

基因编辑：改写生命密码的『神笔』

李伟



AI制图

的能力。外源基因导入到生物体基因组的位置是随机的。

基因编辑技术则是对生物自身基因进行“精准修改”，如同用“分子剪刀”删除、插入或替换原有基因片段。它像对房子“重铺水电管线”的精装修工程，提升房屋的整体质感，却不破坏整体结构。

■技术进入快速发展阶段 碱基编辑技术、引导编辑技术等精确高效

基因编辑技术的演进，是一场解读生命密码的跨世纪接力。

19世纪60年代，孟德尔通过豌豆杂交实验揭示了遗传规律，开启了人类理解遗传现象的大门。1953年，沃森和克里克揭示了DNA的双螺旋结构，使遗传信息的编码方式得以洞察。20世纪六七十年代，随着DNA重组技术的发展，基因编辑技术走向实践。进入21世纪，基因编辑技术进入快速发展阶段。2012年CRISPR基因编辑技术诞生，实现了前所未有的跨越。

CRISPR技术划时代意义何在？简要说，这项技术为基因编辑领域提供了“GPS导航+精细手术”的双重工具，不仅操作过程相对简便，成本也显著减少，极大地降低了基因编辑的技术门槛。

近年来，一系列更为精确、高效的基因编辑技术相继问世。“碱基编辑技术”能够在不破坏DNA双螺旋结构的前提下，实现对单个碱基的精确替换，为治疗由单个碱基突变引发的遗传性疾病提供了新的策略；“引导编辑技术”实现了对小段DNA的精确插入、删除或替换，为构建复杂疾病模型、解析基因功能提供了更为灵活的工具；“逆转座子技术”能够将大段DNA有目的地整合到基因组中，为基因治疗中引入功能性基因、修复缺失基因提供了更为稳健的载体方案……这些技术为生命科学研究提供了更为精细的操作工具，极大地促进了基础科学研究的突破和转化医学的发展。

■应用场景不止医学领域 还可培育新型水稻、制造生物燃料、合成稀缺药物

当前，基因编辑技术正从实验室内

的理论研究与初步探索向实际应用场景转化。

在医学领域，基因编辑技术为遗传病的治疗提供了新的方法。地中海贫血症是一种血红蛋白异常的疾病，利用CRISPR基因编辑技术可以精准编辑患者的造血干细胞，恢复其血红蛋白基因的正常表达，再将这些经过编辑的干细胞回输到患者体内。目前，全球已有部分患者通过这一创新疗法实现了症状的显著缓解。在癌症治疗方面，基因编辑技术同样展现出强大的实力。CAR-T（嵌合抗原受体T细胞）疗法同样可以利用基因编辑技术对患者的免疫细胞进行基因改造，通过对T细胞的“分离—改造—扩增—回输”等几道程序，增强其对抗癌细胞的能力。

得益于基因编辑技术的演进，科学家们正在逐步揭示生命的奥秘。科学家们通过小鼠的基因进行精确编辑，模拟血友病、杜氏肌营养不良等复杂疾病的发病过程。借助这些技术手段，研究人员可以深入观察疾病的发展变化，进而加速新药的研发进程，为攻克人类顽疾提供重要的科学依据。

在农业领域，基因编辑技术同样大有用处。通过基因组编辑技术与水稻杂种优势利用技术的结合，我国成功培育出新一代抗镉超级稻。同样的，通过编辑水稻中的感病基因，培育出能够抵抗稻瘟病、白叶枯病等多种灾害的新型水稻品种，为全球粮食安全提供了有力保障。

在生物制造领域，基因编辑技术是实现产量提升、成本降低、能耗减少的新型“催化剂”。在绿色生物燃料的生产过程中，对发酵菌中的酵母基因进行精确改造，能够更高效地将糖类物质转换为乙醇，推动生物燃料产业的绿色发展。在稀缺药物合成方面，通过编辑微生物基因，在缩短实验室生产周期的同时，显著降低了生产成本。

■“生命剧本”不可轻言改写 严格设置边界，规范医学伦理

随着基因编辑技术应用的不断深入，伦理规范是必须正视的问题。相关

争议，主要聚焦在人类生殖细胞的编辑上。

首先，在进行基因编辑时，基因的遗传性可能会永久改变人类基因池，技术风险的脱靶效应可能会危及后代健康，严重违背医学伦理的风险最小化原则。其次，不以治疗为目的的非治疗性基因增强可能加剧社会不公，威胁生物多样性，导致技术优生主义。最后，由于胚胎无法自主决定被修饰的遗传特征，也挑战了生命自决权伦理。

生命尊严、个体权利与社会公平是基因编辑技术发展的前提。人类需在伦理共识基础上，审慎释放技术潜力，确保其真正服务于社会福祉。

为了不让基因编辑技术误入歧途，科学家们在使用这一技术时设置了严格的技术边界：优先发展不具遗传性的体细胞编辑技术，以治疗目的为主，禁止生殖细胞编辑临床应用。通过国际协同监管与透明审查机制，防止伦理违规行为。搭建跨学科平台，积极推动公众参与与制定技术应用公约。

2024年7月，科技部发布了由国家科技伦理委员会医学伦理分委员会研究编制的《人类基因组编辑研究伦理指引》，回应人类基因编辑技术研究与应用所面临的伦理挑战，规范人类基因组编辑研究行为，促进人类基因组编辑研究健康发展。

从治愈顽疾到优化作物，基因编辑技术——这支改写生命密码的“神笔”证明：生命的剧本，并非不可改写。但这份改写“剧本”的能力，分量异常沉重。它要求我们怀揣对生命最深的敬畏，在希望与风险、个体诉求与人类未来之间，做出极其审慎的抉择，确保每一步都尊重生命的尊严与公平。

（作者为中国科学院动物研究所研究员，本报记者喻思南采访整理）

知与不知

深空资源开发利用逐渐成为国际科技界热点探索领域之一，其对开发物质资源、利用特殊太空环境资源、掌握独特深空位置资源等具有重要意义。

近地小行星、月球、火星等体外天体蕴含矿产、水冰、大气等资源，是支撑人类可持续探索太空的重要保障。例如，近地小行星富含铁、镍、铂族金属及稀土矿物等资源，具有巨大经济价值；月球、火星等天体可能蕴藏水资源，可用于推进剂、生命保障物资的原位生产和补给，对其进行相应的开发利用，能有效降低深空探测任务成本。

同时，太空中超高真空、微重力、强辐射等特殊环境是实现重大科学突破的天然平台，可催生并赋能地球新产业的发展。以太空制药为例，全球已有130多家企业和研发机构深度参与利用太空环境进行生物制药，预期2040年市场规模将达数百亿美元。

此外，深空中有些独特的位置资源是布置航天器的绝佳位置。以拉格朗日点为例，日—地、地—月各有5个拉格朗日点，在这些点位布置航天器，只需消耗极少的燃料，就能在轨道上稳定运行，便于开展天文观测、态势感知等科学研究活动。

当前，国际深空探测蓬勃发展，商业深空时代悄然而至，深空探测已逐渐从“认识”深空向“利用”深空转变。主要航天大国都在对深空资源利用进行全方位部署，加速关键技术攻关，争取资源利用的“先发优势”。

近年来，我国成功实施了嫦娥五号、嫦娥六号任务和天问一号任务，正在实施天问二号任务，在该领域已取得长足进展。未来嫦娥七号、嫦娥八号与国际月球科研站等任务将以资源勘查与开发利用试验作为主要目标。

与此同时，我国在深空矿物冶炼、水冰提取、原位建造等资源开发的核心技术方向已经取得突破性进展，这标志着中国深空探测已经迈入科学研究与资源利用并重的新阶段。

我们将按照系统规划、天地结合、联合攻关、联合开发、开展小行星资源利用技术试验；在2030年前，形成深空资源勘探能力，攻克资源利用部分关键技术，开展月球原位资源利用在轨试验；在2040年前，建设月球、火星星表基础设施，实现小规模资源开发和初步利用，开展小行星资源利用技术试验；在2050年前，构建月球、火星、近地小行星探测与资源利用技术及能力体系，建成星表和空间资源利用基础设施，初步具备规模化开发与应用服务能力。

据此，建议提出三大任务：一是部署资源形成与分布、物质提取转化、智能作业等基础研究与技术攻关重大科研项目；二是建设行星环境与物质综合模拟大科学装置、深空资源开发利用综合试验系统等重大模拟试验设施；三是实施国际月球科研站、火星科研站、近地小行星资源开发利用综合试验工程等重大工程任务，逐步构建我国深空资源开发利用的核心能力。

深空资源开发利用已成为当今世界航天发展的重要方向，要加强顶层战略研究、谋划推进重大项目和重大工程、研制建设地面试验验证基础设施，广泛联合包括商业航天在内的各类社会力量，大力开展国际合作，携手共创深空资源开发利用新局面。

中国探月工程总设计师吴伟仁：详解深空资源开发利用『三步走』规划



7月7日，在安徽省合肥市，参加国际深空探测学会成立大会的嘉宾参观深空探测实验室展厅。

新华社记者 周 牧摄

新试点支持科研人员勇闯“无人区”

据新华社电（记者温竞华）国家自然科学基金委员会近日发布消息，自然科学基金委制定重大非共识项目试点实施方案，将在2025年启动资助试点。

作为突破现有认知、引领科技发展的重要载体，具有原创性、颠覆性特征的非共识创新研究是当前各科技大国的重要关注点，而此类研究往往争议大、难识别、风险高，难以通过常规渠道获得支持。党的二十届三中全会提出“建立专家实名推荐的非共识项目筛选机制”。自然科学基金委作为我国资助基础研究的主渠道，制定了一系列创新举措。

其中包括，成立由一线高水平科学家组成的重大非共识项目专家委员会，在项目识

别和遴选中切实发挥高水平专家的学术判断力；建立专家推荐和自然科学基金委主动发现“双轨并行”的项目征集渠道；采用“按需一段—长期”的资助模式，分阶段支持，逐步增加资助强度；构建不问出处、不设门槛、不唯过往业绩等打破常规的评价导向等。

自然科学基金委希望通过实施重大非共识项目、原创探索计划项目，以及加强对面上项目、青年科学基金项目（C类）等项目中非共识创新研究的识别，构建多层次、体系化的非共识项目资助机制，努力探索一条支持非共识创新的有效路径，支持我国科研人员在国际科技竞争“无人区”开辟重要研究方向，推动我国基础研究高质量发展。

中国—尼加拉瓜职业教育合作论坛举办

本报电（立风）中国—尼加拉瓜职业教育合作论坛近日在天津职业技术师范大学举办。中尼两国教育部门及行业代表、院校代表等共聚一堂，共话中尼职业教育合作高质量发展路径。

论坛以“中尼职教携手，共筑技能未来”为主题，围绕职业教育国际合作、深化产教融合、职教师资队伍建设等展开讨论。

尼加拉瓜国家技术与培训署国际合作司司长露西·巴尔加斯·蒙塔尔说，尼加拉瓜鲁班工坊是中尼职业教育合作的里程碑项目，相信通过中方的精心培训，本国青年人的技术技能水平必将得到很大提

升，进一步助力该国“减贫计划”的实施，为推动中尼友好作出更大贡献。

天津职业技术师范大学校长郑青春表示，要以鲁班工坊为纽带，深化中尼职业教育合作，为两国青年搭建成长成才的广阔平台，为全球职业教育发展贡献智慧与力量。

此前，尼加拉瓜鲁班工坊本土教师在津参加了EPIP标准化进阶式培训。许多学员表示，通过培训既收获了前沿职教理念与技术实操经验，也深切感受到中国职教体系的系统性与创新性，期待将所学所悟所获转化为推动本土职业教育发展的实践动力。



人机互动

近日，浙江省金华市举办AI智能机器人科普展，市民与机器人互动，感受科技魅力。

图为小朋友与大黄蜂机器人互动。

傅 俊摄（人民视觉）