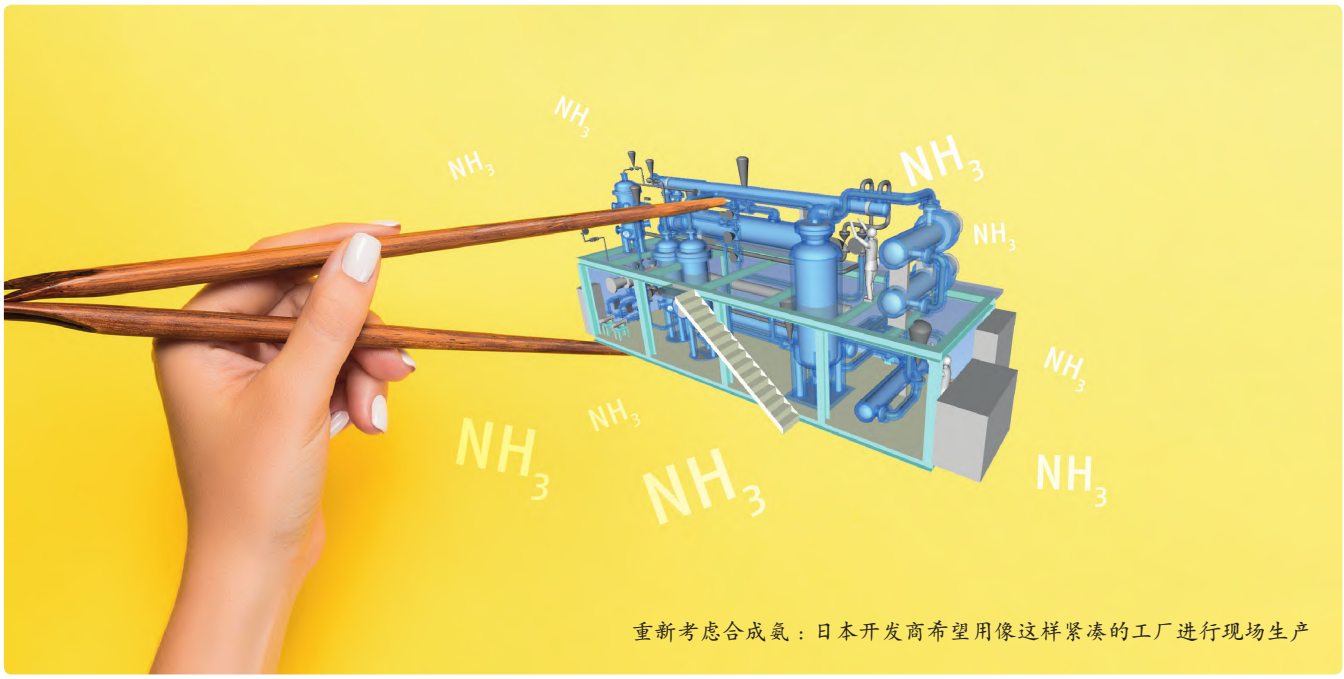

重新考虑合成氨：日本开发商希望用像这样紧凑的工厂进行现场生产

小型紧凑的合成氨工厂

日本研究人员研发出了一种用于小规模合成氨的新技术——紧凑的合成氨系统可以使较小的国家建立自己的分散式合成氨生产，并在工业脱碳中发挥重要作用。通常情况下，复杂的催化剂是这个新技术实现的关键因素。

文 /Ralf Mayer 博士

氨是化学工业中的一种重要原料，可以作为着色剂、盐、制冷剂以及肥料，全世界每年生产约 1.5 亿 t。全球约 99% 的氨生产基于 100 多年前开发的哈伯－博世（Haber–Bosch）工艺，在这种工艺中，氢在高压和高温下与氮气通过铁催化剂反应生成氨。然而，这种传统的合成氨工艺的生产过程有一个很大的缺点：哈伯－博世工艺需要在较高的温度和压力下进行反应，使其生产工艺对设备及生产成本均有较严苛的要求，导致小规模合成氨的生产无利可图。

日本 Tsubame BHB 公司研发了小型氨工厂。该技术的核心是东京理工学院在日本科学技术厅的公共资助战略研究项目（ACCEL 项目，科学总监：细野秀夫教授，项目经理：横山俊春）中开发的新型电催化剂。

电催化剂是一种化合物，其中电子与带正电的骨架离子结合，电子充当阴离子。用于合成氨的催化剂在电极上携带纳米级的金属粒子，在这些表面上，电子很容易将氮分子分裂成原子，从而实现与氢的反应，电催化剂的反应原理如图 1 所示。因此，氮和氮之间的三键可以用更少的能量分裂，并且可在低温和低压条件下重新实现高效的氨合成。Tsubame BHB 公司成立于 2017 年 4 月，旨在进一步开发新型催化剂技术并在全球范围内推广该工艺。新公司的主要投资者是日本食品制造商味之素，以及环球材料孵化器的 UMI I 投资基金。其目的是将世界上第一种“现场氨生产”模式商业化，并在消耗氨的地方直接生产所需量的氨。

目前，世界上有 120 多个国家没有投资建设基于哈伯－博世工艺的大型合成氨工厂。较高的投资金额和由此产生的生产成本将远超过国内需求，那么这将不具成本效益。此外，通常没有足

本文作者系 San-Ten 咨询公司的咨询顾问。

够的氢气和能源等资源来支撑经营这样一个大型工厂。而 Tsubame BHB 公司的分散式小型现场合成氨厂购买成本较低，另一方面可以适应有关国家的需求和资源的可用性。小规模合成氨的另一个优势是可以利用可再生能源和可再生氢生产并发生反应。

现场生产

实际上，大型哈伯－博世系统所需的风能或太阳能发电区域将覆盖几个足球场。而 Tsubame BHB 公司开发的小型合成氨工厂只需要大约 5 台风力涡轮机来运行一个每年 3 000 t 合成氨的工厂。与来自蒸汽重整反应器的氢气相比，使用绿氢制氨可以节省大量的二氧化碳。因此，现场生产和消费的可再生能源绿氨被很多人视为未来氨使用的标准。Tsubame BHB 公司的现场合成氨系统能够实现小规模生产，并且可以使用绿氢和可再生能源进行操作，积极促进绿氨产业的发展。

Tsubame BHB 公司并不认为自己与现有的哈伯－博世工艺直接竞争，而是觉得自己是能够在更多领域为资源节约和成本效率做出贡献的补充，哈伯－博世方法与 Tsubame BHB 研发方法的比较见表 1。

此外，对于现场合成氨生产来说确保了原材料的供应安全。化工厂难以获得原材料交付的情况正变得越来越普遍。暴雨和洪水导致的交通基础设施故障是一个典型的例子，随着河流和运河的水位越来越低使运输越来越困难直至瘫痪。相比而言，小规模现场合成氨生产不仅减少了总体碳足迹，而且有助于确保原材料的供应安全。

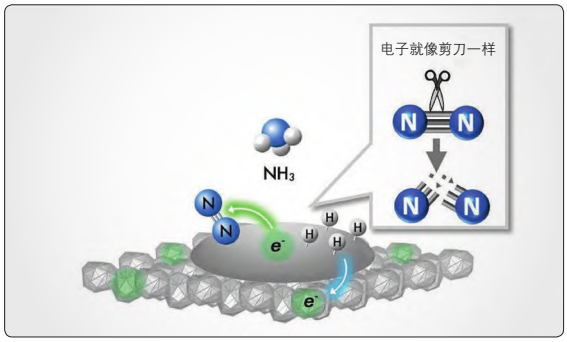

图 1　电催化剂的反应原理

小就是美

从可持续性、资源节约和环境友好的角度来看，可再生能源的迅速发展必然是受欢迎的。然而，风能和太阳能等能源产生的能量波动很大，不容易保证完成固定时间的实际生产需求。而且在不久的将来，这些变化需求和供需差异将不得不通过储能来补偿。除能源供应之外，氢气供应也十分重要，氢能够通过电解生产，然后在燃料电池中转化为电能。然而，氢气的能量密度相对较低，这会使过程效率低下。通过氨的储存和运输可能是一种解决方案，因为氨的能量密度相比于氢的能量密度要高得多，比液态氢也更容易储存和运输。Tsubame BHB 公司的小型合成氨工厂可以在这过程中发挥关键作用，因为它们非常适合较小的、分散的能源系统，并使氨生产接近能源发电，例如，可以直接在风力发电场生产。

2019 年 12 月，一家年产 20 t 氨的试点工厂在东京附近的川崎开始运营。在这个实验工厂中，研究人员正在研究催化剂的长期稳定性和最佳工艺条件。在优化的操作条件（反应器温度、压力等）下，对中试装置中的催化剂进行的试验表明，催化剂的催化活性高于实验室试验。与实验室反应器相比，在相同的生产率下，所需的催化剂量可减少约 30%。对于年产数千吨或更多的合成氨工厂，这意味着他们可以用更少的催化剂运行。此外，实验室反应器还表明，即使在恒定的反应条件下连续运行两年以上，催化剂也不会失活。

未来发展

Tsubame BHB 公司目前已经完成了 500 kg/a、3 000 kg/a 和 5 000 kg/a 的两个模块化单元的基础工程。这些系统旨在用于交钥匙操作，并能够提供可选的氢气和氮气供应。而且对于生产超过 1×10^{10} t/a 的大型系统，也有经典的 EPC 业务模式，即用户接收设计和规划数据以及催化剂，并与已建立的工程公司合作进行系统的实际建设。

表 1　哈伯－博世方法与 Tsubame BHB 研发方法的比较

	哈伯－博世工艺制氨法	Tsubame BHB
类型	大型集中生产工厂	小型分散式“按需”生产
年产量	200~120 万 t	1~10 万 t
投资成本	800 万 ~30 亿美元	100 万 ~8 000 万美元
操作条件	10~30 MPa 400~ 500℃	3~5 MPa 300~ 400℃