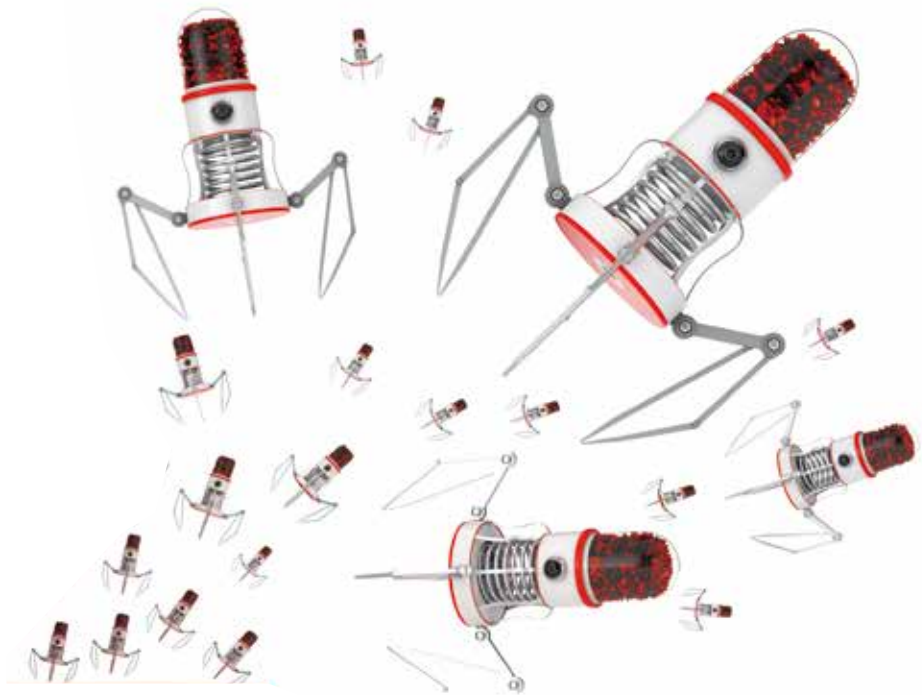


可自我复制的纳米机器人

作者: 刘天海



“到2030年，成群结队的纳米机器人将流淌在我们的血管里，它们寻找并摧毁肿瘤细胞、精准杀灭病毒、清理血液垃圾、疏通血管、清洁伤口、提高我们的记忆力和认知能力……到2045年，人类将成为生物与非生物的混合物。”

这是未来学家和人工智能专家雷蒙德·库茨魏尔（Raymond Kurzweil）在他1999年的著作《灵魂机器时代》（*The Age of Spiritual Machines*）中对纳米机器人的预测。无独有偶，纳米技术之父埃里克·德雷克斯勒（K. Eric Drexler）也在其1986年的著作《创造的引擎》（*Engines of Creation*）中为我们描述了类似的未来世界，而且他还表达了对纳米机器人跌入失控复制陷阱的担忧。

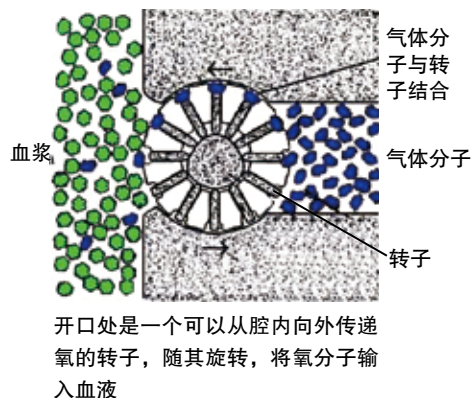
带着对这种未来的憧憬或担忧，可自我复制机器人相关的题材频频出现在大众文学和影视作品中。比如，2002年科幻小说《纳米猎杀》（*Prey*）中的纳米机器人能自给自足、自我复制，还能通过进化产生智慧来攻击有机生物；2008年电影《地球停转之日》（*The Day the Earth Stood Still*）中外星机器化成无数纳米机械昆虫毁灭世界；以及2009年电影《特种部队3：眼镜蛇的崛起》（*G.I. Joe: The Rise of Cobra*）里面的几亿个纳米虫能瞬间修复深度烧伤患者。

人们对纳米人的研究并不只停留在设想和艺术渲染中。从“计算机之父”冯·诺依曼（John von Neumann）提出自我复制机器的概念开始，科学家一直没有停下前进的脚步。从1996年英国克隆羊多莉的出生，到1998年纳米机器人先驱罗伯特·弗雷塔斯（Robert Freitas）设计了可辅助人类呼吸的**纳米机器人Respirocyte**，再到2021年美国异种纳米机器人Xenobots实现了自我繁殖，科学家已经走完从简单复制已知生命，到按照自身意愿创造未知生命的道路。随着时间的推移，库茨魏尔的预测似乎正慢慢成为现实。

科学家到底用了什么法宝来应对研制自我复制纳米机器人的八十一难呢？让我们细细看来。

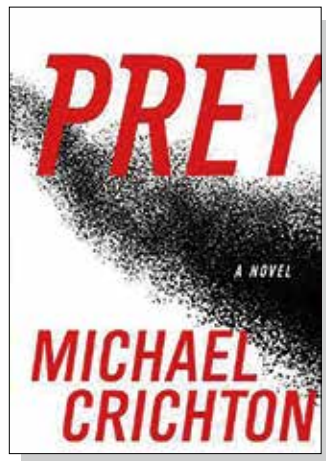
纳米机器人Respirocyte

Respirocyte是一个1微米大的球形人工红细胞，由180亿个原子组成。它像一个压力罐，腔体外壳是与生物体相容的金刚石，腔体内部有1000个大气压，可以携带90亿个氧分子和二氧化碳分子，是一般红细胞携带量的200多倍，故而得名能长时间地支持生命组织活动。理论上讲，如果一个人的红细胞全是Respirocyte，那么他可以轻松地“一口气”跑完1千米，或者潜水4个小时。鹰击长空，鱼翔浅底，人类也能更自由地探索世界。



《纳米猎杀》

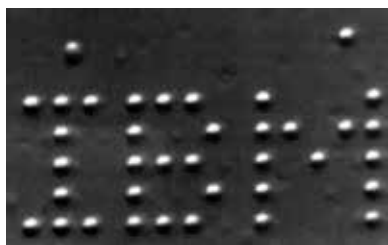
主人公朱莉娅是一位纳米机器人研发者。面对军方对其产品的失望和撤资的威胁，她试图让纳米机器人自行解决设计上的缺陷，同时为了快速复制及演化，她将纳米机器人植入大肠杆菌中，让大肠杆菌大量复制纳米机器人，并使机器人具有学习能力。为了证明产品的性能，朱莉娅在产品说明会上竟以自己为实验对象，为军方解说机器人的运作方式。然而，这些机器人逐步控制了她的心智。丧失心智的朱莉娅放出了成群的纳米机器人猎捕实验室周遭的动植物以制造更多机器人。她还故意让同事感染，一同加入纳米机器人的阵营。最后朱莉娅的丈夫杰克发现了真相并通过喷洒噬菌体消灭了朱莉娅体内外的机器人，在失去了这些控制心智的纳米机器人后，朱莉娅像具空洞而干枯的躯壳一样死去了。



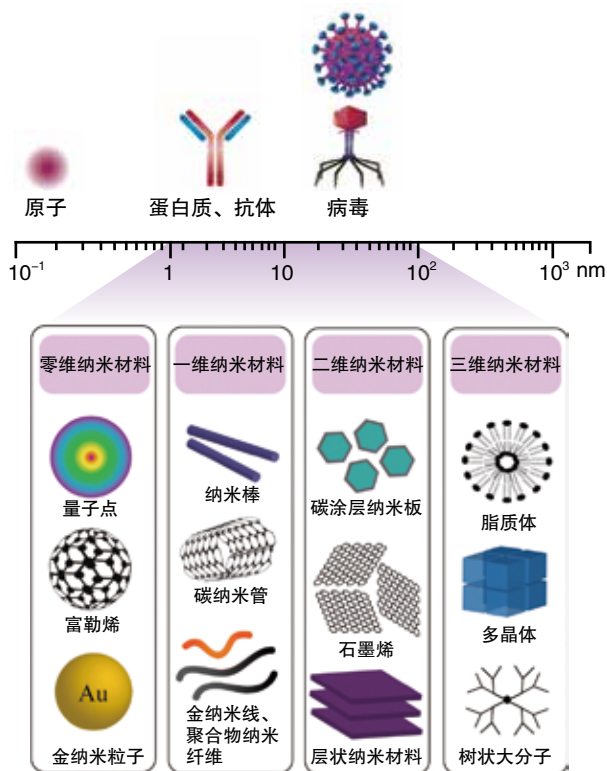
七十二变之小小小——纳米技术

人类一直好奇世界的本质与本相。有道是：“一粒微尘中，各现无边刹海，刹海之中，复有微尘；彼诸微尘内，复有刹海；如是重重，不可穷尽。”不同于从心灵上感悟世界，我们也在科学道路上探索星辰大海的深邃、观察微观世界的奇妙。自诺贝尔物理学奖得主理查德·费曼（Richard Feynman）在20世纪50年代的讲座“底部有的是地方”中提出纳米技术以后，纳米研究在20世纪80年代随着扫描隧道显微镜（STM）和原子力显微镜（AFM）的发明而日趋完善。到了90年代，美国IBM公司利用扫描隧道显微镜把35个氙原子（Xenon）摆成“IBM”三个字，证明了人类用原子制造机器不再只是梦想。随着第三次工业革命的大幕在新世纪徐徐拉开，纳米技术作为工业革命的重要一环也迅速得到众多国家的重视，继美国成立第一个纳米技术研究机构后，30多个国家纷纷提出纳米科技发展计划和纳米科技研发中心。迄今为止，各个国家在纳米科技领域处于既合作又竞争的萌芽时期。中国也已崛起为纳米科研大国，是世界纳米领域最主要的高影响力论文产出国，贡献了超过1/3的纳米科研论文，几乎是美国的2倍以上。

纳米技术是创造纳米机器人（本文简称“纳米人”）的关键技术。纳米机器人就是根据分子生物学原理，利用分子纳米技术来设计和建造具有纳米尺度（0.1~100纳米）、可编程的分子机器人。纳米是一个长度单位，1纳米等于10亿分之一米（ 10^{-9} ）、百万分之一毫米，大概是一根



1989年，IBM公司利用扫描隧道显微镜，用35个单独的氙原子拼写出了“IBM”三个字

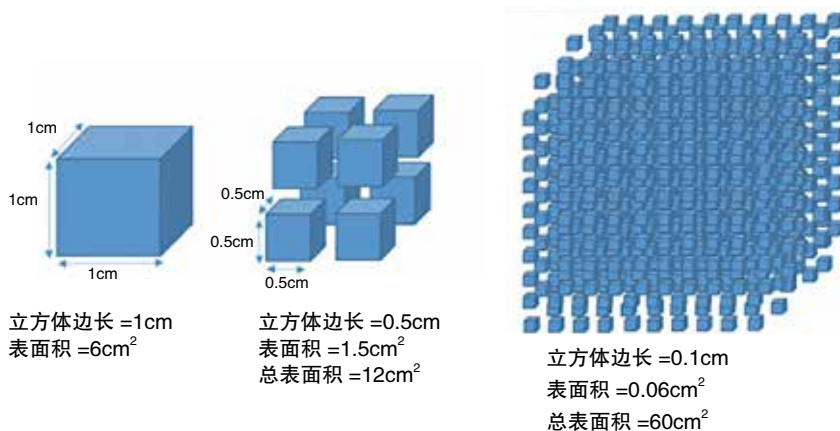


纳米材料是一种由基本颗粒组成的粉状或团块状天然或人工材料，这种材料至少有一个维度处于纳米尺度范围。其中，每个维度都为纳米量级的是零维纳米材料，如富勒烯 C60；有一个维度不是的为二维纳米材料，如碳纳米管；有两个不是的为二维纳米材料，如石墨烯；而有纳米结构的是三维纳米材料，如脂质体

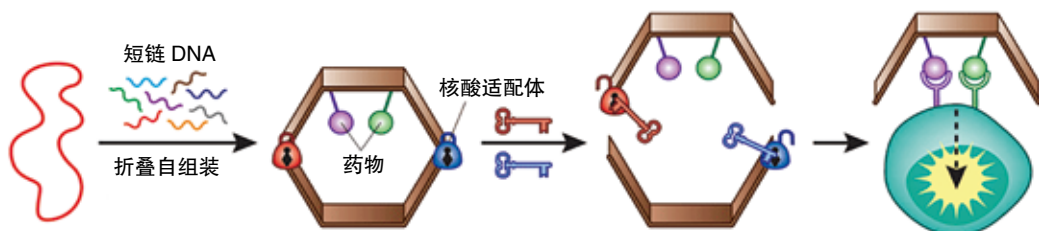
发丝直径的二万分之一，大小和一个原子直径差不多。纳米材料是指在三维空间中至少有一维处于纳米尺寸或由它们作为基本单元构成的材料。比如，一堆沙子中每颗沙粒的直径是纳米尺度，那么这堆沙子就是纳米材料；一捆管子中每根管子的管口直径是纳米尺度，不管管子多长它们也是纳米材料；一片薄膜的厚度是纳米尺度，薄膜面积再大也是纳米材料。

纳米材料具有传统材料所不具备的奇异或反常的物理、化学特性，如原本导电的铜“缩小”到纳米尺寸后就不导电了，原来绝缘的晶体在某一纳米界限反而导电了。这是因为纳米材料中几乎所有原子都裸露在外，而传统材料的原子都嵌入在分子团簇或晶胞中。极端地说，纳米材料表现的是原子的特性，而传统材料是分子团簇或晶胞的特性。原子相对不稳定且活性大，就像放学后的小朋友一样，没有了老师和学校的约束，他们欢呼雀跃、呼朋引伴，“儿童散学归来早，忙乘东风放纸鸢”，自然地流露着每个人的性格，此时我们就只见个人（原子）而不见学校（分子团簇或晶胞）了。

举个更确切的例子。一个边长为1厘米的固体立方体材料表面积有6平方厘米，大约是一块橡皮的一个面。但是，如果同样的体积被边长为1毫米的立方体“填满”（真实情况中纳米材料中的小立方体不是密不透风地贴在一起，它们之间还有相当大的空间），这将是1000个毫米大小的立方体，每个小立方体的表面积为6平方毫米，总表面积为60平方厘米，和手机屏幕的大小差不多。而在这1立方厘米的体积中，充满了 10^{21} 个1纳米大小的立方体，每个立方体的面积为6平方纳米，它们的总表面积将达到6000平方米，大概和一个足球场一样大。相对于沙子是由肉



纳米材料具有很大的比表面积（表面积 / 体积）。比如，同为1立方厘米的体积，边长为1厘米的立方体表面积为6平方厘米，1000个毫米大小的立方体总表面积可增至60平方厘米，而 10^{21} 个纳米大小的立方体，表面积可增至一个足球场那么大



噬菌体基因组单链 DNA

DNA 纳米机器人

识别特异标志物后，核酸适配体
体发生结构变化，打开机器

药物分子与肿
瘤细胞结合

DNA 纳米机器人可被编程为只有在人体内遇到所设定的疾病时才会释放药物。机器人在人体内利用 DNA 折纸技术构建智能化的分子机器，通过自组装将药物包裹在内部空腔；分子机器两端装有核酸适配体，它可以把药物“锁”在里面，只有到达指定位置并识别特异标志物后，才会“解锁”，把药物精准释放到肿瘤细胞中

眼可见的一粒粒沙粒组成的，纳米材料可以由肉眼看不见的一个个原子组成。这个表面原子具有很高的活性，极不稳定，很容易和其他原子结合。比如，把金、银、铜等金属材料研磨到纳米级时，原来材料的光泽就会消失，变成黑色的纳米粉状，几乎不折射光。这种特性可以用在太阳能发电材料，以提高光电的转化效率。这就是纳米材料的表面效应。其他纳米效应，诸如小尺寸效应、量子尺寸效应和量子隧道效应等暂且不提。

纳米技术发展得十分迅速，现在几乎拓展到了所有学科领域。

在生物医学上，纳米药物（或智能药物）在治疗复杂性疾病上，如癌症和心血管疾病，比传统药物更有效。迄今所有的药物治疗都是基于分子与分子的反应。传统药物都是单一分子，像撒胡椒粉一样散落在人体血液组织内，真正病灶可能没有得到重点“照顾”。而纳米药物是把这些单一分子聚集到一起形成一个颗粒，装到一个纳米机器人中，机器人可编程为只有遇到所设定的疾病时才会释放药物分子，就像导弹一样，使命必达。

在能源方面，利用太阳光分解水得到氢气的分解效率只有1%，而使用纳米催化剂能将分解效率提高10多倍。

航空航天最关注的一点就是减重，纳米材料的强度和重量恰恰满足航空航天对减重的要求。

最后，纳米材料正大量出现在我们的日常生活之中。例如：具有98%过滤效果且可反复清洗100次的纳米纺丝口罩；能更好保护皮肤、由纳米材料制成的化妆品；能灵敏感知物理世界、由纳米材料制成的传感器感知部件；等等。

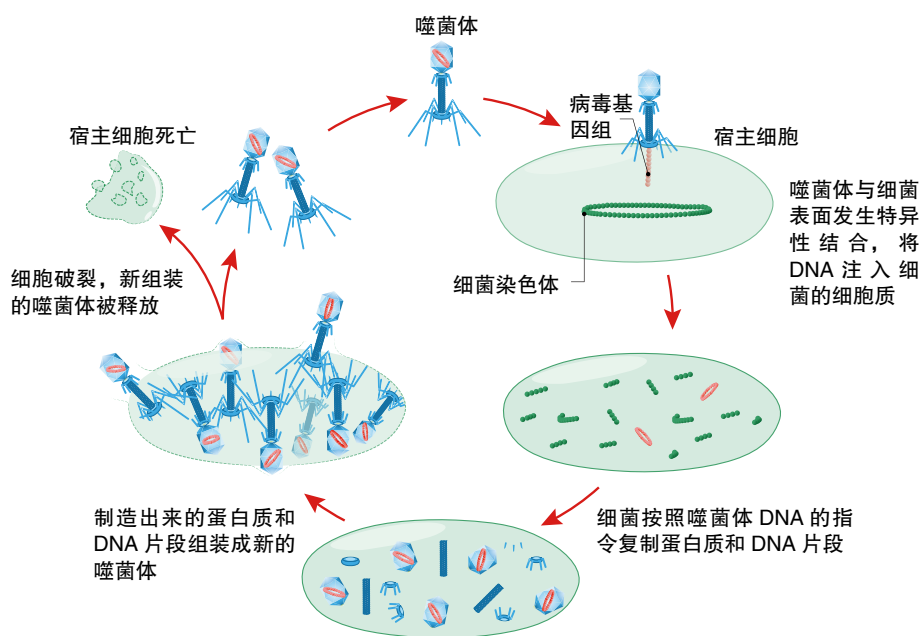
七十二变之变变变——复制

尽管我们有能力制造纳米机器人，但是单个的纳米机器人非常小，几乎没有实用意义，并且大批量人工制造纳米机器人也不现实，所以我们师从自然，让纳米机器人自己复制自己。

我们每个人都是从一个细胞开始的。然后细胞分裂、繁殖，并与它的“兄弟姐妹”聚在一起。某个时候，它们变成了一个集体，思想、偏好和记忆属于这个集体，而不是任何一个单独的细胞，这时真正的生命出现了。

细胞就像一座城市，繁忙的交通网络连接着各种各样的工厂，如能生产能量包（即ATP）的线粒体，能生产各种蛋白质的核糖体。细胞核稳坐中军帐，就是一个细胞的指挥中心。在细胞自我复制时，细胞核先复制遗传物质脱氧核糖核酸（DNA），并把拷贝经由交通网分发到特定的制造工厂，工厂得到工作任务后便开始制造新生命所需要的零件组织，最终协作组建成一个独立的细胞。

诞生于38亿年前的噬菌体被称为最古老的纳米机器人。它的头如同钻石一样是规则的二十面体，包含了一段最原始的遗传物质DNA双螺旋。头下面是一条拥有完美几何结构的螺旋形尾巴，尾巴的底部是五条腿，同时拥有完美几何结构的行走足。科学家估算地球上全部噬菌体的数量大约是 10^{31} 个。目前我们观察到的宇宙范围内星星的总数大约是 10^{28} 个，也就是说噬菌体的数量比天上的星星还要多1000倍。我们的手上、书上、衣服上到处都有噬菌体。通常，某种噬菌体会选择特定的细菌当作猎物，进行定向攻击。当它找到猎物时，尾巴上的行走足会和



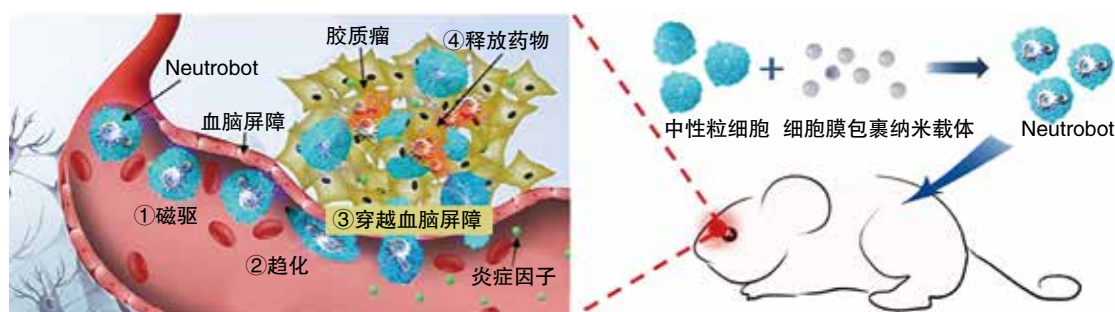
噬菌体感染细菌时，将DNA注入细菌内部，使用细菌来制造更多的噬菌体，最终使细菌破裂并释放出更多的噬菌体

猎物的抓手位相结合——这些抓手位也是噬菌体识别猎物的标示，然后，从尾巴里伸出注射器一样的针头把DNA注射到猎物的体内，几分钟后猎物就会被噬菌体的DNA所控制，开始按照噬菌体DNA的指令制造各种配件，最后，制造出来的蛋白质和DNA片段组装成新的噬菌体。无数个一模一样的噬菌体被复制出来，直到细菌细胞破裂，无数个噬菌体被释放出，循环再次开始。

受自然界中生命复制的“教导”，人类也研发了适合不同领域的自我复制技术。例如，用基因技术人工合成生命体，发明和释放新的生物或染色体；用纳米技术和纳米机器人技术制造纳米机器人来清除油污和清理血管垃圾，它们就像计算机电路一样工作，理论上可以被设计成像电脑程序一样的自组装和自我复制。

尽管真正的纳米机器人尚处于研究和开发阶段，但一些雏形已经在实验室里诞生了。2021年，哈尔滨工业大学微纳米技术研究中心设计了一种基于中性粒细胞（血液白细胞的一种）的微型机器人（又叫中性机器人）。这种机器人由磁性材料组成，可在磁场的控制下在生物组织内游走。为了防止免疫系统将机器人识别为外来侵入而引发炎症，科学家将机器人放进了中性粒细胞里面。作为免疫系统的一个重要组成部分，中性粒细胞具有炎症因子的趋向能力，并且能够随意穿过生物组织屏障而不会引发免疫反应。因此，在两股动力的驱使下（外部磁场的引导力和粒细胞自身对炎症因子的趋向力），中性机器人背起鼓鼓的行囊（多种药物分子），搭上粒细胞的快车，一路春风得意，畅通无阻地来到了病灶组织，随后便大施拳脚地消灭炎症细胞（释放药物）。在小鼠实验中，中性机器人能够在

研究人员设计了一种使用磁性材料的微型机器人，并利用旋转磁场对机器人进行远程导航。它能携带抗癌药物在小鼠尾部血液和大脑之间自由游动，穿越血脑屏障后游至肿瘤部位，准确释放药物，消除胶质细胞中的肿瘤，从而提高药物的靶向效率。由于它被中性粒细胞包裹，游走过程中不会引起免疫反应，释放药物后会被宿主吸收，也不会对健康造成损害

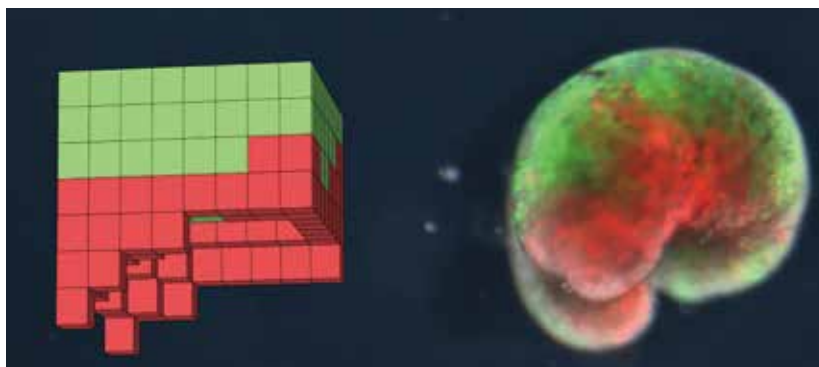


小鼠尾部血液和大脑之间自由游动，最终成功治疗了小鼠的脑部肿瘤。

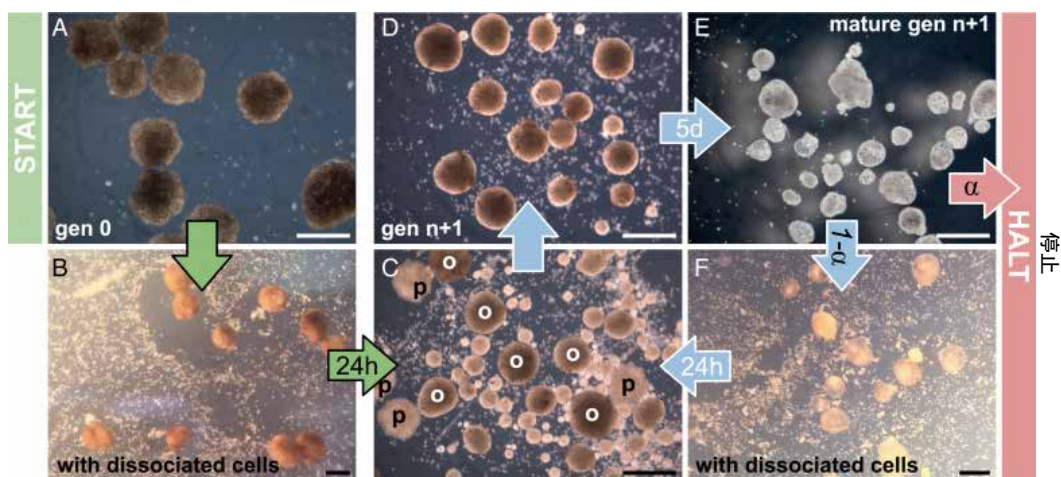
异种纳米机器人 Xenobots

自然界中几乎所有的生物都是通过母体（或宿主）中生长，然后从母体（或宿主）脱落来繁殖的。2021年，美国佛蒙特大学、塔夫茨大学和哈佛大学的研究团队发现了一种全新的繁殖方式，并利用这一发现创造了有史以来第一个可自我繁殖的活体机器人Xenobots 3.0（xeno：异种、异形；bots：机器人）。它不像传统的机器人那样有齿轮或机械手臂，看起来更像是一个非常小的肉团，宽度大概1毫米（即100万纳米）。而且它是通过移动而不是生长来进行繁殖的。更确切地说，它们不是像生物一样通过复制遗传物质DNA来繁衍下一代，而是直接从周围环境中找到材料并将其组合成下一代，且下一代也拥有和上一代一样的身体特征与复制能力。这是一个里程碑式的发现，为将来研究更复杂的可自我复制纳米机器人指出了一个新的研究方向。

传统的机器人（如吸尘机器人、厨房机器人和工厂机器人）大体都是由金属、塑料或其他合成材料制成的。与其正相反，Xenobots是由非洲爪蟾胚胎干细胞分化而成的约2000个皮肤细胞和心肌细胞组成的。皮肤细胞提供刚性支撑，构成了Xenobots的“肌肉和骨骼”，心肌细胞由于能不断地自主收缩和扩大体积，充当一个小型马达为Xenobots的移动提供动力。同时，由于两者来自不同的胚层，它们不易相互混合，而是一团皮肤细胞团与一团心肌细胞团紧密粘在一起，这样两种细胞就构成了一种可以运动的复合细胞团。



Xenobots 的一种体型结构，左图是计算机模拟的结构，右图是对应的机器人实体。它完全由非洲爪蟾胚胎干细胞分化而成的皮肤细胞（绿色）和心肌细胞（红色）组成



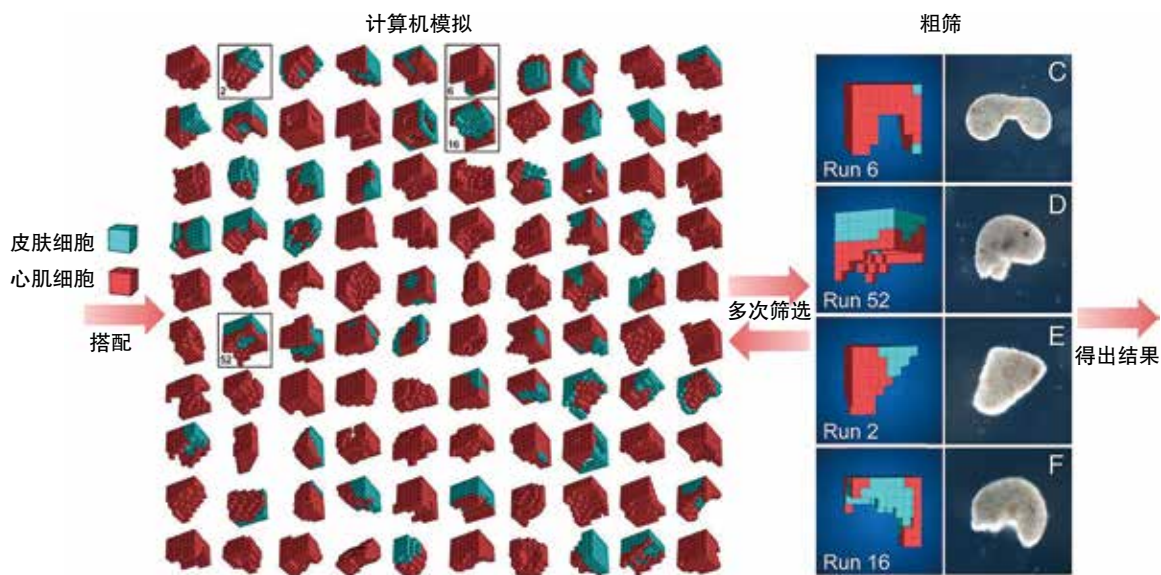
Xenobots的复制过程。培育好的皮肤细胞或心肌细胞被组装成球体（图A）；3天后，球体上长有微小的纤毛结构，当它们被放入充满干细胞溶液的培养皿中后（图B），会自发地把漂浮的干细胞堆到一起（如图圆），组装成“婴儿”机器人（图C、D）；几天后，这些“婴儿”会和母体一样大，且可自己游动（图E），然后开始寻找干细胞，创造自己的“婴儿”，继续复制（比例尺：500μm，Credit: Sam Kriegman, et al. PNAS, 2021）

研究人员用非常小的工具把培育好的皮肤细胞或心肌细胞切割开来，并在显微镜下进行组装。他们观察到，切割下来的细胞被组装成团后，形成了约3000个细胞的球体；3天后，球体上长有微小的纤毛结构，就像划船的小桨，让自己可以游动。更有意思的是，如果把足够多的Xenobots放入充满干细胞溶液的培养皿中，它们看起来似乎在进行一种有组织的协同工作，自发进行绕圈运动并把漂浮的干细胞堆到一起，组装成“婴儿”机器人；几天后，这些“婴儿”就会变成外观和动作都跟母体一样的新Xenobots。然后这些新的Xenobots可再次出去寻找干细胞，并创造自己的“婴儿”，就这样周而复始，不断复制。

该研究指出，由于Xenobots无毒和寿命有限的特性，它可以被当作智能药物输送或内部手术的新型载体，还可以寻找并消化有毒或无用的产物，比如在海洋中收集微塑料。在生物医学领域，设想这种由患者自己的细胞制成的生物机器人，可以从动脉壁清除斑块、识别癌症、区分或控制疾病发生的位置。

除了赋予自我复制的天赋，研究人员还向Xenobots注入荧光蛋白使其具有简单的记忆功能。如果被波长400纳米的紫外线照射，荧光蛋白会从绿色变成红色。

从2020年第一代Xenobots的诞生到2021年的第三代，Xenobots的性能和寿命得到了很大的提升和延长。研究人员利



用佛蒙特大学超算中心的超级计算机Deep Green，使用人工智能演化算法，对数十亿种不同机器人的形状进行了模拟，以期从中找出最合适的形状，使此类复制更加高效。超级计算机首先随机生成细胞的多种组合形状，并模拟这些形状的Xenobots在培养液中的行为。如果某个形状的Xenobot产生的后代最多，那么它就会脱颖而出，成为构造实体Xenobot的蓝图。从第一代的球形外观到第三代的C形外观，Xenobots已从能产生3代后代到能产生5代后代，且其后代更加强壮、移动速度更快，个体寿命也从1天延长到了3~7天。简单地说，Xenobots是“自然选择”的结果，但此“自然”非彼自然，这是计算机创造的另一个世界。

虽然这类生命的复制引起社会上的担忧，但研究人员表示，这些异种机器人完全被限制在实验室中，是可生物降解的，在没有营养液的情况下，最多只能存活14天，很容易被消灭，并且这类技术经过了美国联邦、州和机构各级伦理专家的审查。

敢问路在何方

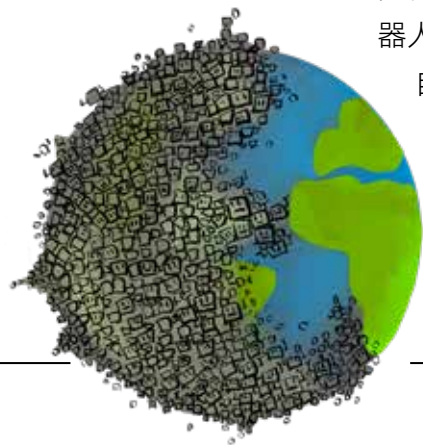
每一项新技术的诞生都伴随着人们的惊喜与恐惧、自信与不安。人们在期待着纳米机器人的同时，也在担忧着对人类有害的纳米怪物。

从计算机系统工程上说，纳米机器人所处的纳米级环境可

研究人员用计算机构建了Xenobots的数十亿种机器人体型，左图是心肌细胞和皮肤细胞按照不同数量比例、不同搭配方法模拟出的100种结果。然后通过计算机运算，分析其在液体环境中的运动受力情况和运动轨迹，粗筛出最符合设计要求的几种结构（如右图），然后再进行体外实验加以验证（Credit: Sam Kriegman, et al. PNAS, 2021）

能瞬息万变，开发出既要兼容各类环境又要稳定运行的软件程序难度不小，鱼与熊掌不可兼得；从统计学上说，复制的次数越多，出错率就越大；从生物学上说，生命中的随机变化会导致意外发生。为此我们开始担忧：如果某种随机变化导致纳米机器人不停地复制怎么办？德雷克斯勒设想失控的自我复制纳米机器人像“灰雾”（Gray Goo）一样吞噬掉地球上所有生物赖以生存的能量以复制自身，整个地球可能“不到两小时”就将毁灭。

《美国生物伦理学杂志》（*American Journal of Bioethics*）也对未来生物和纳米机器人投出了不信任的一票。首先，它们会带来战争和暗杀的风险。3D打印技术可以实现“车库”生产纳米机器人，意外或故意释放具有自我繁殖能力的机器人可能会对环境造成破坏，比如生物机器人可以干扰海洋中自然生物的生命周期。其次，非自然的“人工人”会对人类自身的本性或本质带来直接风险和挑战。人类自身及其社会生活所赖以进行的法律、道德、伦理甚至生命身份将会陷入困境甚至有可能被解构。具有人工智能神经系统的机器人可能会在某一时刻突然有了知觉和感觉，能



“灰雾”

“灰雾”（Gray Goo），是一种假想的世界末日情景，在该情景中失控的大量分子纳米技术制成的自我复制机器人消耗掉了地球上所有生物赖以生存的能量以复制自身。“灰雾”这个词最早由纳米技术先驱埃里克·德雷克斯勒在《创造的引擎》（1986年）中使用。在第四章中，他通过描述使用某些特殊原材料来进行自我复制的纳米机器人来说明指数增长和缺失固有极限的可怕：“想象一下一个自我复制机器泡在一瓶原料瓶中，不断地复制自身……第一次复制要经历1000秒，第二次复制同样经历了1000秒……十个小时过去之后瓶子里就不只是有36个自我复制机器，而是680亿个自我复制机器了。给它们一天时间，就能增重到1吨，再给它们一天时间，它们就能比地球还沉，再给它们4个小时，它们就能比整个太阳系还要重——如果原料瓶还没干的话。”

不过，德雷克斯勒提到了自我复制机器的指数增长事实上受到原材料数量的限制。他最早使用“灰雾”并非为了暗示纳米机器人是灰色的，而是强调人类价值观中优越性与竞争中优越性的差别：“尽管大量不受控制的复制机器可能既不是灰色的也不是黏的，但是‘灰雾’一词事实上是为了强调它能够轻易抹杀任何生命，其他物种可能在进化意义上非常强大——然而这种强大在自我复制机器面前并没有什么意义。”

知善恶、辨美丑，而知觉和感觉通常又是赋予有机体的某种内在道德特征，那么我们是否应该承认此机器人的道德地位并赋予一定的社会身份或政治权利？若是，当其“死后”（如断电），我们还能将其“复活”吗？复活一个有意识的个体就触发了伦理问题。

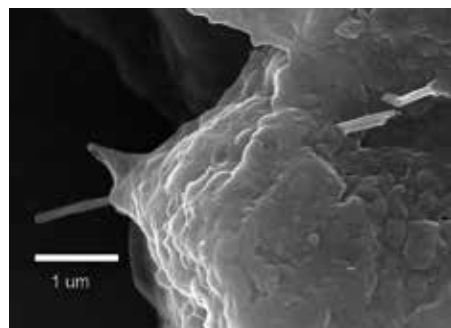
根据2006年联合国教育、科学及文化组织出版的《纳米技术的伦理与政治》，目前纳米技术中最紧迫的问题是其对人类和环境的毒性及风险。这些主要是安全和健康问题，不是伦理或政治问题。

我们可能已经在日常生活中或多或少地受到了纳米材料的侵害，比如，明火烹饪烟气和柴油机尾气中的纳米微粒。纳米材料的极小尺寸意味着它们比大尺寸的颗粒更容易被人体吸收。例如，纳米颗粒会导致巨噬细胞超负荷工作（巨噬细胞会摄取和破坏异物，最终会自身破裂并引发身体免疫反应），从而引发炎症并削弱身体对其他病原体的防御能力。我们迫切需要了解纳米颗粒在生物体内的行为方式，以指导日常生活和医疗。

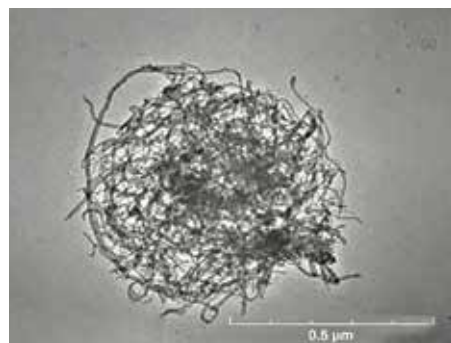
对环境而言，当前最紧迫的问题可能不是确定工业废物的纳米微粒是否对生态环境确有毒性，而是制定新规范或执行老规范来约束制造或加工这些物质的工业界。欧盟和美国已建立监督系统对纳米技术可能带来的危害与风险进行评估。中国全国纳米技术标准化技术委员会也陆续发布了一系列纳米技术和材料标准，如2017年的《纳米技术职业场所健康和安全管理指南》、2018年的《纳米材料风险评估》和2020《纳米材料毒理学筛选方法指南》都已经正式执行。

尽管伦理和政治不是最紧迫的问题，《纳米技术的伦理与政治》也给出了一些科学的看法。比如，它批评“灰雾”理论犯了“技术决定论”的毛病，即技术能够自动发展而不受人类、社会或政府的参与。“雾”假说缺乏实验科学的支持，对民众产生了片面的警示，反而很难有效传达纳米微粒的确切风险。

亲爱的读者，作为未来国家、民族与世界的中流砥柱，你们对未来有什么看法呢？



吸入纳米颗粒可能会对我们的身体造成伤害。纳米颗粒通过呼吸道在肺泡腔内沉积，然后进入血液并转移到其他器官。图为碳纳米管刺穿肺泡上皮细胞的扫描电镜图像



我们可以通过改善处理纳米材料的过程，如减少涉及转移粉末或打开包含纳米材料的包装的步骤、声波处理等搅拌程序，来减小它对人的潜在危害。图为在超声处理过程中从小瓶喷出的含有纳米材料的气溶胶液滴

作者介绍：刘天海，德国卡尔斯鲁尔大学理论计算机系博士。曾在达姆施达特大学计算机系、德国柏林根 IBM 研究所、德国 Aicas 公司工作。从事领域主要有复杂软件的测试和验证，嵌入式实时虚拟机，遥测数据处理，智能电网 / 物流，工业物联网，云计算等。