



氨在清洁能源转型中的潜在作用

氨：一种无碳燃料

氨 (NH₃) 的某些特性决定了该物质可以作为能源储存介质、氢气载体和燃料使用。由于其无碳的特点，氨的燃烧并不会排放二氧化碳。氨是目前生产量第二大的化学品，全世界每年约生产 1.8 亿吨的氨作为肥料和其他化学品的原料。目前有近 90% 的氨在本地生产并消费，而剩下的 10% (即大约 2 千万吨) 则在全球范围内进行交易。由此可见，氨的生产、安全处理、运输和储存等技术已渐趋成熟，全球供应和分配基础设施虽规模尚小但正在完善。由这些因素可得，氨可以成为综合能源储存和分配解决方案的基础，并成为发电、运输和工业等流程中所需的低碳燃料。氨燃烧作为发电脱碳的替代方法，对于那些依赖火力发电厂提供关键能源及其他系统服务的国家尤为重要。

现阶段主要存在三种主要的商业技术来生产氨制品：蒸汽甲烷重整(SMR)占全球合成氨产量的 72%，煤气化占 26%，基于水电解的哈伯-博世工艺的合成氨产量则不到 1%。氨的生产过程为能源密集型，由于目前几乎所有的氨均需要化石燃料生产，所以会导致大量二氧化碳排放。当使用氨作为脱碳燃料时，选择包括通过电解生产可再生氨，以及使用可再生能源为生产过程提供动力等。然而，这是一个新兴的商业活动，目前与其他两种氨生产方案相比竞争力较弱；另一种选择则是通过结合以化石燃料为基础的制工艺和碳捕获与存储(CCS)来生产低碳氨。

通过对内燃机(ICE)、燃气轮机和燃煤锅炉进行轻微改造，氨可以直接燃烧，也可以注入燃料电池(FC)发电。就目前的燃烧系统而言，燃烧氨存在一定技术层面的挑战，例如：氨的能量含量相对较低，因此反应性较弱，氨氧化物(NO_x)和一氧化二氮(N₂O)的排放量可能增加。这些问题可以通过现有技术、改进工程设计和优化系统进行解决。氨燃烧技术的广泛研发进展迅速，几个项目正在开发用于发电的氨煤共烧技术，计划于 2023 或 2024 年在日本的碧南 (Hekinan) 燃煤发电厂进行商业示范，具体示范内容为在一千兆瓦燃煤机组中进行 20% 氨煤共烧。用于天然气发电的氨/气共烧技术正在开发中，有望在 2025 年实现商业化。

相关项目正在进行，用于证明氨可以安全有效地为舰载系统提供电力。第一艘由氨燃料推进或使用以氨为燃料的大型燃料电池商业船只预计将于 2024 或 2025 年下水。使用氨燃料的内燃机和燃料电池系统驱动的道路车辆正在开发中，其中一些项目已经进行了演示。然而，它们与普通电池和氢燃料电池等技术相比不具有竞争力，因此进展较小。现阶段，相关行业对氨作为工业锅炉燃料等方面进行了探索，取得了阶段性成果。

挑战与机遇

使用清洁氨作为燃料的一个主要障碍则是它的高成本。一般来说，可再生氨的成本是常规氨的两倍多，而且很可能在未来几年持续保持这样的昂贵价格。由于碳捕获的额外成本，低碳氨的成本比常规氨要高出 25% 左右。

另一个严峻挑战则是未来对清洁氨的需求问题。将氨作为能源使用的增加，将创造一个比目前全球总产能大很多倍的市场。这将需要大规模扩大氨生产，不断完善港口、存储与分配设施。然而，可再生氨的低产出率限制了其作为清洁燃料的使用。低碳氨则可以为低碳能源转型提供一种更快捷、更便宜的途径。

此外，氨是一种有毒气体，并可以损害人体健康。氨的大规模燃烧可能会增加 N₂O、NO_x 和氨的排放，从而增加环境负担。为此，我们需要制定新的安全协议和条例、排放以及清洁燃料等标准来扩大氨作为燃料的使用。

相关行业需要制定适当的政策来推动氨作为清洁燃料的使用。例如，以发展战略、路线图、行动计划和授权为形式的政策，以清洁燃料吸收和/或碳排放减少为目标，可以激励公司和投资者在清洁能源业务方面进行投资。为了克服清洁氨燃料的高成本，排放收费和税收抵免等政策支持也至关重要。目前，我们需要更多的研发成果来降低清洁氨的成本。

若要通过扩大氨生产、完善运输和分销基础设施来增加氨作为燃料的使用，则需要大量的资本投资，这对于该行业同样是一个挑战，但这个巨大市场同时也为投资者提供了机遇。

氨：为未来的清洁能源提供燃料

在现有的燃烧系统中用清洁的氨替代化石燃料可以在燃料的生命周期内减少二氧化碳的排放。对于燃煤发电，用清洁的氨替代煤炭可以减少 80%-95% 的二氧化碳排放。氨燃烧（或共燃）和氨燃料电池技术可能在未来的 5-10 年内实现商业化；发电和海上运输或将成为清洁氨燃料的早期使用领域。氨燃料的首次大规模使用大概率是基于低成本的低碳氨，它可以比可再生氨提供更快、更便宜的脱碳启动。同样，适当的政策是成功部署和使用清洁氨燃料的关键。总的来说，氨有潜力成为净零排放能源组合的关键元素，特别是在能源密集型部门，如发电、运输及某些工业生产过程等。

国际可持续碳中心（ICSC）由国际能源署（IEA）支持组织，但在职能和法律上是独立的。国际可持续碳中心的观点、发现和出版物不一定代表国际能源署秘书处或其个别成员国的观点或政策。

每份执行摘要均基于一份详细的研究报告，并且可从该网站单独获取：www.sustainable-carbon.org。这是该报告的摘要：**氨在清洁能源转型中的潜在作用**。作者：Qian Zhu 教授，ICSC/323，ISBN 978-92-9029-646-1，75 页，2022 年 8 月。