激光界

关于人类和光子

人工智能

与机械

#28

#28

2019 年 6 月

出版商 TRUMPF GmbH + Co. KG,
Johann-Maus-Strasse 2, 71254 迪琴根，德国；www.trumpf.com
出版人 工程学名誉博士 Christian Schmitz
主编 Athanassios Kaliudis,
电话：+ 49 7156 303 - 31559，athanassios.kaliudis@trumpf.com
销售部 电话：+ 49 7156 303 - 31559，laser-community@trumpf-laser.com,
www.trumpf.com/en_INT/company/press/magazine
编辑 pr+co GmbH, 斯图加特/德国; Florian Burkhardt, Martin Reinhardt
作者 Eveline Blohmer, Florian Burkhardt, Julia Duwe, Tina Hofmann,
Athanassios Kaliudis, Stephanie Kohl, Martin Reinhardt, Joshua Solomon, Anton Tsuji,
Monika Unkelbach, Annina Werths
摄影 Peter Bartels, Frank Herfort, Ralf Kreuels,
Richard Morgenstein, Tegra Stone Nuess, Martin Reinhardt via Deep-Dream-Generator,
Gernot Walter, Leon Zwiener
设计与制作 pr+co GmbH, 斯图加特/德国;
Gernot Walter (AD), Martin Reinhardt
翻译 Burton, van Iersel & Whitney GmbH, 慕尼黑/德国
重新制作 Reprotechnik Herzog GmbH, 斯图加特/德国
印刷 W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, 斯图加特/德国

x

封面照片：人工智能是如何与机械相结合的？

在封面的制作过程中，先用神经网络构造大脑的主要形态，然后将其嵌入到机械图片中。

封面：PASIEKA www.fotosearch.de，TRUMPF（原始图像），M. Reinhardt via Deep-Dream-Generator（图案）

AI——让生活更美好

我喜欢有争议的新兴技术，例如人工智能（AI）。首先要说明的一点是，我是 AI 的铁杆粉丝。我相信 AI 将改善我们的生活并且改变我们的世界。诚然，这绝非易事，每种新技术在发展初期都会遭遇各种问题和质疑，但世间万事不都是如此吗？特别是在我们这个行业。

几十年来，我们一直努力了解和掌握激光，从发现中学习并改进生产流程，并在这个过程中稳步增长了我们的知识。

本期杂志将向大家分享一些在这个过程中发生的小故事。例如 General Motors 是怎样逐步加深对焊接流程中匙孔的认识，大通激光又是怎样做到准确控制激光来彻底改变牙科医学的。我们还将了解致力于研究人类大脑工作方式的斯坦福大学教授、精神病学家 Karl Deisseroth 是如何利用激光研究自由意志的。借助 AI，我们的机床和激光器也在自主学习如何更好地工作，这无疑是了不起的飞跃！

可以看到，IT 与机械的共生合作已经在电动机生产中取得了切实的初步成果。AI 在改善该领域的生产和质量保证方面展示了巨大的潜力。电动机生产的核心步骤之一就是将铜线焊接到线圈上，我们称之为扁铜线。该步骤利用传统的图像处理算法确定扁铜线的位置，找出准确的激光焊接点。焊缝达不到规定标准的电动机必须移出产线。现在，我们的开发人员正在训练 AI 自主完成这项工作。它可以检测出焊缝是否在允许的误差范围内，并在发现问题时通知操作员。除了确保焊缝具备稳定的优异质量之外，因为工人无需再逐一检查每个焊缝，该 AI 解决方案还省去了耗时的手工作业。

能引起热议的常常是令人害怕或担忧的话题。AI 可能为我们的生活和工作带来翻天覆地的变化，所以我完全理解有人可能会为此感到不安。但我相信利大于弊。我们可以把 AI 看作是更高级的自动化，我们都知道自动化帮助很多人减轻了工作负担，让人们可以有时间做更有趣的工作内容。AI 是一个巨大的机遇，而且比传言中更加美好。

工程学名誉博士 CHRISTIAN SCHMITZ

激光技术部首席执行官

TRUMPF GmbH + Co. KG 执行董事

christian.schmitz@trumpf.com

Gernot Walter

引人入胜

当采访大脑研究专家 Karl Deisseroth 时，我们的记者显然有很多问题要问。而最让我们好奇的是：在将激光光纤植入到老鼠大脑中来远程控制老鼠的著名实验中，老鼠是什么感觉？答案很是出人意料，详见第 16 页。

追寻探究

1978 年的 Berthold Leibinger 是什么样子？插画家 Peter Bartels 想知道这个问题的答案。他的任务是画出这位企业家刚开始研究激光技术时的样子。Frank Elstner 从 1980 年的电视采访中找到了解决方案，当时德国电视二台在拍摄主持人时，曾拍摄到 Leibinger 的样子。追忆文章详见第 26 页。

鼓舞人心

通快子公司 Ingeneric 的光子专家们打造出的卓越成果将从 2022 年开始绕地球飞行。我们非常想报道这一消息，却发现其中并没有用到激光。Ocean Color Instrument 是一款无源望远镜。当我们失望地凝视天空时——看哪！一大堆激光正俯视着我们。想知道他们做了什么？详见第 29 页。

AdobeStock / Vasiliy Koval, Peter Bartels, NASA MODIS image courtesy Jeff Schmaltz

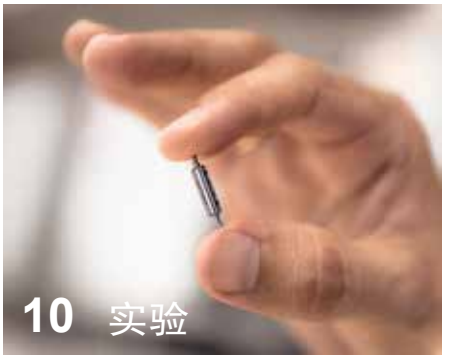
激光界

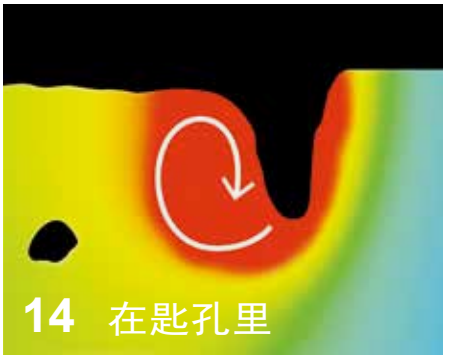
16 AI

24 植入

Frank Herfort, TRUMPF（原始图像）, M. Reinhardt via Deep-Dream-Generator（图案）

激光界





主题

16 释放脑力

人工智能正席卷制造业，切实影响着激光材料加工流程。

6 力量
用于铜的蓝色激光

7 荣耀
Reinhart Poprawe 退休

8 领先
和牙疼说拜拜——感谢 CO_2 激光器

10 创意不断涌现！
Miethke 的医学工程师购买了 USP 激光打标机并不断发现它的新用途

14 匙孔的关键
General Motors 运用激光焊接模拟软件探索匙孔底部

23 最新研究
新发现

24 研究入“骨”
位于莫斯科的 CONMET 用钛打印出了脊柱

26 美国之旅
Berthold Leibinger 的激光之旅

28 i4.0
数字化正在改变我们的合作方式

29 空中之眼
卫星与激光技术——珠联璧合！

30 “自由意志的问题仍然没有答案，至少现在是这样”
Karl Deisseroth 教授通过将激光射入大脑探索思想和决策

34 流行
坠入爱河的人工智能

35 激光运用在哪里？
在下水道里

Leon Zwiener, General Motors, Richard Morgenstein

力量

蓝色激光和铜能成为好搭档吗？专家们正热切等待着 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)的结果。

蓝色光谱

物理学家 Stefanie Kohl 在佛罗里达大西洋大学的光子技术研究所（LPT）研究铜的光学特性。

铜反射红光，但高功率激光器却在红光或红外光波段中，所以一直以来，这都是一个难以均衡的问题。随着电动车渐渐成为主流，激光焊接铜的问题已经不能再回避了。因此，埃朗根-纽伦堡大学的 Stefanie Kohl 决定面向蓝色光谱开辟新的道路。

红外激光和铜并不是最佳搭配，用红外焊接铜过程非常不稳定，会产生大量的飞溅，而且可重现性极低。但遗憾的是，电动车的高速发展使这一组合的重要性迅速提升到了前所未有的程度。

铜吸收绿光乃至蓝光等短波光线的能力要强得多。因为光谱红色部分之外没有足够强大的束源，所以长期以来研究人员只是出于学术兴趣研究铜的深熔焊接。但现在情况发生了变化，用户表示新型高功率绿光激光器在动力电池焊接等应用中具有显著优势。比如在光谱的绿色区域，高能激光耦合的大幅改善使焊接过程更平稳。

这些发展提出了非常具有现实意义的研究问题，现在我们希望在 FAU 光子技术研究所（LPT）的一系列模型和测试中来探索这些问题。例如，波长、温度、加工稳定性以及合金成分之间有什么关系？能量输入、输出和加工效率对这些因素有什么影响？以这些标准来看，绿光比红外激光强多少？如果绿光胜于红光，那么蓝光又会是怎样呢？这些波长的束源已经具备，那么接下来在加工稳定性、质量一致性和速度上有进一步的提升吗？绿色束源显然就是属于铜的未来，但探究蓝色的最终潜能仍然令人兴奋不已！

Otti Zink, TRUMPF / Illustration Gernot Walter

荣耀

Reinhart Poprawe 为激光技术的全球发展做出了巨大的贡献。他的退休计划仍是个未知数，但显然他是永远都不会感到无聊的。

Andreas Steindl / Fraunhofer ILT

宇宙地图

Fraunhofer ILT 激光技术研究所所长 Reinhart Poprawe 是德国乃至全球工业激光技术领域最知名的人士之一。在临近退休之际，他有什么计划呢？

当 12 岁的 Reinhart Poprawe 得知没有宇宙地图时，他简直不敢相信自己的耳朵。突然之间，他意识到这个世界还有很多未知，于是便暗暗发誓要改变这一切。

1970 年代，他在加利福尼亚学习物理，当时世界上最大的激光器令他深感惊叹。自那时起，他的职业生涯就渐渐与激光技术的发展紧密联系在了一起。1985 年，他加入亚琛的 Fraunhofer 激光技术研究所，担任部门主管。随后他搬到了蒂森，但对激光的热情从未消退，因此最后又回到了 FraunhoferILT。1996 年，Poprawe 接任 ILT 所长。同年，他被亚琛工业大学任命为激光技术部主席。在这个职位上，他鼓励大家走出自己熟悉的领域，并在校内提供了惊人的 3 万平方米空间，供工作人员组成多学科团队进行研究。Poprawe 始终对新想法保持开放的态度，并表示这是促进创新的唯一方式。这种开放包容的精神如今已成为研究所文化不可分割的一部分。

过去 20 年来，整个研究机构的员工人数从 250 人增长到 800 人，并孕育了 30 多家新企业。亚琛也因此成为了德国乃至其他地区激光技术的重要枢纽，Poprawe 也成为了该领域的领军人物之一，并牢牢地融入了全球激光界。

今年 Poprawe 就要退休了。最近，他成为了清华大学的荣誉教授，并凭借在激光研究所（LIA）多年的辛勤工作荣获了著名的 Arthur L. Schawlow 奖，为职业生涯画上了圆满的句号。他为继任者留下的是真正综合化的多学科机构，配备了一流研发设施，并且是全球最负盛名的激光中心之一。

Poprawe 的下一步计划还没有确定，没准就是宇宙地图呢！ ■

“孩子们，和牙疼说拜拜吧！”.

美国企业大通激光希望能凭借 DL-500 牙科激光器彻底改变牙科医学。工程师 Mike Adams 向我们解释了为什么一旦这一革命性的方法普及开来，我们就不用再害怕看牙医了。

偏振敏感光学相干层析成像利用近红外激光绘制牙齿表面。将治疗前后的图像重叠，就能看到去除的龋坏牙釉质（绿色区域）。因为对精确度有很高的要求，所以只有 DL-500 这样的牙科激光器才能做到。

Adams 先生，大多数人都害怕看牙医，特别是那令人心悸的钻孔声。未来，激光温和的脉冲声真的能取代这一切吗？

当然，如果牙医采用我们的激光器，那声音一定会悦耳很多。当然也不用为钻孔担心，因为我们的 DL-500 是首款能够取代传统钻孔方式，彻底实现无痛治疗的商用激光器。我们的目标是引领新的潮流，改变整个牙科医学行业的面貌。想象一下，未来的孩子可以轻松和牙痛说拜拜，再也不用承受这种痛苦了！

在说到如何实现这一点之前，激光器在牙科医学领域的现状是怎样的？

激光器在牙科医学中的应用始于 1990 年代。一开始用的大多是 Nd:YAG 激光器，既笨重又昂贵，工作波长为 1.064 微米。因为产生的热量过高，完全不适合牙齿的硬组织，也就是牙齿本身，只能用于软组织。早期引入的工作波长为 10.6 微米的 CO_2 激光器也面临着同样的问题。 后来，一些公司引进了 2.94 微米的 Er:YAG（激光器），该产品主要依靠水分子吸收光能，让水分在极短时间内汽化，转化成热能烧蚀硬组织，通过体积迅速膨胀的微爆破去除牙釉质。不过这种技术的操作速度很慢，患者仍然会感到疼痛，而且不能止血，对软组织的效果有限。

那么现在请说出您的秘诀！
是什么让 DL-500 更具优势？

早期的牙科激光器都是为其他用途设计的，DL-500 是首款专门为牙科医学开发的激光器。它能为该应用提供理想的光学参数，也是首款对硬组织和软组织都卓有成效且同样舒适的激光器。也就是说，它提供的脉冲宽度小于或等于 25 微秒，而脉冲能量超过 10 毫焦，能够安全高效地烧蚀硬组织，同时出色完成软组织部分的工作。在专注于特定光束特性的同时，我们还考虑到了激光器在实践中的运用。每一位牙医都可以使用 DL-500。它既节能又静音，不需要任何额外冷却，而且设计小巧，可以配备到任何牙科手术设备中。

开发这款产品有多难？

运用激光的牙体牙髓病学理念已经经过了 30 多年的深入研究，目前还没有在牙科实践中产生重大的改变。开发这款产品的主要难点在于要知道如何才能将这一重大研究成果转变为每位牙医手中的实用工具。

领先

Mike Adams 从 2000 年开始为通快子公司大通激光工作，该公司位于西雅图，专业从事高科技 CO_2 激光器束源光源的开发。他负责 DL-500 等激光器的研发。

Tegra Stone Nuess

我们与牙体牙髓病学运动领军团队之一的加州大学旧金山牙科分校密切合作。确定性能参数之后，我们的 CO_2 激光器全明星团队就开始全力以赴，运用几十年的经验打造独一无二的专属应用解决方案。

我们什么时候才真正能对看牙医的恐惧说拜拜呢？

是希望这不会花太长时间。现在很多原始设备制造商（OEM）都正在努力将 DL-500 整合到商业上可行的机器中。但这项技术还要几年时间才能成为主流。

Leon Zwiener

位于波茨坦的 Miethke 公司生产植入人类大脑和身体的高科技医疗器械

创意不断涌现！

医疗设备制造商 Miethke 购买了一台激光打标机以进行精密切割，但故事并没有就此结束。

每一千名新生儿中就有一人患有脑积水，也就是脑室中脑脊液（CSF）过多。这会导致年幼的孩子出现各种各样的症状，包括头痛和经常性呕吐。脑积水无法治愈，但可以治疗，植入疗法就能够显著改善患者的生活质量。位于德国波茨坦的高科技医疗设备企业 Miethke 从事脑积水分流阀的生产，这种产品能够将过多的脑脊液从大脑中排出，将脑脊液压力恢复到正常水平。但在儿童体内植入医疗器械对于一般人来说仍是非常惊人的理念。Miethke 研发部门项目经理 Christian Gleumes 说道：“相关作业显然必须达到极高的标准，需要运用很多激光技术才能既满足标准又能保证经济上的可行性。我们有自己的激光器，不过还需要采购一些用其他激光技术生产的部件。”

但是，与供应商合作也没有那么容易。“我们的脑积水分流阀大约长 10 毫米，直径 4 毫米，部分产品含有一个非常精细的弹簧片，采用厚度仅 0.05 毫米的超薄钛箔制成。为此必须采用“冷”加工，具体就是超短脉冲（USP）激光器。”但是 Miethke 的供应商难以适应新的方法，导致交货时间过长。“我们实在等不下去了，于是决定引进这项技术，自己来做。”Gleumes 说道。

今日切割，明日打标 数周后，在参观通快的激光应用中心时，Gleumes 提出用激光打标机而不是直接使用专为切割设计的激光器进行箔片切割，这令通快工程师非常惊讶。TruMicro Mark 是通快首款使用超短脉冲激光的打标机，不过那时还没有上市。Gleumes 说道：“显然有很多比激光打标机更经济的机型可以用于精密切割，但这也会增加冗余，新的设备可在主用激光打标机出现故障时作为备用方案。”当时，Miethke 仅使用一台纳秒脉冲激光器标记医疗设备。“这是一个潜在的瓶颈，如果这台机器出了问题，一切都会逐渐停止运转。”因此，增加一台激光器的优势显而易见。

通快应用实验室对 USP 激光打标机的精密切割测试获得了成功，于是 Miethke 迅速注册成为 TruMicro Mark 的测试客户。“我们只在我们业务里的专业领域生产小批次产品，所以不会用到超短脉冲激光器的全部产能，于是我们就在想，这台机器还能做什么，当然最符合逻辑的做法就是作为激光打标机打标！”

最棘手的部件 公司很快就找到了完美的候选打标产品：小巧的脑积水分流阀。该产品的标记必须遵守严格的 UDI 要求：耐腐蚀，在设备整个生命周期内都要确保人眼和机器能够识别，具备生物相容性，不含任何污染物。Gleumes 说道：“这是用 5 级钛制成的小型部件，经过抛光，反射面也是圆形，可以说是打标工艺的难度巅峰！”在通快应用实验室，来自两家公司的工程师找出了解决这一问题的方法。

USP 激光器加工的黑色标记是一种纳米表面结构，能够吸收和散射光线，形成极黑的哑光外观，且不会对材料产生热损伤。Gleumes 表示：“结果让我非常惊叹，在任何光线任何视角下，标记都清晰可见。”这项工艺几乎没有改变钛表面的金属结构，同时完全保持了生物相容性。

出色的标记质量给 Gleumes 带来了新的灵感。那时，Miethke 采用雕刻工艺标记医生调整脑积水分流阀的工具。“触摸的时候可以感觉到雕刻的痕迹，外表也不美观。而这些产品都是我们的医生客户经常要用的！我们坚信，完美的设计是质量的标志。”测试证明，黑色标记在这种阳极氧化铝工具上表现同样出色。“你在触摸时甚至感觉不到这些深黑色的字母，新的标记真是太棒了！不管是在光线柔和的主任医师办公室还是高亮度的手术室，视觉效果都一样好。”

那么……？ 在三次成功的创新之后，Gleumes 又有了新想法。Miethke 还生产蓝宝石部件。公司现有的激光机床无法打标这种材料，所以只好用了贴纸。“贴纸下总是有气泡，让我们很困扰，于是我们用 USP 激光打标机试了试，效果非常好。”Gleumes 解释说，从此新产品就不再使用贴纸了。

他的新创意进一步深入到了公司的系列产品之中。Miethke 一款配备了电子器件的产品采用的是聚合物保护板，利用聚醚醚酮（PEEK）进行切割。Gleumes 说道：“这项加工流程非常困难，因为材料太硬了，很难切割。此外，我们更想使用陶瓷板，因为惰性材料更适合这种应用。同时我们希望能在公司内部生产，这样就不用依赖供应商了。”于是 Gleumes 开始尝试用 USP 激光器切割薄氧化铝陶瓷。“效果非常完美，最棒的是，我们可以在表面应用三维结构，更有效地保护内置电子器件。”Gleumes 说道。

这激发了他对整个表面处理工艺的兴趣。“目前我们正在尝试利用激光为部件制作疏水和亲水表面。一旦拥有了超短脉冲激光器，你总能找到新用途！”

联系方式：Christoph Miethke GmbH & Co. KG,
Christian Gleumes, 研发部，电话：+49 331
phone: +49 331 62083-12, Christian.Gleumes@miethke.com

右：小小曲面上的黑色标记。

下：Christian Gleumes（右）不断为 USP 激光打标机的运用提出新创意。

“一旦拥有了超短脉冲激光器，你总能找到新用途。”

Christian Gleumes，Miethke 研发项目经理

Leon Zwiener

METHAE
METHAE
METHAE

N40186

匙孔的关键

- JOSHUA SOLOMON

激光焊接为汽车车身的生产带来了很多优势，但也造成了若干不明原因的缺陷。通用汽车决定仔细研究这项工艺，并在这个过程中发现了缺陷产生的原因以及避免的方法。

我们行业长期以来都深受不知如何改善焊接工艺管控的困扰，似乎只有魔法水晶球才能解答这个问题。而现在，我们通过数值模拟找到了答案。

众所周知，光束摆动焊接是连接铝合金的有效方法。但是，因为测量和监控这个高速焊接过程非常困难，所以这种方法为什么有效的深层原因仍不明确。同样难以捉摸的还有气孔相关缺陷的形成机制。为应对这些之前无法避免的缺陷，我们不得不增加焊缝以提高安全性，这极大限制了产品工程师在设计上的自由度。

我们决心解除气孔造成的限制，并从这个问题的核心——也就是匙孔开始着手。GM 技术中心的团队开发出了先进的软件模型，用于研究在焊接过程中激光与材料的相互作用。这款软件能够对焊接进行精密的分析，在虚拟世界优化流程，然后直接将结果应用于实际生产。

本文旨在根据激光搭接焊和激光角接焊缝的两个研究案例，揭示怎样利用模型更好地了解匙孔的动态和气孔的形成，从而找到减少缺陷的方法。这两种都是常见的焊接工艺，比如把门的内侧板焊接到窗框加强筋上。两个案例都涉及到 AA5182-0 铝合金的焊接——将 1.5 毫米的顶板连接到 2 毫米的底板。

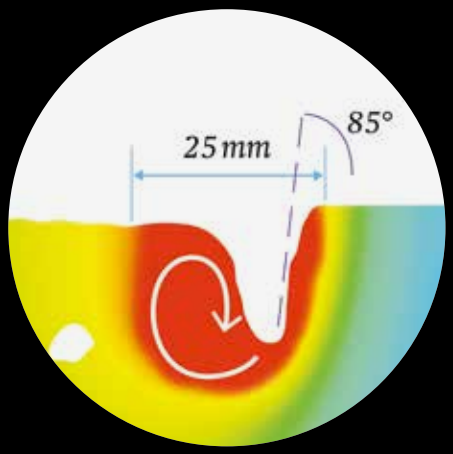
搭接焊　采用功率较低的 2.5 千瓦激光器以 3 米/分钟的速度进行直线（也就是没有光束摆动）搭接焊时，模型显示焊缝中形成了气孔。尽管我们知道气孔的形成受到熔池内流体的影响，但模型能够比高速摄像机更详细地显示流体的动态过程。这些流体是多种力相互作用的结果，其中很多都与温度有关。

因此温度的波动就会导致熔池中熔体流体的不稳定。用激光加热材料时，会产生一种反冲压力。熔融材料的下陷会形成涡流，其速度取决于匙孔和熔池的状态。当功率和速度较低时，激光束会击中匙孔壁后侧，加强熔池中的湍流。在最坏的情况下，这会导致匙孔崩塌，形成气泡。不仅如此，如果速度过低，焊池过短，气泡就会停留在凝固表面的下方，在焊缝中形成多余的气孔。

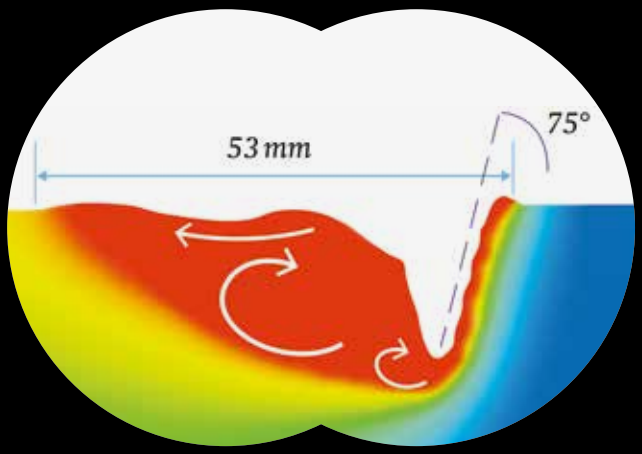
将功率升至 6 千瓦，速度升至 12 米/分钟，就能提高熔池延伸率，保证匙孔稳定，大幅减少气泡的生成。在高速下，激光束主要击中的是匙孔的前壁而不是后壁，这就减少了力的失衡，从而防止会导致气泡产生的崩塌。

不过预防缺陷并不等于一味地提高速度，因为高速也会带来问题。搭接焊的一个劣势在于，顶板和底板之间的焊接面较窄，降低了焊接的机械强度。如果板材中间存在任何空隙，情况还会更糟。高焊接速度会产生较大的收弧凹坑，如果提高速度，为达到必要的渗透深度，就需要更大功率的激光器。但是，不断提高激光器功率不仅会增加费用成本，还会引发其他问题。GM 使用 6 千瓦的 TruDisk 进行远程焊接，保持常用的设备配置是有好处的。

虚拟模型显示，我们可以利用光束摆动解决气孔问题。通快的扫描光学器件可以帮助我们实现高速度、准确定位以及所需的控制，焦斑以 450 毫米/秒的速度移动，有时还能更快。光束摆动延长了熔池，使流体状况更加



a) 模拟虽然看似有趣，但气孔的形成在实际焊接中却是一个大问题。低速可能导致键孔崩塌，使凝固的材料中产生气泡。



b) 数字模型为寻找可靠的解决方案提供了机会：更高的速度能够提高熔池延伸率，从而保持键孔的稳定。

稳定，从而预防了气孔等缺陷。与此同时，光束摆动是一个可控参数，能够稳定增加焊缝宽度。实际焊接的机械测试确认了模拟结果，与直线焊接或点焊相比，横向拉伸和剪切强度提高了近 40%。

激光角接焊缝 开始在虚拟世界研究边缘焊接时，我们已经将搭接焊中学到的经验教训投入了实践，防止了特定的焊接缺陷。因此我们转而专注于优化关键焊接尺寸，特别是焊接厚度和焊脚长度。我们能够调整光束摆动幅度、频率、焦点位置等参数，将机械性能最大化。模型呈现出一个十分有趣的结果，并在实际测试中得到了确认：在搭接角焊缝中进行光束摆动焊接时，模式一直在热传导和深穿透之间交替。随着焊接流程的推进，焊点从一个浅浅的键孔（或者什么都没有）变为深深的键孔，然后又变回来。这个发现意义深远，因为（先把铝放在一边）这说明我们可以通过影响锌蒸汽的排放等方式大幅改善镀锌钢板的焊接。

数字模型不仅能帮助我们预先了解无法测量的熔池和键孔环境，还能对其加以预测和优化。比如光束摆动会在熔池中形成两个不同的区域：一个浅且细长，流体温和，另一个流体较为强劲，围绕着匙孔。为增加渗透深度，我们不能简单地通过提高功率加深匙孔，这会导致匙孔崩塌形成气孔。幸运的是，解决这个问题不需要实际测试激光参数的所有组合，通过模拟，我们发现保持每单位长度的能量不变，提高光束摆动频率就能增加渗透深度。

简言之，两个案例研究都证明，通过模拟可以准确预测改变工艺参数的结果。不得不说，预测的准确性让我们非常惊喜，并且我们已经将数值模型的发现成果运用到了生产流程中。我们相信，未来数年内建模将成为行业的标准工具。不需要水晶球就能知道！ ■

JOSHUA SOLOMON 是 General Motors 的工艺工程师，在位于美国密歇根州沃伦市的 GM 技术中心负责先进技术和焊接。他与激光结缘于德国，在戴姆勒担任开发工程师时第一次从事激光焊接工作。

General Motors

机器中的幽灵在哪里？神经网络试图加以追踪。

TRUMPF（原始图像），M. Reinhardt via Deep-Dream-Generator（图案）

释放脑力

人工智能正在改变整个工业。

那么我们现在处在什么阶段？

未来还会发生什么改变？

请和我们一起探索激光材料加工的未来。

国际象棋手很久以前就接受了失败。1996 年，IBM 超级计算机击败了国际象棋世界冠军 Garry Kasparov，从此没人再怀疑人工智能（AI）远胜于人类这个事实，至少在国际象棋上。但故事并没有就此结束。在海量数据的支持和强大计算能力的推动下，AI 走出了人类棋手从未想到过的绝妙招式，将国际象棋提升到了新的高度。如今，认真钻研国际象棋的棋手都知道从 AI 那里可以学到很多东西，因此还会特意与其对弈，学习技巧和战术。最终，AI 使人类棋手比以往更加出色。

国际象棋手已经学会了接受和享受这个过程，但对于机械工程师、生产计划员和设计工程师来说，这个过程才刚刚开始。随着人工智能进入制造业，工业 4.0 的浪潮现在到达了巅峰。人工智能从很久之前就在其他非实体生产领域承担了关键性任务。例如，在银行和金融领域，算法已经能够评估信誉、买卖股票以及检测信用卡诈骗。在医疗领域，人工智能可以帮助医生诊断皮肤癌等疾病，而在网络零售行业，还能为定价和其他营销工具提供支持。而现在，算法也要在生产车间发挥作用了。

工业 4.0 的下一步就是人工智能。

数字的力量 一切都从算法擅长的领域开始，也就是组织性、非物质流程。在这些方面，配有 AI 组件的程序已经大展身手，自主学习算法可以检查生产规划战略，确保达到最佳的产能利用率。不仅如此，它们还被运用到了发票流程的管理之中，能够准确分配每张发票并按时发送。现在，通过文本和语音识别，手写订单可以自动添加到 SAP 中。每当机械大脑成功或失败一次，它们都会变得更加聪明，提高下一次做到更好的几率。

直到最近，AI 神经元开始向车间的实体机械迈进了一步。同样，最早的切入点又是机械的数字化“软”件方面。预测性维护就是一个好例子。凭借大量历史数据以及连接的传感器，AI 可以检测到机械何时需要维护，并把数据发送给生产计划员。

这能防止意外停机，并且帮助企业更有效地规划维护工作，将其更加平稳地融入到生产流程中。但即便在这种情况下，问题也不可被完全规避，这时，AI 又能提供帮助。比如在

通快，极其复杂的平面激光机产线上就使用了自主学习软件，为质量保证团队提供支持。过去，试运行中不管出现什么问题，都需要团队检查甚至更换机器的许多部件，不仅费时费力，甚至还不能保证成功。如今，传感器可以在短暂的试运行期间收集大量数据并发送到云端，与之前已知的所有信息进行对比，然后做出相应的分析。软件只需几秒就能完成无数个操作。如果检测到任何异常，它就会将问题最有可能的原因以及解决方法详细发送给工作人员。同样，每使用一次，软件都会获得进步。

但是，AI 是时候跨足到另一边了，也就是与金属正面接触，搭建虚拟数据与实体生产核心之间的桥梁。与用于生产规划的软件应用不同，AI 很难在工业应用的真实部件上进行试运行。在这种环境下，一个错误就可能导致整个车门或电子组件沦为废品。因此，AI 甚至都不在候选之列，除非机器是专为 AI 而设计的，但一般来说，为只需要前后移动的联锁机械手加上一个大脑并没有什么意义。如果要让算法真正学到东西并实践它，机器必须具有高度的自由。

AI 让机器随着时间推移变得越来越好用。

硬件领域 通快的全自动 TruLaser Center 7030 激光系统是 AI 在工业硬件领域最早的应用之一，所需的自由度来自 AI 支持的 180 个活动销。这台机床能够将部件从金属板上切下，然后自动移除。目前，这一重复性工作通常由人工完成，因为部件在离开板材时可能会微微倾斜。工作人员可以轻松将部件放回到正确的位置，但自动化解决方案却对此一筹莫展。可如今的 TruLaser Center 7030 系统，活动销能将部件从下方的废料框中抬起，同时由吸盘从上方将其放在正确的位置。难点在于，切割件有着各种各样的形状、大小和厚度。但如果部件在第一次尝试时被卡住了，吸盘和活动销会以略微不同的方式重复这个过程，直到成功为止。机床会把所有失败的数据发送到云端，进行集中评估。未来，所有 TruLaser Center 7030 系统都将定期收到更新，让每一位用户都能获益于算法在全球的学习成果。因为众多机床全部连接到同一个中央枢纽，所以每一台机床都能随着时间推移变得越来越好用，为用户带来切实的效益。

焊缝和切割边缘的监控同样如此。通快目前正在训练一款自主学习软件，其程序运用光学传感器评估焊缝和边缘质量，只要超出规定误差范围就会通知用户。研究人员正在电动机扁铜线复杂的焊接作业上测试 AI 的性能，随着执行次数的增加，软件对于自己的判断力也越来越自信。很快它就能够比人类专家更快更准确地评估激光加工了。

智能激光 横扫工业的变革与激光应用的关系尤为密切，激光已经打下了一片天地，甚至超越了 AI 正在努力突破的边界。与铣刀、钻头以及所有其他机床刀具不同，激光完全属于数字领域。自首次应用于工业以来，激光就采用数字控制，通过数据创造真实的产品。这并不是激光相较于机械的唯一优势：有了激光系统，数据和产品之间就只隔着不受物理限制的光线。从工业 4.0 到 AI 进入工业领域，激光都是最为灵活、适应性强而且直接的工具。一旦 AI 生成新的加工策略，不论是一系列细微的调整还是像 AI 国际象棋那样颠覆的思维模式，激光都能直接提取纯粹的信息，并立即投入实践。在自由度上没有什么能超越激光。

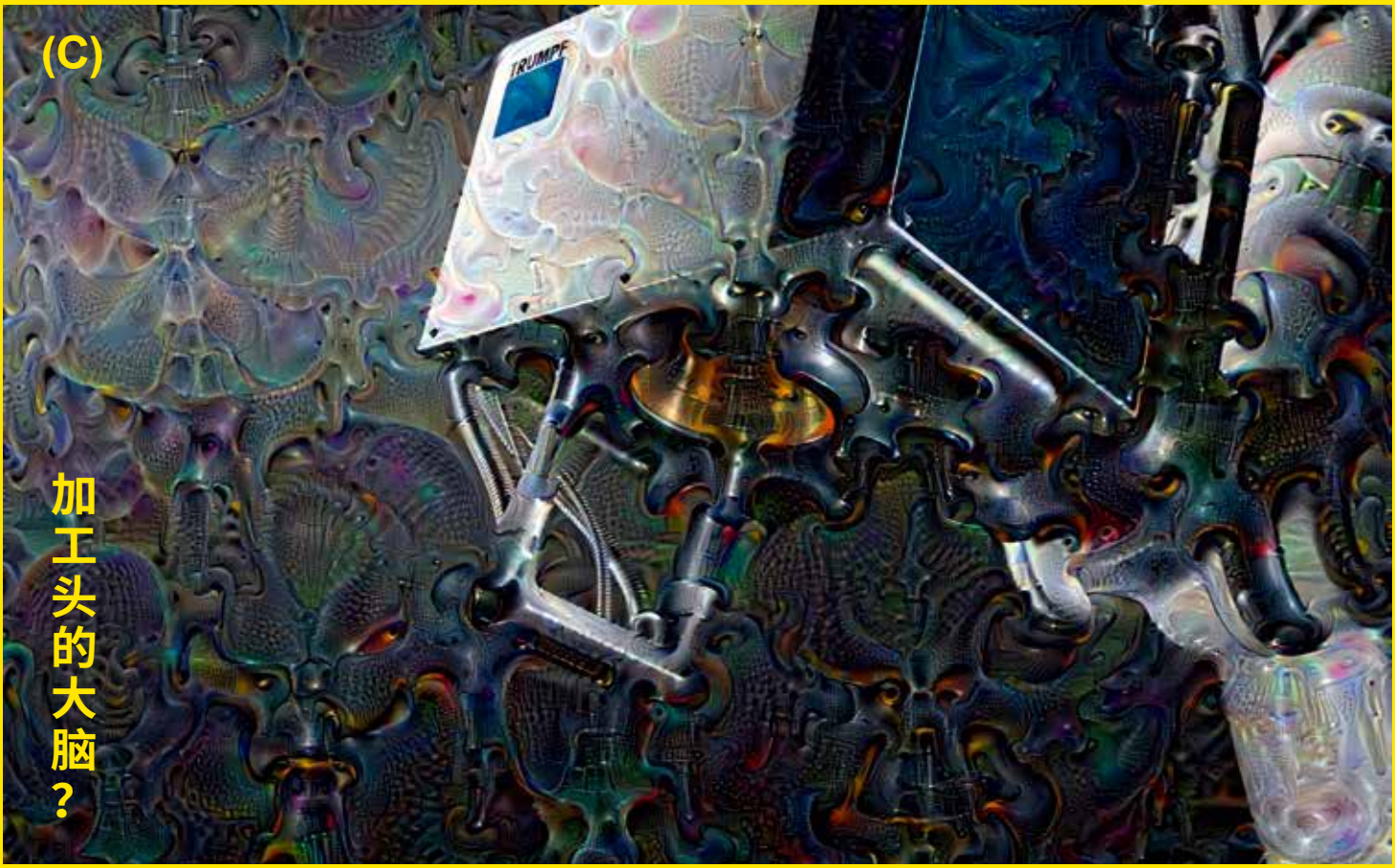
激光还能利用一整套传感器收集大量数据，这些数据会逐步变得越来越重要。基于人类经验训练出的算法能够在混乱的信息中不断发现人眼看不出来的新模式，并从中得出结论。全球的研究人员眼下都在开发此类 AI 系统。研究成果将逐渐改善激光材料加工乃至激光器本身。

与如今的国际象棋手一样，未来十年的激光用户将是最好的激光用户，因为届时他们将会热爱自己的 AI。 ■

联系方式: Jens Ottnad，通快前期开发网络系统主管，
电话：+49 7156 303-31902, Jens.Ottnad@trumpf.com

工件中的梦想？

TRUMPF（原始图像），M. Reinhardt via Deep-Dream-Generator（图案）



加工头的大脑？

合作评估数据能使企业从 AI 中获益。

Christin Schäfer

曾为德意志银行开发 AI 解决方案的统计学家，之后在 2016 年成立了自己的公司 acs plus，提供机器学习应用开发服务，并在该领域与通快合作。Schäfer 在 2018 年成为德国联邦政府数据道德委员会成员。

Kröger 是卡尔斯鲁厄理工学院（KIT）计算机科学教授兼智能流程控制和机器人实验室（IPR）主任，斯坦福大学访问科学家。他于 2014 年成立的机器人公司被谷歌收购，随后被谷歌母公司 Alphabet 任命为机器人软件部门主管。Kröger 从 2018 年开始与通快就 AI 解决方案展开了合作。

Torsten Kröger

Private, KIT, TRUMPF（原始图像）, M. Reinhardt via Deep-Dream-Generator（图案）

人工智能在工业中的现状如何？

SCHÄFER: 所有机器学习技术都强大得惊人，特别是在能够处理图像文件等传感器数据的情况下。有些公司已经在特定领域取得了标志性成就，而其他企业还处于起步阶段。我想关键在于简化和管理生产流程，开发新的服务和产品。现在已经逐渐可以看到有企业直接在生产流程中使用数据驱动的算法了。

KRÖGER: 在动作技能方面，比如机器人在现实环境中自主行动并从中学习，一切都还在萌芽时期。但近年来，可以看到认知领域的巨大飞跃，比如识别条件和模式。

你们认为未来有哪些潜力？

KRÖGER: 老实说，工厂里很多自动化系统的编程都很糟糕，监督式机器学习很有希望大幅加速汽车工业等领域的所有生产流程，切实提高效率。对于小型企业来说同样如此。编程一直以来都是小型企业购买机床和机器人的最大阻碍之一，但现在变得越来越容易了，特别是在 AI 的支持下。如果程序改编更快更方便，甚至完全自动化，那么所有小批量生产企业都能降低运营成本。

那么目前的障碍是什么呢？

SCHÄFER: 我一直都强调要仔细研究希望解决的问题。现在，很多企业都专注于深度神经网络并致力于将其投入应用。问题在于这些方法需要大量数据。为进行足够的学习，一般必须为神经网络提供数百万份数据，有时数据根本就不够。遗憾的是，当他们从神经网络的美梦中醒来，很多人就把它当做垃圾一样抛弃了，但事实绝非如此。我们仍然可以使用传统的统计方法，以相对较少的工作量大幅提升效率。神经网络绝对是正确的道路，但前提是能发挥它的作用。

KRÖGER: 我很赞同这一点。问题在于可用数据的数量和质量，以及实现实际应用所需的工作。

那么要怎么解决数据问题呢？

KRÖGER: 利用模拟。在工业环境中，根本不可能为了让算法学习而生产几百万件瑕疵品。但是很多工业流程都很容易模拟，从而为算法的训练提供合成数据。

SCHÄFER: 合作是另一个选择，也就是多家企业共享数据。仅仅一家公司无法为神经网络提供足够的数据，但如果某个特定领域的所有企业联合起来，数据就会多得多。也就是说企业要以深远的目光看待 USP。但在大多数情况下，我怀疑他们的 USP 甚至都没有包含在生产数据中。一旦各家企业准备好合作评估和标记数据，就会从 AI 结果中获得巨大收益。

你们认为十年后我们会发展到什么地步？

KRÖGER: 我们会逐渐发展到让机器能自动编程的地步。人类只用告诉机器需要生产什么部件，具备什么特性，软件就能制作出成熟的设计，然后由机器直接生产出来。车间的自动化水平将远超如今，生产效率也会显著提高。

SCHÄFER: 我预计供应链和产能利用率都会发生巨大的变化。将会出现让单个机床和整个企业都能自动实时发布可用产能并接受订单的在线平台。自主学习 AI 将掌控生产规划，向供应商提交相应的订单并管理物流。所有这一切需要的基础设施都已经就位了。 ■

AI 会对工业带来怎样的改变？AI 专家 Christin Schäfer 和 KIT 机器人教授 Torsten Kröger 从开发人员的角度进行了解答。

“机器将会自动编程。”

工业 AI 术语简介

[人工智能]（AI）

*(AI)*每个人都在谈论 AI（包括我们），但不管在业界还是科学界，对 AI 都没有一个明确的定义。基本上，AI 指的是让机器能够自主、智能地行动。但这里的“智能”到底是什么意思，各方意见并不统一。

[人工神经网络]

尝试按照人类大脑的运转方式搭建抽象模型，用于深度学习等方面。

[机器学习]（ML）

(ML) AI 的一个分支，与工业密切相关。基于前例（也就是数据），软件算法能学会识别某种模式，并运用学到的内容执行任务，例如从视觉上分辨优质焊缝和瑕疵焊缝。学习策略多种多样。

[深度学习]

ML 的一个分支。人工神经网络需要大量数据作为支撑，然后才能在没有人类支持的情况下做出自主推断。

[监督式学习]

一种机器学习策略。由人类为算法学习提供帮助，比如提前将数据进行整理和分类，以使程序能够评估新的未分类数据。这种学习方式又称为强化学习，通过设定程序的奖励或惩罚加以强化。

[算法]

简单来说，算法就是做出决策的一整套步骤流程。比如，如果是 A 情况，则进行 B 处理。软件算法通常包含很多复杂的指令集。

[大数据]

一个非常流行的词汇。本质上，大数据就是从庞大而混乱的数据集中抽取有用的信息，例如用于深度学习。

[认知]

在机器学习中，认知是指识别和评估关系的能力。输入数据通常包括图片、声音和其他传感器数据。多年来，研究人员在该领域取得了巨大的进展，例如自动语音和面部识别。

[动作技能]

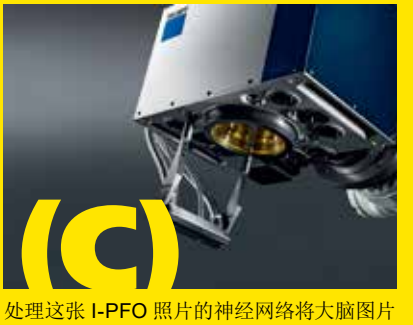
在机器学习中，动作技能是指机器人在没有编程的情况下在空间内自由移动并与实物互动的能力。其智能化在于电动机本身能够通过传感器实时观察自身。该领域的研究仍处于初期阶段。

神经艺术

本文中的图片来自我们 2015 年在谷歌上的实验。一支团队决定研究神经网络眼中的图像是怎样的。他们的成果之一就是这款在线 APP HTTP://DEEPDREAMGENERATOR.COM

一个接受面部图片训练的神经网络尝试识别这张 TruLaser 7030 AI 机床的图片。

如果一个神经网络学习的是《权力的游戏》作者虚构出的 Valyrian 文化，它会有什么梦想？



处理这张 I-PFO 照片的神经网络将大脑图片作为搜索任务。

激光材料加工中的超快变焦透镜

高通量激光材料加工需要能准确控制激光束的位置。在普林斯顿大学的博士论文中，Ting-Hsuan Chen（27 岁）提出了一种新技术，使用超快变焦透镜沿光轴快速扫描激光焦点。这不仅能提高材料加工效率，还为改善不规则部件的激光加工打开了大门。完整版论文请见：

https://dataspace.princeton.edu/jspui/handle/88435/dsp01dn39x4241

微型和纳米光子的激光成型

近年来，很多研究人员开始在微型和纳米光子应用中使用飞秒激光脉冲加工和制造金属、半导体和电介质。在提交给墨尔本斯威本科技大学的博士论文中，Xuewen Wang（27岁）总结了这项工作的成果，重点介绍了各种方法的优势和策略。完整版论文请见：

http://hdl.handle.net/1959.3/440411

光作为一种工具它的未来发展会是怎样的呢？四位年轻研究者的研究也许能让我们了解一些未来的可能性。

→ 最新研究

纳米粒子在硅片上的激光熔覆

在柏林工业大学的博士论文中，Mohammad Hossein Azhdast（38岁）将镀膜玻璃或施体薄膜上的铝和铜纳米粒子薄层利用激光辐射转移到硅片上。他研究了各种 Nd:YAG 激光器的脉冲持续时间和波长对熔覆流程的影响。激光辐射是生成高分辨率图像的重要技术，在微型和纳米设备的制造、引线键合和 3D 互连流程上都有着巨大的潜力。更多内容请见：

https://d-nb.info/1165650436/34

超声波辅助激光连接金属和塑料

近年来，轻金属和塑料等异质材料的连接备受关注，特别是在汽车和生物医学行业。这主要是通过激光辅助的金属塑料连接等技术实现的。不过，这有时会形成气泡，降低连接强度。在香港理工大学的博士论文中，Yujiao Chen（30岁）开发出了一种超声波辅助激光连接工艺，能去除激光产生的气泡，加强塑料和金属之间的连接。完整版论文请见：

http://hdl.handle.net/10397/73136

保密

人体骨骼（左）可能出现很多问题。生产经理 Nadeschda Morozova（上）致力于打造定制替换部件。如今她在 CONMET 的工作内容已经远远超出了螺钉和金属板。

研究入“骨”

在工业化国家，脊椎疾病的发病率呈上升趋势。3D 打印的钛植入体为某些重症带来了希望。

乍看之下，这些小小的灰色物体平平无奇，但它们却能改变一个人的生活。它们名为椎间融合器，是一种脊柱植入体，用于固定两节脊椎之间的间隔，恢复脊椎体的自然高度。为成功实现这项功能，融合器必须满足严格的设计要求。除了能承受机械压力，它们还必须轻质且具有生物相容性，不会让人体产生排斥反应。位于莫斯科的 CONMET 公司目前利用 3D 打印技术在通快 TruPrint 1000 上生产融合器。在中期，总经理 Dmitry Tetyukhin 计划部署一台 TruPrint 3000，升级到大规模生产。

3D 打印的完美候选项 背部疼痛在工业化国家非常普遍，是最常见的健康问题。此类患者每天都会感到疼痛，身体活动机能也会下降。如果病情严重，椎间盘突出等症状只能通过手术治疗，利用植入体强化脊椎体。

早在 1993 年，莫斯科企业 CONMET 就认识到了利用 3D 原型技术定制医疗植入体的变革性潜力。自那时起，CONMET 与研究中心和行业合作伙伴密切合作，研究测试口腔和上颌面植入体。作为独联体（CIS）领先的植入体制造商，该公司正积极打入潜力巨大的脊柱植入体市场，以巩固自己的地位，CONMET 生产经理

Frank Herfort

合适的粉末量：CONMET 采用了两种不同的方式挖掘 3D 打印的潜力。一是打印定制植入体，而是开发创新的量产植入体。

肉眼不可见：3D 打印表面是加强骨头和植入体之间联系的关键。

3D 打印融合器的原型：长期以来，脊椎融合都是椎间盘突出不得已之下的最后治疗手段，但如今 3D 打印融合器可以将脊椎体恢复到自然高度，让患者没有疼痛地自由活动。为此，融合器不仅要具备生物相容性，还要有足够的韧性，以确保不会撕裂或破碎。幸运的是，3D 打印能做的远不止这些。

Nadeschda Morozova 说道：“大约 60% 的退行性脊椎疾病和脊椎损伤手术需要植入融合器，所以需求非常强劲。”

融合器本身采用生物相容性钛合金制成。融合器制造商面临的主要难题之一就是怎样使表面的孔隙度准确满足要求，Morozova 解释说：“多孔结构能促进骨结合，也就是活骨组织和植入体表面之间的结构性和功能性连接。车削、铣削、铸造等传统方法几乎不可能做出这种结构，所以 3D 打印具有显著的竞争优势。”

CONMET 使用通快的 TruPrint 1000 开发参数并测试各种不同的形状和材料。Morozova 说道：“我们的目标是了解所有的相关流程，从而做到为特定患者定制植入体，并尽早为公司奠定大规模生产的基础。”

这是 CONMET 投入使用的第二台通快 3D 打印机。2018 年初，该公司开始使用 TruPrint 1000 为癌症和创伤患者生产牙齿和颅颌面植入体。除了机床本身，通快还提供适用的钛粉末、基板、涂覆工具和软件。通快丰富的专业知识以及成功的合作是 Dmitry Tetyukhin 决心购买第二台打印机的决定性因素。Morozova 解释说：“通快在迪琴根的专家以及在莫斯科子公司的工作人员为我们提供了大量支持和建议，帮助我们引进了新的技术，事实证明他们是非常可靠的合作伙伴。他们的专业知识在第二个项目中也发挥了宝贵的作用，比如在决定合适的参数方面。”CONMET 计划订购一台 TruPrint 3000，以开启脊柱植入体的大规模生产。 ■

联系方式: CONMET Ltd，总经理 Dmitry Tetyukhin，电话：+7 (495) 234-91-13, conmet@conmet.ru

Frank Herfort

美国之旅

Berthold Leibinger 先生生命中的一段剪影。
由 Athnassios Kaliudis 回忆，Peter Bartels 作图。

本文基于真实事件，包括 Leibinger 先生于 1978 年冬前往美国，访问激光制造商以及参加 EMO 贸易展全球首发的经历。部分内容为虚构，包括对 Leibinger 先生的想法和感受的描写。

1964 年，美国：电气工程师兼物理学家 Chandra Kumar Naranbhai Patel 在自己的实验室研发出了首款具有持续输出功率的 CO_2 激光器。3 年后，美国企业 Coherent Radiation 推出了第一款能够切割金属的激光器。全球行业杂志纷纷盛赞这款“奇迹般的新工具”。

在大西洋一万米上空，Berthold Leibinger 先生最后一次查看了自己的旅行证件。这是1978年2月，他计划访问美国的多家激光制造商。但是漫长的航班也没能为接下来的行程养精蓄锐。他的大脑完全放松不下来，塞满了关于激光的各种想法。10 年前，激光器不过是种华而不实的设备。超大的谐振器使得激光器过于笨拙，并不实用，所以几乎只限于实验室测试。但如今的激光器要小得多，更加坚固且方便控制，足以发挥良好的作用。美国已经有人开始利用激光切割板材，并热议着在机床上安装激光器。Leibinger 先生决定亲眼看看这一切，毕竟在金属板上切割各种形态的轮廓原本是步冲轮廓机的专利，这也是为什么媒体将他称为步冲轮廓机之王！Leibinger 先生在飞机座椅上坐立不安。在切割金属上，激光是不是和步冲轮廓机一样好用？甚至更好用？如果激光更快呢？他不断思考着各种各样的可能。

在康涅狄格州哈特福德安全着陆后，Leibinger 先生紧了紧身上

Peter Bartels

Berthold Leibinger 先生是通快高级管理人员兼合伙人，毕生都作为企业家和慈善家而奋斗。他曾在斯图加特学习工程学，并在美国待了 2 年，之后于 1961 年加入通快，当时公司还是羽翼未丰的机床制造商。他为公司的发展提供了很多创意发明，并获得了公司的股份作为回报。就这样，在 1966 年，除了担任首席执行官之外，他还成为了公司的合伙人。在他的领导下，通快发展成为全球领先的机床制造商。Leibinger 先生如今被誉为是激光工业应用的先驱者之一，他于 2018 年 10 月 16 日去世，享年 87 岁。

的外套，东海岸此时正是严寒的隆冬时节。Leibinger 先生的第一站是联合科技（United Technologies）。在那里，一位名叫 Carstens 的先生滔滔不绝地称赞激光的奇妙之处。Leibinger 先生迫不及待地想看到激光的实际运用情况。最后，Carstens 从抽屉里拿出一个雪茄盒，把样件倒在桌子上，他的笑容无法抑制，对新工具的自豪之情溢于言表。Leibinger 先生的目光紧紧粘在眼前的激光切割样件上，他拿起一块，用手指摩挲着轮廓。切割边缘很粗糙，有明显的毛刺，底部有一些焊接的痕迹。Carstens 热情地谈论着激光作业是如何轻松而且静音，但 Leibinger 先生并没有注意，而是全神贯注地检查着样件。这些样件距离工业应用还有距离，显然要经过重新加工才能投入使用。尽管如此，Leibinger 先生的脑海里仍然呈现出一个新的愿景：如果切割边缘能做到足够光滑呢？那会怎么样？

把场景切换到 Carstens 的工厂车间。操作人员站在激光器前。轻按开关，看不见的光线就会在金属板上舞蹈。几个火花闪烁，部件就从板材上切割下来了，工作完成！Leibinger 先生想着自己的步冲轮廓机，想象机械传感器在模板上移动，然后机床沿着路径裁剪金属。他看了一眼激光器：虽然还有待完善，但这显然是一种精妙的创新解决方案。一瞬间，Leibinger 先生想到了自己笨重又陈旧的冲床，并且挥之不去。同时，他脑海中的愿景还在继续成形。

在联合科技的参观结束后，Leibinger 先生飞往加利福尼亚，访问其他激光制造商。从东到西，天气好了起来，激光也更加优质。在返回德国的航班上，他凝视着折叠桌上的样件陷入了沉思。渐渐地，他露出了笑容。Leibinger 先生有一种直觉，是一个非常清晰的愿景，于是当场就下定决心：一到家就要向美国下单。是时候购买激光器了。

1979 年，德国：在 EMO 展会上，盛传将会出现一台配备混合加工头的新机床，所有人都热切期盼着现场展示。机床操作员启动程序，冲孔工具开始冲孔，然后激光启动，在金属上舞蹈，从板材上切下复杂的轮廓。步冲轮廓机之王成功展示了自己的首款混合冲压激光机床！仅仅几年后，步冲轮廓机停止生产，被激光完全取代。 □

i4.0

打破界限

数字化正在改变我们的关注重点。不仅是技术上，在合作上也是如此。这对每个人来说都是好消息。

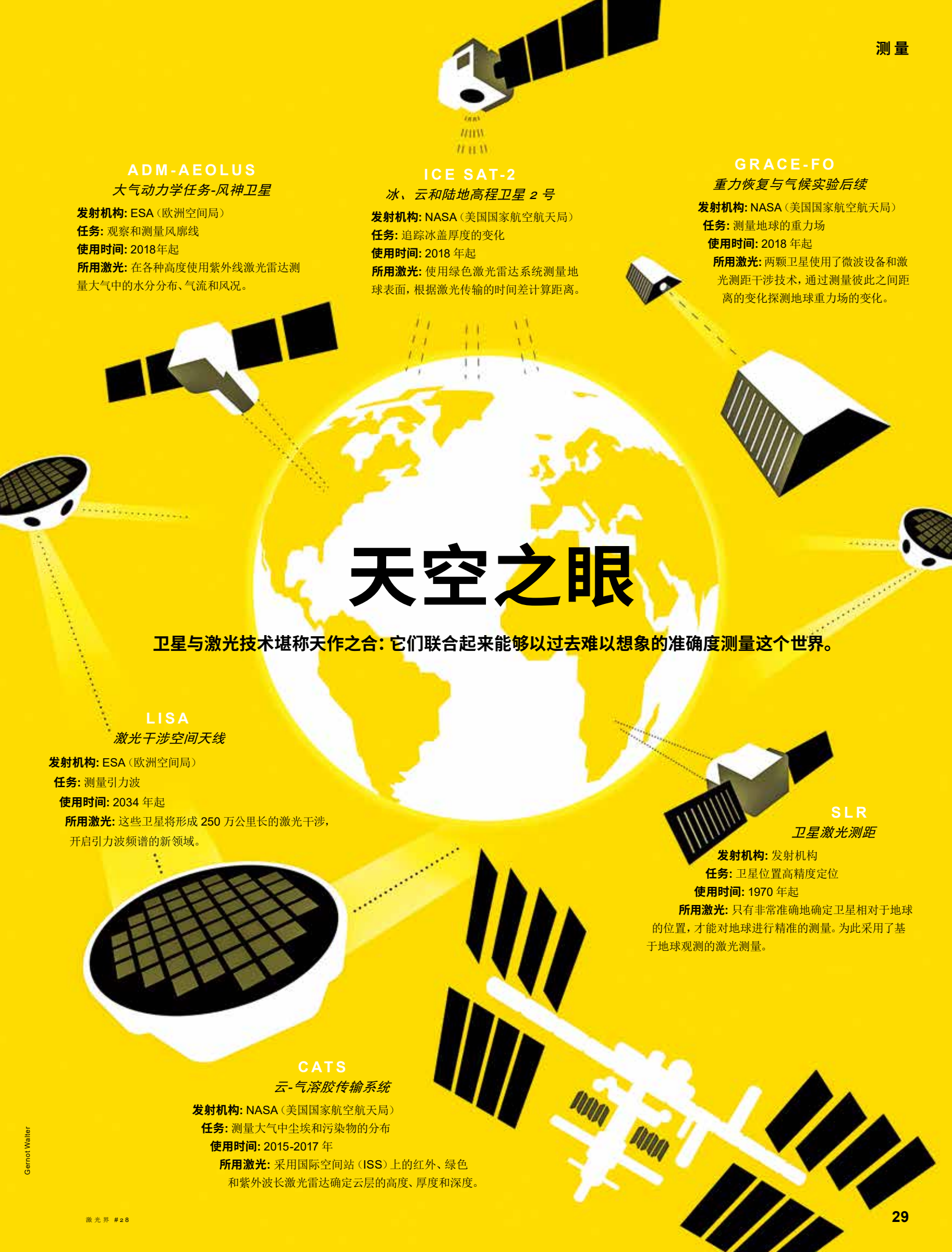
在如今的物联网中，一切都彼此相连。这带来了显著的收益，也扩大了钣金加工领域，因为单个组件的互相连接可以为企业节省很多的时间。钣金制造商目前 80% 的生产时间都花在间接流程上，而平均 50% 的作业中批次数量为 4 个部件或更少。从整个生产周期的时间比例来看，钣金加工行业的实际加工时间极少。

通快发现了这一领域的改善潜力，并专门为此设计了 TruConnect 数字化解决方案。这也要求我们提高内部的连通性，不仅要连接开发和销售等内部部门，还要将网络扩展到公司外部的客户与合作伙伴。

TruConnect 开发流程能够打破硬件、软件、销售和服务之间的壁垒，消除如今不同部门和业务领域之间的隔阂。这是因为基于软件的数字化解决方案不需要严格的规划或单独的部门，而更多的是需要部门与公司内外的合作伙伴进行合作，就比如我们的 Track & Trace 室内定位系统。我们相信，一定要从一开始就让客户参与其中，因为只有通过客户的及时反馈才能完善我们的产品并根据他们的需求进行定制。我们还与高校和研究机构密切合作。经验证明，高度复杂的工业 4.0 产品在开放的创新生态系统中最有可能蓬勃发展，而不是在某个部门紧闭的大门背后。

这一切都对我们的企业组织产生了影响。每个专家团队都有责任制定长远的决策，管理者的作用主要是辅助促进和联络沟通。随着组织架构越来越灵活多变，管理团队也越来越专注于增进知识技术，让团队以对企业有益的方式进行自我管理。他们的任务是组织协调不同个体之间的合作，把不同的学科结合起来。这种突破界限的跨学科思维和行为方式有助于确保公司始终为客户提供优异的钣金加工成果。 ■

Julia Duwe 是通快的首席敏捷项目经理。



天空之眼

卫星与激光技术堪称天作之合：它们联合起来能够以过去难以想象的准确度测量这个世界。

ADM-AEOLUS
大气动力学任务-风神卫星

发射机构: ESA（欧洲空间局）
任务: 观察和测量风廓线
使用时间: 2018年起
所用激光: 在各种高度使用紫外线激光雷达测量大气中的水分分布、气流和风况。

ICE SAT-2
冰、云和陆地高程卫星 2 号

发射机构: NASA（美国国家航空航天局）
任务: 追踪冰盖厚度的变化
使用时间: 2018 年起
所用激光: 使用绿色激光雷达系统测量地球表面，根据激光传输的时间差计算距离。

GRACE-FO
重力恢复与气候实验后续

发射机构: NASA（美国国家航空航天局）
任务: 测量地球的重力场
使用时间: 2018 年起
所用激光: 两颗卫星使用了微波设备和激光测距干涉技术，通过测量彼此之间距离的变化探测地球重力场的变化。

LISA
激光干涉空间天线

发射机构: ESA（欧洲空间局）
任务: 测量引力波
使用时间: 2034 年起
所用激光: 这些卫星将形成 250 万公里长的激光干涉，开启引力波频谱的新领域。

SLR
卫星激光测距

发射机构: 发射机构
任务: 卫星位置高精度定位
使用时间: 1970 年起
所用激光: 只有非常准确地确定卫星相对于地球的位置，才能对地球进行精准的测量。为此采用了基于地球观测的激光测量。

CATS
云-气溶胶传输系统

发射机构: NASA（美国国家航空航天局）
任务: 测量大气中尘埃和污染物的分布
使用时间: 2015-2017 年
所用激光: 采用国际空间站（ISS）上的红外、绿色和紫外波长激光雷达确定云层的高度、厚度和深度。

Gernot Walter

“自由意志的问题...

Karl Deisseroth 教授致力于研究大脑。为此，他开发出了一种名为光遗传学的方法，利用激光影响思维和决策。

Deisseroth 教授，能不能请您描述一下大脑？

人类的大脑是一种既柔软又非常密集的器官，颜色在粉色和棕色之间，重约 1.5 千克，外表有很多褶皱。正是这些褶皱使我们能够进行高度复杂的推理思维。

一下子就从大脑外观跳到了我们的思维能力上啊。

是的，这两方面的联系其实非常密切。首先必须承认大脑是由物质构成的，是细胞组成的器官。但有时在这方面会感到很奇怪，因为大脑同时又是我们思想、感受、需求、记忆、印象——也就是我们个性的来源。构成我们作为一个人的一切都来自一团名为神经元的细胞。这怎么可能呢？

我想问的正是这个！这怎么可能呢？

本质上这可以归结为大脑究竟是什么的哲学问题。最终我认为有两点是可以肯定的：一，大脑是动态的；二，大脑由细胞和细胞创造出的东西构成。光遗传学可以帮助我们了解这些细胞是如何产生知觉、认知和行为的。这种方法是将我们作为一个信息乐团的作曲家或指挥，告诉大脑不同区域的不同细胞什么时候应该做什么，并在它们应当同步的时候下达命令。这样我们就能观察到随之产生的知觉、认知和行为。

您谈到的光遗传学是您的专业领域，能不能做一个简单的介绍？

光遗传学对激光的运用与生物学领域的常见方式相反。我们并不用激光来观察，而是促使事情发生。简单来说，我们利用激光刺激特定的神经元发出电脉冲，从而在大脑中产生信息。我来大致解释一下其中的原理。一般来说神经元对光不会有反应。这很容易理解，因为大脑里面本来就漆黑一片。也就是说我们要欺骗它们。我们使用人造病毒将能把光脉冲转化为电脉冲的光敏基因注入到大脑中，然后利用各种其他的基因手段准确找出“感染”了这种基因的神经元。激光技术的优点在于能够非常精确地选择要激活的神经元，远胜其他任何手段。目前我们将这种方法应用在了老鼠和其他哺乳动物以及鱼和无脊椎动物身上。例如，我们精准刺激老鼠大脑中特定的神经元，观察发生的状况，根据这些研究成果进一步了解它们的大脑。

在搜索引擎中输入您的名字就会立刻看到一段老鼠的视频。一根光缆直接插入老鼠的大脑，光缆发出闪光就会让老鼠绕圈跑动，如果没有光，老鼠的行为就完全正常。

是的，这是我们在 2007 年做的一个实验。我们利用光遗传技术刺激老鼠控制左转动作的运动皮层，当光缆亮起时，老鼠就会一直向左转圈。

老鼠会有什么感觉？是感觉被什么人操纵还是感觉自己想要跑圈？

我们无法得知，但如果老鼠受到干扰或惊吓，就会停止不动，表现非常明显。当我们通过光缆发射激光或者将其关闭时，都没有观察到此类行为，一切正常。

根据我们的假设，如果老鼠感到被外力操控，应该会受到惊吓，所以我们认为老鼠没有什么不对劲的感觉，尽管它并没有打算向左绕圈。我在自己身上也尝试了一些类似的实验，以了解其中的感受。我利用经颅磁刺激技术刺激了控制我右手的运动皮层。当我激活磁脉冲时，手抽动了，我可以看到并感到我在移动它。但我既没有觉得想要移动它，也没有感觉被外力操控，这个动作就自然而然地发生了。我的右拇指在动，但我没有感到有什么不适。

Richard Morgenstein

…仍然没有得到解答，至少目前是这样”

“仍有无数的谜团等待着我们去解答。”

a) 当我们控制老鼠的神经元时，它们有什么感觉？

b) Karl Deisseroth 选择利用经颅磁刺激技术在自己身上做实验——他的拇指抽动了。

c) 出人意料的是，这种远程控制在感觉上并没有什么不适。

这对于自由意志的研究有什么启发？

实际上，没有什么新内容。我们一直在利用医药和神经病学疗法影响人类的感受和行为，包括药物、大脑刺激或简单的谈话治疗。比如广告，这在本质上不就是操控观众欲望的方式吗？光遗传技术从根本上来说有什么不同吗？它仅仅是说明电信号能影响我们的行为和决策。我认为这些发现并不能真正解答我们是否有自由意志这个问题。但是光遗传技术有助于更准确地表述这个问题。比如，大脑中是否有一种组织力量或者一种原则控制着电信号呢？如果有，它在大脑中多深的地方？有些人认为没有，因为没有值得关注的。而有些人则认为这种组织力量是真实存在，自然也就引出了这种力量来自哪里的问题。无论如何，自由意志的问题仍然没有得到解答，至少目前是这样。

显然我们一直影响其他人的感受，即便只是通过简单的谈话。在远程控制老鼠的不同阶段，会有什么不同的感受？

这是一次震撼而有意义的体验。我们与动物建立了联系，看上去宛如奇迹。我想特别震撼的地方在于即时性，反应非常迅速。是不是会感到一些紧张不安呢？那是肯定的。触发的精确度、即时性和可预测性有时确实令人不安，我也理解为什么有人会觉得困扰。

光遗传技术最终会不会被用于操控人类等负面用途呢？

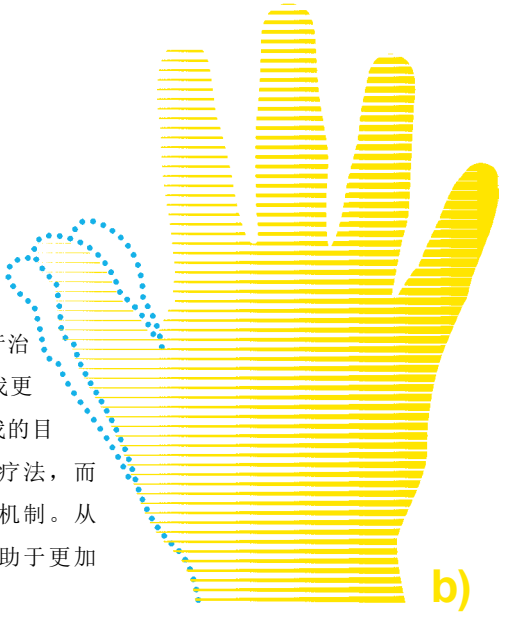
我觉得不会。这项技术并不适合此类用途，这必须开发基因，并使用病毒将其注入，整个过程非常困难、耗时、昂贵而且复杂。但是很显然我们需要关注这种可能性，哪怕可能性不大。

我们谈到了大脑的一般性概念，但每个人的大脑都是相同的吗？

在某些方面是的，在另一些方面则不是。我们相信所有人类的大脑都具有一些共同的主要原则。例如，每个大脑里的多巴胺神经元做的事情都差不多，比如触发快乐和满足感。我们在老鼠身上的实验也支持这一假设。但如果仔细研究的话，事情就变得复杂很多。大脑架构没有任何具体的预定模板，而是一团混乱的细胞，对于每个个体来说，排列方式都各有不同。所以整个问题实际上相当复杂。

您的工作突破了很多的界限，从病毒学和精神病学到动物行为学、光学、微生物学和化学。您是怎样定义您的专业的？

确实如此！我认为我的主要角色是神经系统学家和精神病医师。



KARL DEISSEROTH,

1971 年生于波士顿，加州斯坦福大学的精神病医师、神经生物学家、生物工程师。他被认为是光遗传学的创始人，这门学科旨在通过用激光刺激神经元研究大脑。他还发明了一种将死亡的大脑变为光学透明状态并在该状态下加以保存的方法，这样就能从三维的角度了解错综复杂的大脑架构。

是什么让您对大脑产生兴趣的呢？

小时候我就是个内向的人，对自己大脑的工作机制以及行为方式的原因很感兴趣。随后我对其他人也产生了同样的好奇。每个人都是如此独一无二，对于相似的事情反应也各有不同，我想知道为什么。后来，我在医学院接触到了精神病患者，他们的反应更难以预测，有时患者对于现实有着独特的认知。我感到非常有趣，深深被这个学科所吸引。但我也看到了这些患者的痛苦，希望可以帮助他们。我最感兴趣的疾病有两种：自闭症和严重的难治性抑郁症。这两种疾病都使患者非常虚弱，几乎无法用药物或其他任何方式治疗。我在职业生涯设定的目标之一就是更好地了解这两种疾病。

您是否在研究新的治疗方式？

作为精神病医师，我每周都会在医院持续为患者进行治疗，但是作为科学家，我更专注于基本原理。现在我的目标不是找到某种特定的疗法，而是了解大脑的基本工作机制。从长期来看，光遗传学有助于更加准确地测试我们的假设。

“我们人类非常擅长抽象理解！”

我们在认识大脑的道路上走出多远？

很难说，尽管近年来我们取得了各种进展，但也肯定不到 50%。仍有无数的谜团等待着我们去解答！

人类真的能了解大脑是怎样运转的吗？

总有一天能的。我敢打赌，人类能做到这一点。简而言之，我们人类非常擅长抽象理解！能够进行象征性思维、画图、类比以及复杂内容的拆解。比如，我们能够凭借更高维度的数学理解我们无法实际触摸的“场”。总有一天我们也能破解大脑！ ■

Deisseroth 的研究曾荣获 23 项知名科学奖项，包括 2018 年的 Berthold Leibinger Zukunftsprei 奖。

Gernot Walter

我爱你，Bender！

拥有独特个性的机器可以让世界更加丰富多彩。但它们会对孩子们喝咖啡的习惯造成什么影响呢？

我不知道其他人怎么样，但是我最近想了很多关于未来的事情。可能是因为大家都在讨论气候变化，也可能是因为我最近当上了爸爸，又或者是出于潜意识里对于自己即将被文笔更好的机器所取代的恐慌。现在人工智能已经从科幻小说走入了现实！

想一想：我们已经有了能够装载和切割金属板的全自动激光机床，可以自动弹出部件、检查焊缝质量、清除产线上的不良品。随着机器的运转，它们还能学会怎样提高效率，并且迅速将这些知识传递给其他机床。好吧，我知道这不怎么好莱坞。在好莱坞大片里，AI 不是用来移除钣金部件的，而是将终结者送到过去，消灭人类与机械战争中的反抗军领袖。而之所以会发生这一切，合乎逻辑的解释就是智能机械拥有了独特的个性，能够感到无聊、害怕、沮丧和恼怒，甚至会开玩笑。比如《机器人总动员》（Wall-E），同名动画电影中被孤独留在地球上的垃圾收集机器人，又或者电视动画《飞出个未来》（Futurama）中懒惰任性、爱抽雪茄的金属机器人 Bender。好莱坞甚至赋予了机器爱的能力。比如科幻电影《她》（Her）中，操作系统 Samantha 爱上了人类主角 Theodore（Theodore 也爱她！），结局非常戏剧化。

这让我开始思考即将到来的现实，我想象着我的孙女去上班，因为咖啡机又在单相思，无法制作出正常的浓咖啡，只能流出不能喝的糊糊，所以她大骂了 Bender！如果发生这种事，希望她能记住一切都始于此时此地，从机床自动清除切割金属件开始…… ■

《激光界》的主编 Athanassios Kaliudis 以激光是一种流行文化元素为题写了一篇专栏文章。

你是否曾爱上 AI 呢？
请写信至：athanassios.kaliudis@de.trumpf.com

Gernot Walter

激光运用在哪里？

在下水道里！ 显然这里脏得不得了，在事情失控之前，下水道清洁公司向下水道扔下了“炸弹”。这个炸弹具有多达15个喷嘴，通过喷水将污垢从墙壁上射下来。生产这些复杂的喷嘴颇要一番功夫，而3D打印机却能轻松实现。海尔布隆应用科学大学与通快合作重新设计并打印了喷嘴。除了能减少生产步骤，3D打印的喷嘴还能节约用水，因为新喷嘴的流体特性使它们能够更有效地去除墙壁污垢。■

Gernot Walter

玛雅建筑

激光界

激光界是通快集团的用户杂志

在线阅读：www.laser-community.com

下载链接：www.trumpf.com/s/magazine_download

我们都见过玛雅金字塔和宫殿的图片。但在危地马拉的丛林之下还有什么呢？普通玛雅市民的生活是怎样的呢？研究人员利用激光雷达扫描了 2100 平方公里的森林，然后用数字化的方式移除了林冠，最终图片上呈现出了小型被毁建筑、灌溉通道和道路，大量揭示了这个神秘文明的人口结构和生活方式。

TRUMPF

通快（中国）有限公司

江苏省太仓市经济开发区南京东路 68 号　　邮编　215400

电话　+86 512 53287700　　传真　+86 512 53287751

邮箱　info@cn.trumpf.com　　网址　www.trumpf.cn

关注通快官方微信

PACUMA / Estrada-Belli