预手段可能不是最好的选择。摩根说，“我们在广州，在实验进行到第三年快要结束时，就有家长提出反对了。他们会说，‘看，你浪费了我们孩子的时间。如果不在外面活动，孩子们就有更多时间学习了。’”

摩根和同事们只有寻求其他方法，好让学生在室内学习的同时，也能接收所需的光线。他们正在测试一种新的想法：把教室设计得像温室一样，学生可以在教室内接收到高达9000勒克斯的阳光。不过，这样的建筑非常昂贵，所以他们又在尝试另一种更加经济的方案：可以发出高达10000勒克斯光线的学习灯。可行性研究表明，儿童对这两种技术的接受度都不错。研究人员希望，在未来2年内将这些想法纳入正式的临

床试验。

在新加坡，邵星梅和同事们正在努力推广户外活动。“孩子们想在户外活动，”邵星梅说，“但有时没机会。”她认为，使用健身追踪器测量户外活动时间，或者引导市民在周末游览公园，或许可以减少学生在室内逗留的时间。

专家预计，即使现在近视率较低的地方，随着现代化进程，患病率也会增加。例如，非洲近年来技术发展迅速，“人们从没有固定电话直接跳跃到使用手机，孩子们也在电脑上花了更多时间，”奈杜说，“我们还有机会，要防止世界其他地方出现类似的趋势。”

不幸的是，目前这些地区护理眼睛的机会非常少。如何正确处理近视非常关键，如果模糊的视力得不到校正的话，会使视力进一步恶化。为了解决这个问题，奈杜和他的合作者正在努力寻找更适合发展中国家儿童的方案。

现在，共识是明确的。对于还没有患上近视的儿童来说，足量的光线能预防近视。摩根说，把孩子带到户外去，就是“最便宜，最简单的选择”。

从某种意义上讲，近视开始流行只是社会进步带来的副产品，它让我们在无意间远离了原来健康的生活方式。正如研究显示，像过去的人一样，其实我们也需要睡够7小时，定期锻炼和保障均衡的饮食。还有，我们也需要一些简单的方式来改善自己的健康状况，比如远离台灯和电子设备，多花一些时间在户外沐浴阳光。

## 扩展阅读

Myopia. Ian G.Morgan, Kyoko Ohno-Matsui and Seang-Mei Saw in *Lancet*, Vol.379, pages1739 – 1748;May 5, 2012.

Ocular Diurnal Rhythms and Eye Growth Regulation:Where We Are 50 Years after Lauber. Debra L.Nickla in *Experimental Eye Research*, Vol.114, pages 25 – 34;September 2013.

Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. Brien A.Holden et al.in *Ophthalmology*, Vol.123, No.5, pages 1036 – 1042;May 2016.

American Academy of Ophthalmology on myopia: [www.aaopt.org/eye-health/diseases/myopia-nearsightedness](http://www.aaopt.org/eye-health/diseases/myopia-nearsightedness)

Look into My Eyes. Arryn Robbins and Michael C.Hout;January/February 2015.

深度  
心理学

PSYCHOLOGY

责任编辑：韩晶晶

# 羞耻是一剂心理良药

心理学家一直认为羞耻感不利于人的心理健康，但最新研究表明，人们也可以利用它来产生积极作用。

撰文 黛安娜·权 (Diana Kwon) 翻译 郭彤





黛安娜·权是一名科学作家，她在加拿大麦吉尔大学获得神经生物学硕士学位。

### 精彩速览

过去，心理学家认为，羞耻感不但让人痛苦，在身心上给人带来负面影响，还会让犯错的人自我辩护，拒不认错，不利于他们改过自新。

不过，也有一些研究发现，羞耻也能发挥许多正面作用，例如，感到羞耻的人会变得更乐于协作，而且希望尽力补救自己的过失。

事实上有两种不同羞耻感，分别导致了正负两种效果。一种是对自己不当行为的自责，而另一种则只是担心别人的看法。

当丹佛的瓦雷丽·斯塔克斯（Valerie Starks）发现13岁的女儿在网络上学着大孩子发布不雅照时，她在社交媒体上给女儿上了一课。她在Facebook上发了一条责骂女儿的视频，这条视频在2015年5月人气暴涨，一周之内被播放1100万次。斯塔克斯式的做法屡见不鲜。在这一年里，很多家长通过社交媒体惩罚自己的孩子。

在历史上，人们经常用公开羞辱的方式来制止违规之人继续犯错。今天，道德失当者常常在网上被曝光，遭受来自全世界的严厉谴责。从被控性侵犯的比尔·科斯比（Bill Cosby）推特帐号下排山倒海的愤怒评论，到加利福尼亚州的“干旱羞辱”运动（州政府设立了一个网页，鼓励居民公开晒浪费水的人），社交媒体上的羞辱已经成为常态。

羞辱是一种惩罚手段，而心理学家更好奇什么样的惩罚可以真正让人们改进自己的行为。以往的研究显示，羞辱并不是最佳选择，常常引

发适得其反的效果，比如让人逃避和产生进攻倾向，对身心健康十分有害。

但令人惊讶的是，有新证据表明，羞耻心在某些情景下的确能促使人出现正面变化，例如乐于协作，渴望亡羊补牢。心理学家发现，羞耻心有很多种，有些情况下能够引发建设性行为。我们批评犯错者的方式，会导致截然不同的结果。这部分最新研究有助于我们处理犯罪和进行处罚，无论是在法院，还是在家里。

### 羞耻的正负结果

羞耻心和它的近亲：负罪感，都是与犯错相关联的负面情绪。负罪感常与具体行为相关，而羞耻心则围绕自身展开。基于这种区别，羞耻心长久以来一直被认为会导致负面结果也就不足为奇了。把自己认定为一个坏人肯定比承认做错了一件事更令人不安。而公开羞辱不仅仅动摇了一个人的自尊，更破坏了他人对这个人的尊重。

几十年的研究已经确认，羞耻的感受十分伤人。这种情绪和很多心理问题有关，包括抑郁症和创伤后应激障碍。同时，这种感受也和很多生理改变相关，比如有害的细胞因子（一种引发炎症反应的蛋白质）和皮质醇（主要的应激激素）增多。

这些研究带给我们的信息很明确：羞耻的感受十分痛苦，并不能促使人们改过自新。非要说有什么效果的话，那就是羞辱会让人更愤怒、更具攻击性和自我防御倾向。羞耻心促使人们否认指控，试图掩饰，或是反击指责他们的人。因此，心理学家通常同意这样一个经验法则：“负罪感是好的，羞耻心是坏的。”

然而心理学家和犯罪学家还是发现了一些正面案例：羞耻心可以促进正向行为。2008年，荷兰蒂尔堡大学（Tilburg University）的研究人员发现，当人们通过想象、回忆或体验当前的失败而感受到羞耻时，他们在社会困境下会更愿意合作。2010年的一项后续研究显示，当人们回想或是体验与成绩相关的羞耻时（例如在体育活动中表现欠佳或是考场失利），他们愿意重建积极的自我形象并通过更多努力来达成目标。

在2014年发表的一项对476个囚犯进行的长期追踪调查中，美国乔

治·梅森大学的临床心理学家琼·汤尼（June Tangney）和同事发现，当囚犯感到羞耻时，那些较少将自己的罪过归咎他人的人，比寻找替罪羊的人更容易改过自新。“似乎对于一部分人来说，在某些情况下羞耻心确实可以诱发行为上的巨大改变，”汤尼说。她认为，目前的研究很大程度上确认了从感到羞耻到归咎他人，再到进一步犯罪的发展路径，然而对导致相反结果的因素却并不十分清楚。

## 对待羞耻的两种态度

如果羞耻是犯错者施于自身的感受，那么一个长久以来被忽略的重要问题就是，一个人做出让他感到羞耻的行为后，是如何自责的。“你可以想象，‘做出这样的行为，我到底是怎样一个人？’，或者是‘其他人会如何看待我？’”挪威东福尔大学（Østfold University College）的尼古拉·高索（Nicolay Gausel）说。换言之，你会重新进行自我评估，也会满脑子想着别人怎么看你。

2011年，高索和美国康涅狄格大学的心理学家柯林·利奇（Colin Leach）提出猜测，认为第一种想法会因自己没有达到自我期望而促使人们提升自我和修补社交关系。然而第二种想法，由于依附于别人的评价，更容易诱发自我防御。这些研究者认为，与名誉受损相伴而来的遭排斥感和自卑感正是引发负面效果的因素，而这些负面效果通常都被归咎于羞耻感。

他们通过2012年的一项研究证实了这个猜测。在这项研究里，他们促使379个挪威人回想他们国家曾经迫害少数民族裔的历史。详细的问卷调研显示，担忧被谴责和感觉受到排斥会诱发自我防御倾向，而个人的羞耻感却会让人感到悔恨并产生补偿的欲望。在2015年一个针对个人错误行为的研究中，他们评估了197个受试者对不道德行为（包括虐待家人和没有保守秘密）的反应，结果也发现了类似的效应。

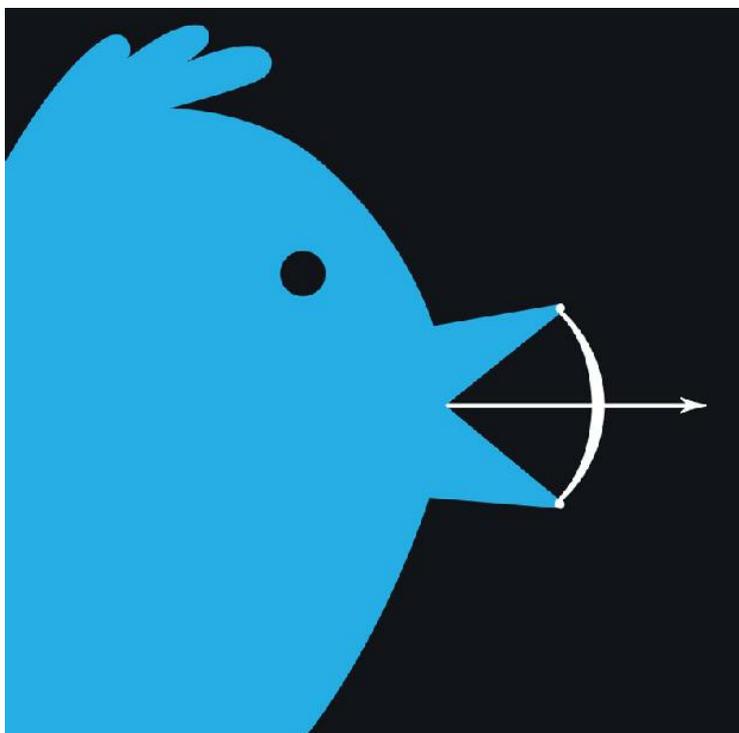
英国苏塞克斯大学的心理学家鲁珀特·布朗（Rupert Brown）和他的同事们也提出了类似的理论。2014年，在研究英国人对待本国在伊拉克战争中的暴行的态度时，这些研究者发现，人们对羞耻的反应，取决于他们是将之与个人道德观相关联，还是简单地担心有损公众形象。

在三个实验中，几百名受试者阅读了英国媒体（BBC和卫报）关于

英军在伊拉克虐待的报道。然后，研究人员让受试者看一系列描述个人如何看待国家行为的句子，让他们打分，评价这些句子是否符合他们自己的想法。有一些句子涉及个人道德观，比如“我们对待伊拉克人的方式让身为英国人的我感到羞耻”。另一些则更强调名誉，“一想到英国因此将被如何看待，我就觉得羞耻”。那些在个人道德层面感到羞耻的人更愿意支持通过官方致歉和财政资助来修复与伊拉克的关系，而那些认为国家名誉受损的人则展现出更多防御行为，比如回避、愤怒和掩盖错误。

这些行为差异可以帮助我们理解人们是如何在社交媒体上应对羞辱的。科比在推特上被曝光之后，他否认了全部指控，并起诉7名控告他性侵的女性诽谤。公开羞辱是把双刃剑。推特在传播言论和改变公众意见上的作用确实很大；然而，大规模的名誉伤害同样可以令作恶者拒绝悔改。

在2015年12月发表的一份对于71项羞耻研究的分析中，研究者发现，即使羞辱损害了一个人的社交形象，它仍然可以促使人们做出有建设意义的选择，只要当事人还有改进的机会。



## 改变的力量

羞耻常常与名誉相连。然而，另一组发现显示，个人公众形象遭受损害不一定导致科斯比式的防御和报复行为。

在2015年12月发表的一份对于71项羞耻研究的分析中，利奇和康涅狄格大学的博士生阿蒂拉·西达姆（Atilla Cidam）发现，即使羞辱损害了一个人的社交形象，它仍然可以促使人们做出有建设意义的选择，只要当事人还有改进的机会。

利奇认为，羞耻影响了我们的自我评估，在当事人认为已经完全无力改变现状的时候，羞耻心的害处最大。但当我们相信现状仍可能改变时，羞耻也可以诱导良好行为。在2014年发表于《情绪》（Emotion）杂志的一项研究显示，羞耻感比负罪感更能促使人们改过自新。出于这个理由，干旱地区的供水部门会公示耗水量最高的市民名单，直到他们在供水部门的帮助下节约用水。这项措施卓有成效。据《卫报》2015年11月的报道，此项举措在美国内华达州南部“有效改变了人们的用水习惯”。

即使某个具体的错误无法弥补，人们一样能改过自新。例如向犯人强调即使曾经犯罪，未来依然可以重新做人，能够有效防止他们再次犯罪。“有些人认为自己的道德品质是可塑的，可以改进和提升。另一些人则认为它是相对固定的，”利奇说。他的发现说明，前者比后者更可能改邪归正。

心理治疗师、亲友和社区可以携手一起塑造这样的态度。“（错误可以补救）最棒的地方就是这样的信念是可以被塑造出来的——这是个心理干预的机会，”汤尼说。她建议心理咨询师帮助人们“设立创造性的补救计划。已造成的伤害并不一定能扭转，但总有其他办法来达成积极效果。”

类似的理念在犯罪行为学家中被广为接受。1989年，澳大利亚国立大学的犯罪学家约翰·布雷斯韦特（John Braithwaite）提出“包容型羞辱”（re-integrative shaming）的理念，要求整个社区在惩治犯罪者之后帮助他们回归社会。他指出，将惩罚和怜悯之心相结合的社区，比偏重侮辱性羞辱的社区更能降低犯罪率。

在一些文化中，“包容型羞辱”体现在将违规者看作需要医治的人，而不是无药可救的罪犯。例如，美洲原住民纳瓦霍人（Navajo）认为 *nayéé*（妖魔）是为了获得幸福而需要跨越的障碍。他们通过治愈性的庆典来从自身剥除这些怪物。日本则存在会感染人的 *mushi*（虫）的概念，认为这种虫会诱导人们犯下暴行。来自社区的支持可以帮助治愈这些疾病。

羞耻可以成为一剂良药，但首先，人们需要相信自己可以改变。让被惩罚之人感到“自己无可救药，”布雷斯韦特说，“是我们需要避免的。”

### 沟通方式

研究者才刚刚开始了解如何诱导积极的羞耻心。迄今为止大多数的研究更关注于动机而非行为，人们尚不清楚渴望改善自身是否总会导致积极行动。

在充分理解羞耻之前，一些基本的经验法则可以帮助我们利用羞耻心有利的一面。比如，我们可以强调积极成长而避免贬低和轻慢。“我们需要的不是什么高新科技，就是严肃对待犯罪和羞辱，毕竟我们不愿意生活在一个不以强奸和暴力为耻的社会，”布雷斯韦特说，“但是要小心我们的沟通方式。”

为此，我们需要为那些做出不道德行为的人创立安全空间，避免他们继续沦落。在斯塔克公开羞辱女儿之后不久，韦曼·格雷沙姆（Wayman Gresham），一个来自佛罗里达的父亲，在Facebook上发布了他自己的视频。在开头，像其他羞辱性视频一样，格雷沙姆俯视着儿子，挥舞着电动剃刀，想要把儿子的头发剃掉作为惩罚，他说，“下一次，我希望我的儿子不要忘记这一课。”

然而事情发生了转折。格雷沙姆并没有继续惩罚，而是拥抱了自己的儿子。“在这个世界上，我绝不可以用这种方式羞辱我的儿子。”

### 扩展阅读

Crime, Shame and Reintegration. John Braithwaite. Cambridge University Press, 1989.

Concern for Self-Image and Social Image in the Management of Moral Failure: Rethinking Shame. Nicolay Gausel and Colin Wayne Leach in *European Journal of Social Psychology*, Vol.41, No.4, pages 468 – 478; June 2011.

So You've Been Publicly Shamed. Jon Ronson. Riverhead Books, 2015.

True Crimes, False Confessions. Saul M. Kassin and Gisli H. Gudjonsson; June/July 2005.

When Character Crumbles. Ingfei Chen; November/December 2010.

深度  
语言学 LINGUISTICS

责任编辑：吴非

# THE *whistled* WORD

# 安蒂亚的口哨语

在智能手机甚至摩尔斯电码问世之前，一些乡村的居民已经能通过吹口哨进行长途“通话”，这种独特的交流方式令众多语言学家为之着迷。

撰文 朱利安·梅耶尔（Julien Meyer） 翻译 齐韞艺 审校 陈林



在希腊的小村庄安蒂亚，基里亚库拉·杨纳卡里展示了如何用口哨向邻里传递信息。  
摄影：艾里尼·武尔洛米斯（Eirini Vourloumis）



朱利安·梅耶尔是语言学家和生物声学专家，任职于法国国家科学研究中心和位于法国格勒诺布尔的GIPSA实验室。他致力于研究语音学、语言认知和乡村语言。他主持了Icon-Eco-Speech项目，同时也是世界口哨语言研究学会的创始人之一，该协会致力于整理并保护口哨语言。

### 精彩速览

在电子通信广泛渗透到人们的生活中之前，很多地区的村民就创造了各式版本的地方口哨语言，从而在山坡之间，甚至房屋之间对话。

希罗多德早在他的著作《历史》的第四卷中就提到了口哨语言，但直到最近，对于这种濒危的通信形式的声音和含义，语言学家仍所知甚少。

最新的调查发现口哨语言存在于世界各地。全世界大约有70个群体通过这种方式交流，远远大于之前认定的十多个。

口哨语言不仅是一种文化遗产，还是一种研究大脑如何处理信息的途径。语言学家正在采取行动，试图提升人们对这种语言的兴趣。

一天清晨，帕纳约蒂斯·科法拉斯（Panagiotis Kefalas）在希腊小村庄安蒂亚的自家酒馆里接到了朋友凯瑞娅·库拉（Kyria Koula）的“电话”。科法拉斯正准备去离酒馆约200米的库拉家中吃早餐。这通“电话”并不是通过手机完成的，而是以一系列尖锐的口哨声直接从库拉的嘴传到科法拉斯的耳朵里。

你好，有事吗？”库拉吹出颤音。

科法拉斯缩起嘴唇，用哨声回应：

“你好，我想吃早饭。”

“没问题，”库拉回答道。

“我想来一些炒鸡蛋，”科法拉斯提议。

造访安蒂亚的游客可能会感到困惑。这段对话的第一个短语“欢迎”（在拉丁化的希腊语中是kalós irthate），除了被拉长的第二音节音调急剧上升，听起来就像是下流的嘘声“tweet, tweeo”。一些报道称，这种当今仅由几十位安蒂亚村民维系着的濒危口哨语言，在数个世纪中都曾是牧羊人在山坡之间交流的最佳方式。比起呼喊，口哨传递的距离要远得多，而且无需使用声带。即使是今天，在这个位于希腊第二大岛埃维亚岛最南端的村庄里，退休老人有时也会使用这种传统而有效的无线通信方式，在房屋之间传递新闻、八卦或发出早餐邀请。

我记下了上面这段发生在2004年5月的对话。自本世纪初开始，我一直全球各地的偏远山区和密集的丛林里研究口哨语言。在这段时间里，我和来自不同研究机构的合作者发现了很多此前不为人知的口哨语言。通过进一步研究，我们测出了口哨语言惊人的传播距离，揭示了使用者如何通过嘴唇吹动空气来传递完整的句子，以及听者的大脑如何解码这些词语。



安蒂亚的乔治亚·杨纳卡里（Georgia Yiannakari）展示了高超的口哨语言技巧，得到口哨语言翻译专家玛丽亚·科法拉（Maria Kefala）（左图，穿粉红色衣服）的赞赏。杨尼斯·西帕斯（Yiannis Tsipas）（右图，中间）希望将从他父母〔右图，左侧是他的母亲阿里斯蒂（Aristi）〕那儿学到的口哨语言技能传给他的儿子瓦西利斯（Vassilis）。

## 缓慢的起步

大约20年前，我阅读了一篇1957年的《科学美国人》文章，文章讲述了在西班牙加那利群岛中的戈梅拉岛上，当地居民至今仍在使用一种名为戈梅拉口哨语的特殊语言。自那时起，我就对口哨语言产生了兴趣。为了能更深入地了解口哨语言，2003年，我决定将其选作我博士学位的课题。

尽管口哨语言在古代就已经为人所知，但在那篇《科学美国人》的文章刊发时，很少有研究人员对它感兴趣。古希腊历史学家希罗多德（Herodotus）在他的著作《历史》（The Histories）的第四卷《墨尔波墨涅》（Melpomene）中，记载了“说话像蝙蝠一样”的埃塞俄比亚穴居人。到了2003年，语言学家重新拾起对口哨语言的研究热情，但仍然很少有人对口哨语言声音本身及其传达的意义进行研究，且大多数研究的关注对象只有戈梅拉口哨语。

事实上，“口哨语言”（whistled language）这个名称稍有不妥。口哨语言并不是一门从母语中衍生出的独立语言或方言，而是母语的延伸。例如，不用声音说“Borónaého omeléta？”（希腊语“我想吃炒鸡蛋”），而是改用哨声来表达。这些词的声音经历了根本的改变：它们不是由声带的振动产生的，而是口中的压缩气流在嘴唇边缘以湍流涡旋的形式旋转。和正常的说话方式一样，口哨语言的使用者通过舌头和颌部的运动形成不同的单词，但其运动范围较为有限。口哨语言中唯一的变量只有音调；相反，正常说话时，音色（除了音调和响度外，区分声音的另一个因素）也可能改变。

因此，安蒂亚村居民使用的口哨语言词汇仍然是希腊语。语言学家有时将口哨语言比作耳语，因为两者均无需借助声带的振动。语言学家安德烈·克拉斯（André Classe），也就是那篇激发我研究口哨语言的《科学美国人》文章的作者，将口哨语言的基本属性描述成自然的“信息架构”。他指出，口哨语言的可理解度并不总能达到正常语言的水

平，但总体而言已经很接近了。

在早期的研究中，我发现了一批引人入胜的文档资料，它们来自于旅行者、殖民地官员、传教士和人类学家，描述了大约12种口哨语言。基于这些线索，我推测在世界各地还存在着与当地语言对应的口哨语言。

因此，本世纪初，我和同事洛尔·当泰尔（Laure Dentel）开展了为期14个月的实地考察，造访了一些仍在使用口哨语言的地区。

随后，我加入了一个研究网络，在世界各地开展新的实地研究。我与巴西语言学家埃利桑德拉·巴罗斯·达席尔瓦（Elissandra Barros da Silva）和法属圭亚那人类学家达米安·达维（Damien Davy）合作，在亚马孙丛林中记录下当地人使用的瓦扬皮（Wayampi）语。我还和当泰尔一起研究了东南亚的阿卡（Akha）和赫蒙族（Hmong，在中国称苗族）人的口哨语言，和语言学家拉希德·里杜内（Rachid Ridouane）前往摩洛哥的阿特拉斯山脉研究了柏柏尔语的一个分支——塔马齐格特语（Tamazight）。此外，2009年，我和当泰尔、语言学家丹尼·穆尔（Denny Moore）在巴西帕拉的埃米利奥博物馆的语言学部开始了为期五年的合作。我们的工作整理编纂朗多尼亚州加维昂人使用的口哨语言。

为了完成这项工作，我们采用了最先进的语言学和声学研究工具，并借助了语音学、心理语言学、生物声学和社会语言学的手段。例如，为了研究远距离的口哨通信，我们借鉴了生物声学家在野外记录动物间交流的手段。

最终，我们找出了人们是如何通过口哨传递词语的。吹口哨的人收缩嘴唇，或用手指，或向叶子或简单的木笛吹气，进而发出口哨声。一些人会根据他们想要传递的距离，组合使用不同的发声技巧。

如何由这些声音构建词语，取决于衍生出口哨语言的母语是通过音调的变化来传达不同的意思，例如汉语，还是音调的变化只起到强调作用，例如希腊语和西班牙语。在声调语言中，吹口哨者的上升音调等价于口语中的声调变化。而在非声调语言中，哨声中的平稳音调代表一个元音，例如“i”可能由一个高音调的口哨传递，而较低的音调可能表示“e”。无论是在声调语言还是非声调语言中，使用者都通过变调时声

音变化的陡峭程度来表达辅音。

生物声学

## 口哨语言的物理原理

口哨语言是地方语言（例如希腊语、土耳其语和西班牙语）的变种，它通过压缩气流在嘴唇边缘产生旋转的微小涡旋，从而实现词汇的传递。口哨语言缺乏语音的谐波，但这种单一调制的窄频声音可用于表示非声调语言（例如希腊语）中的元音和辅音，仍符合语言的基本特征。因此，我们能通过口哨语言这种非常规方式来探索人类的认知能力。

1

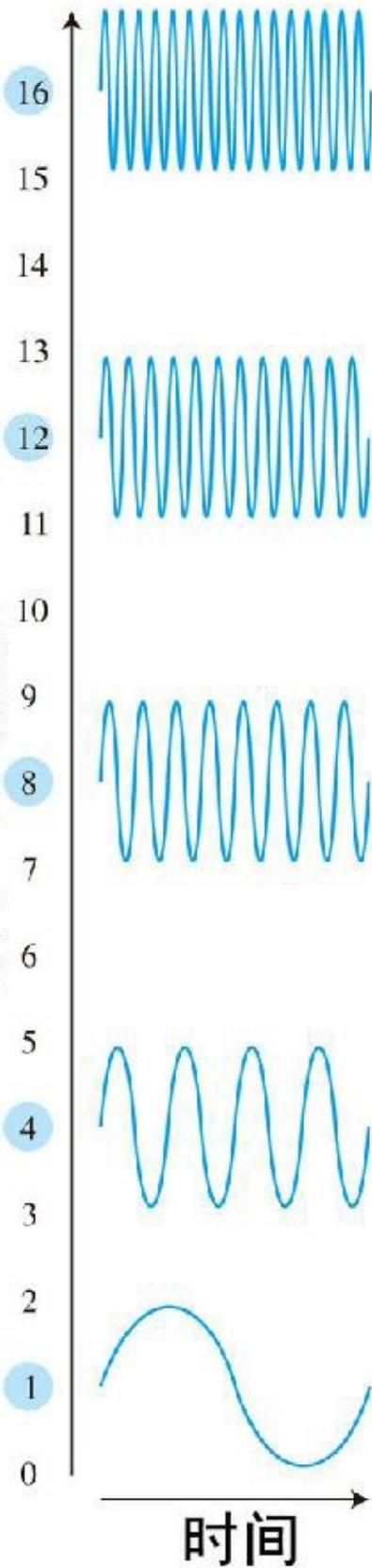
语音频率范围

语音理解的最佳范围

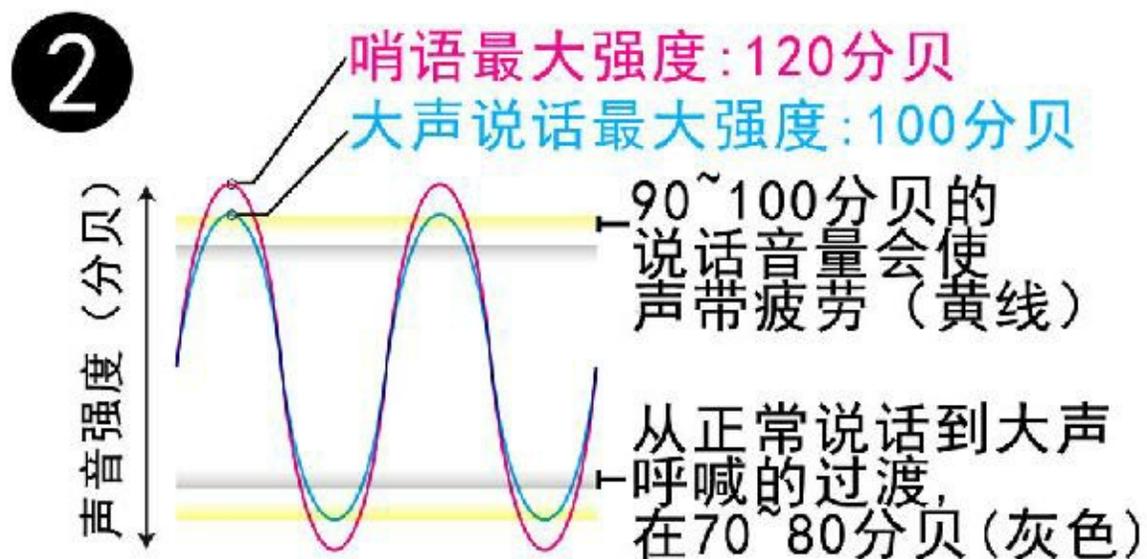
哨声范围

自然背景噪音的频率范围

频率 (千赫兹)

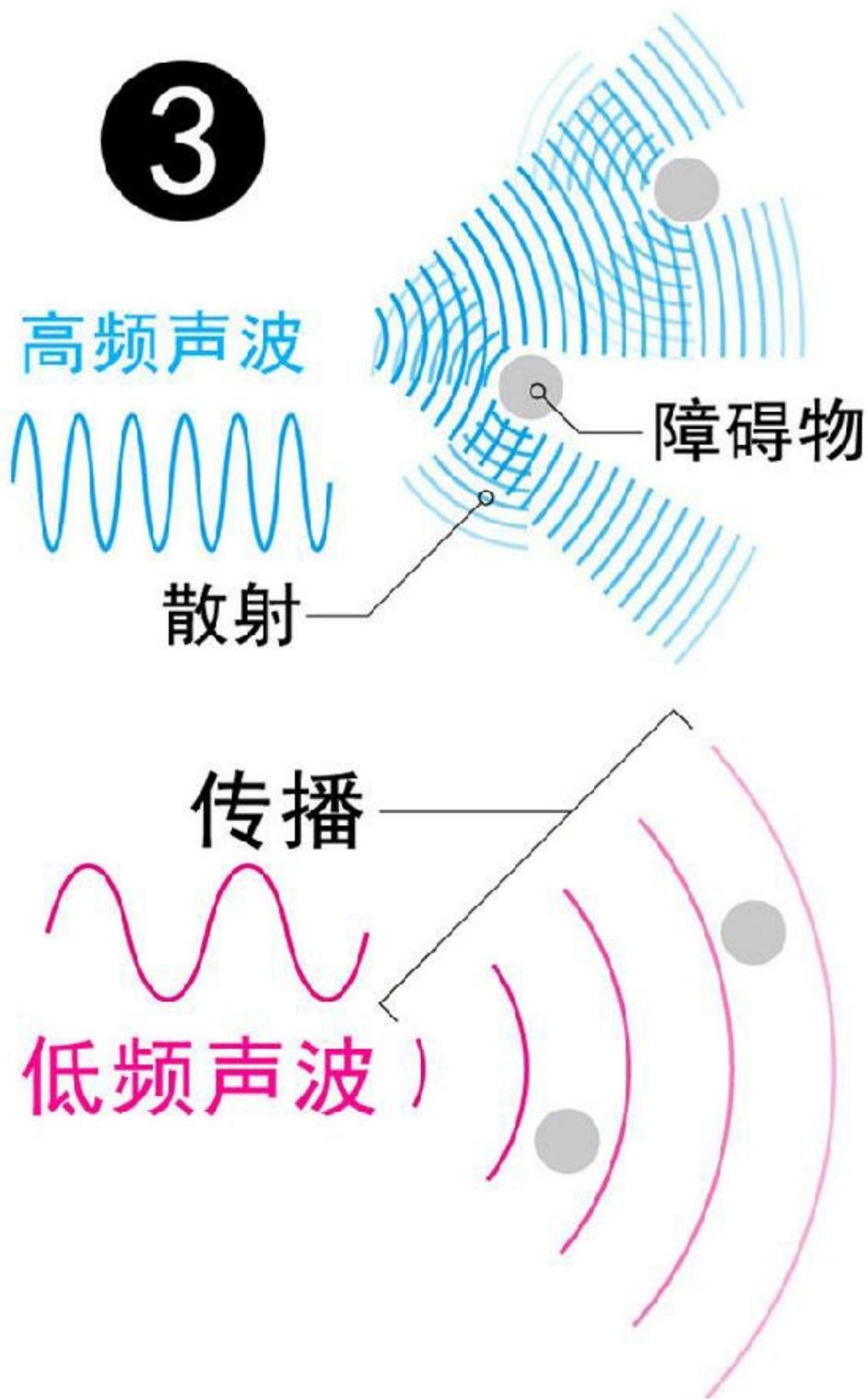


1 口哨语言的声波落在工程师和心理学家认定的人耳最佳检测频率范围内，它在这一区域内为单一频带，比起宽频的普通语言，更易被人耳所检测。



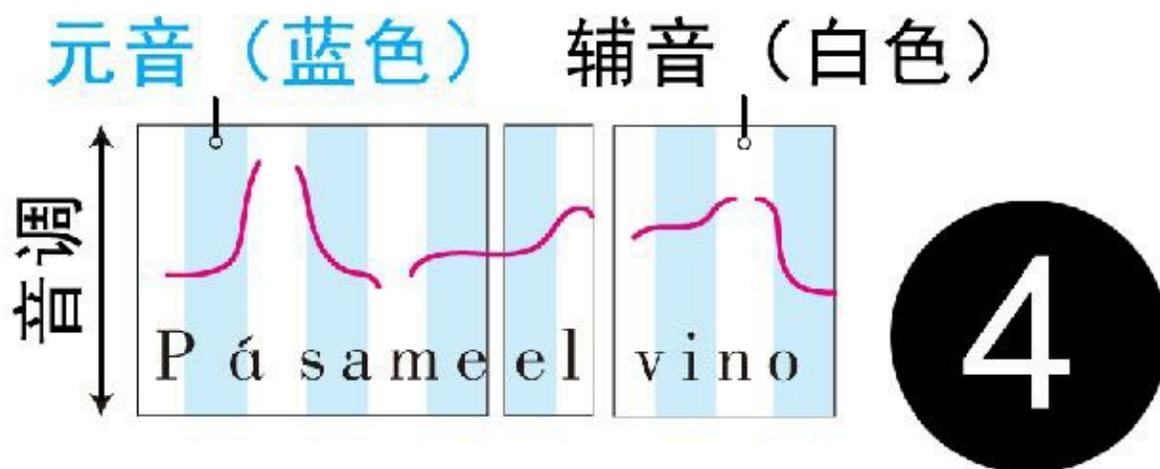
2 吹口哨的最大声音强度(音量)可达到120分贝，而呼喊只有100分贝。呼喊达到100分贝时，会使声带迅速疲劳。

3



3 当声音在理想条件下传播时，到源头的距离每加一倍，就损失大约6分贝。此外，声学信号遇到障碍物如地面和树干会发生反射。语音由多种频率声音组合而成，不同的频率声音遇到障碍物时散射程度不同。而口哨在单个窄频带内编码了所有语言信息。低频声音能够越过

障碍物，例如密集的植被，该声学性质使得它们传播得更远。



4 每种类型的口哨语言，如加那利群岛的西班牙口哨语（Spanish Silbo），都包含一个由元音和辅音组成的发音系统，通过改变音调或打破空气流动来近似地表达口语的内容。通过这种方式，元音和辅音中的大多数信息通过频率和强度的变化得以传递。正常的语音还依赖于音色来识别元音和辅音，而音色随距离衰减。相比之下，当哨语者发出诸如“把酒递给我”（Pass me the wine）这样的短语时，人们从很远的地方都能听得到。



5 哨声的声学特性使得口哨语言的传播距离可以达到呼喊声的10倍。在山谷等适合声音传播的地区，传播距离可达几千米

数据来源:Whistled Languages:A Worldwide Inquiry on Human Whistled Speech, by Julien Meyer.Springer-Verlag, 2015

## 识别口哨语言

迄今为止，我们已经掌握了大约70个使用口哨语言的群体，他们大

多位于与世隔绝的深山里，或是隐藏在丛林之中。虽然这个数量仅是全球7000种语言中很小的一部分，但已经远超过此前的记载。我们的工作印证了此前的观点，在这些地区，口哨语言主要用于超出呼喊距离的信息传递。

我们还发现，它们的用途不限于此。在城镇中，口哨语言是异性之间调情的工具，还可以用来传递机密信息。口哨语言甚至可以帮助猎人狩猎。在亚马孙丛林中，动物可以识别人类的正常语音，但不能识别口哨语言。

对用于长距离通信的口哨语言的声学分析表明，在有利的天气和地形条件下，口哨语言可以传播几千米远。口哨语言的频率范围为900~4000赫兹，几乎恰好是工程师认定的最佳词语识别范围。我们在法国阿尔卑斯山附近的山谷做了一个实验，结果表明，正常讲话可以传递40米，呼喊是200米，而口哨语言在700米外仍然可以被听懂。虽然不是哨声的最远传递记录，该测量仍表明在一般条件下（有一定的背景噪音、微风），口哨语言具有一定的优势。

对语言学家来说，对口哨语言的研究证明了，人类大脑能够从信息量较少的口哨声学信号中识别出语句。与正常的语言相比，哨声的频率成分单一，缺乏正常语音中的谐波。但即使是这种单一的调制频率，也能满足在实际沟通中清晰地传递信息的基本要求。因此，借助口哨语言，我们可以探索非常规交流方式中大脑的认知能力。

几十年前，生物声学家勒内-居伊·比内尔（René-Guy Busnel）便对土耳其东北部山区库斯克依（Kusk?y）的村民识别口哨语言的能力开展了研究。从我开始博士研究起，比内尔就是我的合作对象。通过研究这种被称作“鸟语”的口哨语言，比内尔发现，在短距离的情形下，该镇的居民可识别出大约70%的词汇，而使用口语时的识别率为95%。当相隔很远，甚至不能看清彼此面部时，他们有八成把握能听懂整个句子。

受这项研究的启迪，我和同事开展另一项研究。我们分析了正常口语的可理解度是如何随讲话者与听众之间距离的增加而变化的。这项发表于2013年的研究表明，在17米处，词汇识别率下降到70%。我们还发现，最易识别的辅音（类似哨声的嘶嘶声）在33米外识别率仍然高于90%。结合比内尔对土耳其口哨语言的研究，我们得出结论，在相距

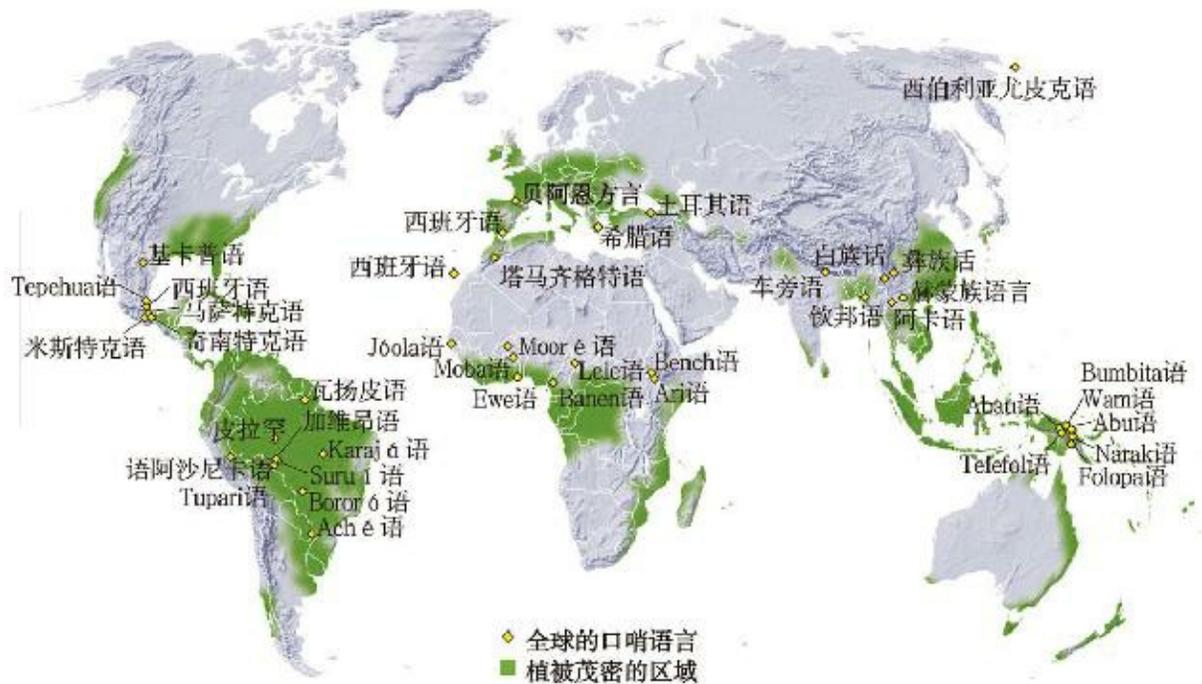
20~30米进行交流时，口哨语言比正常口语更有效。

另一个令我感到好奇的问题是，口哨语言的入门难度有多大？一般来说，孩子在学会说话后不久就学会了口哨语言，但我们决定研究成年人初学口哨语言时的表现。在实验中，我们要求40名说法语或西班牙语的大学生聆听戈梅拉口哨语。我们发现，学生可以轻易区分基于西班牙语的口哨语单词中明显的原音部分（“a”，“e”，“i”或“o”，“u”在戈梅拉口哨语中发音同“o”），而讲西班牙语的学生比讲法语的正确率稍高。尽管表现不及训练有素的哨语使用者，但两组学生的正确率均远高于随机水平。

地图

### 哪些地方在说口哨语言

在过去15年中，已知的口哨语言数量已经从最初的十几种增加到约70种。地图上标出的是已经被研究或记载过的口哨语言。随着研究的深入，只要使用者的生活方式未受现代社会的影响，研究人员必将发现更多的口哨语言。通常，口哨语言用于山区和森林地区的远距离通信。



数据来源:Whistled Languages:A Worldwide Inquiry on Human Whistled Speech, by Julien Meyer.Springer-Verlag, 2015

## 左脑和右脑

口哨语言的神经生物学机制很少受到科学家的关注。目前，科学家刚刚开始研究用口哨语言交流时，大脑语言中心内部发生了什么，但我们已经取得了一些进展。2005年，拉拉古纳大学（位于加那利群岛的特内里费岛）的曼努埃尔·卡雷拉斯（Manuel Carreiras）和同事在《自然》（Nature）上发表文章指出，当训练有素的口哨语言使用者听到戈梅拉口哨语时，负责语言理解的脑区——左半球的颞叶会被激活。该发现意味着，对于熟练使用口哨语言的人，大脑中已知的语言相关区域也可以处理那些只有音调改变的声音信号（类似于音乐旋律），而不熟悉口哨语言的人则不具备该功能。

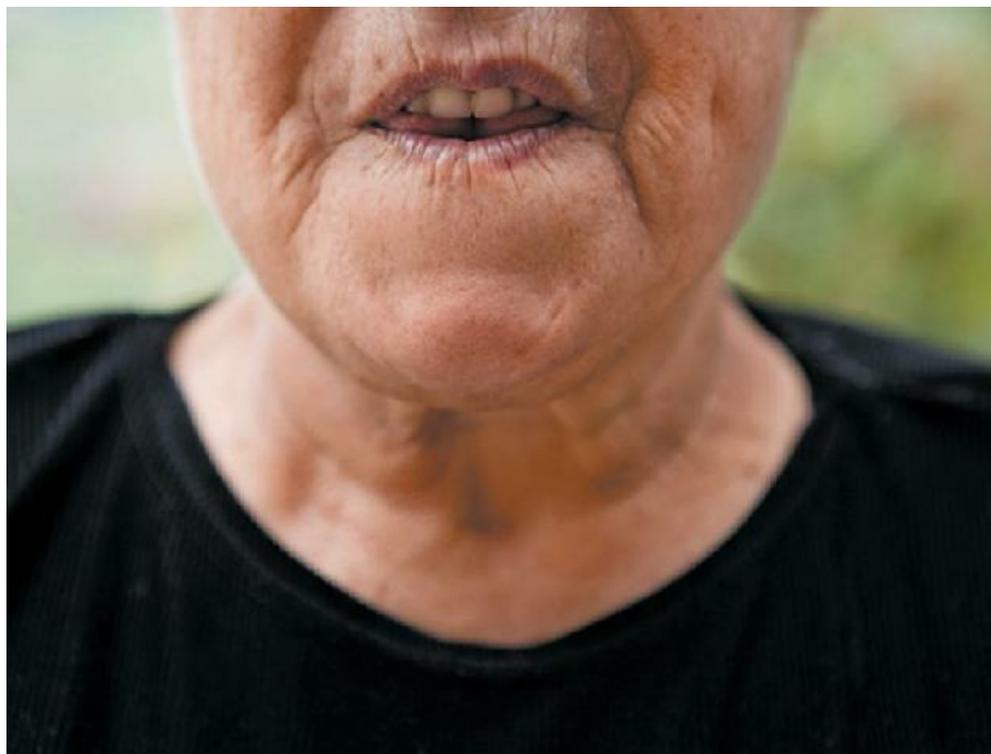
德国波鸿大学的奥努尔·京蒂尔金（Onur Güntürkün）想要知道这一过程是否只有大脑左半球参与。传统观点认为，绝大多数情况下，大脑的左半球是语言处理中心。早期研究表明，左半球不仅是声调语言及非声调语言的主要语言中心，还是无需声带振动的搭嘴语言（click language，通过口腔发出的吸气声来交流，主要出现在一些非洲部落）和手语的主要语言中心。京蒂尔金想要知道，与旋律和音调处理相关的右半球在对口哨语言的处理中起到多大的作用。

为此，京蒂尔金等人招募了库斯克依的居民，受试者分别接受了口哨语言和正常口语的听力测试。听到口哨语言音节时，两个半球的激活程度几乎相同，但当他们听到口语音节时，则主要是左半球被激活。这项研究于2015年发表在《当代生物学》（Current Biology）期刊上。该结论仍需在其他口哨语言的使用者中得到进一步确认，但它对左半球在语言理解中占优势的主流观点提出了挑战。这些研究表明，口哨语言有助于增进我们对大脑处理信息方式的了解。

作为两个学术机构的成员，我目前正在推动这些研究。2002年，世界口哨语言研究协会成立。2015年，针对哨语的新一轮研究由我在法国国家科学研究中心的GIPSA实验室启动。

研究口哨语言的另一层意义在于，这些独特的交流方式是各民族文化遗产的一部分，因而我们的研究有助于保护这些遗产。加那利群岛走在了口哨语言保护的最前沿。1999年，戈梅拉口哨语成为戈梅拉岛小学的必修课。当地政府还成立了一个正式项目用于培养口哨语言的教师。为了重振口哨语言，当地采取了一系列措施，例如成立一个用于提供口哨语言课程的机构——口哨语言文化与研究协会，甚至开发了一款名为“Yo Silbo”的应用程序来训练人们的口哨语言听力。

如果此类研究取得成效，那么口哨语言将不仅仅是一种邻里间沟通的手段。它可以使我们更深刻地理解，简单的音调变化如何被塑造成一种可以交流复杂思想的工具。



通过卷曲舌头背面，安蒂亚的基里亚库拉·杨纳卡里（Kiriakoula Yiannakari）用口哨语言对其他村民说话。

---

本文审校 陈林是中国科学技术大学生命科学学院教授，主要研究方向包括汉语声调的听觉认知加工、耳鸣的神经机制。

扩展阅读

Typology and Acoustic Strategies of Whistled Languages:Phonetic Comparison and Perceptual Cues of Whistled Vowels. Julien Meyer in Journal of the International Phonetic Association, Vol.38, No.1, pages 69 – 94;April 2008.

The Study of Tone and Related Phenomena in an Amazonian Tone Language:Gavião of Rondônia. Denny Moore and Julien Meyer in Language Documentation&Conservation, Vol.8, pages 613 – 636;2014.

Whistled Languages:A Worldwide Inquiry on Human Whistled Speech. Julien Meyer.Springer-Verlag, 2015.

Whistled Turkish Alters Language Asymmetries. Onur Güntürkün et al.in Current Biology, Vol.25, No.16, pages R706 – R708;August 17, 2015.

World Whistles Research Association: [www.theworldwhistles.org](http://www.theworldwhistles.org)

The Whistled Language of La Gomera. André Classe;April 1957.

Saving Dying Languages. W.Wayt Gibbs;August 2002.

深度  
演化

EVOLUTION

---

责任编辑：吴非

# 猿类演化通史

大猿类家族有着十分昌盛的过去，有化石记载的大猿类成员包含40个属，而如今却只剩下了3个属。虽然这些化石记录之间存在一些空白，但是我们能够借助它们来重建大猿类家族的演化历史，重现大猿类多次称霸地球的辉煌。

撰文 让-雅克·耶格（Jean-Jacques Jaeger） 翻译 徐寒易 审校 董为 潘雷



原康修尔猿



森林古猿



西瓦古猿



山猿



奥兰诺古猿

大猿类家族相册



让-雅克·耶格是法国普瓦捷大学（Université de Poitiers）演化和古环境研究所的荣誉教授。

### 精彩速览

大猿类的化石将它们的历史娓娓道来。

大量化石记载了人类和猩猩的祖先，而大猩猩和黑猩猩祖先的化石记录较为匮乏。

第一批大猿类出现在距今2500万到3000万年的非洲。

它们曾多次迁徙到亚洲，甚至涉足欧洲。

大猿类具有强大的进化可塑性，因此，它们的演化之路可能仍在继续。

这是一则很著名的故事。1860年6月30日，在英国科学促进协会的年会上，托马斯·亨利·赫胥黎（Thomas Henry Huxley）和塞缪尔·威尔伯福斯（Samuel Wilberforce）之间爆发了一场唇枪舌战。赫胥黎是达尔文进化论的热情拥趸，而那时与会的学者们才刚刚接触这个理论。牛津大主教威尔伯福斯向赫胥黎发问：“究竟是您的祖父还是祖母是从猴子变来的？”

赫胥黎反唇相讥：“如果要我在猴子与一个受过教育，却用自己的文化和口才来维护偏见和谎言的人之间选一个做祖先，我会毫不犹豫地选择猴子。”实际上，达尔文是第一个提出人类和黑猩猩之间有共同祖先的人，不过这是在《物种起源》（On the Origin of Species）一书出版10年之后的事了。

那么这个共同祖先究竟是谁？通过回顾大猿类（除人类以外的人科动物，包括猩猩、大猩猩和黑猩猩）的荣耀史，我们可以从中得出些许答案。

首先，让我们回到英国剑桥，回顾发生在这里的另一个重要事件。在赫胥黎与威尔伯福斯的辩论之前两天，有一场并不是那么著名的辩论，辩论的主题是关于海马体的。当时英国最著名的解剖学家理查德·欧文（Richard Owen）声称，人类和其他灵长类有很大不同，因为人类有特殊的形态学特征，其中最突出的就是人类大脑特有的禽距（*Hippocampus minor*），所以哺乳纲不能包括人类。赫胥黎对这一说法予以反驳，他的观点得到了当时学术界的认同。就这样，大猿类正式成为了人类的近亲。

现在，支持人类和大猿类之间存在亲缘关系的科学证据，不论在数量上还是质量上都呈压倒性的态势，只有少数受到特殊意识形态影响的人还在作顽固抵抗。在分类学上，人类、黑猩猩和大猩猩都归属于人科。通过DNA的比较，科学家还原出大猿类的连续演化历程。

这些种类在生物化学和基因上的相似性毋庸置疑，但是它们的解剖学结构差异同样不容忽视。现生的人科各物种的肌肉、牙齿、骨骼特征各不相同，科学家很容易就能凭借这些特征予以区分。现代古灵长动物学的一大挑战，就是找到人类和黑猩猩的共同祖先。

我们曾经试图通过设想中间型的解剖学特征来重建这个共同祖先，但是因为镶嵌进化（*mosaic evolution*）现象，也就是身体各个部分的演化并非同时发生，这种尝试成了泡影。以运动系统为例，我们的共同祖先是怎样行走的？它们是双足还是四足行走？能不能像现代的黑猩猩一样悬吊在树上，在树枝间摆荡穿行呢？

或许，我们可以从系统发育关系更远的动物（大猩猩、猩猩、长臂猿）的解剖学结构中寻找灵感。或者，我们也可以将所有的希望寄托在动物学家恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel）的名言“个体发生是系统发育简短而迅速的重演”（*Ontogeny recapitulates phylogeny*）上，但是这条路显然也行不通。

还有一种方法——通过分析大猿类的化石记录，重建它们的历史和解剖学特征的演化。这就是我们将在本文阐述的方法。

## 最早的人属祖先

撒海尔人乍得种（*Sahelanthropus tchadensis*）是人类演化谱系的首位代表。撒海尔人乍得种发现于非洲乍得的一处有着700万年历史的遗址，它们见证了人类和黑猩猩分道扬镳的古老历史。这些古猿极有可能是双足行走的。

至于演化之分叉路口的另一方向——黑猩猩，或是更早与人类和黑猩猩支系分开的大猩猩，关键的化石证据尚未出现，因此无法重建它们的演化历史。目前，科学家只在肯尼亚的一处距今50万年的遗址发现了一些与现代黑猩猩相似的牙齿化石。

然而，作为我们的亚洲近亲，猩猩却留下了不少演化证据。这些证据反驳了一个曾广为流传的观点——湿润的热带丛林不利于骨骼化石的保存。

不过，黑猩猩和大猩猩祖先化石证据的缺失至今仍是一个谜团。在人类化石记录的映衬之下，这一点显得格外扑朔迷离。

不过，其他一些已经灭绝的大猿类却留下不少化石证据，似乎在冥冥中帮助我们。这些化石来自2000万到700万年前的旧大陆，即非洲、欧洲和亚洲。这些化石种类繁多，我们已经从中发现了40个不同的属。可以确定的是，它们起源于非洲，并且属于非洲类人猿的演化分支。一种假说认为，大约4500万年前，这些大猿类的远房祖先在亚洲出现。

来自非洲的化石记录见证了3000万到2500万年前第一批大猿类的诞生。这些灵长目动物被称为原康修尔猿科（*Proconsulidae*），它们的化石仅出土于非洲东部，是第一批没有尾巴的猿类（指人猿超科，*Hominoidea*，包括长臂猿科和人科）。它们居住在热带丛林及边缘地带，主要以水果为食。与它们的旁系——猴科（*Cercopithecidae*，如狒狒、猕猴、疣猴和叶猴）一样，原康修尔猿只有2颗前臼齿。

定义

## 什么是“大猿类”？

与其他灵长类动物相比，现代大猿类（黑猩猩、大猩猩、猩猩）具有一些独有的特征。最明显的区别就是大猿类没有尾巴。这个特征也导致了一系列解剖学改变，这些变化让大猿类的躯干变得更为僵硬，有助于它们通过悬吊的方式在树木间移动。

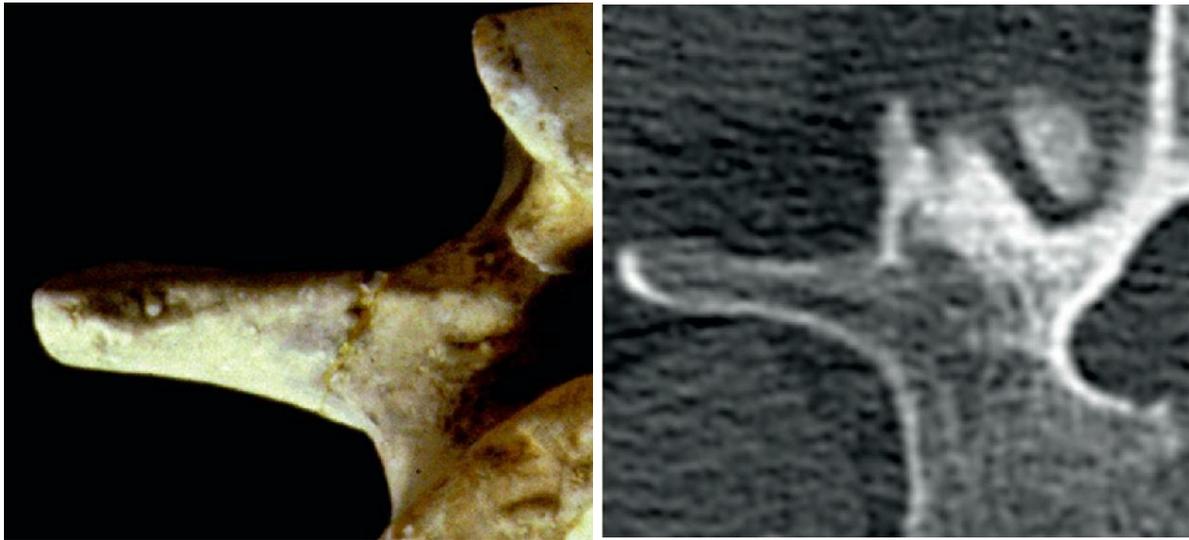
因此，大猿类的肩胛骨长在背部而不是身体两侧，胸腔成了扁平的椭圆形，双臂相对于双腿变得更长，腰部变短、变僵硬，腰椎也发生了变化，四肢的关节以及手腕变得灵活，双手变大，手脚的抓握力变强，指骨及趾骨变弯。不过，只有人类为了双足直立行走而抛弃了这些本属于祖先的特征。

一般来说，除了演化初期，大猿类的个头都比较大。它们的发育期和妊娠期都比更原始的远亲更久，而它们的智力则高于其他种类的哺乳动物。

大猿类是杂食动物，主要以果物为食，这从它们牙齿的形态就可以判断。不过，大猿类的这些特征是随着时间推移慢慢演化出来的。最古老的大猿类出现在3000万至2500万年前的非洲东部，那时它们还并不具备这些特征。它们的运动系统还与在树枝间攀爬的四足动物相似。

不过在那以后，大猿类的关节就开始变得灵活，这预示着这些部位将在未来发生特化。Morotopithecus（年代尚有争议，大约在2000万到1500万年前）这种来自非洲东部的原康修尔猿的腰椎就与现代灵长目动物，尤其是人类颇为相似。这意味着它们可能是双足直立行走的（见图）。

但是，从四肢的解剖学结构来看，并不能说明它具有这种适应性，反而展示出运动系统的特殊性。这一特征或许意味着已经灭绝的原康修尔猿属在适应辐射时出现平行演化。



Morotopithecus（左图）的腰椎在很大程度上与人类相似（右图，X射线相片）。

## 原康修尔猿是死胡同？

在大约2600万年前的非洲，猿类和猴科首次分开。猴科动物的臼齿具有特异化的横脊，有助于咬断植物中的纤维；此外，猴科还保留有尾巴。与猴科不同，猿类的臼齿没有横脊，它们主要以果物为食。

在分化前，猿类和猴科动物的运动系统与现代猴科相近，适于四足攀爬。但很快，原康修尔猿就凭借着四肢灵活性和抓握力的优势脱颖而出。在此后至少1000万年的时间里，原康修尔猿在非洲大地迅速辐射开，留下了品种繁多、体型各异的大猿类化石。

非洲原康修尔猿是人科的祖先吗？学界并未就此达成一致。很多专家认为，在大约1500万年前，随着最后的代表走向灭绝，原康修尔猿的适应辐射（指原始种类演变至适应不同环境的物种的过程）也戛然而止。不管怎么说，很少有灵长类学者将原康修尔猿视为现代人科的祖先。因此，我们只得另觅他处了。

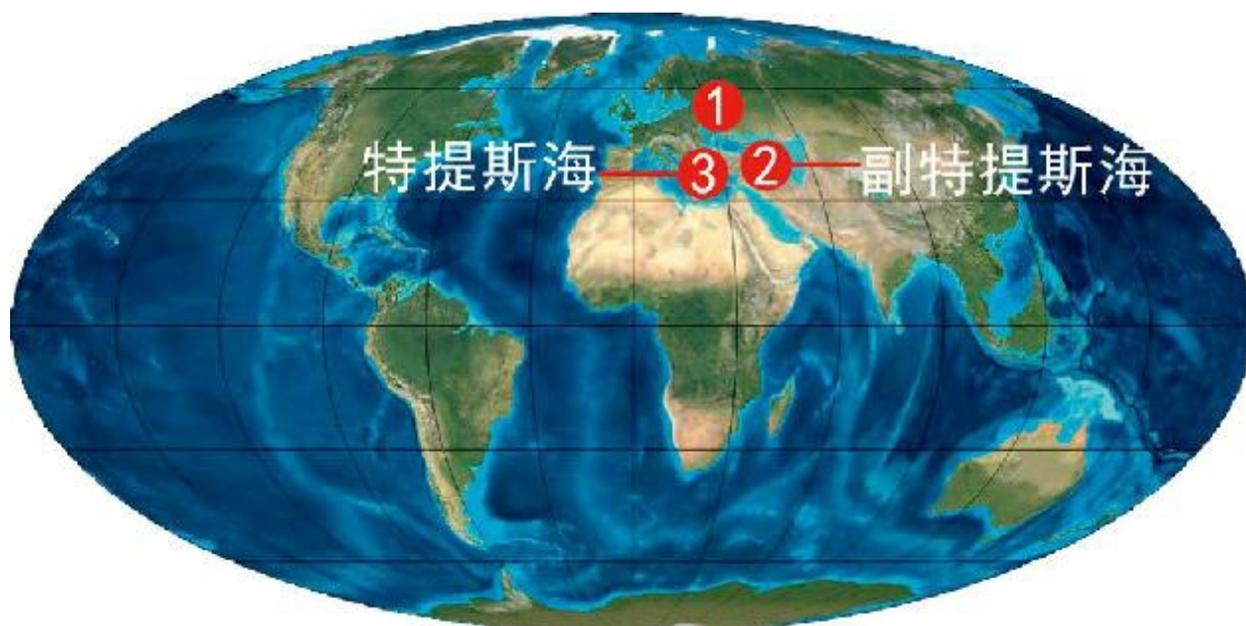
由于构造运动和气候变化，旧大陆发生了翻天覆地的变化，这些变化也导致第一批猿类将足迹扩展到非洲之外。

首先，在2500万年前，非洲板块与欧亚板块之间发生碰撞。在此之前，特提斯洋（Tethys Ocean）阻挡在非洲大陆与欧亚大陆间。由于板块碰撞，特提斯洋的一个支脉闭合（见本页图）。这次碰撞引发的大规模造山运动塑造了扎格罗斯山脉（位于伊朗和伊拉克之间）等山体，并开辟出一条连通非洲和欧亚大陆的陆上通道。

几百万年后，气候变化再次改变了猿类的分布范围。大约1700万至1600万年前，一次全球性的气候变暖导致热带特有的植被向两极延伸。此时，猿类已经占领了亚洲的热带地区及欧洲，也包括伊朗、土耳其、巴尔干等过渡地带。

至此，第一批猿类开始占领亚洲。目前它们留下了两支差异巨大的后裔：长臂猿科和人科（如猩猩）。长臂猿体型偏小，擅长悬吊，营树栖生活。由于长臂猿成双成对地生活，两性异形（sexual dimorphism）并不明显。与此相反，猩猩体型更大，而且两性异形程度较高。它们虽然也适应悬吊，但不如长臂猿那样得心应手。

根据DNA分析，长臂猿可能是在大约2000万年前分化出来的，而猩猩的分化时间则在约1700万年前。与此相对应的是，目前亚洲最古老的化石证据只有不到1400万年，而且它们仅仅来自猩猩的祖先。而对长臂猿的起源及演化历史，我们可谓一无所知。



在中新世（2300万到500万年前），东欧曾被副特提斯海（paratethys）贯穿。由于副特提斯海的存在，欧亚之间仅存有两条互通的道路（1和2）。在更南边，由于非洲板块和欧亚板块在此交汇（3），特提斯海（tethys）无法向东挺进。这个板块交界处在较长时期内反复消失又出现，最终在1500万年前固定下来，为非洲和欧亚大陆之间腾出了一条可供迁徙的走廊。非洲原康修尔猿是人科的祖先吗？有这个可能，但是学界尚未达成一致。

## 占领亚洲

已知最古老的关于猩猩祖先的证据，来自3个属于西瓦古猿属（*Sivapithecus*）的物种。西瓦古猿与猩猩在解剖学上有不少相似之处，比如它们的面部均呈凹陷状，眼眶形状较方而且上下眼眶间距较大，另外双眼间距较窄（见79页）。不过，它们的牙齿和头后骨骼（指除了头骨以外的骨骼）的形态和现代猩猩有较大差别。更重要的是，它们并不擅长悬吊，运动方式也较为原始，更接近四肢行走的狒狒。

西瓦古猿的化石出土于喜马拉雅山南麓的尼泊尔、印度和巴基斯坦。大约800万年前，由于发生了剧烈的气候变化，这些地区的森林急剧衰退，西瓦古猿也在这个时期灭绝。

900万年前，西瓦古猿的近亲巨猿属（*Gigantopithecus*）从西瓦古猿中分化出来，它们身材高大，形同巨人。在更靠东的缅甸和泰国，呵叻古猿属（*Khoratpithecus*）在距今700万到1200万年之间分化出来。呵叻古猿的个头和现代猩猩差不多大，而且有许多相似的特征，其中最明显的当属牙齿、下颌骨的关节，以及下颌肌肉所具有的罕见共性。这表明呵叻古猿与猩猩的祖先具有非常近的亲缘关系。

另一类亚洲古猿是禄丰古猿属（*Lufengpithecus*），它们在900万到600万年前曾广泛分布于中国南部的高原。它们的牙齿与猩猩惊人地相似，但是颅骨形态却有明显差异。而头后骨骼的特征表明禄丰古猿可能擅长悬吊，但目前尚缺乏决定性的证据。因此，它们与猩猩的亲缘关系仍然比较模糊。

禄丰古猿可能是亚洲古猿残存的一脉后代，因此属于亚洲大猿类的一个原始分支。另一种假说是，它们可能来自欧洲中部或者东部。作为生活在亚洲的欧洲古猿的代表，安卡拉古猿属（*Ankarapithecus*）于大约1000万年前生活在土耳其，它们证明了欧洲大猿类在晚中新世的分布范围的扩展。

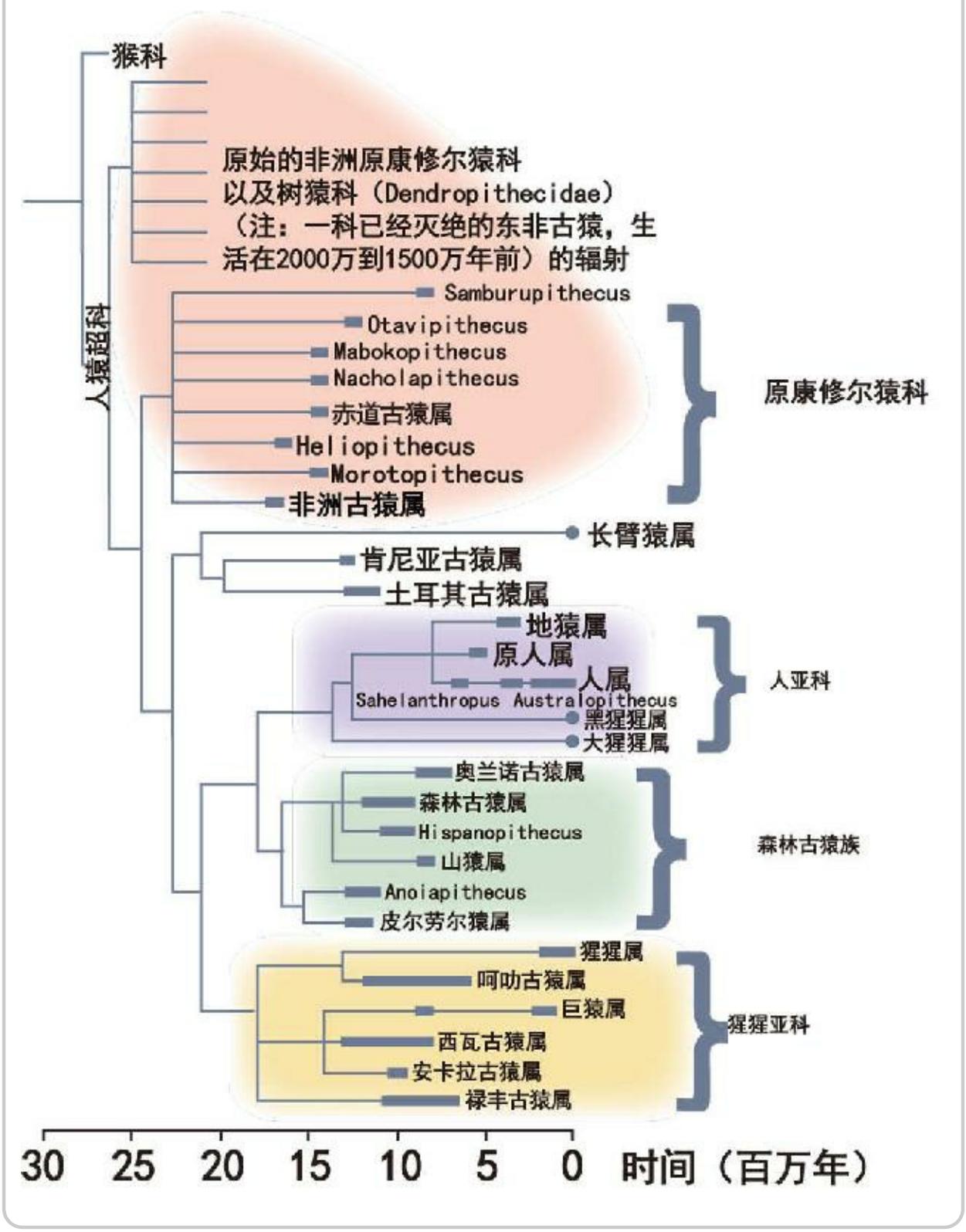
这些亚洲大猿类在解剖学上有着颇为相似的独特特征，这说明它们可能拥有共同的祖先。最值得玩味的是，现代生活在亚洲的猩猩与非洲大猿类对悬吊的适应能力似乎是从共同的未知祖先分别独立演化而来的。在大猿类的演化过程中，这位共同祖先的基因组蕴含的潜能，使得这种适应性至少独立出现了两次（分别是在猩猩中，以及黑猩猩和大猩猩的共同祖先中）。

在欧亚大陆的另一端——欧洲，大猿类的辐射范围同样惊人。迄今最古老的欧洲大猿类化石证据，是一颗出土于德国的牙齿。科学家曾推断其有1650万年的历史，但该结论最近遭受了质疑，目前普遍接受的结论是1400万年。这些欧洲先驱的祖先毫无疑问来自非洲。

演化谱系

猿类演化历史

旧大陆大猿类化石间的亲缘关系及历史。非洲大猿类的第一次适应辐射产生了丰富的多样性（粉红色）。现代人亚科物种（包括人类，紫色）的祖先正是由这群大猿类分化而来。根据传统理论，欧洲的森林古猿（绿色）是非洲的人亚科（紫色）的姐妹群。这种理论意味着人科的祖先必须再次回到非洲。但是另一个证据稍显薄弱的假说认为，森林古猿是亚洲的猩猩亚科（黄色）的姐妹群：换句话说，人科祖先的演化历史完全在非洲上演。



森林古猿

1856年，在法国上加龙省圣戈当斯附近的一个采矿场中，人们挖掘出第一具完整的欧洲大猿类化石。古人类学家将其命名为森林古猿（*Dryopithecus*），即橡木林中的猿。这是因为这个化石上有橡木叶的痕迹，这令当时的发现者颇为震惊。但是今天的人就无需大惊小怪了，因为在东南亚也生长着热带橡木。（注：原文如此，但经查证得知，*Dryopithecus*原意为生活在树上的猿，“橡木林中的猿”为后人误读。）

大部分欧洲大猿类的化石是在法国、西班牙、匈牙利和希腊这4个国家发现的，其中最完整的化石多出土于西班牙加泰罗尼亚。在1200万年前到900万年前，那里生活着4种个头与黑猩猩相近的古猿：森林古猿、*Anoiapithecus*、皮尔劳尔猿（*Pierolapithecus*）和*Hispanopithecus*。

一些专家主张对这些大猿类进行重新分类，以便精简物种数量。但在西班牙巴塞罗那大学的研究人员S·莫亚-索拉（S.Moya-Sola）看来，这些同属于森林古猿族的猿类的解剖学特征差异已经明确地表明它们属于不同的物种。

这些大猿类化石的解剖学记录非常完整。它们大多数曾生活在潮湿的热带丛林中，这里全年果物丰沛。但是在900万年前，欧洲西部和中部的气候开始恶化，导致这里的热带丛林和居住在里面大猿类消失得无影无踪。

东欧的气候变化发生得更早一些，因此居住在这里的一些大猿类得以适应更加开阔的环境和多变的季节。奥兰诺古猿属（*Ouranopithecus*）即是如此。它们生活在距今1000万到700万年的希腊和土耳其地区。奥兰诺古猿属于西欧的森林古猿族，但具有一些人类的特征：牙釉质极厚、智齿较晚出现、犬齿较小。

这是否说明奥兰诺古猿与以撒海尔人乍得种为肇始的人类谱系很近呢？有人认为，这不过说明了两者牙齿的趋同进化而已，因为它们的牙齿都需要研磨粗糙的食物，并且它们都生活在季节多变的环境中。奥兰诺古猿的运动方式并不为人所知，根据猜想，它们像四足动物一样在地面上走动。

最后要介绍的欧洲森林古猿是山猿（*Oreopithecus*），它们生活在距今900万到800万年的意大利（那时意大利还是个岛）。

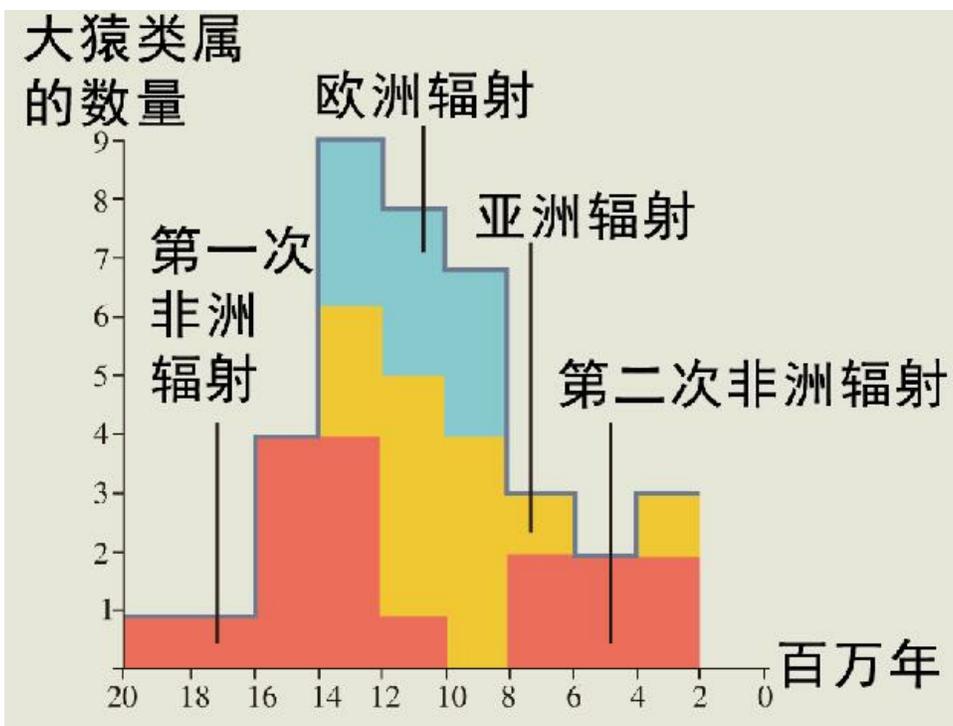
一些人认为，这些占领了欧洲的森林古猿是非洲人科的姐妹群（群中的成员均拥有最近共同祖先），因为它们以悬吊的方式运动。然而它们与非洲人科的中间型尚未被发现。

另一些学者提出了其他解释。比如，这些欧洲森林古猿是亚洲大猿类的姐妹群，而与非洲人科没有紧密的亲缘关系。从生物地理学上考虑，这个假说比前一个更为严密，但它并没有为争论画上句号。要注意的是，这几个假说都暗含这样一个假设：悬吊式的运动方式是平行演化的结果，而非仅仅出现过一次。

分布

### 适应辐射

大猿类在2000万至200万年前之间蓬勃发展，并在1400万至800万年前之间到达顶峰，此时热带森林面积广褒无垠（尤其在欧洲）。在非洲，大猿类经历了2次适应辐射（红色）。现代人是第二次辐射的后代。



## 两个竞争对手

除了上面介绍的这些大猿类以外，还有两种不太知名的大猿类可能成为人科始祖宝座的有力竞争者。

首先是1400万年前的土耳其古猿（*Griphopithecus*），这是欧亚大陆最古老的大猿类。科学家在土耳其、德国和斯洛伐克发现过它们的遗迹。虽然出土的只有牙齿化石，但是它们却表现出与人科动物牙齿的相似性。

接着，肯尼亚古猿（*Kenyapithecus*）在肯尼亚的特南堡出土，其历史有1300万年。土耳其一个有着1400万到1500万年历史的遗址也曾同时出土了土耳其古猿和可能属于肯尼亚古猿的化石。肯尼亚古猿所具备的一些罕见特征和人科极为相仿。

肯尼亚古猿在欧亚大陆的出现为一些假说提供了证据。这些遗传学家认为，非洲人科的共同祖先可能在非洲之外的地方演化，随后在早于1300万年前回到非洲，最终繁衍出现代的人科。

但这个理论仍存有争议，也有人提出了不同的看法。非洲东部出土了多种大猿类的化石，它们的历史大约有1500万年。通过这些属于赤道古猿（*Equatorius*）、*Nacholapithecus*等大猿类的骨骼及牙齿化石，人们对这些物种在演化谱系上的位置进行了讨论。

一些学者认为赤道古猿与肯尼亚古猿亲缘较近，因而将它归为肯尼亚古猿亚科。而其他学者则提出，赤道古猿是已经灭绝的，向东非辐射的古猿的后代，因而实际上与肯尼亚古猿没有直接联系。*Nacholapithecus*与原康修尔猿科的*Morotopithecus*独特的腰椎特征也与非洲人科相似（见81页）。

一些专家提出了更加惊人的猜想：欧洲的土耳其古猿和非洲东部的赤道古猿实际上属于同一个物种。因此，摆在我们面前的是2个互相矛盾的假说：人科的祖先要么是后来重回非洲的某种欧亚大陆大猿类的后代，要么就一直在非洲繁衍生息。如果是第二种情况，那么人科祖先在非洲当地演化的证据，就隐藏在1300万到800万年前这段缺乏地质记录的时间内。

不管怎么说，对大猿类化石的研究展现出令人咋舌的复杂性。在近2000万年的时间内，全球气候长期处于波动状态，造成大猿类的食物不断改变，它们的牙齿也随着饮食的改变而迅速演化。同样，它们的头后骨骼也在不断地适应所居住的环境。

正是因为这种对环境的高度适应性潜能，大猿类家族才会演化出如此种类繁多的物种，直至拥有硕大脑部、双足直立行走的人类登上历史舞台。在解剖学上，人类的进化可塑性必定没有消失，因此我们可以肯定，和过去2000万年一样，人类的形态会在未来按照相同的步伐、带着一样的可塑性继续演化。未来，新的大猿类会出现吗？

---

本文审校 董为是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员，研究方向包括晚新生代哺乳动物系统演化、人类起源与演化的环境背景。

潘雷是中国科学院古脊椎动物与古人类研究所助理研究员，研究方向为早期人类起源与演化。

深度  
对话 DIALOG

---

# 丘成桐：中国学术资助制度不完善

引进优秀的科学家，可以给中国科研圈注入很大活力。

本刊记者 丁家琦



## 人物

姓名丘成桐 (Shing-Tung Yau)

机构美国哈佛大学

职务数学、物理学教授

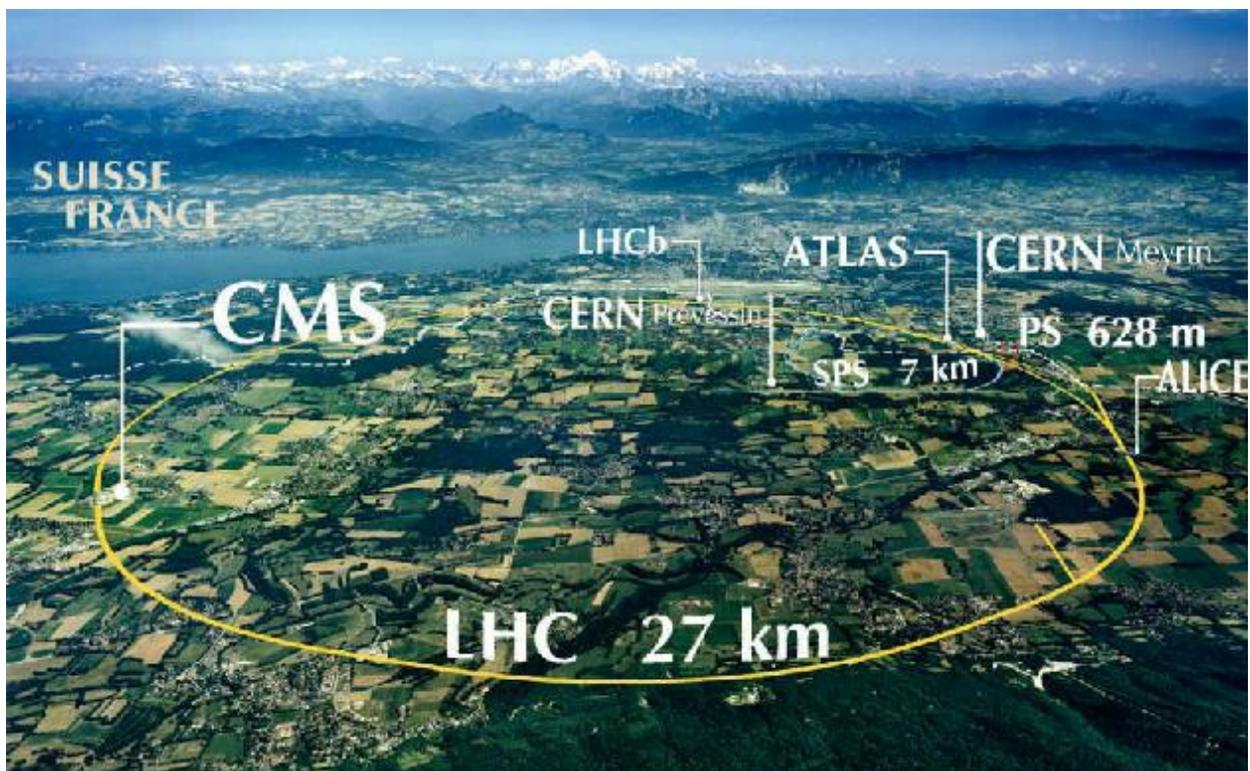
研究方向微分几何学

他是当今最优秀的华人数学家，也是当代世界最有影响力的数学家

之一。他成名很早，求学与科研轨迹堪称“学霸”范本：大学才上了两年就经推荐赴美攻读博士，短短两年后即获得博士学位，27岁就证明了微分几何领域的卡拉比猜想，在数学界一举成名。他在目前最接近万有理论的物理学理论——弦论中留下了自己的名字：以他的名字命名的卡拉比-丘流形（Calabi-Yau manifold）成为弦论中的基本概念；他囊括了菲尔兹奖（1982）、沃尔夫数学奖（2010）这两项数学界的最高荣誉，被《纽约时报》称为“数学皇帝”（the Emperor of Math），有人说他“在27岁时就做完了一生中最重要的研究”，但他至今每年仍有高水平工作发表。

他是丘成桐，哈佛大学数学系、物理系教授。除了自己的学术研究之外，他还培养了众多来自中国的留学生，还在北京、浙江、香港、台湾等地区都建立了数学研究所与研究中心，他的学生刘克峰、顾险峰等，都已成为知名数学家。

丘成桐始终很关注中国科学与数学事业的发展，比如他曾通过网络发声，深度参与关于中国是否应该建造巨型粒子对撞机的讨论。不久前，丘成桐应邀出席东润创新与未来教育论坛，《环球科学》借此对这位传奇数学家进行了专访。在采访中，他对中国科学的发展、科技人才的培养，都提出了独到的见解。



欧洲核子研究中心（CERN）主导建造的大型强子对撞机（LHC）是目前世界上最大的粒子对撞机，位于瑞士日内瓦近郊，轨道总长达27千米，有1万名科学家和工程师在此工作。

图片来源：CERN

《环球科学》：你早期最著名的工作是在几何学方面，这是数学中的领域，它是如何与物理学的弦论产生联系的呢？

**丘成桐：**一个世纪前，爱因斯坦提出广义相对论，他发现引力就是由时空的几何变化产生，二者是等价的，几何学家因此开始对引力产生极大兴趣。弦论刚诞生时只是粒子物理领域的理论，跟几何无关，但在后来的研究中，科学家慢慢发现，弦论与时空引力有着密切的联系，甚至它的基础就是几何。自此，弦论研究对如何用几何方法研究引力场，并将几何学与量子力学结合起来做出了很大的贡献。我做的工作，就是构造出了一些时空的结构，可以支持物理学家的理论。

我在1976年完成卡拉比-丘流形的工作，它一开始是在数学中被提出的，解决了很多重要的数学问题，但在弦论诞生后，物理学家发现卡拉比-丘流形正是他们所需要的东西——它可以解释一些物理现象。在1984年时，一些物理学家找到了我，因为他们发觉这些流形可以用来建造弦论的模型，这是一个非常重要的工作。大量物理学家的加入，对卡拉比-丘流形在数学领域的发展带来了很大帮助：我们原先对卡拉比-

丘流形的直观概念不够丰富，而物理学家从弦论带来的直觉和猜想对我们有很大的帮助；反过来，数学对弦论的发展也极有帮助：因为弦论还不能通过实验来证明，而数学家通过证明得出的结论是极为严格的，甚至几乎是完美的，不可能有错，因此，数学可以给物理学家的猜想提供部分证明。

《环球科学》：你认为通过数学上的推导和计算就可以“证明”弦论的正确性，但一个科学理论的正确与否难道不需要通过实验来验证吗？

丘成桐：我们都同意这个观点，即一个科学理论的正确性最终需要通过实验来验证。但是数学能够严格证明和这些理论有关的猜想，也是极为重要的贡献。同时，弦论所讨论的是时空和粒子最基本的结构，以及它们的相互关系——这是人们自古以来就一直想研究清楚的大问题，不是一朝一夕能够完成的事。想在三四十年的时间里就能提出基本理论并用实验证明它，几乎是不可能的，牛顿力学也经过了八九十年的发展才完善。弦论目前不能用实验来证实确实是它的一个缺陷，但这么宏大的事物，试图用三四十年的时间就证实它，这样的想法未免太过急切。

弦论刚开始流行时，有些物理学家夸大了它的地位，认为它就是大统一理论，是所有学问的终结，这是不对的，不应该这么讲。可是弦论还是很重要的，我们目前没发现它有矛盾，它至少在数学上是完美的。

《环球科学》：正如你所说，一门学科的建立、发展和实验验证需要很长时间的 effort，你近几年一直大力呼吁中国建设巨型对撞机，也是为了给最终通过实验验证弦论铺路吗？

丘成桐：从牛顿力学开始萌芽到今天，我们的实验能力有了很大的提升，自法拉第做了电磁学实验、麦克斯韦提出电磁理论之后，如今电子仪器工业已经有了很大的进步，现代计算机编程技术更是让实验科学如虎添翼，这反过来也促进了我们对大自然的了解和理论的发展。如果不去做实验，科学发展就会受到限制。

建设大型对撞机就是为了实验科学的发展，它不直接服务于弦论，它促进的是高能物理的发展。对粒子物理的了解加深以后，我们就可以了解一些基本的东西，比如宇宙的结构、宇宙产生的原因、星体产生的原因等等。为了探索新的现象，我们需要进一步提升大型对撞机的能量，因为在不同的能量下可能会有意想不到的现象。我们不能因为不知道会产生什么样的现象就不去做实验，我们要开辟一条别人没走过的

路，这才是创新精神。当年哥伦布航海也不知道要去哪里，就是一直往西方走，最终发现了新大陆。科学的发展就是这样，不可能每次都思考得清清楚楚以后再去找。科学上的大发现之所以能够震惊全世界，往往就是因为它的出现并不是一般科学家预料会发生的。

《环球科学》：科学探索当然永远是有益的，但我们可能也要考虑性价比问题。建造一个甚至比LHC还要大很多的巨型对撞机需要大量的经费，如何回应公众在这方面的质疑？

**丘成桐**：其实花的钱也没有你们想象的那么多，有些人把对这个计划的描述扭曲了。巨型对撞机的建设大概需要30年，第一期是15年。15年用400多亿人民币，平均一年26亿左右，国家现在办的很多大型活动，都比这些投资大。我有很多朋友是做地产的，投资比这个对撞机计划多几倍。许家印在海南岛投资了一个小城市，据说要花1500亿，上海迪士尼乐园大概也差不多吧，但你认为这些和对撞机相比哪个更重要呢？建造巨型对撞机，不仅对物理学的发展有好处，对中国的经济也有好处，同时学术上的贡献是恒久不灭的，中国人难道不想在基础物理学领域出人头地，领导世界吗？

《环球科学》：这些好处具体体现在哪些方面？

**丘成桐**：LHC项目现在有6000名科学家、4000名工程师，都是世界第一流的。中国为了引进人才，开设了“千人计划”，再过一段时间，需要的经费可能差不多也有400亿了，但引进的人才不过几千名。而且，就算对撞机项目只吸引来5000名科学家，也比千人计划成功，因为这些来自全世界的顶尖科学家全部时间都在中国，可以改变整个中国的科学氛围。最近中国设立了很多科研园区，每个园区都需要1000亿以上的资金来建设，但大部分的科研园区都没有一流科学家。可是科学的发展最直接的推动力就来自科学家，你在这个楼里放十多个有能力、有才华的科学家，我担保不出两年就会有国际一流的科学成果。而且，世界一流的科学家在一起讨论，在一起做研究，这样的风气也会感染全国其他科学家的发展。

通过建设巨型对撞机，我们可以用最简单的办法引进了一大批科学家，这对科研的发展、对高校和科研院的影响是巨大的，这些优秀的科学家可以给科研圈注入很大活力。很多研究生在北大、清华做不出一流的博士论文，但到了哈佛、斯坦福就能做，为什么？因为他们可以跟一流的科学家交流，自然而然地就能学到做学问的方法和精神。哈佛大学

是公认的世界顶尖名校，哈佛大学文理学院的教授只有800个，加上博士后等，人数也不会超过2000个，加上麻省理工学院及其他大学和研究机构，整个波士顿的科学家加起来可能也就有10000名科学家，波士顿算得上是全球科研最鼎盛的地方了，所以想想建设对撞机能吸引10000名科学家对中国的影响有多大。

《环球科学》：作为一名卓有成就的数学家，你认为在数学研究方面，是天分更重要还是勤奋更重要？

**丘成桐**：作为科学家，完全没有天分也不大可能，因为你至少要了解前沿的科研成果，不仅要知道，还要理解它具体和深刻的意义，这是学习的过程，再进一步也要看你的文化、思想、与人交流的能力。但是，像电影和小说里讲的那些“天才”是不存在的。我曾经看过一部电影叫《心灵捕手》（Good Will Hunting），讲的是麻省理工学院的一个清洁工，在一个晚上的时间里就解决了一个著名的数学问题，但是现实中这种事情是不会发生的。数学有两千多年的发展历史，中间出现了多少天才，伟大的数学家可能有好几百个，他们累积下来的这么多学问，经过不断的修改，去粗取精才留到了现在，要想不经过太多的学习，仅凭“天分”就能超越他们，是不大可能的。好的科学家要有文化，有思想，有兴趣，去深入地思考，这样才能完成大的事业。

《环球科学》：你是古典文化爱好者，也在演讲中多次提到数学和艺术的关系，在你看来，数学、理论物理的美与人文艺术的美之间有什么联系？

**丘成桐**：以画画为例，画家所描绘出来的事物与我们看到的常常是不一样的，因为他们的作品经过了他们内心的观念和感情的加工。无论作画也好，还是做数学也好，都有自己的感情成分在里面。我看到某个景物最漂亮，我就去画这个景物，因为它让我很兴奋。我做某一方面的工作，是因为对我而言，它呈现出来的美是让我感受最深的。对于别人，看到的可能是它另一方面的的美，所以他们做的工作就和我不一样。那谁能看到最精彩的地方，或者说，做出来的结果更可取呢？那就看这个人看到的是不是最普遍的地方。写小说也一样，有的人可以找到重点，然后把它描述出来。

此外，我们要了解一个事物，就要先建立一个框架。怎么建立框架呢？也跟这个人事物的看法和感受有关。曹雪芹写《红楼梦》，他写了一百二十回，结构是很严格的。他为了有条有理地描写贾府的兴盛和

衰落，每部分的安排都很严谨。我们做数学、物理也一样，想要了解某一件事，需要先建立一个框架，然后再做里面小的零件，这是做大学问所需要的。怎么挑选好的问题，怎么建立框架来深刻地了解大自然，这一点跟作画、写作都有相似的地方。

《环球科学》：你对中国数学研究的提携人所共知，中国数学在最近十年里有没有取得一些进步？怎么才能进一步促进中国数学的大学教育和科研呢？

**丘成桐：**中国改革开放以来，真正有大成就的学者不多。海外的留学生做出的成果较多，在中国本土的很少。但是有一点比较好的就是，现在很多留学生愿意回国发展，也愿意研究一些比较重要的问题。近十年来确实有进步，可能也与中国近年来经济发展有关系。科研环境好，才能研究重要的问题。

虽然进步是有的，但我认为科研经费还需要提高。现在北京、上海这样的大城市，教授的住房、生活条件不好，买房越来越困难，餐厅吃饭、买衣服比国外还要贵，但是薪水还比国外少，这是一个很严重的问题。教授不担心衣食住行，才能做好学问。一些人，包括政府官员认为，好的学者在最贫困的时候才能做出最好的结果，这是完全错误的想法。我专门研究过18、19世纪主要的大数学家，一百多人里面，只有两个是比较穷的，其他的一些人都经济充裕，甚至非常有钱。好的学问基本上还是在经费充裕的情况下才能做出来的。只有政府投入大量经费到基本科学中，中国才有可能做出世界一流的学问。

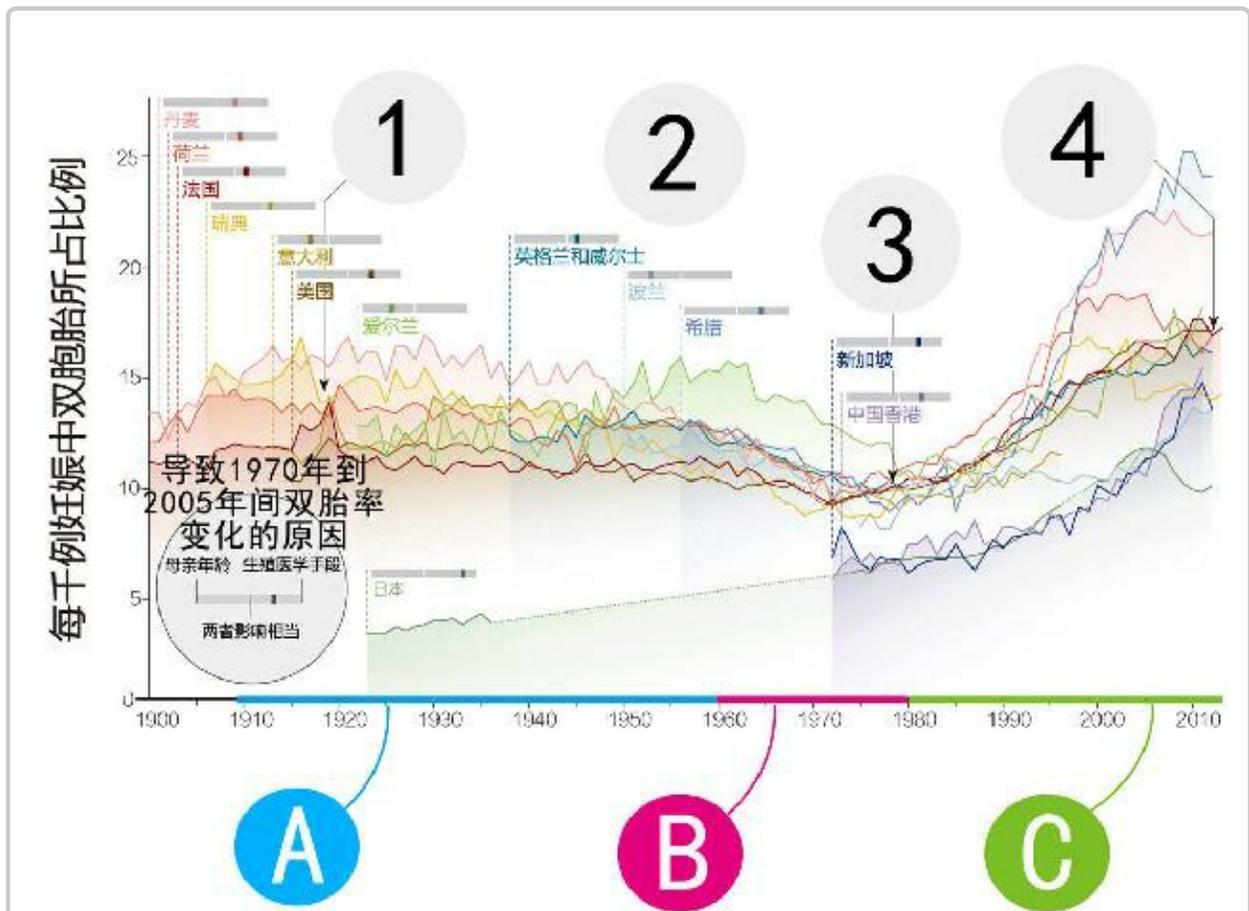
现在中国在学术资助制度上有了一些改革，但还是差得很远。有些制度甚至是莫名其妙的，比方说，我们要请一个海外的专家到中国来定居任职，第一件事就是让他去体检，体检没有通过就不行，这在国外是很莫名其妙的。我有个朋友，因为肾脏有问题没有通过体检，但这是天生的问题，并不是有意造成的。还有一点，就是他夫人需要生孩子，因为没有保险，不能在中国生产，只能回德国。这是在美国和欧洲都没有听过的。中国没有给他们提供良好工作环境的能力，这就是资助的问题。只有体制不断改革，经费不断提高，中国的科学才有可能进步。

图表科学

# 双胞胎出生率越来越高

生殖医学的进步导致多胎率节节攀升，政策调整势在必行。

撰文 凯特·皮克（Katie Peek） 翻译 郭凯声



① 第一次世界大战：双胎率曾短时间飙升，其原因之一在于，生育能力较强的女性——她们生下双胞胎的可能性较大——在其配偶从前线回来探亲的短暂团聚期间怀孕的机会更

② 遗传因素：在欧洲，女性生下异卵双胞胎的可能性为东亚地区女性的两倍，与撒哈拉以南的非洲地区女性相比，更是高达4倍。而各地同卵双胞胎出生的几率则是相同的。

③ 首例试管婴儿：1978年，路易斯·布朗（Louise Brown）在英国出生。

4 数量级的差异：2013年在美国出生的390万名婴儿中，有132000名是双胞胎，而三胞胎仅有4400

A 1910—1960年双胎率保持稳定

在发达国家，每千例妊娠中双胞胎所占比例在这段时期没有多大变化。

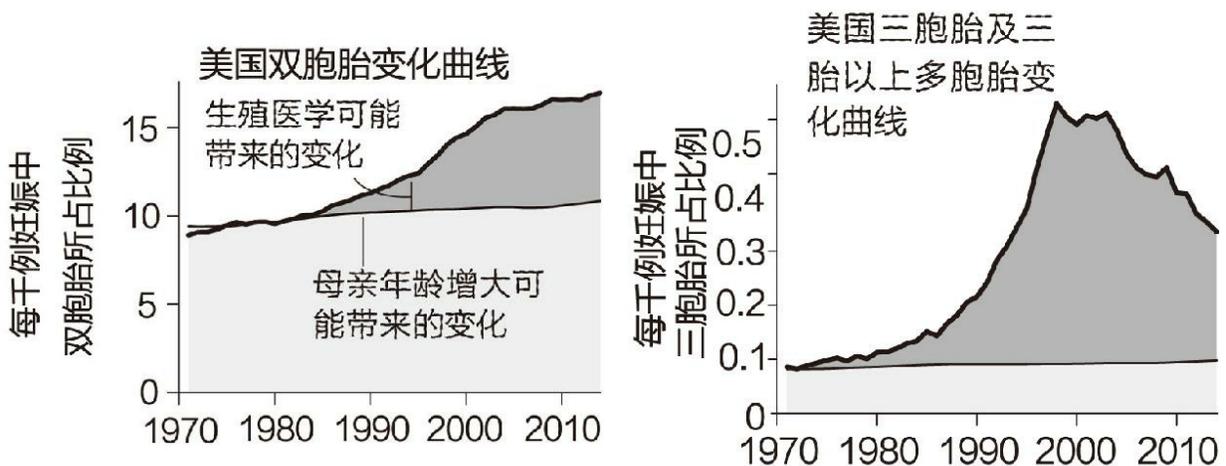
B 1960—1980年双胎率下降

避孕措施的推广，意味着那些生育能力强的女性可能在生下一对双胞胎后便再生育了，否则她们或许会生下多对双胞胎。

C 1980—2013年双胎率上升

女性怀孕的年龄推迟，而年龄较大的女性怀上双胞胎的机会也更多。此外，接受生育治疗的女性也越来越多，这种治疗更容易使女性怀上多胞胎。

自20世纪70年代以来，各发达国家出生的双胞胎婴儿与日俱增（如上面的大图所示）。女性怀孕的年龄越来越晚，意味着更多的女性会在双胞胎生育高峰年龄段（约35岁左右）怀孕。而且，生殖医学手段的日益普及，也使女性怀上双胞胎的机会进一步增多（如大图中曲线上方的条状图形所示）。由于怀上多胞胎会使母亲和婴儿都面临较大风险，因此公共卫生官员希望能扭转这种趋势。瑞典、丹麦和其他一些国家，正在尝试通过颁布指导方针或相关条例，来限制体外受精手术中植入胚胎的数量，从而遏制双胎率的升高。



哪个因素影响更大：

体外受精还是怀孕年龄？

在美国，随着女性生育年龄逐渐增大，生多胞胎的比例略有上升（图中细线所示），但在生殖医学的帮助下，多胎率急剧增高（图中粗线所示）。不过，自2000年以来，居高不下的三胎率一直在降低，其主要原因之一是在体外受精手术过程中，为女性移植三个或三个以上胚胎的医生已经越来越少了。仅植入一个胚胎也可以降低双胎率。

数据来源：“TWINNING RATES IN DEVELOPED COUNTRIES:TRENDS AND EXPLANATIONS,”BY GILLES PISON ET AL., IN POPULATION AND DEVELOPMENT REVIEW, VOL.41, No.4;DECEMBER 2015(large graph);“FERTILITY TREATMENTS AND MULTIPLE BIRTHS IN THE UNITED STATES,”BY ANIKET D.KULKARNI ET AL., IN NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE, VOL.369, no.23;DECEMBER 5, 2013(structure of small graph s);NATIONAL CENTER FOR HEALTH STATISTICS, 1971–2014(data in small graph s)  
制图：凯特·皮克（Katie Peek）



# 胃反酸，治还是不治？

服用抑制胃反酸药物的患者正面临一项令人不安的发现：长期服药，可能会造成痴呆或肾脏问题；而不服用，又会被胃反酸持续折磨。

撰文 卡伦·魏因特劳德（Karen Weintraud） 翻译 贾明月



卡伦·魏因特劳德，自由撰稿人，主要写作与健康 and 科学相关的报道，定期为《纽约时报》、STAT（[www.statnews.com](http://www.statnews.com)）、《今日美国》等媒体供稿。



如果患者饱受胃酸反流进入食管造成的折磨，大多数医生会给他们开一组名字非常奇怪的药物。这组非处方药被称为质子泵抑制剂（proton-pump inhibitor, PPI），能够很好控制反酸的症状，其中包括耐信（Nexium，埃索美拉唑）、普托平（Prevacid，兰索拉唑）和洛赛克（Prilosec，奥美拉唑）。如果没有特殊说明，患者一般可以持续服用这组药物两周左右。不过，由于预防烧心和缓解相关症状的效果实在太好了，很多患者，尤其是饱受胃食管反流病（gastroesophageal reflux disease, GERD）之苦的患者，并没有完全按照医生的吩咐服药，甚至会常年服用。

要知道，胃酸反流入食管后，会引发疼痛并破坏食道脆弱的内壁。而这组药物可以有效减少胃酸产生，预防腐蚀性液体反流进入食管。不过，近些年也有人提出，长期服用这组药物可能会带来额外的健康问题（如果按说明短期用药，应该是安全的）。比如，有研究发现，持续使用质子泵抑制剂与艰难梭菌导致的严重感染有关。这可能是由于减弱胃

内的酸性环境，会让本来无法生存的细菌有机会存活。还有研究发现，长期改变胃酸含量，会影响部分维生素（比如维生素B12）和矿物质的吸收，引发骨质丢失和其他疾病。

对PPI冲击最大的一些发现来自去年。有2项研究认为，长期使用PPI，可能会引发一些看起来与胃酸水平没有牵涉的疾病。其中，在《美国医学会杂志·神经学》（JAMA Neurology）上发表的一篇文章认为，这些药物增加了罹患痴呆症的风险，比如阿尔茨海默病等；另一项研究发表在《美国医学会杂志·内科学》（JAMA Internal Medicine）上，作者认为，长期使用这些药物可能会增加肾脏出现问题的风险。

虽然这2篇论文没有证明问题是由PPI引发的，但还是论述了长期使用这些药物可能导致疾病的相关机制。例如，《美国医学会杂志·神经学》研究的作者之一布里塔·黑尼施（Britta Haenisch）说，维生素B12摄入减少，可能会使大脑对损伤更敏感。她是德国神经退行性疾病中心波恩校区的神经药理学家。2016年春天，休斯顿卫理公会研究所（Houston Methodist Research Institute）的临床研究人员也提出了一个听起来很有道理的解释，这个解释似乎可以说明，PPI为什么会导致患者出现新的健康问题：PPI的作用范围比以往认识到的更广，它不只局限在胃部，对身体的其他部位也有一定的影响。

新的发现让患者和医生都开始思考，哪些人应该长期使用质子泵抑制剂，而哪些人不该这么做。“目前，我们还没有足够的评估长期使用PPI带来的问题，也没法评价直接停药后疾病本身会对患者造成什么样的折磨，因此，无法对比这两个选项，权衡哪种选择的更高。”麻省总医院的胃肠病学权威专家凯尔·施塔勒（Kyle Staller）说。不过，为了解决这个问题，施塔勒和其他医生正在摸索中前进。

## 进退两难

显然，想要让胃正常分解食物，必须得保留一定量的胃酸。分布在胃内壁的特化细胞会提供氢离子，也就是我们之前经常提到的质子。从化学的角度来说，正是这些质子让胃液具有较强的酸性。顾名思义，PPI会让大量提供质子的细胞泵失灵，从而降低胃内的酸性，减少反流进入食管的胃酸。虽然药物会使细胞提供质子的功能永久性失灵，但不能彻底治愈相关的疾病，因为新生长的细胞还会填补失灵细胞的位

置，重新提供质子。

在市场上，还有一类很受欢迎的药，叫H<sub>2</sub>阻断剂（其中就有泰胃美，即西咪替丁），它也能限制胃酸产生，不过这种药物的作用方式与PPI不同，是通过另一种更温和的方式产生药效的。Tums之类的抗酸药也能中和胃酸，但威力更小，只适用于偶发的轻微症状。

因为PPI效果非常好，所以从20世纪80年代药物上市以后，这种药物的使用量就一直处于高速增长中。如今，除了医生开具的处方中经常包含这种药以外，患者也可以自行到药店购买。像耐信这样的非处方药，也成为了全世界最常出现在处方中的药物之一。

此前就有研究表明，长期使用PPI可能影响大脑和肾脏，2016年新发布的研究成果，也有部分是基于过去做过的研究。例如，《公共科学图书馆·综合》在2013年就发表了一项研究，作者发现PPI可以促进β淀粉样蛋白的产生，而这种物质是阿尔茨海默病的一种标志性蛋白。在2016年发表于《美国医学会杂志·神经学》的那项研究中，研究人员综合分析74000名75岁以上德国人的数据后发现，长期使用PPI的人比不使用PPI的人罹患痴呆的风险要高44%。

发现肾损伤问题的过程也与之类似。此前有证据表明，突发肾脏损伤的人更有可能正在服用PPI。因此，一些研究者开始担心PPI可能与肾脏问题有关。比如，2013年《BMC神经学》（BMC Nephrology）上的一项研究发现，和一般人相比，曾经接受过PPI处方治疗的患者诊断出肾脏问题的可能性要高一倍。在2016年发表的那项有关PPI与肾病关系的研究中，研究人员从20世纪90年代到2011年跟踪了10482名受试者，他们发现，和没有服用PPI的人相比，使用PPI的患者患上慢性肾病的风险要高20%到50%。不仅如此，与按正常剂量服用PPI的患者相比，加倍服用药物的患者患上慢性肾病的风险又要高得多。

卫理公会研究所的科学家在2016年发表的那篇论文提出了PPI与阿尔茨海默病或肾脏问题相关的新解释。他们在研究体外培养的细胞后发现，这些药物除了可以对胃部细胞产生药效，还会对位于血管壁的某些细胞产生影响。

和体内其他许多细胞一样，血管壁上的细胞需要制造酸类，从而分解或处理掉异常蛋白质以及受到损伤的蛋白质。这些细胞安全地把酸类

保存在特殊的内部隔间里，而隔间的本质其实是分子垃圾堆。如果一个细胞内部的垃圾没有被分解——当酸水平太低时就会发生这种情况——微小的碎屑颗粒就会逐渐聚集。当细胞本身被垃圾充满，无法正常行使功能时，细胞很快就会损坏。

约翰·库克（John Cooke）是卫理公会研究所的心血管研究者，同时也是那篇论文的作者之一，他表示，“实际上，我们的试验展示了这些垃圾在细胞中累积的过程。”对于存在大量血管的部位（比如大脑和肾脏），细胞损坏带来的问题就会变得相当严重。近期的一些研究也显示，长期使用PPI还会影响另一个血管非常丰富的器官——心脏。

库克的结论很合理，但这并不意味着它已经获得了证实。要想获得证据，还需要展开更多关于PPI的研究，深入了解它对动物或人类心血管系统造成的影响，而不仅仅局限在培养皿中的细胞上。对于其他与痴呆、心脏病或肾脏问题关联的因素，也应该做进一步的研究。毕竟，这些疾病还与吸烟、肥胖和高脂饮食等更为人熟知的风险因素相关，而这些因素恰好也会增加胃酸反流的可能性。如果是这样，那么使用药物可能只是某些不健康生活习惯的标志——而不是引起这些疾病的新原因。

### 艰难的取舍

鉴于目前没有决定性的数据，医生和患者只能在现有的两种选择中做出取舍：要么使用PPI预防胃酸过多和反流的不良作用，留下患上痴呆和肾脏问题的隐患；要么避免长期使用PPI，但胃酸过多和反流又会长期折磨患者。

很多医生担心，有关潜在副作用科学报道会吓跑真正需要用药物治疗疾病的患者。比如，有些GERD患者如果不服用PPI，就会因为觉得烧心感到非常痛苦，连日常生活也会受影响。更麻烦的是，如果不及时治疗胃酸反流，除了引发急性疼痛还有其他风险。一些研究已经表明，长期受胃酸反流影响，会改变食管内壁，增加患者患上巴雷特食管（Barrett's esophagus）病的风险。这种病可是引发癌症的前驱性疾病。研究者认为，减少胃酸有助于降低风险。不过，没有任何反流症状的人也有可能患上巴雷特食管病或癌症。

在麻省总医院，只要有任何患者说自己想停用PPI，施塔勒就会先

做一个简单的试验。他会让患者停药一个星期，替换成泰胃美或另一种H<sub>2</sub>阻断剂。因为，如果突然停用PPI而不服用替代药物，往往会引发病情反弹，让胃产生比原来更多的胃酸。他还建议，在试验期间少吃一些酸辣的食物。施塔勒会仔细留意患者在一星期的试验后，是不是还存在烧心的感觉。他会特别关注患者在白天的表现，因为这时重力会起一定的辅助作用，防止患者的胃酸升入喉咙。施塔勒说，如果持续出现烧心的感觉，就说明病情还很严重。这时，坚持服用PPI的好处就胜过了风险。

显然，对于不同的人来说，选择是不同的。对于马萨诸塞州波尔顿市的童书作者薇姬·斯科特·伯恩斯（Vicki Scott Burns）来说，选择PPI就是“两害相权取其轻”。她说，自己的生活质量在用药时要好很多。而其他人则可能根据自身情况得出不同的结论。

施塔勒和其他健康专家建议，医生应该先收集大量信息，再对患者的实际情况做出评估，推荐一种方案。当然，如果对于这个问题又出现了新的证据，医生和患者也要做好改变策略的准备。

技术档案

# Facebook没法根除假新闻

新算法是有用的，但用户的质疑态度更重要。

撰文 戴维·波格（David Pogue） 翻译 薄锦



戴维·波格是雅虎技术频道的专栏作家，也是美国公共广播公司（PBS）几个新星短剧（nova miniseries）的主持人。



“弗朗西斯教皇震惊世界，支持特朗普坐上总统之位。”“涉嫌希拉里邮件泄露门的联邦调查局特工在杀人后自杀。”“拉什在米歇尔攻击特朗普后曝光其变态过往。”这些耸人听闻的标题的出处并不是《纽约时报》或CNN电视台，它们更可能是马其顿的一帮少年写出来的东西。这些虚假新闻的用意就是骗点击，吸引读者点击相应的虚假新闻网站，好让巴尔干的少男少女们能够通过广告点击赚点钱。

如果说去年秋季的总统大选将以“黑天鹅”之名载入史册，那么这些虚假新闻绝对也能留下一笔。它们在Twitter和Facebook上遭到了人们的疯狂转发，特别是在Facebook上，排名前20的虚假报道，实际点击量竟然比排名前20的真实报道还要高。虚假新闻也成了网络大战的导火索。但最悲惨的是，搞不好连总统大选的结果都受到了它的影响。别忘了，44%的美国成年人都是以Facebook为新闻来源的。

你大概觉得，虚假新闻这种事还能有什么争议。我们肯定都同意，

像总统大选这么重要的事情，应该建立在事实的基础上。不能直接让Facebook和Twitter把虚假新闻都屏蔽了吗？

我们能这样要求，但它们不能这样做。问题并不是出在技术上，而是出在哲学理念上。“辨别何为‘真实’，是一个很复杂的问题，”在回应虚假新闻现象时，Facebook首席执行官马克·扎克伯格（Mark Zuckerberg）如此写道，“虽然有一些假新闻是彻头彻尾的谣言，但有更多的内容，包括来自主流信源的，往往只是做到基本概念正确，而在一些细节方面却存在错误，或者有所遗漏。还有更多的报道，所阐述的观点与很多人不符，因而被标注为不正确，尽管它们在实际上是符合事实的。”

所以，提到教皇大人的那条新闻显然是捏造的。但是那些满天飞的传闻和流言呢？有谁能知道它们到底是真是假？再比如说洋葱新闻和《纽约客》上安迪·波洛维兹（Andy Borowitz）所写的那些恶搞报道呢？这两者其实都没有任何欺骗意图，但也经常被那些幽默贫乏症患者（上帝保佑他们）当成事实在网上乱转。

在虚假新闻引发了轰动后，谷歌和Facebook会停止与虚假新闻网站的广告合作。马其顿那些少年们的收入也就这样断了。

虽说扎克伯格一开始就断言：“这些骗局改变了大选结果？基本没有可能。”但Facebook的确在采取更多措施来与这个问题作斗争。比如，让举报虚假报道的操作更简单，他们也在考虑为那些被读者标记为假新闻的报道添加警告标签。

但我得提醒大家一下。还记得当年刚开始可以自定义新闻页面（像谷歌新闻那样）的时候吗？就是让你可以只浏览与自己的兴趣点相关的新闻报道，大家当时都担心，我们再也没机会看到那些原本可通过翻阅报纸或其他媒体看到的报道。

说实话，Facebook的问题可要比这严重上一千倍。在社交媒体网站上，是你来决定自己想要看谁发的帖子。如果是在Facebook上，那就是你朋友们的；如果是在Twitter上，那就是你选择关注的人们的。无论是在哪边，你会关注的都是与你三观相近的人，看法讨你喜欢的人。换句话说，现在你所选的不再是你想要浏览的话题，而是你想要看到的报道立场。你根本是给自己盖了一间回音室。

了解了这些，你大概就能明白，为什么“让网民当裁判”来过滤掉所有假新闻的做法是很有问题的。因为每当你的回音室里有一人将某篇报道标记为“不实”，在另一间立场截然相反的平行回音室里，就会有一人将它标记为“真实”。

就算我们决定把这一整套总统大选的程序再折腾一遍，也照样摆脱不了虚假新闻的干扰。不过倒也还是有三点不一样，而且都是好事。第一，Facebook和谷歌将能够封锁掉虚假新闻发布者的广告收入来源。第二，Facebook计划部署的新政策和新算法，至少能够过滤掉一部分刻意误导大众的消息。

而最关键的第三点是，我们将会变得更加多疑。经历过一次虚假新闻满天飞的总统大选，然后再花上4年时间来谈论这件事，也许会让我们在下一次时把眼睛擦得更雪亮些吧。



# 特朗普与美国气候政策

牺牲气候去重振经济是得不偿失的。

撰文 迈克尔·E·曼恩 (Michael E.Mann) 苏珊·乔伊·哈索 (Susan Joy Hassol) 翻译 薄锦



迈克尔·E·曼恩是美国宾夕法尼亚州立大学的大气科学教授，他与汤姆·托尔斯 (Tom Toles) 合著了新书《疯人院效应：否认气候变化正在威胁我们的星球，摧毁我们的政治，令我们陷入疯狂》(The Madhouse Effect: How Climate Change Denial Is Threatening Our Planet, Destroying Our Politics, and Driving Us Crazy; 哥伦比亚大学出版社, 2016年)。



苏珊·乔伊·哈索是非营利机构气候传播 (Climate Communication) 负责人。最近她与人合著的文章《(非)自然灾害：极端气候事件与气候变化之间的关联》((Un) Natural Disasters: Communicating Linkages between Extreme Events and Climate Change) 发表在《世界气象组织公报》(World Meteorological Organization's Bulletin) 上。

就特朗普可能在任期内采取的所有行动来看，今后影响最为长远的，恐怕将是有关气候变化的政策。就在首份致力于削减温室气体污染的全球协议《巴黎气候协议》正式生效4天后，美国选出了一位声称气候变化纯属骗局、誓要“取消”巴黎协议的总统。特朗普表示，将会取消清洁电力计划，该计划旨在降低电力公司的温室气体排放，是美国根据“巴黎协议”制定的一项核心计划。他还承诺要重振化石燃料行业，而此时的全球能源生产明明正在迅速奔向截然相反的方向，纷纷转向清洁、实惠的可再生能源。

这样的政策不仅将为气候带来巨大灾难，就实际效果而言，也不利于特朗普实现自己的主要目标。首先，气候变化不像其他问题那样可以一年年地拖下去。美国和全世界的行动已经过于迟缓了。应对这个问题，速度是最重要的，因为气候变化及其影响要比预期来得更快、更猛烈：2016年是有记录以来最热的一年，而且大幅度领先此前的纪录，此

前2015年和2014年也连续刷新了这一纪录。热浪、暴雨等极端天气事件日益频繁和严重，由此引发的火灾、干旱和洪水也随之剧增。

气候变暖也在导致海平面的上升速度加快。每逢涨潮，海水便会涌入迈阿密这类沿海城市的街道，并且会对地下水造成污染。而来势更凶猛、破坏力更强的飓风，为沿海地区带来的威胁也在扩大。这些越来越常见的天气事件所导致的损失，已经开始逼近十亿美元的级别。最可怕的，还是整个气候系统可能迎来临界点——一旦越过这些阈值，便会招致无法阻止的反馈作用。

我们根本无从得知，这些将让我们没有回头路可走的临界点具体在哪，只能等一切已成定局才会惊觉。每将行动推迟一年，我们跨越可怕临界点的风险就会增加一分，给我们自己和我们的子孙后代带来更多的灾难。

其次，世界任何地方的温室气体排放，都会导致所有地方的气候一起变化，我们都是这个国际大家庭的一分子，必须齐心协力地解决这个全球性问题。美国一向以领导者而非落伍者的身份自傲。我们，还有中国，都在最早签署“巴黎协议”的国家之列，而这只是老布什早在1992年就签署的一份规模更加庞大的国际条约（《联合国气候变化框架公约》）的一个组成部分。“巴黎协议”制定了若干规则，并且得到了我们的赞成，内容包括一旦协议生效，任何签署国最少在四年内都不得退出协议。如果我们的新总统真要抽身而退，我们的国家将会变成国际上的无赖，对我们的国际地位造成严重影响。我们也将拱手让出领导地位，志在取得这个地位的其他国家会努力去实现更为高远的减排目标。与之相反，美国则会成为世界进步的绊脚石。

最后一点，也许也是全体美国人都能找到共鸣的一点——清洁能源革命正在风起云涌。在世界其他地方，已经不再为气候变化的真伪争辩不休；大家正开始迅速地转向无碳能源。我们想要在21世纪的伟大经济革命中落于人后吗？还是想参与这场清洁能源竞赛的角逐，提高我们的国际竞争力，让美国变得更加伟大？我们是想从中国购买太阳能电池板和风力涡轮机，还是自己做出来卖到中国和其他地方去？

如果美国真要完成特朗普口口声声宣扬的那些任务——促进经济增长、创造就业、改善基础设施、赢得国际尊重——就需要在清洁能源的

研究、开发与部署中一马当先。如此一来，我们也能让空气与水保持清洁，让企业更加高效，让健康得到改善，让后代的未来得到保障。不用说，这是所有人都会认同的价值所在。



反重力思考

# 细菌致病论与气候变化

历史总是惊人的相似，100多年前美国外科医生曾反对细菌致病论，现在新一届美国政府正计划取消NASA的气候观测任务。

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky) 翻译 红猪



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。



1881年7月2日，查尔斯·吉托 (Charles Guiteau) 从背后开枪打中了时任美国总统詹姆斯·加菲尔德 (James Garfield)。同年9月19日，加菲尔德不治身亡，那粒子弹还嵌在他胰腺后面的脂肪组织里。受审时，吉

托否认自己杀害了总统，还说“加菲尔德是因为救护不当死的。”法庭对他的辩解毫不采信，并判了他绞刑。但实际上，枪手的这番话是很有道理的。

历史学家大卫·奥辛斯基（David Oshinsky）在精彩的新著《贝尔维尤：美国传奇医院三百年来的治疗与伤害》（*Bellevue: Three Centuries of Medicine and Mayhem at America's Most Storied Hospital*）中谈论了加菲尔德当时接受的救治。他写道：“如果当时的那些大夫仅仅是令加菲尔德感到不适，他还是很有可能活下来的。问题是他们还用没洗过的手指和肮脏的探针插进他的伤口，笨手笨脚地寻找那粒子弹。”

枪击后两天，几名专家给加菲尔德总统做了检查，其中就包括贝尔维尤的外科医生、年近七旬的弗兰克·汉密尔顿（Frank Hamilton）。“当时没人顾得上洗手和清洁器具，”奥辛斯基写道。导致这个疏忽的一个原因是汉密尔顿的年龄。都说老狗学不会新把戏，这位老医生也没能接受洗手和清洁器具的观念。

奥辛斯基写道，当时同在贝尔维尤工作的老医生阿尔弗雷德·卢米斯（Alfred Loomis）也说：“近年在医务人员尤其是德国医务人员中大行其道的细菌致病论，正在被迅速推翻。”卢米斯虽然贵为纽约医学学会的会长，却语带讥讽地告诉同行：“有人说空气里有细菌生存，我可没看见。”当然，细菌可不在乎你相不相信它们。从加菲尔德中弹到身亡，他的体重因为感染而减轻了近100磅（约45千克），死后尸检发现，他身体的很大一部分都已经是脓液了。身体伤害之外还有精神侮辱：汉密尔顿给美国国会寄了一份账单，为他的“服务”要价2.5万美元——其购买力约等于今天的60万美元。国会批准支付他5000美元——换算到今天，依然相当于因为对方不洗手而支付他12万美元。

奥辛斯基的书中关于加菲尔德的这部分描写（他在贝尔维尤之外还写了纽约市的历史和美国医学史）使我想起了我在上月讨论的话题。那篇文章表面写的是棒球统计分析的革命，但更大的主题，用我自己的话来说，是“以棒球为缩影来批评人类在各项事务中表现出的一种缺陷：明明能变聪明，却硬要保持愚蠢。”既然说到国会，我们就再来说一说美国众议院科学、空间与技术委员会吧。2016年12月1日，委员会的推特账号宣布全球气温实际在直线下跌，还说那些“气候恐慌分子”都不说话了（也许是因为他们的居所已经让海水给淹了）。

科学、空间与技术委员会的消息来源是布莱巴特新闻网（Breitbart News）。如果你有幸在麻醉状态中度过了2016年的总统选举，我要说明一句：这个新闻网站制造出来的东西，常常和狗的臀部排出的气体属于一个性质。

科学、空间与技术委员会主席、得克萨斯州众议员拉马尔·史密斯（Lamar Smith）骚扰过正规的气候科学家，他对全球气候变化是绝不买账的。其实他应该付得起这笔账，因为化石燃料行业已经给了他60多万美元——那钱不仅脏，还沾满了烟灰。

奥辛斯基写道，卢米斯最后还是接受了细菌致病论，因为罗伯特·科赫（Robert Koch）向他证明了肺结核细菌是看得见的，只要有显微镜就行。同样的道理，如果你动用全球范围的检测手段，比如NASA卫星记录的数据，那么气候变化也是很明显的。然而就在我写下这些文字时，新一届政府却计划取消NASA的气候观测任务。为什么？因为这已经成了一个“政治问题”（这种逻辑你不要细想，不然一定会七窍生烟，使温室效应愈发严重）。这步举措就好比卢米斯不看显微镜而把眼睛挖出来。真是明明能变聪明，却硬要保持愚蠢。

怀疑论者

# 你无法想象虚无？

为什么存在万物，而不是一无所有？

撰文 迈克尔·舍默（Michael Shermer） 翻译 红猪



迈克尔·舍默是《怀疑论者》杂志的出版人。他的最新著作是《道德的弧度》（The moral arc）。欢迎在Twitter上关注他：[@michaelshermer](https://twitter.com/michaelshermer)。



请想象虚无。尽力想象。这时你会看见什么？我看到的是一片黑暗的空间，里面没有星系、没有恒星、也没有行星。然而，真正的虚无不

仅是没有物质，也没有空间和时间。甚至没有“黑暗”。当然也没有什么拥有知觉的生物可以观察这里的虚无。它只有??什么也没有。

想象这个试试，你是想象不出来的。

在这里，我们遇到了一个根本性的问题：为什么存在万物，而不是一无所有？我从各种途径收集了几种回答，其中包括约翰·莱斯利（John Leslie）和罗伯特·劳伦斯·库恩（Robert Lawrence Kuhn）在2013年合著的一本书，书名叫《存在之谜》（The Mystery of Existence, Wiley-Blackwell）；以及劳伦斯·M·克劳斯（Lawrence M.Krauss）2017年的著作《从古到今最伟大的故事——将来不算》（The Greatest Story Ever Told—So Far, Atria Books）。下面就将这些回答罗列出来：

虚无是无意义的。我们根本无法思考虚无，因为虚无不仅取消了空间、时间、物质、能量、光明、黑暗、或者观察虚无的有意识生物，甚至还取消了虚无本身。在这个意义上，虚无乃是名副其实的不可思议之事。

无也是有。将“虚无”说成是不复存在的某件事物，这是一种逻辑的谬误。这里我们会撞见如何定义“虚无”的问题，并体会到语言对这个问题施加的限制：只要一说起“没有东西”，它就变成了“某个东西”。不然我们又在说什么呢？

虚无会否定上帝的存在。在给“无”分类时，莱斯利和库恩列出了可以归为“有”的门类，而这些门类中的事物都会被“无”所否定：物质的、精神的、理念的、灵性的、还有上帝。如果“虚无”仅指没有任何对象或物质，那么宇宙中至少还可以有能量，在自然规律的引导下，仍可以使这些能量产生物质。按物理学家的说法，空白的空间里就还有沸腾的虚粒子。这样的“虚无”中可能会“蹦”出一个宇宙，成为实在。

虚无杜绝了从无到有创造世界的可能。如果“虚无”指的是没有物理、精神、理念或非物理的任何一种实体，那也就自然不会有上帝或众神了，这也意味着除了虚无本身之外，再没有什么东西能够创造宇宙了。这就否定了基督教的一个神学主张，即上帝是从虚无中创造宇宙的。这个主张的依据是《创世纪》一章一节的英译：“起初神创造天地”。但这个翻译是误导人的。晚近的研究指出，《创世纪》一章一节中“创造”对应的那个希伯来字是“bara”（**בָּרָא**），这个动词的确切意思应该

是“分开”或“割开”。因此这一节应该译作“起初神分开天地”。至于天地分开之前是什么，文中没有明示。

无是不稳定的，有是稳定的。问出“为什么存在万物而非一无所有”，这假设了“一无所有”是事物的自然状态，而“存在万物”是需要解释的。但也许“存在万物”才是事物的自然状态，“一无所有”才是待解之谜。劳伦斯·M·克劳斯在2012年出版了《宇宙来自虚无》（*A Universe from Nothing*），今年又出版了续作《从古到今最伟大的故事——将来不算》，他在这本近作中指出：“爱因斯坦是最先认识到经典的因果概念会被量子理论瓦解的物理学家之一。”虽然许多物理学家都反对从无中产生有的想法，爱因斯坦却说：“你能借用光线阅读这一页的文字，正是因为从无中产生了有。热原子中的电子发出光子，照亮书页，而光子在被发射出来之前都是不存在的，它们自发产生，没有特定的原因。为什么我们可以心安理得地接受光子从虚无中没有原因地产生，却不能接受宇宙也以这样的方式诞生呢？”

一个原因和我们对哥白尼原则的抗拒有关，这条原则认为我们不是特殊的。我们总偏好宗教和人择原理的解释，认为宇宙是为我们创造、为我们调整，才变成今天这个样子的，因为这种解释将人类放回了宇宙中心——一切毕竟都是为我们服务的。然而五百年来的科学发现却指出，万物并非为我们而生。从这个事实出发，我们就可能学会一种新的观点，它将引导我们的宗教和科学热情，将它们引向一种因为思索虚无而产生的敬畏感。



# 遇见达尔文

## 2017年“爱丁堡—剑桥”生物医学冬令营精彩回顾



结束了爱丁堡大学的生物医学课程后，冬令营营员参观了著名的爱丁堡城堡。



生物医学课程结束后，爱丁堡大学医学院为每位营员颁发了结业证书，营员与老师们合影。



营员参观帝国理工学院生命科学系的核磁共振实验室。



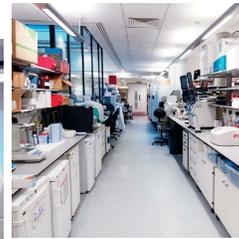
爱丁堡大学医学院的老师指导学生观察心脏切片。



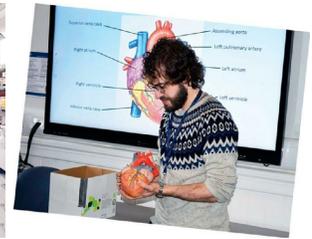
帝国理工学院生命科学系的布拉迪博士为营员介绍他在免疫学上的研究。



爱丁堡大学医学院的老师指导营员解剖心脏。



牛津大学的詹纳研究所，这是疫苗研究领域的知名研究机构。



在生物医学课程中，爱丁堡大学医学院的老师为营员讲解心脏结构。

2017年1月30日下午，“亚洲生物医学未来领袖大赛”的获奖者、对生物医学有着浓厚兴趣的优秀青年学生，从北京、天津、广州、成都、杭州、黄冈等地，汇集到北京首都机场，本届生物医学冬令营就此拉开帷幕。

经过10多个小时的长途飞行，营员们抵达冬令营的第一站：英国爱丁堡大学。爱丁堡大学创建于1583年，达尔文、亚当·斯密、麦克斯韦等多位影响了人类文明进程的学者，曾在这里学习或从事研究。而冬令

营成员的学习场所，正是达尔文当年学习过的地方：爱丁堡大学医学院。

爱丁堡大学医学院为本届冬令营精心设置了一套生物医学课程，让营员们通过多个实验，了解心脏的结构、功能，研究影响人体血压的环境因素。通过这套课程，医学院的老师不仅让营员们了解了人体的运行机制，更是通过实验的方式，把科研方法传输给了营员。在最后的“毕业答辩”上，3个小组的营员都获得了爱丁堡医学院老师肯定。

在冬令营的第二站——剑桥大学，营员们参观了久负盛名的三一学院、国王学院、卡文迪许实验室，听取了关于痛觉研究的前沿报告；在第三站牛津大学，营员们走进著名的疫苗研发机构——詹纳研究所，学习了流感疫苗、疟疾疫苗的制备与最新进展。

2月9日，营员们来到伦敦，冬令营的最后一站，是帝国理工学院生命科学系。在这里，老师们带领营员们学习了液相色谱、质谱、气相色谱、核磁共振等生物、化学分析设备的原理和用途。最后，幽默风趣的休·布拉迪（Hugh Brady）博士，用一个精彩的免疫学讲座，为本届生物医学冬令营画上了句号。

第三届“亚洲生物医学未来领袖”大赛已经启动



扫描二维码，进入报名入口

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

# SCIENTIFIC AMERICAN



THERMOGRAM

SIXTY CENTS

*February 1967*

---

## 1967年3月

---

### 吃鲸鱼肉

约翰斯·霍普金斯大学的吉福德·B·平肖（Gifford B.Pinchof）提议用浮游生物圈养鲸类，一来可以为不断增长的人口提供食物，二来又可以挽救鲸类使之免于灭绝。他还建议圈养鲸类的畜栏可以选用珊瑚，也就是太平洋中的那些环礁。

这个计划的重要一环是在环礁内部的海水中投放营养，使浮游生物大量繁殖。平肖写道：“这些滤食性鲸类在海洋食物链中的地位举足轻重，因为它们体型巨大，且以浮游动物为食。一旦它们灭绝，这种将植物转变成动物蛋白的高效机制就将永远消失。”

### 超导磁体

就许多用途而言，超导磁体都要比传统磁体性能更好，也更经济。而且，超导磁体能很好地满足许多科技领域日益增长的对强大、便宜磁场的需求。美国国家磁体实验室已经用传统电磁体创造出了25万高斯的持续磁场，但是这块磁体消耗的电力高达1600万千瓦左右，约相当于一个1.5万人口城镇的电力需求。



---

## 1917年3月

---

### 飞行汽车

一辆设施完备的豪华轿车，内有三名乘客，都坐在精致而舒适的靠垫椅上，轿车能在路上疾驰，也能靠短翼飞上天去，它在很短的时间内就能加速到每小时65英里（约105千米），操作之灵便，不逊于一架现代飞机。这是最近在纽约举行的泛美航空展上，主办方所展示的一部飞行车的设想（见插图）。它的设计者是格伦·H·柯蒂斯（Glenn H.Curtiss）和他手下的工程师，预计售价一万美元左右（相当于2017年的19万美元）。

想了解1917年的航空技术，请访问  
[www.ScientificAmerican.com/mar2017/aviation-1917](http://www.ScientificAmerican.com/mar2017/aviation-1917)观看图片集。



1917年的“飞行车”，半是汽车，半是飞机，装饰豪华。

### 女性劳工

战时的欧洲有一种动向吸引了广泛注意，那就是军火工厂里雇佣了不少女性。女性从事机械工作，最显著的一个特点是在经济上比较划算：在英国、法国、加拿大和德国，女性工作主要以爱国为目的，付给她们的工资要少于她们顶替的那些男性。等到战争结束，女性还会接着寻求这类职位吗？雇主付给她们的工资会高于现在吗？最重要的问题：当男性复员归来，发现自己的工作已经为妇女替代，其中多数还是未婚女性，到那时，他们又该如何养活家人呢？女性工作在目前是必要的举措，它也为将来的那些影响深远的变革奠定了根基。



---

## 1867年3月

---

现代交通：铁路还是运河？

我们必须抛弃“火车”这个笨重的运输系统，改用一种速度更快的交通工具，这种工具集车头、燃料车厢和客车厢于一身，能负载50名乘客以60英里（约96千米）的平均时速运行，成本不高，重量也才四五十吨而已。目前的火车因为两个障碍而无法疾行，一是车身太重，二是运行不平稳，这使得动力大量浪费，且高速行驶时易出危险。至于货物运输，除了快件之外，都必须重新启用水运。对于航道要做现代化改进，凿通河流及运河，打通这个国家的每一个部分，使负重250吨的蒸汽船能够畅行无阻。

《环球科学》旗下微信公众号

# 创新地标

技术解读 | 投资指南 | 行业分析 | 前瞻报告



扫码关注“创新地标”



关注全球具有商业前景的技术与创新