



英国科学、创新和技术部

工程生物学的国家愿景

中国科学院上海营养与健康研究所
上海生命科学信息中心
上海市生物工程学会
2024年2月

英国科学、创新和技术部

工程生物学的国家愿景

编者按：2023 年 12 月，英国科学、创新和技术部 (Department for Science, Innovation & Technology, DSIT) 发布政策文件《工程生物学的国家愿景》(National vision for engineering biology)。该文件规划了未来 10 年的投资、政策和监管改革，总计投入 20 亿英镑支持工程生物学这一关键技术，包括投资于世界级的研发，促进创新、扩大的基础设施，实施有助于工程生物衍生产品进入市场的监管措施，并将成立新的工程生物学指导小组。该项愿景旨在推动新的疗法、作物品种、环保燃料和化学品，以巩固英国作为科技超级大国的地位。

1. 概述

1.1 科学技术框架

2023 年 3 月，英国政府发布的《科学与技术框架》(Science and Technology Framework) 提出了到 2030 年使英国成为科技超级大国的 10 个关键领域，具体包括：识别关键技术、表明英国的实力和雄心、研发投资、天赋和技能、为创新型科技公司融资、采购、国际机会、访问物理和数字基础设施、制定法规和标准、创建新型公共部门。在该框架下，英国政府确定了 5 项关键技术，这些技术不仅有望为英国带来繁荣和安全，还将为全球社会带来利益。

- **人工智能 (AI)：**执行通常由人类智能所执行任务的机器，尤其是当机器从数据中学习如何执行这些任务时。
- **工程生物学：**将严格的工程原理应用于生物系统的设计。
- **未来电信：**数字化数据和通信基础设施的演变。
- **半导体：**一类具有独特性能的电子材料，构成人们日常使用设备和技术的核心。
- **量子技术：**依赖量子力学的设备和系统，提供“经典”机器无法提供的功能。

英国政府承诺利用该框架中规定的杠杆来支持这些技术使其蓬勃发展。因此，需要了解如何应用这些杠杆来应对每项技术面临的独特挑战。这份文件阐述了政

府对工程生物学面临挑战的理解，以及通过框架实现目标中提及的优先事项。

1.2 对工程生物学的理解

工程生物学的基础源于对生命更深刻的理解。人们以非凡的速度发展出“读取”和“写入”DNA 的能力，同时也越来越容易预测和控制其在生物体内的功能。在应用方面，工程生物学正在推动整个生物经济的进步，改变现有的领域和供应链，例如替换石化原料，创造全新的领域，如个性化的生物治疗和碳捕获。工程生物学还可以解决可持续性和全球健康挑战，并有助于确保英国的安全和供应链韧性。

英国政府将工程生物学定义为生物衍生产品和服务的设计、规模化和商业化过程，这些产品和服务可以更可持续的方式改变行业或生产现有产品，还能利用合成生物学工具，推动生物经济的下一波创新。

1.3 工程生物学支持政府目标

工程生物学有广泛的应用前景，政府看到了英国在健康、农业和食品、化学品和材料以及低碳燃料方面的重大经济机遇（图 1）。未来 20 年内，工程生物学每年有望在全球范围内产生 2-4 万亿美元的经济影响，仅健康领域每年就可实现 1.2 万亿美元的经济价值，农业、食品、化学品和能源领域的应用，每年可能对全球经济产生 1.5 万亿美元的影响。更重要的是，工程生物学还有助于提升国家安全、复原力和应对未来挑战的能力。

所有这些应用都基于工程生物学的基础技术，这些技术趋势的融合推动了工程生物学领域的发展。首先，DNA 测序的成本迅速下降，序列可获得性增加，使得组装大型生物信息学数据集成为可能。英国公司 Oxford Nanopore 开创了具有卓越序列准确性和长度的手持式核苷酸测序设备。其次，通过计算能力、人工智能和机器学习等技术，研究人员得以在这些数据集上实现 DNA 序列、蛋白质折叠以及蛋白质功能之间关系的预测，例如，英国 DeepMind 公司开发的 AlphaFold 等工具。第三，能够经济高效地编写自定义 DNA 序列，Evonetix 和 Touchlight 等英国公司在 DNA 合成的长度和体积方面取得重大进展。最后，CRISPR-Cas9 等基因编辑技术的进展将持续推动创新。英国的研究人员作为这些技术的早期使用者，已经在植物和哺乳动物细胞等领域取得显著成果。

(1) 健康

在健康领域，工程生物学一直是推动创新的核心，尤其是在过去 25 年中，它有可能通过更精确、个性化的治疗（如 CAR-T 癌症治疗），以及人工器官和智能药物等前沿发展来改善患者预后的潜力。英国政府通过卫生和社会保健部（Department of Health and Social Care）与 DSIT 紧密合作，正在与 Moderna 和 BioNTech 公司共同开发 mRNA 疫苗和疗法，并通过 Cancer Mission 项目投资精准医学的早期诊断和靶向免疫疗法。此外，通过卓越中心为政府提供了与行业、学术界、监管机构和医疗保健部门合作的关键平台，例如 CPI 药品制造创新中心（MMIC），加快创新的发展和应用。在国际层面，英国政府正在资助药物发现、基因组监测和疫苗开发等生命科学项目，这些项目由外交、英联邦和发展办公室与维康信托基金会（FCDO-Wellcome）共同推动，通过流行病防范和应对研究联合倡议（JIREP）来实现。

（2）农业与食品

2023 年，英国环境、食品和乡村事务部（Defra）颁布的《基因技术（精准育种）法案》为利用工程生物学应对害虫、疾病和环境挑战提供了契机，使培育更具抵抗力的养殖动植物成为可能。这将有助于增强食物供应的弹性，改善自然环境的健康。此外，新的兽医疫苗和诊断方法也在开发中，这些疫苗和诊断方法将提供针对高优先级动物病原体（如禽流感）的工具。目前，工程生物学工具正被用于开发和制造替代蛋白质，包括细胞培养蛋白质（也称“培养肉”）。英国食品标准局（FSA）最近完成了对其新型食品监管框架的评估，并正在考虑如何改革立法、框架和流程，以消除创新障碍，包括细胞培养蛋白，同时保持英国良好的监管完整性。在国际层面，英国共同资助了国际农业研究咨询小组（CGIAR）计划，该计划利用基因组编辑技术加速作物改良。

（3）化学品和材料

工程生物学不仅能更可持续地生产现有的化学品和材料，还能够创造出难以通过化学方法合成的全新的化学品。英国能源安全和净零排放部（DESNZ）、商业贸易部（DBT）以及 Defra 正在考虑如何利用可持续生物质来减少化工行业的碳排放。这包括如何以更经济的方式利用废物流，创造循环碳生物经济。国防部（MoD）也在探索工程生物学衍生材料的潜力，以克服现有设备的物理限制和供应链短缺等问题。

(4) 低碳燃料

工程生物学可以能够研发新的低碳燃料，适用于航空和汽车行业。交通部已投资 2500 万英镑，支持 LanzaTech UK 位于塔尔博特港的新工厂建设。该工厂将利用钢厂废气转化为乙醇，然后通过酒精喷气技术生产可持续航空燃料。国防部还投资了总部位于曼彻斯特的 C3 Biotech 公司，该公司开发的航空燃料已被英国皇家空军用于无人机。

(5) 国家安全、韧性和准备

工程生物学在提升国家应对生物风险的韧性和准备方面将发挥越来越重要的作用，它可以帮助人们准备、检测和减轻自然和人类威胁。然而，工程生物学的意外或滥用也可能会带来重大的全球社会和经济风险。《2023 年生物安全战略》明确了英国应采取的行动，以减轻生物威胁的风险，包括制定负责任的工程生物学创新政策，确保在推动发展的同时管理风险。生物安全政策由多个政府部门负责，并由内阁办公室协调。内政部则负责防止生物风险的出现或威胁英国的利益。

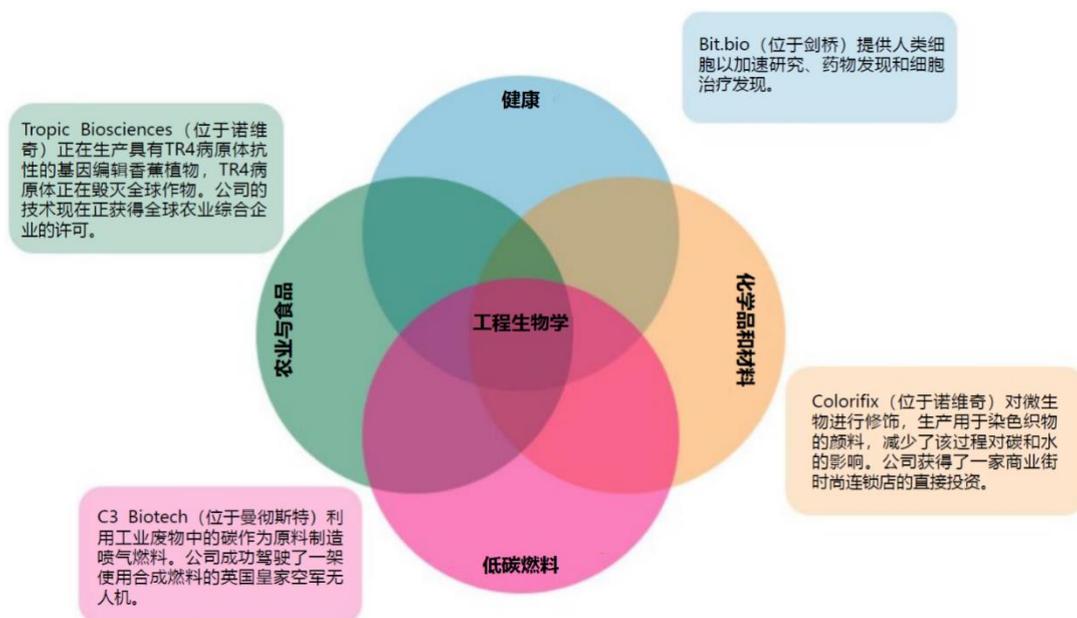


图 1 工程生物学应用领域及英国的代表性企业

1.4 英国在工程生物学领域具有显著优势

英国在工程生物学领域处于领先地位，这主要得益于政府在过去十年的前瞻性投资，以及英国生物制药行业的强大基础。目前，英国不仅继续对工程生物学研发的重大公共投资，近期又宣布为工程生物学任务和中心追加拨款 7360 万英

镑。

英国在工程生物学基础研究方面表现出色（表 1）。2018-2022 年间，英国工程生物学研究出版物数量全球排名第 5，在工程生物学学术成果排名前 10 位的国家中，英国的工程生物学研究影响排名第 4。

表 1 工程生物学出版物前 10 位国家的学术产出和研究影响（2018-2022）

学术成果产出	
国家	学术成果
中国	24521
美国	19682
印度	10370
德国	5886
英国	5505
日本	4072
韩国	3556
意大利	3004
西班牙	2821
伊朗	2779
研究影响	
国家	字段加权引用影响
意大利	1.64
伊朗	1.62
韩国	1.56
英国	1.54
印度	1.51
美国	1.50
德国	1.42
中国	1.41
西班牙	1.39
日本	1.09

资料来源：政府科学办公室为 SciVal 数据库开发了 DSIT 改编的关键词搜索。

如图 2 所示，英国也有一批令人印象深刻的工程生物学公司，特别是在健康和生命科学领域。

英国在工程生物学领域的优势遍布全国各地（图 3）。从诺维奇到布里斯托尔再到爱丁堡，这些优势主要集中在学术和工业中心建，并通过生物铸造厂等当地的基础设施得以实现。

2017-2022 年，英国工程生物学公司总共筹集了超过 52 亿英镑的资金。在此期间，英国在新成立生物技术初创企业数量和为这些公司提供资金方面领先于其他欧洲国家。同时，英国工程生物学领域的私人投资总额在全球排名第三，仅次于美国和中国。然而，有迹象表明，英国公司可能难以将这些优势转化为知识产权（表 2）。

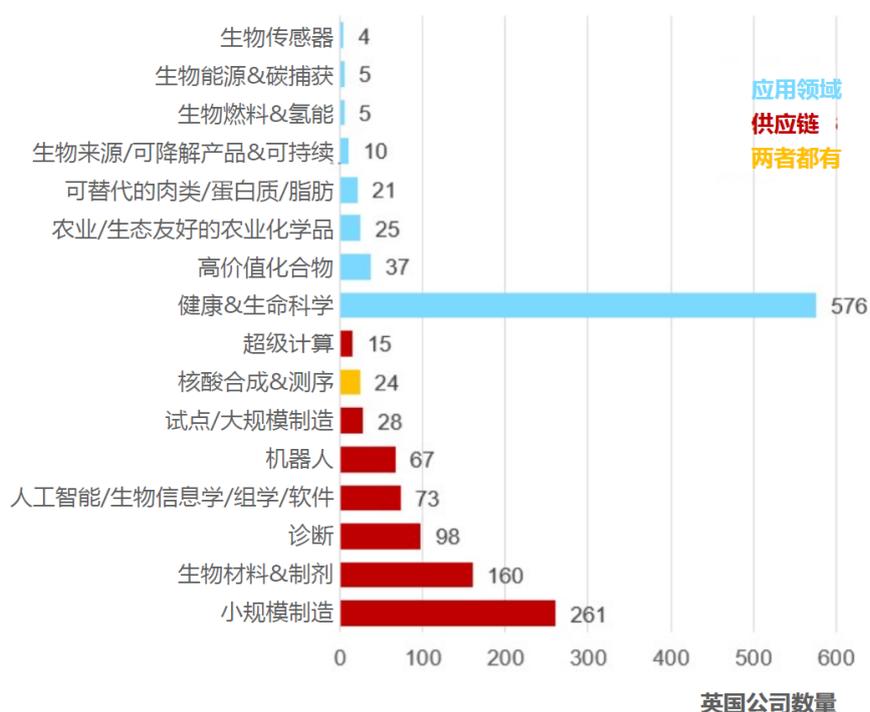


图 2 英国工程生物学企业（2023 年 10 月）

图注：蓝色条代表工程生物学应用领域的子领域，红色条代表作为供应链核心部分的子领域，黄色条代表两者中都存在的子领域。图中信息在图 3 中进行空间映射。英国已经确定并分类了 1162 家工程生物学企业。来源：DSIT 利用数据库开发了实时行业分类。

表 2 按发明人国家划分的工程生物学国际同族专利（IPF）数量（2010-2021）

国家	IPF 数量
美国	42544
日本	11374
中国	9286
德国	7619

韩国	6223
英国	5541
瑞士	4995
法国	4748
荷兰	3997
加拿大	1858

注：国际同族专利（IPF）是指在至少两个机构提交申请的同族专利，是发明活动的良好指标。资料来源：英国 IPO 对 PatentSight 数据的分析。

英国研究界拥有负责任创新文化。2010 年，英国研究与创新署（UKRI）支持了合成生物学对话，指导负责任地开发和使用合成生物学。《生物安全战略》也承诺英国将成为负责任的工程生物学创新的领导者。这些都为负责任的创新奠定了基础，并有望增强公众对技术的信心，使公民能够受益于工程生物学产品。

英国并不是唯一优先支持该领域的国家。美国已承诺 20 亿美元用于生物技术和生物制造。日本的目标是到 2030 年实现“世界上最先进的生物经济”。法国正投入 8 亿欧元开发和生产生物医药。中国最近的五年计划承诺“加快发展”并“增强其生物经济的规模和实力”。欧盟指出“生物技术和生物制造是欧盟工业竞争力和现代化的关键”。

1.5 英国工程生物学愿景

2023 年 7 月，英国政府发布工程生物学领域征询意见文件，旨在收集对该领域的优劣势和发展机遇的建议，已收到来自学术界和产业界的 81 份回复。同时，本报告还补充了工程生物学领导理事会（Engineering Biology Leadership Council）和工业生物技术领导论坛（Industrial Biotech Leadership Forum）的观点，以及首相科学技术委员会的报告和政府首席科学顾问关于监管的建议。

英国政府的愿景是构建一个广泛而充满活力的工程生物学生态系统，可以安全地开发和商业化基于技术和基础科学的机会。其目标是从已有优势中获得最大化的经济价值、安全性、弹性和准备能力，并确保这些为公众带来真正的利益；来实现这一愿景，政府计划在未来 10 年投资 20 亿英镑。

英国的全球服务将是一个向创意、私人投资、人才和贸易开放的工程生物学生态系统。它将以公共投资、支持性基础设施、有利的监管和标准、开放的市场以及负责任和值得信赖的创新文化为基础。

英国政府的作用是帮助这个生态系统中的创新者应对开发、扩展和产品商业化面临的风险。政府将投资基础研究，支持开发下一代技术，从而释放工程生物学的全部经济和社会潜力。同时，政府将支持合作研究与创新，推动研究转化为产品和可行的公司，并与私人投资者共同投资以提供支持。此外，政府还将与公众对话，以监督、协调和监管最终产品的市场准入。为此，政府需要确定关键部门应采取的关键行动，解决确保英国工程生物学世界领先地位所面临的最关键机遇和挑战。

关键的第一步是政府需要最好的专家建议。过去十年里，英国政府得到了工程生物学领导理事会和工业生物学领导论坛的专业支持。随着技术的发展以及英国将制定实施新的行动，有必要将学术和产业整合到一个论坛中。作为实现愿景的优先行动，政府将整合咨询渠道，成立一个汇集了学术界、初创企业界和行业界的工程生物学指导小组 (Engineering Biology Steering Group)，其成员将充分反映英国在工程生物学领域的优势、机会，以及分布情况 (图 3)，并与生物安全领导理事会 (Biosecurity Leadership Council) 并行运作。

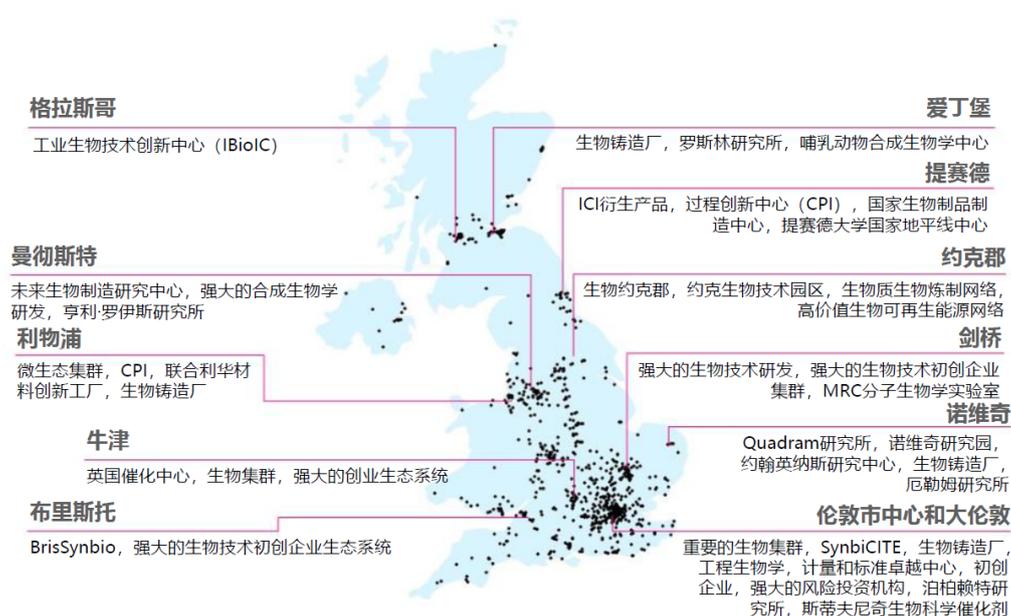


图 3 英国的关键创新集群 (例举)

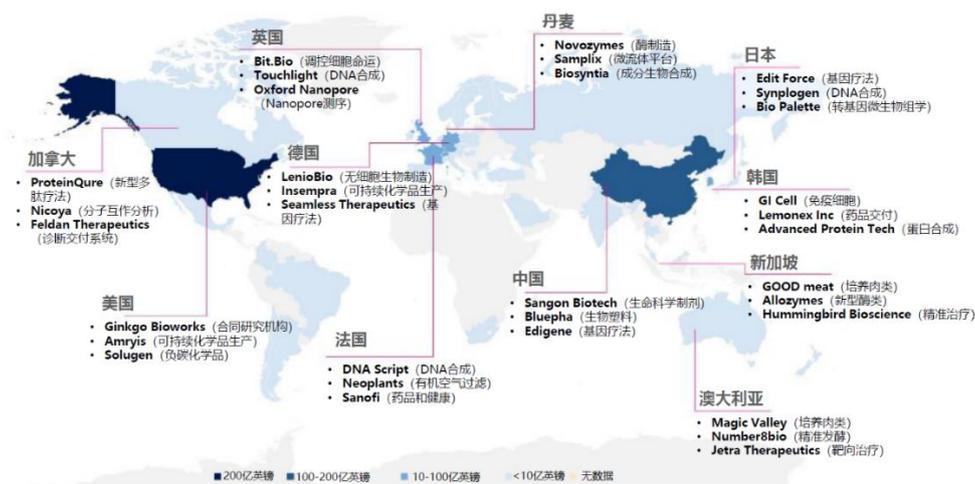


图 4 重点关注的工程生物学公司（例举）（2017-2022）

数据来源：Go Science 利用 PitchBook 数据开发的关键词搜索。

2. 世界领先的研发

英国工程生物学的领导地位建立在数十年的大胆发现和科学专业知识上。医学研究理事会（MRC）分子生物学实验室对遗传密码进行了重新编程，以纳入新的氨基酸，增加了工程生物学的潜力。基因合成公司 Evonetix 已经研发出台式合成设备，使合成技术更易获得。Touchlight 开发了一种更清洁和环保的 DNA 生物电池，可以显著优于锂电池。

2012 年，英国政府的“合成生物学促进生长计划”向 6 个合成生物学研究中心提供了 7000 万英镑，并通过 UKRI 开展了进一步投资，包括国防科学技术实验室、Defra 的未来农业创新计划和生命科学办公室的新型疫苗计划。

支持基础研究和开发是英国工程生物学政策的重要组成部分，确保了英国科学家在创造和新技术应用方面的领先地位，包括通过与人工智能等其他技术的融合。全新的工程生物学工具源于人们对如何快速、准确和具有成本效益地构建 DNA 序列并预测它们编码的蛋白质功能的理解。随着这些工具变得越来越复杂，它们激发的应用也会越来越复杂。为此，英国政府将投资 7300 万英镑用于工程生物学任务和中心以支持研究，推动新的应用并应对全球挑战。为了更加明确下一步行动，政府发起了广泛的调研，征询该领域的技术机遇和挑战，以及英国在工程生物学及其应用方面的优劣势。

信息框 1 布里斯托

布里斯托拥有蓬勃发展的工程生物学生态系统，这这样是由布里斯托大学、UKRI 和布里斯托创新基础设施的战略融合所推动的。

2000 年代后期以来，布里斯托工程生物学社区一直得到 UKRI 支持，包括建立了英国 6 个合成生物学研究中心之一的 BrisSynBio 和牛津-华威-布里斯托合成生物学博士培训中心。同时，布里斯托大学还支持建立了布里斯托生物设计研究所和马克斯普朗克-布里斯托最小生物学中心。BrisSynBio 提供的尖端设施为 50 名学者和 60 名博士后研究人员提供了支持，并发表了 400 多篇论文。

布里斯托工程生物学社区是创业集群，高校的一些研究和技术已被分拆成解决医疗保健、食品安全和工业生物技术领域全球挑战的公司。布里斯托大学的 8 家分拆公司总共筹集了超过 1800 万英镑，雇用了 55 名员工。

布里斯托当地的生物经济也在蓬勃发展。Science Creates 生态系统包括：2 个先进的深科技孵化器，有 41 家初创企业将其作为总部；风险投资基金 SCVC；以及激励未来科学家和企业家的 STEM 外展慈善机构。2023 年，Science Creates 生态系统的总增加值（GVA）超过 1.25 亿英镑，在英国拥有 370 名员工；同时与 UKRI 合作启动了全英国范围的首个工程生物学加速器计划。

2.1 调研的结果

工程生物学、人工智能（AI）、生物信息学和自动化的融合已经成为科学和技术进步的重要领域。这些融合技术用于分子预测和设计、计算机设计以及了解细胞行为，把工程生物学衍生产品从“发明到商业化”的时间缩短到 5 年以内。

数据协调（data harmonisation）将是这一变化的关键推动因素。蛋白质结构的标准化使 DeepMind 能够开发出预测蛋白质结构的 AI 系统——AlphaFold。受访者认为，如果能够实现蛋白质功能、转录、生物化学、代谢组学、发酵、生命周期和技术经济分析数据的标准化，就有可能取得飞跃式的进展。因此，受访者提出，需要确认和验证工程生物学中使用的人工智能模型，并指出需要考虑人工智能的伦理问题。同时，工程生物学相关的工具也将得到进一步发展，推动对新型和复杂生物系统的理解。这些新工具将更加灵活，适用于多种实验室场景，并且能够针对更复杂的性状和特定组织。

有证据表明，英国在基础研究方面具有显著优势，且有高度的跨学科性。1/4 的受访者提到了英国具有领先的研究机构和科研人员。英国的工程生物学产业更

加完善，这种优势需要维持甚至加强。英国也具有一定的国际影响力，英国学者在全球生物铸造联盟（GBA）和美国工程生物学研究联盟（EBRC）等国际组织中占据重要地位。

信息框 2 爱丁堡基因铸造厂

爱丁堡基因组铸造厂（EGF）是世界级的设施，是通过合成生物学增长促进计划的资助建立的，旨在为学术界和工业界提供基因结构的端到端设计、构建和验证。EGF 是世界上自动化程度最高的 DNA 组装平台之一，因此对于重复性任务来说，是可靠、高通量和具有成本效益的。EGF 是 GBA 的 35 个成员之一，也是 5 个英国成员之一，同时，它还是国际基因合成联盟的成员。其核心员工和运营成本由爱丁堡大学提供。

EGF 提供的服务包括了工程生物学领域的基础领域，例如 DNA 构建体的模块化组装。这些结构使生物体具有新的功能，例如对于干细胞进行编程、用于个性化医疗、疫苗开发、基因疗法（包括基于病毒载体）和活体生物传感器，以及产生高价值分子的微生物代谢工程。

EGF 是欧洲唯一运营布鲁克细胞分析信标系统的学术机构，该系统是通过英国生物技术与生物科学研究理事会（BBSRC）资助获得的。这种高通量自动化细胞选择平台允许单细胞克隆、分析和生长，并具有美国食品和药品管理局（FDA）批准的、经验证的克隆来源。EGF 为学术界和工业界提供了该平台的开放访问。工作流程包括细胞系开发、抗体发现和单细胞转录组学。EGF 为研究人员提供有关如何使用该设备来加速研发工作的培训。EGF 还开发了自己的 DNA 设计、实验室自动化和合成生物学软件，可以在全球范围开放获取或开源使用。

受访者认为，研发投资是科学与技术框架内的关键和重点，政府需要继续支持基础研究，同时，需要长期的资金支持才能保持相关研究的进步和发展。

2.2 将采取的措施

英国计划将公共投资用于世界级的研发活动，以应对关键挑战和推动基础研究，实现创新突破和创造新产品。同时，也将继续支持基础研究和下游创新，加强对 DNA 序列编写和预测功能的研究。

英国计划在未来 10 年内在工程生物学领域投资 20 亿英镑，这笔资金将用于应对征询收集受访者意见后确定的挑战，也会考虑在支持基础研究与支持应用转化之间的平衡，同时还将推动多学科研究。这些研究将受益于人工智能/机器学习和自动化等领域的融合。2023 年，英国政府设立“人工智能生命科学加速器任务”（AI Life Sciences Accelerator Mission），并投入 1 亿英镑的基金，旨在促

进学术界、企业界和国家医疗服务体系 (NHS) 的合作, 推动人工智能在生命科学领域的应用。政府也将继续在国家工程生物学计划下进行研发投资。

英国也非常重视工程生物学领域的国际合作。2018-2022 年, 65% 的英国工程生物学领域论文与至少 1 位非英国作者合作 (表 3)。近期, 英国生物技术与生物科学研究理事会 (BBSRC) 出资 105 万英镑支持英国和日本的 7 个合成生物学合作研究项目。2015 年以来, 已经有 1150 万英镑用于支持与美国的合作研究项目。BBSRC 与美国国家科学基金会 (NSF) 保持着持续的合作关系。英国政府也将继续在全球各地建立联系, 包括与地平线欧洲 (Horizon Europe) 的合作, 创建真正的全球伙伴关系网络。

表 3 工程生物学领域论文排名前 10 位的国家的国际合作情况 (2018-2022)

国家	论文百分比 (%)
英国	65.3
西班牙	58.7
德国	54.0
意大利	53.8
韩国	46.2
美国	41.2
日本	41.0
印度	29.7
伊朗	29.7
中国	28.6

数据来源: DSIT 利用 Go Science 开发的关键词搜索并对 SciVal 数据进行分析。

3. 基础设施

大规模种植修饰的生物体和制造工程生物衍生产品需要专业的基础设施, 包括实验室空间和工具、发酵和培养设施, 以及下游加工设备。英国工程生物学生态系统的发展为这些设施创造了更大的需求, 这一趋势将持续下去。

科学家、技术人员或工程师的目标是应用创新并将其推向市场, 他们需要与从事基础研究的人员不同的能力。在早期开发阶段, 需要使用专业设施来测试新工具或产品是否可以在最小规模下工作。这些设施需要跟上最新的创新步伐, 保持高效的产品开发周期。一旦创新者展示了概念验证, 公司就需要扩大规模的设施, 以证明产品可以大规模生产, 这对吸引投资至关重要。在许多情况下, 他们需要使用生物加工 (从生物体中生产产品) 和生物精炼 (从生物质中分离和纯化

有机产品) 的设施。这些基础设施大多超出了中小型企业的能力范围, 导致他们进入“死亡之谷”, 尽管他们已经证明其产品可以在中试规模生产, 但他们无法获得将其投入大规模生产所需的资金支持。因此, 许多公司经常寻求开放访问设施, 以避免承担建立试点基础设施的高昂成本。

合成生物学增长促进计划在英国成功建立了实验室规模的工程生物学基础设施, 但随着英国工程生物学生态系统的进一步发展, 需要通过进一步资本投资来填补出现的空白, 且填补这些空白的解决方案必须考虑中小企业可以承受的运行成本。全球都面临这样的挑战。美国国防部将在 5 年内投资 10 亿美元用于国内生物制造基础设施“促进美国创新者建立国内生物工业制造基地”。韩国也宣布计划建立国家生物铸造厂。

3.1 调研的结果

本次调研征询了对英国实现工程生物学全套能力的见解, 包括小规模、中试规模和大规模制造。2/5 的受访者强调, 英国缺乏低于制药水平的生物制造设施。这导致公司不得不使用“过度设计”的设备, 这些设备昂贵, 超出了实际需求, 进而引发不必要的设施竞争。尽管现有机构提供了宝贵的设施和基础设施, 但往往缺乏一些必要的设备和/或过于昂贵。寻找食品级设施尤其困难, 特别是容量超过 20,000 升的发酵罐和生物反应器。就工厂而言, 还需要大面积的合适土地。

受访者希望获得有关现有各种设施和设备的更详细和可访问的信息, 例如, 有详细说明供应商、能力和价格的目录清单。从业人员也会访问海外设施, 中小企业则在海外进行试点或概念验证。为了发展工程生物学生态系统并支持下一代企业的长期发展, 英国需要填补基础设施的一些空白。

此外, 调研还显示, 单一的大型设施将难以满足行业的需求。中试规模上容纳各种工艺和产品对任何一个设施来说都是巨大挑战。许多从业人员更希望将这些特定技术要求的基础设施分布在英国各地。受访者呼吁建立本地化中心, 建议将其与现有的生物铸造厂和产业集群联系起来。除了提供工程生物学衍生产品所需的一系列基础设施外, 企业还需要访问计算和机器人平台, 以实现高通量生产和自动化。同时, 数据基础设施也非常重要。访问高质量、标准化的数据将极大提高工具和产品开发的效率和有效性。此外, 需要增加能够运行和维护各种规模设备的技术人员的数量, 并为此类活动提供可持续的长期资金。

3.2 将采取的措施

英国将利用现有基础设施降低工程生物学创新的早期阶段及其规模化过程中的成本，需要有具备足够的专业知识和能力。通过这种方式，英国企业将在向全球市场扩张时保持其本土根基。

英国将制定支持实验室规模和中试规模创新的计划，探索一系列可以提高可及性的公共和私人资助模式，并考虑如何创建有韧性的供应链，以降低生态系统中的成本、时间和复杂性。同时，还将考虑开放访问设施的分布式和集中式模型的优缺点。分布式网络可以使未来的基础设施能力与英国学术和工业集群内的专业保持一致，还可以利用需求不断增长的国内原料的分配；更加集中的模式将聚集专业知识，并达到可能吸引监管机构和投资者的规模。英国将从海外案例中吸取经验，包括 BioBase Europe（比利时）和 BioMADE（美国）。英国政府还将了解如何使现有设施更具相关性、可访问性和可发现性，例如 Defra 与新的农业技术公司 Catapult 合作，合并了 3 个农业技术中心从而发现新的机会并推动创新。同时，政府将确保即将出台的《国家研究基础设施计划》能够满足工程生物学生态系统的需求。

信息框 3 工艺创新中心

英国扩大生物工艺规模的旗舰设施是工艺创新中心（CPI），该中心 2023 年在威尔顿开设了一家开创性的新型食品工厂。CPI 在一系列行业中运作，对于工程生物学而言它支持菌株和生物过程开发、建模和模拟，过程工程设计和下游加工，其中试和演示规模设施范围从 1 毫升到 10,000 升不等，包括一些气体发酵的能力。

HydRegen 是牛津大学的衍生公司，致力于开发提高化学制造的可持续性的生物技术，该公司在工业生物技术催化剂（Industrial Biotechnology Catalyst）资助的学术转化项目中使用了 CPI。该项目旨在通过解决技术和商业风险，将生物技术从学术示范转变为商业可行性。开发可扩展且具有成本效益的酶生产策略是当时最重要的挑战之一。

与 CPI 富有成效的合作对于验证 HydRegen 的酶生产各方面至关重要，也是组建分拆公司和获得私人投资的基础。HydRegen 继续通过创新英国（Innovative UK）资助的项目与 CPI 密切合作，为内部研发提供材料，并继续改进和扩大酶生产。

通过英国政府的科学、贸易和技术网络，与 UKRI、外交、联邦和发展办公室（FCDO）以及商业和贸易部（DBT）合作，密切关注全球工程生物学基础设施的发展。在适当的情况下，英国将支持利益相关者发展海外关系，通过这些关

系，以便获取海外的能力和专业知识。例如，通过科学与创新网络提供来自世界各地的见解，并组织实地考察、实况调查团、社交活动等。

4. 人才和技能

人才和技能是英国科学技术框架的优先事项。人才是指英国需要吸引和留住的、有影响力的个人。技能是指劳动力所需的科学、技术或创业能力。

英国的生物经济需要具有科学、技术和创业技能的劳动力来支持研究、产品开发和商业化。将研究成果转化为商业上可行的产品需要技术娴熟的人员，如工艺工程师和发酵科学家，他们能够设计、维护和操作生产设施。成功的企业还需要能够处理融资、投资和营销的人员。要释放英国工程生物学生态系统的全部潜力，需要储备各个水平和经验层次的人才，包括早期职业学徒到杰出的科学家。

其他国家也在积极投资工程生物学领域的人才。美国国立卫生研究院 (NIH) 正在扩大一项生物技术创业计划——I-Corps 计划；美国农业部 (USDA) 已经宣布投资 6800 万美元用于培训下一代研究和教育专业人员。加拿大政府在生命科学领域投资了 9200 万加元，以支持相关企业的创建、扩大规模和培训。

因此，英国政府认识到，需要建立一个敏捷且反应灵敏的工程生物学技能系统。英国拥有丰富的科学人才和工程生物学领域的创业文化，需要了解如何利用这些优势，以开发、扩展和商业化工程生物学衍生产品的技术和非技术技能，以及各种支持机制和技能计划的运作情况。

4.1 调研的结果

调研结果显示，“人才和技能”是学术界和产业的第二要务。调研要求受访者提出开发、扩展和商业化工程生物学衍生产品需要的关键技术和非技术技能，没有询问这些技能目前在劳动力中的可用性。如表 4 所示，41% 的受访者表示基础生物学知识和实践专业知识是工程生物学的关键；92% 的人提到了至少一项跨学科技能，如分析、商业、计算、人工智能/机器学习和自动化；32% 的受访者提出跨学科沟通和协作的重要性。其中提到与规模扩大相关的技能包括发酵科学和生物工艺专业知识。

表 4 调研结果中提及的技能频率（按技能类型分组）

科学研究	科学：提及技能的频率
药物开发/发现	1%

检测方法开发	2%
食品科学	4%
生物物理学/物理学	6%
数学	6%
工程	11%
化学	19%
人工智能/机器学习	19%
发酵	19%
分析能力	20%
计算能力	25%
基础生物学/分子生物学	41%
创业	
	创业：提及技能的频率
决策	1%
产品开发	4%
金融	9%
管理	12%
法律	14%
监管	15%
商业	20%
专业技术	
	技术：提及技能的频率
下游加工专业知识	9%
机器人和自动化	10%
生命周期分析和可持续发展专业知识	10%
工艺/工厂工程	10%
生物工艺专业知识	17%
其他	
	其他：提及技能的频率
道德/社会责任	7%
沟通和协作能力	32%

调研结果显示，英国拥有世界一流的大学和博士课程，工业生物技术和生物

能源网络以及 SynbiCITE（知识和创新中心）等举措为早期职业研究人员提供了极好的支持。然而，英国对处于职业中后期的研究人员支持不足，例如，工资较低（特别是在学术界），难以获得资金和短期研究合同，这都可能导致研究人员的工作保障较差。此外，大多数受访者认为，应该为创业技能提供更多支持。尽管英国已经有相关的创业技能培训计划，例如大学研究创新商业化（ICURe）和知识转移伙伴关系，但一些受访者建议，应更多地关注博士的创业精神，因为早期的职业研究人员往往是创新者。

多数受访者认为，对实验室技术人员的职业支持不足，并指出学术界和产业界都面临实验室技术人员断缺的问题。此外，熟练的生物工艺专家供不应求，无法满足行业对生物工艺设施和设备的设计、操作和维护方面的要求。从初级技术人员到能够设计和建造生物制造工厂的工程师，技术技能在各个层面都呈现供不应求的状态。为了解决这一问题，学徒制被认为是一种有效的方式，可以帮助缓解大学毕业生群体在技术技能方面的不足。

4.2 将采取的措施

工程生物学是多学科的，这带来了复杂的培训和技能挑战。英国将建立人才库以发展和留住多元化人才，满足学术界和产业界的需求。英国已经采取了一些支持人才管道的举措，包括自 2018 年来资助总计 670 万英镑用于建立细胞和基因治疗催化剂的先进疗法学徒社区（ATAC）、先进疗法技能培训网络（ATSTN）；2023 年 5 月，投入 650 万英镑用于加强药品生产技能生态系统。目前，英国政府已经启动了 2 亿英镑的发现奖学金（Discovery Fellowship），旨在资助和支持优先科学和技术领域的新兴顶尖人才在英国进行开创性研究，其中包括工程生物学研究。英国政府还将总结合成生物学增长促进计划的经验，UKRI 也强调了在当前博士培训中心资助支持工程生物学愿景的重要性。

英国教育部（DfE）以及学术界和产业界将建立合作伙伴关系，对技能和人才管道以及影响人才流动的因素进行建模，创建一个敏捷且反应灵敏的技能系统，满足国家技术劳动力的需求。此外，还将通过教育部的科技框架计划为人才和技能提供支持，主要包括：

- 支持技术学院（IoTs）网络，资金高达 3 亿英镑，旨在将继续教育提供者、高校和雇主聚集起来，为 STEM（科学、技术、工程和数学）领域

提供更高水平的技术能力培训。

- 继续优先改善计划，用于支持各种规模的企业，特别是中小企业，根据其业务需要，尽可能多地招聘高素质学徒。此外，还将确保相关学徒标准、更高的技术资格和 T Level 的发展，以满足未来的需求。
- 支持现有的举措，例如学生办公室的学位学徒资助竞赛。

信息框 4 工业生物技术创新中心

工业生物技术创新中心 (IBioIC) 是位于苏格兰的网络和支持组织，该组织将工业界、学术界和政府联系起来，将生物技术工艺和产品推向全球市场，并提供人才发展等服务。IBioIC 支持高级国家文凭 (HND)，提供工业生物技术硕士学位，为学生提供工业生物技术理论和实践方面的知识和技能。由斯特拉斯克莱德大学授予的合作理学硕士课程为毕业生提供工业生物技术职业所需的技能和专业知识，涵盖生物加工、合成生物学和生物信息学等主题。IBioIC 还通过直接资助和行业技能培训来支持博士生。此外，IBioIC 还支持合作的行业/学术项目，是欧洲行业主导研究的卓越中心。

英国将更强调企业的支持，例如 ICURe 加速器计划，将企业家、企业高管、新兴企业和投资者联系起来，分享专业知识并交流经验。同时，通过政府间的接触，以及更广泛的科学、贸易和技术外交，英国还将建立与国际伙伴共享的互补技能和知识库。此外，2023 年，英国建立了工程生物学监管机构网络，该网络为行业确定培训机会，从而解决监管技能差距。

信息框 5 大学研究创新商业化

大学研究创新商业化 (ICURe) 是由创新英国 (Innovative UK) 资助，面向拥有潜在商业上可行产品并希望发展创业技能的研究人员。ICURe 旨在解决阻碍学术研究商业化的障碍，为学术研究人员提供资金、商业化培训和建议，探索其研究的商业潜力。

ICURe 已经支持创建了 200 多个分拆公司和 650 多个工作岗位。例如，NanoSyrinx 正在创造下一代生物药物的细胞内递送，并得到了 AbbVie UK Golden Ticket 加速器计划的支持；Erebagen 正在探索微生物在药物发现中的应用，并获得了爱丁堡皇家学会 /BBSRC 企业奖学金和创新英国以及风险投资者的支持。

5. 法规和标准

英国的法规和标准体系必须跟上工程生物学发展的惊人速度。法规和标准是创造健康环境的关键，在这个环境中，工程生物学才能安全地发挥其全部潜力，并为公众和市场提供高质量的产品和安全的信心。

英国在这方面有可能落后于其他国家。例如，新加坡和美国分别是第一个和第二个批准销售人造肉的国家；2022 年，丹麦和德国合作促进欧盟规则的改革，以降低“生物解决方案”面临的商业化障碍。英国需要在促进工程生物学领域的发展与保持高标准的安全性和公众对技术及其应用的信心之间取得平衡。工程生物学的应用方式多种多样，意味着它的使用受到众多监管机构的监管。

5.1 调研的结果

英国的监管体系完全有能力成为工程生物学监管的领导者，在法规和标准方面持续创新，包括 2023 年批准的《基因技术（精准育种）法案》。

新产品的监管途径通常复杂，难以理解或尚未建立。企业需要监管机构的支持来理解和满足相应的监管要求。1/4 的受访者认为，英国仍在欧盟的“预防心态”下工作，而不是更关注创新和增长。他们敦促政府利用脱欧后的监管自由采用更有利于创新的法规。此外，调研结果还显示，英国的国家质量基础设施(NQI)为企业和消费者提供了对标准编写和实施的信心，工程生物学标准对于支持扩大规模和商业化非常重要。

5.2 将采取的措施

英国的监管环境应该有助于工程生物学衍生产品进入市场。法规应清晰、适当，并支持创新，同时保持较高的消费者安全标准。英国在 2023 年建立了工程生物学监管机构网络 (EBRN)，旨在为监管机构之间的合作、知识和最佳实践共享以及地平线扫描提供机会。通过工程生物学监管机构网络，英国监管机构和工程生物学界之间建立紧密联系，以推动适当的监管改革的发展。首要任务是为工程生物学衍生产品目前的监管方式制定路线图。政府将向 EBRN 提供了 500 万英镑，用于启动工程生物学监管沙盒，并通过 EBRN 建立 3-5 个沙盒，允许对产品的质量和安全性进行循证分析。同时，在政府首席科学顾问对生命科学促进创新监管进行审查后，将委托监管视野委员会在现有工作基础上，详细说明工程生物学特有的监管问题。这项活动将进一步补充完善政府的“更智能的监管计划”。

英国科技外交官网络将关注全球监管环境，并在适当的情况下在英国与国际监管机构之间建立联系，确保英国监管机构了解其他国家的发展情况，并能够实施全球最佳实践。英国也是相关国际协议的缔约国。合成生物学是《生物多样性公约》会议的常设议程项目，政府积极参与可能影响工程生物学产品的国际讨论。

信息框 6 聚焦细胞培养的蛋白质

许多受访者，特别是来自食品和农业部门的受访者，强调了英国成为细胞培养蛋白质（CCP）全球领导者的机遇。在这个新兴行业中，从 Ivy Farm、Enough 和 Hoxton Farm 等最终产品的生产商到 Extracelle 和 MarraBio 等平台，整个供应链上都在英国。然而，由于监管限制，产品无法进入市场，该行业也将面临被扼杀的风险。

英国政府也正在与监管机构探讨各种方案，用于消除该行业的障碍。食品标准局（FSA）正在考虑对包括新型食品在内的受管制产品框架进行战略性监管改革，并已经完成了对新型食品监管框架的审查。

标准也是加速创新的关键。英国致力于引领责任和公平标准的制定。英国国家物理实验室（NPL）和国家测量实验室（NML）正在推动改进工程生物学计量学。此外，英国还将与国际合作伙伴合作，支持全球标准的采用。

信息框 7 英国国家物理实验室

英国国家物理实验室（NPL）与英国其他测量机构合作领导工程生物学计量学和标准的发展，构成了国家测量系统。NPL 与帝国理工学院的 SynbiCITE 建立了工程生物学、计量学和标准中心，该中心由政府的工业战略挑战基金资助。

该中心通过提供参考测量和标准来支持英国合成生物学，以提高对产品和技术的制造和采用。例如，中心已经验证了合成 DNA 或疫苗的性能属性；确定了生物计算机中细胞内递送或处理的功效；评估了新型抗生素筛选平台的性能。通过行业参与，中心已经认识到需要国家工程生物学计量能力，作为现有和新兴技术的最高参考点。

6. 经济中的工程生物学

工程生物学通常需要大量的资本投资，以支持概念验证的试点制造能力的建立和运营，以及大规模制造设施的发展。利益相关者指出，缺乏商业融资的渠道是产业增长的常见障碍，阻碍了企业建立自己的生物制造工厂或使用开放的设施。此外，企业寻找大客户的能力往往取决于吸引投资的能力。可靠的盈利途径是投资者在决定支持一家公司时考虑的关键因素，与大客户建立关系是证明这种可信度的重要方式。同时，潜在客户需要确保中小企业能够按照约定的质量和数量交付产品，因此需要进行重大资本投资。所有这些因素都形成了负面的循环。

政府应支持英国的工程生物学企业吸引金融投资者和客户。这需要在技术中立的商业融资计划基础上进行建设，例如通过英国商业银行和创新英国提供的计划，同时确保企业能够安全获取外国投资来源。

6.1 调研的结果

对于英国的工程生物学企业来说，大规模的交易最具挑战性。几乎一半的企业将融资列为科技框架的首要任务。在专家咨询时，本报告提供了交易规模的标准，要求受访者将其作为参考点，但并非所有受访者都认为该标准有帮助，尽管如此，超过一半的 A 轮/B 轮 (>500 万英镑) 被认为“非常具有挑战性” (图 4)。这也说明国际投资是英国工程生物学企业增长的重要推动力。

调研结果中关于早期融资轮次的观点不太一致。大部分受访者认为，当基础创新得到证实后，在英国是可以获得种子资金的，但有大约 1/4 的受访者认为，< 200 万英镑的交易规模还是“非常具有挑战性”。同时，也有人指出，英国缺乏在工程生物学及其应用方面具有专业知识的投资者。

调研结果显示，企业更接受中小企业与大公司结合或合作的方式。受访者表示，中小企业和学术界需要了解行业面临的主要挑战，并相应地调整他们的创新和产品。他们需要更深入地了解 3 个问题：市场和客户需求、其产品使用所需的消费者行为变化，以及供应链和运营。中小企业与大公司合作的障碍包括使用的技术语言不同、对时间框架的期望不同、价值观和工作方式的差异，以及中小企业可能更多被要求担任工业顾问而不是能够开发自己的产品等。

英国企业同时也在寻求海外投资和客户。有的企业将业务发展、研发、基础设施投资以及最终公开市场上市逐步转移到海外，特别是美国。这一趋势还受到其他地方监管改革的推动，这些改革为新型食品等创造了新市场。

6.2 将采取的措施

英国将培养一批投资者和客户，他们非常了解工程生物学的经济潜力以及英国的企业和创业人才，特别是健康领域之外的应用。英国还将帮助企业了解潜在客户的优先事项和要求，确保他们从产品设计阶段就能满足市场需求，以吸引商业融资。

英国商业和贸易部 (DBT) 计划 2024 年举办展示会，突出英国在工程生物学领域的领导地位，帮助英国企业与主要客户和投资者沟通交流，这也有助于加强工程生物学价值链内关于利用技术挑战与机遇的对话。同时，DBT 将协调国际投资，以负责任和值得信赖的创新和开放市场文化为基础，凸显英国工程生物学生态系统的全球创意、投资、人才和贸易开放。

英国政府推出了更广泛的支持措施，以使英国投资界更具竞争力。2023 年，Mansion House 的改革使英国最大的固定缴款养老基金承诺实现投资非上市股票的目标。此外，技术和科学长期投资 (LIFTS) 旨在动员机构对英国科技公司的投资。同时，英国还将启动一项新的奖学金计划。这些政策旨在实现科学和技术框架中规定的目标，改善对创新企业的资助。

英国还将考虑如何让投资者对工程生物学及其近期商业潜力有更多的了解和更大的信心。除了确保英国建立一个允许工程生物学生产品进入市场的监管环境外，还可能涉及更明确的技术和商业里程碑，帮助投资者更准确地判断工程生物学企业的成熟度。同时，为了帮助企业的创新成果被客户采纳，DSIT 将继续与政府团队密切合作，提高政府部门对工程生物学对行业变革潜力的理解。

信息框 8 SynBioVen

SynBioVen (SBV) 于 2022 年由 Winton Capital 投资 2000 万英镑建立。它作为一种新的投资工具，专注于通过概念验证、种子前和种子资金支持下一代英国合成生物学科学家、创始人和初创企业。SBV 与位于帝国理工学院的 SynbiCITE 建立了战略合作伙伴关系，将在 5 年内（从 2022 年开始）每年向 SynbiCITE 投资超过 100 万英镑，资助其研究设施，包括伦敦生物铸造厂、商业教育计划，维持有前途的英国合成生物学初创企业和中小企业网络。SBV 投资战略的关键是与科学家和生物工程师密切合作，利用科学家的技术可行性评估，开发合成生物学的具体应用，特别关注投资具有明确使命的英国企业。

到目前为止，SBV 已经支持了 8 家处于不同阶段的英国合成生物学中小企业。2022 年，SBV 为 Colorifix 公司提供种子资金，这是一家开发纺织品环保染料的公司。SBV 还投资了 Multus Biotechnology 公司的 A 轮融资，Multus 利用这笔资金在英国建立了生产工厂，以加速人造肉行业的发展。2023 年，SBV 为 Resurrect Bio 提供了种子资金，这家企业旨在通过遗传工具重新激活作物对疾病的自然防御机制，从而彻底改变农业。

如果英国企业希望扩大海外业务，或吸引变革性的外国投资，应与贸易、技术和科学外交官网络合作，寻找机会。此外，政府将能够通过利用 DBT 在全球市场的国际贸易顾问和团队网络、出口学院和英国出口融资来支持企业。英国与战略伙伴的自由贸易协定中的创新章节，将使英国能够及早发现并以互利的方式解决意外出现的贸易壁垒。

7. 负责任、守信的创新

未来几年,越来越多的工程生物学产品将进入市场。工程生物学生态系统和负责任的创新文化将有助于赢得公众和消费者的信任,解决某些应用可能引发的社会和伦理问题。对工程生物学衍生产品的广泛信心将反过来吸引更多的企业、人才和投资。

负责任和值得信赖的创新旨在避免工程生物学的意外的负面影响,并充分实现研究和创新的积极社会和经济效益。为了实现这一目标,英国必须降低生物安全风险,利用责任文化建立安全可靠的生态系统。同时,英国还鼓励进行公众对话,以缓减公众对技术的担忧,并提供技术的解释,推动技术的广泛应用和接受。

7.1 负责任创新的全球领导者

工程生物学的进步有望带来更好、更快的治疗,更可持续的能源,以及更安全的粮食系统,但与其他新兴技术一样,它也带来了管理的新风险。由于融合工具和技术的发展、知识和专业知识的增加以及市场准入门槛的降低,工程生物学的风险正在发生变化。因此,英国需要建立一个工程生物学生态系统。在这个生态系统中,利益相关者需要意识到这些风险以及政府为减轻这些风险而采取的干

信息框 9 聚焦生物安全战略

2023 年,英国发布了一项生物安全战略,阐述了将如何抵御一系列生物威胁,承诺英国将成为工程生物学负责任创新的世界领导者。该战略概述了英国应对生物风险的 4 大支柱:

- 了解英国目前面临的和未来可能面临的生物风险。
- 防止生物风险出现(在可能的情况下)或威胁英国和英国的利益。
- 在生物风险出现时尽可能早、可靠地检测、表征和报告生物风险。
- 应对已经触及英国或英国利益的生物风险,以减轻其影响并迅速恢复正常业务。

为了抵御各种生物威胁并成为创新领域的世界领导者,《生物安全战略》包含一系列新承诺,包括:

- 启动实时生物威胁雷达,在威胁和风险出现时对其进行监控
- 设立一名专门负责生物安全战略的部长,定期向议会报告
- 定期开展国内和国际演习
- 创建英国生物安全领导理事会,与本地的企业和组织合作

为了实现这一目标,英国政府正在与英国工业界、学术界和国际合作伙伴密切合作,创建安全、可靠和有韧性的环境,使生物技术和生命科学蓬勃发展。

预措施，并采取负责任的行动。

同时，英国政府正在从人工智能等其他新兴技术中吸取教训。在英国举行的 2023 年人工智能安全峰会表明，要享受新兴技术的好处，也必须了解和管理可能的风险。根据英国生物安全战略目标，到 2030 年，英国将成为负责任创新的世界领导者，确保英国从生物科学和生物技术进步中获得经济、健康和社会价值，同时防止潜在的滥用。

英国已立法保护公众免受意外或故意滥用工程生物学的影响，具体措施包括：

- 2002 年有害健康物质控制条例 (COSHH)，监管人类病原体的生物制剂
- 2014 年转基因生物 (封闭使用) 条例，监管转基因微生物
- 特定动物病原体令 (SAPO)，监管非英国特有的动物病原体
- 动物病原体进口令 (IAPO)，监管向英国进口的动物病原体
- 2001 年《反恐怖主义、犯罪和安全法》(ATCSA 2001) 第 7 部分对高校和科学研究实验室等场所获取、储存和处理某些病原体和毒素做了规定。

除立法外，英国还制定了促进和加强负责任创新的指导方针和标准：

- 工程与物理科学研究理事会 (EPSRC) 提出的预测、反思、参与、行动 (AREA) 框架，为英国学者提供了原则，帮助他们实施并遵循负责任的研究与创新 (RRI)。
- 创新英国的 PAS 440 (2020 负责任创新指南) 标准指导行业以负责任的方式开发新产品、流程或服务。
- 英国国家保护安全局 (NPSA) 的可信研究指南，帮助英国学术界和企业应对潜在的安全风险。
- 2023 年 10 月，NPSA 发布安全创新指南，其中一些建议可以帮助初创企业和分拆公司保护其创新、建立安全实践并保持竞争优势。

2023 年，英国成立的英国生物安全领导理事会 (BLC)，汇集了来自生命科学和生物技术领域的学者、行业人士与政府官员。BLC 就新出现的生物安全风险以及如何开展负责任行为提供建议。英国通过 BLC 确定了负责任创新政策的优先事项，主要包括：基因合成筛选，工程生物学与新兴技术 (如人工智能、自动化和网络生物安全) 的融合，安全创新文化，生物数据安全，地平线扫描。

除了学习和展示最佳实践，国际合作对于促进和嵌入负责任的创新文化至关

重要。英国也将在不损害自由贸易和开放市场的情况下保护国家安全。英国正在与合作伙伴合作，利用在多边体系中的影响力，参与制定国际规范和标准。

7.2 发展公众信赖的技术

与任何新兴技术一样，公众需要了解工程生物学将用于什么用途，如何使公众在其中获益，以及如何减轻潜在危害。从某种意义上说，消费者对工程生物学的预期接受程度因应用领域和用途而异。消费者的接受度来自对工程生物学衍生产品的熟悉程度，这些产品在不牺牲消费者安全的情况下达到（或超过）现有产品的质量或价格。

为了预防工程生物学出现类似转基因的问题，受访者建议应积极了解并应对潜在的问题，消除误解和错误信息，有效传达技术的益处，并明确相关的安全性问题。

英国在负责任的研究与创新方面具有显著优势，特别是 EPSRC 的 AREA 框架以及 BBSRC 2010 年的合成生物学对话，都起到了积极作用。英国的监管机构、研究机构和慈善机构都深受公众的信任。

受访者指出了政府、工业界和学术界的不同角色。政府可以通过有效的监管和关于如何做出部署工程生物学决策的沟通来建立对工程生物学的信任。工业界可以熟悉工程生物学衍生产品，也可以参与 RRI。学术界可以成为评估工程生物学安全性和影响的合作伙伴。

英国将保持政府、工业、学术界和公众之间关于工程生物学及其应用的积极、透明和建设性的对话，同时，也将深入了解公众对工程生物学的态度。

8. 结语

英国政府的愿景是构建一个广泛而充满活力的工程生物学生态系统，旨在安全地开发和商业化基于技术和基础科学的众多机遇。英国的目标是通过发挥自身优势，实现经济价值最大化，确保安全和韧性，提高应对挑战的能力，最终为公众创造真正的利益。

英国的全球服务将构建一个对创意、私人投资、人才和贸易开放的工程生物学生态系统，该系统将以公共投资、完善的基础设施、有利的监管和标准、开放的市场，以及负责任和值得信赖的创新文化为基础。

英国的国家愿景提出了一个明确的方向，即支持和发展工程生物学，使英国

能够在负责任地管理其风险的同时获得转化的效益。这是制定详细政策和干预措施的起点，这些政策和干预措施将使英国能够巩固和发展目前的优势。在此过程中，英国也将继续与社区保持联系，同时建立新的工程生物学指导小组。

刘晓 张学博 编译自 DSIT