



## Views &amp; Comments

## 与地球同步：碳氮循环在保护地球宜居性中面临的挑战

Robert Socolow

Professor, Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University

如今，我们居住的地球很容易受到人类自身常规活动的累积效应的影响。其中，有两个影响着地球可持续性的问题值得我们关注，它们分别是全球碳循环和全球氮循环。

人类采集煤和石油，并将使用后的废气排入大气，通过这种碳排放的方式破坏了碳循环。受人类活动的影响，大气中二氧化碳(CO<sub>2</sub>)浓度平均每年增长0.5%，在过去的250年总计增长超过30%，其中三分之二的增长发生在过去的50年。化石燃料占世界能源系统的85%，是影响天然碳循环的主要因素。高浓度CO<sub>2</sub>对碳循环体系的破坏已经造成许多问题，包括大范围的全球变暖、海平面上升、对人类健康的严重威胁、引发更频繁的极端天气和生态系统的破坏等。除非作出改变，否则全球的CO<sub>2</sub>浓度将进一步提高。因此，我们必须重新设计能源系统，以减少对化石燃料的依赖和降低对碳循环的危害。

除了碳循环，氮循环是地球上生命的另一个基本特征。氮循环也遭到了人类的破坏。地球上生物的生存需要依靠氮元素，但是大气中的氮元素必须经过改性才能供生物利用。生命所需的氮产生于“固氮细菌”，只有少数细菌可以作为“固氮细菌”，它们能够破坏大气中氮气的氮氮三键(N<sub>2</sub>或N≡N)，并产生“可用的”氮。自然界中另一种固氮反应是伴随着闪电而发生的。在过去的几百年中，人类已经运用哈柏法实现了从大气中提取有效氮的工业化。氮肥作为全球最重要的产品，能够大大提高世界的粮食供应量。现在，整个世界对人工固

氮越来越依赖，与利用天然细菌固氮相比，化肥厂合成氮技术的固氮能力更强。

另一种新的固氮方法来自化石燃料的燃烧，其产生的是氮氧化物(即NO<sub>x</sub>，它包含NO、NO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等)。尽管有很多技术能够减少NO<sub>x</sub>的排放量，但由于人口增长和人均化石燃料使用量的增加，在过去的数十年间，NO<sub>x</sub>的排放量依旧显著增加。

如今，这些额外的固氮反应严重影响了许多环境系统，如改变了物种平衡，促进了水系统中不必要的生物生长(富营养化)，增加了大气中一氧化二氮(N<sub>2</sub>O，一种温室气体)的排放量。因此，国际社会对氮循环的关注逐渐增加，并聚焦于人类改变氮循环的复杂性。

碳循环和氮循环的协同管理是可行的，工程技术能为遭到破坏的生态系统提供补救措施，而且已经取得了局部成功。

我们有很多理由乐观地相信，未来还有很多目标可以实现。全球的碳氮利用效率依旧较低，尤其在能源系统、食品系统和农业系统中还有很大的提升空间。“智能”是一个用于描述工程师所做贡献的关键词，如智能的建筑、家电、基础设施、车辆和食品系统，而做这一切的核心目标就是为了取得更高的效率。我们可以采用碳价格和氮价格来提升两种物质的利用效率。此外，特别是在发展中国家，我们还需要建设大量的全球性基础设施(表1)。最重要的是，年轻的科学家和工程师们认为现在在碳氮管理所面临的各种挑战都令人兴奋。

在燃煤电厂捕获CO<sub>2</sub>，然后将其压缩并送入地下多

表1 碳和氮的对比

	Carbon	Nitrogen
Industrial sector	Fossil fuel	Fertilizer
Fundamental activity	CO <sub>2</sub> to the atmosphere	Nitrogen fixation: N≡N→NH and NO
Quantitative measure	[CO <sub>2</sub> ] <sub>atm</sub> is rising 0.5% per year	Fertilizer factories fix as much N as bacteria
Engineering opportunity	Efficient use	Efficient use

孔岩石深处，这是目前保护碳循环的主要工程方法。总有一天，燃煤电厂的煤燃烧将不再是CO<sub>2</sub>排放的主要来源。美国现存的CO<sub>2</sub>管道网络显示，建设低碳未来的线路图是有可能实现的。这些管道有助于通过“提高原油采收率”来增加油田的附加油量。然而，许多相关技术仍处于试验阶段，具有很大的不确定性。

工程解决办法也能减少氮排放，并可以在稍作变化后在全球推广使用。“技术跨越”是减少二氧化碳排放量和氮排放量的一个巨大契机，通过采用先进的技术，如电力驱动汽车和零排放的分布式电源，可有效减少碳氮的排放量。今后，必须更加努力地提升食品制造业和运输系统的氮效率。总之，降低对环境的有害影响是一个优化的氮元素集成管理体系对整个社会的最大的

益处。

除了碳和氮的工业处理技术，我们还必须解决许多社会问题。其中，贫困作为一个巨大的挑战，能够通过发达国家和发展中国家之间的合作解决。过去是发达国家发挥主导作用，但现在发展中国家，如中国，也有望参与到探索解决方案中。新的解决方案使得我们不再需要依赖于原先的方法。这有可能是第一次依靠新技术和新的国际伙伴关系而实现的跨越。每个人都可以参与这个可持续性的合作：环保主义者、科技工作者、经济学家、各地公民和世界各地的政府将携手提高全球碳循环和氮循环的管理水平。此外，在不久的将来，可持续性合作将要寻找方法以应对我们留在地下的“不可燃”化石燃料，这个新难题将很快占据研究的中心地位。

可是，每一种解决方案都有它的不足，因此我们所使用的每一种解决方案都有可能带来其他新的、严重的问题。为此，我们需要进行风险管理，主要从气候变化和防治角度考虑新技术的破坏风险。最终，为了更好地实现碳氮管理，年轻一代需要学习相关的科学知识，并努力成为这个环境和工程交织的关键新领域的主力军。