

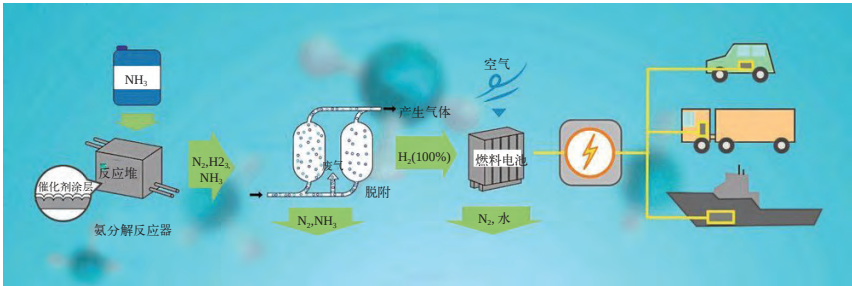
氨为氢能产业带来发展新机遇

文 / Dominik Stephan

氢能作为一种备受追捧的零污染高效能源，其稀缺性使得人们对其渴求不已。然而，能耗巨大的压缩过程以及极低温度下的液化环节，被视为通往氢能转型之路上的重大障碍。在此背景下，氨成为热门的替代选项，尽管这种物质带有些许气味，但它有望成为能源转型中的奇迹材料。

氢能以其独特的属性显示出巨大的应用潜力，然而，在推进大规模工业化生产与输送的过程中，氢能亦面临着显著的挑战。特别是在绿色能源转型的大背景下，风能、太阳能等可再生能源电力转化为绿氢的过程中，问题尤为凸显。尽管氢气具备极高的热值，每千克高达 33.3 kW·h，然而，由于其作为最轻的气体，在标准状态（0℃ 和 1 个大气压）下，其密度仅为 0.0899 kg/m³，因此其体积能量密度相对较低，仅为约 3 kW·h/m³。这一特性使得氢气在运输和使用过程中，需要通过额外的物理或化学转化过程，以提升其体积能量密度，从而实现经济地运输与使用。

氢分子的小尺寸和高度挥发性，使其易于从常规容器中逃逸，从而增加了储存的难度。尽管液化氢作为一种提高能量密度的方案，然而该过程极为耗能，能耗可占到氢气本身理论热值的 30%。相对而言，将氢气压缩为气体储存虽较为节能，但压缩过程仍需消耗约 10% 的能量。这些技术和经济层面的障碍，成为氢能批评者的主要论点。他们认为，氢气在能源效率上存在一定的缺陷，应在极端特殊且无可替代的情况下方可考虑采用。简而言之，尽管氢能具有巨大的潜力，但要实现其广泛应用，仍需



在反应堆中，氨被分解成氮气和氢气。氢气在燃料电池中燃烧，从而产生电能。得益于熟练的工艺操作，这个过程中仅产生了少量的氮氧化物

克服诸多技术与经济难题。

因此，科研人员正致力于探寻一种特殊的中间体物质，旨在使 H₂ 发生化学反应从而应对材料表面的致密及液化处理难题。他们设想的是一种基于氢原子的简洁分子结构，其合成过程应尽可能简洁且不依赖于碳，同时在操作上简单。有趣的是，潜在的解决方案很可能藏匿于我们熟知的常规化学品之中。

1 Power-to-X 能源解决方案

氨被视为未来能源储存的热门选择，尽管该气体很难闻，但全球年产量已达数亿吨，易于处理且生产过程中无需碳排放。然而，传统上用于氨合成的氢气大多源自天然气蒸汽重整技术，这一过程并不利于环境保护。相比之下，通过电解水来获取氢气是生产合成燃料更绿色的方案，正如 IMM 弗劳恩霍夫研究所副所长兼能源部门主管 Gunther Kolb 博士所解释的那样：“转向非化石能源的一个关键路

径是利用电解技术生产的 Power-to-X 能源解决方案。其中氢气是目前最核心的 Power-to-X 能源解决方案。不过，氢气作为广泛采用的能源载体，仍需克服运输和储存方面的重大障碍，这包括储存所需的大量空间或其他能源效率不佳的情况。”

Kolb 博士着重强调了一种可行的替代方案：氨气 (NH₃) 作为氢气的载体，能极大简化储存和运输环节。他指出，氨气——这种普遍应用于化肥生产的、具有刺激性气味的气体，有望在能源领域扮演重要角色。氨的一大优势在于，能够在相对温和的 33℃ 下液化，这表明通过氨气间接实现氢气的液化，可以在远低于氢气直接液化所需极低温度的条件下进行，从而为氢能源的实际应用开辟了新的便利途径。

在 70 MPa 的压力条件下，液化氨的体积氢含量明显高于压缩氢气。与氢气相比，液化氨更容易将大量氢气运输到需求地点。研究者进一步阐明，由于氨制氢不含碳氧化物或甲烷等成

本文作者系《PROCESS》德文版编辑。

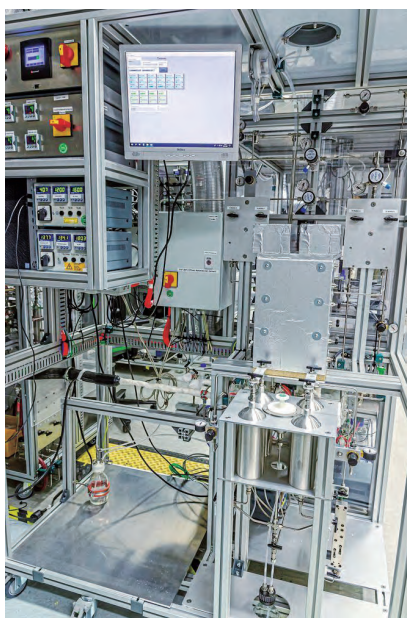
分，因而整个过程不产生温室气体排放，这使得氨成为既清洁又可持续的氢能传输媒介。

尽管将氢转化成氨的操作简便，但在能源生产中仍面临挑战，主要因为纯氨在空气中难以直接燃烧。为解决这一难题，Kolb 博士介绍了一种方法：利用合适的催化剂，在裂解反应器中，氨可被有效转化为氮气，同时这一过程伴随着氢气的释放。通过电解水获取氢气，并结合氨的分解反应，可以获得包含氢气、氨气及氮气的混合气体。这种混合气体是可燃的，构成了一个名为“裂解气体”的能源载体，适宜用作燃料。此方法不仅克服了氨直接燃烧的限制，还促进了氢能源的有效利用，展现了氨在清洁能源体系中的潜力。

2 氢能应用蓄势待发

为开发一种用于砖块燃烧的混氨燃烧技术，IMM 弗劳恩霍夫研究所的研究人员与某个项目合作伙伴共同展开了一项项目。该技术的核心在于，利用电解制备的氢气来合成氨气，可实现整个砖块生产过程的零排放。

除了上述应用外，氨在移动出行和分布式能源供应领域展现出更多潜力。具体而言，氨可直接在诸如加油站等分散地点转换为氢气，从而规避压缩或液化气体长途运输的复杂性和成本。因此，科研人员正积极研发一种关键设备——



催化剂测试台：该测试台可测试催化剂的所有功能及排放净化性能

裂解反应器，该装置借助适当的催化剂和微反应技术，可以从氨中产生氢气，并经过裂解和提纯处理后，得到的氢可直接供 PEM 燃料电池使用，推进清洁能源的灵活应用与普及。

3 效率提高 20%

IMM 弗劳恩霍夫研究所在废气燃烧技术方面取得了显著进展。该研究所通过整合压力摆动吸附 (PSA) 技术，成功提升了系统效率至 90%，这一数据相较于传统技术的 70% 有了显著的提升。此外，他们在氨分解反应器的研发上也取得了重要突破，其体积大

幅缩减至常规型号的 1/10，这一创新对于移动场景及空间受限环境下的应用具有重要的实践意义。

Kolb 强调，该技术在节能减排方面同样具备显著优势。通过回收裂解过程中产生的废气并用于发电，该技术有效降低了碳足迹。值得一提的是，该技术得到了欧盟的财政支持，并在国际舞台上展现出顶尖水平。初代反应堆运用 IMM 的氨裂解技术，已经实现了全球公开记录中第二高的单位产氢效率。在此基础上，第二代反应堆更是取得了实质性的进步，目前每日能够产出 70 kg 高纯度氢气，即每小时产氢量达到 25 kg，充分证明了该技术在实用化和规模化生产中的巨大潜力和广阔前景。

由于氨燃料环保效益高，运输成本低，体积能量密度较高，氨正成为未来航运业脱碳的主力燃料之一，以期推动航运业实现零化石燃料的转型目标。面对行业减排的迫切需求，研究者们提出了一种创新思路：通过部分分解氨气，使其能在船舶发动机中像其他裂解气体一样实现高效燃烧。在名为 ShipFC 的项目框架内，IMM 弗劳恩霍夫研究所携手 13 家欧洲伙伴机构，共同研发了全球首例基于氨燃料的船用燃料电池系统。这项突破性合作不仅彰显了氨能技术在海运领域的应用前景，也是向可持续航运迈出的关键一步。



机械工业信息研究院

在这里可以看到
流程工业领域前沿的技术趋势、
研发进展、应用成果等



扫码订阅



扫码看杂志



流程工业

流程工业纸质及
电子刊发行

80,000+
每期

+

广告