

基础化工

合成生物学：其命维新，引领未来

合成生物学是多学科高度融合的结果

合成生物学汇聚并融合了生命科学、工程学和信息科学等诸多学科，在天然产物合成、化学工业、生物能源、生物医药等诸多领域有广泛的应用前景。运用合成生物学的手段实现生产产品产业化主要包含**菌种改造、代谢调控、分离纯化、聚合工艺、应用开发**五个重要环节。合成生物学能够实现对产物的定量可控，其核心在于**运用基因工程手段实现对菌种的改造工艺以及合成途径的精确调控**。

多因素推动合成生物学快速发展，行业进入应用转化落地期

基础研究累积、关键使能技术突破、行业融资率攀新高等因素合力推动合成生物学行业进入市场进入期。全球合成生物学公司可划分为基础层与应用层，基础层公司掌握物体设计与自动化平台、DNA 和 RNA 合成或软件设计等技术，应用层公司核心在于将合成生物学技术应用于医疗保健、工业化学品、生物燃料等产品的开发和市场化领域。我国合成生物产业处于较为早期的阶段，生产企业在基础层与应用层领域均有分布，多集中在基础层领域，部分技术具备全球领先优势。

合成生物学在绿色化工制造中具备生产优势

全球经济中 60% 的物质投入都可以通过生物方式生产。不同于传统微生物发酵生产模式，化学品的绿色制造是重新合成全新的人工生物体系，将原料以较高的速率最大限度地转化为产物。合成生物学在化工制造领域具备**三大生产优势**：（1）合成生物制造路线比传统石化路线反应过程更温和，更节能低碳；（2）部分生物法制造的产品具备显著的成本优势；（3）一些合成生物制造具备技术的先进性，在产品品质方面更具优势。

合成生物学产业化壁垒主要在于解决实现规模化的生产工艺

对于进行生物法合成产品的企业，从实验室科研成果到产品商业化落地的过程重点在于实现规模化的生产工艺，而能否实现规模化生产工艺主要取决于前端菌种改造效率与后端工艺放大效果两个方面。（1）高性能菌种和最优化合成途径的设计将实现提升合成生物产品的转化率、生产效率以及产量规模；（2）研究开发高效低成本的分离纯化技术可以实现产品产业化的重要环节，也是决定生物制造大规模产业化实践的重要技术瓶颈。（3）选择一个具有长期市场空间的和价值的产品，对于进行合成生物制造产业化的企业同样至关重要。

合成生物学在化工行业的应用将迎来广阔的发展空间

据 CB insights 和 Biospace 统计，2020 年，全球合成生物学市场规模为 61 亿美元，2017~2020 年行业 CAGR 为 16.15%，而 CB insights 预测，到 2024 年行业规模有望增长至 189 亿美元；从下游应用市场结构来看，医疗健康和工业化学品是合成生物学最为重要的两大应用领域。当前诸多化工企业已实现由生物制造生产化学品及燃料，基于合成生物学的化学品制造、生物能源产品开发，将有助于打破经济发展的资源环境瓶颈制约、构建新型可持续发展的绿色工业化道路。未来 10-20 年合成生物学将通过改进现有的发酵过程、为生产现有材料和化学品开发新的生物途径，以及生产新型材料和化学品，对传统工业生产方式带来巨大影响。

重点公司：重点推荐具备平台效应的生物合成小品种氨基酸全球领先企业**华恒生物**；建议关注全球生物法生产长链二元酸龙头企业**凯赛生物**。

风险提示：政策执行时间和强度变化；生物安全风险；核心技术失密风险；技术突破瓶颈及下游应用推广风险

投资评级

行业评级

强于大市(维持评级)

上次评级

强于大市

作者

唐婕

分析师

SAC 执业证书编号：S1110519070001
tjie@tfzq.com

张峰

分析师

SAC 执业证书编号：S1110518080008
zhangfeng@tfzq.com

郭建奇

联系人

guojianqi@tfzq.com

行业走势图



资料来源：聚源数据

相关报告

- 1 《基础化工-行业研究周报:国家能源局、发改委印发《“十四五”新型储能发展实施方案》，烧碱、有机硅价格上涨》2022-02-27
- 2 《基础化工-行业研究周报:国家发改委等 12 部门发布《关于促进工业经济平稳增长的若干政策》，烧碱、纯碱价格上涨》2022-02-20
- 3 《基础化工-行业研究周报:发改委发布《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022 年版）》，纯碱、蛋氨酸价格上涨》2022-02-13

内容目录

1. 合成生物学概述	4
1.1. 什么是合成生物学?	4
1.2. 合成生物学为何引起关注?	6
1.2.1. 政策、产业联合推进行业快速发展	6
1.2.2. 量变到质变——基础研究累积、关键使能技术突破、行业融资率攀新高推动合成生物学进入应用转化期	9
1.3. 合成生物学国内外企业商业模式有何区别	13
1.3.1. 全球合成生物学公司可划分为基础层与应用层	13
1.3.2. 我国合成生物企业处于早期发展阶段	15
2. 合成生物学产业链在化工领域的应用	16
2.1. 合成生物学应用领域广泛	16
2.2. 合成生物学在化工领域的应用	17
2.2.1. 合成生物制造与化学合成的区别是什么?	17
2.2.2. 合成生物路径在化学品制造中的优势如何?	18
2.2.3. 合成生物学化工行业的产业化壁垒	21
3. 相关标的	23
4. 风险提示	23

图表目录

图 1: 合成生物学的多学科融合与应用领域	4
图 2: 合成生物学的目标与实现途径	4
图 3: 合成生物制造环节	5
图 4: 合成生物学的“工程化特质”	6
图 5: 合成生物学领域的论文发表、专利申请及企业融资情况	9
图 6: 合成生物学各领域代表性专利分布	9
图 7: 合成生物学代表性技术史	10
图 8: 人均基因组测序成本不断下降	10
图 9: DNA 合成成本不断下降	11
图 10: CRISPR 系统在合成生物学中的应用	11
图 11: 2009-2021 年全球合成生物学获 VC 投资情况	12
图 12: 2021Q1-Q3 合成生物学 VC 投资领域分布	12
图 13: 2021Q1-Q3 合成生物学 VC 投资集中在应用领域	12
图 14: 2016-2019 年 VC 对全球合成生物学的投资领域分布	12
图 15: 合成生物学企业图谱	13
图 16: 合成生物学主要应用领域	16
图 17: 2017-2024E 全球合成生物学市场规模（亿美元）	17
图 18: 2019 年合成生物学下游应用市场分布	17
图 19: 合成生物学对化学品的先进制造生产链条	18
图 20: 合成生物制造的技术先进性	19

图 21: 利用大肠杆菌以葡萄糖为原料生物合成多种氨基酸和高级醇	20
图 22: 2030-2040 年合成生物学将在化工领域每年影响 1600-2700 亿美元的市场规模	20
图 23: 菌种改造在合成生物制造环节的作用	21
图 24: 清华大学团队以谷氨酸棒杆菌为底盘细胞生物法 1,3-丙二醇反应过程	22
表 1: 合成生物学与传统发酵工艺、酶法工艺对比	6
表 2: 美国和英国的早期战略公共投资帮助实现了初创企业、私人投资 and 市场份额的增长	7
表 3: 各国在合成生物领域的顶层设计（以美英法为例）	7
表 4: “973 计划” 合成生物学项目	8
表 5: 国家重点研发计划 “合成生物学” 重点专项任务及资助情况	8
表 6: 各省份出台有关鼓励和支持合成生物学行业政策	8
表 7: 2000-2020 年合成生物学行业四个发展阶段	9
表 8: 全链条生产的平台型企业（市值截至 20220225）	14
表 9: 合成生物学应用层典型企业情况	14
表 10: 我国合成生物学领域企业多集中在基础层领域	15
表 11: 合成生物学不同应用领域的技术发展情况	16
表 12: 化学合成和合成生物制造对比	17
表 13: 合成生物学在化工领域的产品制造	18
表 14: 化学品生物制造路线更具环境友好性（举例）	18
表 15: 生物合成法生产 L-丙氨酸具备成本优势	19
表 16: 提高生产速率的主要优化调控技术	21
表 17: 1,3-丙二醇的不同合成工艺对比	22
表 18: 常用膜分离技术的主要特性与应用范围	22
表 19: 部分合成生物学在化学品和能源市场的开发现状及潜力	23

1. 合成生物学概述

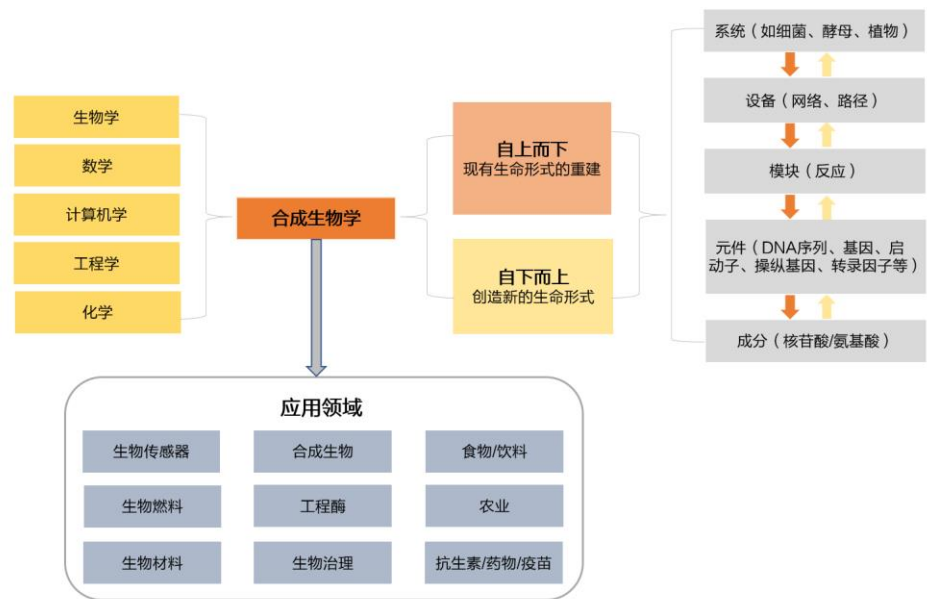
1.1. 什么是合成生物学？

- 合成生物学是一个非常广泛的定义，是多学科高度融合的结果

合成生物学汇聚并融合了生命科学、工程学和信息科学等诸多学科，在天然产物合成、化学工业、生物能源、生物医药等诸多领域有广泛的应用前景。

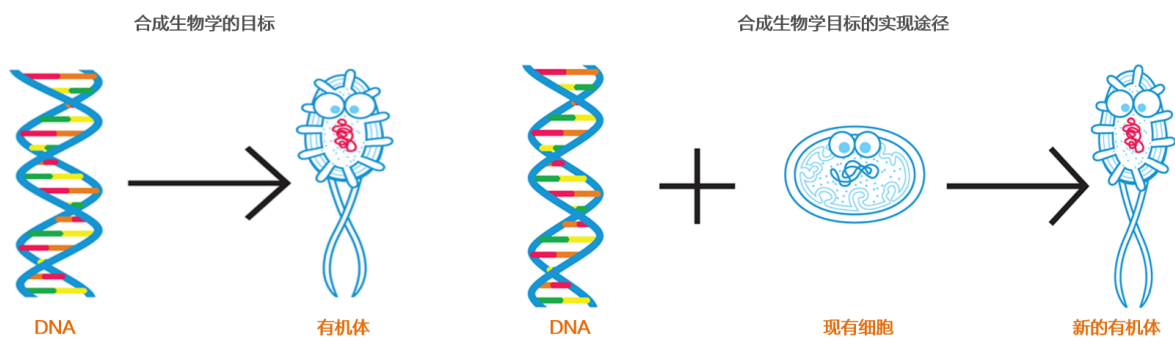
颠覆性的生产方式：合成生物学不同于传统的生物学，基于对生物学的理解，对生物体进行有目标的设计、改造、重新合成以创造可预知、可再生、功能明确的生物“机器”有机体，服务于人类社会。

图 1：合成生物学的多学科融合与应用领域



资料来源：《Current Developments in Biotechnology and Bioengineering》Sudhir P. Singh，天风证券研究所

图 2：合成生物学的目标与实现途径



合成生物学的目标：通过编写DNA（图1-左）来指导有机体（图1-右）为要实现目标，需要合成生物学家设计一部分DNA（图2-左）并将其与现有细胞或有机体（图2-中）结合，来实现新的细胞或有机体（图2-右）能够按照设计的规范产生反应。

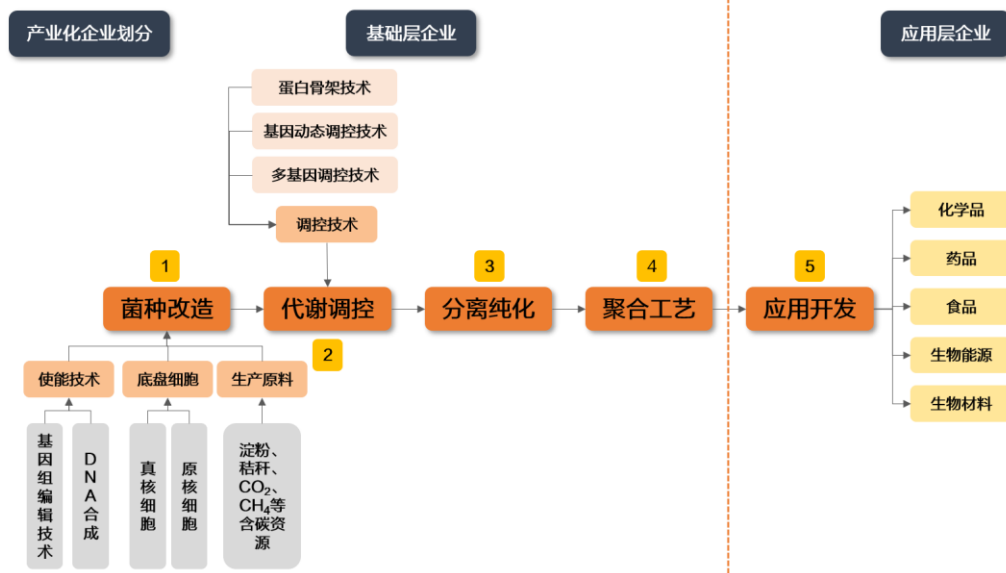
合成生物学家希望通过改变生物体（活细胞）的DNA来实现治疗疾病、感知环境中的有毒化合物以及生产有价值的药物等目标（图1）。未来，合成生物学家希望能够使用设计的DNA从头开始构建专门的全新的生物体。（该领域还没有实现技术突破，目前已实现的技术是对已存在生物体进行改造。）

资料来源：Oreilly《Chapter 1. Fundamentals of Synthetic Biology》，天风证券研究所

● 合成生物学的典型产业链结构是怎样的？

运用合成生物学的手段实现生产产品产业化主要包含菌种改造、代谢调控、分离纯化、聚合工艺、应用开发五个重要环节，其以合成生物为工具，利用糖、淀粉、纤维素、甚至二氧化碳等可再生碳资源为原料，进行化学品、药品、食品、生物能源、生物材料等物质加工与合成。而合成生物学之所以能够实现对产物的定量可控，其核心在于运用基因工程手段实现对菌种的改造工艺以及合成途径的精确调控。

图 3：合成生物制造环节



资料来源：凯赛生物招股说明书、《合成生物学工业应用的现状和展望》曾艳、《合成生物制造进展》张媛媛、《合成生物学：开启生命科学“会聚”研究新时代》赵国屏、天风证券研究所

● 合成生物学与传统发酵的区别在哪里？

传统发酵工艺：通过微生物（细菌、酵母和霉菌等）的发酵作用或经过生物酶的作用，对食品原料进行加工使其发生生物化学及物理变化，产出具有独特风味的发酵产品。以我国传统发酵食品白酒的酿造过程为例，生产过程需经过多次投料、多轮次发酵以及长期贮存等操作，且白酒口感风格易受到曲种、发酵环境、人工勾兑效果等多重因素影响。传统发酵工艺通常带有制造和贮存过程工艺复杂、发酵产物不稳定、生产周期长、产品风味多受环境影响较难控制等问题。

酶法工艺：与传统发酵工艺同属于微生物法合成法，酶法又称酶催化法，是借助酶蛋白的催化将原料转化为产品的一种技术方法。以酶法合成法生产 L-色氨酸为例，该工艺是一种工业化中常用的成本较低的生产方法，其利用微生物中 L-色氨酸生物合成酶系的催化功能生产 L-色氨酸。相比传统发酵工艺，酶法具有产品收率高、纯度高、副产物少、精致操作简单的优点。

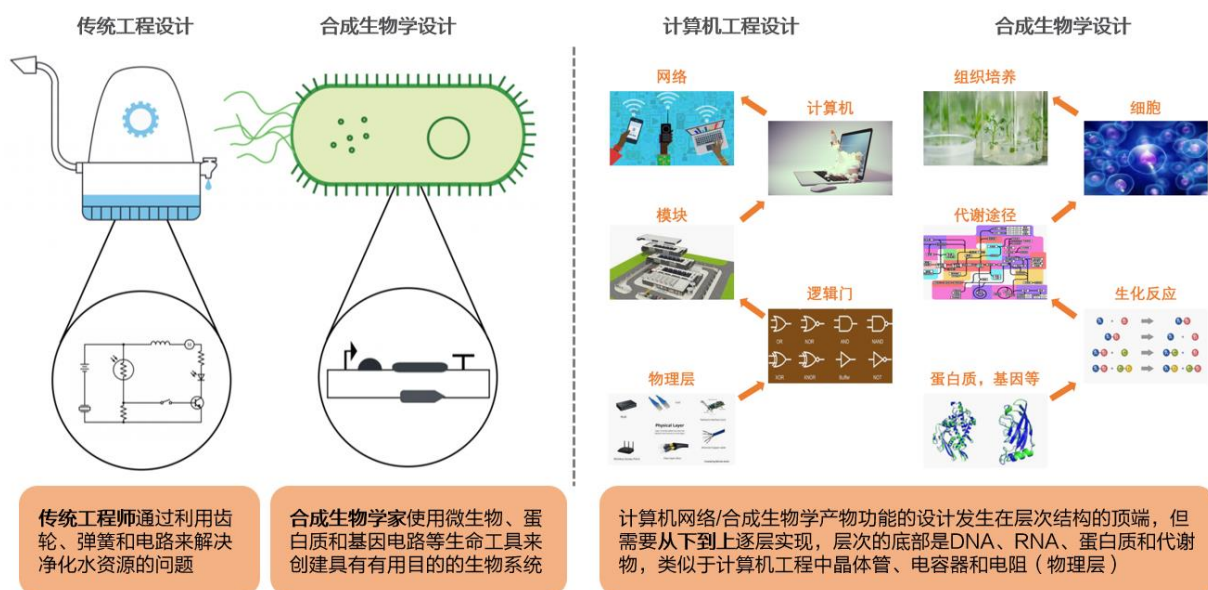
在传统发酵工艺和酶法的基础上，合成生物学的“工程学特质”实现了合成途径和产产品的定量可控。合成生物学的工程学内涵所包含的“定量生物学”“分子生物学”与“系统生物学”理念实现了对合成产物的定量可控。其采用的正向工程学“自下而上”的原理，对生物元件进行标准化的表征，建立通用型的模块，在简约的“细胞”或“系统”底盘上，通过学习、抽象和设计，构建人工生物系统，其构建生物体系统的理念与构建传统工程、计算机工程相同。

表 1：合成生物学与传统发酵工艺、酶法工艺对比

工艺名称	主要生产环节	生产技术	菌种/催化剂特点	举例
传统发酵工艺	菌种选育→培养基配制→灭菌→扩大培养和接种→发酵→产品分离提纯	• 传统微生物发酵技术	天然菌种 (未经改造, 有生命)	白酒
酶法工艺	酶源菌体的培养→菌体的分离洗涤→固定化和反应	• 微生物资源开发利用技术 • 微生物菌种选育培养技术 • 固定化细胞技术	酶蛋白催化(无生命), 不参与反应	L-色氨酸、赖氨酸
合成生物学	菌种改→代谢调控→分离纯化→聚合工艺→应用开发	• 基因组编辑技术 • DNA 合成技术	人工改造菌种 (有生命)	1,3 丙二醇、L-丙氨酸 (华恒生物)、长链二元酸(凯赛生物)

资料来源：《发酵工程技术在食品开发中的应用分析》陈洪明、《L-色氨酸的生产及其代谢控制育种》陈涛、《合成生物学：开启生命科学“会聚”研究新时代》赵国屏、天风证券研究所

图 4：合成生物学的“工程化特质”



资料来源：Bilkent-UNAM IGEM Team、《合成生物学》李春，天风证券研究所

1.2. 合成生物学为何引起关注？

1.2.1. 政策、产业联合推进行业快速发展

● 美国在合成生物学的研究、开发和应用上起步早，总体处领先地位

合成生物学是继 DNA 双螺旋结构发现（1953 年）和人类基因组测序（2003 年）之后的“第三次生物科学革命”，其最早可以追溯至 1910 年，由法国物理化学家 Stephane Leduc 首次提出（《生命与自然发生的物理化学理论》）。

美国最早在 2006 年由美国国家科学基金会（NSF）向新成立的合成生物研究中心（SYNBERC）提供为期十年共 3900 万美元的资助，为美国的合成生物学研究领域奠定了基础。欧洲最早一批聚焦合成生物学的国家，顶层设计布局始于 2009 年，该年英国、德国、法国研究院分别发表在合成生物学行业研究报告或设立研发中心，旨在提升行业的发展优先级以及指定本国未来的行业发展目标。

从成效上看，凭借早期（2005 年-2015 年）的政策支持与资金赞助，美国合成生物学市场发展处于全球领先地位，目前拥有全球范围内最多的合成生物学领域初创公司，全球市场份额占比为 33-39%（2019 年）；英国紧随其后，同期占比 8-12%。

表 2：美国和英国的早期战略公共投资帮助实现了初创企业、私人投资和市场份额的增长

国家	早期公共投资规模（百万澳元）	合成生物学初创公司数量 ¹	私人投资规模（百万澳元）	2019 年市场份额
美国	1400（2005–2015）	336	5300	33–39%
英国	550（2009–2016）	150	910	8–12%
澳大利亚	80.7（2016–2021）	10	20	忽略不计

资料来源：CSIRO，天风证券研究所；注：中法德日合计合成生物学市场份额约为 6–9%；¹ 初创公司数量统计截止日期为 2021 年 5 月

表 3：各国在合成生物领域的顶层设计（以美英法为例）

时间	美国	英国	法国
2006	美国国家自然科学基金会（NSF）为新成立的合成生物学工程研究中心（SynBERC）提供十年 3900 万美元资助		
2009		英国第一个国家合成生物学中心：合成生物学与创新中心（CSynBI）由英国工程和自然科学研究委员会（EPSRC）资助成立	法国高等教育和研究部发布的《国家研究与创新战略》（SNRI）将新兴学科“合成生物学”列为“优先挑战”
2010			法国第一个合成生物学实验室系统与合成生物学研究所（iSSB）在法国国家科学研究中心（CNRS）、Genopole 和埃夫里大学支持下成立
2011	美国国防部高级研究计划（DARPA）宣布名为“生命铸造厂”（Living Foundries）的新计划，专注于合成生物学项目的投资与开发	英国政府委托英国技术战略委员会对前沿技术进行审查，选出的“八项伟大技术”其中包括“合成生物学”	法国政府开设了“合成生物学”网站，用以普及和推动本国合成生物学发展
2012		英国商业、创新和技能部发布《英国合成生物学战略路线图 2012》；英国政府投入超过 3 亿英镑的投资支持行业发展	
2013	美国国防部高级研究计划（DARPA）启动另一计划“生命铸造厂—千分子”（Living Foundries: 1000 Molecules）；能源部向国会提交《向国会报告：合成生物学》报告		
2014	美国国防部发布《国防部科技优先事项》，合成生物学被列为 21 世纪优先发展的六大颠覆性基础研究领域之一		
2015	国防部发布题为《技术评估：合成生物学》的报告：合成生物学有潜力影响与国防部相关的广泛领域		《国家研究战略：法国-欧洲 2020》战略文件中，合成生物学被重点提及
2016		SBLC 发布《英国合成生物学战略计划 2016》	
2017	NSF 宣布征集“用于信息处理和存储技术的半导体合成生物学（SemiSynBio）”，布局半导体与合成生物学的前沿交叉		
2018			《法国国家生物生产战略》战略文件中，合成生物学被重点提及
2021	美国国会参议院通过《2021 美国创新与竞争法案》，该法案中合成生物学名列几大关键技术重点领域		《法国健康创新 2030 战略》中马克龙提到：法国 95% 的生物疗法依赖进口，法国需要重建主权以减少依赖

资料来源：公众号解码合成生物，天风证券研究所

● 我国国家重点研发计划及政策布局齐力推动行业快速形成、发展

1997 年，我国重点基础研究发展计划启动（“973 计划”），主要支持国家重大需求驱动的基础研究和重大新兴交叉科学前沿领域。2010 年启动部署“合成生物学”专题研究，其中安排了 10 个研发项目，为我国合成生物学发展奠定了重要基础。2018 年，在前期发展计划（“973 计划”）的基础上，科技部启动国家重点研发计划“合成生物学”重点专项，专项中重点部署“人工基因组合成与高版本底盘细胞”“人工元器件与基因线路”“人工细胞合成代谢与复杂生物系统”以及“使能技术体系与生物安全评估”等 4 项主要任务，涵盖了 11 个任务模块、47 个研究方向。

表 4：“973 计划”合成生物学项目

项目名称	首席科学家	立项年份
人工合成细胞工厂	马延和	2011~2015
光合作用与人工光合叶片	常文瑞	2011~2015
新功能人造生物器件的构建与集成	赵国屏	2012~2016
微生物药物创新与优良的人工合成体系	冯雁	2012~2016
用合成生物学方法构建生物基材料的合成新途径	陈国强	2012~2016
抗逆元器件的构建和机理	林章凛	2013~2017
合成微生物体系的适配性	张立新	2013~2017
微生物多细胞体系的设计与合成	元英进	2014~2018
合成生物器件干预膀胱癌的基础研究	蔡志明	2014~2018
生物固氮及相关抗逆模块的人工设计与系统优化	林敏	2015~2019

资料来源：《中国合成生物学发展回顾与展望》张先恩，天风证券研究所

表 5：国家重点研发计划“合成生物学”重点专项任务及资助情况

研究任务	申请数	立项数	资助经费/亿元	资助率（资助经费/申请经费）
基因组人工合成与高版本底盘细胞	44	20	4.19	46.9%
人工元器件与基因线路	55	19	4.04	34.2%
人工细胞合成代谢与复杂生物系统	57	24	4.48	40.3%
使能技术体系与生物安全评估	9	4	0.9	53.0%

资料来源：《我国“合成生物学”项目立项概况与实施管理建议》曹芹，天风证券研究所

国内各省份政府管理部门积极指定战略规划，促进合成生物学的基础研究、应用研究与成果转化。当前国内诸多省份已出台并颁布重点鼓励和支持合成生物学行业的政策，加强顶层设计，助推行业更快发展。

表 6：各省份出台有关鼓励和支持合成生物学行业政策

省份	公布时间	政策名称	涉及合成生物学相关内容
北京	2021.12.06	“十四五”时期中关村国家自主创新示范区发展建设规划	加快发展 基因编辑、合成生物学、生物制造 等未来生命健康产业
	2021.11.29	中共北京市委、北京市人民政府关于印发《北京市“十四五”时期国际科技创新中心建设规划》的通知	持续关注数字货币、 基因编辑、合成生物学 等跨界新兴产业领域制度需求
天津	2020.11.21	天津市人民政府关于印发天津市科技创新三年行动计划的通知	“一设施一政策”原则，……布局建设 合成生物学 国家重大科技基础设施
	2021.06.26	天津市人民政府办公厅关于印发天津市制造业高质量发展“十四五”规划的通知	生物产业以生物技术赋能医药、绿色制造、种业等重点，加强技术研发，布局建设 合成生物学 国家重大科技基础设施和国家合成生物技术创新中心等创新平台，加快“生物制造谷”、“细胞谷”建设。
辽宁	2018.06.15	辽宁省人民政府关于全面加强基础科学研究的实施意见	聚焦未来可能产生变革性技术的基础科学领域，围绕物质结构、生命起源…… 合成生物学、深海科学 等重大原创性研究和前沿交叉研究。
黑龙江	2021.05.06	黑龙江省人民政府办公厅关于加强农业种质资源保护与利用实施意见	组织相关人员开展种质资源精准鉴定，加快高通量分子鉴定、经济性状功能基因挖掘、 基因编辑、合成生物学 、高分子设计育种等技术应用。
上海	2021.07.14	上海市人民政府办公厅关于印发《上海市先进制造业发展“十四五”规划》的通知	建设生物医药领域重点实验室，布局一批基础研究和转化平台，形成重大基础设施群；聚焦脑科学、 基因编辑、合成生物学 、细胞治疗、干细胞与再生医学等前沿生物领域，开展重大科技攻关，推进关键原材料、高端原辅料、重要制药设备及耗材、精密科研仪器等装备和材料研发创新。
	2021.7.15	上海市人民政府关于印发《上海市卫生健康发展“十四五”规划》的通知	合成生物学 、微生物组、脑科学、干细胞等前沿医学技术研发提速，新疗法、新药物、新材料和新器械创新迸发，……，要求卫生健康顺应城市数字化转型发展战略，加快行业治理变革。
浙江	2020.07.13	省发展改革委、省经信厅、省科技厅关于印发浙江省生物经济发展行动计划（2019-2022 年）的通知	组织高校和科研机构实施重大科技研发专项，聚焦结构生物学、 合成生物学 、微生物组学、 基因编辑技术 ……等前沿领域，开展一批前沿学科交叉研究，到 2022 年，力争突破 10 项左右原创性、颠覆性和前沿关键技术。
	2019.12.27	浙江省人民政府办公厅关于加快生命健康科技创新发展的实施意见	支持中国工程科技发展战略浙江研究院聚焦生命健康领域，更好发挥高端智库作用。加快建设天津大学浙江化工研究院，在 合成生物学 、蛋白质纯化、药物结晶等领域提供有效技术支撑。
湖北	2021.11.04	人民政府办公厅关于印发湖北省生物产业发展“十四五”规划的通知	加强 合成生物学 技术创新，开展基因组编辑、复杂基因回路和代谢通路设计，探索植物药物和化学药物高效生物合成、生物循环合成、智能材料生物合成等新型生物合成技术。
广东	2019.03.01	2018 年国民经济和社会发展计划执行情况与 2019 年计划草案报告	部省联动组织实施宽带通信与新型网络、 合成生物学 等国家重大重点专项

资料来源：各省份政府官网，天风证券研究所

1.2.2. 量变到质变——基础研究累积、关键使能技术突破、行业融资率攀新高推动合成生物学进入应用转化期

● 基础研究迅速累积

2020 年 10 月发表在 Nature《自然》杂志的一项研究将合成生物学领域的发展以 2010 年为界划分为两个时段：2000-2010 年与 2010-2020 年。整体上看，2000-2020 年的 20 年间，合成生物学行业快速发展体现在三个方面：前期基础研究快速发展，研究论文产出不断增加；相关技术进入应用研发期，专利申请量快速增长；行业内企业获多元资金投入，融资额不断攀高。

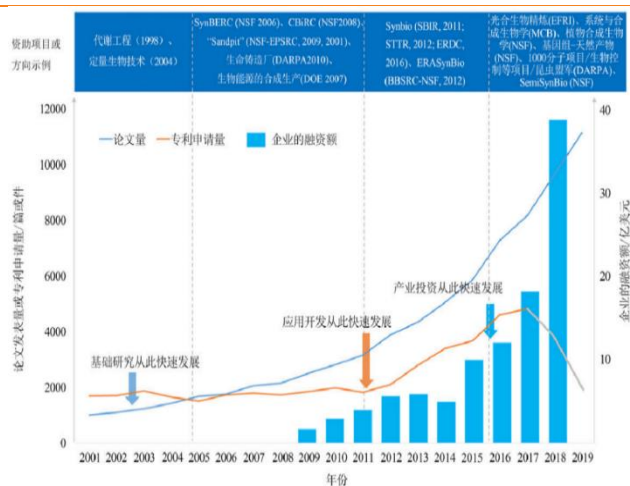
具体上，可以将合成生物学行业发展划分为四个阶段，分别为基础研究萌芽期（2005 年以前）、基础研究成熟期（2005-2011 年）、应用开发期（2011-2015 年）以及产业投资期（2015 年以后），各期间合成生物学的技术难题不断突破，应用范围持续拓展。

表 7：2000-2020 年合成生物学行业四个发展阶段

	阶段	时间	特点
第一个十年	第一阶段	2005 年以前	以基因线路在代谢工程领域的应用为代表，典型成果是青蒿素前体在大肠杆菌中的合成
	第二阶段	2005-2011 年	合成生物学研究开发处于工程化理念日渐深入、使能技术平台得到重视、工程方法和工具不断积淀的阶段，体现出“工程生物学”的早期发展特点
第二个十年	第三阶段	2011-2015 年	基因组编辑的效率大幅提升，合成生物学技术开发和应用不断拓展，其应用领域从生物基化学品、生物能源扩展至疾病诊断、药物和疫苗开发、作物育种、环境监测等诸多领域
	第四阶段	2015 年至今	合成生物学的“设计—构建—测试”（DBT）循环扩展至“设计—构建—测试—学习”（DBTL），“半导体合成生物学”（Semiconductor Synthetic Biology）、“工程生物学”（Engineering Biology）等理念或学科的提出，生物技术与信息技术融合发展的特点愈加明显

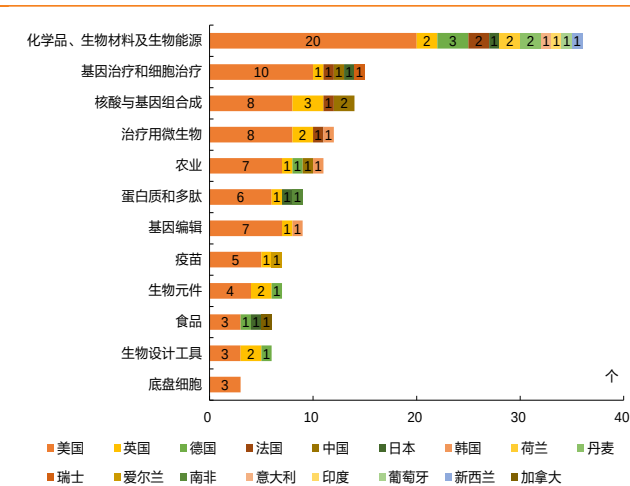
资料来源：《从全球专利分析看合成生物学技术发展趋势》陈大明、天风证券研究所

图 5：合成生物学领域的论文发表、专利申请及企业融资情况



资料来源：《从全球专利分析看合成生物学技术发展趋势》陈大明，天风证券研究所

图 6：合成生物学各领域代表性专利分布

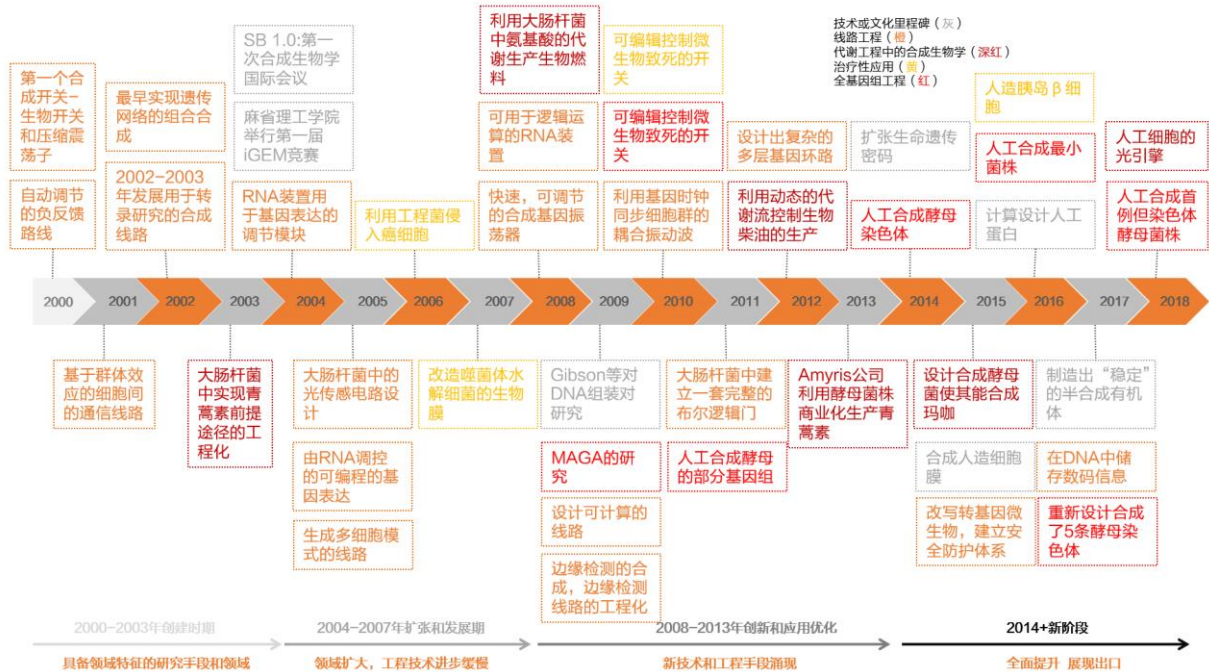


资料来源：《从全球专利分析看合成生物学技术发展趋势》陈大明，天风证券研究所

● 关键使能技术突破，提升行业转化效率

颠覆性使能技术（enabling technology）是支撑合成生物学发展的关键。使能技术是指一种推动行业发生根本性变化的发明或创新技术；在合成生物学领域，**DNA 合成以及高效基因组编辑技术**是两大其核心使能技术。

图 7：合成生物学代表性技术史

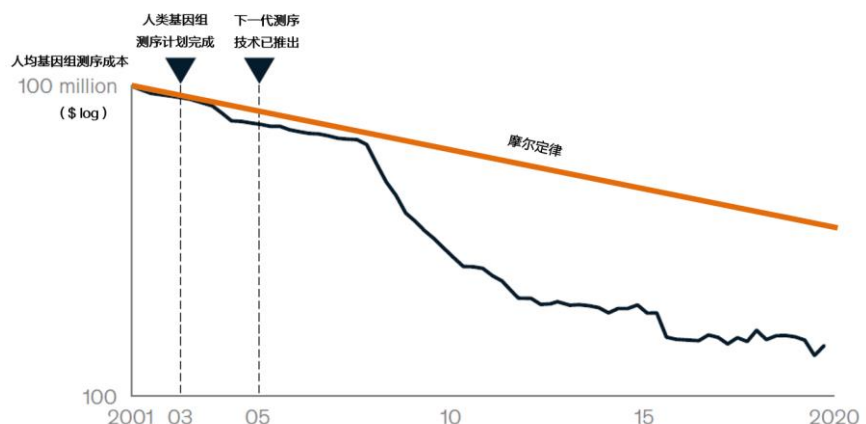


资料来源：《合成生物学：开启生命科学“会聚”研究新时代》赵国屏，天风证券研究所

（1）DNA 测序与合成

高效低成本的 DNA 测序是实现 DNA 合成的基础。自 2003 年科学家完成人类基因组测序以来，DNA 测序成本的下降速率已经突破了计算机工程中经典的“摩尔定律”。2019 年，人类个体全基因组测序的价格已低于 1000 美元，预计这一价格有望在未来 10 年内降至 100 美元以下。测序成本的下降使得下一代 DNA 测序成为可能，在一系列现代技术中，数百万或数十亿条 DNA 链可以被平行测序，然后被组装成一个单一的序列。

图 8：人均基因组测序成本不断下降



资料来源：McKinsey Global Institute，天风证券研究所

注：数据统计不包括与基因组测序有关的所有费用，只包括与生产有关的费用（劳动力、仪器、信息学、数据提交）

DNA 合成技术突破：20 世纪 80 年代开发的基于亚磷酰胺的 DNA 合成法为 DNA 合成仪的创制奠定了基础。进入 21 世纪，为降低 DNA 合成成本，研发人员开发了光刻合成、电化学脱保护合成、喷墨打印合成这三种芯片式原位合成技术，其中喷墨打印技术因其高通量、高效率、低成本极大地推动了 DNA 合成的发展。

大规模、高精度、低成本的 DNA 合成技术推动合成生物学的效率提升。目前，现有基因合成的主流方法是基于寡核苷酸合成仪来合成寡核苷酸，然后在此基础上利用 PCR 等手段来进行基因合成；该技术的工程化使合成通量大幅度提高，催生了众多生物公司开展基因合成业务，合成价格也因此极大降低。

图 9：DNA 合成成本不断下降



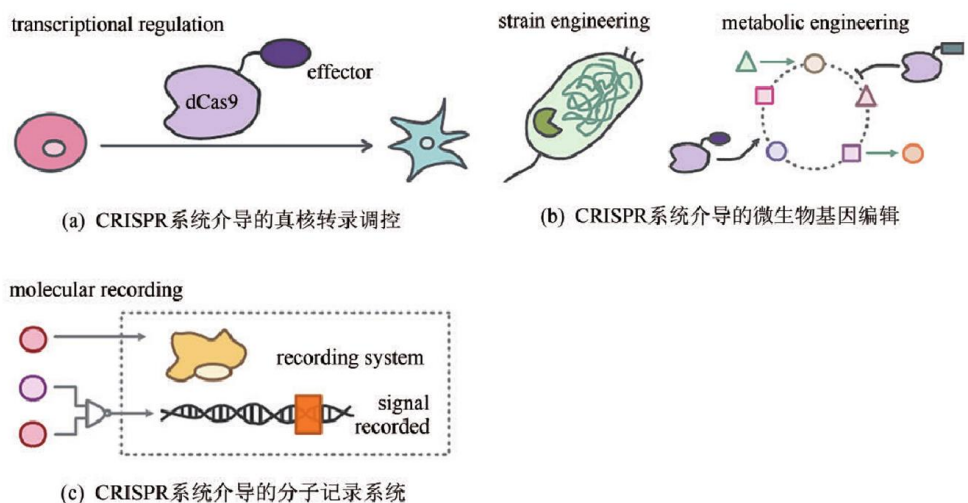
资料来源：《从全球专利分析看 DNA 合成与信息存储技术发展趋势》陈大明，天风证券研究所

(2) 基因组编辑技术

突破：在 2008-2013 年这一阶段实现了人工合成基因组的能力提升到了接近 Mb（染色体长度）的水平，基因组编辑技术出现前所未有的突破。

CRISPR-Cas 基因组编辑技术高效、廉价等优点在合成生物学领域形成广泛应用。基因组编辑技术，是指一种对目标基因进行编辑或修饰的基因工程技术。目前，主要有 3 种技术：锌指蛋白核酸酶（ZFN）、类转录激活因子效应物核酸酶（TALEN）以及 CRISPR/Cas（CRIS - PR；Cas）系统。由于 CRISPR 系统的高效、方便、廉价等优点，前两种方法在 CRISPR 系统发展起来之后被逐渐淘汰。从 2012 年起，科学家利用 CRISPR-Cas 体系的可编程和精准切割等特点陆续发展了一系列基因组编辑的工具，其宿主范围目前已经覆盖了从细菌到高等生物，而且还在不断增加中。

图 10：CRISPR 系统在合成生物学中的应用



资料来源：《基因组编辑技术及其在合成生物学中的应用》曹中正，天风证券研究所

2014 年至今，由使能技术的工程化平台和生物医学大数据推动的合成生物学已进入到发展新阶段。利用工程化平台进行合成生物研究能够实现依照“设计—构建—测试—学习”（DBTL）的闭环策略组织工艺流程，进行工程化的海量试错，从而快速获得具有目标功能的合成生命体。

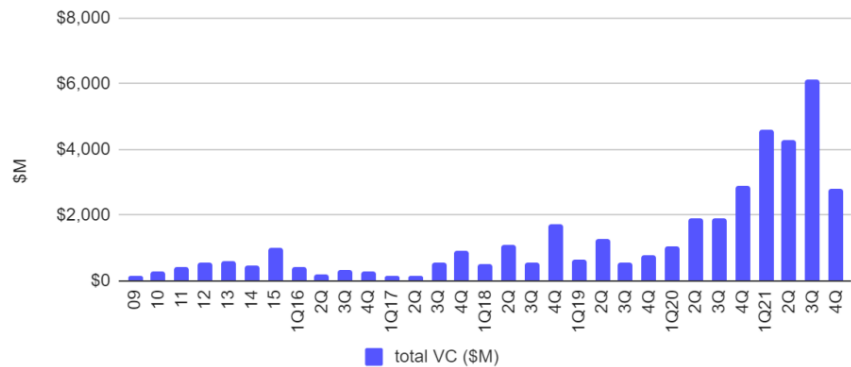
● 行业初创企业获风险投资额屡创新高，2021 年成投资元年

一级市场资金的注入对合成生物学相关技术的应用和产品开发具有重要推动作用，体现了行业从企业集中前端研发进入到产业的市场进入期。

2021 年成为合成生物学投资元年。2009-2020 年，全球合成生物学初创公司共计获融资额 215 亿美元，而 2021 年当年就达 180 亿美元，单年获融资额占过去 12 年比例超 80%；其中，2021 年第三季度单季度融资额为 61 亿元，为历史单季度最高水平。

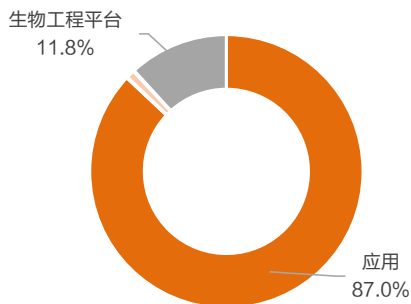
2021 年成为投资元年，主要体现在投资强度快速扩大，从投资结构上来看，依旧以应用为主导。我们分析，主要系行业从前期技术研究阶段开始转变为在医药、食品、材料和能源领域推出大量市场应用的落地。在 2021 年前三季度合成生物学领域筹集的 150 亿美元中，VC 在技术应用领域方面的投资额占比达到了 87%，而生物体工程平台（Organism Engineering Platforms）等前端技术开发端使用的筹集资金额仅占 11.8%。

图 11：2009-2021 年全球合成生物学获 VC 投资情况



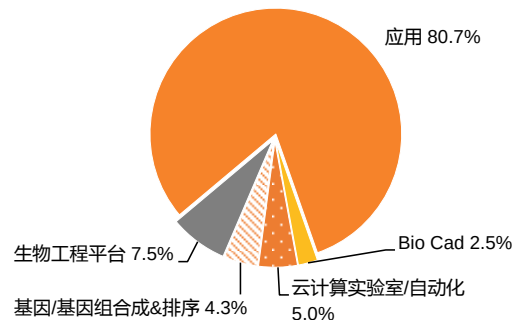
资料来源：Synbiobeta 官网，天风证券研究所

图 12：2021Q1-Q3 合成生物学 VC 投资领域分布



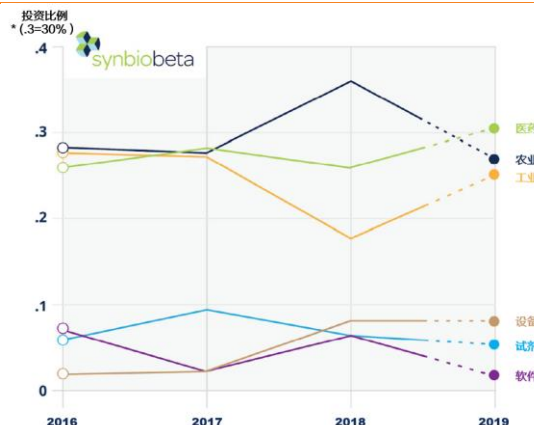
资料来源：Synbiobeta 官网、天风证券研究所；注：按成交金额

图 13：2021Q1-Q3 合成生物学 VC 投资集中在应用领域



资料来源：Synbiobeta 官网、天风证券研究所；注：按成交项目数目

图 14：2016-2019 年 VC 对全球合成生物学的投资领域分布



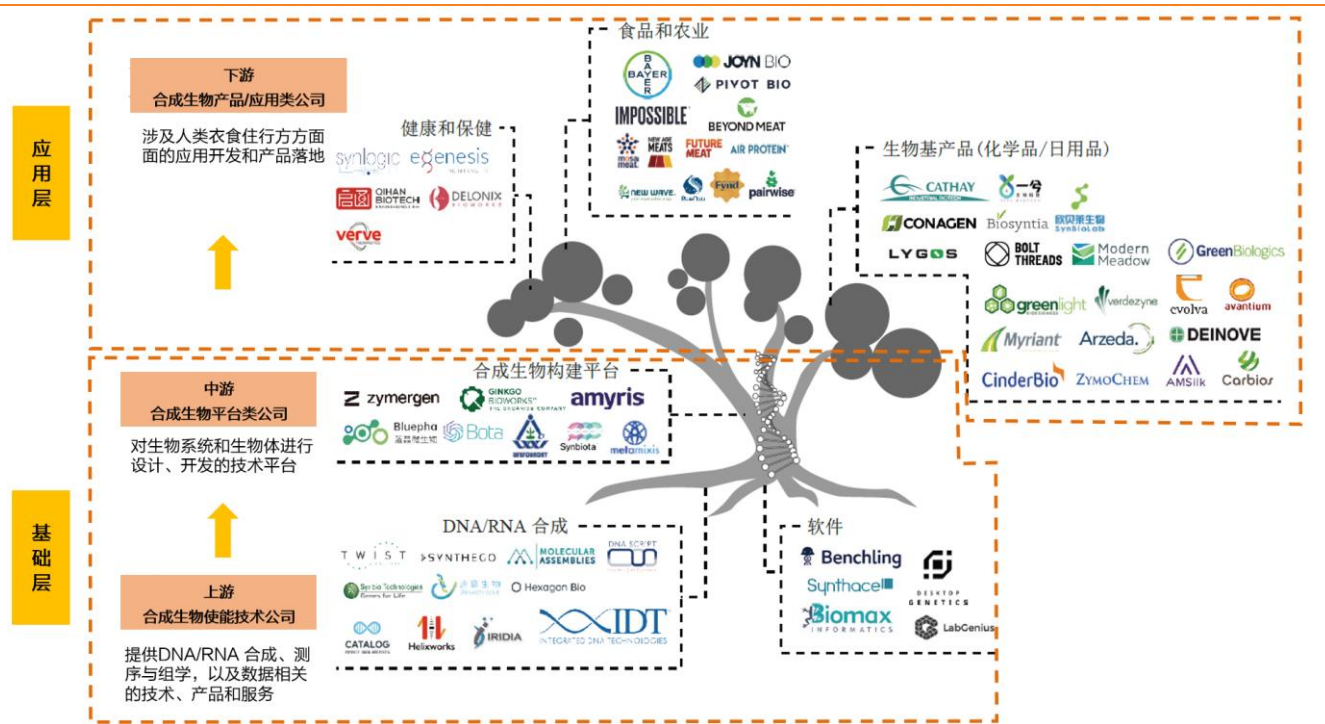
资料来源：Synbiobeta 官网，天风证券研究所

1.3. 合成生物学国内外企业商业模式有何区别

1.3.1. 全球合成生物学公司可划分为基础层与应用层

合成生物学产业可以划分为上、中、下游三个部分，其中位于中上游的公司处于基础层，位于下游部分的为应用层公司。基础层领域包括上游合成生物学使能技术公司和中游平台类公司，这些公司掌握物体设计与自动化平台、DNA 和 RNA 合成或软件设计等技术；对于应用层领域的公司，其产品核心内容在于利用合成生物学技术，将其应用于医疗保健、工业化学品、生物燃料等产品的开发和市场化领域。

图 15：合成生物学企业图谱



资料来源：《合成生物学产业发展与投融资战略研究》曾正阳，天风证券研究所

● 基础层：合成生物使能技术公司+平台类公司

合成生物使能技术公司为产业提供底层技术支持。DNA 和 RNA 的合成与软件服务是合成生物学研究服务市场的重要细分领域。DNA 合成主要包括两部分，寡核苷酸合成和基因合成，Twist Bioscience、DNA Script 与 Synthego 是该领域的代表性公司。以软件服务打开市场的企业主要通过重点开发软件产品，该领域典型代表公司有 Benchling 和 Synthace，生产产品包括开发软件平台以加速新型生物或基因产品生产。

多功能、自动化“生物制造平台”是合成生物学产业价值链的核心。合成生物学从生物的基因编辑，到产品和服务的商业化落地，这之间存在着超长的技术链条。具备“全链条生产”能力的平台型企业，能够通过打通上游核心技术与下游市场应用，适配不同领域的需求提供服务。国外代表型公司主要有 Amyris, Ginkgo Bioworks, Zymergen，同时，据 CB Insights 统计，我国也存有少数平台型公司，代表企业有 Bota Biosciences 恩和生物。此外，蓝晶微生物与衍进科技（LifeFoundry）两家企业正朝着平台型公司发展思路集中发力。

表 8：全链条生产的平台型企业（市值截至 20220225）

公司名称	国家	成立时间	是否上市	市值 (亿美元)	获风投融资额 (亿美元)	特点
 Amyris	美国	2003 年	2010 年上市	14.21	2.14	公司搭建的自动化菌株改造平台，是目前全球企业界最大型的工程化平台之一
 Ginkgo Bioworks	美国	2009 年	2021 年上市	65.57	7.98	公司拥有广泛的基因代码库、高度自动化的菌种工程、蛋白质工程和发酵平台
 Zymergen	美国	2013 年	2021 年上市	4.06	8.74	公司拥有世界上最大的专有物理和数字 DNA 图书馆数据库
 Bota Bio	中国	2019 年	否	-	-	公司目前已初步建成高度集成的自动化技术平台 Bota Freeway，可高速推进多个产品管线并行研发
 Bluepha	中国	2016 年	否	-	A 轮获投 560 万美元，种子轮未披露	公司使用合成生物学工具编程微生物，生产新的生物降解塑料产品并提升现有生物产品制造过程效率，降低 PHA 生产成本
 LifeFoundry	中国	2019 年	否	-	-	公司多功能技术易于重新编程，并能够执行通常难以以高通量方式执行的工作流程

资料来源：CB Insights，Wind，各公司官网，Golden，天风证券研究所

● 应用层：合成生物产品开发/应用类公司

位于合成生物学应用层的公司重点利用合成生物底层技术开发下游广泛应用领域，涵盖人们生活衣食住行各方面。前文合成生物学领域全球初创公司融资情况分布中可以看到，当前位于应用领域的公司更获资本市场的青睐，融资占比超 80%（2021Q1-Q3）。

表 9：合成生物学应用层典型企业情况

应用领域	代表公司	国家	成立时间	主要产品/研发方向
化学工业	Genomatica	美国	2000	生物基 BDO（主要用于塑料）、生物基丁二醇（主要用于化妆品）；目前正在开发聚酰胺中间体（尼龙）和长链化学品相关工艺
	Lygos	美国	2010	将低成本的糖类转化为丙二酸等化学物质
	凯赛生物	中国	2000	生物法长链二元酸系列产品
	华恒生物	中国	2005	生物法 L-丙氨酸、DL-丙氨酸、β-丙氨酸、D-泛酸钙和 α-熊果苷等
合成能源	C16 Biosciences	美国	2017	利用微生物发酵类生产棕榈油的替代品
	LanzaTech	美国	2005	利用微生物将废气（如二氧化碳或甲烷）转化为燃料和化学物质
食品饮料	Impossible Foods	美国	2011	通过发酵的方式萃取出大豆中天然存在的血红蛋白，用于制作植物肉产品
	Perfect Day	美国	2014	通过合成生物学技术用于合成蛋白类产品的开发，如牛奶、蛋清、奶酪等
	Clara Foods	美国	2014	
	Endless West	美国	2015	通过分析酒中的成分，来创造无需发酵的酒
消费品	Bolt Threads	美国	2009	以培育菌丝体的方式开发出了菌丝皮革
	Modern Meadow	美国	2011	通过改造后的酵母发酵生产胶原蛋白，由此制造皮革
	Geltor	美国	2015	提供基于发酵过程培养产生的蛋白产品
农业	Pivot Bio	美国	2010	开发一种微生物解决方案，替代氮肥，减少氮径流，并消除相关 N2O 产生
	Agrivida	美国	2002	通过开发新一代酶解决方案满足动物营养和动物健康的需求
	GreenLight Biosciences	美国	2009	通过对农产品 RNA 改造，可使其精确靶向免疫于特定害虫，且绿色清洁
	Apeel Sciences	美国	2012	正在开发一种植物基涂层，旨在延长番茄和苹果等易腐食品的保质期
医药	Vedanta Biosciences	美国	-	一家以人体肠道微生物菌群为基础，开发免疫介导性疾病的人体肠道微生物创新药研发公司
	Novome Biotechnologies	美国	2016	正在工程化人类肠道细菌来治疗疾病，目前已经建立了基因工程微生物药物（GEMM）平台
	Prokarium	英国	-	使用基因工程细菌来开发微生物肿瘤免疫疗法和疫苗
	Eligo Bioscience	法国	2014	该公司的核心技术 Eligobiotics 能够将基于 CRISPR 的治疗性 DNA 有效载体传送到微生物群的细菌群中，以精确消除有害细菌菌株

资料来源：CB Insights、Golden、凯赛生物公司公告、华恒生物公司公告，天风证券研究所

1.3.2. 我国合成生物企业处于早期发展阶段

我国合成生物学生产企业在基础层与应用层领域均有分布，多集中在基础层领域，部分技术具备全球领先优势，合成生物产业处于较为早期的阶段。综合来看，国内的合成生物学企业主要分为两大类：一类借鉴国外的模式，通过整合科研院所以及社会各界的学术资源，通过自动化、机器学习以及大量生物数据的会聚来提高研究的发现、通量和产量，从而构建技术研发平台，为下游企业提供基于合成生物学的解决方案（基础层）；另一类则专注于产品，在产品生产过程中采用先进的生物工程技术，探索高效的生物合成方法（应用层）。

在 2020 年 12 月由 EB Insights 发布的《全球值得关注的 50 家合成生物学企业》中，中国企业上榜 9 位，它们分别为：Bota Biosciences、博雅辑因、南京传奇生物、泓迅科技、合生基因、凯赛生物、蓝晶微生物、森瑞斯生物、鑫飞生物。除上榜企业外，华恒生物、衍进科技等企业在产品生物制造领域同样具备先进技术优势。

表 10：我国合成生物学领域企业多集中在基础层领域

公司分类	公司名称	成立时间	公司特点
基础层	博雅辑因	2015	公司打造以基因编辑技术为基础的四大平台：造血干细胞平台、通用型 CAR-T 平台、RNA 碱基编辑平台、新药研发平台（高通量基因组编辑筛选）
	弈柯莱生物	2015	已经建立了规模庞大的生物资源工程库平台，在生物合成、高性能细胞工厂设计创制以及产品规模化生产上积累了丰富经验
	衍进科技	2019	公司的多功能技术易于重新编程，并能够执行通常难以以高通量方式执行的工作流程，且具备“设计-构建-测试-学习”完整研发周期的闭环
	泓迅科技	2013	公司依托于完善的“GPS 平台”，向生物医药、新能源、作物育种和信息技术等多个领域提供高质量的 DNA 等生物大分子原材料
	迪赢生物	2018	公司为目前唯一能够在国内商业化完成超高通量新一代 DNA 合成的企业
	南京传奇生物	2014	公司正推出的 3 大核心细胞治疗平台：嵌合抗原受体 T 细胞疗法 (CAR-T)、T 细胞受体 T 细胞疗法 (TCR-T)、异基因细胞疗法
	Bota Biosciences	2019	公司为综合的生物制造平台，开发用于微生物生产高性能工业化合物的高通量平台菌株和发酵工艺
	蓝晶微生物	2016	通过使用合成生物学工具编程微生物，从而生产新的生物降解塑料产品并提升现有生物产品制造过程的效率，降低 PHA 的生产成本，并合成多种不同种类的 PHA 材料
	LifeFoundry	2019	公司多功能技术易于重新编程，并能够执行通常难以以高通量方式执行的工作流程
	应用层	凯赛生物	2000
华恒生物		2005	公司为全球领先的通过生物制造方式规模化生产小品种氨基酸产品的企业之一，实现了以再生葡萄糖为原料厌氧发酵生产 L-丙氨酸的微生物细胞工厂，在国际上首次成功实现了微生物厌氧发酵规模化生产 L-丙氨酸产品
合生基因		2014	公司逐步搭建：智能靶向肿瘤基因治疗药物平台、基因治疗药物工艺开发平台、基因治疗药物转化医学平台、合成生物学技术服务平台
森瑞斯生物		2019	通过基因组合成、基因调控网络及信号转导通路的逻辑性设计和定向进化，人工创造具有功能的新途径或新型酶，生产各种活性成分产品

资料来源：各公司官网，Wind，天风证券研究所

2. 合成生物学产业链在化工领域的应用

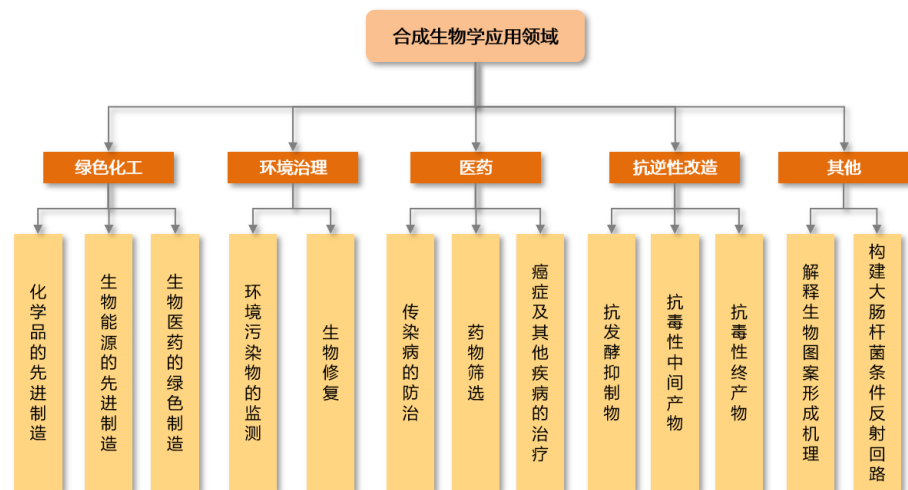
2.1. 合成生物学应用领域广泛

合成生物学技术的进步扩展了其下游应用领域，而应用领域的发展情况反过来对生物制造的创新速度与程度具有积极推动作用。

合成生物学基因测序及合成技术的进步，标准化的基因调控元件及各种载体、底盘细胞的开发显著促进了代谢工程的发展；各种复杂的基因线路的设计和构建正逐步开始用于疾病防治及环境污染检测治理等方面。

另一方面，据麦肯锡研究，生物制造技术的创新速度与程度依赖于下游应用领域的发展。目前，合成生物学已经在包括医药、化工、农业的领域实现了应用；此外，在医药领域，目前采用生物途径进行药物制造已经展现出了早期商业应用迹象；而在一些使用基因工程植物来固定 CO₂ 的应用中，在前端研究领域表现出可行性，但在商业应用层面还未取得较大突破。

图 16：合成生物学主要应用领域



资料来源：《合成生物学》李春，天风证券研究所

表 11：合成生物学不同应用领域的技术发展情况

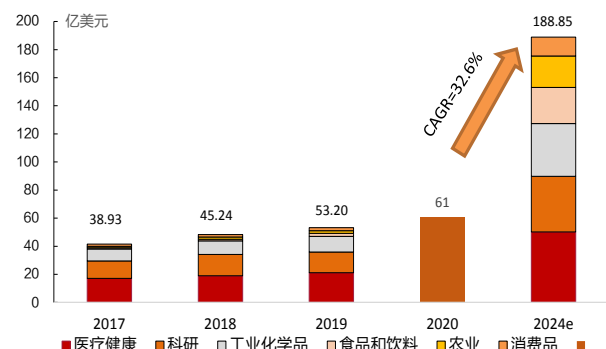
应用领域	已实现技术 2020 年之前	短期将实现技术 2020-2030	中期将实现技术 2030-2040	长期将实现技术 2040 之后
人类健康及行为	- 载体筛查 - 无创产前检测	- CAR-t 细胞治疗液体肿瘤 - 液体活检	- 基因驱动减少病媒传播疾病 - CAR-t 细胞治疗实体肿瘤	- 由干细胞产生的可移植器官 - 用于医疗目的的胚胎编辑（例如，通过 CRISPR 免疫系统）
农业，水产及食品	- 辅助标记育种（用于食品的农作物和动物） - 食品来源、安全性和真实性的基因追踪（如过敏原、物种、病原体）	- 植物性蛋白质 - 农作物微生物组诊断和益生菌治疗	- 非养殖肉 - 转基因动物——生长更快	转基因作物——通过增强光合作用加快生长
消费品及服务	DTC 基因检测—血统	- 基于遗传和微生物组的个性化用餐服务 - DTC 基因检测—关于健康和生活方式的个人见解	基于组学数据监测个人健康状况、营养和健身的生物传感器	基因疗法——皮肤老化
材料，化学品及能源	药物生产的新生物途径（如多肽）	- 新型材料—生物农药/生物肥料（如 RNAi 农药） - 改进现有的发酵工艺——食品和饲料原料（如氨基酸、有机酸）	新型材料—生物聚合物（如 PLA、PET）	生物太阳能电池和生物电池
其他应用	DNA 测序的取证		- 二氧化碳的生物固定 - 污染物的生物修复	

资料来源：McKinsey Global Institute、天风证券研究所

据 CB insights 和 Biospace 统计，2020 年，全球合成生物学市场规模为 61 亿美元，2017~2020 年行业 CAGR 为 16.15%，而 CB insights 预测，到 2024 年行业规模有望增长至 189 亿美元。

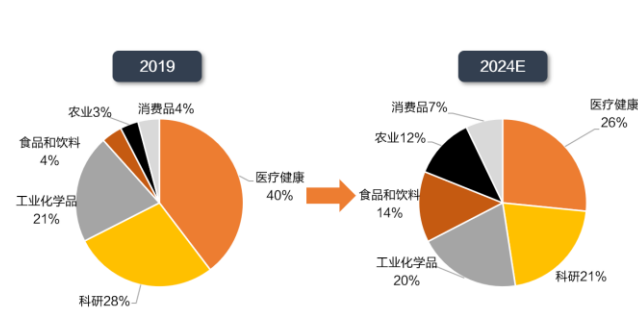
从下游应用市场结构来看，**医疗健康和工业化学品是合成生物学最为重要的两大应用领域：2019 年占比分别 40%、21%**；而 CB insights 预测，到 2024 年食品饮料、农业等领域占比分别提升至 14%和 12%，医疗健康和工业化学品占比预计分别为 26%和 20%。

图 17：2017-2024E 全球合成生物学市场规模（亿美元）



资料来源：CB Insights、Biospace，天风证券研究所

图 18：2019 年合成生物学下游应用市场分布



资料来源：CB Insights，天风证券研究所

2.2. 合成生物学在化工领域的应用

2.2.1. 合成生物制造与化学合成的区别是什么？

合成生物制造通过利用糖、淀粉、纤维素以及二氧化碳等可再生碳资源进行有机化合物的生产，反应过程具有清洁、高效、可再生等特点，能够减少工业经济对生态环境的影响，未来有望在医药、食品、能源、材料、农业等领域引发生产制造模式的变革。

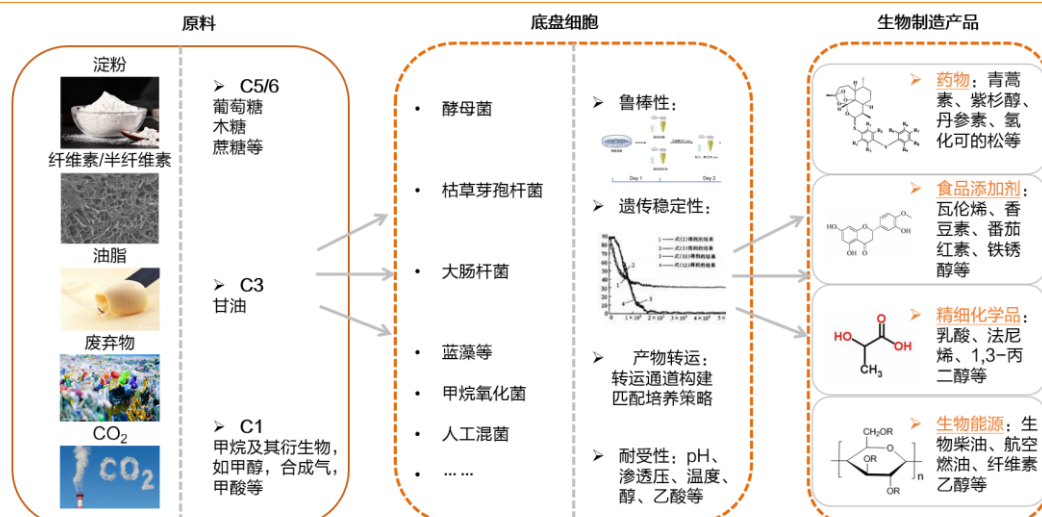
表 12：化学合成和合成生物制造对比

特征	化学合成	生物合成
定义	从简单分子形成大分子的人工过程	活生物体细胞内的酶催化多步骤过程，通过该过程底物被修饰或转化为更复杂的产物
反应本质	人工和化学工艺	自然/生物/生化过程
反应原料	多以石油化工等不可再生资源为原料	糖、淀粉、纤维素、二氧化碳等可再生碳资源
反应发生地	发生在生物体之外	发生在生物体内，建立细胞工厂（人工细胞）
反应装置	反应釜	小型摇瓶、大型发酵罐
反应条件	反应较剧烈，部分需要高温高压等条件	反应较温和
酶的作用	不需要酶催化	酶催化过程
产成本质	合成产生的有机或无机化合物	主要来自生物合成的有机化合物
复杂程度	简单或复杂的过程	多步骤且较复杂的过程
举例	由钠和氯合成氯化钠（NaCl）	氨基酸、脂肪酸、核酸和生物碱的形成

资料来源：PharmaEducation、天风证券研究所

合成生物学在绿色化工中广泛应用。根据麦肯锡研究，全球经济中 60%的物质投入都可以通过生物方式生产。不同于传统微生物发酵生产模式，化学品的绿色制造并非依赖于对产物天然合成菌株进行优化，而是重新合成全新的人工生物体系，将原料以较高的速率最大限度地转化为产物。整个生产链条可分为**原料的利用、底盘细胞的选择和优化以及产品的生产**三个部分。

图 19：合成生物学对化学品的先进制造生产链条



资料来源：《化学品绿色制造核心技术——合成生物学》肖文海，天风证券研究所

合成生物制造可以用来生产大宗产品、可再生化学品与聚合材料、精细与医药化学品以及农产品等产品。同时，天然产物结构复杂，利用化学合成途径繁琐，得率低、能耗高、污染重，难以实现环境友好的规模化生产。因此，借助合成生物学，构建合理的合成途径及菌种为化工品和天然产物的产业长久发展提供了新的思路。

表 13：合成生物学在化工领域的产品制造

应用领域	应用产品	合成生物法制造特点
大宗产品	氨基酸、有机酸、维生素、微生物多糖	合成生物学的发展大幅提升了菌种设计改造能力，不但可以获得自主知识产权的新菌种，而且显著提高原料利用能力和转化效率等技术指标
可再生化学品与聚合材料	丁二酸、戊二胺、1,4-丁二醇、PBS、尼龙 54 等	随着合成生物学对细胞代谢和调控认识的不断深入，通过优化改造、甚至从头设计合成高效生产菌种，大幅提高可再生化学品与聚合材料的生产能力与效率。
精细与医药化学品	芳香族化合物、抗生素、甾体激素等	通过对细胞内代谢途径的全新设计，使精细与医药化学品可以通过微生物细胞以廉价的糖类为原料来合成，为降低精细与医药化学品的生产成本，实现绿色生产提供可能
未来农产品	香兰素、白藜芦醇、柑橘类、淀粉、油脂、健康糖、牛奶、素食奶酪、各种蛋白、肉类	对跨种属的基因进行组合，采用人工元件对合成通路进行改造，优化和协调合成途径中各蛋白的表达，创建淀粉、蛋白、油脂以及其他营养功能因子的高效人工生物合成路线，形成崭新的细胞工厂，摆脱人类所需营养素及天然化合物对资源依赖和环境破坏为代价的发展

资料来源：唯铂莱生物科技有限公司官网，天风证券研究所

2.2.2. 合成生物路径在化学品制造中的优势如何？

（1）合成生物制造路线比传统石化路线反应过程更温和，更节能低碳

与化学合成方法不同，生物制造利用生物资源或化石资源在生物微工厂内进行物质转化，过程条件温和。和石化路线相比，目前生物制造产品平均节能减排 30%~50%，未来潜力有望达到 50%~70%，同时减少环境影响 20%~60%，这对工业基础原材料的化石原料路线替代、高能耗高物耗高排放工艺路线替代以及传统产业升级，将产生重要推动作用。据世界自然基金会（WWF）估测，到 2030 年，工业生物技术每年将有望降低 10~25 亿吨 CO₂ 排放，约占 2020 年总排放量 3.1%~4.7%（2020 年全球 CO₂ 排放量约 320 亿吨）。

表 14：化学品生物制造路线更具环境友好性（举例）

产品	生产技术节能低碳程度
1,3 丙二醇	生物法 1,3-丙二醇技术的能耗降低 40%，CO ₂ 排放减少 40%
1,4-丁二醇（BDO）	生物法制备的 1,4-丁二醇（BDO）比石化路线将减少 56% 的温室气体排放
维生素 B2	生物转化过程替代原有 8 步化学过程，废水排放减少 66%，废弃排放减少 50%
己二酸	工业上己二酸的生产路线主要是以环己醇和环己酮混合物为原料的硝酸氧化法（KA 油法），但硝酸腐蚀设备严重，副产物氮氧化物会破坏臭氧层，造成环境污染。

资料来源：《微生物细胞工厂生产大宗化学品及其产业化进展》于勇等、《合成生物学工业应用的现状和展望》曾艳、《精细化学品的生物合成》林建平；天风证券研究所

（2）部分生物法制造的产品具备显著的成本优势

合成生物制造可以通过降低产品生产成本，提升产业竞争力。例如，1,3-丙二醇的合成生物制造与石油路线相比，原料成本下降 37%；巴斯夫公司开发的维生素 B2 的生物转化过程比化学过程成本降低 50%；丁二酸的生物法制备路线生产成本比传统石化路线降低 20%。此外，华恒生物公司的厌氧发酵法生产 L-丙氨酸工艺，其产品生产成本和酶法相比可以大幅降低 50%。

表 15：生物合成法生产 L-丙氨酸具备成本优势

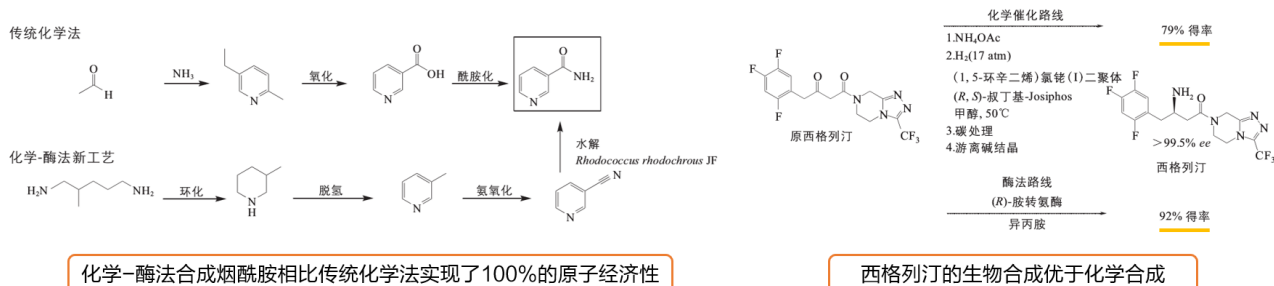
项目	天然提取法	化学合成法	生物制造方法酶法	生物制造方法发酵法
产量	低	高	高	高
产品成本	高	高	较高	低
核心步骤	强酸水解	化学催化	生物酶催化	微生物发酵
技术要求	低	低	高	高
工艺路线	长	长	短	短
产品质量	低	高	高	高
原材料来源	可再生	石油基	石油基	可再生
环境友好度	低	低	较高	高

资料来源：华恒生物招股说明书，天风证券研究所

（3）一些合成生物制造具备技术的先进性，在产品品质方面更具优势

饲料、食品添加剂等领域需求旺盛的烟酰胺，采用化学-酶法新工艺后可实现 100%的原子经济性，克服了化学催化路线中烟酸到烟酰胺的胺化反应有 4%烟酸残留而需要重结晶分离的问题，技术优势显著。此外，西格列汀（sitagliptin，一种可有效治疗 2 型糖尿病的降糖药物）采用生物合成方法实现的产品总得率和生产效率均显著高于化学合成方法。

图 20：合成生物制造的技术先进性

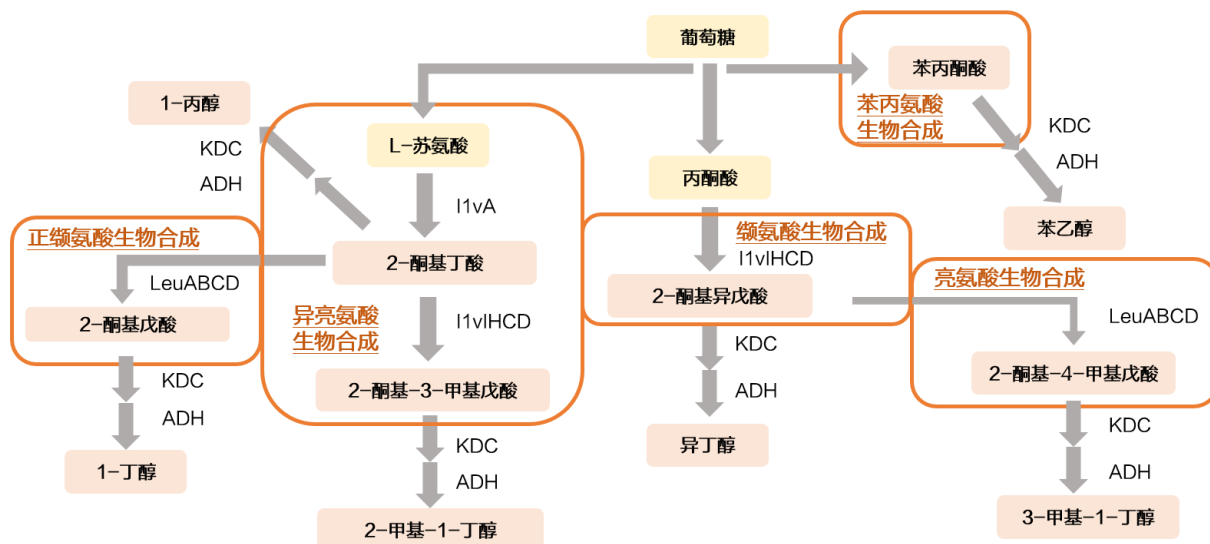


资料来源：《精细化学品的生物合成》林建平，天风证券研究所

（4）合成生物制造路线具备平台效应，可以实现一个菌种生产多项产品

利用合成生物学手段改造大肠杆菌，可以由葡萄糖合成正缬氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸等多种氨基酸。同时，在氨基酸的合成路径中，通过酮酸脱羧酶（KDC）和醇脱氢酶（ADH）又可以合成一系列高级醇，包括异丁醇、1-丁醇、2-甲基-1-丁醇，3-甲基-1-丁醇以及苯乙醇等。

图 21：利用大肠杆菌以葡萄糖为原料生物合成多种氨基酸和高级醇

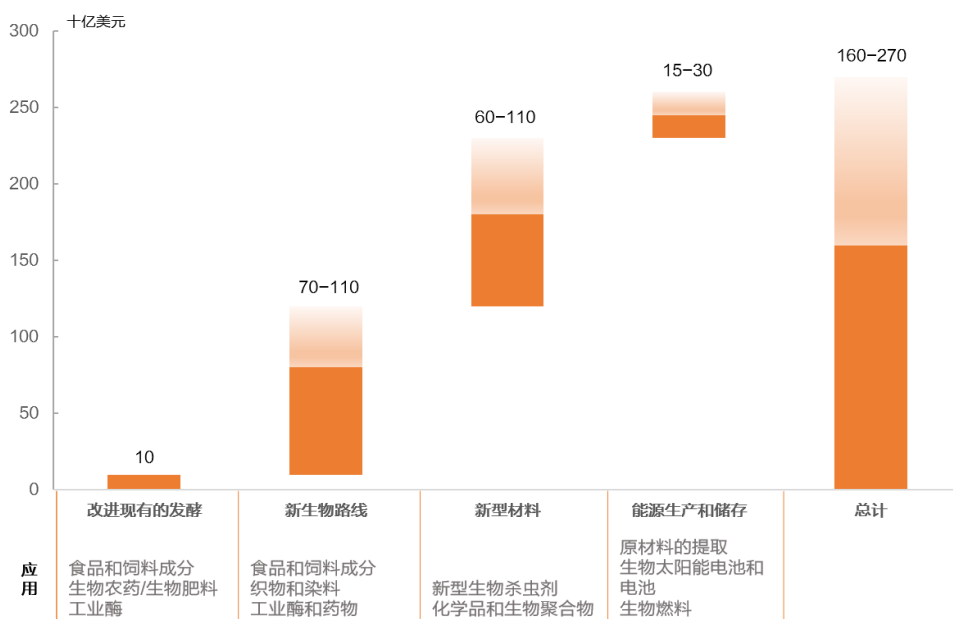


资料来源：《合成生物学》李春，天风证券研究所

当前诸多化工企业已实现由生物制造生产化学品及燃料，市场具备发展潜力。通过系统性的设计和改造，利用大肠杆菌、酵母和蓝藻等底盘生物，以纤维素、木质素、生物质等农业、工业废弃物以及二氧化碳为原料，可以实现生产清洁、高效、可持续的化学品和生物能源产品，如乙醇、乳酸、丙烯酸等。基于合成生物学的化学品制造、生物能源产品开发，将有助于打破经济发展的资源环境瓶颈制约、构建新型可持续发展的绿色工业化道路。

据麦肯锡预测，未来 10-20 年，合成生物学预计将每年对化学品、能源等领域的 1600-2700 亿美元市场产生直接经济影响。不同于前文 CB Insights 对合成生物学 2024 年市场规模将达到 189 亿美元的预测，这里的“经济影响”是指对能源化工领域市场带来影响。2020 年，全球化学品销售规模达 3.82 万亿美元，未来 10-20 年合成生物学将通过改进现有的发酵过程、为生产现有材料和化学品开发新的生物途径，以及生产新型材料和化学品，对传统工业生产方式带来巨大影响。其中，将在新生物生产路线领域影响 700-1100 亿美元市场发展，新型材料领域预计对 60-1100 亿美元市场产生影响。

图 22：2030-2040 年合成生物学将在化工领域每年影响 1600-2700 亿美元的市场规模



资料来源：McKinsey Global Institute，天风证券研究所

注：另有 50-100 亿美元未评估在内

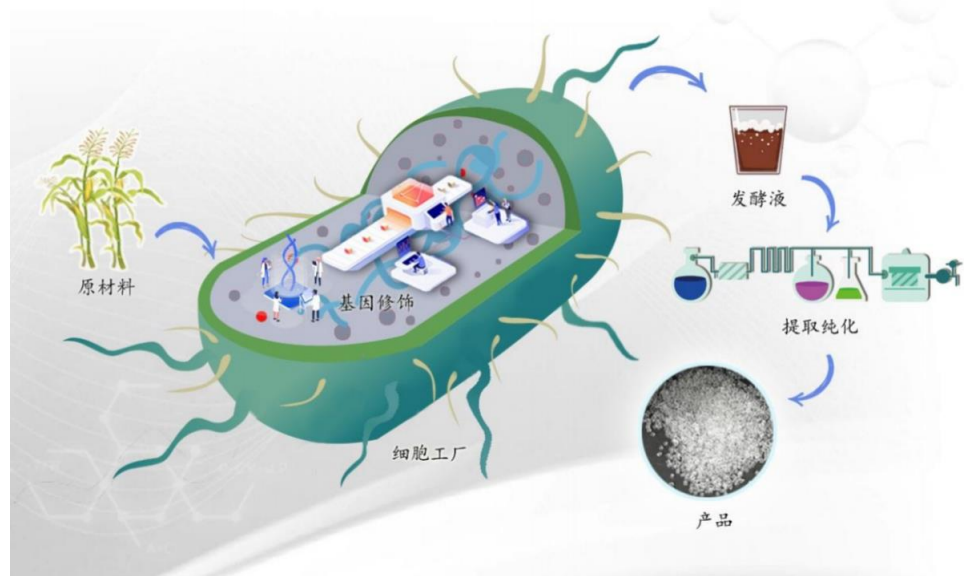
2.2.3. 合成生物学化工行业的产业化壁垒

对于进行生物法合成产品的企业，从实验室科研成果到产品商业化落地的过程重点在于解决实现规模化的生产工艺这一难题，而能否实现规模化生产工艺主要取决于前端菌种改造效率与后端工艺放大效果两个方面。

● 菌种改造：效率主要体现在生产产品的转化率、生产速率和产量 3 个指标

高性能菌种可以实现更高的产品转化率、产品浓度和生产强度。合成生物制造的第一步，需要根据目标产品的特性选择一个性状优良的菌种，也称底盘细胞，它是用于该产品生产的宿主。利用合成生物学的方法，对生物体基因组特定目标基因进行改造和修饰，以达到改造微生物代谢途径的目的，能够构建高效的菌种，实现产品生产事半功倍。

图 23：菌种改造在合成生物制造环节的作用



资料来源：凯赛生物招股说明书，天风证券研究所

生产速率的提升依赖于合成途径中酶催化的反应效率，通过多种基因编辑技术能够提升酶的催化效率。化学品的生物合成途径通常由一系列酶催化反应构成，而自然状态下各个酶的催化效率难以达到协调的状态。在实际操作中，多基因调控技术、基因动态调控技术与蛋白骨架技术三种手段可以实现对合成途径进行优化，使各个酶达到平衡协调的状态以提高产品的生产速率。

表 16：提高生产速率的主要优化调控技术

调控技术	技术内容
多基因调控技术	通过对染色体上的多个基因同时进行改造，结合高通量筛选技术，可以快速高效地鉴定出最优的调控组合
基因动态调控技术	与传统调控系统相比，动态调控系统具有智能性，可以根据选定的某种细胞体内代谢信号自动调节特定基因的表达，从而维持代谢途径的动态平衡，达到提高产品合成能力的目标
蛋白骨架技术	通过人工合成的蛋白骨架，使酶以特定位置和序列附着在骨架上，可以控制代谢途径中酶的空间位置，从而使合成途径相邻的酶聚集在物理空间比较近的区域，使底物和酶距离接近，提高生化反应的速率

资料来源：《合成生物学工业应用的现状和展望》曾艳，天风证券研究所

最优合成途径的设计将实现提升合成生物产品的转化率、生产效率以及产量规模。以生物法制造 1,3-丙二醇为例，自然界一些微生物将甘油转化为 1,3-丙二醇的理论转化率为 0.75mol/mol；杜邦公司开创了以葡萄糖为原料的生物合成途径，构建出的细胞工厂 1,3-丙二醇产量达 135g/L，并将转化率提高至 0.83 mol/mol；近日，国内清华大学应用化学研究所团队首次实现了以谷氨酸棒杆菌为底盘细胞通过系统的代谢网络模拟 1,3-丙二醇合成过程，将原料转化率提高至 0.99mol/mol。

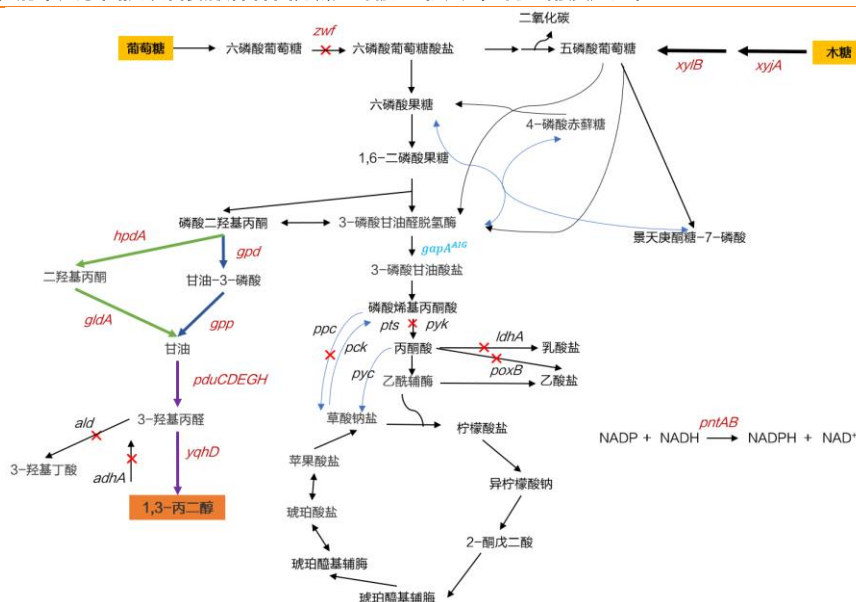
表 17：1,3-丙二醇的不同合成工艺对比

生产方法	菌种	底物（原料）	产量（g/L）	生产速率（g/L·h）	底物转化率（mol/mol）
天然合成	部分微生物	甘油	—	—	0.75
生物合成-杜邦公司	大肠杆菌	葡萄糖	135	3.5	0.83
生物合成-清华大学团队	谷氨酸杆菌	葡萄糖	110.4	2.3	0.99

资料来源：《合成生物学工业应用的现状和展望》曾艳，《Systems metabolic engineering of *Corynebacterium glutamicum* for high-level production of 1,3-propanediol from glucose and xylose》Zihua Li，天风证券研究所

此外，清华大学团队设计的以谷氨酸棒杆菌为底盘细胞进行生物法 1,3-丙二醇的制造，实现了更广泛的原料底物利用谱，为工业化应用提供了坚实的实验基础。通过利用谷氨酸棒杆菌的丙酮酸-草酰乙酸-磷酸烯醇式丙酮酸循环可以在不破坏 PTS 的葡萄糖转运系统下高效地合成 1,3-丙二醇，提供了不同于杜邦公司的设计与优化方案，该路线具有更广的底物利用谱，可以有效地利用葡萄糖、木糖、蔗糖、纤维水解液等为原料生产 1,3-丙二醇。

图 24：清华大学团队以谷氨酸棒杆菌为底盘细胞生物法 1,3-丙二醇反应过程



资料来源：《Systems metabolic engineering of *Corynebacterium glutamicum* for high-level production of 1,3-propanediol from glucose and xylose》Zihua Li，天风证券研究所；注：“x”表示基因缺失

● 后端工艺放大：高效低成本的分离纯化工艺对产品效果起重要作用

研究开发高效低成本的分离纯化技术可以实现产品产业化的重要环节。合成生物制造的分离纯化是指从复杂的生物发酵体系中得到高质量产品的关键性步骤，也是决定生物制造大规模产业化实践的重要技术瓶颈。作为生物合成制造产业化的“最后一棒”，产品的分离提纯成本占到总成本的 60%以上，高附加值产品的分离成本甚至可以达到 90%。

不同于传统化学分离，生物产品分离过程需要保证产品的生物活性，常需要低温、合适的 pH 和一定的耐受压力，因此对分离纯化技术存在较高的要求。常用的绿色分离纯化技术有膜分离技术、模拟移动床色谱技术和超临界萃取技术，其中膜分离技术是以选择通透性膜为分离介质，在外界推动力的作用下，利用各组分扩散速率的差异，来实现原料液中各成分的有效分离。例如，华恒生物选用超滤膜和纳滤膜分离技术去除色素、蛋白等杂质，最终得到高纯度成品 L-丙氨酸。

表 18：常用膜分离技术的主要特性与应用范围

	微滤	超滤	纳滤	反渗透
孔径分布	0.01-10 μm	2-20nm	<2nm	<1nm
压力	<0.2MPa	0.1-1MPa	0.5-2.5MPa	1-10MPa
分离层厚度	10-150 μm	0.1-1.0 μm	0.1-1 μm	0.1-1.0 μm
分离物	细菌、酵母、悬浮颗粒	蛋白质	小分子化合物、二价盐	一价盐

资料来源：《生物技术产品绿色分离纯化技术进展》赵黎明，天风证券研究所

- **应用选择：**选择一个具有长期市场空间的和价值的产品，对于进行合成生物制造产业化的企业同样至关重要。

合成生物制造的产品研发周期长且投入大，一个产品从研发到落地的技术链条长且复杂，需要公司在每个环节都有研发能力。足够的下游客户和市场需求是支撑产品落地的重要一环，产品的成功落地又可以持续支持公司的创新和研发；反之，公司则会面临较大的时间和资金的损失。因此，如何通过调整商业模式、整合各方资源来实现商业闭环，是合成生物公司除了建立技术上的壁垒之外需要着重考虑的问题。

表 19：部分合成生物学在化学品和能源市场的开发现状及潜力

产品	生产企业（机构）	生物基产品市场			所有市场（生物基+石化产品）			生物基产品占比（%）
		价格（美元/t）	规模（100t）	市场（百万美元/年）	价格（美元/t）	规模（100t）	市场（百万美元/年）	
乙醇	Qteros、Logen、BP、帝斯曼、Proterro、Lanza Tech、Algenol、Mascoma	815	71310	58141	823	76677	63141	93
乳酸	Myriant 等	1450	472	684	1450	472	684	100
丙烯酸	Myriant、OPXBiotecnologies、Metabolix、诺维信、嘉吉	2688	0.3	0.9	2469	5210	12863	0.01
法尼烯	Amyris	5581	12	68	5581	12.2	68	近 100
丁二酸	Bioamber、Myriant、帝斯曼	2940	38	111	2500	76	191	49
1,4-丁二醇	Bioamber	高于 3000	3	9	1800~3200	2500	4500~8000	0.1
己二酸	Verdezyne、Bioamber、Rennovia	2150	0.001	0.002	1850~2300	3019	5600~6900	0.00003
异丁烯	Global Bioenergies	远高于 1850	0.01	0.02	1850	15000	27750	0.00006

资料来源：《合成生物学》李春、天风证券研究所

3. 相关标的

重点推荐：具备平台效应的生物合成小品种氨基酸全球领先企业**华恒生物**；**建议关注：**全球生物法生产长链二元酸龙头企业**凯赛生物**。

4. 风险提示

政策执行时间和强度变化：生物制造过程中仍会产生一部分“三废”排放，存在环保合规风险；生产企业产品销往全球，各国进出口政策及国际贸易环境变化会对公司经营业绩产生一定影响。

生物安全风险：生物安全主要指无意或者疏忽引起的生物危害，包括转基因或生物体环境释放对生物多样性的威胁；生物技术研究开发对人类健康及生态环境所产生的负面影响以及实验室生物安全问题。

核心技术失密风险：生物合成制造企业的核心技术是其保持竞争地位的重要基础，公司有关菌种改造等环节商业机密的泄露将增加公司维权成本，一定程度上可能会削弱竞争优势，对公司造成不利影响。

技术突破瓶颈及下游应用推广风险：政策及产业界对合成生物学的高度重视加速了该领域科学技术的提升，公司需要实现更先进的技术来占领市场，可能存在技术突破瓶颈；同时产业化过程存在较多壁垒，下游应用推广情况可能对公司产生一定影响。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	海口	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号	海南省海口市美兰区国兴大道 3 号互联网金融大厦	上海市虹口区北外滩国际客运中心 6 号楼 4 层	深圳市福田区益田路 5033 号平安金融中心 71 楼
邮编：100031	A 栋 23 层 2301 房	邮编：200086	邮编：518000
邮箱：research@tfzq.com	邮编：570102	电话：(8621)-65055515	电话：(86755)-23915663
	电话：(0898)-65365390	传真：(8621)-61069806	传真：(86755)-82571995
	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com