

## （九）建议对我国实现碳中和的顶层科技路线进行评议选择

山东大学 朱维群

**摘要：**世界绿色能源快速发展受限；现有工业过程节能减排潜力有限；现有工业排放的二氧化碳是难于捕集封存利用的。因此，建议对我国实现碳中和的顶层科技路线进行评议选择，开发“利用化石能源不排放二氧化碳”的科技路线，将化石能源能量和元素同时高效利用，形成化石燃料固碳利用的能源工业路线和工业材料路线，这是全球实现碳中和的根本途径。

**关键词：**碳中和，绿色能源，固碳

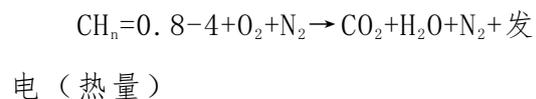
朱维群. 建议对我国实现碳中和的顶层科技路线进行评议选择. 生物多样性保护与绿色发展. 第6卷, 2024年5月, 总第60期. ISSN2749-9065

面对全球气候变暖危机，联合国气候大会（COP28）提出了摆脱化石能源的目标。但是，世界绿色能源快速发展受限；现有工业过程节能减排潜力有限；现有工业排放的二氧化碳是难于捕集封存利用的。因此，我们建议对我国实现碳中和的顶层科技路线进行评议选择，开发“利用化石能源不排放二氧化碳”的科技路线，将化石能源能量和元素同时高效利用，形成化石燃料固碳利用的能源工业路线和工业材料路线，这是全球实现碳中和的根本途径。

### 1. 全球碳中和科学技术现状

工业革命以来，CO<sub>2</sub>主要是在化石能源（煤、石油及天然气，

CH<sub>n</sub>=0.8-4）利用过程中排放的，其化学反应式如下：



这是全球排放CO<sub>2</sub>的主要反应，包括火电、内燃等工业过程。以占全球约50%CO<sub>2</sub>排放量的燃煤发电为例，其能源利用效率（发电效率）一般在40%左右，同时造成了大量的废水、废气、废热等污染。

目前，全世界每年利用化石燃料排放了360亿吨CO<sub>2</sub>，其中只有约20亿吨被海洋吸收，陆地生态系统吸收约7亿吨，人工利用量不到10亿吨，大气中的CO<sub>2</sub>浓度从工业革命前（150年前）的280ppm增加到目前的421ppm，CO<sub>2</sub>排放量已经远远超过了



大自然自身平衡的能力。实现碳中和目标首先应该降低化石能源利用中的CO<sub>2</sub>排放量（90%），同时增强生态碳汇来中和排放的CO<sub>2</sub>，进而降低大气中的CO<sub>2</sub>浓度。实现碳中和已成为全球面临的重大问题。

目前实现碳中和的三类低碳技术的发展现状是：

1) 绿色能源快速发展受限：虽然绿色能源技术目前取得了巨大的科技进步，大力发展绿色能源是实现碳中和目标的一条技术途径，但其快速发展受限，其中具有较大发展前景的光伏发电2022年发电量仅占全球发电量的4.5%。据国际能源署估计，到2050年全球绿色能源发电占比要提高到80%，成为主体能源，其中主要来自光伏发电，这有一定难度。我国目前绿色能源增量还不能抵消CO<sub>2</sub>排放增量。

2) 现有工业过程节能减排潜力有限：现有工业过程由于工艺技术路径锁定，如火电、钢铁、电解铝等高能耗高排放工业过程工艺已经比较成熟，其节能、提高能效、减少化石燃料用量的技术效果有限，节能减排不能不排。

3) 现有工业排放的二氧化碳是难于捕集封存利用的：特别是针对煤电所产生CO<sub>2</sub>的捕集、封存及利用，全球进行了几十年广泛深入的研究，至今还没找到一条经济可行的技术路线。这应该是受热力学第二定律的限制，排放的CO<sub>2</sub>再进行捕集封存及转化利用（CCS/CCUS）可能需要施加更多的能量，导致实施过程不可行。

因此，全球急需开发新的碳中和科技路线。

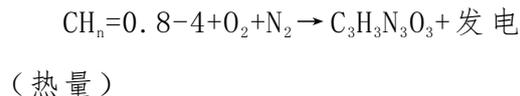
## 2. 我国碳中和顶层科技路线建议

面对全球气候变暖危机，联合国气候大会提出了摆脱化石能源的目标。但是，全球目前化石能源在能源总量中达80%，转型难度很大。因此，我们提出“利用化石能源但不排放二氧化碳”的科技路线，与绿色能源共同发展，可以确保实现碳中和目标。

化石燃料（煤、石油及天然气）不仅是一类能源，而且还是一类主要为碳氢化合物的物质，因此，我们提出了在一套工业装置中将化石燃料的能量和物质成分同时高效利用（EMSU）的科学技术路线，也就是将化石燃料在能源利用过程中所产生的CO<sub>2</sub>直接转化为CO<sub>2</sub>固定量高、生成热大、过程能耗少的稳定固体



CO<sub>2</sub>衍生物 1, 3, 5-均三嗪三醇（简称三嗪醇, C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>），过程中释放的能量可作为清洁能源利用，从而形成“用碳不排碳”的化石能源固碳利用新途径，新的化石能源利用方式可用下列化学反应方程式表示：



从上述反应式可以看出，这是将化石能源的能量和元素同时高效利用的一种最佳途径。由化石燃料转化为 C<sub>3</sub>H<sub>3</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub> 放出的热量与生成 CO<sub>2</sub> 是相当的：

表 1 EMSU 与现有化石能源利用方式的热力学分析

总反应方程式	反应热 Δ rHm <sup>⊖</sup> KJ/mol
C(s)+O <sub>2</sub> (g)=CO <sub>2</sub> (g)	-393.514
3C(s)+1.5N <sub>2</sub> (g)+0.75O <sub>2</sub> (g)+1.5H <sub>2</sub> O(l)=C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1270.084

表 2. EMSU 燃煤发电效率分析

	能量损失%				能源利用效率%	碳利用效率%
	空分	乏气%	烟气处理	固碳过程估计		
现有火电	0	50	10	0	40	0
固碳工艺	10	25	0	25	40	~100

该技术路线既可以燃煤发电装置的零碳排放，对于石油和天然气的零碳排放更容易实现。该技术路线的优点如下：

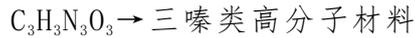
该技术是在一套工业装置中实现化石燃料能量和物质成分的高效利用，也更容易进行能量的梯级利用和工艺过程的优化。

该技术可以实现“利用化石能源不排放二氧化碳”，而且还提高了化石燃料总的利用效率，综合经济效益更好。该技术可以保持全球能源的供需平衡和社会经济的平稳发展，保证能源安全。减轻绿色能源发展压力。

该技术是对现有化石能源利用方式的改造、革新，投资相对较小，经济上完全可行。



固碳产物三嗪醇可以继续开发形成低成本、低碳排放、低内能的三嗪类高分子材料,可以替代一部分高耗能高排放的工业材料如钢铁、电解铝等,从而形成化石能源固碳利用的材料路线:



按照本设计的材料工业路线,将化石燃料在空气和水的参与下,通过一定工艺过程就可以得到三嗪类高分子材料,这是一条符合绿色、低碳、可持续发展的生态工业材料路线。

将化石能源能量和元素同时高效利用,形成化石燃料固碳利用的能源工业路线和工业材料路线,这是实现碳中和目标经济可行的一条科技途径!

### 3. 建议

全球气候变暖等环境问题给人类生存带来诸多不利的影响;

世界绿色能源和绿色碳汇快速发展受限,现有工业过程节能减排有限,现有工业过程排放的大量二氧化碳是难于捕集封存利用的,急需开发新的低碳排放工业路线;

高碳资源只有生产高固碳产品才更有利于实现低碳排放的工业利用;

我国能源结构难于调整,应该首先进行能源技术革命;既要保供增加煤炭产量,又要实现碳中和目标,只有开发“用碳不排碳”的化石能源固碳清洁利用。

实现碳中和不仅是一类概念、理念,而且是一类过程、工程,应该全流程、全因素、全生命周期的分析考察化石燃料的利用过程及后处理过程,通过能量流、物质流等理论及工程数据分析,应用多种高新工艺技术,开发将化石燃料的能量和物质成分同时高效利用的整套装置,实现化石能源总的利用效率、经济效益、环境效益、及社会效益的最优化。

通过化石燃料能源技术和材料技术的革新来解决环境及全球气候变暖问题符合国家大科学大工程的优先方向。

