

藻类制氢的技术实现途径与应用前景展望

伍赛特

(上海汽车集团股份有限公司, 上海200438)

摘要：对氢能的优势以及藻类制氢技术进行了介绍，重点针对藻类制氢技术的实现途径进行了阐述，并描绘了其能源可持续发展的联系。同时，提出了其当前面临的技术难点，对其未来发展前景进行了展望。尽管仍有待于进一步完善，但在当前的能源环境背景下，藻类制氢技术有着广阔的应用前景，对其开展深入研究有着长远的实际意义。

引言

为了实现可持续发展，找到充足的清洁能源供应为当前面临的最大的技术挑战之一，能源发展与全球局势稳定、经济繁荣、生活品质有着密切联系。就目前而言，日常生活中的大部分能量供给均由化石能源提供。不断增长的能源需求会加速有限的化石能源的枯竭，作为世界主要的石油出口国之一的阿拉伯联合酋长国，至2040年左右，其石油与天然气将无法满足日渐增长的需求。化

石燃料在燃烧过程中除了释放温室气体CO₂之外，其所产生的空气污染物还会包括NO_x、SO_x、CO、固体颗粒物及具有挥发性的有机化合物，以此会对大气造成严重污染。

化石燃料除了在日渐减少的同时，也增加了大气环境中CO₂

的含量。在过去的数年中，针对未来可利用的能源开展了研究，重点为能实现可持续发展的替代能源，主要包括氢能、生物能、风能、核能、太阳能等。

1 氢能与藻类制氢技术

H₂由于其可再生性、燃烧过程不会产生温室气体CO₂，燃烧时能量密度较高，以及可通过燃料电池转换为电能等优势，通常被视为一类充满应用前景的清洁能源。早在20世纪90年代末期，可持续产氢技术有了显著突破，但目前其仅限于在实验室内部的小规模生产，尚无法得以大规模商业化。

目前，自然界存在的光解水反应及氢化酶物质。O₂对氢化酶的功用会产生一定的负面影响，同时会对氢化酶产生抑制影响。

藻类是最古老的生命形式之一，是植物中的一类，具有叶状体结构及可再生细胞，同时，可利用叶绿素a作为主要的光合作用色素。藻类的组织构造主要可为细胞自身生长转化能量，此类简单的生产模式可使其在适应环境条件及繁衍发展过程中具有一定优势。

藻类可从自然界中大量获取，并通过高效的光合作用产生燃料H₂。以绿藻为例，其可在理想的生长环境中以极高的速率生产。

目前，主要的制取氢方式——电解水和富氢化合物催化重整，均须通过大量能量的输入方可实现，就目前的生物制氢技术而言，其可通过微生物将生物质或太阳能转换为H₂。

藻类制取的H₂

主要基于光合作用的光对水分子的光解反应。可制取H₂的微生物通常包括来自真核生物与原核生物不同属性的上百种物种。产氧光合作用生物体可利用水作为光合作用的质子与电子来源。在该类生物体中仅有绿藻和蓝藻能具备持续生产H₂的能量。

通过藻类生物质生产氢能过程通常包括2类：热化学过程和生物过程。热化学过程通常有4种：燃烧、高温分解、液化和气化。生物过程通常有5种：直接生物光解、间接生物光解、生物水气转换反应、光发酵和暗发酵。采用藻类制氢的技术主要为直接生物光解及间接生物光解2类。

2直接生物光解技术

直接生物光解以藻类将水分子直接分解为 H_2 和 O_2 的能力为基础，通过水分解过程提取的质子和电子，被一种叶绿体氢化酶重新组合成氢分子，其纯度可达到98%。依靠光合作用的绿藻和蓝藻均为可持续制氢的起点。

将太阳能变为氢能的转化始于天线色素，例如叶绿素、类胡萝卜素及藻胆体。包括绿藻在内的大多数产氢光合生物体中，捕光色素通常含有2个光系统—— PS_{II} 及 PS_{I} 。

但同时由于绿藻中可逆的氢化酶对 O_2 高度敏感，酶的活性在片刻内会不可逆性地失活。因此，藻类养殖中通过水直接光解产生 H_2 较难持续。目前为止，氢化酶对一般光合作用产生 O_2 的敏感现象，限制了绿藻在制氢系统应用的可能性。化学和机械的方法均被应用于移除藻细胞光合作用中产生的 O_2 。相关方法包括：

- (1) 添加 O_2 清除剂；
- (2) 使用附加的还原剂；
- (3) 用惰性气体净化培养。

但是上述方法的技术弊端在于大规模应用成本过高，应用于生产系统的可能性较小。

3间接生物光解技术

氢化酶对 O_2 的敏感问题可通过分离水解反应等方式进行解决。目前，已经开发了诸多不同的间接生物光解方法。但在大多数的方法中，第一步是促进光合生物体大量生长，以获得富含碳水化合物的物质，固定 CO_2 ，提供生物质并存储碳水化合物；第二步通常为生物质发酵制氢，利用该类存储物生产 H_2 。

通常情况下，藻类会处于无硫的反应条件下，导致厌氧条件的产生，从而刺激 H_2 的持续产生。但该过程不如直接生物光解反应的效率高。间接生物光解反应的4个步骤通常如下：

- (1) 光合作用生产生物质；
- (2) 生物质浓缩；
- (3) 藻细胞在有氧黑暗条件下发酵，每摩尔葡萄糖产出4 mol H_2 ，伴随产生2 mol 醋酸盐；
- (4) 将2 mol 醋酸盐单独转化为 H_2 。

4藻类工程

就目前而言，通过生物系统实现 H_2 的产生和利用是能源研究领域重要而长远的目标¹。氢化酶通常存在于细菌和微藻中（包括蓝藻和单细胞绿藻），其主要功能有：

- (1) 在非最佳反应条件下，提供替代电子源用以维持藻类生存；
- (2) 用作一种安全阀捕获电子并用于阻止电子运输链出现过度还原的风险。

氢化酶是一种类型独特的酶，可对 H_2

的合成与分解具有催化作用。该作用是通过复杂的大分子结构得以实现的。氢化酶是一种金属酶，就其氧化-还原反应而言，对较多因素都反馈出敏感状态而易于失活，包括O₂、高温、CO以及多种其他环境因素。

随着近年来技术的发展，使得用生物化学法表征氢化酶成为可能，不需要控制氢化酶的内在机制，仅需通过生物体的异源表达。因此，通过生物探索，经由异源表达的研究，目标基因的特性可以从遗传学和生物学的角度得以识别。此外，与生物能源相关的其他关键酶的编码基因的天然丰度可被检出，利用相似的研究方法可使其得以充分利用。

5 藻类制氢技术与可持续发展

5.1 可持续发展

可持续发展的概念尽管近年来广为人知，但就广义层面而言，可持续发展是出于解决持续增长的一系列环境和社会经济问题的有效方案。可持续发展意味着从环境影响和能源的高效利用的观点出发，并使其转化为更高效的技术。新型氢燃料电池技术比传统能源技术更为清洁高效，被认为是理想的未来可持续能源系统的支柱之一。通过藻类制氢技术，使得在未来氢能的大规模可持续生产具有一定可实现的潜力。

H₂

以其无污染的特性有希望成为一类可再生的未来理想能量载体。大量的细菌、蓝细菌和藻类可以通过水、太阳能和一系列有机基质以生产H₂。H₂

被认为是未来最有前景的燃料之一。美国、欧

盟和日本已经着手建设H₂燃料站；同时，汽车制造商已开始大量投资发展H₂燃料电池汽车。

在已知的各类燃料中，氢能具有最高的比能量，并可通过多种方式实现生产。无论用于燃烧还是用于燃料电池，其副产物仅有纯水，使其可成为具有广阔前景的环保能源载体。

5.2 生命周期评价

生命周期评价（LCA）是一种通过考查自然环境、人类健康及资源使用等方面，评价产品全生命周期中对环境影响和资源使用的方式。在LCA研究中，其所基于的指示因子可能是从环境影响、不同服务和商品的间接自然资源消耗方面比较替代能源路线的有效方式。从总体能量平衡而

言，使用H₂

作为车用内燃机的燃料似乎不如传统汽油、柴油等燃料，但作为一类无碳燃料，如果可有效实现一系列技术难题，藻类制氢技术将具有重大意义。但就目前而言，用LCA方式评价环境影响和效益的调查研究在世界范围内鲜有相关报道。

通过LCA可对标不同的藻类制氢方法，同时，鉴别整个研究过程中的环境热点。业内的不同研究人员分析的结果可发现其所选出的生态指标的价值，从而可选出最佳的参数用于LCA，以评价藻类制氢的工作效率。

5.3 氢能经济主要面临的技术要点

目前，关于氢的经济发展方面主要存在如下方面的技术挑战：

- （1）H₂的生产成本仍需不断降低，以达到与化石能源相当的水平；
- （2）除了解决生产成本问题之外，仍需实现可持续的大量生产H₂的技术方案；
- （3）仍需从国家层面出发，发展安全有效的基础建设，用于H₂的运输和分销；
- （4）发展可靠的氢能存储系统，用于车载运输和固定站点；
- （5）大幅降低氢燃料电池系统的成本，并显著提升其耐久性。

6 藻类制氢技术的应用前景展望

为了将藻类制氢技术作为未来可持续能源资源，需重点关注：

- (1) 设计具有高重复使用率的电池系统；
- (2) 充分利用生物质能；
- (3) 对制氢过程的灵活应用及改良；
- (4) 充分利用太阳能；
- (5) 建立有效的评估体系和标准。

就目前的世界能源局势而言，藻类制氢技术具有一定的现实意义，因为其与全世界的能源供给问题息息相关。藻类生物制氢在积极改善能源供需平衡、减缓全球变暖、减轻环境污染方面具有显著优势。

光合作用显示藻类生物制氢会引领诸多领域的技术进步。目前，藻类制氢技术成本显著高于化石能源，随着技术进步可有效降低其成本，长期来看，藻类制氢有可能在未来的经济发展中扮演重要角色，并有一定潜力以解决未来的能源危机。

7 结语

氢能可被认定为是基于可再生资源而制取的最清洁的能源载体。大多数的藻类和蓝细菌在具备水和CO₂作为原料的情况下，利用独特种类的酶（如氢化酶）可以产生H₂。

虽然近年来藻类制氢技术取得了一些技术进展，但仍有待于进一步发展。在大规模工业应用前，相关领域内仍有诸多技术难题需要解决，并需在世界各地得以广泛提供。LCA将会在评估藻类制氢技术的可持续性以及制定相关的政策方面发挥积极作用。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/169648.html>