

## 观点

DOI: 10.12211/2096-8280.2026-014

## 重构碳基未来：一碳生物技术的时代方位与中国选择

李寅

(国家开发投资集团有限公司, 北京 100034)

**摘要:** 一碳生物技术正经历从“发现自然”到“重构自然”的范式跃迁, 其战略价值正在被重新定义——它不再是生物制造的远期选项, 而是重塑碳基工业的底层逻辑、实现碳中和目标的重要路径。中国拥有全球最丰富的一碳生物技术应用场景和最迫切的产业需求, 但“根技术”依赖仍是最大短板。本文提出, 中国应超越“局部突破”的传统思维, 转向创新范式、产业生态、人才生态与话语体系的“系统重构”, 以战略定力抓住全球绿色工业革命的历史机遇, 在碳基未来新格局中占据主动。

**关键词:** 一碳生物技术; 范式跃迁; 系统重构; 碳中和; 工业根基

中图分类号: Q81 文献标志码: A

## C1 Biotechnology: Paradigm Shift, Strategic Choice, and China's Mission

LI Yin

(State Development and Investment Group Co., Ltd., Beijing 100034, China)

**Abstract:** C1 biotechnology is undergoing a paradigm shift - from "discovering nature" to "reconstructing nature" - and its strategic value is being fundamentally redefined. No longer a long-term option for biomanufacturing, it is now emerging as a critical pathway to reshape the fundamental logic of carbon-based industries and achieve carbon

### Reconstructing Carbon-based Future

*C1 Biotechnology: From Discovery to Systemic Reconstruction*

#### PARADIGM SHIFT

From Discovering to  
Reconstructing Nature

#### STRATEGIC VALUE

From Technical Reserve  
to Industrial Foundation

#### CHINA'S CHOICE

From Isolated Breakthroughs  
to Systemic Reconstruction

### Securing a Leading Position in the Global Green Industrial Revolution

收稿日期: XXXX-XX-XX 修回日期: XXXX-XX-XX

引用本文: 李寅. 重构碳基未来: 一碳生物技术的时代方位与中国选择[J]. 合成生物学, 2026, 7. DOI: 10.12211/2096-8280.2026-014

Citation: LI Yin. C1 Biotechnology: Paradigm Shift, Strategic Choice, and China's Mission[J]. Synthetic Biology Journal, 2026, 7. DOI: 10.12211/2096-8280.2026-014

neutrality. China possesses the world's most abundant application scenarios and the most urgent industrial demands, yet its dependence on "root technologies" remains the greatest vulnerability. This article argues that China must move beyond the conventional mindset of "isolated breakthroughs" and instead pursue a systemic reconstruction of its innovation paradigm, industrial ecosystem, talent ecosystem, and standard-setting discourse. With strategic resolve, China can seize the historic opportunity of the global green industrial revolution and secure a leading position in the emerging carbon-based future.

**Keywords:** C1 biotechnology; paradigm shift; systemic reconstruction; carbon neutrality; industrial foundation

一碳生物技术正站在一个历史性的转折点上。它不再仅仅是实验室里探索微生物代谢奥秘的基础科学问题，也不再是合成生物学展示途径设计能力的竞技场——它正在成为重塑碳基工业的底层逻辑、重构人类资源观的战略力量。面对这一趋势，我们需要以更大的时空尺度来思考：这项技术究竟将把生物制造带向何方？中国应当以怎样的姿态参与这场变革？

## 1 技术范式的跃迁：从“发现自然”到“重构自然”

回望一碳生物技术的发展历程，我们可以清晰地看到一条认知跃迁的轨迹。

第一阶段，人类是自然的“观察者”。从发现卡尔文循环到解析 Wood-Ljungdahl 途径，科学家们在追问一个根本问题：微生物如何利用那些最简单的碳分子存活繁衍？这一阶段的答案是敬畏与模仿——我们用天然菌株、天然途径，尝试复现自然已经运行了数十亿年的碳固定过程。

第二阶段，人类开始成为自然的“改进者”。基因工程和基因编辑工具的出现，让我们能够在天然底盘上嫁接异源途径、优化代谢通量。气体发酵的商业化突破是这一阶段的里程碑——它证明了一碳原料可以支撑规模化的工业生物制造。

而今天，我们正在迈入第三阶段：成为自然的“重构者”——不是简单地复制自然，而是在理解其底层逻辑的基础上，重新组织、优化甚至超越自然代谢过程。人工淀粉合成途径的问世传递了一个重要信号：人类已经初步具备了重新设

计碳代谢底层逻辑的能力。当科学家可以将 CO<sub>2</sub> 到淀粉的合成步骤从 60 多步压缩至 11 步，当甲醇到化学品的转化效率逼近甚至超越糖基路线，这意味着我们正在打破数十亿年演化形成的代谢壁垒，开启一扇通向物质合成新范式的大门。

## 2 战略价值的重估：从“技术储备”到“工业根基”

过去很长一段时间，一碳生物技术被视作生物制造的“未来选项”——前景光明，但远水解渴。然而，全球格局的深刻变化正在迫使我们重新评估它的战略权重。

一方面，“原料悖论”正在成为制约生物制造产业发展的刚性约束。中国生物制造 90% 以上的碳源依赖粮食作物，这既是成本问题，更是安全问题。当玉米价格波动牵动整个发酵产业的神经，当“与人争粮”的质疑始终悬在生物制造头顶，一碳原料的规模化利用就不再是锦上添花的技术储备，而是决定产业能否持续扩张的命门。

另一方面，“碳”的属性正在被重新定义。在碳中和的话语体系下，碳不再仅仅是需要减排的污染物，而是需要捕获、利用的资源。一碳生物技术恰好架起了“减排”与“利用”之间的桥梁——它不仅将工业尾气转化为高值产品，更重要的是，它让“碳负性”制造成为可能。当生物质燃烧或发酵产生的 CO<sub>2</sub> 可以被循环利用，当绿氢驱动的 CO<sub>2</sub> 转化能够真正实现净零排放，一碳生物技术就不再只是生物制造的一个分支，而是实现碳中和目标不可或缺的关键技术。

更深层的变革在于产业形态的重构。传统工业是“开采—加工—废弃”的线性模式，而一碳生物技术指向的是“捕集—转化—利用”的循环范式。它让钢铁厂的尾气变成乙醇和蛋白，让热电厂、化工厂的CO<sub>2</sub>未来可能变成可降解材料和航空燃料——这意味着工业部门之间的边界正在模糊，一个跨行业耦合的碳循环经济体系正在萌芽。值得注意的是，一碳生物技术的规模化应用，离不开充足且廉价的清洁能源支撑。随着我国可再生能源装机容量持续攀升，风电、光伏等绿电成本不断下降，为一碳原料的电化学活化与生物转化耦合提供了前所未有的能源保障。将绿电优势转化为一碳生物制造的成本竞争力，是当前需要重点布局的方向。

### 3 中国选择的底层逻辑：从“局部突破”到“系统重构”

面对这一轮技术浪潮，中国的优势与短板同样清晰。

优势在于场景与规模。全球最大的火力发电及钢铁产能、最完整的化工体系、最密集的生物制造产业集群，意味着中国拥有全世界最丰富的一碳原料资源和最迫切的应用需求场景。首钢朗泽的产业化实践已经证明：在中国，一碳生物技术可以从实验室快速走向万吨级装置，这种工程放大能力是任何国家难以比拟的。

短板在于底层与工具。关键工业菌种、高性能酶制剂、核心设计软件——这些决定技术高度的“根技术”，我们与领先水平仍有差距。近年来，我国在基因测序装备、DNA合成服务、AI蛋白结构预测等方向取得了长足进步，部分领域已具备与国际同行同台竞争的能力。然而，这些多点突破尚未形成完整的产业生态。从“点上突破”到“面上主导”，从“技术追赶”到“生态构建”，正是当前需要跨越的关键阶段。

这一格局决定了中国的战略选择必须是“系统重构”，而非“局部突破”。

系统重构的第一层，是创新范式重构。我们需要从“经验试错”走向“数据驱动”。一碳生物

技术的发展正在进入“海量可能性”的阶段——可能的途径组合、可能的酶突变体、可能的工艺参数，已经多到无法靠手工筛选穷尽。这意味着，未来的竞争本质上是数据与算法的竞争：谁拥有更高质量的训练数据、更精准的预测模型、更高效的自动化验证平台，谁就能在“设计—构建—测试—学习”的循环中跑得更快。对中国而言，这不仅是技术问题，更是组织问题——如何打通科研机构与企业之间的数据孤岛，如何构建干湿实验闭环的研发基础设施，如何建立开放共享的工业酶数据库，如何开展低成本高效率地创制菌种资源，都将对打造未来竞争力产生深远影响。

系统重构的第二层，是产业生态重构。一碳生物技术的产业化不是单一环节的突破，而是从菌种、装备到工艺的全链条耦合。大型气体发酵反应器设计、在线监测装备开发、分离纯化工艺优化——每一个环节的短板都会成为整个链条的瓶颈。这意味着，我们需要从“单项技术攻关”转向“成套技术突破”，从“企业单打独斗”转向“产学研用协同”。尤其是在装备领域，国产化替代不仅是成本问题，更是产业安全问题。当万吨级发酵罐设计的核心仿真软件长期由国外产品主导，当关键传感器长期依赖进口，一碳生物技术的产业根基就是脆弱的。

系统重构的第三层，是人才生态重构。任何宏大的技术蓝图，最终都要由人才去实现。一碳生物技术横跨生物学、化学、工程学、计算科学等多个学科，对复合型人才的需求极为迫切。当前，我国在基础研究、技术开发与产业转化之间仍存在人才断层：既懂菌种改造又懂工艺放大的“两栖型”人才稀缺，能够贯通全链条的领军人才更是匮乏。重构人才生态，需要从教育体系入手，打破学科壁垒，探索交叉培养模式；需要从评价机制突破，建立鼓励长周期探索、宽容失败的科研评价体系；更需要打通学术界与产业界的人才双向流动通道，让“懂科学的工程师”和“懂工程的科学家”能够协同创新。唯有如此，才能为这场深刻的工业变革提供源源不断的智力支撑。

系统重构的第四层，是话语体系重构。回顾历史，每一次工业革命都伴随着主导技术范式的更替和规则制定权的转移。一碳生物技术正在成

为全球生物经济竞争的新赛道，而赛道规则的制定才刚刚开始。谁能定义高效的固碳途径？谁能建立通用的评价标准？谁能率先打通国际认证壁垒？这些问题将深刻影响未来十年乃至二十年的产业格局。对中国而言，参与规则制定的前提是拥有话语权——而话语权来自于扎实的基础研究、领先的工程实践和开放的产业生态。

#### 4 结语：碳基未来的中国使命

站在2026年回望，可以清晰地看到一碳生物技术正在经历深刻变革：它正从科学的边缘逐步走向中心，从技术的储备逐步走向产业的萌芽，从单点示范逐步走向多点突破。这场变革的核心驱动力，是人类对碳资源利用方式的根本性反思——从开采地下的化石资源，到利用环境中的流动碳；从单程消耗型碳经济，到循环再生型碳经济。

中国在这个历史节点上的选择至关重要。作为全球最大的碳排放国，我们承担着实现碳中和的艰巨责任；作为全球最大的生物制造国，我们拥有推动产业变革的坚实基础；作为全球最大的工业国，我们具备技术落地的广阔场景；作为可再生能源产业发展最快的国家，我们可为一碳生物技术提供新的赋能路径。把责任、基础与场景结合起来，就构成了一碳生物技术发展的独特优势。

当然，优势不等于胜势。从优势到胜势，需

要清晰的技术路线、系统的战略布局、持续的研发投入和开放的产业生态。更重要的是，需要一种超越短期利益的战略定力——一碳生物技术的真正价值，不在于一年两年内的投资回报，而在于它能否成为支撑未来工业体系的根基技术。

这场变革才刚刚开始。谁能率先突破效率瓶颈，谁能建成规模化的产业体系；谁能掌握关键技术和标准的话语权，谁就能在碳基未来的新格局中占据主动。对中国而言，这不仅是一场技术竞赛，更是一次重塑工业根基的战略机遇。抓住它，我们就可能在全球绿色工业革命中占据一席之地；错过它，我们就只能在别人设定的赛道上跟随奔跑。为此，中国生物工程学会一碳生物技术专业委员会汇聚全国相关专家，组织编制了《中国一碳生物技术发展路线图》，系统回答中国在该领域的战略方位、发展目标与实现路径，为政产学研各界提供决策参考与行动指南——这份路线图将于2026年正式面世。

这就是一碳生物技术带给我们的时代命题，也是我们必须回答的历史之问。



**第一作者及通讯作者：**李寅，国家开发投资集团有限公司首席科学家，中国生物工程学会一碳生物技术专委会主任，中国科学院微生物研究所客座研究员。从事合成生物学与代谢工程研究，发表论文300余篇，获专利30余项。

E-mail: yli@im.ac.cn