在KIT卡尔斯鲁尔理工学院，科研人员正在研究Power-to-X关键技术中使用的费托反应催化剂

未来能源的催化技术进展

德国Power-to-X技术核心的催化剂——工业企业和科研机构都在狂热地致力于将能源和废气转化为汽油、烯烃或可燃气的工艺技术，本文讲述了如何使废料再次变成原材料并使之成为可能。

文 / Dominik Stephan

PROCESS-Tip

* 更多信息请扫描二维码：

chem.vogel.com.cn

* 反馈编码：A201123

氢化合物是如何转换为能源的是比较容易解释清楚的，但是在能量的帮助下怎么将惰性的反应物转换为原材料却是比较难解释的。比如Power-to-X希望能够把燃烧后的灰烬转化成煤炭，用多余的能量来生产合成原料、气体或者燃料。这不仅打破了对古生物资源的依赖，而且（至少只要有可再生能源生产的电力）就可以找到与气候变化基本无关的能源储备方式。虽然这一逆过程中使用的方法因最终生成的靶分子不同而有着很大的差异，但却有一个共同点就是它们都需要合适的反应器、膜和催化剂等合适的方法。

由于通常都将CO或者CO_2当为碳源，因此在反应中间步骤中常常会用氢生成一种合成气体。这种反应实际上是古老的煤炭液化技术方法，但在Power-to-X环境中却有着全新的吸引力。因为它所涉及的反应过程目前尚未能够用科学的方法加以解释和理解，“这主要涉及在工业化条件下这一过程中所需催化剂结构的变化。在这一反应过程中可能会产生一些破坏催化剂的分子结构的副产品。即使到目前为止，还没有清楚地知道这是何种形式的反应以及对整个反应过程有什么影响。”KIT卡尔斯鲁厄理工学院ITCP化学技术和高分子化学研究所的Jan-Dierk Grunwaldt教授说道。这种反应方法自19世纪20年代问世后在世界各地得到了大规模的使用，现在KIT卡尔斯鲁尔理工学院的科研人员首次利用X射线研究了工业化生产条件下生产合成燃料时反应过程中的催化剂，通过试验获得的知识开发量身定制的“促进剂”。

原子层级的催化剂

“我们与IMVT微过程技术研究所和IKFT催化技术研究所的专家们一起深入研究了这一过程的核心”，IKFT催化技术研究所的Marc-Andrée Serrer先生说：“在试验期间，我们采用了同步加速器研究的方法，也就是X射线吸收

本文作者系德文版PROCESS编辑。

集装箱中的化工厂：KIT卡尔斯鲁尔理工学院的展示设备清楚演示了Power-to-X紧凑的生产过程

光谱法和X射线衍射法，从而第一次能够在流程工业的生产条件下观察原子级的费托合成催化剂的工作情况。虽然过去我们已经利用同步加速器以及用特殊的粒子加速器产生的特别强烈的X射线对催化反应进行了研究，但到目前为止在P2X系统中，在高温和高压作用下的实际环境中的反应仍然是一个无法克服的障碍。”

因此，KIT卡尔斯鲁尔理工学院在催化剂研究室的测量设备处建造了一套全新的可以用高压的同步加速器基础设施。采取这一措施之后，研发团队成功在250 ℃、3 Mpa压力的真实条件下完成了300 h的商用钴镍催化费托合成方式，同时不仅是首次在这种实验条件下得到了能够足够进行分析的碳氢化合物，而且研发人员也在催化剂中发现了使反应气体难以扩散的碳氢化合物的沉积物。“下一步这些试验成果可用于研发专用的催化保护剂，使催化剂免受失活的影响，例如用促进剂改善催化剂的性能。”Grunwaldt先生说。这些全新的、建立在原子层级的催化剂认知将来也可用于计算机模拟，以便能够更快地、更加高效地以及更加节约资源地开发P2X过程的定制催化剂。

从同步加速器到催化剂

首先要有催化剂，因为只有它使Power-to-X成为可能。卡尔斯鲁尔市的初创企业和KIT理工大学的子公司采用甲烷化和费托合成反应技术从CO和H_2中生产“绿色”可燃气或者汽油，其特点是采用了可以在温度控制和冷却表面负荷之间实现最佳平衡的汽化冷却微结构反应釜。通过这种方法可以有效地将反应控制和高转化率结合到一起，同时也可以将水作为无毒、易得的温度控制介质。由于每一个单独的微结构反应器模块与普通电磁灶大小差不多，因此可以也在集装箱式、紧凑型设备容器中完成Power-to-X的全部转化过程。催化剂有着很长的工作寿命和很高的选择性，这使得微结构反应系统的效率不低于大型生产基地。而且使用科莱恩研发生产的符合通用工业技术标准的催化剂就可以实现，无需特殊的催化剂。

液化有机氢载体技术的催化剂

Inratec公司和科莱恩公司希望在将来有着更加深入的合作，共同开发生产合成燃料和Power-to-X领域中使用基础化学品的新技术。科莱恩公司拥有催化剂技术专长，Ineratec公司则致力于气体液化技术和反应器模块技术。

阴离子交换膜电解制氢

当谈到Power-to-X技术时，大多数人都会想到氢，无论是将CO_2和H_2合成天然气或者通过逆水煤气变换反应生成合成天然气的替代品，甚至就连存储能源或者驱动燃料电池时也离不开氢。利用可再生能源生产电解氢这一工艺技术明显的比常规的甲烷生产CO_2要贵得多，因为对电解设备的效率和可靠性有着重要影响的核心部件就是其中的离子传导膜。

赢创公司新开发的阴离子交换膜（英文缩写为AEM）与其他电解工艺技术相比较有着明显的优势，比传统的AEL隔膜电解法或者比较新的PEM质子交换膜法都要好。AEM阴离子交换膜电解技术有望降低投资成本，因为在相同的碱性工作环境中阴离子交换膜技术使用的不含贵金属元素的电池材料。除此之外它还具有很高的电流密度、高效率以及供电使用的灵活性等优点。

从作用上看：AEM阴离子交换膜的聚合物化学性质是水电解性能和效率的关键

现在，一个有工业企业和科研机构组成的临时机构（其中包括了壳牌公司、Enapter公司、德国于利希研究中心、挪威的自然科学典型和挪威工业技术研究院）将在Channel项目（基于ANionN交换膜电解的高效氢气生产装置的开发项目）中对新型电解设备进行实际应用测试。

科莱恩催化剂业务副总裁 Stefan Heuser 先生认为 Ineratec 公司的模块化设备在分布式能源生产设备领域中有着巨大的发展潜力。

合成气体并不是科莱恩在 Power-to-X 领域中的唯一依靠，早在 2017 年时其就参与了联邦德国教育和研究部负责的Kopernikus 项目，并在这一项目中开发出 LOHC 液化有机氢载体技术的催化剂。这一技术使得氢不仅不用在低温下液化，也不用作为一种气体运输，而是与化学的载体物质一起被运输。这种形式的氢电池避开了运输、存储中的典型难题（例如低密度、高易燃性和快挥发性）。而且在催化剂的催化作用下，这种目前已经上市的液化有机氢载体可以吸收大量的氢气，并通过催化脱氢将吸收的氢气再次释放出来。

老手与新人联手：特种化学品专家科莱恩与初创企业 Ineratec 将在 Power-to-X 技术领域中展开合作

废气中提取的有用原材料

科莱恩与蒂森克虏伯公司和其他工业科研领域中的合作伙伴一起参与了 Carbon2Chem 研发项目的工作，目的是希望从钢铁行业的炼钢废气中提取出有用的原材料。就炼钢废气的组成成分而言，它们与合成气体的成分非常相似，完全可以用来提取氨、甲醇或者其他化学品。使用科莱恩的 Megamax 系列的氧化铜和氧化锌催化剂可以从炼钢废气中提取上述化工原材料，在催化剂的催化作用下生产出来的甲醇可以作为高辛烷值的燃料添加剂使用或者用于烯烃的生产，甚至可以进一步生产出汽油或者柴油。在 Power-to-X 技术领域中，甲醇是一种神奇的物质，与储氢技术设备或者电池式的蓄能设备不同，它不必建造全新的基础设施。科莱恩的研发人员决定继续研发创新突破，把钢铁行业的炼钢废气中提取出的原材料转换为可以销售的产品。

（接 P22）

计方法可以节约 10%~20% 的费用，同时也可明显地减少模块化泵系统的尺寸大小。

- 子项目 Moprolog 的核心是模块化生产过程与模块化物流之间的互联互通。使流程设备能够在适应性极强的动态调控方式下运行，可以明显地减少能源消耗和资源消耗。
- 实施能源效率项目中的一个重要组成部分就是 Skampi 子项目中开发出来的能够更快、更好做出决策的“跨规模的流程工艺开发方法”。将来，生产厂家可以借助于其开发的方法比以往更加轻松地开发出节约能源、节约资源的流程工艺解决方案。
- Enpro 项目的 Datenintegration 数据集成和 Modula 模块化两个子项目是推动从流程设备的规划设计到调试运行的关键子项目。Evonik 公司现在利用 Enpro 项目开发出来的数据模型和数据结构建立自己的资产寿命周期数据模型。

展望未来

化工技术的研究是一项长期的研发工作，研发成果的贯彻落实也促进了化工技术的进一步发展。需要注意的是连续性生产的流程设备和新开发的流程工艺技术往往不能通过对现有批次生产流程设备的技术改造来实现，而只能通过全新设计的流程设备来实现，这也就意味着要有很高的设备投资。为了使研发项目的成果能够迅速的投入生产实际，参与项目的流程设备运营商和供应商之间的密切合作是非常重要的。

流程工艺技术基本操作的模块化部件的进一步发展需要更多的反馈信息。将流程工艺技术、化工反应技术以及人工智能的方法结合到一起将能够实现反应过程的自动优化。在连续性生产过程中强化智能化流程设备的模型观察、过程分析，传感技术、数字化技术以及生产设备之间的联网会使在线分析技术有着更加重要的意义。而且逐步落实项目成果仍然需要大量的开发工作，也需要加大与其他研发机构的合作力度。