

走向统一的自然力

爱因斯坦：试图统一电磁力和引力 未能如愿（I）

厉光烈 赵洪明

在牛顿统一了天上力和地上力、麦克斯韦统一了电力和磁力之后，电力的库仑公式和磁力的安培公式与牛顿万有引力公式在数学形式上的相似，使人很容易联想到电磁力与引力的统一。爱因斯坦，在1905年创立狭义相对论、1915年创立广义相对论分别改进和完善了麦克斯韦电磁理论和牛顿引力理论之后，试图统一电磁力和引力，花费了后半生近30年的时光去建立统一场论，但至死未能如愿。本讲，我们先介绍爱因斯坦生平；然后介绍他的成功之作：狭义和广义相对论；最后介绍未能完成的统一场论。

1. 世纪伟人爱因斯坦

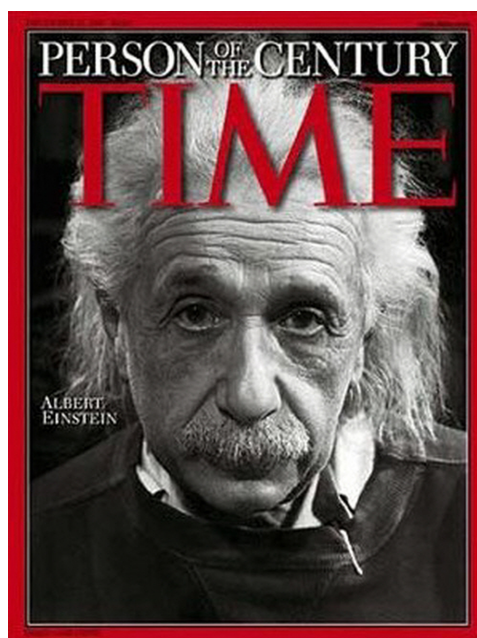
新旧世纪交替之时，美国《时代》周刊将著名物理学家爱因斯坦选为世纪伟人，作为该刊1999年最后一期封面人物。

青少年时代

阿尔伯特·爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879 ~ 1955)，1879年3月14日出生于德国乌尔姆镇一个犹太人家庭。在父亲海尔曼·爱因

斯坦的数学天赋和母亲保里诺·爱因斯坦的音乐才能的熏陶下，小爱因斯坦幸福地成长。他喜爱音乐，并成为熟练的小提琴手；他热爱大自然，常常坐在河边，抬头遥看天空，遐想联翩。他的母亲曾经深情地对人说：“他是沉静的，因为他在思索。等着吧，总有一天，他会成为一个教授。”

1889年，爱因斯坦进入路特波尔德中学，爱独立思考的他，厌恶学校里的军国主义思想灌输和军事操练，以及枯燥乏味的教育方法，把全部精力和时间都用来学习自己所喜爱的自然科学，很快就迷上了欧几里德平面几何学，书中证明几何定理的逻辑推理方法给他留下了深刻的印象；他阅读了毕希纳宣扬无神论的著作《力和物质》，认识到存在着独立于人类受自然规律支配的世界，“它在我们面前就像一个伟大而永恒的谜，然而至少部分地是我们观察和思维



1999年12月31日《时代》周刊封面



童年爱因斯坦

所能及的”；他还读了伯恩斯坦的《自然科学通俗读本》，对自然科学领域的主要研究成果有了初步的了解。

1894年，他父亲和叔父合办的工厂倒闭，全家搬到意大利，在米兰附近重新开办小工厂。原本就厌恶中学学习生活的爱因斯坦，趁机作出抉择，放弃取得毕业文凭的机会，离开了路特波尔德中学。在父亲的允诺下，他放弃了德国国籍，前住意大利与家人团聚。正是这一抉择，使他的人生道路发生了重大的转折，使他有幸自学了大量数学、物理学和哲学著作，为探索世界的奥秘、寻求科学的真理在知识海洋中自由翱翔。

1895年，16岁的他，前往瑞士，准备报考苏黎世工学院，但是该校规定参加入学考试的人必须年满18周岁，后经他家的一位朋友向院长奥尔宾·赫泽格教授强烈推荐，院方才允许他参加考试，但却因语言和生物学的成绩不佳，未被录取。同年夏天，爱因斯坦撰写了他的第一篇物理学论文：《在静态磁场中检验以太的状态》，这是一篇检验电力、磁场和以太之间相互关系的文章。用他自己的话说：“这篇文章只是对这个难题的几点简单思考，至多是一个计划而不是一篇论文。”但是，正是他对“电磁波在以太中传播”的思考，使他提出了一个后来被人们广泛传播的“追光”的思想实验。60年后，爱因斯坦回忆这个实验时说：“如果一个人以光的速度追逐光波而行，那么在这个人面前就会有一个与时间

无关的波场。但是现实似乎并不存在这种情况！这是第一次孩子气的与相对论有关的思想实验。”实际上，这个思想实验提出了一个佯谬：那个以光速追随光波运动的人应该看见电磁驻波，而麦克斯韦方程给不出这样的驻波。在随后的岁月里，正是这个佯谬不断地在爱因斯坦脑海里闪现，使他在10年后创建了狭义相对论；20年后又创建了广义相对论。

经过一年的发奋努力，1896年夏天，爱因斯坦终于考进了苏黎世工学院。在四年的大学生活中，他大量阅读了理论物理学大师们的著作，把研究理论物理学确定为自己终身奋斗的事业；他还把大部分时间花在实验室内进行严密的实验操练和技能训练，为今后从事理论物理学的研究打下了坚实的实验基础。1900年8月，他顺利地通过了国家考试，获得了毕业文凭，并取得了瑞士国籍。1902年，在他的朋友马瑟尔·格罗斯曼父亲的帮助下，他受聘在伯尔尼的瑞士专利



17岁的爱因斯坦，正是在16、17岁之间，他提出了“追光”思想实验

局任审查员。同年，他与大学同窗米列娃·玛丽结为伉俪。在伯尔尼，他的工作轻松、愉快，使他有更多的时间从事自己喜爱的科学研究，经过多年顽强奋斗、呕心沥血浇灌出的科学花朵，终于结出了丰硕的果实。

1905 物理奇迹年

从1901年到1905年，爱因斯坦先后发表了约30篇科学论文，特别是1905年，他在权威性的《物理学年鉴》(Annalen der Physik)上连续发表了五篇重要的科学论文，从三个不同的角度，向传统的物理学观念提出挑战，取得了突破性的进展。

1905年3月，爱因斯坦发表了《关于光的产生与转化的一个启发性观点》一文，提出了关于辐射问题的崭新观念：“从点光源发射出来的光束的能量在传播过程中不是连续分布在越来越大的空间之中，而是由个数有限并局限在空间各点的能量子所组成，这些能量子能够运动，但不能再分割，而只能整个地被吸收或产生出来”，从而论证了光的量子性质，解释了实验上发现的“光电效应”，这就是爱因斯坦的光量子理论。它的提出，为揭示光的“波粒二象性”和创立量子力学奠定了基础。为此，爱因斯坦荣获了1921年度诺贝尔物理学奖。

4月和5月，爱因斯坦发表了《分子大小的新测定法》和《热的分子运动所要求的静液体中悬浮粒子的运动》两篇论文。这是两篇研究布朗运动的论文。布朗(R.



爱因斯坦 1921 年获得的诺贝尔物理学奖证书和奖章

Brown, 1773 ~ 1858) 是英国植物学家，他发现的液体中悬浮粒子的无规则运动被称为布朗运动。爱因斯坦用统计方法对原子、分子的布朗运动及其与温度之间的关系进行了分析、研究，证明了热的分子运动论，并首创了测定分子大小的方法。他的这套理论，后来被称为“布朗运动的爱因斯坦定律”。三年后，法国物理学家佩兰 (J. B. Perrin, 1870 ~ 1942) 通过实验完全证实了爱因斯坦的理论预测。至此，爱因斯坦以无可置疑的事实证明了原子和分子的客观存在，使否定和怀疑原子论的奥地利物理学家、哲学家马赫和德国化学家、唯能论者奥斯特瓦尔德不得不声称“改信原子论”，佩兰也因此荣获了 1926 年度诺贝尔物理学奖。

6 月，爱因斯坦发表了长达 30 多页，题为《论运动物体的电动力学》的论文，创立了狭义相对论。随后，他又根据相对论推导出物质质量与运动密切相关。在《物质所含的惯性同它们所含的质量有关吗？》一文中，他提出了运动速度增加，质量也随之增加的观点，并将其写成一个现在已广为人知的公式： $E=mc^2$ ，这里 E 、 m 和 c 分

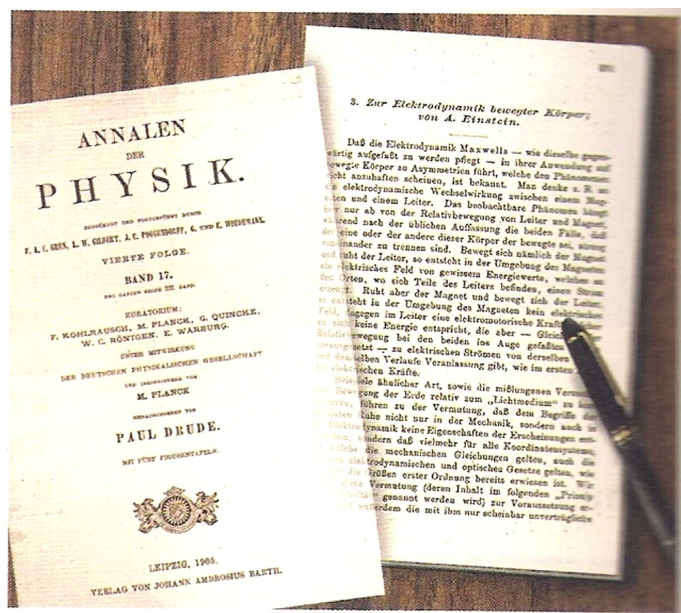
别为能量、质量和光速。前者，突破了旧的牛顿力学体系，从根本上改造了经典物理学，揭开了物理学发展的新的一页；后者，向人们揭示了原子内部蕴藏着巨大能量的秘密，为人类开发利用核能展现了无限广阔的前景。它们是爱因斯坦十年潜心研究牛顿经典力学的心血结晶，我们将在第 2 节第一部分对其作更为深入的介绍。

总而言之，1905 年，对爱因斯坦来说，是不同寻常的一年，在不到四个月的时间里，他就在物理

学的三个领域内取得了卓有成效的突破：光电效应理论、布朗运动理论和狭义相对论，创造了科学发展史上的奇迹。为了纪念这一奇迹年，联合国科教文组织特将 2005 年命名为“国际物理年”。

推广狭义相对论、创建广义相对论

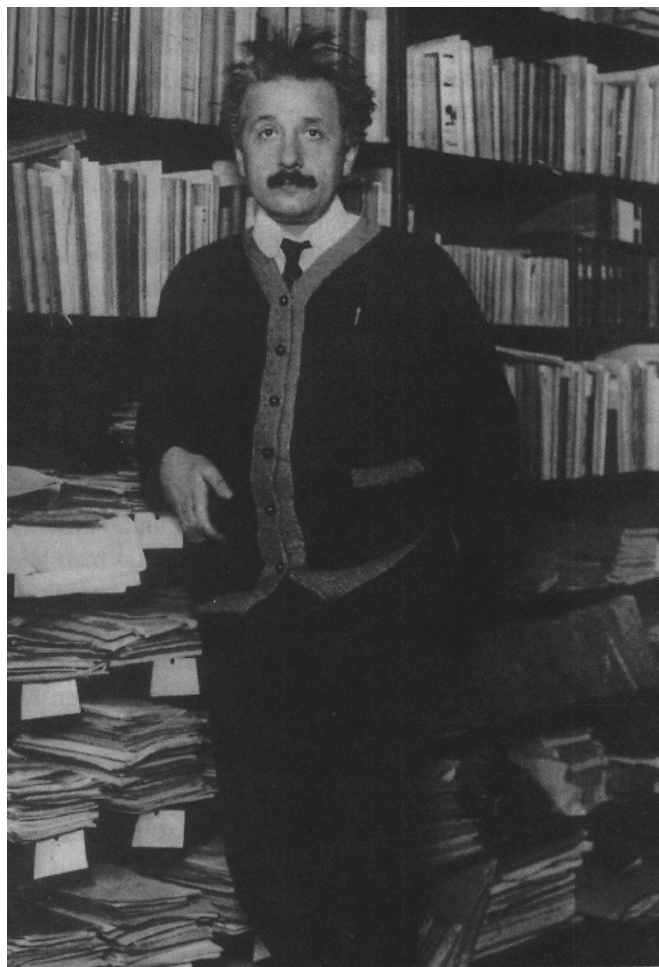
成就与荣誉，并没有使爱因斯坦陶醉，反而以“科学不是也永远不会是一本写完了的书，它的每一个重大的进展都会带来新的问题，总要揭示出更深层次的矛盾”



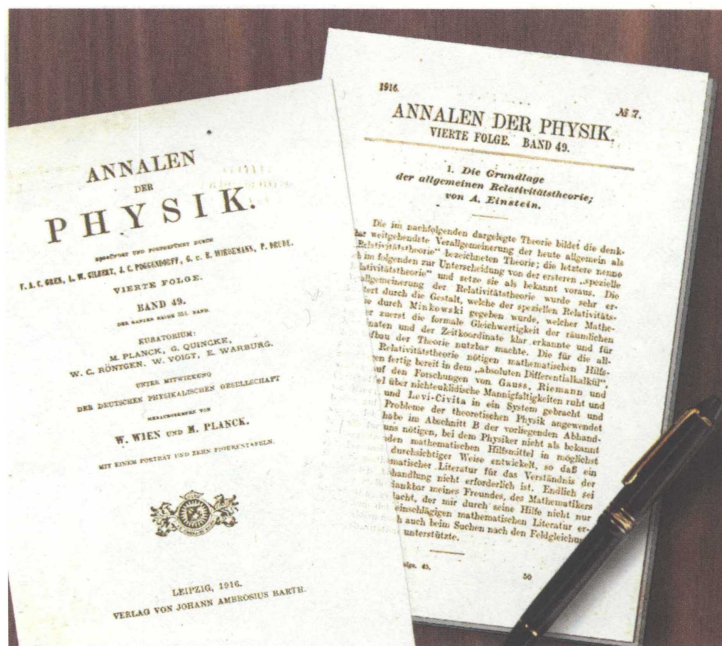
1905 年第 4 期德国《物理学年鉴》封面及《论运动物体的电动力学》首页，这是爱因斯坦发表的关于狭义相对论的第一篇论文

来要求自己，以更大的热情去进行新的探索。

在1906~1909年间，爱因斯坦继续进行量子论和相对论方面的研究，先后发表了20多篇论文，解决了低温时固体比热与温度变化的关系问题；提出了著名的“等效原理”，即一个具有加速度的非惯性系等效于含有均匀引力场的惯性系，等等。1909年以后，爱因斯坦离开了伯尔尼专利局，先后在苏黎世大学、布拉格卡尔-菲迪南大学、苏黎世联邦工业大学（前身为苏黎世工学院）担任理论物理学教授。1913年，他回到故乡，被选为普鲁士科学院院士，并被聘为凯撒·威廉物理研究所所长兼柏林大学教授。这段时间，爱因斯坦仍在思考他的相对论问题。他深知狭义相对论还不是一个完备的理论体系，虽然它否定了静止的“以太”可以作为特殊的坐标系，拯救了麦克斯韦电磁理论，但是它把相对性原理局限在两个相对作匀速运动的惯性系里，仍然没有真正解决经典力学的古老难题：为什么惯性系如此特殊？为了揭示经典力学的这一未解之谜，爱因斯坦尝试将相对性原理的应用范围扩大到加速运动的非惯性系，利用前面提到的“等效原理”建立起引力场方程以完善牛顿引力理论。“十年磨一剑”，经过多年的辛勤耕耘，爱因斯坦终于在他的老同学、数学家格罗斯曼的帮助下，于1915年完成了广义相对论的创建工作，并于1916年初发表了被誉为“20世纪理论物理学研究巅峰之作”的总结性论文《广



爱因斯坦在柏林的书房里

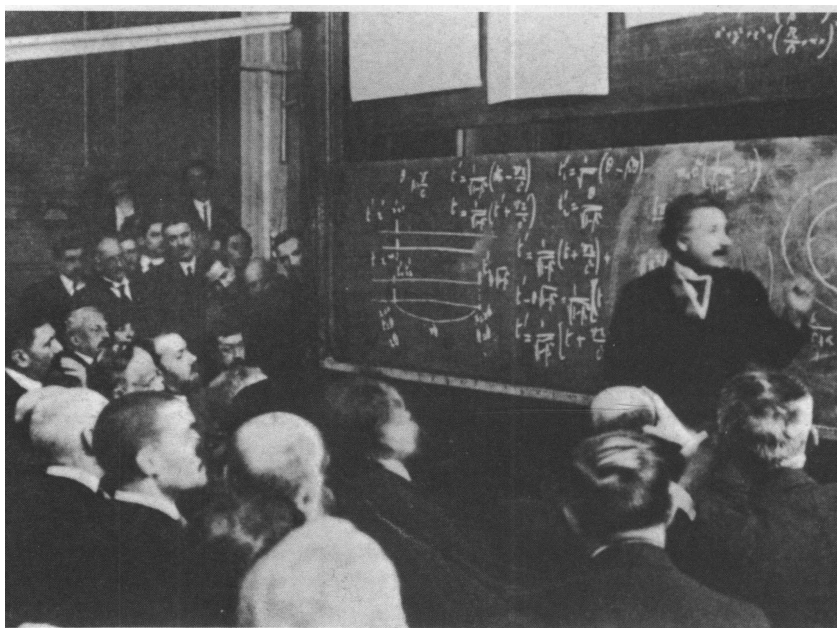


1916年的德国《物理学年鉴》封面及《广义相对论基础》首页

义相对论基础》。我们将在第2节第二部分对“广义相对论”作更为深入的介绍。

试图统一电磁力和引力未能如愿

广义相对论创立以后，爱因斯坦又为推广、应用广义相对论做出了巨大的努力，在1915~1918年间发表了30多篇论文。例如，1917年，他发表了《根据广义相对论对宇宙学所作的考察》，这篇论文后来被认为是现代宇宙学的开创性文献；1918年，他根据广义相对论，预言了引力波的存在，至今世界各国实验物理学家还在设计大型试验来搜寻引力波，但尚未取得确实的结果。这段时间，爱因斯坦还在量子理论和其他物理学领域做出了重大贡献：他的《关于辐射的量子理论》，总结了量子论的发展，从玻尔的量子跃迁概念推导出了普朗克的辐射公式，提出了受激辐射概念，成为现代激光技术的理论基础；他设计了回转磁性实验，与荷兰物理学家德哈斯合作发表了3篇论文来描述他们在研究安培分子电流中所观测的现象，后来被称为爱因斯坦-德哈斯效应，这是爱因斯坦从事过的唯一的实验研究课题；他还利用德布罗意提出的“微观粒子的波粒二象性”来研究单原子理想气体的量子理论，并与印度物理学家玻色一起创立了玻色-爱因斯坦量子统计理论。20世纪20年代以后，爱因斯坦为了进一步推广广义相对论，把主要精力投入统一场论的研究，以图建立一个既包括引力场又包括电磁场的统一场理



1922年爱因斯坦在法国大学作报告

论。1933年，移居美国后，在普林斯顿高级学术研究院，他呕心沥血30余年从事统一场论的研究，直到逝世前夕仍然在思索着这一理论问题，但始终未能取得物理意义上的重大突破。

爱因斯坦一生的科学成就，特别是他的相对论和量子论，已经成为现代科技，特别是物理学和天文学、以及宇宙航行和核能应用的理论基础。

为人类进步、科学发展和世界和平奋斗终身

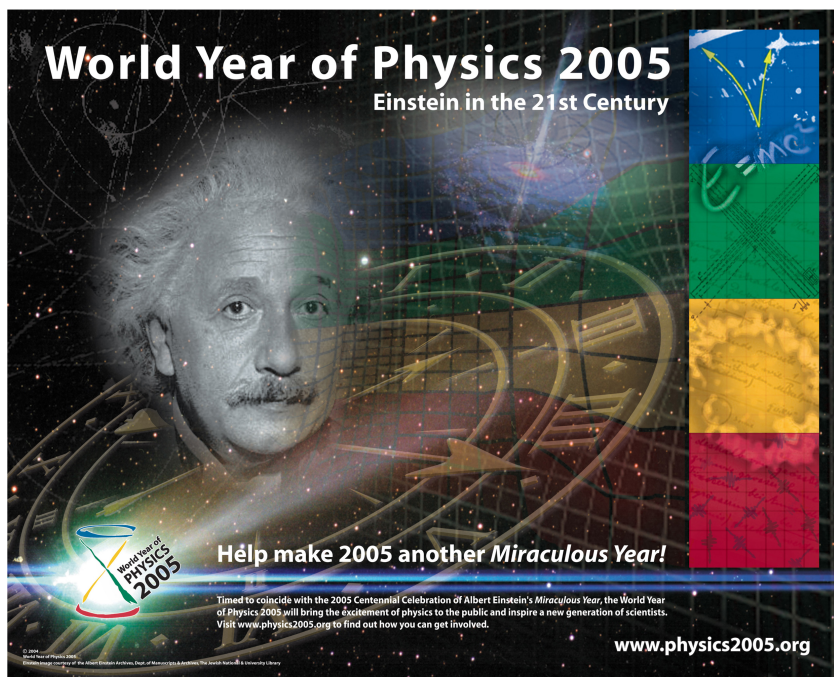
爱因斯坦一生热爱科学，同时也以满腔热忱关心着世界和平和人类进步，并为此而勇敢战斗。

1914年8月，第一次世界大战爆发，德国20所大学93位著名学者签署了一份呼吁书《告文明世界宣言》，鼓吹德国高于一切，宣扬全世界都应接受“真正的德国精神”，为发动这场战争的德国政府辩护。当有人要爱因斯坦签名时，

他断然拒绝，却在只有3人草拟的反战的《告欧洲人书》上签上了自己的名字。同年9月，他还发起组织“新祖国同盟”，进行反战活动。

1933年1月，希特勒执政。由于德国法西斯对他的迫害不断加剧，爱因斯坦被迫移居美国普林斯顿。为此，他公开发表了不回德国的声明，明确地表示要与法西斯主义战斗到底。1939年1月，在西拉德的鼓动下，他致信美国总统罗斯福，建议美国应抢在德国法西斯之前研究原子弹。美国政府采纳了他的建议，开始了“曼哈顿计划”，于1945年8月制成了原子弹，最终结束了第二次世界大战。

爱因斯坦晚年，不断受病魔困扰，但他仍在他工作的“吸引人的魅力”中度过，直至“最后一息”。1955年4月18日，爱因斯坦在普林斯顿与世长辞。遵循他的遗嘱，没有发讣告，没有举行任何的葬礼，没有建立坟墓，没有树立纪念碑。



世界物理年宣传画



这是爱因斯坦 1955 年在莫尔塞尔大街 112 号门前拍摄的生前最后一张照片

在火葬场的大厅里，只有为数不多的亲近挚友，默默地向他告别，并将其骨灰撒到不为人知的地方。爱因斯坦把一切都奉献给了人类探索自然奥秘的神圣事业，最后连自己的骨灰也回归大自然的怀抱。

爱因斯坦的科学成就和他为

人类进步而战斗的献身精神，得到了社会的普遍赞扬。著名的英国哲学家罗素说：“列宁和爱因斯坦是分别代表社会革命和科学革命的‘当代两个伟人’”。2005 年 4 月 15 日，在北京举行的“世界物理年纪念大会”上，诺贝尔物理学

奖获得者杨振宁教授说：“爱因斯坦是 20 世纪最伟大的物理学家，他和牛顿是有史以来人类社会最伟大的物理学家。”

（中国科学院高能物理研究所 100049）

科苑快讯

太空中的植物

新的研究表明，在缺乏重力的环境中，实验植物的根系生长似乎不会受到任何影响。2010 年，研究者将植入两个特定阿拉伯芥品种的一些培养皿送入国际空间站，宇航员们仔细监控这些植物根系的生长，特别是在种子萌发的最初 15 天内，每 6 小时测量一次根系的波动生长（根尖在 24 小时内会呈回

环状轨迹伸展）和斜向生长（当接触到某个表面时根尖偏向一个角度）情况。

以前根据地面的研究认为，重力对这些特性起着重要作用。但是最近却发现事实并非如此，研究者已将论文发表于《英国医学委员会植物生物学》（*BMC Plant Biology*）网站上。总的来说，植物在空间轨道上的波动生长较小，但是却表现出与地球上同样的波动生长和斜向生长特征。然而，这些空间植物的根尖（上图）在遇到障碍

时却比地球上的对照组（下图）斜向生长角度稍大。研究者说，这主要是因为其细胞数量更多（见图中的刻度线）。

（高凌云编译自 2011 年 12 月 6 日 www.sciencemag.org）

