

打赢“碳中和”的攻坚战离不开生物质 ——以生物基甲醇为例

程序

中国农业大学农学院, 中国农业大学生物质工程中心, 北京 100193

摘要 分析了实现碳中和过程中存在的电力代替不了的、类似在国际航运界受到重视燃料的领域和有30%的工业部门很难实现碳中和的问题。提出了单纯依靠风电或光伏电不能完全实现碳中和, 要解决脱碳的攻坚难题, 离不开生物质脱碳的独特作用, 忽视生物质能和生物基合成材料的倾向需要尽快得到改正。

关键词 碳中和; 航运燃料; 脱碳; 绿色生物基甲醇; 电子合成材料

甲醇是一种用途广泛的重要化工原料, 也是一种液体燃料。作为一种可以长期储存能量的载体 (energy carrier), 曾经引发过讨论。诺贝尔化学奖得主、美国的乔治·奥拉 2007 年在《跨越油气时代: 甲醇经济》中指出^[1]: “人类没有能源危机, 但是有能源储存危机”。但此后甲醇一直只被用作化学品, 没有大量地能源应用。中国一些汽车制造企业近年来多次建议发展车用甲醇, 但终因煤制甲醇释放温室气体和空气污染物过多等原因, 而未大规模付诸实施。

2021 年以来, 生物基甲醇 (又称“绿色甲醇”) 突然在国际航运界受到关注。国际航运巨头如马士基、达飞等在全球四处求购。甲醇作为一种理想的储能物质和液体燃料在国际上重新受到重视, 与近年来风电、光伏发电的迅猛发展和存在制约问题有极大的关系。

风电、光伏发电最大的缺陷是不稳定性 (间歇性), 电网必须配套大容量的调峰设备, 需新建若干以煤为主的火电厂, 等于部分抵消风电、光伏发电对温室气体减排的贡献; 同时, 也因为风电、光伏发电的不稳定性, 造成相当数量的“弃风”和“弃光”。

1 电子合成燃料

国际能源电力界一方面大力研发诸如蓄水/飞轮储能等短期储能技术, 另一方面也开发了就地利用风电、光伏电, 通过电解水制氢, 再用氢合成气、固、液态燃料, 用以长期储能的技术路线, 称为 Power-to-X, X 可以是甲醇或乙醇, 或二甲醚等, 即“电子合成燃料”(eFuels)。

电子合成甲醇 (e-methanol) 是由电解水的氢和一氧化碳或二氧化碳合成的。由于电子合成燃

收稿日期: 2023-06-21; 修回日期: 2023-08-03

作者简介: 程序, 教授, 研究方向为生物质工程, 可持续农业和农村发展, 电子信箱: chengxu@cau.edu.cn

引用格式: 程序. 打赢“碳中和”的攻坚战离不开生物质——以生物基甲醇为例[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 76-81; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.16.006

料的基本构成是由可再生能源制成的“绿氢”,比化石燃料能有较大幅度的碳减排效应,因此受到国际气候变化界的重视和推崇,属于“绿色甲醇”;而另一类“绿色甲醇”则不是电子合成的,是生物源的甲醇,又称作生物甲醇。

2 “绿色甲醇”异军突起

中国是全球常规甲醇产量最高的,也是唯一还在用煤(通过现代煤化工技术)制造甲醇的国家。其他国家均采用天然气制甲醇,全球甲醇的年产量为1.1亿t。

2.1 生物基“绿色甲醇”有严格的定义

“绿色甲醇”一类完全基于生物质(biogenic),通过将生物质转化(例如气化)出的绿氢和二氧化碳(包括生物质发电厂烟道气中的二氧化碳)合成而得。而“电子合成甲醇”如要列入“绿色甲醇”的范畴,则必须由可再生的“绿氢”和非化石燃料产生的二氧化碳(特称 sustainable CO₂ source)合成产生。二氧化碳须来自从空气中直接捕获(DAC途径),属于“非生物源可再生燃料”(renewable fuels from non-biological origin, RFNBOs)。至于其他来源的甲醇,每吨煤制甲醇制造和使用要排放5 t多二氧化碳,完全不符合标准;即便是新出现的,氢来自可再生电能对水的电解,二氧化碳来自化石能源燃烧的尾气的甲醇,由于会造成“碳泄漏”,仍不属于“绿色甲醇”的范畴。近几年,有国内企业将这种电解水制氢与从化石燃料工业尾气中捕获的二氧化碳合成的甲醇自称为“绿色甲醇”,是不符合国际标准的。

2.2 “绿色甲醇”成为航运业“脱碳”的利器

国际海洋航运业多年来使用的燃料是化石基轻柴油和重油。年消费量约2亿t。每年排放的温室气体占全球总排量(二氧化碳当量)的2.5%。但该数值预计到2030年后将上升为4%甚至8%。为此,国际海事组织(IMO)在2018年发布了碳中和战略——到2050年全球航运业碳排放量要比2008年的水平下降50%。此后,各大国际海运集团开始着手寻找船用柴油的替代品^[2-3]。研究的结论是,由

于能应用现有的柴油发动机,便于储存和运输,且生产和灌注设施现成,用甲醇和天然气最好;新建的海船均应改为使用这2种燃料的双燃料发动机。而且这2种燃料还应进一步变革,成为低碳排放乃至零碳(碳中性)的“绿色”燃料;“绿色甲醇”突然走红的第二个原因,是欧盟对IMO战略的迅速跟进。2023年2月,欧洲议会环境委员会批准了欧盟碳交易体系的立法(ETS)。当中海运部分的妥协文本规定,使用传统海运燃料(柴油、重油)的商船出入欧洲,船东从2024年起必须交纳“碳配额”费。过渡期分为2023年、2024年、2025年,须逐年增加零碳燃料的比例,即40%、70%和100%。如果不使用零碳燃料,每吨传统的化石燃料要交90欧元的碳税^[4]。由于国际航运业的巨头几乎全部集中分布在欧洲,而欧洲又恰恰是中国外贸进出口的最重要目的地,因此据中国远洋海运集团(COSCO)估算,如不改变现用的轻柴油燃料,每年碳税的损失将达40亿欧元。

2.3 生物基“绿色甲醇”的优势

在碳减排方面,煤制甲醇制造和使用过程,以全生命周期计(LCA)计,每吨会排放5.5 t二氧化碳;而生产和使用“绿色甲醇”,不但不会有二氧化碳的净排放,有的情况下还会出现负碳排放。例如用废弃生物质制甲烷再转制甲醇的工艺。由于废弃生物质被收集利用而不是自然腐烂分解,避免了原来产生温室效应当量为二氧化碳25倍的甲烷进入大气,即形成负碳排放量。

在经济方面,用风能、光伏能电解水虽然可制得绿氢,再合成甲醇,但氢成本过高。尽管风/光电成本已有大幅降低;但电解氢的成本当前仍高达每吨1万元人民币以上,基本不具备大规模商业化的经济可行性。

从空气中直接捕获二氧化碳,也因需消耗大量电能而成本较高^[5]。目前每吨成本高达200美元以上。用这2种原料合成的“绿色甲醇”,估计每吨成本不会低于5000~6000元人民币。而因甲醇的能量密度只有柴油的1/2.2,换句话说,用这样的甲醇要达到1 t柴油的能量输出,成本接近1.2万元人民币,经济上完全没有可行性。

如果依靠生物质,走生物合成“绿色甲醇”的途径具有巨大的优势。一种方法是采用生物质气化-合成途径,生物质气化形成主要含氢和一氧化碳的合成气(syngas),再经气体重整合成甲醇(由合成气合成甲醇,煤化工已有成熟技术)。尤其是新近出现的一项突破性技术,可望将生物基甲醇的吨成本降至煤制甲醇的不到一半;另一种方法,是利用沼气的主要组分甲烷和二氧化碳。通常为了制备生物天然气,要花成本将二氧化碳分离。而甲烷转化氢是成熟技术,如果通过一步法,使沼气中的甲烷和二氧化碳直接合成为甲醇,预计成本会进一步降低。

无论采取哪一种方法,都能以远低于“电解水制氢+空气中捕获二氧化碳再合成甲烷”技术路线的成本生产出“绿色甲醇”,从而与液化生物天然气(bio-LNG)一起,占领未来“绿色航运”燃料的市场。据全球最大的甲醇生产商梅塞尼斯公司预测,未来5年,全球甲醇主要是“绿色甲醇”的需求量每年将增加1400万t^[6]。

3 生物天然气受到青睐

有人会说,船用轻柴油不能用,改用目前已有少数船只开始使用的常规液化天然气(LNG),是“洁净燃料”,是否可行?答案是否定的。

事实上,天然气并非真正的“洁净燃料”。虽然它确实比轻柴油碳排放率低,但差别并不显著(约减少20%);且使用设备(液化天然气需-160℃的超低温)造价高,尽管当前已有极少数海船采用了液化天然气,但未能显现发展势头。

相反,国际船东巨头纷纷把目光转向液化生物天然气(bio-LNG,又称生物甲烷)。研究发现,生物天然气不仅有很高的碳减排率,有的甚至可以有负碳排放的效应。例如,用粪便制沼气提纯的生物天然气,温室气体的排放率是-188%~-121%(图1)^[7]。而且如果采用优化的生产地耦合燃料添加地的布局方案,例如在沼气资源丰富的某些沿海或岛国的国家生产生物天然气,建立欧洲出发航线的

中途燃气补给站,可以获得非常理想的低成本^[8]。

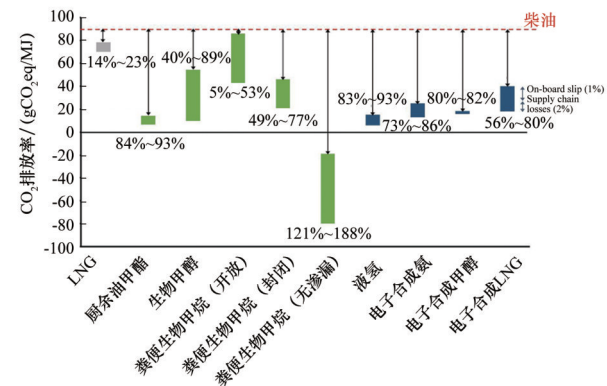


图1 若干种生物燃料与电子合成燃料的CO₂排放率对比

因此,经过对多种燃料的全面对比,国际航运界一致认为,在近、中期内,替代轻柴油最理想的燃料。是绿色的生物基甲醇和液化生物天然气;从长远看,在克服了一系列技术和使用的瓶颈后,绿氨和绿氢有可能进入船用绿色燃料的行列。

4 单纯依靠风电和光伏电不能真正实现碳中和

风电和光伏电在中国近年来发展迅猛,成本下降显著。于是很多关于“双碳”目标的研究,都作出了乐观的预测,认为靠这2种可再生电,实现“双碳”目标不会有任何问题;而对其他的可再生能源尤其是生物质能的应用,未给予应有的重视,甚至完全忽视。但从近来国际船用绿色甲醇包括绿色生物天然气的动向中可看出,事情并不简单。

1) 间歇性风、光电的“抛弃”问题,对短期储能(如抽水蓄能)的作用过于乐观,而忽视生物质具长期储能功能的优点;解决须用大量新建煤电来对风、光电实行调峰的难题,仍然要靠生物质燃料。

2) 如何找到电力代替不了(hard-to-electrify)能源的“绿色”利用形式:包括航海用燃料,航空燃料(以废弃的动植物油脂加氢制造可持续航空燃料SAF,已获成功)、大功率重载车辆(坦克)燃料,也

须靠生物质能。

3) 煤电高碳排放问题如何最终解决。只靠提高能效减少煤耗,解决不了这一“头号碳排放户”的碳中和问题;欧盟已有的成功经验——生物质与煤耦合发电是必经之路。

4) 如何应对不断兴起的“绿”潮——“绿色炼钢铁”和“绿色制造”等。如钢铁冶炼排放了中国 15% 的温室气体;电炉废钢铁冶炼只能解决小部分问题;用生物质燃料替代焦炭炼铁,已有了突破;越来越多的制造业包括水泥、陶瓷等,都被要求过程“绿色化”。否则,产品出口就可能面临高额碳关税;工业制造过程所用能源(特别是锅炉蒸汽)也迟早必须是“绿色”的。

国际气候界估计,由于多种原因,贡献了全球温室气体总排量约 30% 的工业部门,是所谓“难以实现碳中和”的(harder-to-abate industries)。“攻坚战”迟早要“开打”。应像国际航运界攻坚绿色甲醇和生物天然气的生产和应用那样,超前筹划。

除了打赢上述“攻坚战”最终生物质不可能缺席之外,还有一场范围更广、意义更重大、与生物质关系更密切的“攻坚战”:中国已是全球温室气体头号排放国,道义上承担着不但要大幅度减排、而且还要设法从大气中“吸出”部分已存在温室气体的责任。国际气候变化界的共识是从现在起到本世纪末,全球每年需要从大气中“吸出”数十吨(二氧化碳当量)已存在的温室气体。在所提出的对策中,二氧化碳捕获和(地质)封存 CCS,包括 CCUS 即在封存前加以利用)一开始被讨论得最多,论调最乐观。但实践证明,其经济可行性很差;相比之下,结合了生物质能的生物质能和碳捕集与封存(BECCS),却因为能做到碳负排放而显示出强大的吸引力。

此外,中国自提出能源和排放“双控”政策以后,很多地方特别是经济后发地区新上工业项目受到了刚性控制。想要妥善解决此经济发展与生态保护的矛盾,利用生物质的温室气体负排放功能、“挣出”碳指标是唯一可行的办法。

5 国际业界对绿色甲醇/生物天然气生产技术应用若干误解和误判

国际业界认为与“电合成甲醇”同为“绿色甲醇”的生物基甲醇,因存在其他用途对原料竞争的问题,因此电合成甲醇将处主导地位^[9-13]。生物质原料的用途确实很多,存在着一定的竞争。但从中国的实际情况看,秸秆的能源利用率仅是个位数,有经济效益的利用率很低;木质纤维类生物质如灌木平茬物和防护林/绿化修剪物的能源利用率更低。原料来源不成为问题。考虑到电合成甲醇非常高的成本,可以肯定,至少在中国,生物基甲醇将处于优先发展的主导地位。

国际可再生能源机构(IRENA)等 2021 年估算的 3 种甲醇的成本是:煤制甲醇 100~250 美元/t;生物甲醇 320~770 美元/t;电子合成甲醇 800~1600 美元/t(设用 BECCS 技术得到可持续的 CO₂ 成本为 10~50 美元/t)。之所以对生物甲醇制造成本判断过高,估计在于当前全球范围内,生物质制甲醇两大过程之一的气化,工艺技术尚未真正过关。正如新加坡南洋理工大学的研究报告所述,“由于气化技术未完全过关,加上缺少政策性支持,以及亏损等原因,尽管全球已有近 100 套木质纤维类生物质气化设备,但均尚在试验示范阶段。”^[14]相反,煤的气化工艺已很成熟,因此煤制甲醇的成本很低。但应看到,近年来生物质气化的技术正处在巨大变革中,生物质原料的成本也比煤低,因此生物甲醇的成本有望大幅度下降,甚至可低于煤制甲醇。

对近期内“绿色甲醇”入市和数量发展趋势的估测十分保守。挪威船级社(DNV)预测,生物甲醇和电合成甲醇将要先后于 2024 年和 2025 年才能进入市场。丹麦的马士基已签约并投资的项目,计划在 2025 年底分别生产 13 万 t 生物甲醇和 60 万 t 电合成甲醇。应看到对绿色甲醇迫切的市场需求,将是对技术创新强大的推动力。预计生物甲醇和电合成甲醇特别是前者,将很快有大规模生产的企业出现。目前,国内已有企业在 2022 年末就实现年产数十万 t 生物甲醇的规模。

6 结论

近年来国际上生物基甲醇和生物天然气的突然火爆,虽然暂时只局限于海运领域,但传递了重大信息:全球性的碳中和“攻坚战”已经开打了,且生物质已开始显示出其不可或缺的独特作用。

现在已经能看出:几乎任何一种碳减排或碳中和技术,如果要想同时具备显著的碳减排性和很强的经济可行性,都离不开生物质。如风、光电的高效应用,CCS特别是BECCS,煤电碳减排/碳中和以及无法用风/光电替代的燃料(航运燃料,航空燃料)的低/零碳化等。至于从大气中“吸除”已有的二氧化碳,更离不开生物质。全球范围内,恰恰是这些领域,存在着必须打赢的艰难“攻坚战”。

在中国,这类“攻坚战”也将是迫在眉睫的事。它提醒人们:不能只陶醉在风能和光伏能取得重大进展的喜悦中;不能认为这2种可再生“绿电”可以解决所有问题,更不能对实现“双碳”目标至关重要的生物质不闻不问。摆在我们面前的,是有若干场碳中和攻坚战早晚必须要打,而要想打赢则绝对离不开生物质。必须未雨绸缪,练好生物质能和生物质材料产业的基本功,依靠科技创新,攻克生物质产业当前存在的数个“瓶颈”问题,打赢减碳和负碳“攻坚战”,走出有中国特色的碳中和之路。

参考文献(References)

- [1] “中国参与是一个令人鼓舞的信息”——诺贝尔奖得主乔治·A·奥拉访谈录[J]. 世界科学, 2007(9): 5-6.
- [2] Wissner N, Healy S, Cames M, et al. Methanol as a marine fuel[EB/OL]. (2023-03-01). file:///C:/Users/Administrator/Desktop/Methanol% 20as% 20shipping% 20fuel% 20NABU%20study%202023_03.
- [3] Siu J, Lam L. Role of bio-LNG in shipping industry decarbonisation, Maritime Energy and Sustainable Development Centre of Excellence (MESD CoE) [EB/OL]. (2022-10-21). https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2022/10/Sea-LNG-Role-of-bio-LNG-in-shipping-industry-decarbonisation-2022_10.
- [4] 欧盟批准 e-Fuels 燃料使用 国内绿色甲醇工厂投产[EB/OL]. (2023-04-13). https://www.sohu.com/a/666248283_121485390
- [5] 直接从空气中捉住二氧化碳,真空技术帮了大忙[EB/OL]. (2022-10-27). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1747807719561821308&wfr=spider&for=pc>.
- [6] Shi J, Zhu Y Q, Feng Y M, et al. A prompt decarbonization pathway for shipping: Green hydrogen, ammonia, and methanol production and utilization in marine engines[J]. Atmosphere, 2023, 14: 584.
- [7] Siu J, Lam L. Role of bio-LNG in shipping industry decarbonisation, Nanyang Technological University, Singapore[EB/OL]. (2022-10-30). https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2022/10/Sea-LNG-Role-of-bio-LNG-in-shipping-industry-decarbonisation-2022_10.
- [8] Blanco E C, Sánchez A, Martín M, et al. Methanol and ammonia as emerging green fuels: Evaluation of a new power generation paradigm[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023, 175: 113195.
- [9] Larsen E L, Brenøe E E. Valuation of Early-Stage Green Transition Projects[EB/OL]. (2022-05-16). File:///C:/Users/Administrator/Desktop/马士基研究报告.
- [10] 赵凯. 全球生物质甲醇及应用发展[R]. 北京: 第四届全球生物质能创新发展高峰论坛, 2023.
- [11] Shih C F, Zhang T, Li J, et al. Powering the future with liquid sunshine[J]. Joule, 2018, 2(10): 1925-1949.
- [12] 李灿. 把阳光变成液体,中国科普博览 科学大院[EB/OL]. (2023-01-04). https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI3MzE3OTI0Mw==&mid=2247549406&idx=1&sn=57e08a1c8cf2671de1ce1c54c200b232&chksm=eb2576dad52ffcc0b9f294f31c8158dcdfebf93e9b83642a4997bef6dd4928eb6bbf11459&scene=27.
- [13] 程序. 生物质独特的负碳排放作用是碳减排的利器[J]. 科技导报, 2022, 40(7): 44-53.

To capture the victory of realizing carbon neutrality, biomass is a dispensable support: A case of methanol

CHENG Xu

Biomass engineering Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract Since International Maritime Organization(IMO) and European Parliament issued their decarbonization targets for ocean transportation, the bio-methanol('green methanol') has suddenly attracted enormous attention, and its supply falls short of demand. Such an event proves the anxieties about the existence of so-called 'hard-to-electrify' and 'harder-to-abate industries', by the international climate change circle. Methanol has been regarded as an ideal energy carrier. This case reminds that it is not realistic to realize carbon neutrality by only depending upon wind energy or photovoltaic energy. In order to find the solution, it is crucial to play the specific role of biomass. The tendency of neglecting bioenergy and bio-based materials has to be corrected.

Keywords carbon neutrality; marine shipping fuels; decarbonization; green bio-methanol; eFuels ●



(责任编辑 徐丽娇)