

# 制约碳中和目标实现的资源供给与环境风险问题

本刊记者 李彦

当下，碳中和话题成为全世界共同关注的焦点，碳中和不仅需要能源变革和技术创新，也需要经济结构与社会认知的大转变，不夸张地说，这一场工业革命以来最大的生产方式变革会关系到全球每个国家每个人，那么在这场绵延四十年的变革中，中国面临哪些现实困难，实现碳中和的过程中最大的制约因素在哪里？我们的机遇又在哪里？作为这场变革的核心支撑材料的关键金属会如何影响世界各国的国际地位？带着这些疑问，本刊记者采访了中国科学院城市环境研究所研究员陈伟强和副研究员汪鹏，请他们来为读者深入解读。

**记者** 您曾在2020年的一篇文章里提到，全球能源低碳转型驱动关键金属需求迅速上升，但是相对有限的资源储量与生产能力导致部分关键金属面临供应短缺的风险，请您展开分析一下目前全球的资源分布与需求之间的矛盾。

**陈伟强** 我先简单说一下我们团队的研究基础，以及我们为什么会切入这个主题。我是环境学院毕业的，但实际上我们是把资源、环境、生态、材料、能源这几个要素联合在一起研究，我们要去探索和理解整个现代社会运转和发展的物质材料基础。

人类社会的发展运行离不开衣食住行等各种基本功能，衣食住行需要各种能源和物质材料来支撑，盖房子需要石头水泥，造汽车需要金属材料，能源部门也需要各种物质材料来生产设备，生产出来之后再再用能源去驱动，用水去润滑和清洗，等等。随着工业化、城市化还有全球贸易的发展，我们需要

陈伟强，2000年进入清华大学环境科学与工程系学习，获博士学位。现任中科院城市环境研究所研究员，博士生导师。主要从事资源环境管理、环境系统工程、物质循环科学和城市可持续发展研究。



汪鹏，中国科学院城市环境研究所副研究员。



更加多样的物质材料来支撑，这种支撑包括石头沙子等大宗建筑材料、铁铝铜等基本金属、稀土和锂钴镍等稀有稀贵金属、以及各种塑料和化合物等，这些东西从哪里来？只能从地球本身被挖掘出来。

有一些材料和元素全世界到处都有，比如氮气、氧气。但有一些在空间分布上不平衡，只存在于某些地方。在这种大背景之下，能源系统的运转需要几个部分够成：一是对能源（比如风能和光能）的捕获；二是把从自然界捕获到的不可直接利用的能源转化为可利用的能源；三是把能源从不需要的地方运到需要的地方；最后还有储存和使用的过程。所以包括了能源的捕获、转化、运输、存储和利用

这五大过程，而每一个过程都要用到物质材料生产出来的相应装备。

过去 100 年中社会运转主要依赖化石能源，但化石能源在转化为可利用的能源过程中会有二氧化碳排放，进而造成温室效应，所以我们现在要开发利用新能源。

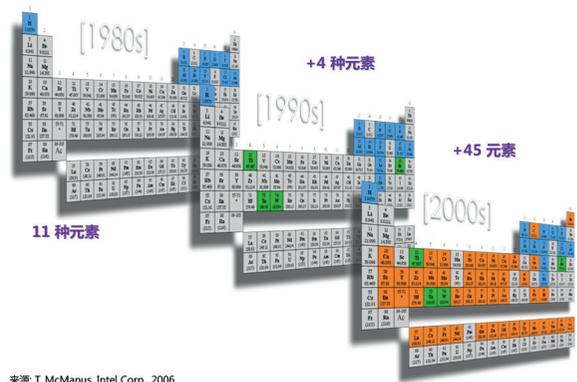
相较化石能源，新能源的捕集、转化、运输、存储和使用的形态都会发生根本性变革，这种变革让能源依赖的物质基础也发生很大变化。传统能源在开采、运输与使用等环节用到的物质材料种类都是相对简单的，用铁、铜、镍等少数几种物质材料就够了。但现在能源普及的过程发生了变化，使得每一环节所使用的物质材料的种类、形态都发生了根本性变化。比如获取能源的方式从传统的挖煤转变为制造与使用风机和太阳能电池板，而风机和太阳能电池板需要用稀土、各种纤维和金属材料去实现各种特殊要求，不是只用钢铁、铝、铜等基本金属就可以生产出来。

捕集之后还有运输过程，传统的煤电或者天然气电厂可以盖在北京城附近，但北京附近要建设大规模的风电场则不现实，也没有那么大面积去做集中式太阳能电池板的电厂，因此我们经常需要把太阳能电池板和风场盖到大西北的荒漠里。那么电怎么输送出来？这就要求电网本身也有根本性变革。国家电网现在在做特高压输配电系统的改革，技术上已经取得了巨大突破，但问题在于如果要更大规模去推广，就要用到大量的铜和铝，我们有没有这么多铜和铝？

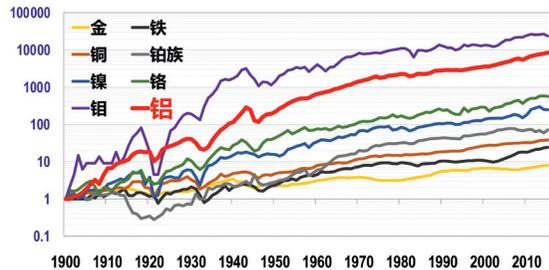
再以汽车为例，传统的燃油车主要用的是钢和铝，还有一些基本的导电材质，用到的金属相对简单，但电动车所使用的金属材料则发生了根本性变革。除了制造车身、车轮仍然需要铜、铝、铁之外，还需要大量其他金属，比如电池里面的锂、钴、镍，还有车的电子系统也发生了巨大变革。

电动车跟燃油车的功能相似，但是内部的舒适

## 电子芯片的元素依赖



## 金属生产大加速



### 1900-2015年增长倍数

金：8 铁：24 铜：39 铂族：71  
镍：245 铬：567 铝：8456 钼：23500

度、驱动力等都发生了变化，这种变化很大程度上源于金属材料使用的变化。但如果全世界大规模地普及电动车，有一些金属材料比如锂、钴、镍储量是不足的。十年前全世界不存在大量的锂短缺问题，大家现在都在担心没有足够的储量去生产电动车。

过去 100 年，全世界主要使用的物质材料元素不超过 10 种，今天则几乎要用到元素周期表里所有的元素，而且每一种金属在很多地方有很多复杂用途，一些关键部位缺了某种关键金属，这个产品就无法运转。

因此我们说资源和需求之间的矛盾体现在几个方面：

第一，有一些资源在全世界的绝对量不够用，比如锂、钴、镍，如果现有电池技术没有发生根本



统的石油、天然气国家或地区，在新能源发展的冲击下，其地缘政治作用会有所削弱。

第二，一些具有关键金属矿产优势的国家，它的地缘政治地位或影响力会上升。

第三，关键金属是一个产业链，在这个新的竞争格局中，有些国家虽然没有矿，但是对矿产的加工能力强，或者是对基于某些金属的后端低碳产品的加工能力比较强，也能在世界竞争中获得竞争优势。

**汪鹏** 值得注意的是，传统化石能源的分布比较广泛的，全球前三个国家的储量占到百分之五六十，但关键金属钴、镍、锂等关键金属，前三个国家的储量就占到全球占有量的百分之八十以上，因而带来的地源集中度和供应风险就比传统更大，所以有人提出一个观点，原来有“欧佩克”(OPEC)石油输出组织，将来会不会有金属或是矿产国为主的组织？相较于化石能源，全球应对关键金属供应风险的前瞻性研究和治理方式都不成熟，可能会对达成碳中和目标构成很大挑战。

**记者** 中国是主导世界低碳产业的重要国家，中国的关键金属储量以及目前的加工技术如何？中国在全球能源低碳转型中该起什么样的作用？在这场关键金属贸易导致的未来竞争格局改变中的机遇和风险何在？

**陈伟强** 应该说现在的中国在大部分金属的分离冶炼能力方面都是全球第一，或者至少占据全球重要地位。

在关键金属的矿产资源方面，中国只有少数金属有资源优势，大部分都需要进口。我们的主要优势在中游，就是把金属矿产进口到中国之后冶炼成各种金属材料，2000年以来中国的加工能力在全球具有了最大优势，但这个环节恰恰是整个产业链中生态环境影响最大的。上游挖矿环节的成本主要是破坏植被和生态，中间这个环节是要破坏化学键，

由化合态变成金属态，有大量的能源和辅助原材料的消耗，因而有大量的碳排放和其他有毒有害物质的排放。第三个环节是用金属生产各种材料，我们的产能也是全世界第一。再往下游，在用金属材料生产高端产品的环节，比如说用锂、钴、镍去生产电池，我们在过去的十年技术进步很快，之后仍将不断进步，总体在向好的态势发展。

那么中国在全球能源低碳转型中该起什么样的作用？我想应该继续保持并不断增强我们在关键金属全产业链，特别是产业链中下游制造能力的优势，就是说我们应该变成全世界生产低碳装备的第一强国或起主导作用的国家，当然也应该包括对生产这些装备所需各种金属材料的加工与生产能力。

在全球的能源转型过程中，我们也有两方面很集中的风险，一是各种矿产的供给能力始终不足，我们将面临一个很大的可能，就是我们拥有了很强的金属分离冶炼加工能力，但是上游的矿产供应跟不上，而从其他国家进口则始终会有各种不可控的风险。另一个风险则是下游的高端材料和装备的科技制造水平没有发展上去。

从保护环境角度而言，中国要不断加强固体废物回收利用的能力，未来三十年到五十年，我们能够利用的很多物质材料就不是从地里面挖出来的，而是要从回收的报废产品里面重新回收再生得来。

在这全生命周期过程中，我们要确保具有足够的绿色生产技术，我们无法再延续过去污染比较严重的技术，而需要通过科技进步不断提高改进生产过程的环境绩效。

**汪鹏** 我们国家其实跟其他国家一样，都在起跑线上。目前全球一半以上甚至更高比例的太阳能电池板都是由中国来提供的，电动车领域中国也处在全球领先地位。在新能源设备和应用方面，我们为全球做了很大贡献，因此我们对资源的需求是巨大

的，因为要满足中国和其他国家的需求，我国很多新能源企业就去参与全球的矿产的开发、冶炼和高效利用。但是有一点，中国跨系统和部门的协同性不足。美国和欧盟都会有系统的协同框架，很多部门或者利益相关者会在一起筹划，但在中国更多是由企业去探路的，而这个过程不只是企业自身的问题，还有很多其他外部性问题需要很多部门一起参与系统设计。

另外中国对关键金属及能源技术的创新能力还需要提升。我们的装备制造业经过这么多年积累，现在要往高端制造发展。当我们进一步往无人区探索时，针对怎么让金属的利用效率更高，回收时能有更好的设计等等这些问题时，我们看到有一些不错的研究和示范性成果，但是这些设计和成果是否能经受住市场考验还有待时间来检验，我们在这些方面的积累还要继续提升。

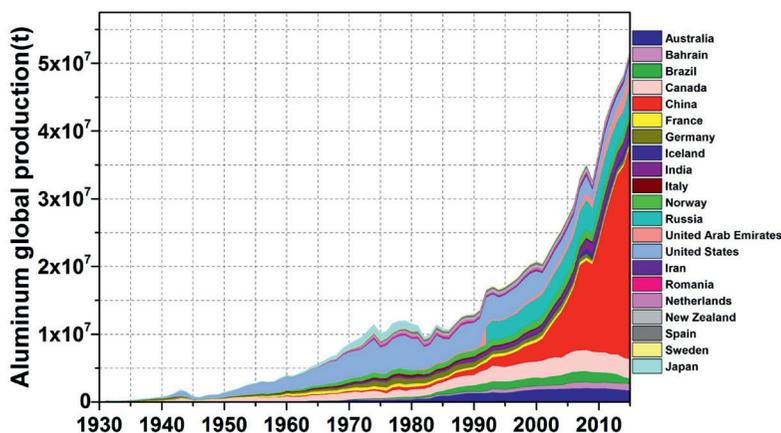
**记者** 在您的文章里您曾分析，考虑到区域风电发展目标和稀土资源禀赋的差异，目前的稀土资源储量与产能难以满足全球 2050 年风电发展目标的资源需求，那么各国该怎么办？中国又该有什么解决之道？

**陈伟强** 这个问题有两个假设的前提，第一个就是全世界都需要转型，需要更多的风能和太阳能。第二个假设是每单位的风能和太阳能所需要的稀土使用量是一定的，不会不断提升稀土的绩效。我们要从几方面来讨论。

首先是我们在讲新能源时，目前经济可行且可取的主要就是风能和太阳能，但新能源转型实际上有其他很多路径选择，包括可控核聚变反应堆等等。

第二是在生产风电和太阳能时，一是需要在金

## 我国金属生产和消费世界第一



属的选择上更多元化；二是技术进步也可以使单位发电能力的稀土使用量不断下降；三是稀土也分很多种，通过技术进步去挖掘和使用目前比较过剩的稀土，比如镧和铈，可以大大缓解稀土供应不足问题。此外技术进步还包括我刚才讲的回收利用技术，通过循环利用报废风机里的材料，使得每一千克的金属材料都能得到更加充分的利用。

所以从国家或者企业来讲，我们要充分认识到产能或者资源在全球空间上分布的不均衡所带来的风险。国家要支持我们的企业，包括国企和民营企业走出去，更有前瞻性地掌握全球各种关键金属资源或产业链。事实上过去这些年已有很多中国企业走了出去，以锂为例，我们的天齐锂业、赣锋锂业都已在全球布局资源，为全球绿色低碳转型做出了贡献。

最后，我们国内也要加强勘探，增强对矿产资源的了解并有所储备。在可能面临危机的时候，可以作为备份去布局建设工厂企业或者产业链。

**汪鹏** 我认为如何管理不确定性风险很重要，实现碳中和过程中有很多不确定性，比如说锂、钴、镍这些金属价格飙升，价格突然涨这么高，我们下游的制造业企业，甚至做材料设计的科研工作者应

该怎么去应对？这就需要获取多方面的信息和知识，有相应的应对方案，这是其一。另一方面，我们可能用比较高的价格储备了矿产，但供给上来之后，价格又突然走低，这种风险作为一个企业是否能承担？我觉得碳中和和金融需要把原材料对抗不确定风险这部分内容也考虑进去，这是值得被重视的。我们需要汇聚很多数据，得做至少一年期的前期预判，防止在重大问题决策上出现重大失误，以及想好一旦出现风险之后怎么去应对，这一领域我们还准备不足。

**记者** 低碳能源技术的规模化应用能够有效降低全球碳排放并改善生态环境，但是关键金属矿产的开采、冶炼、加工和制造都会消耗大量能源，并造成严重的生态污染，在这方面，关键金属出口国应该做哪些应对来减少对当地生态的破坏？

**陈伟强** 这是一个需要全球共同考虑的问题。我认为有几个层次，首先要从学术上把这个问题说清楚，因为现在很多人以为低碳能源就是所谓的绿色环保了，一说保护环境就只有降低碳排放，而没有认识到其他问题，所以第一个层次要从学术上把低碳能源所具有的各种综合性生态环境影响说清楚。

第二，要解决这个问题，需要从全人类命运共同体的角度来讨论，我们要认识到，在解决各种我们所面临的气候、资源和生态环境问题时，要把这些问题作为整体来通盘考虑，不能只考虑碳排放所造成的全球性气候影响而不考虑其他的生态环境影响，特别是一些区域性的、局部的生态环境影响。

第三，当造成生态环境破坏时，应该有转移支付和补偿机制。大规模使用关键金属的国家和地区，需要为其他国家做一些技术转移，还应该有一种生态补偿机制以支付开采区域所付出的生态环境和人类健康代价。

最后，作为关键金属的生产和冶炼国家，应该不断提高技术水平和生产管理水平和生产管理水平，尽量减少对生

态环境的破坏和影响。

我刚上大学时，钱易先生就不断讲，我们不能再去走“先污染再治理”的老路。但是怎么能真正不去走这种老路？事实证明有很大的困难。因为要想不污染不仅要有足够的资本，还要在生态环境领域有足够的人才积累和技术积累，但当一个国家没有经历过生态环境保护的挑战并且积累足够的应对经验时，实际上很难积累和培养出足够的人才。我们国家应该说有很强的优势，就是由于我们有一种非常强大和有效的国家治理体制，使得我们在生态环境领域的人才技术和治理能力都能够获得迅速、有效的积累，并且能够用这种积累去快速和高效地应对生态环境问题。这一点我们在应对雾霾的挑战中得到了很好的验证。

我们在其他领域也是这样，比如在各种金属材料 and 金属工业领域，还有水泥工业的生产污染治理中，都得到了很好的验证。但是一些非洲、拉丁美洲等第三世界的国家可能没办法形成这种能力，比如刚果长期以来依赖人力徒手挖掘铜矿和钴矿，因为这个国家没有有效的政府，无法形成有效的治理能力、生产能力和应对生态环境与社会混乱的能力。在人类命运共同体以及全球可持续发展的大框架之下，需要我国和发达国家一起向这些第三世界国家提供更多的技术、资金和治理经验的支持。

**汪鹏** 我们现在说碳中和会让全球减少温升，全球人类的生活变得更好，但其实是少数偏远地区的生态环境破坏和当地人的健康牺牲为代价的。很多关键金属矿地处偏远，在开采过程会产生很多其他影响，我们做类似研究，发现很多矿的开采会破坏当地森林生态，反而会使碳吸附变成碳排放。碳中和是工业革命之后最大的一次生产方式变革，原来经济和技术领先的国家也必然会占尽先机，所以我们一是要基于长时间动态尺度开展前瞻性的战略研究，二是要开展全球尺度的国际治理研究。📌