

荣。”

从2006年至今，已经过去了15年时间，科学家们的DNA折纸术也可以构建从一维到二维再到三维的各种纳米级形状，就像3D打印一样。那么，我们能拿这些形状来做什么呢？

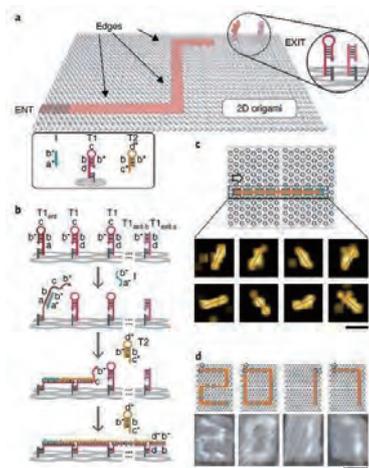
樊春海指出，在宏观世界里，人类最有用的材料之一就是框架材料。同样，在纳米世界里，把DNA的AGTC四个字母编码出一些框架物质来，就可以让一些生物分子，比如说核酸本身、核酸适体、抗体、蛋白质、酶等物质住进由DNA框架搭建的纳米房子里。这就是樊春海提出来的最新定义——把用DNA做成的框架结构称为框架核酸。

这是一类人工设计的结构核酸，它的尺寸、形貌和力学特性都可以程序性地调控，也就是说，我们可以通过AGTC这四个字母的编程，让它像鸟巢一样精细。有了这个家，就可以为核酸蛋白抗体等元件提供结构支撑，从而使得我们可以做更好的癌症早期检测，做更好的癌症治疗，或者为像老年痴呆这样的神经退行性疾病的诊疗提供更好的工具。

2019年，樊春海团队将这一学术思想总结在《自然·化学》(Nature Chemistry)杂志上。它在创刊十周年之际，邀请了国际上50多位科学家共同撰写《化学求索之路》，共同探讨在化学领域未来的挑战性问题。其中，樊春海提出的化学领域挑战性问题为：“一个令人激动的学科前沿是理解人工设计的核酸结构如何在活细胞和动物体内组装并发挥作用。创造新的工具来控制

右图：第一个能够解“迷宫”的智能DNA纳米机器人。

图片提供/樊春海团队



活细胞内的天然和人工核酸分子的组装过程，将有可能为核酸化学领域带来革命性的变化，从而推动纳米诊疗和精准医学的发展。更长远考虑的话，另一个大有可为的研究方向是探索和发展具有人工智能的DNA或RNA机器人，并在动物和人体内工作。”

樊春海团队写下了这样一个条目：我们不使用DNA的遗传信息，而是它的结构信息，利用它的三维结构来为我们生命本身服务。

经过几十年的努力，现在人们可以制造非常复杂的分子机器。但就细胞而言，这些基于有机分子的机器不能在溶液表面或者是人体细胞内发挥作用。天然生物分子机器中的蛋白质在细胞内以高度保守的方式组装和分解，而运用有机合成的方式很难达到这种智能程度。

目前，樊春海团队通过DNA组装技术制造了嵌入深度优先搜索程序的智能DNA导航器。这意味着DNA机器人可以在二维DNA表面破解迷宫。

在最新的研究中，樊春海团队还开发了可进入活细胞的智能DNA

纳米机器人。

“目前拥有可用于治疗的DNA纳米机器人仍是一个梦想。我个人认为总有一天，我们会有基于DNA的机器、基于DNA的自组装机器、基于DNA的纳米机器人，来治疗人体内的疾病，从而改变人们对疾病和诊疗的看法。”

跨界学者如何炼成

在中国科学院院士增选结果中，樊春海属于化学部；2019年，他获得了中国生命科学领域最具影响力的奖项——谈家桢生命科学创新奖，而他回国后选择的工作单位又是中科院上海应用物理研究所，“跨界”的范围似乎有点大。对此，樊春海的解释是：“学科领域和研究方向是不一样的概念，这二十多年来我的研究方向一直没有改变过。我从研究生时代，就开始从事生物传感基础研究，只是要探索未知世界，需要更广阔视野。”

1992年，准备参加高考的樊春海报考了南京大学生物化学系。“当时选择生物化学很盲目，一点也不了解。但是隐约感觉生物化学既有生物，又有化学，这个名字很酷！”樊春海回忆说。

樊春海在南京大学读书时，生物化学系就有浓郁的学科交叉氛围，系里的口号是“学不好化学，就做不好生物化学”。我国生物制药技术研发的开拓者之一和肝素、尿激酶工业的创始人朱德煦时任系主任，中国科学院院士、生命分析化学概念的创导者和生命分析化学国家重点实验室创始人陈洪渊的博士生李