



# 将二氧化碳变废为宝

**将空气中的二氧化碳转化成炭黑——**现在有许多以二氧化碳为原料的研发项目，但这些项目大多是从烟囱开始的。现在卡尔斯鲁厄理工学院 KIT 与 Power to X 技术专家和流程工业工程师们一起合作，希望将周围空气中的二氧化碳转化为炭黑。项目的参加者既有朝气蓬勃的年轻人也有成熟老道的年长者。

## PROCESS-Tip

\* 更多信息请扫描二维码：



chem.vogel.com.cn

\* 反馈编码：A210512

文 / Dominik Stephan

**现** 在市场上对于煤炭有着很大的需求。不管是壁炉取暖还是美食烧烤等活动都需要煤炭，而且煤炭也是一种重要的工业原料。炭黑是以煤炭为原材料生产出来的基础材料通用名称，这种基础材料在轮胎生产中有着广泛的应用，也用于颜料、填料或者电气工业等生产领域中。因为这些产品生产领域背后都隐藏着一个大众都熟知

的东西：碳。

炭黑，也有人将其称为工业炭黑。尽管炭黑有着许多不同的质量等级，但炭黑中 99.5% 的组成成分都是直径很小的（一般为 10 nm~300 nm）、有着高表面积 - 体积比的碳。炭黑恰恰是从化石燃料中提取的，而化石燃料不仅代表着气候变化和环境污染，而且还代表着自 2019 年以来的气候变化和环境污染元凶：石油，天然

气和煤焦油。源于古生物化石燃料的炭黑使现代化世界处于进退两难的境地，因为人们对化石能源有着很大的依赖。2015 年时世界各国承诺，到 21 世纪末将全球变暖的温度控制在 2℃ 以下。这需要大量的努力和经济建设最大程度的“去碳化”，也就是需要减少化石燃料的消耗。

然而二氧化碳一旦“被生产”出来，它就会在大气中保留很长



在集成的示范设备中，将尝试从环境空气中直接获取二氧化碳的工艺

的时间。因此有相当多的声音主张捕获、存储或利用大气中的二氧化碳。CCS 碳捕集和碳封存技术就是从空气中分离出二氧化碳，将其固化成无机碳酸盐进行保存或者地质封存的技术。而简称为 CCU 的方案则更先进了一步：它表示的是碳捕集和碳利用，将二氧化碳当作原材料的技术。

### 烟囱里的化学反应

世界各地的许多研究所、企业和开发商都在研究烟囱里的化学反应，通过他们的研究也得出了些惊人的研究结果：无论是在商用 PUR 聚氨酯泡沫塑料中将二氧化碳加入到聚合物链中，还是将冶金高炉的废气作为原材料使用，或者将废气重新转化为汽油，这些项目或许有着这样或者

那样的区别与差异，但都有着一个共同点：实验室和技术中心里的试管都含有共同的物质“碳”，都来自于烟囱。而那些大型“烟囱”，例如炼钢厂或者水泥厂的烟囱则是项目开发人员关注的焦点。这并不奇怪，因为这些烟囱气流中的二氧化碳浓度非常高。被研究的行业中有不少都是二氧化碳的排放大户（例如水泥工业的二氧化碳排放量占全球排放的 8%），因此在这些行业领域中有着很大的减排潜力可以挖掘。

不论废气中二氧化碳的浓度是多少，都要减少或者避免排放它们。如果不仅仅是要实现碳中和，还想得到比碳中和和更好的效果，那么现在就必须作出实际行动。联合国的政府间气候变化专门委员会 IPCC 解释说道：仅仅是

种一棵树或者领取一张环保证书是不够的。但是，除了植树造林和创建湿地的可能性还有哪些方法能够从空气中获取二氧化碳气体呢？

### 从大气中获取二氧化碳

从大气中获取二氧化碳气体的技术被称之为 DAC 直接捕捉空气技术：大型的鼓风机将空气吹向空气分离装置，并尽可能地保留下纯净的二氧化碳，然后可以安全地储存或者做进一步的处理。TVT 热工程技术研究所和 KIT 卡尔斯鲁厄理工学院 ITES 热能技术研究所液态金属实验室的领导人 Thomas Wetzel 教授解释说道：“这就能够将有害的温室气体变成高科技应用所需的原材料了。”在卡尔斯鲁厄理工学院的一个研究项目中使用 DAC 数字模拟转换器直接捕获空气，将二氧化碳和甲烷热解融合。“我们项目采用的方法是从大气中将二氧化碳分离出来，并将其转化为高纯度的炭黑粉末。”Wetzel 教授解释说道。

不过令人惊讶的是，卡尔斯鲁厄理工学院项目最初的研究对象根本不是炭黑，与二氧化碳更是不沾一点关系。研发人员最初是盯着另一种分子：目前被称为“奇迹物质”——氢。要了解这一点就必须知道这一项目的核心：甲烷热解。在高温下，甲烷（即  $\text{CH}_4$ ）分解为碳和氢两种组成成分。利用这种方法生产氢的想法并不新鲜，但到目前为止以固体形式析出的碳的使用适应性有限。粉状的碳会粘附在反应器上、沉积在反应器壁部和底部。

卡尔斯鲁厄理工学院液态金属实验室（简称 Kalla）与波茨坦市可持续发展高级研究所合作，

通过液态金属反应器解决了这一问题。其结果是用装满液态锡的泡罩塔控制热金属的温度，在热泡罩的作用下甲烷分解为气态的氢和固态元素碳。借助于两种元素的密度差异，可以将碳排出到反应器外，从而能够实现真正的连续操作。不仅如此，通过这种方式还可以获得大量易于运输和使用的碳，这是烟囱炭黑项目开始的信号。

### 绿色的甲烷

研发人员设想：如果不需要与蒸汽重整器中的氢气竞争呢？为什么不瞄准在油漆、轮胎或者电子工业中的重要原材料的碳呢？工业烟尘本身并不罕见，但不需要煤炭、天然气、煤焦油或者石油的“绿色”炭黑则是非常稀缺的。因为要想获得炭黑不仅需要“热解反应”，而且无论什么时候都必须保证需要连续不断的甲烷供给。

于是，KIT 卡尔斯鲁厄理工学院就开始寻找合适的合作伙伴了，初创公司 Ineratec 是 KIT 卡尔斯鲁厄理工学院毕业生创立的，是专门从事研究氢能和二氧化碳利用的模块化工厂。这一技术先

## Mini-Verbund 技术能实现甲烷循环使用

从每一个 Power-to-X 项目中可以知道：在二氧化碳甲烷化成为  $\text{CH}_4$  时，还需要用最合理的方法从上游“绿色”电解工序中生产出来的氢气。然而在此过程中，氢气并没有完全转化为甲烷，其中的一部分与二氧化碳中的氧相结合而形成了甲烷化中的副产品水。

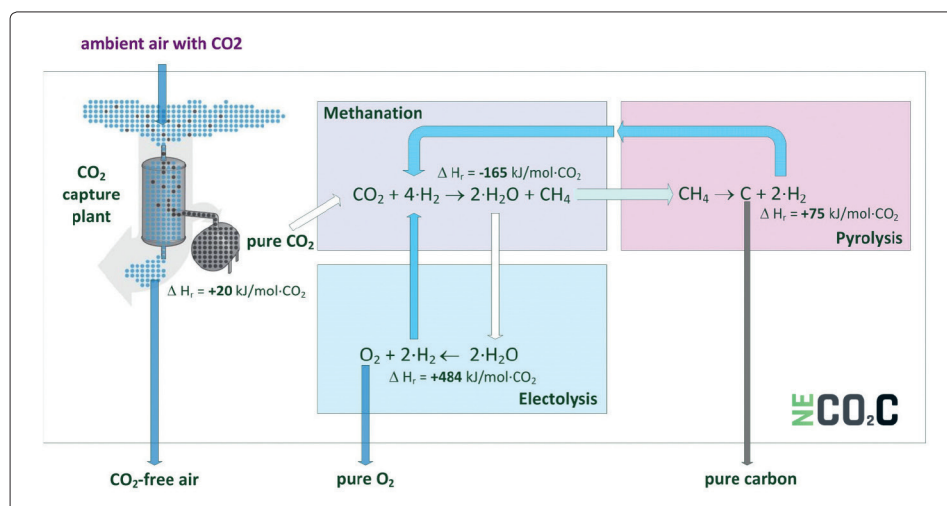
在随后的热解过程中，除了生产出碳以外，还会释放出氢气。这就是蒸汽重整或者水电解生产  $\text{H}_2$  的最初推动力。在 Necoc 项目中，Mini-Verbund 方法能够实现甲烷循环使用，将有助于减少对电解质的需求量。

锋企业研发的微结构反应釜可以在非常狭小的空间里实现大型一体化生产基地才能完成的流程工艺过程，这是分布式配置实施的 Power-to-X 项目中最理想的设备。

反向水煤气变换和费托反应或者甲烷化合成天然气始终是二氧化碳转换中的重点。不管是哪种变换反应，微结构反应器模块采用的创新性汽化冷却技术都能在温度控制和冷却表面负荷之间实现最佳的平衡。这不仅能够实现高转化率的有效反应控制，而且也可以使用无毒和不易燃的水作为温控介质。紧凑型反应器模

块大约和一个电磁炉一样大，与化学工业的大型分离柱体积相差甚远。但由于催化剂寿命长和选择性高，依旧可以实现高效的转化率。当需要更大的生产能力时，研发人员只需在同一厂房车间里多安装几个反应器模块就可以了，而不需要扩大工厂规模。

将废气转化为合成天然气：在 COSIN 研发项目中，研发人员已经展示了利用风能和太阳能实现甲烷化的工作成果。由于这一流程工艺技术所需的设备以及废气和可再生能源在地理上的分布，这种方法到目前为止一直都没有很好的经济性。现在情况就有所不同了，在出现了紧凑型的微型反应器和集装箱式结构设计的模块化流程设备之后，以及此方案还不需要特殊的原材料，所用的催化剂也是常用的工业标准催化剂，都可以在市场中很容易就购买到。工厂中所使用的微结构反应器数量的多少决定了进料气体到甲烷的转化率，这样方便甲烷化装置的容量适应相应的要求。原来，Ineratec 公司的工程师们考虑的只是如何将生产出来的甲烷送入天然气网络，现在可以增



逐步实现“绿色”炭黑：Necoc 项目的四大基石（DAC、电解、甲烷化和热解）

加甲烷作为原材料并加以使用的可能性了。

### 迷你网络微型合成设备

在转换过程中可以采用从大气环境中直接提取二氧化碳的CCS碳捕集技术,生产出来的“绿色”可燃气体甲烷可作为原材料。为实现这一目的,需要找到一个熟悉空气分离技术的合作伙伴。而瑞士苏黎世的Climeworks公司就是使用DAC数字模拟转换器直接捕获空气技术领域中的先驱者之一,这家年轻公司有目前世界上第一个可以每年捕获900 t CO<sub>2</sub>的商业工厂以及冰岛的二氧化碳地质保存项目。

Climeworks公司研发生产的设备模块外观会让人联想到空调系统的鼓风机或者是冷却塔,但在这一模块的内部却是一套有着循环吸附和解吸的过滤装置。经化学制剂可以使气体中的二氧化碳吸附在结构化的吸附材料上,当吸附到饱和状态时,将结构化的吸附材料结构件加热至100℃,

使吸附的二氧化碳解吸而脱落,以高纯度浓缩气体的形式被收集起来。与胺洗工艺技术相比较,这一工艺技术的能源消耗相对较低,并因为采用了模块化设计而有着更加紧凑的结构,而且如瑞士和冰岛的项目所示那样更加易于扩大生产能力。

现在的技术可以让我们用炭黑来替代过去原材料二氧化碳了,在过去二氧化碳作为一种轮胎生产的原材料是必不可少的,但现在二氧化碳的用量在不断减少。之所以出现这种情况并不只是因为处理工业炭黑比处理二氧化碳更加简单,而是因为可以更好地利用这种“有害材料”。

卡尔斯沃市的研究人员将不同的流程工艺技术以模块化的形式组合到一起,启动了名为Necoc二氧化碳转逆向化为碳技术的研究项目,在KIT卡尔斯鲁厄理工学院建造了一套利用大气中的二氧化碳生产炭黑的示范设备,并在实践中作为一个微型复合体研究这些工艺。“我们非常熟

悉各个组成模块,但它们从未在一个集成系统中作为一个整体实现过。工艺模块的巧妙集成和正确的流程工艺控制对能源利用效率和产品质量至关重要。”Necoc项目的协调员Benjamin Dietrich博士说道。

这是对抗化工巨头和大型炭黑生产厂的举措吗?并不全是,虽然KIT卡尔斯鲁厄理工学院建造的展示设备采用了项目合作伙伴的模块,但展示设备的主要目的是证明这一技术的可行性。“这一方法从多方面证明了是实现可持续发展未来的一项技术,将解决气候变暖和使用古生物化石原材料的问题直接联系到一起了。”Dietrich博士说道。把炭黑都收集了就能拯救世界气候环境吗?KIT卡尔斯鲁厄理工学院的人回答道并不是那么容易。他们认为,从大气中分离出来和使用二氧化碳仅仅是“未来技术工具箱”中的一件工具。拯救气候环境仍然是一大难题,就像初创企业的微型反应堆一样,一切只是开始。



## Sievers InnovOx 总有机碳TOC分析仪

用于冷凝水、地表水、废水中 BOD\*/COD\*/TOC 含量监测

- 革新性的超临界氧化-NDIR检测技术;
- 水质监测实时准确;
- 过饱和食盐水、高温含油、纤维素等苛刻样品可直接进样;
- 标定有效期长,免除频繁标定的困难;
- 无复杂结构部件,维护更少更简便,提高仪器“真正”可用时间。

联系我们,了解更多

400 887 8280 | sievers.china@suez.com  
cn.sieversinstruments.com

\*BOD或COD值的计算基于TOC测量。



扫二维码  
关注 Sievers分析仪 官方微信  
即刻查看行业应用文集

