

合成生物学是门什么学科?

发明和创造新技术通常困难重重。因此，工程师们取自自然界的任何灵感都非常有用。虽然基因改造越来越多地被用于重新设计植物、动物和微生物，但这仅仅是生物科学革命的开始。

生物方面的尖端技术日新月异，绝不可能仅仅局限于将一两个超基因嫁接到一个现成的生物体。为此，一个名为「合成生物学」的新学科，有时也被称为「生物工程」，已经出现，它以新的方式组装生命组件，并将遗传工程提高了一个层次。

某网站解释说，合成生物学是「新生物部件、设备和系统的设计和构造」，以及「有目的地重新设计现有的自然生物系统」。从本质上来说，这意味着合成生物学应用了生物学的工程学思维。在最后一章，我们将了解到传统的基因改造涉及现有物种间个体基因的转移。与此相反，合成生物学致力于从一组标准化但不一定是自然的基因组件中组装新的生命系统。

为了提供更实际的比较，让我们想象一下，如何利用基因改造或合成生物学来建造一座更好的木屋。一方面，基因工程师可能会决定对一个橡子进行基因改造，使之长成一棵更好的橡树。然后，这棵树将被砍伐，成为木屋的横梁和木板。另一方面，未来的合成生物学家可能只是决定人为地重新规划一个橡子的基因编码，这样它就会直接生长成他们预期的生物建筑。这种更激进的方法，在生物上改变了橡子的自然有机体以行使不同的功能，从而消除了传统的砍伐、锯切和其他建筑麻烦。

考虑到橡子可以长成一棵树，那么它被人为地改造成某种木质建筑至少在理论上存在可能性。当然，这种字面意义上的树屋可能需要很长一段时间才能长成，因此不是一个非常实用的建筑解决方案。然而，这个假设的例子阐明的是基因改造和合成生物学之间的明显区别。前者改变了现有的生活方式，而后者则重组了生命的组件，并将其完全地重新分配。

新科学中的里程碑

看到这里，你或许有种在看科幻小说的错觉。为此，我来展示一些早期合成生物学的成就，以便将我们重新拉回现实。合成生物学或许是个非常新的学科，2011 年，第五次关于合成生物学的国际会议召开。这就是说，自 20 世纪 70 年代以来，许多合成生物学依赖的转基因工具一直在发展中。

合成生物学的重要先驱之一是克莱格·文特尔研究所

(JCVI)。2003 年，这个非营利的私立研究所创造了世界上第一条合成染色体。2007 年，该公司开发了 DNA 移植方法，将一种细菌转化成另一种细菌。此后，在 2008 年，该研究所又创造了第一个合成细菌基因组，并将其命名为支原体 JCVR-1.0。

通过以上步骤，克莱格·文特尔研究所不断完善基因移植、合成和组装过程，这些都是创造完全合成的活细胞必不可少的。2010 年 5 月，克莱格·文特尔研究所的科学家们利用他们所有的知识和经验创造了第一个完全合成生命形式，技术上称为「JCVI-syn1.0（昵称为『辛西娅』）」，这种自我复制的单细胞生物是基于一种现存的支原体——山羊支原体细菌。然而，

辛西娅的内核是在研究所实验室里创造的一个完全合成的、拥有 108 万个碱基对的基因组。

为了炫耀其成就，基于四个 DNA 碱基对字母 A、C、G 和 T，克莱格·文特尔研究所开发了自己的字母代码，并将其写入辛西娅的 DNA。该研究所的科学家们甚至邀请了任何可以破解代码的人，通过写入新生命形式的 DNA 中的电子邮件地址与他们联系。

20 位科学家用了十多年的时间才创造出辛西娅，花费了 4000 万美元左右。合成生命形式的创造备受争议。不仅如此，辛西娅的消息一公布，奥巴马总统立即要求生物伦理委员会调查此事。该委员会迅速做出反馈，认为没有必要停止合成生物学的研究，但合成生物学家应该继续调节自己的行为。一些人可能仍然认为，克莱格·文特尔研究所不应该把神一样的力量放在人的手中。然而事实是，他们就是这样做的，网友可以通过他们提供的平台，利用如乐高玩具般的基因组来创造各种东西。

建筑与「生物砖」

工程术语和工程思维已经开始潜入生物领域。合成生物学家谈到了「引导」细胞，并通过组装基因「模块」来开发特定的功能。事实上，合成生物学的基本原理是通过标准化的工具和接口来识别和创造可以持续组装的生物部件。

已经有一些公共网站提供合成生物学组件的目录。例如，打开 www.partsregistry.org 网站，你就可以看到标准生物部件注册页面。该网站解释：「注册表上登记的基因部件不断增多，这些部件可以通过混合和匹配来构建合成生物组件和系统。该

注册中心于 2003 年在麻省理工学院设立，是合成生物学界所做努力的一部分，旨在简化对生物的基因设计。」

合成生物学中使用的一些组件现在被称为「生物砖」。这些生物组件和相关的使用信息符合生物砖基金会（BBF）制定的技术标准 and 法律标准。由麻省理工学院、哈佛大学和加州大学的研究人员共同创立的生物砖基金会是一个非营利性组织，致力于促进合成生物学的开放性标准。生物砖基金会尤其致力于对生物砖法律标准的设立及相关教育资源的开发。更多信息可以在 <http://BioBricks.org> 上找到。

除了已批准和标准化的部件以外，人们还可以使用在线合成生物工具包。例如，从 <http://openwetware.org> 上，任何人都可以下载《生物建筑基础：合成生物学概念指导手册》（ Bio Building Basics: A Conceptual Instruction Manual for Synthetic Biology ）。新英格兰生物实验室甚至以 235 美元的价格卖出了一个「50-反应」的生物砖组装套件。该公司还通过其在线商店销售各种基因部件。需要一些 TMA 核酸内切酶 III 型的 DNA 修复蛋白基因吗？那就访问 www.neb.com 吧，你可以花 64 美元购买到 500 组。

令许多人惊讶的是，当克莱格·文特尔研究所创造合成生命时，他们从网络上获得了一些需要的 DNA 序列。老练的合成生物学家已经可以通过操纵电脑来设计新的生命系统，并能以同样的方式获得他们需要的基因组件，就像我们其他人在线购买杂货一样。随着合成生物学的不断进步，设计师创造生命可能会变得相当轻松，只需点击网络服务或安装一个应用程序就能搞定。

未来的生物保健

与纳米技术一样，合成生物学将广泛应用于各行各业。大量的研究工作正在如火如荼地进行。接下来将着重谈谈相关的一些重要应用。

合成生物学涉及生命系统，因此它必定会广泛应用于医疗。仅举一个例子，合成生物学很可能有助于未来治疗疟疾。现在，这种疾病已经不能用 20 世纪 60 年代采用的药物进行有效治疗。不过现在，一种使用青蒿素衍生物的综合疗法经证明已经可以 100% 治愈疟疾。

青蒿素衍生物源于一种叫青蒿的植物。不幸的是，青蒿生长缓慢，产量很低，自然培育和收获青蒿素既耗时又昂贵。因此，大多数疟疾患者无法负担这种抗疟疗法所需的费用。

不过，「青蒿素项目」正在计划使用合成生物学来帮助生产一种低成本、半合成的青蒿素。该团队正在探索从青蒿和其他来源中提取青蒿素的基因通路。这种人工基因序列将被拼接到微生物的 DNA 中。利用生物技术产业中普遍使用的工业发酵过程，该团队希望以低成本生产出高质量的青蒿素。如果这一目标得以实现，那么数百万疟疾患者就有救了。

青蒿素项目最精彩的地方是强调了合成生物学如何帮助重要药物更广泛地使用。在荷兰，DSM 公司也在追求一个类似的目标，并且已经使用合成生物学生产出了一种低成本的合成抗生素头孢氨苄。DSM 公司还将合成生物学应用于维生素补充剂的制造。在未来，合成生物学甚至可能应用于改善数十亿营养不良者的主食营养质量。

在生物健康领域，合成生物学同样有可能开发出新的生物化妆品。有些化妆品中就已经含有植物干细胞，从而实现皮肤再生，比如印度美容师霍桑女士的阿育吠陀美容产品。像青蒿素衍生物一样，这种美容方法目前非常昂贵。然而，合成生物学将来也可能以低成本批量生产的形式生产类似的合成生物化妆品。十年以后，合成生物学可以帮助数百万人摆脱皱纹。

未来的生化药剂

除了医疗保健方面的作用以外，合成生物学还将帮助生产许多化合物和原材料，其中最主要的可能是改良后的生物塑料。目前最有前途的替代油基塑料是聚乳酸（PLA）。这种材料是从玉米或甘蔗中提炼而成，加工方式与现有的热塑性塑料一样。聚乳酸安全无毒，可用于食品包装，且能够实现生物降解。

目前，聚乳酸必须经过两道程序来制造。第一道程序是，用细菌发酵农业原料生产乳酸。第二道程序涉及化学过程，需要将短乳酸分子与长聚合物链连接起来。目前，韩国科学技术研究所的一个团队已经成功地用一个程序直接生产出聚乳酸。他们用一种不存在于自然界的合成遗传途径，通过重新设计 E 大肠杆菌来做到这一点。一旦这个过程被商业化，聚乳酸就能实现批量生产以替代基于石油生产的塑料。

与此相似，OPX 生物技术公司正在使用合成生物学来开发一种生物丙烯。传统的丙烯酸类产品广泛应用于涂料、黏合剂、洗涤剂、服装等产品，是一种以石油为基础的产品。因此，生物丙烯酸肯定备受青睐。

利用效率导向型基因组工程（EDGE），OPX 生物技术公司正在培育一种微生物，这种微生物能从玉米、甘蔗或任何其他形式

的纤维素中制造出新的生物丙烯。该公司已经在运营一个试点工厂，批量培育这种微生物。OPX 生物技术公司的长期战略是生产生物丙烯，其价格与基于石油的丙烯相同。

另一家想在未来生物化学生产中使用合成生物学的公司是杰能科工业生物技术公司（Genencor）和固特异轮胎橡胶公司

（Goodyear）。这两家公司正在合作研究人工基因序列，这些基因序列将以农作物作为未来异戊二烯的来源，而不是橡胶树。这将使非石化产品的合成橡胶生产成为可能。在应对石油峰值的挑战中，合成生物学的巨大潜力再次显现出来。

未来生物能源

经合成 DNA 序列改良的微生物也将被用来制造新的和改进后的生物燃料。事实上，在克莱格·文特尔研究所创造了第一个合成细菌之后，其商业性姐妹公司——合成基因组公司

（Synthetic Genomics）申请了一些专利。他们计划设计出一种新的合成藻类，这种藻类可以产生碳氢化合物，然后转化成石油替代品。

最广泛使用的液体燃料是柴油。目前几乎所有的柴油都是由石油生产出来的。生物柴油确实存在，如芬兰耐思特油业集团的耐斯特勒（NEXBTL）润滑油。然而，这些都是由棕榈或其他天然有机油制成的，因此不可能大量生产来取代化石燃料。

利用合成生物学，加利福尼亚 LS9 生物技术公司正在开发合成大肠杆菌，将天然碳水化合物转化为两种柴油替代品中的一种。在未来，木屑、玉米秸秆和其他农业废弃物，包括粪便，经过发酵后可以产出柴油。

一些项目团队也在利用合成生物学制造第二代和第三代生物乙醇。一些轿车和商用车已经在使用玉米和甘蔗等发酵谷物生产的第一代生物乙醇。然而，正如我们在第四章看到的，非粮食农业正在对现有的粮食生产造成巨大的压力。因此，传统的生物乙醇无法完全替代化石燃料。

现在，第二代生物乙醇使用杂草和木料作为原料。然而，更重要的将是利用合成生物学来帮助创造第三代「先进的生物乙醇」，而不是利用传统的陆生作物。

合适的藻类有很大的优势，它们在阳光的作用下（利用光合作用）产生乙醇，甚至在生长过程中从大气中提取二氧化碳。

「微藻」可以生长在池塘、吊舱，甚至房子里的各种垂直管道里。墨西哥 BioFields 公司已经在 2015 年开始商业化生产基于藻类的生物燃料。

第三代生物乙醇也将由海藻或科学家所称的「巨藻」产生出来。来自东京大学、三菱和其他几家私营企业的团队已经计划在日本海中部的 Yamatotai 浅渔区建造一个 1 万平方千米的生物燃料海藻农场。未来，由于有了合成生物学，大量液体燃料的生产便可以依赖于「水产业」。随着鱼类资源的减少，这可能也为拖网渔民提供了新的生存之路。

合成的生物未来？

大多数科学家，包括基因改造的实践者，都在研究他们发现的现有事物。相比之下，工程师则是利用各种零件来发明制造新东西。一个世纪以前，物理学衍生出电子工程学；同样，合成生物学正从传统的生物科学中诞生。随着新学科的成熟，我们也有理由期待它的应用范围不仅局限于把人造 DNA 序列引入微

生物，我们还期待这些微生物能反过来生产传统药物、塑料，或成为燃料的替代品。

很快，我们就有可能用生物塑料瓶子来盛装饮料了。不过，我们为什么不百尺竿头更进一步呢？为什么要满足于微生物制造生物塑料，然后在传统能源消耗的工厂里将其制成瓶子呢？从长远来看，使用合成生物学来培育能够在藤上长出成品瓶子的人工合成植物肯定更有意义。为什么要停滞不前呢？如果未来能培育一种能直接长出生物塑料瓶子的合成植物，那么为什么不索性创造一种全新的植物，让它长出已经装满了饮料的瓶子呢？同理，为什么工厂生产出异戊二烯我们就满足了呢？我们还可以直接生产汽车轮胎、橡胶或合成橡胶带嘛。

合成工厂能生产出成品，这是未来 3D 打印机和纳米技术的功劳。事实上，几十年后，各种合成植物很可能被培育出来，从而为低成本、广泛可用的 3D 打印和纳米技术制造提供原料供应。未来的 3D 打印机很可能成为最适合生产定制消费产品和备件的技术装备。与此同时，纳米技术在未来可能被用于制造那些最昂贵、最复杂的物品，比如精细的医疗设备。随着 3D 打印和纳米技术的发展，合成植物在大规模生产基本用品和日常用品（如预包装食品）方面可能会有优势。当香蕉生长出来的时候，它本身就已经被装在有机包装里了。因此，运用合成生物学来让更多的工厂制造自带保护性外包装的产品是合乎逻辑的。

合成生物学也可以促进生物电子方面的发展。所有生物有机体能吸收和消化各种金属元素和矿物质。因此，我们有可能利用合成生物技术创造出能在电子元件制造方面带来革新的微生物和植物。未来的合成动物甚至可能被设计成活的微处理器。

日本名古屋大学的研究人员已经展示了在生产液晶显示屏的薄膜晶体管时使用的 DNA。所谓的「DNA 纳米光子学」也开始发展起来，以提高有机发光二极管（OLED）显示器的亮度。

合成生物学与电子产品的联姻也很可能有助于生物传感器的发展，这种传感器具有人造的味觉和嗅觉。英国 Presearch 公司已经开发出「电子舌」和「电子鼻子」传感器，而美国 Nanogen 公司已经开发出了「纳米芯片」毒物探测器。未来的合成生物传感器可能让食品标签或超市货架感知产品的气味和味道，以检查它是否适合出售。因此，保质期将成为过去，食物浪费也会因此减少。合成生物传感器技术甚至可以制造一些铆钉，这些铆钉用于未来的飞机上，如果飞机上有爆炸物，铆钉可以嗅出来并发光报警。

上述未来的发展听起来可能像是纯粹的幻想。毕竟，一株植物怎么可能长出满瓶可乐或汽车轮胎呢？然而，当你再深入思考这个问题的时候，你就会发现，比起那些长成蚯蚓、牛或全新人类的细胞来说，这也不足为奇了。生物系统已经进化到非常擅长储存信息，并利用这些信息用非常基本的原材料来生产出各种各样的东西。合成生物开发工具包和知识使人类能够以同样的方式制造东西，这也是合成生物学的全部意义所在。

建筑与发生突变的东西

所有的自然生物都通过不间断的变异和基因交换的过程不停完善自己，我们称之为进化。对于合成生物学来说，这也可能是一个挑战。毕竟，当英特尔制造了一个新的微处理器时，他们相信第 100 万个微处理器从生产流水线上下来的时候跟第一个一模一样。在可允许的误差范围内，工程师们目前可以将设计

和生产的稳定性视为理所当然。然而，对于合成生物学来说，情况并非如此。

生物系统由于不完全稳定才得以存活。在以后的生产过程中，同一物种的不同成员会略有不同。因此，我们可能即将进入一个世界，在这个世界里，我们可以购买一台计算机处理器或一双特定性能的鞋子，但它与我们邻居所拥有的并不完全相同。未来的一些产品甚至可能会慢慢演变成下一个型号，这一演变可能是工业设计师主导的，也可能是物品作为生物所进化的结果。

正如本章所概述的，合成生物学可能很快就会让我们拥有各种各样的未来可能性，而且这些可能性会与各种各样的挑战交织在一起。毕竟，例行公事地出于商业目的创造新生命并不是每个人都能接受的事情。或者正如南希·吉布斯（Nancy Gibbs）在 2010 年 6 月的《时代》（Time）上的一篇关于合成生物学的文章中所写的那样：

进步之路必然经过道德、医学、宗教和政治这四条路的交叉口，无论你选择哪条路，你都有可能触及某人根深蒂固的观念。（克莱格·文特尔研究所投下的）重磅炸弹重新唤起了最古老的伦理辩论，即科学家们是在扮演上帝的角色还是在证明上帝不存在，因为有人在马里兰州郊区重新上演了《创世纪》（Genesis）。

除了伦理窘境之外，合成生物学的主流应用也带来了另一个更现实的挑战。正如我们在本章中所看到的，许多中期合成生物学的发展很可能包括利用微生物将现有的农作物转化为药物、

燃料或其他化学物质。另一些则需要种植新的植物，以获得更多的非食物用途。

如果不是因为农业用地面临前所未有的压力，这将是一个福音。撇开道德不谈，对合成生物学发展的主要限制很可能是可用土地的短缺。但幸运的是，我们在下一章将会看到一些有远见的人已经计划通过建立垂直农场来扩大可用的农业种植面积。

浏览器扩展 Circle 阅读模式排版，版权归 www.zhihu.com 所有