

洁净能源领域动态监测快报



本期重点

- 国家能源局 《能源技术创新“十三五”规划》
- IRENA：车用生物燃气发展报告
- Nature：NASA 研究认为生物燃料大幅降低飞机颗粒物排放
- Nature：光合作用中的量子设计原则指导仿生太阳能转化
- Science：蓝细菌生物钟结构研究

主办：中国科学院青岛生物能源与过程研究所

主管：中国科学院文献情报系统学科情报协调组

目 录

决策参考

国家能源局《能源技术创新“十三五”规划》	1
IRENA：车用生物燃气发展报告	2
Nature：NASA 研究认为生物燃料大幅降低飞机颗粒物排放	6

科技前沿

Nature：光合作用中的量子反应指导仿生太阳能转化	8
Science：蓝细菌生物钟结构研究	9
纤维素结构的光谱学研究取得新进展	11
绿藻产氢酶结构及装配研究	12

决策参考

国家能源局《能源技术创新“十三五”规划》

国家能源局1月份对外发布了《能源技术创新“十三五”规划》(以下简称《规划》),《规划》提出“十三五”期间将集中力量突破重大关键技术、关键材料和关键装备,实现能源自主创新能力大幅提升、能源产业国际竞争力明显提升,能源技术创新体系初步形成。《规划》是《能源技术革命创新行动计划(2016-2030年)》在“十三五”期间的阶段性目标,是未来五年推进能源技术革命的重要指南。

《规划》提出,围绕“十三五”期间我国能源产业发展重大需求,着眼推动能源技术革命,聚焦形成**清洁高效化石能源技术**、**新能源电力系统技术**、**安全先进核电技术**、**战略性能源技术**、**能源基础材料技术**五个重大能源科技专题,每个技术领域按照应用推广一批、示范试验一批、集中攻关一批进行任务分类。集中攻关类共70项,示范试验类共48项,应用推广类共31项,重点任务共计149项。其中,战略性能源技术方向包括**高清洁、高能量密度特种油品**、**氢能与燃料电池**、**天然气水合物**等7的技术领域,集中攻关技术有**生物航空燃油关键技术**、**燃料电池(氢能)催化剂材料研究**等11项。能源基础材料技术方向提出**高温材料**、**核级材料**、**电池材料**、**催化剂材料**和**先进电力电子器件**等5个领域12项集中攻关技术。

生物能源领域任务如下:

● 示范试验项目: 生物质集中高效热电联产及多能互补技术示范

研究目标: 开展10MW规模的分布式生物质热解-气化燃气轮机发电技术的示范试验,并突破生物质与太阳能、风能等可再生能源多联供综合利用关键技术,建成10000方/天级的大型生物质制气工程和**多能互补综合利用示范工程**。

研究内容: 研究分布式燃料**高效热电联产技术**,主要包括**热解炉与气化炉间的最佳配套技术**、**热电联产系统的清洁和环保技术**。研究**生物质能与多种能源互补利用技术**,重点开展**生物燃气高效制备研制及其与太阳能综合利用的关键技术**。

起止时间: 2016-2025 年

● 集中攻关项目: 生物航空燃油关键技术

研究目标: 开发**油脂与糖基原料互补的生物航空燃油关键技术**,达到与传统航空煤油以50:50比例掺混应用的目标。

研究内容: 研究**糖基生物质水相催化合成生物航空燃油技术**,包括**纤维素及非粮生物质水热降解**、**糖平台化合物增碳异构**、**中间体加氢脱氧**等技术,研发**油脂原料培育**、**种植及油脂提取技术**,以及**油脂加氢异构技术**;开展**油脂与糖基生物航空**

燃油的加氢精制技术、油脂与糖基原料互补的生物航空燃油组成及能质性能调控技术、生物航空燃油与传统航空煤油调和及航空发动机燃烧技术研究。

起止时间：2016-2021 年

● 集中攻关项目：生物质转化催化剂材料应用

研究目标：开发碳水化合物水热化学转化为小分子多元醇反应的催化材料；开发木质素高效转化新型催化材料；开发木质纤维素平台化合物合成生物燃料新型催化剂材料；开发生物质甲醇制备 1,3-丁二醇催化剂；开发甘油高选择性制备 1,2-丙二醇催化剂；开发山梨醇加氢裂解制多元醇催化剂；开发六碳糖制备 HMF 的超强酸催化剂。

研究内容：研发水热稳定性优异，适用于碳水化合物催化转化高选择性制备高附加值多元醇的催化剂材料；发展木质素氢解新型碳化物催化材料和双/多功能金属催化剂，实现木质素高效转化制备芳香化学品和环烷烃燃料；开发廉价高效的催化剂材料，以木质纤维素平台化合物催化加氢脱氧反应制备高品位航空燃料或生物柴油；开发生物质甲醇制备甲醛、甲醛丙烯缩合反应制备 1,3-丁二醇的高性能催化剂和工艺技术；开发高活性、高选择性、高稳定性的甘油制备 1,2-丙二醇的催化剂及工艺技术；开发选择加氢裂解催化新材料，应用于葡萄糖-山梨醇催化加氢裂解制备聚合级多元醇产品；开发系列钽基超强酸材料合成技术和催化六碳糖转化 HMF 过程放大工艺。

起止时间：2015-2023 年

来源：http://zfxgk.nea.gov.cn/auto83/201701/t20170113_2490.htm

IRENA：车用生物燃气发展报告

国际可再生能源署 3 月发布了《车用生物燃气发展》报告。报告总结了生物燃气的发展现状及应用中面临的挑战，包括原料供应问题、成本问题、社会对生物燃气的优势认识不足、能源部门基础设施垄断、关于气网的规章制度的缺失、燃气纯化设备不足、高效能燃气汽车研发落后、终端用户对燃气汽车的接受程度低等。

2016 年车用生物燃气产量排名前 5 名的国家是德国、瑞典、瑞士、英国和美国。全球大约有 500 家生物燃气生产和纯化工厂，产能约为 50PJ/a。成本问题是生物燃气作为汽车燃料的最大问题，生物燃气的成本主要取决于原料成本。一般以粪便为原料时，成本在 0.22-0.39 美元/方之间，以废弃物为原料，成本在 0.11-0.50 美元/方之间。除原料外，生物燃气纯化和提纯的成本还取决于设备的规模。

1.生物燃气利用情况

目前生物燃气在世界范围内已经有广泛应用，主要用于发热与发电。2013 年生物燃气产量约 600TWh，中国产量位居第一，其次是美国和德国。但中国几乎 100% 的生物燃气都产于小规模生物发酵，并用于民用。在美国大约有一半用于发电。而在欧洲（包括德国、意大利和英国），大于 90% 的生物燃气用于发电，具体情况如图 1，用于车用燃料的生物燃气目前只占不到 1%，但在稳步增长，如图 2 所示。

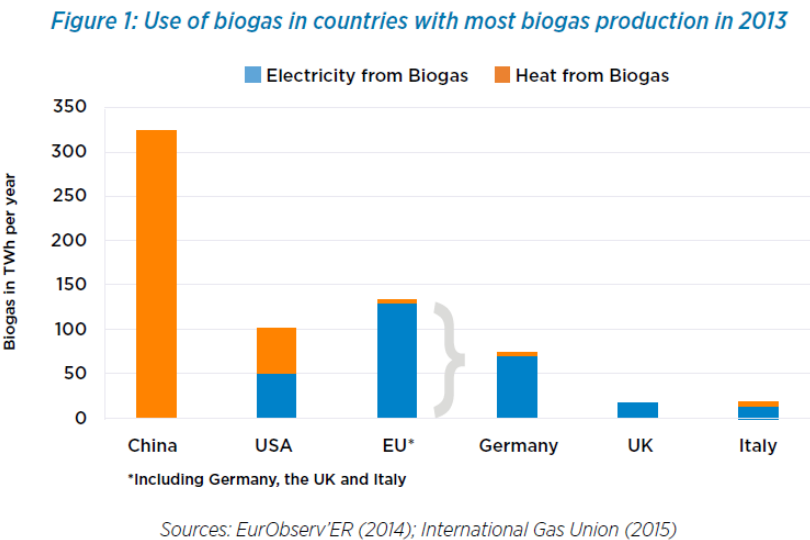


图 1 2013 年主要国家生物燃气的用途

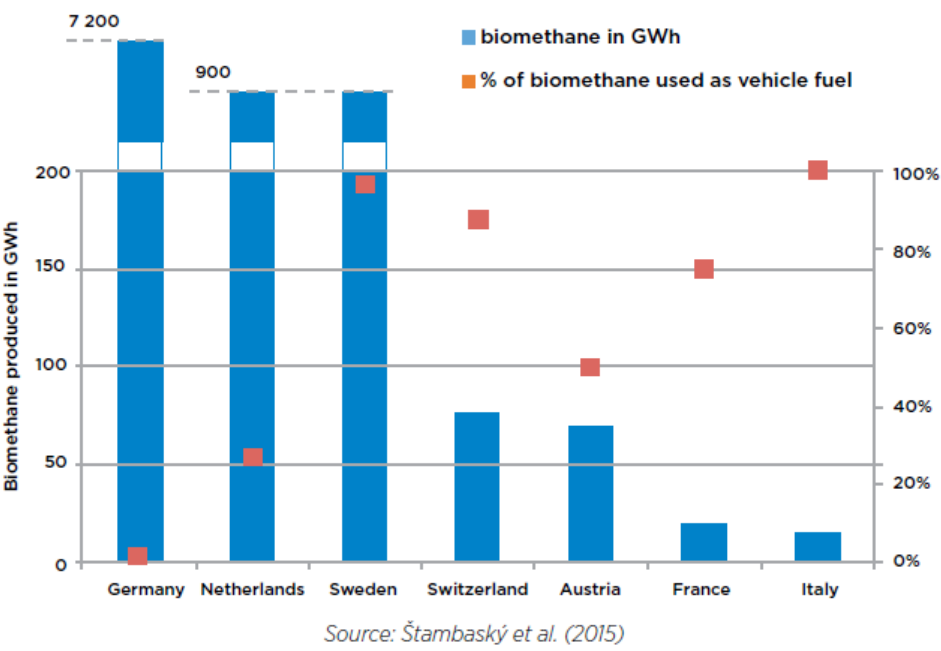


图 2 2013 年欧洲生物燃气产量及用于车用燃料的比例

2. 生物燃气技术发展

生物燃气可以使用液态、固态或者混合态多种原料，如动物饲养副产物、农业

废弃物等，不同原料的沼气生产率和甲烷含量不同，如图 3 所示：

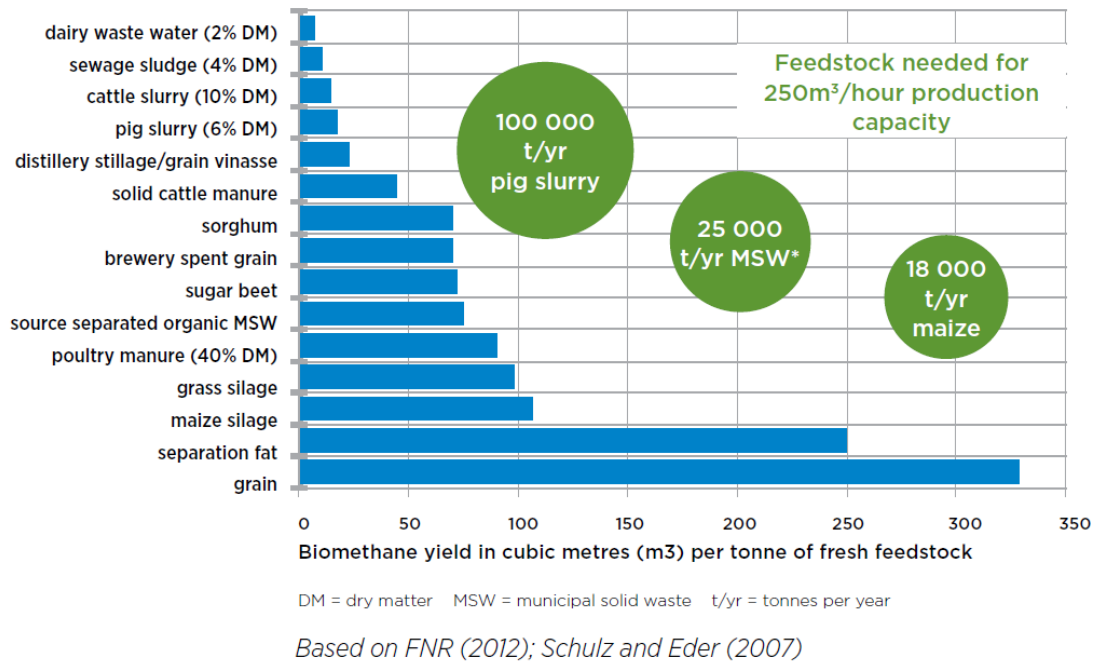
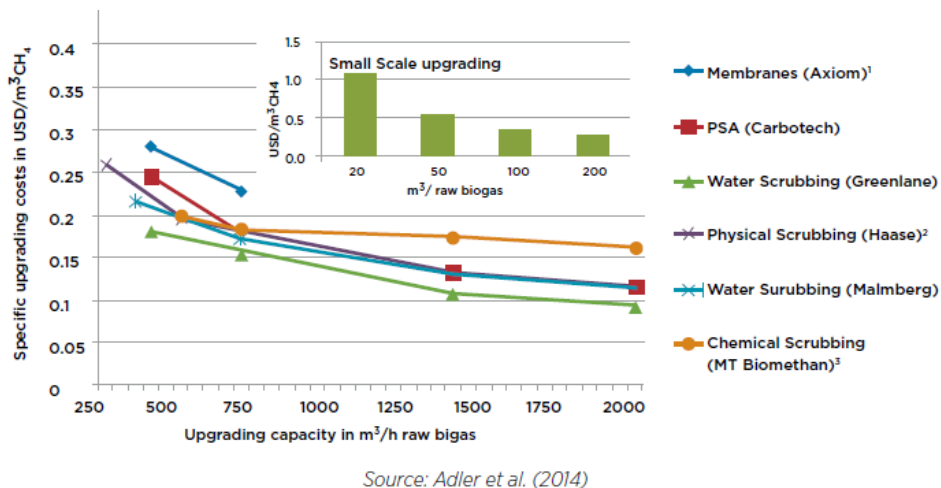


图 3 不同原料的生物甲烷生产效率

车用生物燃气需要达到一定标准，并且需要较高的能量密度，因此必须提纯提质。提质主要是 CO_2 的去除，常见的 CO_2 去除技术是基于物理、化学或者膜吸附，区别主要是能耗及过程中甲烷损耗率的不同，具体技术的选择根据项目情况决定。生物燃气提质过程的成本与工厂规模密切相关，因此大部分提质技术都是针对 200 方/小时以上的规模，200-300 方/小时规模的提质设备较少。不同提质方法的成本比较如图 4。



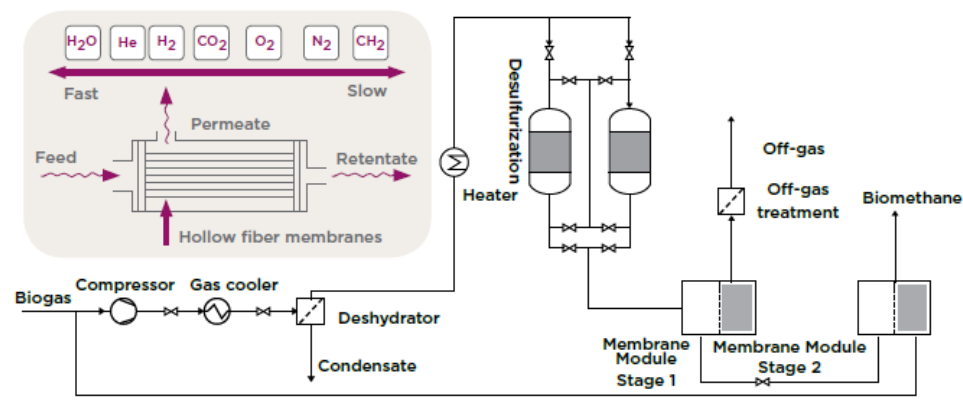
1 At an early stage of development (in 2012); Today membrane technology is much further developed

2 Based on a solvent named Genosorb

3 Today known as Hitachi Zosen Inova

图 4：不同规模工厂生物天然气提质成本比较

膜分离法是一项相对较新的技术，但发展很快。在沼气纯化、干燥、压缩后通过滤膜，甲烷分子较大留在膜内，而二氧化碳可以通过过滤膜。

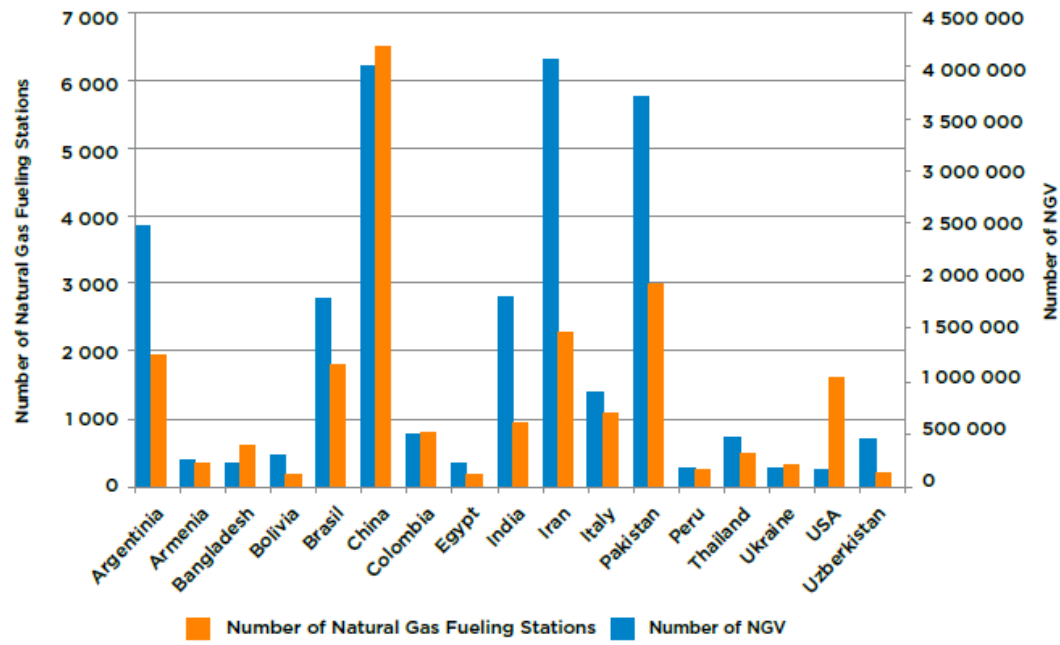


Sources: Beil (2016); Evonik (n.d.)

图 5 过滤膜法分离甲烷和二氧化碳

3. 车用生物燃气成本估算

生物燃气与天然气相似，可以作为天然气能源的直接替代品，直接用于天然气车辆。在过去几年内，天然气车辆增长迅速，2015 年全球大约有 2270 万辆天然气汽车，全球加气站数量及生物燃气车辆分布如图 6 所示。

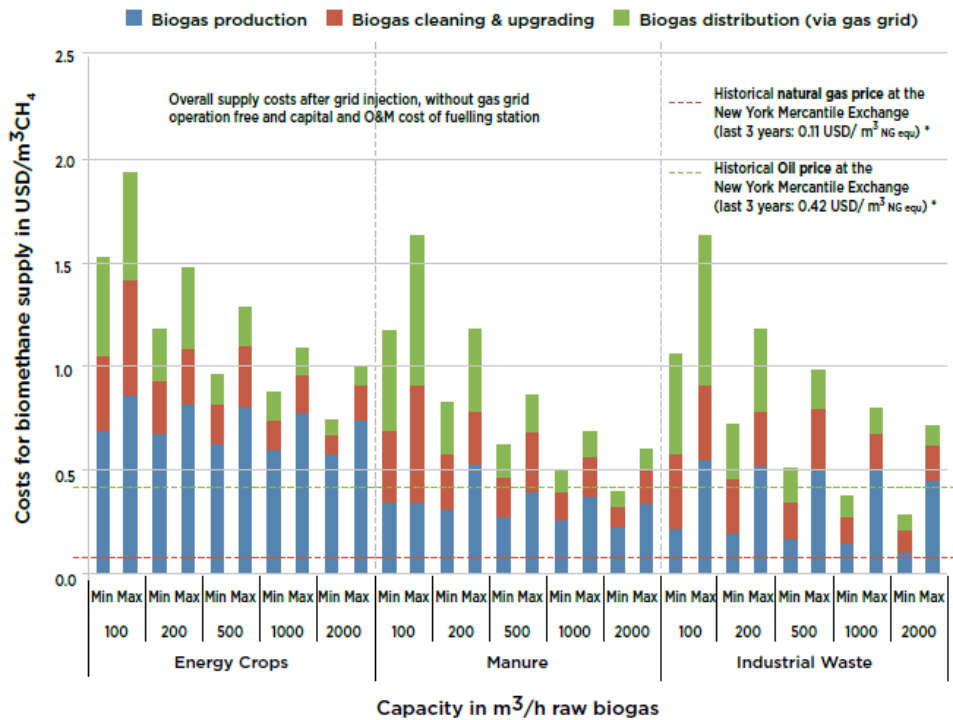


Source: NGV Journal (2016)

图 6 不同国家天然气加气站及天然气车辆分布

报告估算了车用生物燃气的生产、提质、分配环节的成本，最终得出以能源作

物为原料，成为在 0.75-1.94 美元/方之间，以粪便为原料，成本在 0.40-1.63 美元/方之间，以工业废弃物为原料成本为 0.28-1.63 美元/方之间，具体见图 7。



Sources: Urban et al. (2009), Adler et al. (2014); Urban (2010)

图 7：不同原料与生产规模车用生物燃气成本比较

根据报告，中国的车用生物燃气发展已经具备了很好的基础，中国的生物燃气在产量、产能和发展潜力方面都位居世界前列，我国天然气车辆与加气站等基础设施建设非常发达，未来车用生物燃气潜力巨大。

参考文献：IRENA “BIOGAS FOR ROAD VEHICLES _TECHNOLOGY BRIEF”

Nature：NASA研究认为生物燃料大幅降低飞机颗粒物排放

根据航天运输行动小组（ATAG）的数据指出，在 2015 年，仅飞机就产生了 7 亿 8000 万吨的 CO₂，工业上一般通过提高发动机效率、寻找备用的飞行路径以及选择合理的生物燃料来减小碳排放。这些生物燃料来自于各种各样的植物，例如：耐寒的盐生植物、亚麻荠以及林业生产中的废料。现在，生物燃料动力飞机已在 United Airlines、Virgin Atlantic 以及 US Air Force 服役。

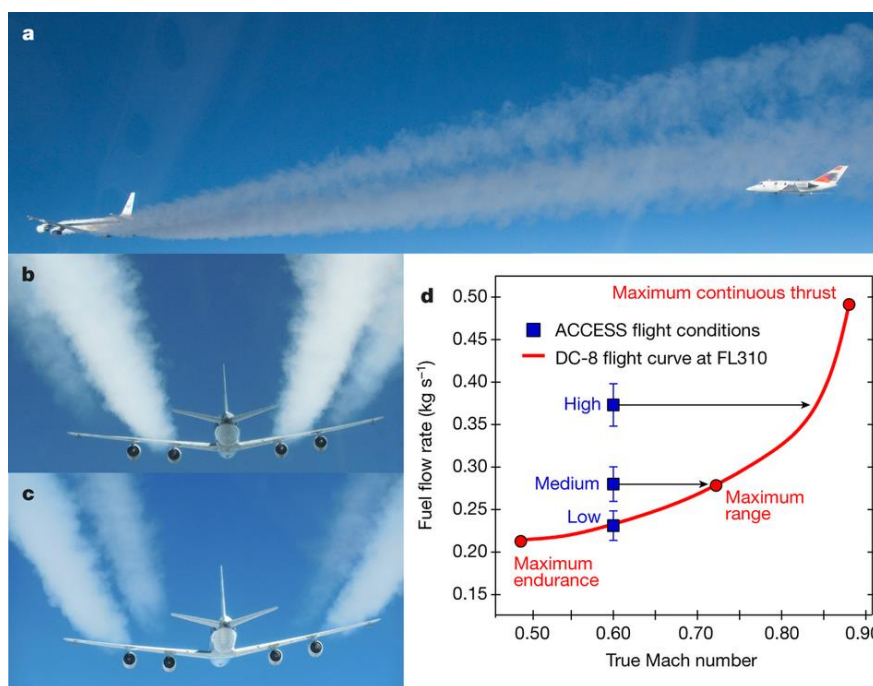


图: a, NASA HU-25 对 DC-8 客机的尾气进行测试 b, c, DC-8 客机内置发动机最大推力, 舷外挂机几乎不工作的情况下的前视图 (b) 和后视图 (c) d, DC-8 的飞行情况曲线 (红色), 假设飞机总重量 90718 千克, 飞行高度 10670 米。

为了调查使用了生物燃料的影响, NASA 以及德国和加拿大的机构组成研究小组对生物替代燃料在凝结和排放方面进行研究 (项目名称简写: ACCESS)。他们给 DC-8 大型喷气式客机加入 1:1 的标准燃料和生物燃料, 在 2013-2014 两年时间内进行测试, 不仅监测废气中的碳排放, 还对尾流中碳凝结的形成进行研究。当热的尾气从飞机发动机排出, 遇到寒冷的高空气流就会产生凝结, 而凝结的物质大部分是由水蒸气以及冰晶所组成。通常人们认为凝结的物质会四处分散从而形成卷积云, 干扰正常的天气情况。因此, 飞行过程中产生的尾气凝结对大气层的影响比碳排放更为严重。而生物燃料可以解决这一问题, ACCESS 项目组经测试发现, 生物混合燃料可以有效减少颗粒排放可达 50-70%, 不仅减缓了 CO₂ 的排放, 还抑制了尾气凝结的生成。

ACCESS 项目的一位科学家 Bruce Anderson 说道: “烟尘是影响尾气凝结产生和性质的重要因素, 而使用生物混合燃料之后, 经我们测量, 能直接凝结的细小颗粒减小了。换句话说, 这可以帮助减小对地球环境的影响。” NASA 计划继续研究生物燃料的优点, 以发展其在超音速验证机的应用。

原文链接: <http://newatlas.com/nasa-biofuel-impact-study-contrails/48433/>

文献链接: <http://www.nature.com/nature/journal/v543/n7645/full/nature21420.html>

Nature：光合作用中的量子反应指导仿生太阳能转化

自然界中光合作用是将太阳光量子转化为高能产品以驱动生命生化反应的自然过程，是地球上最重要的能量转换和物质转换过程，为几乎所有生物提供赖以生存的物质基础和能源基础。开展光合作用的原理和仿生研究对探索人工高效利用太阳能，解决人类面临的能源和环境问题具有重要应用价值。

荷兰 UV 大学的 Elisabet 3 月 16 日在 Nature 发表综述文章，介绍了光合作用反应中心的研究进展，特别是电荷分离过程，并提出了指导仿生太阳能转化设计的量子反应。

光合作用包括能量转移的激发和电荷分离两个基础过程。在最优条件下，每个吸收的光子都用于生物体的光合成。在光合作用的初始阶段，色素-蛋白质复合体吸收太阳能并转化为化学能，由于色素吸收系数大，在光复合物中密度高，光吸收过程的时间单位为飞秒($1\text{ ps} = 10^{-12}\text{ s}$)，太阳光激发能在色素中保存的时间单位为纳秒($1\text{ ns} = 10^{-9}\text{ s}$)。通过快速的反应过程，所有吸收的太阳能都可以通过光合作用复合体转化为电化学能。光合作用过程的基本的量子学现象包括：离域作用、电荷分离过程的速度、效率和方向，作者提出在自然界光合作用中至少有四种量子反应可用于仿生人造能量转化系统的发展。

光合反应中心的概念最早在 1932 年提出，2014 年，Louis N. M. 通过实验发现，大多数叶绿素分子捕获太阳光的方式是通过吸收转移激发能量到一种特殊叶绿素上，从而转化成可用的化学物质，他提出这些特殊的叶绿素为反应中心。光合作用中，在光合反应中心的电荷分离过程中，太阳激发能转化为一对稳定电荷的转化效率接近 100%。文章特别讨论了存在于紫细菌和蓝细菌、藻类等放氧生物中的 PSII 反应中心。电荷分离过程是将激发态的能量转化为稳定的电荷分离状态，在缺少醌类物质的反应中心，系统的能量在几百飞秒的时间内降为最低状态。通过前期的研究，并结合光谱实验和调整的 Redfield 理论，对光驱动的电荷分离过程有了新的理解。对于 PSII 反应中心，已经发现了数种可避免能量损失，是电荷分离达到 100% 的解决方案。基于电荷分离研究的新进展，指导设计与构建高效人造太阳光能转化系统的四个重要因素如下：

1. 激发态与能量转移态混合原则。光反应中心的电荷分离过程不可以逆转，因此电荷分离过程必须非常快，以防止逆转移。原则上来说，两种状态的量子叠加可以创造一种从激发态到电荷分离态的非常快的转移。然而，零声子状态的激发态和电荷转移态的叠加非常小，因此在强烈的静电耦合作用下，电子受体与供体的混合

并不明显。

2. 共振作用。在分子内振动量子的能量与激发态和电荷转移态之间的能量差很小，在其存在下，电荷转移会显著增强。文章发现，因为纯激发态电子之间的能量转移较小，因此在光捕获天线中的振动辅助机制较不重要。

3. 蛋白复合体控制的电荷转移。蛋白质诱导了在产生激发态和电荷转移态之间的能量转变，从而完成电荷分离过程。值得注意的是，相关的激发态电荷转移混合由振动所辅助，从而增加了特定方向的电荷分离效率，这一现象不仅存在于激发态，也存在于自然光合作用中。

4. 蛋白复合体控制的共振作用。共振作用在自然界中用于选择性的驱动电子转移的过程和方向。

光合反应中心的量子设计与其内在反应相关联，并产生离域作用，增加电荷分离的效率，不仅在持续的激光脉冲的二维电子光谱中被激发，在自然条件中，非连贯非激发态的太阳光照下同样存在，人造能量转化系统需要满足电荷分离设计原则以发挥其优势，因此这四项量子反应可以用于新的太阳能技术的开发。

文章提出了一种仿生设计，旨在理解人造能量转化系统的机制，并促进其发展。目前在太阳能光伏发电、染料敏化电池、太阳能-燃料（人工树叶）等领域已经提出了许多简洁、有应用前景的能量转化途径。在这些系统中，在电荷重组、电荷转移或者电荷分离过程中产生的能量损失主要由系统材料的不平衡导致。这些问题可以参照文章中提出的四种设计因素改善。

原文链接：<http://www.nature.com/nature/journal/v543/n7645/full/nature22012.html>

Science：蓝细菌生物钟结构研究

蓝细菌有一个强有力的昼夜节律振荡器，称为 Kai 系统，是由 KaiC, KaiB 和 KaiA 三种蛋白质组成，在 ATP 的存在下，可以计时。KaiC 六聚物在 24 小时周期进行自体磷酸化，并与不同数目的 KaiB 和 KaiA 结合成不同的形式。Science 发表文章对 Kai 系统进行了研究。研究通过质谱分析进行监控，研究定量的 KaiCB 与 KaiCAB 的组装。研究数据揭示了 Kai 蛋白之间的相互作用，并为研究蛋白振荡器的规律组装提供的结构基础。

从蓝细菌到动物，许多生命体都有内在生物钟适应地球的昼夜循环。这些生物钟使得基因表达和代谢的节律周期为约 24 小时。许多昼夜节律依赖于复杂的转录-翻译调解网络，蓝细菌和人类红细胞中的生物钟为转译后节律振荡器。蓝细菌的节律振荡器——Kai 系统由 KaiC, KaiB 和 KaiA 三种蛋白质组成，非常稳定，可以通过在 ATP 存在的情况下孵化纯化的 KaiC, KaiB 和 KaiA 蛋白进行重组。这种体外节律

振荡器可以稳定保持几周的时间。

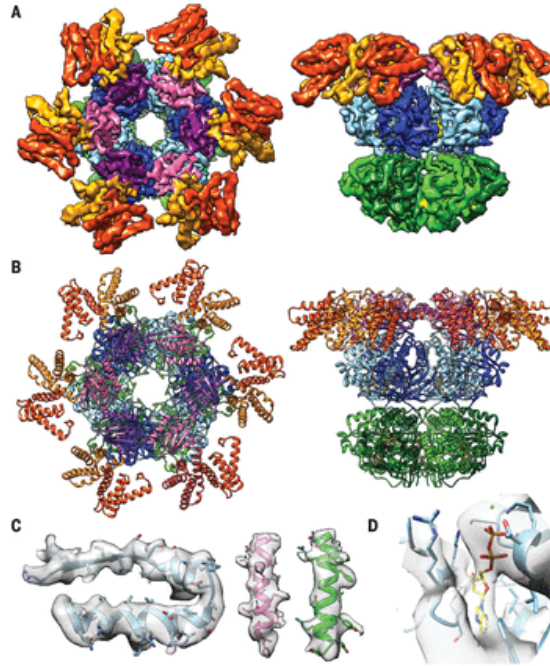


图.1 Cryo-EM map and pseudoatomic model of the KaiCBA complex.

Kai 系统中的三种蛋白质通过与 KaiC 的自身磷酸化与脱磷酸化相关的动态组装形成 KaiCB 和 KaiCBA 复合体形成昼夜节律。单个的 Kai 系统蛋白质的原子结构已经明确，但复合体的结构尚不明确。KaiB 在溶液中可以单体、二聚体和四聚体的形式存在，KaiB 六聚体可以与 KaiC 六聚体结合，但 KaiB 与 KaiC 的结合域尚不明确。

实验中通过在 30 摄氏度的条件下使一定摩尔配比的三种蛋白质反应，通过离子质谱研究该条件下 Kai 蛋白质的组装。通过摩尔配比的调整和实验条件的改变，最终得到了 KaiC₆B₆A₁₂ 和 KaiC₆B₆ 两种复合体，通过冷冻电子显微镜获得两种复合体的原子结构模型，如图 1。

在实验的基础上，研究人员提出了体外 Kai 系统的在 ATP 存在情况下的组装模式。如图 2 所示，该模型可以作为进一步研究蓝细菌细胞生物钟的框架。

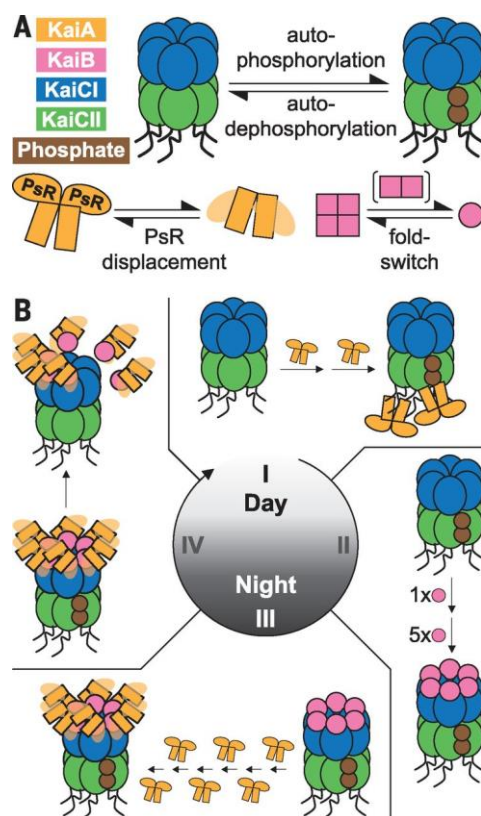


图 2 蓝细菌生物钟周期性组装的结构基础

(A) 昼夜循环中单个 Kai 蛋白的过渡结构(B) KaiCBA 振荡器的分子结构。磷酸化作用是的 KaiB 单体结合到 KaiC 的 C1 区域，形成 KaiCB 复合体(II)。KaiCB 为 KaiA 的结合提供基础，进一步形成 KaiCBA 复合体(III)。KaiA 簇促使 KaiC 自动脱磷酸化，通过释放 KaiBA 亚基，重新产生 KaiC 单体(IV)。

原文链接：<http://science.sciencemag.org/content/355/6330/1181.full>

纤维素结构的光谱学研究取得新进展

越来越多的植物被用于乙醇及其它液态生物燃料的生产，但是植物细胞壁中的糖质成分是经济有效生产生物燃料的一个主要“拦路虎”，而近期华盛顿州立大学与 PNNL 研究人员合作利用光谱学方法，深入解析了纤维素分子的内部结构，文章发表在 *Scientific Reports* 杂志。

研究人员首次通过分子纤维素的分子组分结构揭示了纤维素材料由两种明显不同的结构组成。一种是占大部分的晶体内核，一部分是纤维素表层。这种核心-表层结构之前尚未通过光学光谱观测到。目前的问题是两种结构之间的变化情况，可见光的波长是有限的，因此光谱观测的范围也受到限制。该发现说明了光谱研究在纤维素生物质转化研究中的重要性。

原文链接：<http://www.nature.com/articles/srep44319>

绿藻产氢酶结构及装配研究

目前对于氢化酶在自然条件下如何形成的研究很少。研究人员通过新的合成生物学方法发现绿藻叶绿体中一种特殊的蛋白质是有活性的氢化酶所必需的，研究文章发表于“The Plant Journal”。

研究中使用单细胞藻类莱茵衣藻，氢化酶的组装中需要 HYDA1 酶，该酶含有一个复杂的辅因子，是氢气产生的区域。辅因子由四个铁离子和四个硫原子组成，另外还有两个铁离子与其结合催化产生氢气。

氢化酶前体存在于绿藻细胞中的不同区域，包括叶绿体和细胞质。但只有在叶绿体中可以组装成有活性的氢化酶。另外，研究人员在绿藻基因组中插入了细菌的氢化酶基因进行测试，莱茵衣藻用细菌的氢化酶基因表达产生了一个有活性的酶并成功生成了氢气。基于这些发现，研究人员可以发展生物技术方法，提高绿藻中氢气的产生效率。

原文链接: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.13535/abstract>

来源: <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/03/170327100620.htm>

中国科学院文献情报系统先进能源情报网简介

中国科学院文献情报系统先进能源情报网是在中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组的整体组织和指导下，由中国科学院武汉文献情报中心牵头组建，联合中国科学院文献情报系统能源领域相关研究所，共同搭建的情报研究资源共享及协同服务的非营利性情报研究及服务团体。先进能源情报网将汇聚中科院文献情报系统内与领域相关的战略情报研究人员、学科情报人员、研究所科研管理人员、研究所文献情报人员，以及相关的管理和学科专家，通过“协同开展情报研究服务、组合共建情报产品体系、促进情报资源交流共享、提升整体情报保障能力”的工作方式，创新院所协同的情报研究和服务保障模式，促进情报资源的共享、情报需求和情报供给的对接、情报技术方法的合作开发，实现情报能力的扩散和提升，进而对中国科学院各个层面（院层面、所层面、项目团队层面及科研人员层面）的重要情报需求提供坚实保障。

先进能源情报网成员单位

成员单位	单位名称
组长单位	中国科学院武汉文献情报中心
副组长单位 (排名不分 先后)	中国科学院合肥物质科学研究院 中国科学院大连化学物理研究所 中国科学院青岛生物能源与过程研究所 中国科学院广州能源研究所
成员单位 (排名不分 先后)	中国科学院上海高等研究院 中国科学院山西煤炭化学研究所 中国科学院上海应用物理研究所 中国科学院兰州近代物理研究所 中国科学院广州地球化学研究所 中国科学院过程工程研究所 中国科学院电工研究所 中国科学院工程热物理研究所

中国科学院青岛生物能源与过程研究所

联系人：苏郁洁 电话：（0532）80662646