

研发分质利用技术，让煤炭从燃料变成材料，将是煤炭行业低碳转型的可行路径。

# 让煤炭变成材料，固碳不排碳

## ——访中国工程院院士金涌

文 / 本刊记者 王伟

应对气候变化能否与经济发展实现双赢？“双碳”目标下，煤炭行业转型之路该怎么走，煤化工行业的空间有多大？《能源评论》日前专访了中国工程院院士、清华大学化工科学与技术研究院院长金涌教授，请他解读我国煤炭行业发展的前路、挑战和机遇。他认为，化石能源终将成为历史，能源转型呼唤颠覆性技术，也要结合现实激发创新思维。

**《能源评论》**：您认为，我国确定的“双碳”目标对能源行业，尤其是煤炭的转型发展意味着什么？

**金涌**：实现“双碳”目标，绝对不是单纯的能源行业或应对气候变化的事情，而是一场深刻、广泛的社会系统变革，事关人类生态文明建设、中华民族永续发展等宏大深远的主题。可以说，碳中和将是主导未来

我国经济增长和能源转型的最大驱动力。接下来，我国的科学研究、技术开发、投资建设、生产消费，一直到物流运输、循环利用，全部决策都需要以此为依据。

能源是经济社会发展的重要动力。煤炭、石油等化石能源作为推动人类社会工业革命的动力，曾经发挥过重要作用。现在人类要进入可再生能源时代，意味着化石能源将走入历



## 金涌

中国工程院院士  
清华大学化工科学与技术研究院院长

人类要进入可再生能源时代，意味着化石能源将走入历史，我们要和化石能源告别，这是一个时代的变迁。

史，我们要和化石能源告别，这是一个时代的变迁。

**《能源评论》**：您所说的化石能源将步入历史，有没有明确的时间节点或者标志？

**金涌**：碳中和的时间节点就是化石能源时代的终结。当然，也有智库认为，即使到2060年，还是会有一定比例的化石能源，但那时的电力系统应该是零碳排放，因此2060年应该是一个标志性的时间节点。

石器时代的结束并不是因为没有石头了，而是因为青铜冶炼技术出现。化石能源时代的结束，也是因为太阳能、风电等新能源技术日益成熟、产业规模逐渐扩大、应用水平不断提高。目前新能源发电的成本和火电基本持平，具备逐渐代替煤炭发电的潜力。

**《能源评论》**：从化学家的角度，您怎么看待碳与人类社会的关系？

**金涌**：人类社会的运行需要碳元素。我们吃的是碳水化合物、用的是碳氢化合物，衣食住行都离不开碳元素，而化石能源恰恰含有丰富的碳元素。

问题出在利用方式上，煤炭、石油、天然气由于长期被作为燃料使用而排放了大量的二氧化碳。未来，需要让碳在地球内部循环起来造福人类社会，而不是排放到天上去。化石能

源要逐渐从燃料变成材料，尽可能把碳保存在产品中，就可以解决其碳排放问题。而且材料还可以循环利用——把废料重新变成原料进行再加工，并且这个过程注入的能量来自低碳的太阳能、风电等清洁能源。

**《能源评论》**：国家发改委能源研究所2021年年初的研究显示，2050年在非化石能源消费占比接近78%的情况下，煤炭消费占比仍有5.4%。煤炭行业有哪些新技术值得期待？

**金涌**：煤炭的颠覆性技术非常难开发。跨界技术，尤其是生物技术值得关注。探索新的技术突破方向，既能将煤炭从燃料变为材料，还要少排二氧化碳，这就成为新的课题。

我们做了很多让煤炭从燃料变成材料的尝试，包括煤制烯烃（MTO）、煤基甲醇转化制芳烃（MTA）以及最新的煤制氢。目前我国的煤化工产能已经达到千万吨级。当初开发MTO、MTA技术，意在减少石油进口、代替石油，问题在于，全球石油价格一度低至每桶三四十美元，即使是现在达到每桶六七十美元，也并未让传统煤化工项目具备足够的经济性。此外，这些技术的二氧化碳排放太多，还要消耗大量的水资源，例如煤制烯烃、煤制氢项目，每吨产品的二氧化碳排放分别达到17.4吨、11.3吨。

**《能源评论》**：您怎么看待传统的煤化工技术，我国现有的超千万吨

煤制油产能该怎么办？

**金涌：**传统煤化工技术的工艺路线亟待优化提高。煤化工产品往传统的汽柴油方向发展，现在绝对不合适。煤化工技术现在最尴尬的地方在于：市场上油价在降低，煤价在提高；项目方开工会赔钱，停产也赔钱。

但还是有办法的。煤制油的成分和石油不同，其中富含的 $\alpha$ -烯烃可以通过几步化学反应变成高碳醇，进一步作为材料与苯二甲酸酐反应就变成了非常好的增塑剂。同时，高碳醇还可以生成聚合级 $\alpha$ -烯烃和乙烯，最终形成高质量的聚乙烯。这种聚乙烯可以代替我们大量进口的产品，其强度、性能也得到大幅度改善。

还有一种思路，就是将煤气化后的气体，尤其是一氧化碳，不用于制备油品，而是用于生产酒精。这一工艺的发酵过程会产生很多菌丝，也就是饲料蛋白。这样，我们就有了三个高附加值的好产品：氢气、乙醇和饲料蛋白。

## 研发分质利用技术，早做转型准备

**《能源评论》：**这些思路听起来都是很好的方向，我们靠什么实现？

**金涌：**这需要颠覆性技术，也要重视已有利用方式的更新升级。

关键要更新一个思想认识：煤不是碳，而是碳氢化合物，是稠环。每个碳原子伴有0.8个氢原子，后者是宝贵的化学元素。我们可以通过分质利

用技术把煤里面的碳元素和氢元素分开：一个产物是固体的半焦，将煤里的碳变成固体存在；另一个产物就是氢气。按照我国煤炭年产量40亿吨计算，含氢量约2.64亿吨。半焦和氢气都是还原剂，为进一步加工利用二氧化碳提供了可能性。

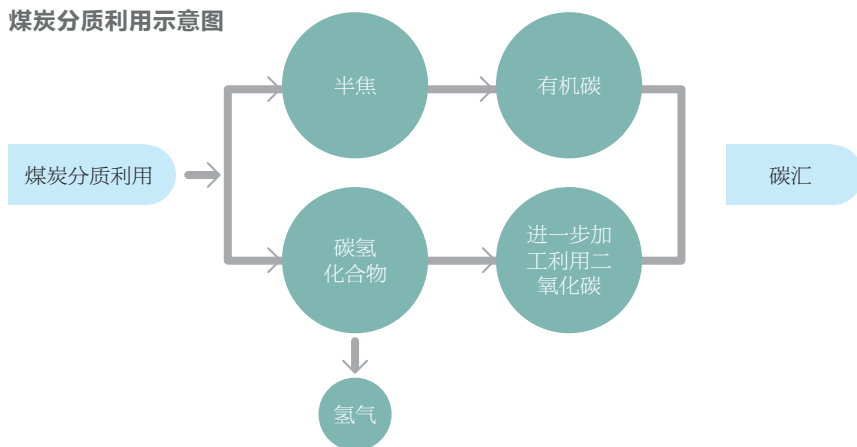
**《能源评论》：**含碳的半焦该如何处理，如何让其不再排放二氧化碳？

**金涌：**固体的半焦肯定不能再用于燃烧了。碳本身是还原剂，在800~1000摄氏度条件下与二氧化碳反应，就可以生成一氧化碳。

下一步的技术有很多。一个方向是通过生物技术，利用一氧化碳发酵制作酒精（乙醇），如此就把无机碳变成有机碳。乙醇除了可以掺到油品中，也可以脱水生成乙烯、丁烯，这

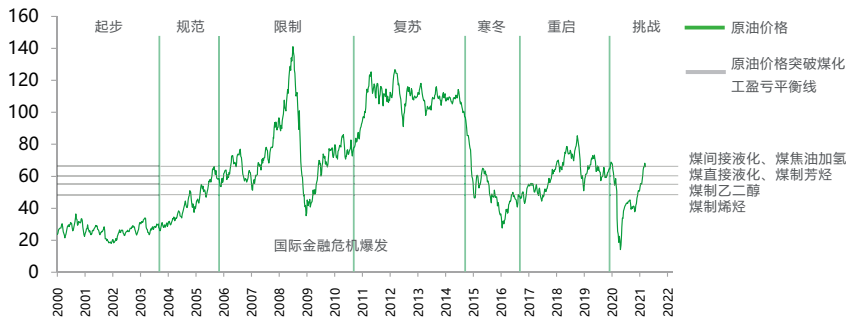
化石能源要逐渐从燃料变成材料，尽可能把碳保存在产品中，就可以解决其碳排放问题。

煤炭分质利用示意图



## 国际油价与煤化工产业盈亏平衡点

(单位: 美元/桶)



>> 数据来源: 万得资讯, 光大证券研究所

我们最终目的就是把煤炭、石油、天然气从燃料变成材料, 助力人类完成伟大的时代变迁——从化石燃料时代进入化石材料时代。

《能源评论》: 回到现实, 煤炭行业尽管目前仍然是我国能源消费的主体, 但投资减少、资金链紧张、债权债务处置困难、人员安置等问题依然突出。您认为, 该如何鼓励煤炭行业从业者适应新的形势?

金涌: 核心是如何转型, 这就涉及科学普及的作用。习近平总书记曾经说过: “科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼。” 与科技创新一样, 科学普及对煤炭企业转型同样重要, 其至少有两个作用: 第一, 只有通过大量的科学普及, 才能出现天才或顶尖人才; 第二, 通过科学普及, 员工素质和知识水平提高了, 也可以很容易地转型到其他行业。

对于即将退出的煤炭企业, 要未雨绸缪, 做到科技创新和科学普及双管齐下。对那些被淘汰的工人, 企业要对其进行转岗培训, 把这些工人有计划地转移到其他产业。当然, 这需要时间, 也需要系统筹划, 所以国家出台了一系列关于培养技术工人、发展职业教育的政策, 煤炭企业应该利用好这些政策, 为产业转型早做准备。

《能源评论》: 在当前形势下, 您如何看待煤炭行业面临的转型挑战?

金涌: 中国煤炭工业协会发布的

样就成为制造橡胶、塑料的材料。通过生物技术和煤炭分质利用技术的联合, 半焦不再产生二氧化碳, 而是成为减排二氧化碳的物质, 并且可以用来制造很多的化工产品, 这就是煤炭行业今后的出路。

《能源评论》: 您认为, 煤炭分质利用技术的核心价值是什么? 其对产业界的影响有哪些?

金涌: 在思维方式上, 其价值在于, 我们要将煤炭从碳源变成碳汇。当然, 现实中的技术尚未成熟, 还要进行深入研究。

在操作层面, 其价值在于, 科学家先提出一个方向, 并说明其可行性, 坚定了产业界的信心。未来40年, 还需要科技界、产业界携手推动相关技术的应用普及。当然, 这些技术也不是唯一的, 可能还会有很多新的思路、技术和解决方案涌现出来。





《2020煤炭行业发展年度报告》显示，“十三五”期间，煤炭行业去产能目标任务超额完成。截至2020年年底，全国累计退出煤矿5500处左右、退出落后产能10亿吨/年以上。目前，我国拥有煤矿数量约4700处，到“十四五”末期，这一数据将被压缩至4000处左右。

由于科技进步，老的技术、旧的产业淘汰，这不是坏事，而是社会进步的体现。技术进步总是要淘汰落后产业，我们能做的就是尽早准备，让这个过程不要造成社会动荡，通过发展新技术来培育新行业、新职业。当

然，这些都不能一蹴而就。以我国的碳达峰目标为例，未来10年，我们的煤炭利用量和碳排放量可能还要增加。原因在于我们需要一个预备期，等待技术和产业成熟，另外还要统筹考虑产业发展。但我们一定不要去上马传统高耗能的项目，不要再建设火电厂，不要再投资传统的煤化工项目，这些都是将来的不良资产。我们要把新增加的碳排放量给那些附加值高的、先进的、高质量的产业去使用，只有这样，才能保证顺利实现能源转型和全社会高质量发展。■

（韩丽娟对本文亦有贡献）

---

由于科技进步，老的技术、旧的产业淘汰，这不是坏事，而是社会进步的体现。